

POLSKA
RZECZPOSPOLITA
LUDOWA



URZĄD
PATENTOWY
PRL

OPIS PATENTOWY

89858

Patent dodatkowy
do patentu _____

Zgłoszono: 03.04.74 (P. 170 050)

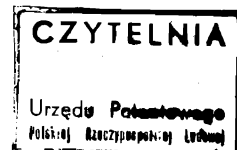
Pierwszeństwo: _____

Zgłoszenie ogłoszono: 02.06.75

Opis patentowy opublikowano: 30.07.1977

MKP C22c 39/46
C21d 7/14

Int. Cl.² C22C 38/02
C21D 7/14



Twórca wynalazku: _____

Uprawniony z patentu: Armco Steel Corporation,
Ohio (Stany Zjednoczone Ameryki)

Stal krzemowa o sześciennych komórkach zorientowanych regularnie i sposób jej wytwarzania

Przedmiotem wynalazku jest stal krzemowa o sześciennych komórkach zorientowanych regularnie wzdłuż krawędzi i sposób jej wytwarzania, a zwłaszcza stal krzemowa o dużej przenikalności magnetycznej.

Przeznaczona do zastosowań magnetycznych blacha ze stali krzemowej będącej przedmiotem wynalazku odznacza się strukturą, w której przestrzennie centrowane komórki sześciennie tworzące ziarna lub kryształy są zorientowane regularnie wzdłuż krawędzi, oznaczaną wskaźnikiem Millera 110(001). Jak powszechnie wiadomo, materiały charakteryzujące się taką orientacją wykazują stosunkowo dużą przenikalność w kierunku walcowania, a dość niską przenikalność w kierunku prostopadłym do kierunku walcowania. Stal krzemowa o sześciennych komórkach zorientowanych regularnie wzdłuż krawędzi znajduje wiele zastosowań, a przede wszystkim do wyrobu rdzeni urządzeń elektromagnetycznych, takich jak transformatory itp.

Stal krzemową o komórkach sześciennych zorientowanych regularnie wzdłuż krawędzi wyprodukował jako pierwszy Goss, jak to wynika z opisu patentowego Stanów Zjednoczonych nr 195559. Z początku jednak trudno było wytwarzać w ilościach handlowych stal krzemową o takiej orientacji odznaczającą się dobrymi właściwościami magnetycznymi. W konsekwencji poświęcono wiele czasu i wysiłków zmierzających do opracowania sposobu wytwarzania takich stali krzemowych.

Od tego czasu poczyniono szybkie postępy w przemysłowej produkcji stali krzemowych o komórkach sześciennych zorientowanych regularnie krawędziami. Na przykład w opisie patentowym Stanów Zjednoczonych nr 2287467 (V.W.Carpenter i J.M.Jackson) przedstawiono sposób mokrego odwęglania wodorem umożliwiającą usunięcie węgla bez szkodliwego starzenia magnetycznego.

Od dawna uznano, iż orientowanie komórek sześciennych regularnie krawędziami związane jest ze zmianą energii na granicy ziaren. Stwierdzono ponadto, że inhibitor wzrostu ziaren, taki jak na przykład siarka w postaci siarczków, jeżeli właściwie rozproszony na granicach ziaren podczas pierwszego stadium wzrostu kryształów przy wyżarzaniu końcowym, zapobiegłby takiemu wzrostowi, który zakłóciłby następujące po tym drugie stadium wzrostu. Wskutek tego drobnoziarniste podłoże stopu utrzymuje się, dopóki wtórne ziarna o orientacji krawędziami nie zaczną wchłaniać ziaren o innych orientacjach. Dlatego też, gdy dalej wzrasta temperatura podczas wyżarzania końcowego, wtórnemu wzrostowi ziaren towarzyszą zmiany energii na granicy ziaren

i drobnoziarnista osnowa stopu ulega przemianie w dobrze rozwiniętą strukturę sześciennych komórek regularnie zorientowanych krawędziami. Początkowo przypuszczano, że ilość inhibitora znajdującego się na granicy ziaren podczas pierwszego stadium wzrostu przy wyżarzaniu końcowym zależy od ilości inhibitora w pierwotnym stopie i wielkości strat inhibitora podczas obróbki przed wyżarzaniem końcowym. Uważano zatem, że istotne jest takie przeprowadzenie obróbki, aby unikać strat inhibitora.

