



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI0711794-9 A2**

(22) Data de Depósito: 23/05/2007
(43) Data da Publicação: 06/12/2011
(RPI 2135)



(51) *Int.Cl.:*

C21D 9/46
C21D 8/12
C22C 38/00
C22C 38/60
C23C 8/26
C23C 8/62
H01F 1/16
H01F 41/02

(54) **Título:** MÉTODO DE PRODUÇÃO DE CHAPA DE AÇO ELÉTRICO COM GRÃOS ORIENTADOS TENDO UMA ALTA DENSIDADE DE FLUXO MAGNÉTICO

(30) **Prioridade Unionista:** 24/05/2006 JP 2006-144062

(73) **Titular(es):** Nippon Steel Corporation

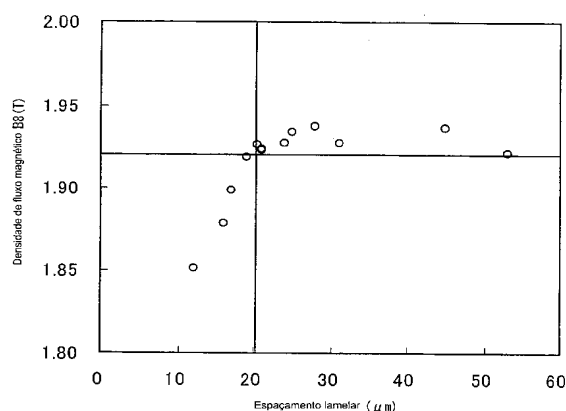
(72) **Inventor(es):** Norikazu Fujii, Tomoji Kumano, Yoshiyuki Ushigami

(74) **Procurador(es):** Dannemann, Siemsen, Bigler & Ipanema Moreira

(86) **Pedido Internacional:** PCT JP2007060941 de 23/05/2007

(87) **Publicação Internacional:** WO 2007/136137de
29/11/2007

(57) **Resumo:** MÉTODO DE PRODUÇÃO DE CHAPA DE AÇO ELÉTRICO COM GRÃOS ORIENTADOS TENDO UMA ALTA DENSIDADE DE FLUXO MAGNÉTICO. Na produção de uma chapa de aço elétrico com grãos orientados que é aquecida a uma temperatura de não mais de 1350°C, (a) a chapa laminada a quente é aquecida até uma temperatura prescrita de 1000°C a 1150°C, e após a recristalização é recozida por um período de tempo requerido a uma temperatura menor de 850°C a 1100°C, ou (b) no processo de recozimento da chapa laminada a quente, a descarburização é executada para ajustar a diferença na quantidade de carbono antes e após a descarburização para 0,002 a 0,02% em massa. No processo de elevação da temperatura usado no recozimento de descarburização da chapa de aço, o aquecimento é conduzido na faixa de temperaturas de 550°C a 720°C/s a uma taxa de aquecimento de pelo menos 40°C/s, preferivelmente 75 a 125°C/s, utilizando aquecimento por indução para o aquecimento rápido usado no processo de elevação da temperatura no recozimento de descarburização.





PI0711794-9

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**MÉTODO DE PRODUÇÃO DE CHAPA DE AÇO ELÉTRICO COM GRÃOS ORIENTADOS TENDO UMA ALTA DENSIDADE DE FLUXO MAGNÉTICO**".

Campo Técnico

- 5 A presente invenção refere-se a um método de usar o aquecimento de uma placa de baixa temperatura para produção de uma chapa de aço elétrico com grãos orientados usada como material magnético suave nos núcleos de equipamentos elétricos tais como transformadores.

Fundamentos da Técnica

- 10 Uma chapa de aço elétrico com grãos orientados é uma chapa de aço contendo até 7% de Si que é composta de grãos de cristal concentrados na direção (110)<001>. O controle da orientação do cristal na produção dessa chapa de aço elétrico com grãos orientados é alcançado utilizando-se um fenômeno de crescimento de grão catastrófico chamado recristalização secundária.
- 15

- Um método para controlar essa recristalização secundária que é praticado industrialmente é produzir um precipitado fino chamado de inibidor efetuando-se o aquecimento completo da placa em solução sólida antes da laminação a quente, seguido de laminação a quente e recozimento. Nesse método, para o aquecimento completo em solução sólida o precipitado tem que ser aquecido até uma alta temperatura de 1350°C a 1400°C ou acima, que é cerca de 200°C maior que a temperatura de aquecimento da placa de aço comum e portanto requer o uso de um forno de aquecimento especial, enquanto a grande quantidade de carepa fundida é um outro problema.
- 20

- 25 Portanto, foram executados pesquisa e desenvolvimento em relação à produção de chapa de aço elétrico de grãos orientados usando aquecimento da placa a baixa temperatura.

- Na Japanese Patent Publication (B) nº 62-45285 Komatsu e outros descrevem um método de produção usando-se o aquecimento de placas a baixa temperatura que usa um inibidor (Al,Si)N por nitretação. Como método de nitretação, na Japanese Patent Publication (A) nº 2-77525, Kobayashi e outros descrevem como método de nitretação de tiras após o reco-
- 30

zimento de descarburização, e em "Materials Science Forum", 204-206 (1996), pgs. 593-598, os presentes inventores relatam o comportamento dos nitretos quando é usada a nitretação em tiras.

5 Também, na Japanese Patent Publication (A) nº 2001-152250 os presentes inventores relataram um método de produção no qual, após o completo aquecimento da solução a uma temperatura de 1200°C a 1350°C, o inibidor é formado por nitretação.

10 Também na Japanese Patent Publication (B) nº 9-32929, os presentes inventores descreveram um método de produção de uma chapa de aço elétrico com grãos orientados usando o aquecimento de placa a baixa temperatura, no qual é mostrado que devido ao inibidor não ser formado durante o recozimento de descarburização, é importante ajustar-se a estrutura da recristalização primária no recozimento de descarburização para controlar a recristalização secundária, e que a recristalização secundária se torna ins-
15 tável se o coeficiente de variação da distribuição de tamanho de grão da recristalização primária tornar-se maior que 0,6, resultando na falta de homogeneidade da estrutura do grão.

Além disso, como resultado de outra pesquisa na estrutura da recristalização primária e inibidores, que são fatores de controle da recristali-
20 zação, os inventores também descobriram que grãos dentro da estrutura de recristalização primária tendo uma orientação {411} influenciam o crescimento preferencial {110}<001> dos grãos da recristalização secundária, e na Japanese Patent Publication (A) nº 9-256051, mostraram que chapas de aço elétrico com grãos orientados tendo uma alta densidade de fluxo magnético
25 podem ser produzidas industrialmente de maneira estável pelo ajuste da razão {111}/{411} das texturas de recristalização primária recozida para descarburização para não mais que 3,0 , seguido de nitretação para reforçar o inibidor. Foi também mostrado que havia um método de controle da estrutura do grão após a recristalização primária, por exemplo, pelo controle da taxa
30 de elevação do aquecimento durante o processo de recozimento de descarburização para ser 12°C/s ou maior.

Foi também descoberto que um método de controle da taxa de

aquecimento foi muito eficaz como método para controlar a estrutura de grãos da recristalização. Na Japanese Patent Publication (A) nº 2002-60482, os presentes inventores propuseram a estabilização da recristalização, no processo de elevação de temperatura durante o recozimento de descarburização, pelo controle da razão $I\{111\}/I\{411\}$ na estrutura de grãos recozidos por descarburização para não ser maior que 3 pelo aquecimento da chapa de aço de uma região de temperatura não acima de 600°C até uma temperatura prescrita dentro da faixa de 750°C a 900°C a uma taxa de aquecimento de pelo menos 40°C/s e, no recozimento seguinte, ajustando-se a quantidade de oxigênio na camada de oxidação da chapa de aço para não ser maior que 2,3 g/m².

Aqui, $I\{111\}$ e $I\{411\}$ são as proporções de grãos paralelos aos planos respectivos $\{111\}$ e $\{411\}$ da chapa, mostrando a intensidade de difração medida pela difração de raios-x em uma camada que está a um décimo da espessura a partir da superfície da chapa.

No método acima, é necessário aquecer até uma temperatura prescrita dentro da faixa de 750°C a 900°C a uma taxa de aquecimento de pelo menos 40°C/s. Isso pode ser feito usando-se meios de aquecimento tais como equipamento de recozimento de descarburização modificado utilizando tubos radiantes ou outros meios de aquecimento radiante convencionais, métodos utilizando uma fonte de aquecimento de alta energia tal como um laser, aquecimento por indução, equipamento de aquecimento ôhmico, e assim por diante. Desses métodos de aquecimento, o aquecimento por indução é vantajoso pelo fato de que ele fornece um alto grau de liberdade em relação à taxa de aquecimento, permite o aquecimento sem contato com a chapa, e é relativamente fácil de instalar em um forno de recozimento de descarburização.

Entretanto, é difícil usar o aquecimento por indução para aquecer chapas de aço elétrico até o ponto de Curie ou acima dele, uma vez que quando a temperatura chega próxima ao ponto de Curie, devido à finura da chapa a corrente de Foucault penetra profundamente e circunda a parte da camada de superfície seccional da chapa de aço na direção transversal, fa-

zendo as correntes de Foucault na frente e atrás se anularem e interrompe o fluxo da corrente de Foucault.

O ponto de Curie da chapa de aço elétrico com grãos orientados está na ordem de 750°C, então enquanto o aquecimento por indução pode
5 ser usado para aquecer a chapa até aquela temperatura, o aquecimento ôhmico ou outros meios similares têm que ser usados para aquecê-la até temperaturas mais elevadas.

Entretanto, usando-se outro meio de aquecimento em combinação perde-se as vantagens de se usar o equipamento de aquecimento por
10 indução, em adição a que o aquecimento ôhmico requer contato com a chapa de aço, o que pode danificar a chapa.

Assim, quando uma temperatura final da região de aquecimento rápido é de 750°C a 900°C como no caso da Japanese Patent Publication (A) nº 2002-60842, as vantagens do aquecimento por indução não podem
15 ser totalmente desfrutadas.

Resumo da Invenção

Na produção de chapas de aço elétrico com grãos orientados usando-se aquecimento de placa a baixa temperatura a não mais que 1350°C descrito na Japanese Patent Publication (A) nº 2001-152250, o pro-
20 blema era eliminar as desvantagens acima e melhorar a estrutura de grão da recristalização primária recozido por descarburização, fazendo-se a região de temperatura na qual a taxa de aquecimento do recozimento de descarburização é controlada no processo de elevação da temperatura do recozimen-
to de descarburização, dentro da faixa que possa ser aquecida usando-se
25 apenas o aquecimento por indução.

Para resolver o problema acima, o método de produção de chapa de aço elétrico com grãos orientados da presente invenção compreende o que segue.

