



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) BR 112017014286-4 B1



(22) Data do Depósito: 17/11/2015

(45) Data de Concessão: 04/05/2021

(54) Título: CHAPA DE AÇO ELÉTRICO NÃO ORIENTADO E MÉTODO PARA PRODUÇÃO DA MESMA

(51) Int.Cl.: C22C 38/00; C21D 8/12; C22C 38/06; C22C 38/60; H01F 1/16; (...).

(30) Prioridade Unionista: 07/01/2015 JP 2015-001531; 16/10/2015 JP 2015-204268.

(73) Titular(es): JFE STEEL CORPORATION.

(72) Inventor(es): TADASHI NAKANISHI; HIROAKI NAKAJIMA; TOMOYUKI OKUBO; YOSHIHIKO ODA.

(86) Pedido PCT: PCT JP2015082191 de 17/11/2015

(87) Publicação PCT: WO 2016/111088 de 14/07/2016

(85) Data do Início da Fase Nacional: 30/06/2017

(57) Resumo: Quando esta chapa de aço eletromagnético não orientado é produzida por laminação a quente de uma placa que contém, em % em massa, 0,0050% ou menos de C, 1,5 a 5,0% de Si, 0,20 a 3,0% de Mn, 0,0050% ou menos de Al solúvel, 0,2% ou menos de P, 0,0050% ou menos de S e 0,0040% ou menos de N, para, desse modo, formar uma chapa laminada a quente e, subsequentemente, submeter a chapa laminada a quente à laminação a frio, sem realizar recozimento de chapa laminada a quente, e, então, recozer para acabamento, a razão de composição de CaO em inclusões à base de óxido presentes na placa, a dita razão de composição de CaO que é definida por $\text{CaO}/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})$, é estabelecida em 0,4 ou mais e/ou a razão de composição de Al_2O_3 nas inclusões à base de óxido presentes na placa, a dita razão de composição de Al_2O_3 que é definida por $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})$ é estabelecida em 0,3 ou mais, e a temperatura de enrolamento em bobina durante a laminação a quente é estabelecida em 650°C ou mais. Consequentemente, essa chapa de aço eletromagnético não orientado alcança excelente reciclabilidade, alta densidade de fluxo magnético e baixa perda de ferro.(...).

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**CHAPA DE AÇO ELÉTRICO NÃO ORIENTADO E MÉTODO PARA PRODUÇÃO DA MESMA**".

CAMPO TÉCNICO

[001] Esta invenção refere-se a uma chapa de aço elétrico não orientado usada como um material de núcleo de ferro para um equipamento elétrico ou similar e um método para produzir a mesma.

TÉCNICA RELACIONADA

[002] Recentemente, um motor usado para um aparelho de ar condicionado doméstico ou similar é exigido para ter um baixo consumo de energia e pouca perda de energia com um interesse crescente em economia de energia. Para esse fim, uma chapa de aço elétrico não orientado usada como um material de núcleo de ferro do motor é fortemente exigido para ter propriedades de alto desempenho, por exemplo, uma baixa perda de ferro para reduzir uma perda de ferro do motor e uma alta densidade de fluxo magnético para reduzir uma perda de cobre do motor.

[003] Como um método de reduzir a perda de ferro da chapa de aço elétrico não orientado tem, até então, sido adotado um método de reduzir uma perda de corrente parasita aumentando-se uma quantidade de adição de um elemento que aumente a resistência específica do aço tal como Si, Al, Mn ou similar. Nesse método, no entanto, a diminuição da densidade de fluxo magnético é inevitável. Assim, algumas técnicas de aumentar a densidade de fluxo magnético da chapa de aço elétrico não orientado são propostas além da redução da perda de ferro.

[004] Por exemplo, o Documento de Patente 1 propõe uma técnica para aumentar uma densidade de fluxo magnético adicionando-se Sb ou Sn a uma placa que contém, em % em peso, C: não mais do que 0,02%, Si ou Si+Al: não mais do que 4,0%, Mn: não mais do que

1,0% e P: não mais do que 0,2%. Nessa técnica, no entanto, a dispersão das propriedades magnéticas não pode ser reduzida suficientemente e é necessário adicionalmente conduzir duas laminações a frio que prensam um recozimento de tempo curto entre as mesmas após a laminação a quente, e, portanto, há um problema que o custo de produção é aumentado.

[005] Além disso, o Documento de Patente 2 propõe uma técnica em que uma razão de composição de MnO em inclusões à base de óxido (MnO/ (SiO₂ + Al₂O₃ + CaO + MnO)) existentes em uma chapa de aço laminada a quente que contém, em % em peso, C ≤ 0,008%, Si ≤ 4%, Al ≤ 2,5%, Mn ≤ 1,5%, P ≤ 0,2%, S ≤ 0,005% e N ≤ 0,003% é controlada para não mais do que 0,35 para diminuir o número de inclusões estendidas na direção de laminação e melhorar o crescimento de grão de cristal. No entanto, essa técnica tem um problema que, caso o teor de Mn seja baixo, as propriedades magnéticas, particularmente a propriedade de perda de ferro, são bastante deterioradas devido à precipitação de um sulfeto tal como MnS fino ou similar.

[006] Recentemente, de um ponto de vista de reciclagem de recursos de ferro, sucatas geradas no processo de funcionamento do material de núcleo de ferro são crescentemente reutilizadas como uma matéria-prima para gusa para fundição. No entanto, quando o teor de Al no gusa para fundição é de não menos do que 0,05% em massa, bolhas (cavidades de contração) são provocadas facilmente em uma fundição, de modo que é desejado limitar o teor de Al na sucata para menos do que 0,05% em massa.

[007] No que se refere a uma chapa de aço elétrico não orientado que contém um teor de Al reduzido, por exemplo, o Documento de Patente 3 propõe uma técnica de melhorar uma textura e aumentar uma densidade de fluxo magnético diminuindo-se o teor de Al para não mais do que 0,017% em massa, preferencialmente para não mais do

que 0,005% em massa. Nessa técnica, no entanto, um processo de laminação único à temperatura ambiente é adotado como uma laminação a frio, de modo que um efeito de aumentar suficientemente a densidade de fluxo magnético não pode ser obtido. Esse problema é solucionado adotando-se duas ou mais laminações a frio que prensam um recozimento intermediário entre as mesmas como a laminação a frio, mas é provocado outro problema pelo fato de que o custo de produção é aumentado. Quando a laminação a frio é uma denominada laminação a morno elevando-se uma temperatura da chapa para cerca de 200°C, é eficaz aumentar a densidade de fluxo magnético, mas há um problema que é necessário usar um novo equipamento ou um controle de processo para esse objetivo. Ademais, o Documento de Patente 3 revela que, quando apenas Al é reduzido, mas N não é reduzido, o AlN é precipitado finamente durante o resfriamento em recozimento de banda quente para suprimir o crescimento de grão no recozimento de recristalização e deteriorar a perda de ferro.

