



**URZĄD
PATENTOWY
PRL**

Patent dodatkowy
do patentu nr _____

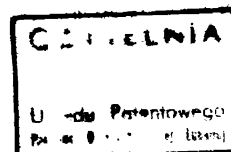
Int. Cl.³ C21D 1/78
H01F 1/04

Zgłoszono: 82 02 15 (P. 235082)

Pierwszeństwo: 81 03 19 Stany Zjednoczone
Ameryki

Zgłoszenie ogłoszono: 82 09 27

Opis patentowy opublikowano: 1986 06 30



Twórca wynalazku: Frank Angelo Malagari

Uprawniony z patentu: Allegheny Ludlum
Steel Corporation
Pittsburgh (Stany Zjednoczone Ameryki)

Sposób wytwarzania stali krzemowej o orientowanych ziarnach

Przedmiotem wynalazku jest sposób wytwarzania stali krzemowej o orientowanych ziarnach.

Znane jest stosowanie stali krzemowej o orientowanych ziarnach, mającej postać arkuszy, w różnych dziedzinach elektrotechniki, w tym również do wytwarzania rdzeni transformatorów. Stal wytwarza się przez odlewanie wlewka, ogrzewanie wlewka, na ogół w opalonym gazem piecu wglębnym, do temperatury odpowiedniej do walcowania na gorąco w celu uzyskania kęsiska lub bezpośrednio gorącowalcowanej taśmy. Gorącowalcowaną taśmę, po wyżarzeniu i wytrawieniu, walcuje się na zimno w jednym lub kilku przepustach, z zastosowaniem walcowania międzyoperacyjnego. Następnie stal poddaje się normalizowaniu i w trakcie tej operacji następuje odwęglenie. Następnie prowadzi się końcowe wyżarzanie teksturujące, w którym to etapie uzyskuje się żadaną orientację krystaliczną. Na ogół przy otrzymywaniu taśmy gorącowalcowanej bezpośrednio z wlewka, wlewek ma temperaturę rzędu 1343,3°C.

Podczas końcowego wyżarzania tekstury stal krzemowa ulega wtórnej rekrytalizacji, podczas której wzrastają agregaty ziarn krystalicznych mające teksturę Gossa czyli orientację (110) [001]. Osie [001] dużych ziaren są równoległe do płaszczyzny walcowania. Tak więc materiał w postaci taśmy ma jeden kierunek łatwego magnesowania, a mianowicie kierunek walcowania. W zastosowaniach tego materiału, a zwłaszcza przy wytwarzaniu rdzeni transformatorów, wymagane jest by straty w rdzeniu były niskie, gdyż w miarę zmniejszania się strat w rdzeniu maleje zużycie energii cieplnej. Ponadto stal łatwomagnesowna powinna wykazywać dobrą przenikalność magnetyczną.

Dla uzyskania korzystnych właściwości magnetycznych stali, np. strat w rdzeniu i przenikalności magnetycznej, konieczne jest walcowanie na gorąco wlewka o temperaturze rzędu 1343,3°C. W rezultacie, zgodnie ze znanymi sposobami, otrzymywanie gorącowalcowanej taśmy z wlewka lub kęsiska płaskie odbywa się przez walcowanie na gorąco w temperaturze od powyżej 1260°C do około 1398,9°C. Praca z tymi wyjątkowo wysokimi temperaturami jest jednak trudna, a szczególnie problemy sprawia usuwanie żużla powstającego podczas ogrzewania wlewka w piecu wglębnym. Ponadto konieczność prowadzenia intensywnego ogrzewania podnosi koszty energetyczne całej operacji, przy czym rosną również koszty aparatury do ogrzewania ze względu na konieczność wyposażenia jej w wykładzinę ogniotrwałą.

Tak więc najważniejszym celem wynalazku było opracowanie sposobu wytwarzania stali krzemowej o orientalnych ziarnach pozwalającego na stosowanie niższych temperatur walcowania na gorąco od powszechnie stosowanych, bez szkodliwego oddziaływania na właściwości magnetyczne stali, zwłaszcza w rdzeniu i przenikalności magnetycznej.

Zgodny z wynalazkiem sposób wytwarzania stali krzemowej o orientowanych ziarnach, zawierającej 0,028 — 0,049% wagowego węgla, 2,95 — 3,12% wagowego krzemu, 0,004–0,005% wagowego glinu, 0,004–0,0014% wagowego boru oraz zawierającej mangan i siarkę, a także żelazo jako resztę obejmuje etapy odlewania wlewka, ogrzewanie wlewka przed walcowaniem na gorąco, walcowanie na gorąco ogrzanego wlewka na gorąco walcowaną taśmę, jedno- lub wieloprzestawowego walcowanie tej taśmy na zimno z zastosowaniem wyżarzania międzyoperacyjnego, odwęglania przy końcowej grubości, powlekania i końcowego wysokotemperaturowego wyżarzania tekstury.