1) Um método de produção de chapa de aço elétrico compreendendo: aquecer o aço silício contendo, em % em massa, Si: 0,8 a 7%, C: até
30 0,085%, Al solúvel em ácido: 0,01 a 0,065%, N: até 0,075%, Mn: 0,02 a 0,20%, S eq. = S + 0,406 x Se: 0,003 a 0,05% até pelo menos qualquer das

temperaturas T1, T2 e T3 (°C) representadas pelas fórmulas apresentadas abaixo e não acima de 1350°C, seguido por laminação a quente, recozimento da chapa laminada a quente assim obtida e submetendo-se a mesma a uma laminação a frio ou a uma pluralidade de laminções a frio com recozimento intermediário para formar uma chapa de aço com a espessura final, aplicar o recozimento de descarburização à chapa de aço, revestir a chapa com um separador de recozimento, conduzir o recozimento final e um processo para aumentar a quantidade de nitrogênio na chapa de aço entre o recozimento de descarburização e o início da recristalização secundária no recozimento de acabamento,

onde após a chapa laminada a quente ser recristalizada ao ser aquecida até uma temperatura prescrita de 1000°C a 1150°C a chapa é recozida a uma temperatura menor de 850°C a 1100°C para controlar o espaçamento lamelar na estrutura de grãos recozida para ser 20 µm ou mais, e em um processo de elevação de temperatura no recozimento de descarburização da chapa de aço, a chapa é aquecida em uma faixa de temperaturas de 550°C a 720°C a uma taxa de aquecimento de pelo menos 40°C/s.

$$T1 = 10062/(2,72 - \log([Al] \times [N])) - 273$$

$$T2 = 14855/(6,82 - \log(\{Mn\} \times [S])) - 273$$

$$T3 = 10733/(4,08 - \log([Mn] \times [Se])) - 273$$

Aqui, {Al}, {N}, [Mn], [S] e [Se] são os respectivos teores (% em massa) de Al solúvel em ácido, N, Mn, S e Se.

Estrutura lamelar refere-se a uma estrutura em camadas paralela à superfície de laminação, e o espaçamento lamelar é o espaçamento médio da estrutura em camadas.

2) Um método de produção de chapa de aço elétrico com grãos orientados compreendendo: aquecer o aço silício contendo. Em % em massa, Si: 0,8 a 7%, C: até 0,085%, Al solúvel em ácido: 0,01 a 0,065%, N: até 0,075%, Mn: 0,02 a 0,20%, S equivalente = S + 0,406 x Se: 0,003 a 0,05% até pelo menos qualquer uma das temperaturas T1, T2 e T3 (°C) representadas pelas fórmulas apresentadas abaixo e não acima de 1350°C, seguido de laminação a quente, recozimento da chapa laminada a quente assim ob-

tida e sujeição da mesma a uma laminação a frio ou a uma pluralidade de laminações a frio com recozimento intermediário para formar uma chapa de aço com a espessura final, aplicar o recozimento de descarburização à chapa de aço, revestir a chapa com um separador de recozimento, aplicar o recozimento de acabamento e um processo para aumentar a quantidade de nitrogênio na chapa de aço entre o recozimento de descarburização e o início do recozimento de recristalização secundária final, onde no processo de recozimento da chapa laminada a quente, 0,002 a 0,02% em massa de uma quantidade pré-descarburização de carbono na chapa de aço é descarburizada para controlar o espaçamento lamelar na estrutura da superfície recozida para 20 µm ou mais e, em um processo de elevação da temperatura no recozimento de descarburização da chapa de aço, a chapa é aquecida em uma faixa de temperaturas de 550°C a 720°C a uma taxa de aquecimento de pelo menos 40°C/s.

$$T1 = 10062/(2,72 - \log([Al] \times [N])) - 273$$

$$T2 = 14855/(6,82 - \log([Mn] \times [S])) - 273$$

$$T3 = 10733/(4,08 - \log([Mn] \times [Se])) - 273$$

Aqui, {Al}, {N}, [Mn], [S] e [Se] são os respectivos teores (% em massa) de Al solúvel em ácido, N, Mn, S e Se.

A estrutura da camada de superfície refere-se à região da superfície externa até um quinto da espessura da chapa, e a estrutura lamelar refere-se ao espaçamento médio da estrutura em camadas paralela à superfície de laminação.

A invenção dos itens 1) e 2) acima também compreende:

3) o mencionado aço silício que também contém, em % em massa, Cu: 0,01 a 0,30% e é laminado a quente após ser aquecido até uma temperatura que é pelo menos a temperatura T4 (°C) abaixo.

$$T4 = 43091/(25,09 - \log([Cu] \times [Cu] \times [S])) - 273$$

Aqui, [Cu] é o teor de Cu.

4) no processo de elevação de temperatura no recozimento de descarburização da chapa de aço, o aquecimento da chapa em uma faixa de temperaturas de 550°C a 720°C a uma taxa de aquecimento de 50 a

250°C/s.

5) no recozimento de descarburização da chapa de aço, o aquecimento na faixa de 550°C a 720°C por aquecimento por indução.

6) A presente invenção também compreende um processo de elevação de temperatura do recozimento de descarburização da chapa de aço onde quando a faixa de temperaturas na qual a capa é aquecida na mencionada chapa de aquecimento é feita ser de T_s (°C) a 720°C, a faixa a seguir de T_s (°C) a 720°C está de acordo com uma taxa de aquecimento H (°C/s) da temperatura ambiente até 500°C.

10 $H \leq 15$: $T_s \leq 550$

$15 < H$: $T_s \leq 600$

7) A presente invenção também compreende o recozimento de descarburização sendo executado a uma temperatura e por um tempo onde o diâmetro do grão da recristalização primária recozida para descarburização é de 7 μm a menos de 18 μm .

8) A presente invenção também compreende a quantidade de nitrogênio [N] da chapa de aço sendo aumentada para satisfazer a fórmula $[N] \geq 14/27 [A]$ correspondendo à quantidade de Al solúvel em ácido [Al] da chapa de aço.

9) A presente invenção também compreende a chapa de aço silício contendo, em % em massa, um ou mais entre Cr: até 0,3%, P: até 0,5%, Sn: até 0,3%, Sb: até 0,3%, Ni: até 1% e Bi: até 0,01%.

De acordo com esta invenção, usando-se uma faixa de temperaturas de duas etapas para conduzir o recozimento da chapa laminada a quente na produção de chapas de aço elétrico com grãos orientados usando o aquecimento de laca a baixa temperatura a uma temperatura de 1350°C ou menos ou, como descrito acima, usando-se a descarburização durante o recozimento da chapa laminada a quente para controlar o espaçamento lamelar, o limite superior da temperatura para manter a alta taxa de aquecimento usada no processo de elevação de temperatura do recozimento de descarburização para melhorar a estrutura de grãos após a recristalização primária após o recozimento de descarburização pode ser ajustado em uma

menor faixa de temperaturas na qual o aquecimento pode ser conduzido usando-se apenas o aquecimento por indução, tornando mais fácil conduzir o aquecimento e mais fácil obter uma chapa de aço elétrico com grãos orientados tendo boas propriedades magnéticas.

5 Portanto, usar-se aquecimento por indução para o aquecimento acima fornece vários efeitos, tais como um alto grau de liberdade em relação à taxa de aquecimento, aquecimento sem contato com a chapa de aço, e é relativamente fácil de instalar em um forno de recozimento de descarburização.

10 Além disso, ajustando-se o diâmetro do grão de cristal recozido para descarburização ou a quantidade de nitrogênio da chapa de aço torna possível efetuar a recristalização secundária mais estavelmente, mesmo quando a taxa de aquecimento do recozimento de recristalização é aumentada.

15 A presente invenção também permite que as características magnéticas sejam melhoradas pela adição dos elementos acima descritos ao aço silício.

Breve Descrição dos Desenhos

20 A figura 1 mostra a relação entre o espaçamento lamelar na estrutura de grãos pré-laminada a frio dos espécimes das chapas laminadas a quente que foram recozidas em uma faixa de temperaturas de dois estágios, e a densidade de fluxo magnético B8.

25 A figura 2 mostra a relação entre a taxa de aquecimento na faixa de temperaturas de 550°C a 720°C durante a elevação de temperatura do recozimento de descarburização dos espécimes das chapas laminadas a quente que foram recozidas na faixa de temperaturas de dois estágios, e produzem densidade de fluxo magnético B8.

30 A figura 3 mostra a relação entre o espaçamento lamelar da estrutura de grãos da camada de superfície pré-laminada a frio dos espécimes que foram descarburizados durante o recozimento da chapa laminada a quente, e a densidade de fluxo magnético B8.

 A figura 4 mostra a relação entre a taxa de aquecimento na faixa

de temperaturas de 550°C a 720°C durante a elevação da temperatura do recozimento de descarburização dos espécimes que foram descarburizados durante o recozimento da chapa laminada a quente, e a densidade de fluxo magnético B8.

5 Descrição Detalhada da Invenção

Na produção de chapas de aço elétrico com grãos orientados usando aquecimento de placa a baixa temperatura de não mais que 1350°C descrita na Japanese Patent Publication (A) nº 2001-152250, os inventores consideraram que supondo-se que o espaçamento lamelar na estrutura de grãos da chapa laminada a quente recozida afete a estrutura de grãos após a recristalização primária, pode ser possível aumentar a razão de grãos {411} na textura da recristalização primária mesmo se a temperatura na qual o aquecimento rápido durante o recozimento de descarburização é interrompido for diminuída (mesmo se interrompida antes da temperatura em que a recristalização primária ocorre). Eles, portanto, fizeram várias mudanças nas condições de recozimento da chapa laminada a quente e investigaram a relação entre a densidade de fluxo magnético B8 da chapa de aço após a recristalização secundária e o espaçamento lamelar na estrutura dos grãos da chapa laminada a quente após o recozimento, e a relação entre a densidade de fluxo magnético B8 e a taxa de aquecimento a várias temperaturas no processo de elevação de temperatura no recozimento de descarburização.

Como resultado, a invenção foi aperfeiçoada pela descoberta de que no processo de recozimento da chapa laminada a quente, após o aquecimento na temperatura prescrita para efetuar a recristalização e então recozendo a uma temperatura mais baixa e controlando o espaçamento lamelar na estrutura de grãos recozida para ser 20 µm ou mais, a região de temperatura de maior mudança estrutural no processo de elevação da temperatura do recozimento de descarburização foi 700°C a 720°C, e que pelo aquecimento na faixa de temperaturas de 550°C a 720°C ali incluída a uma taxa de aquecimento de pelo menos 40°C/s, preferivelmente 50 a 250°C/s, e mais preferivelmente 75 a 125°C/s, foi possível controlar a recristalização primária de forma que a razão $I\{111\}/I\{411\}$ na textura recozida para descarburização

não foi maior que um valor prescrito, tornando assim possível alcançar esta-velmente uma estrutura de recristalização secundária.

Espaçamento lamelar é o espaçamento médio da estrutura em camadas chamada de estrutura lamelar paralela à superfície de laminação.

5 As experiências que forneceram essa descoberta estão descri-tas abaixo.

Inicialmente, foi examinada a relação entre as condições de re-cozimento da chapa laminada a quente e a densidade de fluxo magnético B8 dos espécimes após o recozimento de acabamento.

10 A figura 1 mostra a relação entre o espaçamento lamelar na es-trutura dos espécimes antes da laminação a frio, e a densidade de fluxo magnético B8 de espécimes que sofreram recozimento de acabamento.