W opisie patentowym Stanów Zjednoczonych nr 2599340 (Litfman i Heck) stwierdzono, że można otrzymać stale krzemowe o wysokiej przenikalności magnetycznej, przy walcowaniu na gorąco kęsisk o wysokiej temperaturze 1260–1400°C, do blachy o pewnej grubości pośredniej. Stwierdzono, iż podczas walcowania w wysokiej temperaturze następuje co najmniej częściowe rozpuszczenie, a potem wytrącenie inhibitora, takiego jak siarczki manganu, w stali krzemowej. W opisie patentowym Stanów Zjednoczonych nr 2906645 (Carpenter i inni) podano, że zastosowanie tlenku magnezowego jako warstewki żaroodpornej powoduje tworzenie się izolującej szklistej warstewki na wykończonej stali krzemowej. Taka warstwa powierzchniowa lub szkło jest bardzo pożądana w przypadku wielu zastosowań, bowiem zapewnia ona dobrą oporność elektryczną i stanowi zabezpieczenie przed utlenianiem lub nawęglaniem.

W opisach patentowych Stanów Zjednoczonych nr 3333991, 3333992 i 3333993 (Kohler) stwierdzono, że można wprowadzić inhibitor do otoczenia stali krzemowej bezpośrednio przed lub podczas pierwszego stadium wzrostu kryształów przy wyżarzaniu końcowym i spowodować jego dyfuzję do granic między ziarnami. Okazało się zatem, że nie jest tak bardzo istotna ilość inhibitora w pierwotnym stopie, ani też obróbka stali przed końcowym wyżarzaniem. Według wymienionych wyżej opisów patentowych siarka i jej związki oraz selen i jego związki mogą być stosowane jako inhibitory. Inhibitor można wprowadzić różnymi sposobami do otoczenia stali krzemowej podczas pierwszego stadium wzrostu ziaren przy wyżarzaniu końcowym. Na przykład siarkę lub związki siarki dysocjujące lub rozkładające się w temperaturze pierwszego stadium wzrostu kryształów można dodać do warstewki żaroodpornej. Do atmosfery w piecu do wyżarzania można dodać siarkowodór lub inny gazowy związek siarki. Według jeszcze innej odmiany siarkowodór lub inny odpowiedni gazowy związek siarki można dodać do atmosfery w trakcie odwęglania przed końcowym wyżarzaniem. Związek siarki reaguje wówczas powierzchniowo z żelazem tworząc warstewkę siarczku żelaza na powierzchni materiału, będącą źródłem siarki podczas pierwotnego stadium wzrostu ziaren przy wyżarzaniu końcowym.

W wyniku poprzednich badań opracowano w końcu sposób wytwarzania, stali krzemowej o komórkach sześciennych regularnie zorientowanych krawędziami, odznaczającej się dobrymi właściwościami magnetycznymi; przenikalność takiej stali wynosiła średnio około 1820 przy natężeniu pola $H = 10$ oerstedów. Dlatego też uwagę ześrodkowano tylko na poprawieniu właściwości magnetycznych. W opisie patentowym Stanów Zjednoczonych nr 3287183 przedstawiono sposób wytwarzania stali krzemowej, o komórkach sześciennych zorientowanych regularnie wzdłuż krawędzi, której przenikalność magnetyczna wynosi co najmniej 1800 i do około 1910 przy natężeniu pola $H = 10$ oerstedów. Według tego wynalazku istotny jest skład stopu, który musi zawierać 0,025–0,085% węgla, 2,5–4% krzemu, 0,05–0,050% siarki, i co jest szczególnie ważne 0,010–0,065% glinu rozpuszczalnego w kwasach; resztę stanowi żelazo i zanieczyszczenia. Po walcowaniu na gorąco i wytrawieniu grubość stali krzemowej zmniejsza się do żądanej wartości końcowej jedno- lub dwustopniowym walcowaniem na zimno. Oprócz składu stopu krytycznym parametrem jest stopień zmniejszenia grubości blachy podczas końcowego walcowania na zimno, wynoszący od 81 do 95%, przed którym to walcowaniem stal krzemową trzeba poddać obróbce cieplnej w takiej wysokiej temperaturze, aby w blasze stalowej utworzył się azotek glinu w ilości odpowiadającej zawartości co najmniej 0,0020% azotu w postaci azotku.