DOCUMENTOS DA TÉCNICA ANTERIOR

DOCUMENTOS DE PATENTE

[008] Documento de Patente 1: Patente Japonesa Nº JP 2500033

[009] Documento de Patente 2: Patente Japonesa Nº JP 3378934

[0010] Documento de Patente 3: Patente Japonesa Nº JP 4126479

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

TAREFA A SER SOLUCIONADA PELA INVENÇÃO

[0011] Conforme mencionado acima, as sucatas de ferro são reutilizadas como um material para o gusa para fundição, de modo que, quando o teor de Al é reduzido, é realmente difícil produzir uma chapa de aço elétrico não orientado que tenha uma densidade magnética alta e uma perda de ferro baixa a um custo baixo em uma boa produtividade sem exigir um novo equipamento ou controle de processo.

[0012] A invenção é desenvolvida em vista dos problemas acima

inerentes às técnicas convencionais e é para fornecer uma chapa de aço elétrico não orientado que tem um baixo teor de Al e uma excelente reciclabilidade bem como uma alta densidade de fluxo magnético e uma baixa perda de ferro, e um método para produzir a chapa de aço em um custo baixo com uma boa produtividade.

SOLUÇÃO PARA A TAREFA

[0013] Os inventores concentraram atenção em uma relação entre composições químicas de inclusões à base de óxido que existem em uma chapa de aço e propriedades magnéticas para solucionar os problemas acima e realizaram vários estudos. Como um resultado, foi constatado que a fim de aumentar a densidade de fluxo magnético e reduzir a perda de ferro da chapa de aço elétrico não orientado, é eficaz melhorar o crescimento de grão no recozimento de banda quente e no recozimento de acabamento diminuindo-se o teor de Al solúvel tanto quanto possível e controlando-se uma razão de composição de CaO e/ou Al₂O₃ em inclusões à base de óxido que existem em um material de aço para uma faixa apropriada, e, conseqüentemente, a invenção foi realizada.

[0014] Isto é, a invenção é uma chapa de aço elétrico não orientado que tem uma composição química que compreende C: não mais do que 0,0050% em massa, Si: 1,5 a 5,0% em massa, Mn: 0,20 a 3,0% em massa, Al solúvel: não mais do que 0,0050% em massa, P: não mais do que 0,2% em massa, S: não mais do que 0,0050% em massa, N: não mais do que 0,0040% em massa, e o restante é Fe e impurezas inevitáveis, em que uma razão de composição de CaO em inclusões à base de óxido que existem em uma chapa de aço definida pela equação (1) a seguir:

$$\text{CaO} / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}) \dots (1)$$

é não menos do que 0,4 e/ou uma razão de composição de Al₂O₃ definida pela equação (2) a seguir:



é não menos do que 0,3.

[0015] A chapa de aço elétrico não orientado de acordo com a invenção é distinguida por incluir ao menos um grupo de elementos dentre os grupos A a D a seguir além da composição química acima:

[0016] Grupo A: Ca: 0,0005 a 0,0100% em massa,

[0017] Grupo B: um ou dois selecionados a partir de Sn: 0,01 a 0,1% em massa e Sb: 0,01 a 0,1% em massa,

[0018] Grupo C: um ou dois selecionados a partir de Mg: 0,001 a 0,05% em massa e REM: 0,001 a 0,05% em massa, e

[0019] Grupo D: um ou mais selecionados a partir de Cu: 0,01 a 0,5% em massa, Ni: 0,01 a 0,5% em massa e Cr: 0,01 a 0,5% em massa.

[0020] Além disso, a invenção propõe um método para produzir uma chapa de aço elétrico não orientado por laminação a quente de uma placa que tem qualquer uma das composições químicas expostas acima para formar uma chapa laminada a quente, laminar a frio a chapa sem um recozimento de banda quente e, então, realizar um recozimento de acabamento, distinguido pelo fato de que uma razão de composição de CaO em inclusões à base de óxido que existem na placa definida pela equação (1) a seguir:



é não menos do que 0,4 e/ou uma razão de composição de Al_2O_3 definida pela equação (2) a seguir:



é não menos do que 0,3, e uma temperatura de bobina-mento na laminação a quente não é inferior a 650 °C.

[0021] Ademais, a invenção propõe um método para produzir uma chapa de aço elétrico não orientado por laminação a quente de uma placa que tem qualquer uma das composições químicas expostas

acima para formar uma chapa laminada a quente e submeter a chapa a um recozimento de banda quente, uma laminação a frio e um recozimento de acabamento, distinguido pelo fato de que uma razão de composição de CaO em inclusões à base de óxido que existem na placa definida pela equação (1) a seguir:

$$\text{CaO} / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}) \dots (1)$$

é não menos do que 0,4 e/ou uma razão de composição de Al_2O_3 definida pela equação (2) a seguir:

$$\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}) \dots (2)$$

é não menos do que 0,3, e o recozimento de banda a quente é conduzido a uma temperatura de 900 a 1150 °C.

EFEITO DA INVENÇÃO

[0022] De acordo com a invenção, uma chapa de aço elétrico não orientado que tem uma alta densidade de fluxo magnético, um baixo teor de ferro e uma excelente reciclabilidade pode ser fornecida a um custo baixo com uma boa produtividade sem exigir um novo equipamento ou controle de processo.

BREVE DESCRIÇÃO DO DESENHO

[0023] A Figura 1 é um gráfico que mostra uma influência de uma razão de composição de uma inclusão à base de óxido que existe em uma chapa de aço mediante uma perda de ferro $W_{15/50}$.

MODALIDADES PARA REALIZAR A INVENÇÃO

[0024] A fim de examinar um método para melhorar uma textura para melhorar propriedades magnéticas, os inventores produziram primeiramente uma placa de aço de uma composição química com base na composição química do aço revelado no Documento de Patente 3 e preparada diminuindo-se o teor de Al tanto quanto possível e adicionando-se P e Sn, concretamente uma placa de aço que tem uma composição química que compreende C: 0,0030% em massa, Si: 1,6% em massa, Mn: 0,08% em massa, P: 0,06% em massa, S: 0,0020%

em massa, Al solúvel: 0,0006% em massa, N: 0,0015% em massa e Sn: 0,04% em massa. Quando a placa é reaquecida a 1100 °C e, então, laminada a quente para uma espessura de 2,3 mm, rachadura por fragilidade, quebra e similares são provocadas em uma parte das chapas de aço, de modo que a laminação a quente é forçada a ser parada.

[0025] A fim de elucidar a causa da rachadura, quebra e similares, a chapa de aço é examinada no trajeto da laminação a quente e como um resultado, foi constatado que S está concentrado na porção rachada e quebrada. Uma vez que elementos além de S e Fe não são observados na porção de S concentrado, a causa da fragilidade é deduzida devido ao fato de que o S no aço forma um FeS de ponto de fusão baixo durante a laminação a quente e provoca a fragilidade ao calor.