Os espécimes que foram usados foram placas contendo, em % em massa, Si: 3,2%, C: 0,045% a 0,065%, Al solúvel em ácido: 0,025%, N: 15 0,005%, Mn: 0,04%, S: 0,015% e o saldo se Fe e as inevitáveis impurezas. As placas foram aquecidas até 1300°C e laminadas a quente até uma es-pessura de 2,3 mm (no caso desse sistema de componentes, T1 = 1246°C e T2 = 1206°C). Essa laminação a quente foi seguida pela recristalização a 1120°C, e as chapas laminadas a quente foram então submetidas ao reco-20 zimento de dois estágios a uma temperatura de 800°C a 1120°C, e os espé-cimes laminados a quente foram então laminados a frio até uma espessura de 0,3 mm, aquecidas até 550°C a uma taxa de aquecimento de 15°C, a-quecida de 550°C a 720°C a uma taxa de aquecimento de 40°C/s, e então aquecida a uma taxa de aquecimento de 15°C/s até 830°C para o recozi-25 mento de descarburização, recozida em uma atmosfera de amônia, subme-tida à nitretação para aumentar o nitrogênio na chapa de aço, revestido com um separador de recozimento composto principalmente de MgO, então so-frendo o recozimento de acabamento. O espaçamento lamelar foi ajustado ajustando-se a quantidade de C e a temperatura do segundo estágio no re-30 cozimento de chapa laminada a quente de dois estágios.

Como pode ser visto da figura 1, quando o espaçamento lamelar foi ajustado para 20 µm ou mais, foi possível obter uma alta densidade de

fluxo magnético B8 de 1.92 T ou maior pela elevação da temperatura a uma taxa de aquecimento de 40°C/s na região de temperatura do recozimento de descarburização 550°C a 720°C.

5 Também, com base em uma análise da textura da recristalização primária os espécimes chapas com recozimento de descarburização da qual foi obtido um B8 de 1,92 T, foi confirmado que a razão $I\{111\}/I\{411\}$ em todos os espécimes foi de não mais que 3.

10 A seguir, foi executada uma investigação em relação às condições de aquecimento durante a descarburização que forneceu uma chapa de aço tendo uma alta densidade de fluxo magnético (B8), sob a condição do espaçamento lamelar na estrutura de grãos dos espécimes antes da laminação a frio ser de 20 µm ou mais.

15 Os espécimes usados tinham 0,05% de C, e em relação à temperatura de recozimento da chapa laminada a quente, a temperatura do primeiro estágio foi de 1120°C e a temperatura do segundo estágio foi de 920°C, e foi usado um espaçamento lamelar de 26 µm, diferente daquele dos espécimes laminados a frio que foram fabricadas da mesma forma como no caso da figura 1, e a taxa de aquecimento foi variada na faixa de temperaturas de 550°C a 720°C durante a elevação de temperatura do processo de recozimento de descarburização, e após o recozimento de acabamento a 20 densidade de fluxo magnético dos espécimes foi medida.

Da figura 2, pode ser entendido que uma chapa de aço elétrico tendo uma alta densidade de fluxo magnético (B8) de 1,92 ou maior pode ser obtida se a taxa de aquecimento a cada temperatura na faixa de temperaturas de 550°C a 720°C na elevação de temperatura do processo de recozimento de descarburização for 40°C/s ou maior, e que a chapa de aço elétrico tendo uma densidade de fluxo magnético (B8) ainda maior pode ser 25 obtida controlando-se a taxa de aquecimento para 50 a 250°C/s, e mais preferivelmente 75 a 125°C/s.

30 Consequentemente, no processo de recozimento da chapa laminada a quente, após a chapa ser aquecida até uma temperatura prescrita de 1000°C a 1150°C e recristalizada ela é recozida a uma temperatura menor

que 850°C a 1100°C, e controlando-se o espaçamento lamelar na estrutura de grãos recozidos ser de 20 µm ou mais, mesmo se a faixa de temperatura do aquecimento rápido no processo de elevação de temperatura do recozimento de descarburização estiver dentro da faixa de 550°C a 720°C, é possível aumentar a razão de orientação dos grãos {411} e manter a razão $I\{111\}/I\{411\}$ como sendo não mais que 3, tornando possível produzir esta-
velmente uma chapa de aço elétrico com grãos orientados tendo uma alta densidade de fluxo magnético.

Uma vez que foi confirmado que foi eficaz controlar o espaçamento lamelar na estrutura de grãos recozidos para descarburização para ser 20 µm ou mais, conforme descrito acima, os inventores conduziram uma análise em relação a outros meios que controlam o espaçamento lamelar para ser 20 µm ou mais.

Com base nos resultados das experiências que foram similares aos das experiências que obtiveram as FIGs. 1 e 2 acima, foi descoberto que no processo de recozimento da chapa laminada a quente, o espaçamento lamelar na estrutura de grãos da camada de superfície recozida pode ser controlada para ser 20 µm ou mais pela descarburização da quantidade de carbono de 0,002 a 0,02% em massa, e que mesmo no caso em que isto é feito, a recristalização primária pode ser controlada de forma que a razão $I\{111\}/I\{411\}$ na textura do grão no recozimento de descarburização seja de não mais que 3, pelo aquecimento da chapa de aço uma região de temperatura de 550°C a 720°C a uma taxa de aquecimento de pelo menos 40°C/s no processo de elevação de temperatura do recozimento de descarburização, permitindo o alcance estável de uma estrutura de recristalização secundária.

A camada de superfície da estrutura de grãos de superfície refere-se à região a partir da superfície externa até um quinto da espessura da chapa, e o espaçamento lamelar refere-se ao espaçamento médio da estrutura em camadas paralela à superfície de laminação.

A figura 3 mostra a relação entre o espaço lamelar da camada de superfície antes da laminação a frio e a densidade de fluxo magnético B8 após o recozimento de acabamento dos espécimes nos quais o espaçamen-

to lamelar da estrutura de grãos da superfície após o recozimento é mudado.

O espaçamento lamelar da camada de superfície foi ajustado mudando-se a pressão parcial de vapor d'água da atmosfera gasosa na qual o recozimento da chapa laminada a quente foi conduzido a 1100°C, ajustando-se a diferença na quantidade de carbono antes e depois da descarburização para dentro de uma faixa de 0,002 a 0,02% em massa.

Como pode ser visto da figura 3, uma alta densidade de fluxo magnético B8 de 1,92 ou maior pode ser obtida mesmo quando o espaçamento lamelar da camada de superfície é tornado 20 μm ou mais pela descarburização no processo de recozimento da chapa laminada a quente.

A figura 4 mostra a relação entre a taxa de aquecimento e a densidade de fluxo magnético B8 dos espécimes laminados a frio fabricados da mesma forma que aqueles das FIGs. 1 e 2 nos quais o grau de oxidação da atmosfera gasosa usada no recozimento da chapa laminada a quente foi ajustado para formar uma estrutura de grãos da camada de superfície tendo um espaçamento lamelar de 28 μm , quando a taxa de aquecimento durante o recozimento de descarburização com temperatura de 550°C a 720°C é mudada para várias taxas de elevação de temperatura.

Da figura 4 pode ser entendido que mesmo quando o espaçamento lamelar é controlado pela descarburização no processo de recozimento das chapa laminada a quente, a chapa de aço elétrico tendo alta densidade de fluxo magnético pode ser obtida quando a taxa de aquecimento de cada temperatura na mudança de temperatura de 550°C a 720°C na elevação de temperatura do processo de recozimento de descarburização é de pelo menos 40°C/s.

Não foi totalmente esclarecido o porquê de ao controlar-se o espaçamento lamelar na estrutura de grãos da chapa laminada a quente recozida muda-se as texturas {411} e {111}, mas a teoria corrente é a como segue.

É sabido que há locais preferenciais onde grãos de recristalização são produzidos e a locação dos locais preferenciais depende da orientação da recristalização. Se no processo de laminação a frio, os núcleos de

recristalização são imaginados como formando na estrutura lamelar no caso de {411} e na vizinhança da lâmina no caso de {111}, é possível explicar o fenômeno de que a razão de orientação de cristal {411} e {111} após a recristalização primária pode ser mudada pelo controle do espaçamento lamelar da estrutura do cristal antes da laminação a frio.

Também, quando (Al,Si)N e AlN são usados como inibidores, esses inibidores enfraquecem a superfície e os grãos da recristalização secundária tendo uma orientação {110}<001> são produzidos a partir da camada de superfície, então pode ser considerado importante controlar o espaçamento lamelar da estrutura de grãos da camada de superfície.

A invenção é descrita abaixo, com base nas descobertas acima.

As razões para as limitações nos componentes do aço silício usado na presente invenção serão explicadas agora.

A presente invenção usa como material de aço uma placa de aço silício para chapa de aço elétrico com grãos orientados tendo uma composição básica contendo pelo menos, em % em massa, Si: 0,8 a 7%, C: até 0,085%, Al solúvel em ácido: 0,01 a 0,065%, N: até 0,0075%, Mn: 0,02 a 0,20%, S equivalente = S + 0,406 x Se: 0,003 a 0,05% e o saldo sendo Fe e as inevitáveis impurezas, e também contendo 0,01 a 0,30% em massa de Cu, e outros componentes conforme necessário. As razões para as limitações na faixa de teores de cada componente são como segue.

Aumentando-se a quantidade de Si adicionado aumenta-se a resistência elétrica, melhorando as propriedades de perda de núcleo. Entretanto, se mais de 7% forem adicionados, a laminação a frio torna-se muito difícil, com o aço se fraturando durante a laminação. Até 4,8% é mais adequado para produção industrial. Se a quantidade for menor que 0,8%, ocorre a transformação γ durante o recozimento de acabamento, prejudicando a orientação de cristais da chapa de aço.

O C é um elemento eficaz para controlar a estrutura da recristalização primária, mas tem também um efeito adverso nas propriedades magnéticas, então é necessário conduzir a descarburização antes do recozimento de acabamento. Se o teor de C for maior que 0,085%, o tempo de

recozimento de descarburização é aumentado, prejudicando a produtividade industrial.

5 Nesta invenção, o Al solúvel em ácido é um elemento necessário uma vez que ele combina com N como (Al,Si)N para funcionar como um inibidor. A faixa de limitação é 0,01 a 0,065%, o que estabiliza a recristalização secundária.

10 Se houver mais de 0,12% de N, são produzidas bolhas na chapa de aço durante a laminação a frio, então um teor acima de 0,12% é evitado. Para tê-lo funcionando como um inibidor, são necessários até 0,0075%. Se a quantidade exceder 0,0075%, o estado de dispersão do precipitado torna-se não-homogêneo, produzindo uma instabilidade na recristalização secundária.

15 Se houver menos de 0,02% de Mn, ocorrem fraturas mais prontamente durante a laminação a quente. Como MnS e MnSe, o Mn também funciona como um inibidor, mas se houver mais de 0,20%, as dispersões de precipitados de MnS e MnSe tornam-se mais prontamente não-homogêneas, produzindo uma instabilidade na recristalização secundária. A faixa preferida é 0,03 a 0,09%.

20 Em combinação com o Mn, o S e o Se funcionam como inibidores. A função inibidora é reduzida de $S_{eq} = S + 0,406 Se$ for menor que 0,003%. Também, se houver mais de 0,05%, a dispersão dos precipitados torna-se mais prontamente não-homogênea, produzindo instabilidade na recristalização secundária.

25 O Cu também pode ser adicionado, como elemento constituinte de um inibidor. O Cu forma precipitados com S ou Se para assim funcionar como inibidor. A função do inibidor é diminuída se houver menos de 0,01%. Se a quantidade adicionada exceder 0,3%, a dispersão dos precipitados torna-se não-homogênea mais prontamente, produzindo saturação do efeito de redução da perda de núcleo.