Cechą sposobu według wynalazku jest to, że walcowanie na gorąco prowadzi się w temperaturze 1200–1260°C i stosuje się stal zawierającą 0,038–0,065% wagowego manganu i 0,020–0,036% wagowego siarki tak, że stosunek wagowy manganu do siarki wynosi od 1 do 2,5 i korzystnie zawierającą 0,18–0,58% wagowego miedzi.

Tak więc, zgodnie z wynalazkiem stal krzemową o orientowanych ziarnach i znanej kompozycji, można walcować na gorąco bezpośrednio z wlewka, otrzymując gorącowalcowaną taśmę o grubości około $2,54 \cdot 10^{-3}$ lub mniejszej, gdy stosunek manganu do siarki w tej stali wynosi poniżej około 2,5, korzystnie od około 1 do poniżej około 2,5. Zgodnie z wynalazkiem walcowaniu na gorąco korzystnie poddaje się stal, w której stosunek manganu do siarki ma powyższą wartość, przy czym temperatura wlewka wynosi od 1200°C do poniżej około 1260°C. Stwierdzono, jak to zademonstrowano w przedstawionych dalej przykładach, że ta niższa od zazwyczaj stosowanych temperatura walcowania na gorąco nie wpływa szkodliwie na straty w rdzeniu i przenikalność magnetyczną stali, pod warunkiem zachowania podanego wyżej niskiego stosunku manganu do siarki.

Ponadto, zgodnie z wynalazkiem wartość strat w rdzeniu można jeszcze polepszyć gdy rzeczywista zawartość miedzi w stali wynosi do około 0,4% wagowego, korzystnie od około 0,2 do poniżej około 0,58% wagowego. Tak więc, optymalne wartości strat w rdzeniu i przenikalności magnetycznej stali przy wytwarzaniu taśmy gorącowalcowanej bezpośrednio z wlewka, uzyskuje się gdy stal wykazuje zarówno podany wyżej niski stosunek manganu do siarki, jak i podaną wyżej zawartość miedzi. Gdy warunki te są zachowane zbędne jest stosowanie stosunkowo wysokich temperatur walcowania na gorąco, koniecznych dotąd dla uzyskania dobrych właściwości magnetycznych. W rezultacie, dzięki stosowaniu temperatur walcowania niższych od normalnych, można uniknąć omówionych powyżej wad procesu i nadmiernych kosztów. Tak więc sposób według wynalazku pozwala na wytwarzanie stali krzemowej o orientowanych ziarnach wykazującej dobre właściwości magnetyczne, przy korzystnych kosztach operacji. Jako szczególny przykład i dla dokładniejszego zademonstrowania znaczenia stosunku manganu do siarki dla magnetycznych właściwości stali, sporządzono kompozycje podane w tabeli 1, po czym poddano je walcowaniu na gorąco w temperaturze 1204,4–1260°C.

T a b e l a 1

Wlewki	C	Mn	S	Si	Al	Cu	B	Mn : s	Temperatura walcowania na gorąco (°C)	Właściwości magnetyczne taśmy o grubości $27,43 \cdot 10^{-3}$ m	
										Straty w rdzeniu (w/kg przy 1,7 T)	Przenikalność przy 796 A/M [mH/m]
6351	0,030	0,038	0,035	3,04	0,005	0,20	0,0004	1,10	1204,4	1,6676	$23286,2 \times 10^{-4}$
6352	0,030	0,040	0,036	3,05	0,005	0,19	0,0004	1,10	1204,4	1,6610	23236×10^{-4}
6344	0,030	0,043	0,035	3,00	0,005	0,20	0,0004	1,20	1204,4	1,6984	$23411,8 \times 10^{-4}$
6345	0,028	0,042	0,035	3,00	0,005	0,20	0,0004	1,20	1204,4	1,6566	$23336,5 \times 10^{-4}$
6341	0,030	0,042	0,034	2,95	0,005	0,20	0,0005	1,23	1232,2	1,6642	$23173,2 \times 10^{-4}$
6168	0,033	0,049	0,030	3,12	0,004	0,18	0,0007	1,60	1260	1,5488	$23173,2 \times 10^{-4}$
6169	0,030	0,055	0,023	3,10	0,004	0,18	0,0004	2,40	1260	1,5488	$22758,7 \times 10^{-4}$
6162	0,049	0,065	0,020	3,00	0,005	0,20	0,0010	3,25	1260	1,9404	$21264,1 \times 10^{-4}$

Stale podane w tabeli 1 walcuje się na gorąco bezpośrednio z wlewka na grubość $0,203 \cdot 10^{-2}$ — $0,227 \cdot 10^{-2}$ m, otrzymując gorącowalcowaną taśmę. Gorącowalcowaną taśmę wyżarza się w $898,9^{\circ}\text{C}$ i walcuje na zimno na grubość pośrednią $0,0711 \cdot 10^{-2}$ — $0,0762 \cdot 10^{-2}$ m. taśmę o grubości pośredniej wyżarza się w temperaturze $948,9^{\circ}\text{C}$, a następnie walcuje na zimno na grubość ostateczną $0,027 \cdot 10^{-2}$ m.