[0026] A fim de impedir a fragilidade devido ao FeS, é eficaz diminuir o S, mas um aumento de custo de dessulfuração não pode ser evitado. Portanto, os inventores consideraram que, quando S é fixado como MnS ou CaS que tem um ponto de fusão alto aumentando-se Mn e adicionando-se Ca, a formação de FeS que tem um ponto de fusão baixo pode ser impedida para suprimir a fragilidade na laminação a quente. Quando uma placa de aço que tem uma composição química preparada aumentando-se o teor de Mn e adicionando-se Ca no aço acima (C: 0,0030% em massa, Si: 1,6% em massa, Mn: 0,40% em massa, P: 0,07% em massa, S: 0,0020% em massa, Al solúvel: 0,0008% em massa, N: 0,0015% em massa, Sn: 0,04% em massa e Ca: 0,0030% em massa) é produzida e reaquecida a uma temperatura de 1100 °C e, então, laminada a quente para uma espessura de 2,3 mm, a ocorrência de rachadura e quebra não é encontrada.

[0027] Do exposto acima, é confirmado que o aumento de Mn e a adição de Ca são eficazes para impedir a rachadura e a quebra na la-

minação a quente de um aço de baixo teor de Al.

[0028] Então, os inventores observaram um corte paralelo à direção de laminação (corte L) em uma chapa de produto (chapa recozida de acabamento) produzida usando a placa de aço da composição química com Mn aumentado e Ca adicionado acima como uma matéria-prima por meio de um microscópio eletrônico do tipo varrimento (SEM), analisaram uma composição química de inclusões à base de óxido que existem na chapa de aço e investigaram uma relação entre os resultados analisados e as propriedades magnéticas da chapa de produto. Como um resultado, foi constatado que as propriedades magnéticas tendem a ser variadas pela composição química das inclusões à base de óxido que existem na chapa de aço, particularmente a razão de composição de CaO e a razão de composição de Al_2O_3 .

[0029] A fim de mudar a composição química das inclusões à base de óxido no aço da composição química acima, os inventores fundiram vários aços que têm uma composição química preparada variando-se as quantidades de adição de Al e Ca usados como um agente desoxidante, concretamente uma composição química que compreende C: 0,0015 a 0,0035% em massa, Si: 1,6 a 1,7% em massa, Mn: 0,40% em massa, P: 0,07% em massa, S: 0,0010 a 0,0030% em massa, Al solúvel: 0,0001 a 0,0030% em massa, N: 0,0010 a 0,0020% em massa, Sn: 0,03% em massa e Ca: 0 a 0,0040% em massa, e moldada continuamente em placas de aço. Além disso, o motivo pelo qual cada um dentre C, Si, S e N tem a faixa de composição é devido à variação na fusão, que não é intencional.

[0030] Em seguida, a placa é reaquescida a uma temperatura de 1100 °C e laminada a quente para obter uma chapa laminada a quente de 2,3 mm de espessura, que é decapada e laminada a frio para obter uma chapa laminada a frio que tem uma espessura final de 0,50 mm e depois disso submetida a um recozimento de acabamento a uma tem-

peratura de 1000 °C.

[0031] A partir da chapa de aço obtida dessa forma após o recozimento de acabamento são recortadas amostras de teste Epstein em uma direção de laminação (L) e uma direção perpendicular à direção de laminação (C), e uma perda de ferro $W_{15/50}$ (perda de ferro excitado em uma densidade de fluxo magnético de 1,5 T e uma frequência de 50 Hz) da mesma é medida, de acordo com a JIS C2552.

[0032] Além disso, um corte da chapa de aço recozida de acabamento na direção de laminação (corte L) é observado com um microscópio eletrônico do tipo varrimento (SEM) para analisar uma composição química de inclusões à base de óxido, a partir de que são determinadas uma razão de composição (razão em % em massa) de CaO definida pela equação (1) a seguir:

$$\text{CaO} / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}) \dots (1)$$

e uma razão de composição (razão em % em massa) de Al_2O_3 definida pela equação (2) a seguir:

$$\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}) \dots (2).$$

[0033] Além disso, cada razão de composição (razão em % em massa) de CaO e Al_2O_3 é um valor médio de 200 ou mais inclusões à base de óxido. Embora MnO, MgO e assim por diante sejam encontrados nas inclusões à base de óxido além de SiO_2 , Al_2O_3 e CaO, as quantidades dos mesmos são pequenas, de modo que os mesmos não são considerados no cálculo da razão de composição.

[0034] Na Figura 1 é mostrada uma relação entre uma razão de composição de CaO e uma razão de composição de Al_2O_3 nas inclusões à base de óxido e uma perda de ferro $W_{15/50}$. Como visto a partir dessa figura, a perda de ferro $W_{15/50}$ é baixa quando a razão de composição de CaO ($\text{CaO}/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})$) é menor do que 0,4 e a razão de composição de Al_2O_3 ($\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})$) é menor do que 0,3, enquanto que a perda de ferro $W_{15/50}$ é boa quando

$\text{CaO}/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})$ é não menos do que 0,4 e/ou $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})$ é não menos do que 0,3.

[0035] Em relação às chapas recozidas para acabamento de perda de ferro baixa $W_{15/50}$, quando as inclusões à base de óxido encontradas em um corte da direção de laminação (corte L) são observadas com um microscópio óptico, é confirmado que as mesmas têm uma forma que se estende na direção de laminação. Os inventores têm a opinião a seguir sobre os resultados acima.

[0036] As inclusões à base de óxido que têm uma razão de composição de CaO ($\text{CaO}/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})$) de menos do que 0,4 e uma razão de composição de Al_2O_3 ($\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})$) de menos do que 0,3 têm uma tendência a se estender na direção de laminação durante a laminação a quente devido ao ponto de fusão ser baixo. As inclusões estendidas na direção de laminação inibem o crescimento de grão em autorrecozimento imediatamente após a laminação a quente, recozimento de banda a quente e recozimento de acabamento para tornar o tamanho do grão de cristal pequeno e inibem o movimento de paredes de domínio magnético, e as propriedades de perda de ferro são deterioradas. Portanto, a fim de melhorar as propriedades magnéticas da chapa de aço após o recozimento de acabamento (chapa de produto), é considerado que é eficaz melhorar o crescimento de grão controlando-se a composição química das inclusões à base de óxido que existem no aço para uma faixa apropriada para impedir a extensão na direção de laminação durante o recozimento de banda a quente.

[0037] A invenção é desenvolvida com base no conhecimento acima.

[0038] Uma composição química da chapa de aço elétrico não orientado (chapa de produto) de acordo com a invenção será descrita abaixo.

[0039] C: não mais que 0,0050% em massa

[0040] C é um elemento que faz com que o envelhecimento magnético aumente a perda de ferro. Particularmente, quando o mesmo excede 0,0050% em massa, o aumento da perda de ferro se torna significativo, de modo que o teor é limitado a não mais do que 0,0050% em massa. Preferencialmente, o mesmo é não mais do que 0,0030% em massa. Além disso, o limite inferior não é particularmente restrito devido a ser preferencial que o teor se torne menor.

