



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

(21) PI 0719586-9 A2



(22) Data de Depósito: 15/11/2007
(43) Data da Publicação: 08/07/2014
(RPI 2270)

(51) Int.Cl.:
C22C 38/00
B21B 3/02
C21D 8/12
C21D 9/46
C22C 38/02
C22C 38/60
C23C 22/00
H01F 1/16
H01F 1/18

(54) Título: FOLHA DE AÇO ELÉTRICA DE GRÃO ORIENTADO EXCELENTE NA ADESÃO DE REVESTIMENTO E MÉTODO DE PRODUÇÃO DA MESMA

(57) Resumo:

(30) Prioridade Unionista: 22/11/2006 JP 2006-315527

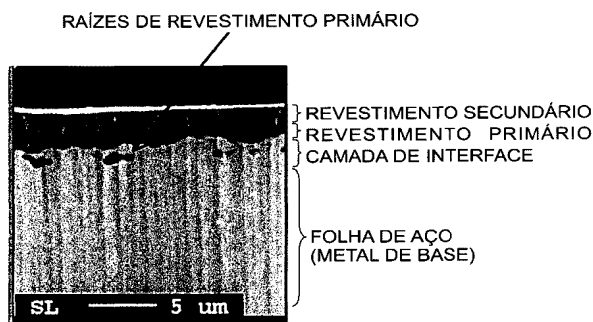
(73) Titular(es): Nippon Steel Corporation

(72) Inventor(es): Eiichi Nanba, Hotaka Honma, Kazumi Mizukami, Koki Tanaka, Satoshi Arai, Yuji Kubo

(74) Procurador(es): DANNEMANN, SIEMSEN, BIGLER & IPANEMA MOREIRA

(86) Pedido Internacional: PCT JP2007072600 de 15/11/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2008/062853de
29/05/2008



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"FOLHA DE AÇO ELÉTRICA DE GRÃO ORIENTADO EXCELENTE NA ADESÃO DE REVESTIMENTO E MÉTODO DE PRODUÇÃO DA MESMA"**.

CAMPO DA INVENÇÃO

5 A presente invenção refere-se a uma folha de aço de grão orientado eletricamente para uso em transformadores e outros aparelhos de indução estacionários. Ela se refere particularmente a uma folha de aço de grão orientado eletricamente de densidade de alto fluxo magnético impresso com excelentes propriedades de fabricação de transformador pela redução da
10 taxa de esfoliação de revestimento durante uma flexão forte.

DESCRIÇÃO DA TÉCNICA RELACIONADA

 Uma folha de aço de grão orientado eletricamente é usada principalmente em aparelhos de indução estacionários, tipicamente em transformadores. As propriedades requeridas por uma folha de aço de grão orientado eletricamente incluem, por exemplo: 1) baixa perda de energia sob uma
15 excitação AC, isto é, baixa perda de núcleo, 2) fácil excitação devido à alta permeabilidade na faixa de excitação na qual o aparelho é usado, e 3) baixa magnetostrição causando ruído.

 A primeira propriedade mencionada 1) é particularmente crítica porque um transformador está continuamente excitado e continua a perder
20 energia por muitos anos entre a instalação e o descarte como sucata. Uma perda de núcleo, portanto, é um parâmetro importante determinando o T.O.C. (Custo de Propriedade Total), o qual é um índice de valor de transformador.

25 Muitas tecnologias foram desenvolvidas para redução da perda de núcleo de folha de aço de grão orientado elétrica. Estas incluem: 1) aumentar a densidade de orientação $\{110\}<001>$ (assim denominada orientação de Goss), 2) aumentar o teor de Si e outros elementos solutos que melhoram a resistência elétrica, 3) reduzir a espessura de folha, 4) prover um
30 revestimento cerâmico, de isolamento ou outro que imprima uma tensão superficial à folha, 5) reduzir o tamanho de grão de cristal, e 6) refinar domínios magnéticos pela introdução de deformação linear e/ou ranhuras.

Um exemplo clássico de uma tecnologia para melhoria da densidade de fluxo magnético é o método de produção ensinado pela Publicação de Patente Japonesa (B) Nº S40-15644. Este método faz com que AlN e MnS funcionem como inibidores para a inibição do crescimento de grão de cristal e regula a relação de redução em uma laminação a frio final em uma redução forte de mais de 80%. O método aumenta a densidade de orientação de grão de cristal na direção $\{110\}<001>$ para a realização de uma folha de aço de grão orientado eletricamente tendo uma densidade de alto fluxo magnético cujo B_8 (densidade de fluxo a uma força de excitação de 800 A/m) é de 1,870 T ou maior.