Wprawdzie znakomite są właściwości magnetyczne stali krzemowej o komórkach sześciennych regularnie zorientowanych krawędziami, wytwarzanej sposobem przedstawionym w opisie patentowym Stanów Zjednoczonych nr 3287183, jednak sam sposób ma szereg wad. Na przykład, nie można tak łatwo wytrawić stali, jak w innych sposobach, ze względu na obecność glinu. Ponadto sposób ten wymaga wysokotemperaturowego wyżarzania bezpośrednio przed ostatnim stadium, tzn. walcowaniem na zimno; po wyżarzeniu konieczne jest więc szybkie ochłodzenie materiału lub hartowanie. Wreszcie, trudne jest utworzenie szklistej warstewki izolacyjnej podczas walcowania ze względu na obecność tlenku glinowego na powierzchni stali krzemowej.

W opisie patentowym Stanów Zjednoczonych nr 3700506 przedstawiono zastosowanie pewnej szczególnej warstewki żaroodpornej do sposobu według opisu patentowego Stanów Zjednoczonych nr 3287183. Według tego wynalazku stosuje się warstewkę z tlenku magnezowego, do którego dodaje się związek tytanu i związek magnezu. Ponadto do tlenku magnezowego dodaje się też bor lub związek boru wraz z siarką lub związkiem siarki, bądź też z selenem lub związkiem selenu. Z cytowanego opisu wynika, iż bor lub związki boru, dodawane z siarką lub selenem powodują polepszenie stratności elektrycznej w produkcji końcowym oraz utworzenie szklistej warstewki na powierzchni stali krzemowej. Według tego wynalazku bor lub związek boru stosuje się do

regulacji drugiego stadium wzrostu kryształów podczas końcowego wyżarzania, podczas gdy azotki glinu służą do regulowania wzrostu kryształów podczas pierwszego stadium przy końcowym wyżarzaniu.

Wynalazek dotyczy sposobu wytwarzania stali krzemowej o komórkach sześciennych regularnie zorientowanych krawędziami, odznaczającej się doskonałymi właściwościami magnetycznymi; przenikalność magnetyczna takiej stali jest większa niż około 1820 i dochodzi do 1900 lub więcej przy natężeniu pola $H = 10$ oerstedów. Nie jest w tym przypadku wymagane wyżarzanie wysokotemperaturowe przed wyżarzaniem końcowym. Wytrawianie stali można łatwo wykonywać znanymi sposobami. Stosuje się dodatki boru i azotu w celu regulowania wzrostu ziaren podczas pierwszego stadium wzrostu przy wyżarzaniu końcowym. Stosując sposób według wynalazku na powierzchni stali krzemowej można utworzyć konwencjonalną szklistą warstwę izolacyjną podczas normalnej obróbki, tzn. walcowania.

Według wynalazku do konwencjonalnego stopu dodaje się bor i azot w ilościach niezbędnych do regulowania procesu tworzenia stali krzemowej, o komórkach sześciennych regularnie zorientowanych krawędziami. Stop może zawierać także do 0,008% glinu.

Można zastosować każdy odpowiedni sposób wytapiania. Można stosować stop w postaci wlewków lub kęsisk wytwarzanych sposobem ciągłym. Przed walcowaniem na gorąco stal krzemową ogrzewa się do temperatury 1260–1400°C przez okres czasu wystarczający do rozpuszczenia inhibitora, po czym rozwałkuje się do postaci gorącej taśmy, tzn. produktu o grubości blachy. Po walcowaniu na gorąco stal krzemową wyżarza się w temperaturze 815–1150°C, przy czym temperatura wyżarzania jest odwrotnie proporcjonalna do końcowej grubości blachy ze stali krzemowej. Po wyżarzeniu stal wytrawia się znanym sposobem i walcuje na zimno, jedno- lub dwustopniowo, do uzyskania blachy o żądanej grubości.