30 Em adição aos componentes acima, se necessário, o material placa da invenção pode também conter pelo menos um elemento entre Cr, P, Sn, Sb, Ni, Bi, nas faixas de Cr: até 0,3%, P: até 0,5%, Sn: até 0,3%, Sb:

até 0,3%, Ni: até 1%, Bi: até 0,01%.

O Cr melhora a camada de oxidação do recozimento de descarburização e é um elemento eficaz para formar uma película vítrea; até 0,3% são adicionados.

5 O P é um elemento eficaz para aumentar a resistência específica e reduzir a perda de núcleo. Adicionar mais de 0,5% produz problemas de capacidade de laminação.

Sn e Sb são elementos bem conhecidos de segregação nos limites dos grãos. A presente invenção contém Al, então dependendo das condições do recozimento de acabamento, o teor de água descarregada do separador de recozimento pode oxidar o Al e variar a resistência do inibidor na posição da bobina, variando as propriedades magnéticas na posição da bobina. Uma medida para reagir a isso é um método que usa a adição desses elementos de segregação nos limites dos grãos para evitar a oxidação, para 10 o que até 0,30% de cada podem ser adicionados. Se a quantidade exceder 0,305, entretanto, a oxidação durante o recozimento de descarburização torna-se mais difícil, resultando na formação inadequada de película vítrea e um impedimento marcante para o recozimento de descarburização.

O Ni é um elemento eficaz para aumentar a resistência específica e reduzir a perda de núcleo. É também um elemento eficaz para controlar a estrutura metalográfica da chapa laminada a quente, melhorando as características magnéticas. Entretanto, a recristalização secundária torna-se instável se a quantidade adicionada exceder 1%. 20

Quando o Bi é adicionado até 0,01%, ele tem o efeito de estabilizar precipitados de sulfetos e similares, reforçando a função de inibição. Entretanto, adicionar-se mais de 0,01% tem o efeito adverso da formação de película vítrea. 25

O material de aço silício usado na presente invenção pode também conter, até o ponto que não prejudique as características magnéticas, elementos diferentes daqueles descritos acima e/ou elementos misturados com as inevitáveis impurezas. 30

A seguir, serão explicadas as condições de produção da presen-

te invenção.

A placa de aço silício tendo a composição acima descrita é obtida usando-se um conversor ou um forno elétrico para produzir um lingote de aço, se necessário submetendo-se os lingotes de aço à degaseificação a vácuo, seguido de lingotamento contínuo ou produção de blocos após a fundição. Isto é seguido de um aquecimento da placa precedendo a laminação a quente. Nessa invenção, é usada uma temperatura de aquecimento da placa de até 1350°C, o que evita os vários problemas do aquecimento da placa a uma alta temperatura (problemas tais como necessidade de forno de aquecimento especial, a grande quantidade de carepa fundida, e assim por diante).

Nessa invenção, também, o limite inferior de temperatura de aquecimento da placa precisa ser tal que os inibidores (AlN, MnS, e MnSe, etc.) estejam completamente em solução. Para isso, é necessário ajustar a temperatura de aquecimento da placa para ser pelo menos qualquer uma das temperaturas T1, T2 e T3 (°C) representadas pelas fórmulas a seguir, e controlar as quantidades dos elementos constituintes dos inibidores. Em relação aos teores de Al e de N, é necessário que T1 atinja não mais que 1350°C. Similarmente, em relação aos teores de Mn e S, aos teores de Mn e Se e aos teores de Cu e S, é necessário que T2, T3 e T4 não passem de 1350°C.

$$T1 = 10062/(2,72 - \log ([Al] \times [N])) - 273$$

$$T2 = 14855/(6,82 - \log ([Mn] \times [S])) - 273$$

$$T3 = 10733/(4,08 - \log ([Mn] \times [Se])) - 273$$

$$T4 = 43091/(25,09 - \log ([Cu] \times [Cu] \times [S])) - 273$$

Aqui, [Al], [N], [Mn], [S] e [Se] são os respectivos teores (% em massa) de Al solúvel em ácido, N, Mn, S e Se.

As placas de aço silício são geralmente lingotadas até uma espessura na faixa de 150 a 350 mm, e mais preferivelmente de 220 a 280 mm, mas podem ser lingotadas como as assim chamadas placas finas na faixa de 30 a 70 mm. Uma vantagem no caso de placas finas é que não é necessário executar-se desbaste até uma espessura intermediária quando

se produz chapa laminada a quente.

Placas aquecidas às temperaturas acima são então laminadas a quente para formar chapas laminadas a quente com a espessura requerida.

Nesta invenção, (a) a chapa laminada a quente é aquecida até
5 uma temperatura prescrita de 1000°C a 1150°C, e após a recristalização é recozida por um tempo requerido a uma temperatura menor que 850°C a 1100°C. Caso contrário, (b) no processo de recozimento da chapa laminada a quente é conduzida a descarburização para ajustar a diferença na quantidade de carbono antes e após a descarburização para 0,002 a 0,02% em
10 massa.

Dessa forma, a estrutura de grãos da chapa de aço recozida, ou o espaçamento lamelar da estrutura de grãos da camada de superfície da chapa de aço, é ajustada para 20 µm ou mais.

Quando se faz o recozimento como em (a), do ponto de vista da
15 promoção da recristalização da chapa laminada a quente, o primeiro estágio de recozimento pode ser conduzido a uma taxa de aquecimento de 5°C/s ou maior, e mais preferivelmente 10°C/s ou maior, a uma alta temperatura de 1100°C ou acima por um período de 0 s ou mais e a uma baixa temperatura da ordem de 1000°C e por 30 s ou mais. Do ponto de vista de manter a es-
20 trutura lamelar, o resfriamento após o segundo estágio de recozimento pode ser conduzido a uma taxa de resfriamento de 5°C/s ou mais, e mais preferivelmente 15°C/s ou mais.

Como também descrito em parte na Japanese Patent Publication (A) nº 2005-226111, o objetivo do recozimento da chapa laminada a quente
25 em dois estágios é ajustar o estado do inibidor, mas nada é sugerido em relação a se é possível aumentar a razão de grãos que tenham uma orientação na qual a recristalização secundária ocorre prontamente após a recristalização primária, mesmo quando a faixa de aquecimento rápido no processo de elevação da temperatura do recozimento de descarburização é ajustada
30 a uma faixa de temperaturas menor, quando se produzem chapas de aço elétrico com grãos orientados pelo último método acima descrito usando-se o recozimento da chapa laminada a quente em dois estágios para controlar o

espaçamento lamelar na estrutura do grão recozido, como na presente aplicação de patente.

5 Também, em um caso no qual a descarburização é conduzida no processo de recozimento da chapa laminada a quente, como em (b), métodos de tratamento conhecidos publicamente que podem ser usados incluem um método no qual o grau de oxidação é ajustado por ter a atmosfera gasosa contendo vapor d'água, e pelo método de revestir a superfície da chapa de aço com um acelerador de descarburização (K_2CO_3 e Na_2CO_3 , por exemplo).

10 O espaçamento lamelar da camada de superfície nesse caso é controlado usando-se uma quantidade de descarburização (a diferença na quantidade de carbono na chapa de aço antes e depois da descarburização) que esteja dentro da faixa de 0,002 a 0,02% em massa, e mais preferivelmente 0,003 a 0,008% em massa. Uma quantidade de descarburização de
15 menos de 0,002% em massa não tem efeito no espaçamento lamelar da superfície, enquanto 0,02% em massa ou mais tem um efeito adverso na textura da superfície.

Após isto, a chapa é laminada até uma espessura final em uma laminação a frio ou em duas ou mais laminações a frio separadas por recozimentos. O número de passas da laminação a frio é selecionado adequadamente levando-se em consideração o nível de propriedades do produto desejado e o custo. Na laminação a frio, uma razão de redução na laminação a frio final de pelo menos 80% é necessária para alcançar uma orientação de recristalização primária tal como {411} ou {111}.

25 A chapa de aço que foi laminada a frio é submetida ao recozimento de descarburização em uma atmosfera úmida para remover o C contido no aço. Um produto tendo uma alta densidade de fluxo magnético pode ser produzido estavelmente ajustado-se a razão $I\{111\}/I\{411\}$ na estrutura de grãos recozida para descarburização para ser não mais que 3 e então conduzindo-se o tratamento de nitretação antes da manifestação da recristalização secundária.
30

Como método de controle da estrutura de recristalização primária-

ria após o recozimento de descarburização, ela é controlada ajustando-se a taxa de aquecimento no processo de elevação da temperatura do recozimento de descarburização. Essa invenção é caracterizada pelo fato de que a chapa de aço a uma temperatura entre 550°C e 720°C é rapidamente aquecida a uma taxa de aquecimento de 40°C/s, preferivelmente 50 a 250°C/s, e mais preferivelmente 75 a 125°C/s.

A taxa de aquecimento tem um efeito maior na razão $I_{\{111\}}/I_{\{411\}}$ da textura da recristalização primária. Na recristalização primária, a facilidade da recristalização difere dependendo da orientação do cristal, então é necessário ajustar $I_{\{111\}}/I_{\{411\}}$ para não mais que 3, para controlar a taxa de aquecimento para facilitar a recristalização dos grãos orientados $\{411\}$. A recristalização primária dos grãos orientados $\{411\}$ ocorre mais prontamente a taxas na vizinhança de 100°C/s, então para ajustar $I_{\{111\}}/I_{\{411\}}$ para não mais que 3 para a produção estável de um produto tendo uma densidade de fluxo magnético (B8), é usada uma taxa de aquecimento de 40°C/s, preferivelmente 50 a 250°C/s, e mais preferivelmente 75 a 125°C/s.

A região de temperatura necessária para aquecer àquela taxa de aquecimento é basicamente a região de temperatura de 550°C a 720°C. O aquecimento rápido pode, naturalmente, ser iniciado a partir de 550°C ou abaixo até dentro da faixa da taxa de aquecimento acima. O limite inferior da faixa de temperaturas no qual uma alta taxa de aquecimento deve ser mantida afeta o ciclo de aquecimento em regiões de temperaturas mais baixas. Portanto, se a faixa de temperaturas na qual o aquecimento rápido é necessário é de uma temperatura inicial T_s (°C) até 720°C, a faixa seguinte de T_s (°C) a 720°C pode ser usada de acordo com a taxa de aquecimento H (°C/s) da temperatura ambiente até 500°C.

$$H \geq 15: T_s \leq 550$$

$$15 < H: T_s \leq 600$$

No caso de uma taxa de aquecimento padrão na região de baixa temperatura de 15°C/s, é necessário conduzir o aquecimento rápido a uma taxa de aquecimento de 40°C/s ou maior na faixa de 550°C a 720°C. É tam-

bém necessário conduzir o aquecimento rápido a uma taxa de aquecimento de 40°C/s ou maior na faixa de 550°C a 720°C no caso de uma taxa de aquecimento da região de baixa temperatura que seja mais lenta que 15°C/s. Por outro lado, em um caso no qual a taxa de aquecimento da região de baixa temperatura é mais rápida que 15°C/s, é suficiente conduzir o aquecimento rápido a uma taxa de aquecimento de 40°C/s ou maior na faixa a partir de uma temperatura que a 600°C ou menor é maior que 550°C, até 720°C. Quando o aquecimento a partir da temperatura ambiente foi conduzido a 50°C/s, por exemplo, uma taxa de elevação de temperatura de 40°C/s ou maior na faixa de 600°C a 720°C será suficiente.