[0041] Si: 1,5 a 5,0% em massa

[0042] O Si é um elemento eficaz para aumentar uma resistência elétrica do aço para reduzir a perda de ferro. Particularmente, o Al, que tem o mesmo efeito que o Si, é reduzido na invenção, de modo que Si é adicionado em uma quantidade de não menos do que 1,5% em massa. No entanto, quando o Si excede 5,0% em massa, não apenas a densidade de fluxo magnético é reduzida, mas também o aço é fragilizado a fim de provocar rachadura durante a laminação a frio, de modo que a produtividade é grandemente deteriorada. Portanto, o limite superior é 5,0% em massa. Preferencialmente, o mesmo fica em uma faixa de 1,6 a 3,5% em massa.

[0043] Mn: 0,20 a 3,0% em massa

[0044] O Mn forma MnS através de ligação a S e tem um efeito de impedir fragilidade ao calor por FeS. Além disso, o mesmo é um elemento eficaz de aumento de uma resistência elétrica de aço para reduzir a perda de ferro como Si. Na invenção, portanto, Mn está contido em uma quantidade de não menos do que 0,20% em massa. No entanto, quando o mesmo excede 3,0% em massa, a densidade de fluxo magnético é reduzida, de modo que o limite superior é estabelecido em 3,0% em massa. Preferencialmente, o mesmo fica em uma faixa de 0,25 a 1,0% em massa.

[0045] P: não mais do que 0,2% em massa

[0046] P é um elemento eficaz que tem um grande efeito de aumentar a dureza de aço com uma quantidade muito pequena de adição e é adicionado apropriadamente de acordo com a dureza exigida. No entanto, a adição excessiva de P ocasiona a diminuição de propriedade de laminação a frio, de modo que o limite superior é estabelecido para 0,2% em massa. Preferencialmente, o mesmo fica em uma faixa de 0,040 a 0,15% em massa.

[0047] S: não mais que 0,0050% em massa

[0048] O S forma precipitados ou inclusões como um sulfeto, que deteriora a produtividade (propriedade de laminação a quente) ou as propriedades magnéticas da chapa de produto, de modo que o teor é preferencial para se tornar menor. Na invenção, o Mn e Ca suprimem a má influência de S, de modo que o limite superior é aceito até 0,0050% em massa, enquanto, quando as propriedades magnéticas são consideradas importantes, é preferencial que não seja maior do que 0,0025% em massa. Além disso, o limite inferior não é particularmente restrito devido a ser preferencial que o teor S se torne menor.

[0049] Al solúvel: não mais do que 0,0050% em massa

[0050] O Al é um elemento eficaz para aumentar uma resistência elétrica de aço para reduzir a perda de ferro como Si. No entanto, de um ponto de vista de reciclagem de sucata como um material de partida para gusa para fundição como mencionado previamente, o Al é desejado que seja menor do que 0,05% e uma quantidade menor é mais preferencial.

[0051] Na invenção, o Al é reduzido adicionalmente para melhorar a textura e aumentar a densidade de fluxo magnético e limitado a não mais do que 0,0050% em massa como Al solúvel (Al solúvel em ácido): Preferencialmente, o mesmo é não mais do que 0,0020% em massa.

[0052] N: não mais que 0,0040% em massa

[0053] O N é um elemento que deteriora as propriedades magnéticas como C conforme descrito previamente. Em particular, o efeito adverso se torna significativo em um material de baixo teor de Al, de modo que o mesmo é limitado a não mais do que 0,0040% em massa. Preferencialmente, o mesmo é não mais do que 0,0030% em massa. Além disso, o limite inferior não é particularmente restrito devido ao teor ser preferencial que se torne menor.

[0054] A chapa de aço elétrico não orientado, de acordo com a invenção, pode incluir ao menos um grupo de elemento dos grupos A a D a seguir dentro da faixa a seguir além dos elementos essenciais acima.

[0055] Grupo A: Ca: 0,0005 a 0,0100% em massa.

[0056] O Ca tem um efeito de fixar S no aço para impedir a formação de FeS de baixo ponto de fusão para, desse modo, melhorar a propriedade de laminação a quente como Mn. Na invenção, a adição de Ca não é essencial devido ao teor de Mn ser aumentado. No entanto, o Ca tem um efeito de suprimir a geração de escamas na laminação a quente, de modo que é preferencial que seja adicionado em uma quantidade de não menos do que 0,0005% em massa. No entanto, quando a quantidade de adição excede 0,0100% em massa, uma quantidade de um sulfeto e de um óxido de Ca são aumentadas para inibir o crescimento de grão e deteriorar negativamente a propriedade de perda de ferro, de modo que o limite superior é preferencial ser 0,0100% em massa. Mais preferencialmente, o mesmo fica em uma faixa de 0,0010 a 0,0050% em massa.

[0057] Grupo B: um ou dois selecionados dentre Sn: 0,01 a 0,1% em massa e Sb: 0,01 a 0,1% em massa

[0058] Cada Sn e Sb tem um efeito de melhorar a textura para aumentar as propriedades magnéticas. A fim de obter esse efeito, cada elemento é preferencial ser adicionado em uma quantidade de não

menos do que 0,01% em massa isoladamente ou em combinação. No entanto, quando os mesmos são adicionados excessivamente, o aço é fragilizado para causar defeitos de superfície tais como quebra de chapa, escama e similares no processo de produção da chapa de aço, de modo que é preferencial que cada limite superior seja 0,1% em massa. Mais preferencialmente, o mesmo fica em um faixa de 0,02 a 0,05% em massa.

[0059] Grupo C: um ou dois selecionados dentre Mg: 0,001 a 0,05% em massa e REM: 0,001 a 0,05% em massa

[0060] Mg e REM são elementos que têm um efeito de melhorar o crescimento de grão para aumentar as propriedades magnéticas uma vez que os mesmos são engrossados por formar um sulfeto mais estável do que MnS e Cu₂S em uma temperatura alta para diminuir sulfetos finos. A fim de obter tal efeito, é preferencial conter um ou mais dentre Mg e REM em uma quantidade de não menos do que 0,001% em massa para cada um. No entanto, quando Mg e REM são adicionados em uma quantidade que excede 0,05% em massa, o efeito é saturado e se torna economicamente desvantajoso, de modo que o limite superior de cada elemento é preferencial ser 0,05% em massa.

[0061] Grupo D: um ou mais selecionados dentre Cu: 0,01 a 0,5% em massa, Ni: 0,01 a 0,5% em massa e Cr: 0,01 a 0,5% em massa

[0062] Cu, Ni e Cr são elementos eficazes para aumentar a resistência específica da chapa de aço para reduzir a perda de ferro. A fim de obter esse efeito, é preferencial adicionar cada elemento em uma quantidade de não menos do que 0,01% em massa. No entanto, esses elementos são caros quando comparados a Si e Al, de modo que cada quantidade de adição é preferencial ser de não mais do que 0,5% em massa.