Zwałcowany na zimno materiał odwęglą się znanym sposobem i pokrywa warstwą żaroodporną z tlenku magnezowego. Choć nie jest to konieczne, to w celu zoptymalizowania wartości przenikalności produktu końcowego można dodać inhibitor do otoczenia stali krzemowej podczas pierwszego stadium wzrostu ziaren przy końcowym wyżarzaniu. Na przykład do magnezowej warstewki żaroodpornej można dodać siarkę w ilości około 1–6% wagowych.

Odwęglony i powleczoney materiał poddaje się następnie końcowemu wyżarzaniu w atmosferze suchego wodoru w temperaturze 1093–1260°C. W celu uzyskania materiału o najkorzystniejszej wartości przenikalności magnetycznej końcowe stadium wyżarzania można prowadzić, choć nie jest to konieczne w atmosferze azotu, podnosząc temperaturę z szybkością nie większą niż około 70°C, a korzystnie około 28°C na godzinę.

Stal krzemowa według wynalazku o komórkach sześciennych regularnie zorientowanych krawędziami charakteryzuje się przenikalnością magnetyczną powyżej 1820, dochodzącą do 1900 lub więcej przy natężeniu pola $H = 10$ oerstedów.

Stop stosowany w sposobie według wynalazku można wytwarzać każdym odpowiednim i znanym sposobem, takim jak obróbka w piecu martenowskim – konwertorze, piecu elektrycznym, piecu do wytopu pod zmniejszonym ciśnieniem itp.

Skład początkowego stopu przeznaczonego do wytwarzania stali krzemowej o komórkach sześciennych regularnie zorientowanych krawędziami nie różni się od składu znanych stopów pod względem zawartości krzemu, manganu, węgla i siarki. Do stopu tego dodaje się jednak bor i azot w odpowiednich ilościach. Stop może zawierać około 2–4% krzemu, około 0,01–0,15% korzystnie około 0,03–0,15% manganu około 0,02–0,05% węgla, około 0,01–0,03% siarki, około 0,002–0,012%, korzystnie około 0,003–0,10% boru, około 0,003–0,010%, korzystnie około 0,004–0,008% azotu (zawartość wyrażono w procentach wagowych); resztę stanowi żelazo i zanieczyszczenia, zależne od sposobu wytwarzania stopu. Powyższy stop może zawierać, choć nie jest to konieczne, glin jako odtleniacz lub zanieczyszczenie w ilości do około 0,008%. Zkłada się, że optymalne stężenie boru wynosi 0,007%, oraz optymalne stężenie azotu 0,007%.

Bor można wprowadzać do stopu początkowego, każdym odpowiednim i dobrze znanym sposobem, jak na przykład dodatek do stopu związku boru, takiego jak żelazobor. Obecność azotu w stopie początkowym również można osiągnąć każdym odpowiednim i dobrze znanym sposobem. Na przykład, można do stopu dodać związek azotu taki jak zaazotowany mangan. Azot można również wprowadzić do stopu drogą nadmuchiwania. Żądaną zawartość azotu można wreszcie osiągnąć stosując sposób wytapiania stali, w którym normalnie uzyskuje się stal o odpowiednim stężeniu azotu, jak na przykład wytwarzania niskowęglowej stali w piecu elektrycznym.

Stop stali krzemowej może być w postaci wlewków lub kęsisk wytwarzanych w sposób ciągły. Wlewki można bezpośrednio walcować na gorąco do gorących taśm lub kęsisk o pośredniej grubości. Kęsiska te ponownie ogrzewa się i walcuje na gorąco do gorących taśm. Walcowane na gorąco kęsiska otrzymane z wlewków lub z pracującego w sposób ciągły zalewacza form powinny być ogrzane do temperatury 1260–1400°C, korzystnie około 1370°C przed walcowaniem na gorąco, jak to opisano w opisie patentowym

Stanów Zjednoczonych nr 2599340. Końcowy produkt w postaci gorącej taśmy ma zwykle grubość 1,25–2,54 mm.