Não há limitação particular no método para controle da taxa de aquecimento do recozimento de descarburização, mas uma vez no caso da presente invenção o limite superior da faixa de temperaturas de aquecimento rápido é 720°C, o aquecimento por indução pode ser efetivamente utilizado.

Conforme descrito na Japanese Patent Publication (A) 2002-60842, uma forma eficaz para utilizar estavelmente o efeito de ajuste da taxa de aquecimento acima é, após o aquecimento, na região de temperatura de 770 a 900°C, para efetuar o grau de oxidação da atmosfera gasosa ($\text{PH}_2\text{O}/\text{PH}_2$) que está acima de 0,15% e não acima de 1,1, para uma quantidade de oxigênio na chapa de aço de 2,3 g/m². Se o grau de oxidação da atmosfera gasosa for menor que 0,15, ela degradará a adesão da película vítrea que se forma na superfície da chapa de aço, enquanto se for maior que 1,1, ela produz defeitos na película vítrea. Ajustando-se a quantidade de oxigênio da chapa de aço para não mais que 2,3 g/m² suprime a decomposição do inibidor (Al,Si)N, permitindo a produção estável de chapa de aço elétrico com grãos orientados tendo uma alta densidade de fluxo magnético.

Também, conforme descrito na Japanese Patent Publication (A) nº 2001-152250, conduzindo-se o aquecimento do recozimento de descarburização a uma temperatura e por um período de tempo que produzam um diâmetro de grão da recristalização primária de 7 a 18 µm, a recristalização secundária pode ser mais estavelmente manifestada, permitindo a produção de chapas de aço elétrico com grãos orientados ainda mais excelentes.

Os métodos do processo de nitretação para aumentar o nitrogênio incluem um método no qual, após o recozimento de descarburização, é feito o recozimento em uma atmosfera contendo um gás tendo capacidade de nitretação tal como amônia, e um método de efetuar-la durante o recozimento de acabamento pela adição de um pó tendo nitretação tal como MnN ao separador de recozimento.

Para uma recristalização secundária mais estável quando uma taxa de aquecimento rápido é usada para o recozimento de descarburização, é desejável ajustar-se a razão de composição do (Al,Si)N, e em relação à quantidade de nitrogênio após a nitretação, para a razão da quantidade de nitrogênio: [N] para a quantidade de Al no aço: [Al], que é $[N]/[Al]$, ser pelo menos 14/27 em termos de razão de massa.

A seguir, é aplicado um separador de recozimento tendo óxido de magnésio como seu componente principal, após o que é executado o recozimento de acabamento para efetuar o crescimento preferencial dos grãos orientados {110}<001> pela recristalização secundária.

Conforme descrito anteriormente, na presente invenção, uma chapa de aço elétrico com grãos orientados é produzida aquecendo-se o aço silício até pelo menos uma temperatura na qual os inibidores prescritos estejam completamente em solução e sejam também aquecidos a uma temperatura que não esteja acima de 1350°C, laminada a quente e recozida após a laminação a quente, seguido de uma laminação a frio ou de uma pluralidade de laminações a frio separadas por recozimentos até uma espessura final, recozidas para descarburização, revestidas com um separador de recozimento e sofrem o recozimento de acabamento, e no intervalo do recozimento de descarburização até o início da recristalização secundária do recozimento de acabamento, a chapa de aço é submetida ao tratamento de nitretação. Foi possível produzir chapa de aço elétrico com grãos orientados tendo uma alta densidade de fluxo magnético pelo controle do espaçamento lamelar da estrutura de grãos (ou da estrutura de grãos da camada de superfície) da chapa de aço após o recozimento da chapa laminada a quente para ser 20 μm ou mais (a) pelo aquecimento da chapa laminada a quente

recozida te uma temperatura prescrita de 1000°C a 1150°C para efetuar a recristalização, seguida por recozimento a baixa temperatura de 850°C a 1100°C, ou (b) usando-se a descarburização no processo de recozimento da chapa laminada a quente para ajustar a diferença na quantidade de carbono antes e depois da descarburização em 0,002 a 0,02% em massa, e também pelo processo de elevação da temperatura usado no recozimento de descarburização da chapa de aço, pelo aquecimento na faixa de temperaturas de 550°C a 720°C a uma taxa de aquecimento de pelo menos 40°C/s, preferivelmente 50 a 250°C/s, e mais preferivelmente 75 a 125°C/s, seguido pela condução do recozimento de descarburização a uma temperatura e por um período de tempo que produzam grãos de recristalização primária tendo um diâmetro na faixa de 7 a 18 μm .

Exemplos

Exemplos da invenção estão descritos a seguir. Um exemplo de condições é usado para confirmar o potencial de implementação e o efeito da invenção. A invenção não é limitada a esses exemplos, e várias condições podem ser empregadas até o ponto em que o objetivo da invenção seja alcançado sem sair do escopo da invenção.

Exemplo 1

Placas contendo, em % em massa, Si: 3,2%, C: 0,05%, Al solúvel em ácido: 0,024%, N: 0,005%, Mn: 0,04%, S: 0,01% e o saldo sendo Fe e as inevitáveis impurezas foram aquecidas até 1320°C (no caso desse sistema de composição, $T_1 = 1242^\circ\text{C}$, $T_2 = 1181^\circ\text{C}$) e laminadas a quente até uma espessura de 2,3 mm. Então, foi conduzido um recozimento de um estágio em alguns espécimes (A) a 1130°C, e um recozimento de dois estágios foi conduzido em alguns espécimes (B) a 1130°C + 920°C. Os espécimes foram laminados a frio até uma espessura de 0,3 mm, e foram então aquecidos até 720°C a uma taxa de aquecimento de (1) 15°C/s, (2) 40°C/s, e (3) 100°C/s, então aquecidos até 850°C a 10°C/s, foram recozidos para descarburização e recozidos em uma atmosfera gasosa contendo amônia, aumentando o nitrogênio na chapa de aço para 0,02%. Os espécimes foram então revestidos com um separador de recozimento tendo MgO como seu principal

componente, e sofreram recozimento de acabamento.

A Tabela 1 mostra as propriedades magnéticas dos espécimes após o recozimento de acabamento. Os símbolos dos espécimes denotam a combinação do método de recozimento e da taxa de aquecimento. Quando tanto as condições do recozimento da chapa laminada a quente quanto as de recozimento de descarburização da invenção foram satisfeitas, foi obtida uma alta densidade de fluxo magnético.

Tabela 1

Espécime	Espaçamento lamelar (μm)	Densidade de fluxo magnético B8 (T)	Notas
(A-1)	15	1,897	Exemplo comparativo
(A-2)	15	1,901	Exemplo comparativo
(A-3)	15	1,903	Exemplo comparativo
(B-1)	26	1,917	Exemplo comparativo
(B-2)	26	1,924	Exemplo da invenção
(B-3)	26	1,931	Exemplo da invenção

Exemplo 2

10 Placas contendo, em % em massa, Si: 3,2%, C: 0,055%, Al solúvel em ácido: 0,026%, N: 0,005%, Mn: 0,04%, S: 0,015% e o saldo sendo Fe e as inevitáveis impurezas foram aquecidas até 1330°C (no caso desse sistema de composição, T1 = 1250°C, T2 = 1206°C, T4 = 1212°C) e lamina-

15 das a quente até uma espessura de 2,3 mm. Então foi conduzido o recozimento de um estágio em alguns espécimes (A) a 1120°C, e o recozimento de dois estágios foi conduzido em alguns espécimes (B) a 1120°C + 900°C. Os espécimes foram laminados a frio até uma espessura de 0,3 mm, e foram então aquecidos até 550°C a uma taxa de aquecimento de 20°C/s, e então também aquecidos de 550°C a 720°C a (1) 15°C/s, (2) 40°C/s, e (3) 100°C/s,

20 e então também aquecidos até 840°C a 15°C/s e recozidas para descarburização àquela temperatura e recozidas em uma atmosfera gasosa contendo amônia, aumentando o nitrogênio na chapa de aço até 0,02%. Os espécimes foram então revestidos com um separador de recozimento tendo MgO como seu principal componente, e sofreram o recozimento de acabamento.

A Tabela 2 mostra as propriedades magnéticas dos espécimes após o recozimento de acabamento. Quando tanto as condições do recozimento da chapa laminada a quente quanto as do recozimento de descarburização da invenção foram satisfeitas, foi obtida uma alta densidade de fluxo magnético.

5

Tabela 2

Espécime	Espaçamento lamelar (μm)	Densidade de fluxo magnético B8 (T)	Notas
(A-1)	18	1,883	Exemplo comparativo
(A-2)	18	1,901	Exemplo comparativo
(A-3)	18	1,909	Exemplo comparativo
(B-1)	24	1,919	Exemplo comparativo
(B-2)	24	1,933	Exemplo da invenção
(B-3)	24	1,952	Exemplo da invenção

Exemplo 3

Após a laminação a quente, os espécimes fabricados no Exemplo 2 foram submetidos ao recozimento em dois estágios a 120°C + 900°C para produzir um espaçamento lamelar de 24 μm . Os espécimes foram então aquecidos até 550°C a uma taxa de aquecimento de 20°C/s, também aquecidos de 550°C até 720°C a 40°C/s, e então também aquecidos até 840°C a 15°C/s e recozidos para descarburização àquela temperatura, que foi seguido pelo recozimento em uma atmosfera gasosa contendo amônia, aumentando o nitrogênio na chapa de aço para 0,008 a 0,020%. Os espécimes foram então revestidos com um separador de revestimento tendo MgO como seu componente principal, e sofreram recozimento de acabamento.

20

Tabela 3

Espécime	Quantidade de nitrogênio (%)	[N] / [Al]	Densidade de fluxo magnético B8 (T)	Notas
(A)	0,008	0,31	1,623	Exemplo comparativo

Espécime	Quantidade de nitrogênio (%)	[N] / [Al]	Densidade de fluxo magnético B8 (T)	Notas
(B)	0,011	0,42	1,790	Exemplo comparativo
(C)	0,017	0,65	1,929	Exemplo da invenção
(D)	0,020	0,77	1,933	Exemplo da invenção

Exemplo 4

Espécimes compreendidos de chapas laminadas a frio fabricadas no Exemplo 3 foram aquecidas até 720°C a uma taxa de aquecimento de 40°C/s, e foram então também aquecidas, e recozidas para descarburização a uma temperatura de 800°C a 900°C, que foi seguido de pelo recozimento em uma atmosfera gasosa contendo amônia, aumentando o nitrogênio na chapa de aço para 0,02%. Os espécimes foram então revestidos com um separador de recozimento tendo MgO como seu componente principal, e sofreram recozimento para descarburização. A Tabela 4 mostra as propriedades magnéticas, após o recozimento de acabamento, dos espécimes tendo diferentes diâmetros de grãos de recristalização primária após o recozimento de descarburização.