Como uma tecnologia para melhoramento adicional da densidade de fluxo magnético, a Publicação de Patente Japonesa (A) Nº H6-88171, por exemplo, ensina um método de adição de 100 a 5.000 g/ton de Bi ao aço fundido para a obtenção de um produto com uma B_8 de 1,95 T ou maior.

Por outro lado, vários métodos foram desenvolvidos para a redução da perda de núcleo por um refinamento de domínio magnético, incluindo um método de submissão da folha de aço a um tratamento com laser (Publicação de Patente Japonesa (B) Nº S58-2569). E aços exibindo excelente propriedade de perda de núcleo também são mostrados.

A Publicação de Patente Japonesa (A) Nº S60-141830 ensina um método de produção de uma folha de aço - silício de grão orientado pela adição a um separador de recozimento composto principalmente por MgO de aditivos selecionados a partir de entre La, compostos de La, Ce, e compostos de Ce em uma quantidade total como compostos de La e Ce de 0,1 a 3,0% com base na quantidade total de MgO e adição de S ou compostos de S em uma quantidade de 0,01 a 1,0% como S com base na quantidade de MgO. Este é um método de melhoria das propriedades magnéticas pelo uso de um separador de recozimento contendo o elemento de formação de inibidor S e permitindo que S passe do separador de recozimento para penetrar no aço durante um recozimento de acabamento, desse modo fortalecendo a ação de inibição de crescimento de grão durante uma recristalização primária e a ação de controle da orientação de grãos de recristalização secundária

crescendo a partir da camada superficial. É dirigida a tornar ótimo o sincronismo de penetração de S para a recristalização secundária ao se fazer com que La e Ce, os quais têm uma afinidade forte por S, sejam copresentes com S.

5 Ainda, a Publicação de Patente Japonesa (B) N° S61-15152 ensina um separador de recozimento para uma tira de aço-silício de grão orientado usando-se óxido de magnésio como um material de base. O separador de recozimento é caracterizado por incluir um óxido de terras raras sozinho ou em conjunto com um silicato de metal. Ela ainda ensina que o separador
10 de recozimento torna possível obter um produto livre de pequenas descontinuidades (pequenos orifícios em recesso) abaixo da camada superficial da tira, desse modo se obtendo uma baixa magnetostrição, boa resistividade superficial e boa adesão.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

15 Embora os métodos da técnica anterior discutidos acima tenham tornado possível obter uma folha de aço de grão orientado eletricamente exibindo excelente propriedade de perda de núcleo como uma matéria-prima, eles não resolvem o problema de descascamento do revestimento primário durante uma flexão forte para dentro no decorrer da fabricação de
20 um transformador, particularmente um transformador de núcleo enrolado, usando-se a folha de aço de grão orientado elétrica. Este é um problema que ainda requer uma solução, de modo a se fabricarem industrialmente os transformadores de alta eficiência demandados pelo mercado.

 A adesão de revestimento primário da região fortemente flexionada é determinada pelo enrolamento da folha de aço em torno de uma barra redonda de 10 mm ou de diâmetro menor e é expressa como a taxa da
25 área de esfoliação de revestimento definida como a relação da área em que uma esfoliação de revestimento ocorreu para a área trabalhada da folha de aço em contato com a barra redonda.

30 A Publicação de Patente Japonesa (A) N° S60-141830 referida anteriormente não é dirigida à melhoria da adesão de revestimento pela melhoria do desempenho de revestimento. Esta publicação, portanto, oferece

pouca informação com referência à adesão de revestimento. Ela meramente declara que a adesão com flexão se deteriora quando a taxa total de La e Ce adicionados ao separador de recozimento excede a 3,0% em massa do MgO e é totalmente silencioso com referência ao nível de adesão de flexão de
5 folha de aço. É de nota em particular que ela não menciona ou mesmo sugere qualquer coisa sobre a adesão na região fortemente flexionada (a taxa da área de esfoliação) durante uma flexão forte. Mais ainda, a composição de chapa grossa de aço estabelecida na publicação não inclui Al, o qual é efetivo para a realização de uma densidade de alto fluxo magnético e nada é dito
10 sobre o efeito de Al, o qual afeta notavelmente a taxa da área de esfoliação durante uma flexão forte.