[0063] Na chapa de aço elétrico não orientado, de acordo com a invenção, o restante além dos ingredientes acima é Fe e impurezas

inevitáveis. No entanto, outros elementos podem ser incluídos dentro do escopo sem prejudicar o efeito da invenção. Por exemplo, V: não mais do que 0,004% em massa, Nb: não mais do que 0,004% em massa, B: não mais do que 0,0005% em massa e Ti: não mais do que 0,002% em massa são aceitáveis como uma quantidade contida nas impurezas inevitáveis.

[0064] As inclusões que existem na chapa de aço elétrico não orientado, de acordo com a invenção serão descritas abaixo.

[0065] A fim de que a chapa de aço elétrico não orientado, de acordo com a invenção, tenha excelentes propriedades magnéticas, é necessário que uma razão de composição ($\text{CaO} / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})$) de CaO seja de não menos do que 0,4 e/ou uma razão de composição ($\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})$) de Al_2O_3 seja de não menos do que 0,3 nas inclusões à base de óxido que existem na chapa de produto (chapa de aço recozida de acabamento) e, conseqüentemente, na chapa ou placa de aço laminada a quente como uma matéria-prima para a mesma. Quando a razão de composição está fora da faixa acima, a inclusão à base de óxido é estendida por laminação a quente, o que inibe o crescimento de grão no autorrecozimento imediatamente após a laminação a quente, no recozimento de banda a quente e no recozimento de acabamento que deteriora as propriedades magnéticas. Preferencialmente, a razão de composição de CaO é não menos do que 0,5 e/ou a razão de composição de Al_2O_3 é não menos do que 0,4. Mais preferencialmente, a razão de composição de CaO é não menos do que 0,6 ou a razão de composição de Al_2O_3 é não menos do que 0,5. Aqui, cada uma dentre a razão de composição de CaO e a razão de composição de Al_2O_3 nas inclusões à base de óxido que existem na chapa de aço é um valor médio calculado a partir de valores obtidos quando 200 ou mais inclusões à base de óxido que existem em um corte paralelo à direção de laminação (corte L) da chapa de

ço são observadas com SEM (microscópio eletrônico do tipo varrimento) para analisar as composições químicas das mesmas.

[0066] A seguir, será explicado um método para controlar a composição química da inclusão que existe na chapa de aço elétrico não orientado, de acordo com a invenção, para a faixa acima.

[0067] A fim de controlar a composição química da inclusão para a faixa acima, é necessário racionalizar uma quantidade de adição de Si e/ou Al como um agente desoxidante em uma etapa de refino secundária, uma quantidade de adição de Ca, um tempo de desoxidação e assim por diante para, desse modo, controlar as inclusões à base de óxido na placa para a faixa apropriada acima.

[0068] Concretamente, é eficaz aumentar uma quantidade de adição de Al como um agente desoxidante para aumentar a razão de composição de Al_2O_3 . No entanto, conforme a quantidade de adição de Al é aumentada, o Al solúvel também é aumentado, de modo que é necessário aumentar a quantidade de adição de Al dentro de tal faixa em que o Al solúvel é não mais do que 0,0050% em massa. Por outro lado, a fim de aumentar a razão de composição de CaO, é eficaz adicionar fonte de Ca, tal como CaSi ou similar, bem como reduzir a quantidade de adição de Si como um agente desoxidante para diminuição de SiO_2 .

[0069] A razão de composição das inclusões à base de óxido existentes no aço pode ser controlada para a faixa acima pelo método acima. Além disso, o Al é um elemento de formação de nitreto e o Ca é um elemento de formação de sulfeto, de modo que é importante que as quantidades de adição de Al como um agente desoxidante e a fonte de Ca sejam ajustadas apropriadamente de acordo com os teores de N e S.

[0070] Será descrito o método de produção da chapa de aço elétrico não orientado, de acordo com a invenção abaixo.

[0071] Quando a chapa de aço elétrico não orientado, de acordo com a invenção, é produzida omitindo-se o recozimento de banda quente, é necessário controlar uma temperatura de bobinamento após a laminação a quente. No entanto, quando a produção é realizada submetendo-se a recozimento de banda a quente, a chapa de aço pode ser produzida nas instalações de produção e o processo de produção aplicado às chapas de aço elétrico não orientado comum.

[0072] No método de produção da chapa de aço elétrico não orientado, de acordo com a invenção, aço fundido em um conversor, um forno elétrico ou similar é, primeiramente, ajustado para uma dada composição química por refinamento secundário com um equipamento de desgaseificação ou similar e, então, moldado em um material de aço bruto (placa) por um método de fundição contínua ou um método de desbaste-fabricação de lingote.

[0073] No método de produção da invenção, é importante controlar a composição das inclusões à base de óxido que existem no aço para uma faixa apropriada conforme mencionado previamente. Isto é, é necessário controlar uma razão de composição ($\text{CaO} / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})$) de CaO para não menos do que 0,4 e/ou uma razão de composição ($\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})$) de Al_2O_3 para não menos do que 0,3. Esse método é mencionado acima.

[0074] Depois disso, a placa produzida dessa forma é submetida à laminação a quente, em que uma temperatura de reaquecimento da placa (SRT) é preferencial que fique em uma faixa de 1000 a 1200 °C. Quando a SRT excede 1200 °C, não apenas a perda de energia é aumentada antieconomicamente, mas também a resistência em temperatura alta da placa é reduzida para facilmente provocar problemas de produção tal como arqueamento da placa e similares. No entanto, quando a mesma é inferior a 1000 °C, a resistência à deformação a quente é aumentada, e é difícil realizar a laminação a quente.

[0075] A laminação a quente subsequente pode ser conduzida sob condições comuns. A espessura da chapa de aço após a laminação a quente é preferencial que seja em uma faixa de 1,5 a 2,8 mm com vistas a garantir a produtividade. Quando a mesma é de menos do que 1,5 mm, os problemas de laminação na laminação a quente são aumentados, enquanto, quando a mesma excede 2,8 mm, a taxa de redução por laminação a frio se torna excessivamente alta e a textura é deteriorada. Mais preferencialmente, a espessura da chapa laminada a quente está em uma faixa de 1,7 a 2,4 mm.

[0076] O recozimento de banda a quente após a laminação a quente pode ser conduzido ou omitido. De um ponto de vista de redução do custo de produção, é vantajoso omitir o recozimento de banda a quente.

[0077] Aqui, quando o recozimento de banda quente é omitido, é necessário controlar uma temperatura de bobinamento após a laminação a quente para não ser inferior a 650°C. Isso é devido ao fato de que, quando o autorrecozimento da bobina de chapa laminada a quente é insuficiente e a chapa de aço antes da laminação a frio não é totalmente recristalizada, a formação de estrias é provocada ou a densidade de fluxo magnético é reduzida. Preferencialmente, a mesma não é inferior a 670°C.