Tabela 4

Espécime	Temperatura de descarburização (°C)	Diâmetro do grão após o recozimento de descarburização (μm)	Densidade de fluxo magnético B8 (T)	Notas
(A)	800	6,3	1,872	Exemplo comparativo
(B)	840	9,8	1,941	Exemplo da invenção
(C)	870	13,4	1,937	Exemplo da invenção
(D)	900	19,9	1,903	Exemplo comparativo

Exemplo 5

Placas contendo, em % em massa, Si: 3,2%, C: 0,055%, Al solúvel em ácido: 0,026%, N: 0,006%, Mn: 0,055, S: 0,05%, Se: 0,015%, Sn: 0,1%, e o saldo sendo Fe e as inevitáveis impurezas, foram aquecidas até 1130°C (no caso desse sistema de composição, T1 = 1269°C, T2 = 1152°C, T3 = 1217°C) e laminadas a quente até uma espessura de 2,3 mm. Então um recozimento de um estágio foi conduzido em alguns espécimes (A) a 1130°C, e um recozimento de dois estágios foi conduzido em alguns espécimes (B) a 1130°C + 920°C. Os espécimes foram laminados a frio até uma espessura de 0,3 mm, e foram então aquecidas até 550°C a uma taxa de aquecimento de 20°C/s, e então de 550°C até 720°C a uma taxa de aquecimento de (1) 15°C/s, (2) 100°C/s, e então também aquecidas até 840°C a 15°C/s e recozidas para descarburização àquela temperatura, então recozidas em uma atmosfera gasosa contendo amônia, aumentando o nitrogênio na chapa de aço até 0,018%. Os espécimes foram então revestidos com um separador de recozimento tendo MgO como seu componente principal, e sofreram recozimento de acabamento.

A Tabela 5 mostra as propriedades magnéticas dos espécimes após o recozimento de acabamento. Quando tanto as condições do recozimento da chapa laminada a quente e do recozimento de descarburização da invenção foram satisfeitas, foi obtida uma alta densidade de fluxo magnética.

Tabela 5

Espécime	Espaçamento lamelar (μm)	Densidade de fluxo magnético B8 (T)	Notas
(A-1)	17	1,883	Exemplo comparativo
(A-2)	17	1,899	Exemplo comparativo
(B-1)	25	1,917	Exemplo comparativo
(B-2)	25	1,943	Exemplo da invenção

Exemplo 6

Placas contendo, em % em massa, Si: 3,2%, C: 0,05%, Al solúvel em ácido: 0,024%, N: 0,005%, Mn: 0,04%, S: 0,01% e o saldo sendo Fe e as inevitáveis impurezas foram aquecidas até 1320°C (no caso desse sistema de composição, T1 = 1242°C, T2 = 1181°C), laminadas a quente até

uma espessura de 2,3 mm, e recozidas a 1100°C. Durante isso, foi soprado vapor d'água na atmosfera gasosa (uma mistura gasosa de nitrogênio e hidrogênio), efetuando a descarburização a partir da superfície, mudando o espaçamento lamelar das camadas de superfície. Esses espécimes foram laminados a frio até uma espessura de 0,3 mm, então aquecidos até 720°C a uma taxa de aquecimento de 100°C/s, após o que eles foram aquecidos até 850°C a 10°C/s e sofreram recozimento de descarburização, e então recozidos em uma atmosfera gasosa contendo amônia, aumentando o nitrogênio na chapa de aço para 0,018%. Os espécimes foram então revestidos com um separador de recozimento tendo MgO como seu principal componente, e sofreram o recozimento de acabamento.

A Tabela 6 mostra as propriedades magnéticas, após o recozimento de acabamento, dos espécimes tendo diferentes espaçamentos lamelares da camada de superfície.

Tabela 6

Espécime	Espaçamento lamelar da camada de superfície (μm)	Densidade de fluxo magnético B8 (T)	Notas
(A)	13	1,883	Exemplo comparativo
(B)	23	1,927	Exemplo da invenção
(C)	31	1,941	Exemplo da invenção
(D)	39	1,943	Exemplo da invenção

Exemplo 7

Após a laminação a quente, os espécimes fabricados no Exemplo 6 foram recozidos a 1100°C. Durante isso, vapor d'água foi soprado na atmosfera gasosa (uma mistura gasosa de nitrogênio e hidrogênio), efetuando a descarburização a partir da superfície, ajustando o espaçamento lamelar da camada de superfície em dois tipos, (A) e (B). Esses espécimes foram laminados a frio até uma espessura de 0,3 mm, e então aquecidos até 720°C a uma taxa de aquecimento de (1) 15°C/s, e (2) 40°C/s, após o que eles foram aquecidos até 850°C a 10°C/s e sofreram recozimento de descarburização, e então foram recozidos em uma atmosfera gasosa contendo

amônia, aumentando o nitrogênio na chapa de aço para 0,02%. Os espécimes foram então recozidos com um separador de recozimento tendo MgO como seu componente principal, e sofreram recozimento de acabamento.

A Tabela 7 mostra as propriedades magnéticas dos espécimes após o recozimento de acabamento. Os símbolos dos espécimes denotam a combinação do espaçamento lamelar da camada de superfície e da taxa de aquecimento. Quando tanto as condições de recozimento da chapa laminada a quente quanto as condições do recozimento de descarburização da invenção foram satisfeitas, uma alta densidade de fluxo magnético foi obtida.

10

Tabela 7

Espécime	Espaçamento lamelar da camada de superfície (μm)	Densidade de fluxo magnético B8 (T)	Notas
(A-1)	13	1,893	Exemplo comparativo
(A-2)	13	1,891	Exemplo comparativo
(B-1)	31	1,913	Exemplo comparativo
(B-2)	31	1,929	Exemplo da invenção

Exemplo 8

Placas contendo, em % em massa, Si: 3,2%, C: 0,055%, Al solúvel em ácido: 0,026%, N: 0,005%, Mn: 0,05%, Cu: 0,1%, S: 0,012% e o saldo sendo Fe e as inevitáveis impurezas foram aquecidas até 1330°C (no caso desse sistema de composição, T1 = 1250°C, T2 = 1206°C, T4 = 1212°C) e laminadas a quente até uma espessura de 2,3 mm. Então, foi conduzido o recozimento a uma temperatura de 1100°C. Durante isso, vapor d'água foi soprado na atmosfera gasosa (uma mistura gasosa de nitrogênio e hidrogênio), efetuando a descarburização a partir da superfície, ajustando o espaçamento lamelar da camada de superfície em dois tipos, (A) e (B). Esses espécimes foram laminados a frio até uma espessura de 0,3 mm, aquecidos até 550°C a uma taxa de aquecimento de 20°C/, e então também aquecidos de 550°C até 720°C a uma taxa de aquecimento de (1) 15°C/s, (2) 40°C/s, e (3) 100°C/s, após o que eles foram aquecidos até 840°C a uma taxa de aquecimento de 15°C/s e recozidos para descarburização, então

25

recozidos em uma atmosfera gasosa contendo amônia, aumentando o nitrogênio na chapa de aço para 0,02%. Os espécimes foram então revestidos com um separador de recozimento tendo MgO como seu principal componente, e sofreram recozimento de acabamento.

- 5 A Tabela 8 mostra as propriedades magnéticas dos espécimes após o recozimento de acabamento. Quando tanto as condições de recozimento da chapa laminada a quente quanto as do recozimento de descarburização foram satisfeitas, uma alta densidade de fluxo magnético foi obtida.

Tabela 8

Espécime	Espaçamento lamelar (μm)	Densidade de fluxo magnético B8 (T)	Notas
(A-1)	12	1,822	Exemplo comparativo
(A-2)	12	1,840	Exemplo comparativo
(A-3)	12	1,869	Exemplo comparativo
(B-1)	26	1,914	Exemplo comparativo
(B-2)	26	1,931	Exemplo da invenção
(B-3)	26	1,939	Exemplo da invenção

10 Exemplo 9

- Após a laminação a quente, espécimes fabricados no Exemplo 8 foram recozidos a 1100°C. Durante isso, vapor d'água foi soprado na atmosfera gasosa (uma mistura gasosa de nitrogênio e hidrogênio), efetuando a descarburização a partir da superfície para produzir um espaçamento lamelar de 27 μm . Esses espécimes foram laminados a frio até uma espessura de 0,3 mm, e então aquecidas até 550°C a uma taxa de aquecimento de 20°C/s, e foram também aquecidas de 550°C até 720°C a uma taxa de aquecimento de 40°C/s, após o que elas foram aquecidas até 850°C a uma taxa de aquecimento de 15°C/s e sofreram o recozimento de descarburização, e então recozidos em uma atmosfera gasosa contendo amônia, aumentando o nitrogênio na chapa de aço para 0,08% a 0,02%. Os espécimes foram então revestidos com um separador de recozimento tendo MgO como seu principal componente, e sofreram o recozimento de acabamento.

A Tabela 9 mostra as propriedades magnéticas, após o recozi-

mento de acabamento, dos espécimes tendo diferentes quantidades de nitrogênio.

Tabela 9

Espécime	Quantidade de nitrogênio	[N] / [Al]	Densidade de fluxo magnético B8 (T)	Notas
(A)	0,008	0,31	1,609	Exemplo comparativo
(B)	0,011	0,42	1,710	Exemplo comparativo
(C)	0,017	0,65	1,923	Exemplo da invenção
(D)	0,020	0,77	1,929	Exemplo da invenção

Exemplo 10

- 5 Espécimes compreendidos de chapas laminadas a frio fabricadas no Exemplo 9 foram aquecidos até 720°C a uma taxa de aquecimento de 40°C/s, e foram também aquecidos de 800°C a 900°C a uma taxa de aquecimento 15°C/s, e então recozidos em uma atmosfera gasosa contendo amônia, aumentando o nitrogênio na chapa de aço até 0,02%. Os espécimes
- 10 foram então revestidos com um separador de recozimento tendo MgO como seu principal componente, e sofreram recozimento de acabamento.

A Tabela 10 mostra as propriedades magnéticas, após o recozimento de acabamento, dos espécimes tendo diferentes diâmetros de grãos de recristalização primária após o recozimento de descarburização.

15

Tabela 10

Espécime	Temperatura do recozimento de descarburização	Diâmetro do grão após o recozimento de descarburização	Densidade de fluxo magnético	Notas
(A)	800	6,3	1,832	Exemplo comparativo
(B)	840	9,8	1,931	Exemplo da invenção
(C)	870	13,4	1,929	Exemplo da

Espécime	Temperatura do recozimento de descarburização	Diâmetro do grão após o recozimento de descarburização	Densidade de fluxo magnético	Notas
				invenção
(D)	900	19,9	1,815	Exemplo da invenção

Exemplo 11

Placas contendo, em % em massa, Si: 3,2%, C: 0,055%, Al solúvel em ácido: 0,026%, N: 0,006%, Mn: 0,05%, S: 0,05%, Se: 0,015%, Sn: 0,1%, e o saldo sendo Fe e as inevitáveis impurezas foram aquecidas até 1330°C (no caso desse sistema de composição, T1 = 1269°C, T2 = 1152°C, T3 = 1217°C) e laminadas a quente até uma espessura de 2,3 mm. Então os espécimes foram recozidos a 1080°C em uma atmosfera gasosa seca de nitrogênio e hidrogênio, com alguns espécimes (A) permanecendo no estado e alguns espécimes (B) com um revestimento de K₂CO₃ aplicado. Os espécimes foram laminados a frio até uma espessura de 0,3 mm, e foram então aquecidos até 550°C a uma taxa de aquecimento de 20°C/s, aquecidos de 550°C até 720°C a uma taxa de aquecimento de 100°C/s, e também aquecido até 840°C a 15°C/s e recozidos para descarburização àquela temperatura, e então recozidos em uma atmosfera gasosa contendo amônia, aumentando o nitrogênio na chapa de aço até 0,018%. Os espécimes foram então revestidos com um separador de recozimento tendo MgO como seu principal componente, e sofreram recozimento de acabamento.