Ainda, a Publicação de Patente Japonesa (B) Nº S61-15152 mencionada anteriormente também não é dirigida à melhoria da adesão de revestimento pela melhoria do desempenho de revestimento e não faz men-
15 ção a uma composição de aço em lugar algum na descrição, incluindo aquele dos exemplos.

Os inventores reportaram anteriormente que a adição de um composto de Ce ou de um composto de La, ou ambos um composto de Ce e um composto de La a um separador de recozimento composto principalmen-
20 te por MgO torna possível obter uma folha de aço de grão orientado eletricamente contendo Ce ou La, ou ambos Ce e La, no revestimento primário desta folha de aço, e que o revestimento primário desta folha de aço é excelente na adesão de revestimento, particularmente na propriedade de "descascamento de quadro". Contudo, a adesão de revestimento ainda é insufi-
25 ciente em termos da adesão do revestimento primário em regiões fortemente flexionadas.

O objetivo da presente invenção é superar o problema mencionado acima pela provisão de uma folha de aço de grão orientado eletricamente excelente na adesão de revestimento que seja capaz de impedir a
30 ocorrência de descascamento do revestimento primário em regiões fortemente flexionadas em direção do lado interno de um núcleo de transformador no decorrer da fabricação de um transformador, particularmente um

transformador de núcleo enrolado, e à provisão de um método de produção da mesma.

De modo a se alcançar este objetivo, a invenção provê uma folha de aço de grão orientado eletricamente e um método de produção da mesma, conforme estabelecido a seguir.

(1) Folha de aço de grão orientado eletricamente excelente na adesão de revestimento compreendendo, em % em massa, Si: de 2 a 7% e tendo em uma superfície da mesma um revestimento primário composto principalmente por forsterita, onde o revestimento primário compreende um composto (A) que contém um ou mais elementos selecionados dentre Ca, Sr e Ba, pelo menos um metal de terras raras e enxofre.

(2) A folha de aço de grão orientado eletricamente excelente na adesão de revestimento de acordo com (1), onde pelo menos um metal de terras raras é um ou ambos dentre La e Ce.

(3) A folha de aço de grão orientado eletricamente excelente na adesão de revestimento de acordo com (1) ou (2), onde o composto (A) está presente pelo menos na camada de interface entre o revestimento primário e a folha de aço.

(4) A folha de aço de grão orientado eletricamente excelente na adesão de revestimento de acordo com (1), onde a folha de aço de grão orientado eletricamente é formada usando-se AlN como um inibidor.

(5) Um método de produção de uma folha de aço de grão orientado eletricamente excelente na adesão de revestimento, que compreende:

a preparação de uma tira laminada a quente usando-se um aço contendo, em % em massa, C: 0,10% ou menos, Si: de 2 a 7%, Mn: de 0,02 a 0,30%, um ou ambos dentre S e Se: de 0,001 a 0,040% no total, e um saldo de Fe e impurezas inevitáveis;

o recozimento da tira laminada a quente;

o acabamento da tira recozida para uma folha de uma espessura final por uma ou mais laminações a frio ou duas ou mais laminações a frio com um recozimento intermediário;

o recozimento com descarbonização da folha laminada a frio;

o revestimento da superfície de folha de aço com um separador de recozimento; e

a secagem e o recozimento de acabamento da folha revestida, desse modo se produzindo uma folha de aço de grão orientado elétrica,

5 onde o separador de recozimento é um composto principalmente por MgO que tem um teor de composto de metal de terras raras, expresso como um metal de terras raras, de 0,1 a 10% em massa, um teor de composto de metal alcalino-terroso de um ou mais selecionados dentre Ca, Sr e Ba, expresso como um metal alcalino-terroso, de 0,1 a 10% em massa, e um
10 teor de composto de enxofre, expresso como S, de 0,01 a 5% em massa.

(6) O método de produção de uma folha de aço de grão orientado eletricamente excelente na adesão de revestimento, de acordo com (5), onde o separador de recozimento ainda tem um teor de composto de Ti, expresso como Ti, de 0,5 a 10% em massa.