[0078] Por outro lado, quando o recozimento de banda a quente é conduzido, uma temperatura de encharcamento no recozimento de banda a quente é preferencial que seja em uma faixa de 900 a 1150°C. Quando a temperatura de imersão é inferior a 900°C, a estrutura laminada é retida, de modo que o efeito de melhorar as propriedades magnéticas não pode ser obtido suficientemente. No entanto, quando a mesma excede 1150°C, os grãos de cristal são engrossados, e, conseqüentemente, rachadura é provocada facilmente na laminação a frio, e a mesma se torna economicamente desvantajosa.

[0079] É evidente que a temperatura de bobinamento possa ser não inferior a 650°C mesmo quando o recozimento de banda quente é conduzido.

[0080] Em seguida, a chapa de aço, após a laminação a quente ou o recozimento de banda a quente, é submetida a uma única laminação a frio ou duas ou mais laminadoes a frio que incluem um recozimento intermediário entre as mesmas para formar uma chapa de aço laminada a frio que tem uma espessura final. Nesse caso, é preferencial adotar uma laminação realizada elevando-se uma temperatura da chapa para cerca de 200 °C, ou uma denominada laminação a morno a fim de aumentar a densidade de fluxo magnético. Além disso, a espessura da chapa laminada a frio (espessura final) não é limitada particularmente, mas é preferencial que seja em uma faixa de 0,10 a 0,60 mm. Quando a mesma é menor do que 0,10 mm, a produtividade é reduzida, enquanto que, quando a mesma excede 0,60 mm, um efeito de reduzir a perda de ferro é pequeno. A fim de aumentar o efeito de reduzir a perda de ferro, é mais preferencial que seja em uma faixa de 0,10 a 0,35 mm.

[0081] A chapa de aço após a laminação a frio (chapa laminada a frio) é, depois disso, submetida a um recozimento de acabamento por recozimento contínuo. No recozimento de acabamento, uma temperatura de imersão é preferencial que seja em uma faixa de 700 a 1150 °C. Quando a temperatura de imersão é inferior a 700°C, a recristalização não é promovida suficientemente, e boas propriedades magnéticas não são obtidas, e, adicionalmente, o efeito de corrigir a forma da chapa pelo recozimento contínuo não pode ser obtido. No entanto, quando a mesma excede 1150 °C, a perda de energia é aumentada, e se torna antieconômica.

[0082] Na chapa de aço após o recozimento de acabamento, é preferencial que um filme isolante seja aplicado à superfície da chapa

de aço e cozido para reduzir mais a perda de ferro. Além disso, é preferencial que o filme isolante seja um revestimento orgânico contendo resina quando o mesmo é destinado a assegurar uma boa punccionabilidade. No entanto, quando uma soldabilidade é considerada ser importante, a mesma é, preferencialmente, um revestimento semiorgânico ou inorgânico.

EXEMPLO 1

[0083] Os aços A a Q que têm composições químicas diferentes mostradas na Tabela 1 são fundidos e moldados em placas de aço por um método de fundição contínua. Na fusão do aço, o Si e o Al são usados principalmente como um agente desoxidante, e o CaSi é adicionado como uma fonte de Ca. A quantidade de adição do agente desoxidante ou CaSi é ajustada de acordo com o teor de N, O ou S no aço.

[0084] Em seguida, a placa é reaquecida a uma temperatura de 1050 a 1130 °C e laminada a quente para obter uma chapa laminada a quente de 2,3 mm de espessura. Nesse caso, uma temperatura de bobinamento é 680 °C em todos os aços.

[0085] Depois disso, a chapa laminada a quente é decapada e laminada a frio para formar uma chapa laminada a frio que tem uma espessura final de chapa de 0,50 mm, que é submetida a um recozimento de acabamento em uma temperatura de imersão de 1000 °C e revestida com um filme isolante para obter uma chapa de aço elétrico não orientado (chapa de produto). No aço J mostrado na Tabela 1, rachadura é provocada durante a laminação a quente, e nos aços E e Q, rachadura é provocada durante laminação a frio, de modo que as etapas subsequentes são paradas.

TABELA 1

Símbolo do aço	Composição química (% em massa)										Inclusões (*)		Propriedades magnéticas		Observações
	C	Si	Mn	Al solúvel	P	S	N	Sn	Sb	Ca	Equação (1)	Equação (2)	W _{15/50} (W/kg)	B ₅₀ (T)	
A	0,0015	1,62	0,420	0,0009	0,07	0,0018	0,0011	0,041	-	0,0036	0,61	0,15	2,98	1,731	Exemplo Inventivo
B	0,0021	1,68	0,413	0,0018	0,08	0,0017	0,0014	0,038	-	-	0,28	0,52	3,04	1,729	Exemplo Inventivo
C	0,0015	1,61	0,384	0,0002	0,08	0,0011	0,0012	0,042	-	0,0002	0,31	0,28	3,71	1,720	Exemplo comparativo
D	0,0025	1,66	0,395	0,0002	0,07	0,0011	0,0013	-	0,041	0,0029	0,55	0,13	3,21	1,725	Exemplo Inventivo
E	0,0016	5,21	0,432	0,0008	0,07	0,0018	0,0022	0,039	-	0,0035	Rachadura é provocada durante laminação a frio			Exemplo comparativo	
F	0,0028	2,02	0,811	0,0002	0,07	0,0024	0,0017	0,029	-	0,0039	0,63	0,12	2,43	1,722	Exemplo Inventivo
G	0,0017	1,67	0,389	0,0018	0,08	0,0010	0,0025	0,041	-	-	0,18	0,45	3,28	1,725	Exemplo Inventivo
H	0,0024	1,12	0,418	0,0008	0,08	0,0015	0,0018	0,049	-	0,0028	0,59	0,33	4,01	1,735	Exemplo comparativo
I	0,0029	1,69	0,428	0,0003	0,11	0,0023	0,0013	0,031	0,016	0,0037	0,52	0,12	3,02	1,730	Exemplo Inventivo
J	0,0019	1,67	0,125	0,0019	0,08	0,0017	0,0019	0,041	0,024	-	Rachadura é provocada durante laminação a quente			Exemplo comparativo	
K	0,0022	1,69	0,901	0,0001	0,07	0,0023	0,0018	0,052	-	0,0033	0,52	0,12	2,99	1,727	Exemplo Inventivo
L	0,0023	1,62	0,395	0,0063	0,09	0,0021	0,0025	0,043	-	0,0032	0,47	0,61	4,05	1,702	Exemplo comparativo
M	0,0017	1,63	0,472	0,0005	0,10	0,0065	0,0019	-	0,042	0,0039	0,62	0,22	4,03	1,706	Exemplo comparativo
N	0,0027	1,68	0,451	0,0004	0,07	0,0017	0,0021	0,041	-	0,0035	0,56	0,24	3,12	1,730	Exemplo Inventivo
O	0,0021	1,67	0,424	0,0012	0,05	0,0019	0,0019	0,038	-	0,0030	0,52	0,31	3,14	1,725	Exemplo Inventivo
P	0,0028	1,66	0,411	0,0001	0,16	0,0018	0,0018	0,039	-	0,0033	0,54	0,12	3,11	1,732	Exemplo Inventivo
Q	0,0019	1,68	0,378	0,0033	0,22	0,0017	0,0016	0,038	-	0,0035	Rachadura é provocada durante laminação a frio			Exemplo comparativo	

*: Equação (1): $\text{CaO}/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})$, Equação (2): $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})$

[0086] Então, cortes das chapas de produto obtidas dessa forma paralelos à direção de laminação (corte L) são observados por um microscópio eletrônico do tipo varrimento (SEM) para analisar uma composição química em 200 ou mais inclusões à base de óxido e determinar um valor médio das mesmas, a partir do qual uma razão de composição de CaO e uma razão de composição de Al_2O_3 são calculadas.