A Tabela 11 mostra as propriedades magnéticas, após o recozimento de acabamento, dos espécimes tendo diferentes espaçamentos lamelares da camada de superfície.

Tabela 11

Espécime	Espaçamento lamelar da camada de superfície (μm)	Densidade de fluxo magnético B ₈ (T)	Notas
(A)	16	1,821	Exemplo comparativo
(B)	27	1,939	Exemplo da invenção

Exemplo 12

Espécimes foram compreendidos de chapas laminadas a frio fabricadas no Exemplo 3. As chapas laminadas a frio foram aquecidas até (1) 500°C, (2) 550°C, e (3) 600°C a taxas de aquecimento de (A) 15°C/s e (B) 50°C/s, e então aquecidas até 720°C a uma taxa de aquecimento de 100°C/s, e também aquecidas até 830°C a uma taxa de aquecimento de 10°C/s e recozidos para descarburização. Elas foram então recozidas em uma atmosfera gasosa contendo amônia aumentando o nitrogênio na chapa de aço para 0,018%. Os espécimes foram então revestidos com um separador de recozimento tendo MgO como seu principal componente, e sofreram o recozimento de acabamento.

A Tabela 12 mostra as propriedades magnéticas dos espécimes após o recozimento de acabamento. Isto mostra que aumentando-se a taxa de aquecimento em uma região de baixa temperatura, foi possível obter-se boas propriedades magnéticas mesmo quando a temperatura na qual o aquecimento a 100°C/s é iniciado é aumentada para 600°C.

Tabela 12

Espécime	Taxa de aquecimento a baixa temperatura (°C)	Temperatura de início do aquecimento a 100°C/s	Densidade de fluxo magnético B8 (T)	Notas
(A-1)	15	500	1,952	Exemplo da invenção
(A-2)	15	550	1,950	Exemplo da invenção
(A-3)	15	600	1,913	Exemplo comparativo
(B-1)	50	500	1,953	Exemplo da invenção
(B-2)	50	550	1,952	Exemplo da invenção
(B-3)	50	600	1,953	Exemplo da invenção

De acordo com esta invenção, usando-se uma faixa de temperaturas de dois estágios para conduzir o recozimento da chapa laminada a

quente na produção de chapa de aço elétrico com grãos orientados usando-se aquecimento de placa a baixa temperatura, o limite superior da faixa de controle da taxa de aquecimento usado no processo de elevação de temperatura do recozimento de descarburização para melhorar a estrutura dos grãos após a recristalização primária após o recozimento de descarburização pode ser ajustado a uma faixa de temperatura menor na qual o aquecimento pode ser conduzido usando-se apenas aquecimento por indução. Assim, o aquecimento pode ser feito mais prontamente usando-se aquecimento por indução, tornando possível prontamente produzir estavelmente chapas de aço elétrico com grãos orientados tendo boas propriedades magnéticas com uma alta densidade de fluxo magnético. A invenção, portanto, tem importante aplicabilidade industrial.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de produção de chapa de aço elétrico com grãos orientados compreendendo o aquecimento de um aço silício contendo, em % em massa, Si: 0,8 a 7%, C: até 0,085%, Al solúvel em ácido: 0,01 a 0,065%,
5 N: até 0,075%, Mn: 0,02 a 0,2%, S eq. = S + 0,406 x Se: 0,003 a 0,05% até pelo menos qualquer uma das temperaturas T1, T2 e T3 (°C) representadas pelas fórmulas apresentadas abaixo e não acima de 1350°C, seguido de laminação a quente, recozimento da chapa laminada a quente assim obtida e sujeição da mesma a uma laminação a frio ou a uma pluralidade de lami-
10 nações a frio com recozimento intermediário para formar uma chapa de aço com a espessura final, aplicar o recozimento de descarburização à chapa de aço, revestir a chapa com um separador de recozimento, conduzir o recozimento final e um processo para aumentar a quantidade de nitrogênio na chapa de aço entre o recozimento de descarburização e o início da recrista-
15 lização secundária no recozimento de acabamento, onde após a chapa laminada a quente ser recristalizada ao ser aquecida até uma temperatura prescrita de 1000°C a 1150°C a chapa é recozida a uma temperatura menor de 850°C a 1100°C para controlar o espaçamento lamelar na estrutura de grãos recozidos para ser 20 µm ou mais, e em um pro-
20 cessos de elevação da temperatura no recozimento de descarburização da chapa de aço, a chapa é aquecida em uma faixa de temperaturas de 550°C a 720°C a uma taxa de aquecimento de pelo menos 40°C/s.

$$T1 = 10062 / (2,72 - \log([Al] \times [N])) - 273$$

$$T2 = 14855 / (6,82 - \log([Mn] \times [S])) - 273$$

$$25 \quad T3 = 10733 / (4,08 - \log([Mn] \times [Se])) - 273$$

Aqui, [Al], [N], [Mn], [S] e [Se] são os respectivos teores (em % em massa) de Al solúvel em ácido, N, Mn, S e Se.

2. Método de produção de chapa de aço elétrico com grãos orientados compreendendo: aquecer o aço silício contendo, em % em massa,
30 Si: 0,8 a 7%, C: até 0,085%, Al solúvel em ácido: 0,01 a 0,065%, N: até 0,075%, Mn: 0,02 a 0,20%, S equivalente = S + 0,406 x Se: 0,003 a 0,05% até pelo menos qualquer uma das temperaturas T1, T2 e T3 (°C) represen-

tadas pelas fórmulas apresentadas abaixo e não acima de 1350°C, seguido de laminação a quente, recozimento da chapa laminada a quente assim obtida e sujeição da mesma a uma laminação a frio ou a uma pluralidade de laminações a frio com recozimento intermediário para formar uma chapa de

5 aço com a espessura final, aplicar o recozimento de descarburização à chapa de aço, revestir a chapa com um separador de recozimento, conduzir o recozimento final e um processo para aumentar a quantidade de nitrogênio na chapa de aço entre o recozimento de descarburização e o início da recristalização secundária no recozimento de acabamento,

10 onde no processo de recozimento da chapa laminada a quente, 0,002 a 0,02% em massa de uma quantidade de pré-descarburização do carbono da chapa de aço é descarburizada para controlar o espaçamento lamelar na estrutura da superfície recozida para ser 20 µm ou mais, e em um processo de elevação da temperatura no recozimento de descarburização

15 da chapa de aço, a chapa é aquecida em uma faixa de temperaturas de 550°C a 720°C a uma taxa de aquecimento de pelo menos 40°C/s.

$$T1 = 10062 / (2,72 - \log([Al] \times [N])) - 273$$

$$T2 = 14855 / (6,82 - \log([Mn] \times [S])) - 273$$

$$T3 = 10733 / (4,08 - \log([Mn] \times [Se])) - 273$$

20 Aqui, [Al], [N], [Mn], [S] e [Se] são os respectivos teores (em % em massa) de Al solúvel em ácido, N, Mn, S e Se.

3. Método de produção de uma chapa de aço elétrico com grãos orientados conforme apresentado na reivindicação 1 ou 2 caracterizado por a chapa de aço silício também conter, em % em massa, Cu: 0,01 a 0,30% e

25 ser laminada a quente após ser aquecida até uma temperatura que seja pelo menos a temperatura T4 (°C) abaixo.

$$T4 = 43091 / (25,09 - \log([Cu] \times [Cu] \times [S])) - 273$$

Aqui, [Cu] é o teor de Cu.

4. Método de produção de chapa de aço elétrico com grãos ori-

30 entados conforme apresentado em qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado por, no processo de elevação da temperatura no recozimento de descarburização da chapa de aço, o aquecimento da chapa de aço em

uma faixa de temperaturas de 550°C a 720°C é feito a uma taxa de aquecimento de 50 a 250°C/s.

5. Método de produção de uma chapa de aço elétrico com grãos orientados conforme apresentado em qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado por, no recozimento de descarburização da chapa de aço, o aquecimento da chapa em uma faixa de temperaturas de 550°C a 720°C é feito por aquecimento por indução.

6. Método de produção de chapa de aço elétrico com grãos orientados conforme apresentado em qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado por, quando em um processo de elevação de temperatura no recozimento de descarburização da chapa de aço, a faixa de temperaturas na qual a chapa é aquecida à mencionada taxa de aquecimento é feita ser de T_s (°C) a 720°C, a faixa a seguir de T_s (°C) a 720°C está de acordo com uma taxa de aquecimento H (°C/s) da temperatura ambiente até 500°C.

15 $H \leq 15$: $T_s \leq 550$

$15 < H$: $T_s \leq 600$

7. Método de produção de chapa de aço elétrico com grãos orientados conforme apresentado em qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo recozimento de descarburização ser executado a uma temperatura e por um período de tempo para produzir um diâmetro de grão de recristalização primária recozido por descarburização de 7 μm a menos de 18 μm .

8. Método de produção de chapa de aço elétrico com grãos orientados conforme apresentado em qualquer uma das reivindicações 1 a 7, onde um processo de aumento da quantidade de nitrogênio $[N]$ da chapa de aço é executado para satisfazer a fórmula $[N] \geq 14/27 [A]$ correspondente à quantidade de Al solúvel em ácido $[Al]$ da chapa de aço.

9. Método de produção de chapa de aço elétrico com grãos orientados conforme apresentado em qualquer uma das reivindicações 1 a 8, onde a chapa de aço silício também contém, em % em massa, um ou mais elementos entre Cr: até 0,3%, P: até 0,5%, Sn: até 0,3%, Sb: até 0,3%, Ni: até 1%, e Bi: até 0,01%.