Jak wynika z tabeli 1, wartość strat w rdzeniu (w watach/kg przy 1,7 T) są lepsze w przypadku stali o stosunku manganu do siarki poniżej 2,5 niż w przypadku stali z wlewka nr 6162 charakteryzującego się stosunkowo wysokim stosunkiem manganu do siarki wynoszącym 3,25. a więc stosunkiem typowym dla znanych stali tego typu.

Wpływ zawartości miedzi na dalsze polepszenie wartości strat w rdzeniu zademonstrowano na przykładzie wlewków przedstawionych w tabeli 2.

T a b e l a 2

Wlewki	C	Mn	S	Si	Al	Cu	B	Mn:S	Temperatura walcowania na gorąco ($^{\circ}\text{C}$)	Właściwości magnetyczne taśmy powlekanej MgO o grubości $27,43 \cdot 10^{-5}$ m	
										Straty w rdzeniu (w/kg przy 1,7 T)	Przenikalność (przy 796 A/m)
6369	0,034	0,039	0,022	3,0	0,005	0,19	0,0006	1,80	1232,2	1,6192	$23361,6 \times 10^{-4}$
6370	0,031	0,042	0,022	3,0	0,005	0,42	0,0005	1,90	1232,2	1,5862	$23411,8 \times 10^{-4}$
6364	0,030	0,048	0,026	3,0	0,005	0,58	0,0007	1,85	1232,2	1,6896	$23223,4 \times 10^{-4}$
6433	0,030	0,042	0,022	3,0	0,005	0,20	0,0014	1,91	1232,2	1,5620	$23474,6 \times 10^{-4}$
6377	0,028	0,042	0,021	3,0	0,005	0,42	0,0009	2,00	1232,2	1,5818	$23537,4 \times 10^{-4}$
6376	0,029	0,047	0,024	3,0	0,005	0,58	0,0009	1,96	1232,2	1,6786	$23148,1 \times 10^{-4}$

Stale przedstawione w tabeli 2 walcuje się na gorąco bezpośrednio z wlewka otrzymując gorącowalcowaną taśmę o grubości $6,45 \cdot 10^{-2}$ m. Taśmę tę walcuje się na zimno na ostateczną grubość w dwóch przepustach, z wyżarzeniem międzyoperacyjnym. Wyżarzanie wstępne, przed walcowaniem na zimno, prowadzi się w temperaturze $898,9^{\circ}\text{C}$, po czym materiał walcuje się na grubość $0,0711 \cdot 10^{-2}$ m. Wyżarzanie prowadzi się w temperaturze $948,9^{\circ}\text{C}$, po czym materiał walcuje się na grubość $0,027 \cdot 10^{-2}$ m. Następnie materiał poddaje się końcowej normalizacji w temperaturze $801,6^{\circ}\text{C}$ i podczas tego etapu następuje odwęglanie. Wreszcie odwęgloną taśmę powleka się znanym sposobem tlenkiem magnezowym i wyżarza w atmosferze wodoru w temperaturze $1176,7^{\circ}\text{C}$. Jak widać z wartości strat w rdzeniu (w watach/kg przy 1,7 T) podanych w tabeli 2, obecność miedzi w ilości powyżej około 0,2%, jak np. w stali określonej jako wlewki 6370, poprawia straty w rdzeniu w porównaniu ze stratami w rdzeniu w stali określonej jako wlewki 6369 i zawierającej 0,19% miedzi. Wartości strat w rdzeniu ulegają jednak pogorszeniu, gdy nie utrzymuje się zawartości miedzi poniżej około 0,58%, jak w przypadku stali z wlewka 6364, dla którego przy zawartości miedzi 0,58% występuje znaczne pogorszenie strat w rdzeniu.

Z a s t r z e ż e n i e p a t e n t o w e

Sposób wytwarzania stali krzemowej o orientowanych ziarnach, zawierającej 0,028–0,049% wagowego węgla 2,95–3,12% wagowego krzemu, 0,004–0,005% wagowego glinu, 0,004–0,0014% wagowego boru zawierającej mangan i siarkę, a także żelazo jako resztę, obejmujący etapy odlewania wlewka, ogrzewania wlewka przed walcowaniem na gorąco, walcowanie na gorąco ogrzewanego wlewka na gorąco walcowaną taśmę, jedno- lub wieloprzepustowego walcowania tej taśmy na zimno z zastosowaniem wyżarzania międzyoperacyjnego, odwęglania przy końcowej grubości, powlekania i końcowego wysokotemperaturowego wyżarzania tekstury, **znamienny tym**, że walcowanie na gorąco prowadzi się w temperaturze 1200 – 1260°C stosując stal zawierającą 0,038–0,065% wagowego manganu i 0,020–0,36% wagowego siarki tak, że stosunek wagowy manganu do siarki wynosi od 1 do 2,5 i korzystnie zawierającą 0,18–0,58 wagowego miedzi.