[0087] Além disso, amostras de teste Epstein são recortadas a partir das chapas de produto na direção de laminação (L) e na direção perpendicular à direção de laminação (C), e a densidade de fluxo magnético B_{50} (densidade de fluxo magnético em uma força de magnetização de 5000 A/m) e perda de ferro $W_{15/50}$ (perda de ferro na excitação em uma densidade de fluxo magnético de 1,5 T e uma frequência de 50 Hz) são medidas, de acordo com a JIS C2552.

[0088] Os resultados medidos acima também são mostrados na Tabela 1. Conforme visto a partir desses resultados, as chapas de aço adaptadas para a invenção podem ser produzidas sem provocar problemas na laminação a quente e na laminação a frio e têm tais propriedades magnéticas excelentes de modo que a perda de ferro $W_{15/50}$ seja tão baixa quanto não mais do que 3,28 W/kg e a densidade de fluxo magnético B_{50} seja tão alta quanto não menos do que 1,722 T. Ao contrário, pode ser visto que as propriedades magnéticas nas chapas de aço não adaptadas para a invenção, isto é, a perda de ferro $W_{15/50}$ e/ou a densidade de fluxo magnético B_{50} são/é inferior(es). Além disso, uma vez que a quantidade de adição de Al como o agente desoxidante é pequena na fusão de aço e, também, CaSi não é adicionado, o aço C é um exemplo que tem uma razão de composição de inclusões fora da faixa, de acordo com a invenção

EXEMPLO 2

[0089] Os aços R a V que têm composições químicas diferentes mostradas na Tabela 2 são fundidos e moldados em placas por um

método de fundição contínua da mesma maneira que no Exemplo 1. A placa é, então, reauecida a uma temperatura de 1050 a 1110°C e laminada a quente para formar uma chapa laminada a quente de 2,3 mm de espessura, que é decapada e laminada a frio para obter uma chapa laminada a frio que tem uma espessura final de 0,50 mm. Depois disso, a chapa é submetida a um recozimento de acabamento em uma temperatura de imersão de 1000°C e revestida com um filme isolante para obter uma chapa de aço elétrico não orientado (chapa de produto). Nesse caso, uma temperatura de bobinamento após a laminação a quente é variada em quatro níveis dentro de uma faixa de 600 a 720°C conforme mostrado na Tabela 2. O aço V é conformado em uma chapa laminada a quente, que é, então, submetida a um recozimento de banda quente em uma temperatura de imersão de 1000°C, por recozimento contínuo e decapada.

[0090] Em relação às chapas de produto obtidas dessa forma, uma razão de composição de CaO e uma razão de composição de Al_2O_3 são calculadas e a densidade de fluxo magnético B_{50} e perda de ferro $W_{15/50}$ são medidas como no Exemplo 1.

TABELA 2

Símbolo do aço	Composição química (% em massa)										Inclusão (*)		Temperatura de bobina-mento em laminação a quente (°C)	Propriedades magnéticas		Comentários
	C	Si	Mn	Al so-lúvel	P	S	N	Sn	Sb	Ca	Equa-ção (1)	Equa-ção (2)		W _{15/50} (W/kg)	B ₅₀ (T)	
R	0,0022	1,67	0,397	0,0006	0,07	0,0021	0,0018	0,045	-	0,0038	0,60	0,12	600	3,12	1,720	Exemplo comparativo
S	0,0019	1,66	0,397	0,0007	0,07	0,0019	0,0016	0,044	-	0,0039	0,61	0,13	655	3,05	1,726	Exemplo In-ventivo
T	0,0023	1,62	0,399	0,0002	0,07	0,0023	0,0017	0,048	-	0,0038	0,63	0,13	675	3,04	1,730	Exemplo In-ventivo
U	0,0021	1,65	0,395	0,0006	0,07	0,0022	0,0018	0,045	-	0,0040	0,62	0,15	720	3,03	1,735	Exemplo In-ventivo
V	0,0022	1,67	0,397	0,0007	0,07	0,0022	0,0019	0,045	-	0,0038	0,61	0,13	600	3,01	1,739	Exemplo In-ventivo

*: Equação (1): $\text{CaO}/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})$, Equação (2): $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})$

[0091] Os resultados medidos acima também são mostrados na Tabela 2. Conforme visto a partir desses resultados, as chapas de aço adaptadas para a invenção têm excelentes propriedades magnéticas em que a perda de ferro $W_{15/50}$ é de não mais do que 3,05 W/kg e a densidade de fluxo magnético B_{50} é de não menos do que 1,726 T.

EXEMPLO 3

[0092] Os aços W-AG que têm composições químicas diferentes mostradas na Tabela 3 são fundidos e moldados em placas por um método de fundição contínua da mesma maneira que no Exemplo 1. Então, a placa é reaquecida a uma temperatura de 1090 a 1220°C e laminada a quente para formar uma chapa laminada a quente de 2,1 mm de espessura, que é decapada e laminada a frio para formar uma chapa laminada a frio que tem uma espessura final de 0,50 mm. Depois disso, a chapa é submetida a um recozimento de acabamento em uma temperatura de imersão de 1010°C e revestida com um filme isolante para obter uma chapa de aço elétrico não orientado (chapa de produto). Nesse caso, uma temperatura de bobinamento após a laminação a quente é de 670°C em todos os aços.

[0093] Em relação às chapas de produto obtidas dessa forma, uma razão de composição de CaO e uma razão de composição de Al_2O_3 são calculadas e a densidade de fluxo magnético B_{50} e a perda de ferro $W_{15/50}$ são medidas como no Exemplo 1.