Po rozwałcowaniu materiału do postaci gorącej taśmy stal krzemową wyżarza się w temperaturze 815–1150°C, korzystnie 927–1093°C w ciągu około 3,5 minuty w dowolnej, odpowiedniej atmosferze, takiej jak powietrze, produkty spalania lub gazy obojętne. Stwierdzono, że do uzyskania materiału o optymalnej przenikalności magnetycznej należy prowadzić wyżarzanie w tym wyższej temperaturze, im mniejsza jest żądana grubość końcowa stali krzemowej. Jeżeli ma się więc wytwarzać cienką blachę stalową, wówczas wyżarzać trzeba w temperaturze bliskiej górnej, wyżej podanej granicy. Jeżeli natomiast produkuje się blachę grubsza, wówczas temperatura wyżarzania bliższa jest granicy dolnej. Wyżarzoną, zwałcowaną na gorąco stal krzemową można następnie hartować natryskiem lub też ochłodzić powietrzem. Z kolei stal trawi się znanym sposobem i jednostopniowo (ew. wielostopniowo, z wyżarzaniem międzystopniowym) na zimno walcuje się do żądanej, końcowej grubości.

Zwałcowaną na zimno stal krzemową odwęglą się w temperaturze około 815°C w atmosferze mokrego wodoru o temperaturze rosy około 57°C, zgodnie ze sposobem przedstawionym w opisie patentowym Stanów Zjednoczonych nr 2287467.

Po odwęgleniu stal krzemową pokrywa się odpowiednią warstewką żaroodporną, taką jak tlenek magnezowy, tlenek glinowy, tlenek wapniowy lub ich mieszaniną. W razie potrzeby uformowania szlistej warstewki na powierzchni zwałcowanego, wykończonego produktu stosuje się warstewkę żaroodporną z tlenku magnezowego, zgodnie ze wspomnianym uprzednio sposobem opisanym w opisie patentowym Stanów Zjednoczonych nr 2906645. Warstewką tlenku magnezowego można powlekać stal krzemową każdym, dobrze znanym sposobem.

Stal krzemową pokrytą warstewką żaroodporną poddaje się końcowemu wyżarzaniu w temperaturze 1093–1260°C, korzystnie około 1205°C w ciągu 8–30 godzin. Podczas tego wyżarzania, zwanego dla jasności wyżarzaniem końcowym, następuje drugie stadium wzrostu ziaren, kiedy to osiąga się regularne zorientowanie krawędziami komórek sześciennych. Wyrzwanie to prowadzi się w atmosferze suchego wodoru.

Choć nie jest to niezbędne dla uzyskania materiału o dobrej przenikalności magnetycznej, stwierdzono jednak, że w celu otrzymania najkorzystniejszej pod tym względem stali krzemowej winno się inhibitor wprowadzać do otoczenia stali krzemowej przed lub podczas pierwszego stadium wzrostu kryształów przy wyżarzaniu końcowym. Jako doskonały inhibitor służy siarka, selen i ich związki, a do otoczenia stali krzemowej wprowadzać je można jednym ze sposobów przedstawionych w omawianych wyżej opisach patentowych Stanów Zjednoczonych nr 3333991, 3333992 i 3333993. Na przykład można osiągnąć doskonałe rezultaty stosując warstewkę żaroodporną z tlenku magnezowego zawierającego około 1–5% wagowych siarki.

Chociaż wynalazek nie wymaga stosowania tego, to jednak powinno się, chcąc otrzymać produkt o optymalnych właściwościach magnetycznych, wyżarzać materiał w końcowym stadium podnoszenia temperatury w atmosferze azotu zastępując nim suchy wodór stosowany w pozostałych okresach wyżarzania. Temperaturę w końcowym stadium należy podnosić powoli, z szybkością co najwyżej około 70°C, a korzystnie około 28°C na godzinę.

Poniżej podano przykłady ilustrujące wynalazek.