Fig.1

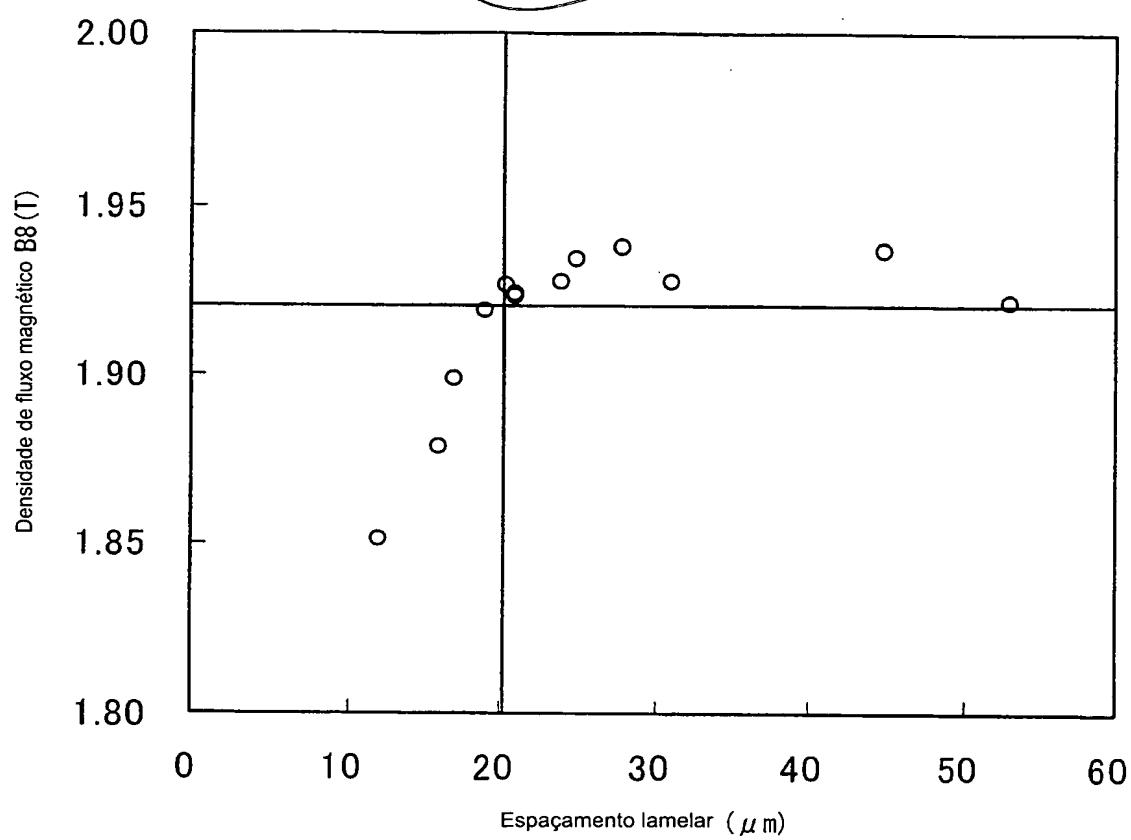


Fig.2

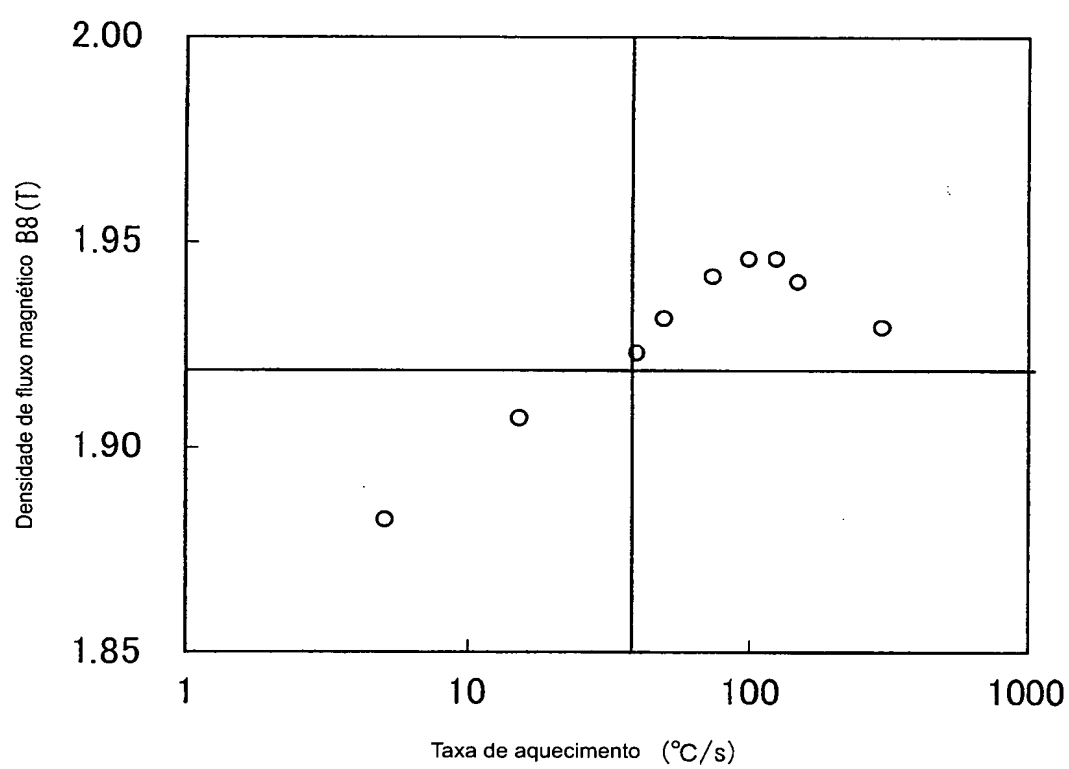


Fig.3

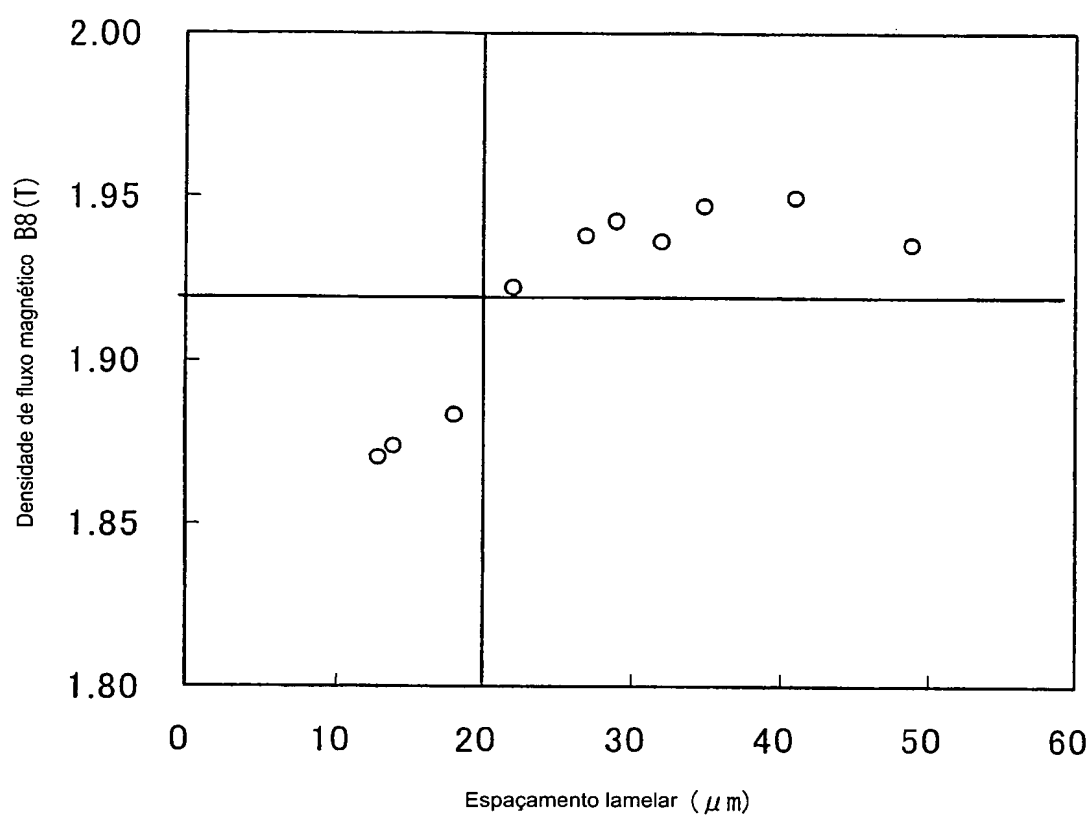
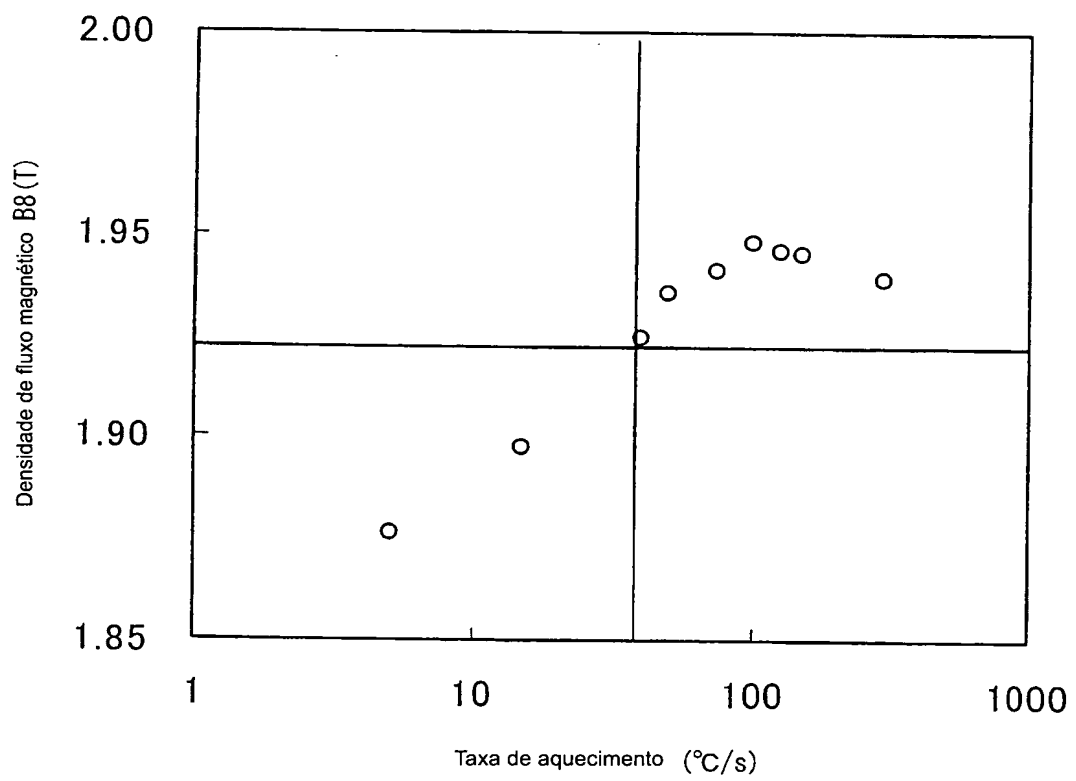


Fig.4



RESUMO

Patente de Invenção: "MÉTODO DE PRODUÇÃO DE CHAPA DE AÇO ELÉTRICO COM GRÃOS ORIENTADOS TENDO UMA ALTA DENSIDADE DE FLUXO MAGNÉTICO".

- 5 Na produção de uma chapa de aço elétrico com grãos orientados que é aquecida a uma temperatura de não mais de 1350°C, (a) a chapa laminada a quente é aquecida até uma temperatura prescrita de 1000°C a 1150°C, e após a recristalização é recozida por um período de tempo requerido a uma temperatura menor de 850°C a 1100°C, ou (b) no processo de
- 10 recozimento da chapa laminada a quente, a descarburização é executada para ajustar a diferença na quantidade de carbono antes e após a descarburização para 0,002 a 0,02% em massa. No processo de elevação da temperatura usado no recozimento de descarburização da chapa de aço, o aquecimento é conduzido na faixa de temperaturas de 550°C a 720°C a uma taxa
- 15 de aquecimento de pelo menos 40°C/s, preferivelmente 75 a 125°C/s, utilizando aquecimento por indução para o aquecimento rápido usado no processo de elevação da temperatura no recozimento de descarburização.