TABELA 3

Símbolo do aço	Composição química (% em massa)									Inclusão*		Propriedades magnéticas		Comentários
	C	Si	Mn	Al solúvel	P	S	N	Ca	Outro ingrediente	Equação (1)	Equação (2)	W _{15/50} (W/kg)	B ₅₀ (T)	
W	0,0018	1,65	0,418	0,0008	0,08	0,0016	0,0015	0,0035	REM:0,002	0,60	0,25	2,94	1,732	Exemplo Inventivo
X	0,0019	1,67	0,502	0,0020	0,05	0,0015	0,0018	-	REM:0,005	0,16	0,54	2,99	1,726	Exemplo Inventivo
Y	0,0016	1,63	0,377	0,0002	0,09	0,0014	0,0013	0,0038	Mg: 0,001	0,61	0,14	3,02	1,729	Exemplo Inventivo
Z	0,0014	1,64	0,387	0,0019	0,06	0,0012	0,0015	-	Mg: 0,003	0,17	0,52	3,13	1,727	Exemplo Inventivo
AA	0,0014	1,68	0,363	0,0005	0,09	0,0021	0,0016	0,0041	Ni:0,05	0,64	0,21	2,94	1,730	Exemplo Inventivo
AB	0,0012	1,71	0,295	0,0006	0,09	0,0012	0,0019	0,0035	Ni: 0,14	0,54	0,20	2,86	1,733	Exemplo Inventivo
AC	0,0017	1,66	0,385	0,0002	0,08	0,0021	0,0012	0,0038	Cu: 0,09	0,59	0,11	2,98	1,729	Exemplo Inventivo
AD	0,0019	1,68	0,372	0,0007	0,08	0,0019	0,0014	0,0037	Cu:0,15	0,54	0,15	2,89	1,731	Exemplo Inventivo
AE	0,0021	1,66	0,503	0,0007	0,05	0,0016	0,0012	0,0039	Cr: 0,08	0,61	0,26	3,03	1,730	Exemplo Inventivo
AF	0,0022	1,62	0,588	0,0001	0,01	0,0014	0,0014	0,0031	Cr: 0,12	0,52	0,11	2,94	1,732	Exemplo Inventivo
AG	0,0015	1,65	0,401	0,0018	0,06	0,0009	0,0011	-	-	0,29	0,48	3,03	1,725	Exemplo Inventivo

*: Equação (1): $\text{CaO}/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})$, Equação (2): $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO})$

[0094] Os resultados medidos acima também são mostrados na Tabela 3. Conforme visto a partir desses resultados, as chapas de aço adaptadas para a invenção têm excelentes propriedades magnéticas em que a perda de ferro $W_{15/50}$ é de não mais do que 3,13 W/kg e a densidade de fluxo magnético B_{50} é de não menos do que 1,725 T.

REIVINDICAÇÕES

1. Chapa de aço elétrico não orientado caracterizada pelo fato de que tem uma composição química que compreende C: não mais que 0,0050% em massa, Si: 1,5 a 5,0% em massa, Mn: 0,20 a 3,0% em massa, Al solúvel: não mais do que 0,0050% em massa, P: não mais do que 0,2% em massa, S: não mais do que 0,0050% em massa, N: não mais do que 0,0040% em massa, e opcionalmente pelo menos um grupo de elementos dos seguintes grupos A – D:

Grupo A: Ca: 0,0005 a 0,0100% em massa,

Grupo B: um ou dois selecionados a partir de Sn: 0,01 a 0,1% em massa e Sb: 0,01 a 0,1% em massa,

Grupo C: um ou dois selecionados a partir de Mg: 0,001 a 0,05% em massa e REM: 0,001 a 0,05% em massa, e

Grupo D: um ou mais selecionados a partir de Cu: 0,01 a 0,5% em massa, Ni: 0,01 a 0,5% em massa e Cr: 0,01 a 0,5% em massa,

e o restante é Fe e impurezas inevitáveis, em que uma razão de composição de CaO em inclusões à base de óxido que existem em uma chapa de aço é definida pela equação (1) a seguir:

$$\text{CaO} / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}) \dots (1)$$

é não menos do que 0,4 e opcionalmente uma razão de composição de Al_2O_3 definida pela equação (2) a seguir:

$$\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}) \dots (2)$$

é não menos do que 0,3;

em que cada uma dentre a razão de composição de CaO e a razão de composição de Al_2O_3 nas inclusões à base de óxido que existem na chapa de aço é um valor médio calculado a partir de valores obtidos quando 200 ou mais inclusões à base de óxido que existem em um corte paralelo à direção de laminação (corte L) da chapa de aço são observadas com SEM (microscópio eletrônico do tipo var-

rimento) para analisar as composições químicas das mesmas.

2. Método para produzir uma chapa de aço elétrico não orientado por laminação a quente do aço para uma dada composição química por refinamento secundário, moldando o aço em uma placa por um método de fundição contínua ou um método de desbaste-fabricação de lingote, a laminação a quente da placa tendo uma composição química como definida na reivindicação 1, na qual a temperatura de reaquecimento da placa está na faixa de 1000-1200°C para formar uma chapa laminada a quente, laminar a frio a chapa laminada a quente sem conduzir um recozimento de banda a quente e submeter a um recozimento de acabamento a uma temperatura de imersão na faixa de 700 a 1150 °C, caracterizado pelo fato de que no refinamento secundário, uma razão de composição de CaO em inclusões à base de óxido que existem na placa definida pela equação (1) a seguir:

$$\text{CaO} / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}) \dots (1)$$

é não menos do que 0,4, e/ou uma razão de composição de Al_2O_3 definida pela equação (2) a seguir:

$$\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}) \dots (2)$$

é não menos do que 0,3, e uma temperatura de bobinamento na laminação a quente não é inferior a 650 °C;

em que cada uma dentre a razão de composição de CaO e a razão de composição de Al_2O_3 nas inclusões à base de óxido que existem na chapa de aço é um valor médio calculado a partir de valores obtidos quando 200 ou mais inclusões à base de óxido que existem em um corte paralelo à direção de laminação (corte L) da chapa de aço são observadas com SEM (microscópio eletrônico do tipo varrimento) para analisar as composições químicas das mesmas.

3. Método para produzir uma chapa de aço elétrico não orientado por laminação a quente de uma placa que tem uma composição química por refinamento secundário, moldando o aço em uma pla-

ca por um método de fundição contínua ou um método de desbaste-fabricação de lingote, a laminação a quente da placa tendo uma composição química como definida na reivindicação 1, na qual a temperatura de reaquecimento da placa está na faixa de 1000-1200°C para formar uma chapa laminada a quente, laminar a frio a chapa laminada a quente após um recozimento de banda a quente e submeter a um recozimento de acabamento a uma temperatura de imersão na faixa de 700 a 1150 °C, caracterizado pelo fato de que no refinamento secundário, uma razão de composição de CaO em inclusões à base de óxido que existem na placa definida pela equação (1) a seguir:

$$\text{CaO} / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}) \dots (1)$$

é não menos do que 0,4 e opcionalmente uma razão de composição de Al₂O₃ definida pela equação (2) a seguir:

$$\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}) \dots (2)$$

é não menos do que 0,3, e o recozimento de banda a quente é conduzido a uma temperatura de 900 a 1150 °C;

em que cada uma dentre a razão de composição de CaO e a razão de composição de Al₂O₃ nas inclusões à base de óxido que existem na chapa de aço é um valor médio calculado a partir de valores obtidos quando 200 ou mais inclusões à base de óxido que existem em um corte paralelo à direção de laminação (corte L) da chapa de aço são observadas com SEM (microscópio eletrônico do tipo varrimento) para analisar as composições químicas das mesmas.

FIG. 1