P r z y k ł a d I. W laboratorium przygotowano, w piecu pod zmniejszonym ciśnieniem, stop zawierający (w procentach wagowych) 0,033% C, 0,094% Mn, 0,029% S, 3,24% Si, 0,006% B, 0,068% N i 0,002% Al. Odlano wlewki i ogrzano do temperatury 1260°C. Następnie materiał rozwałcowano na gorąco do grubości 2,54 mm i wyżarzano w temperaturze 1038°C w ciągu 3,5 minut. Po wyżarzeniu stal krzemową ochłodzono powietrzem, wytrawiono i rozwałcowano, jednostopniowo, na zimno do grubości 0,30 mm.

Rozwałcowaną na zimno stal krzemową odwęglono w temperaturze 815°C w mokrym wodorze o temperaturze rosy 57°C. Następnie stal pokryto warstewką żaroodporną z tlenku magnezowego zawierającą 6% wagowych siarki. Wreszcie pokrytą stal krzemową wyżarzono w garnku w atmosferze wodoru w temperaturze 1205°C w ciągu 30 godzin. Stwierdzono, że przenikalność magnetyczna wzdłuż osi ziaren wynosi 1921 przy natężeniu pola $H = 10$ oerstedów.

Powyższy przykład stanowi ilustrację możliwości uzyskania materiału o wysokiej przenikalności, jeżeli do stopu doda się bor i azot w wyżej podanych ilościach i stal krzemową podda się obróbce sposobem według wynalazku.

P r z y k ł a d II. W piecu laboratoryjnym otrzymano stop zawierający (w procentach wagowych) 0,032% C, 0,100% Mn, 0,025% S, 3,35% Si, 0,0052% B, 0,0077% N i 0,004% Al.

Materiał odlano w postaci 25,4 mm grubych wlewów. Wlewki te ogrzano do temperatury 1260°C i rozwałcowano na gorąco do grubości około 2,29 mm. Pierwsze dwie próbki tego materiału wyżarzono

w temperaturze 927°C w ciągu 3,5 minut, zaś trzecią wyżarzono w temperaturze 150°C, w ciągu 3,5 minut. Pierwszą próbkę ochłodzono powietrzem i rozwałcowano na zimno do grubości 0,356 mm. Drugą i trzecią próbkę hartowano natryskiem i rozwałcowano na zimno do grubości 0,254 mm.

Wszystkie trzy próbki odwęglono w temperaturze 815°C w mokrym wodorze o temperaturze rosy 57°C. Wszystkie próbki pokryto warstwą żaroodporną z tlenku magnezowego zawierającą 6% wagowych siarki. Powleczone próbki wyżarzono w komorze w temperaturze 1205°C w ciągu 27 godzin podnosząc temperaturę z szybkością 28°C na godzinę. Ostatnie stadium wyżarzania końcowego prowadzono w atmosferze azotu, zaś pozostałe etapy – atmosferze wodoru.

Przenikalność magnetyczna kolejnych próbek wynosiła 1889, 1864 i 1896 przy natężeniu pola $H = 10$ oerstedów. Druga i trzecia próbka stanowią ilustrację odwrotnej proporcjonalności między temperaturą wyżarzania, po którym następuje walcowanie na gorąco, oraz końcową grubością blachy.

Przykład III. W piecu laboratoryjnym otrzymano stop zawierający (w procentach wagowych) 0,030% C, 0,100% Mn, 0,025% S, 3,29% Si, 0,0072% B, 0,0078% N i 0,007% Al.

Materiał odlano w postaci 25,4 mm grubych wlewków ogrzano do temperatury 1260°C i walcowano na gorąco do grubości około 2,29 mm. Następnie materiał wyżarzono w temperaturze 927°C w ciągu 3,5 minut, ochłodzono powietrzem, wytrawiono i rozwałcowano na zimno do grubości 0,356 mm. Rozwałcowaną na zimno stal krzemową odwęglono w temperaturze 815°C w wilgotnym wodorze o temperaturze rosy 57°C i pokryto warstwą tlenku magnezowego zawierającą 6% wagowych siarki. Powleczoną stal krzemową poddano końcowemu wyżarzaniu w temperaturze 1205°C w ciągu 27 godzin podnosząc temperaturę z szybkością 28°C na godzinę. Ostatnie stadium końcowego wyżarzania prowadzono w atmosferze azotu, zaś pozostałe etapy – w atmosferze wodoru. Przenikalność magnetyczna końcowego produktu wynosiła 1889 przy natężeniu pola $H = 10$ oerstedów.

Zastrzeżenia patentowe

1. Stal krzemowa o komórkach sześciennych, regularnie zorientowanych krawędziami odznaczająca się przenikalnością magnetyczną co najmniej 1820 przy natężeniu pola $H = 10$ oerstedów, z n a m i e n n a t y m, że zawiera 2–4% wagowych krzemu, 0,01–0,15% wagowych manganu, 0,02–0,05% wagowych siarki, 0,002–0,012% wagowych boru, 0,003–0,010% wagowych azotu, a resztę stanowi żelazo i zanieczyszczenia, zależne od sposobu wytapiania.

2. Sposób wytwarzania stali krzemowej o komórkach sześciennych regularnie zorientowanych krawędziami, odznaczającej się przenikalnością magnetyczną co najmniej 1820 przy natężeniu pola $H = 10$ oerstedów, z n a m i e n n y t y m, że stop stali krzemowej, zawierający 2–4% wagowych krzemu, 0,01–0,15% wagowych manganu, 0,02–0,05% wagowych siarki, 0,002–0,012% wagowych boru, 0,003–0,010% wagowych azotu, którego resztę stanowi żelazo i zanieczyszczenia, zależne od sposobu przygotowania stopu, po wytopie ponownie podgrzewa się do temperatury 1260–1400°C walcuje się na gorąco do pośredniej grubości 1,25–2,54 mm, wyżarza się rozwałcowaną na gorąco stal krzemową w temperaturze 815–1150°C, wytrawia się i walcuje na zimno do żądanej grubości końcowej, odwęglą się rozwałcowaną na zimno stal krzemową, powleka ją warstwą żaroodporną, a następnie poddaje wyżarzaniu końcowemu, którego co najmniej część prowadzi się w obecności suchego wodoru w temperaturze 1093–1260°C w ciągu 8–30 godzin.

3. Sposób według zastrz. 2, z n a m i e n n y t y m, że jako stop stosuje się materiał zawierający 2–4% wagowych krzemu, 0,03–0,15% wagowych manganu, 0,02–0,05 wagowych węgla, 0,01–0,03% wagowych siarki, 0,003–0,010% wagowych boru, 0,004–0,008% wagowych azotu, i którego resztę stanowi żelazo i zanieczyszczenia zależne od sposobu wytwarzania stopu.

4. Sposób według zastrz. 2, z n a m i e n n y t y m, że podczas wyżarzania końcowego, kiedy ma miejsce pierwszy i drugi okres wzrostu ziaren, podczas pierwszego okresu wzrostu ziaren dodaje się do otoczenia stali krzemowej inhibitor wzrostu ziaren, przy czym jako inhibitor stosuje się siarkę, związki siarki, selen lub związki selenu.

5. Sposób według zastrz. 2, z n a m i e n n y t y m, że jako warstwą żaroodporną stosuje się tlenek magnezowy zawierający 1–6% wagowych siarki.

6. Sposób według zastrz. 2, z n a m i e n n y t y m, że najbardziej intensywne ogrzewanie w okresie końcowego wyżarzania prowadzi się w atmosferze azotu, zaś pozostałą część prowadzi się w atmosferze suchego wodoru.

7. Sposób według zastrz. 2, z n a m i e n n y t y m, że wyżarzanie po walcowaniu na gorąco prowadzi się

w temperaturze $927-1093^{\circ}\text{C}$, przy czym temperatura ta jest odwrotnie proporcjonalna do końcowej grubości stali krzemowej.

8. Sposób według zastrz. 3, z n a m i e n n y t y m, że jako stop stosuje się materiał zawierający około 0,007% wagowych boru i około 0,007% wagowych azotu.

9. Sposób według zastrz. 6, z n a m i e n n y t y m, że temperaturę w okresie intensywnego ogrzewania podczas wyżarzania końcowego podnosi się z szybkością nie przekraczającą 70°C na godzinę.