15 (7) O método de produção de uma folha de aço de grão orientado eletricamente excelente na adesão de revestimento, de acordo com (5) ou (6), onde o aço ainda contém, em % em massa, Al solúvel em ácido: de 0,010 a 0,065% e N: de 0,0030 a 0,0150%.

(8) O método de produção de uma folha de aço de grão orientado eletricamente excelente na adesão de revestimento, de acordo com (5)
20 ou (6), onde o aço ainda contém, em % em massa, Bi: de 0,005 a 0,05%.

(9) O método de produção de uma folha de aço de grão orientado eletricamente excelente na adesão de revestimento, de acordo com (5) ou (6), onde o aço ainda contém, em % em massa, Al solúvel em ácido: de
25 0,010 a 0,065%, N: de 0,0030 a 0,0150%; e Bi: de 0,0005 a 0,05%.

Conforme previamente determinado, a folha de aço de grão orientado eletricamente de acordo com a presente invenção contém, em % em massa: Si: de 2 a 7%, e o revestimento primário da folha de aço de grão orientado eletricamente usando AlN como inibidor contém um composto (A)
30 contendo um ou mais elementos selecionados a partir de entre Ca, Sr e Ba, pelo menos um metal de terras raras e um enxofre elementar, por meio do que é obtida uma folha de aço de grão orientado eletricamente que exhibe

alta adesão de revestimento e baixa taxa da área de esfoliação de revestimento, em particular durante uma flexão forte, nenhuma dessas propriedades tendo sido obtível até agora.

5 A incorporação dos componentes mencionados anteriormente no revestimento primário da folha de aço de grão orientado eletricamente excelente na adesão de revestimento pode ser obtida pela adição de compostos de metal de terras raras, compostos de metal alcalino-terroso e compostos de enxofre ao separador de recozimento composto principalmente por MgO.

10 BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A figura 1 é uma fotografia que mostra uma seção transversal na interface entre um revestimento primário e uma folha de aço.

A figura 2 é um diagrama que mostra um exemplo de análise de perfil de GDS de um revestimento primário.

15 A figura 3 é um conjunto de imagens de FE-EMPA que mostra uma seção transversal do revestimento de um espécime de pequena taxa da área de esfoliação de revestimento durante uma flexão forte (esquerda superior), um mapeamento de S (direita superior), um mapeamento de Sr (esquerda inferior) e um mapeamento de Ce (direita inferior).

20 A figura 4 é uma imagem de FE-EMPA de composto de Sr, Ce e S (na imagem de elétrons retrodifundidos, o composto de SrCeS de aparência branca está presente próximo do espinélio (MgAl_2O_4) de aparência preta).

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

25 Uma explicação concreta das circunstâncias levando à invenção e dos detalhes da invenção se segue.

O termo "revestimento primário" quando usado com respeito a uma folha de aço de grão orientado eletricamente significa um revestimento (filme) composto principalmente por Mg_2SiO_4 (forsterita) formado na superfície de folha de aço pela aplicação de um separador de recozimento composto principalmente por MgO sobre uma folha de aço recozida de descarbonização, pela secagem dela e pelo recozimento de acabamento da folha de

30

aço revestida para reação de SiO_2 e MgO na camada de óxido descarbonizada.

Um filme de isolamento para impressão de isolamento e/ou tensão composto principalmente por fosfato e sílica coloidal aplicados no topo do revestimento primário após o recozimento de acabamento é classificado como um revestimento secundário.

Quando uma folha de produto tendo um revestimento secundário aplicado no topo do revestimento primário é flexionada, um descascamento ocorre não na superfície entre o revestimento primário e o revestimento secundário, mas na interface entre o metal de base e o revestimento primário. Um melhoramento da adesão de revestimento, portanto, requer um melhoramento da aderência do revestimento primário à folha de aço.

De modo a se reduzir a taxa da área de esfoliação de revestimento do revestimento primário durante uma flexão forte, é requerido que o revestimento tenha excelente aderência e deformabilidade em resposta ao trabalho. O revestimento primário composto por um óxido consistindo principalmente em forsterita usualmente é inclinado a fissurar facilmente quando deformado. A formação de uma substância tendo deformabilidade no revestimento primário, portanto, pode ser considerada uma forma efetiva de se imprimir uma boa capacidade de trabalho.

Em consonância com essa linha de pensamento, os inventores descobriram quando o revestimento primário de uma folha de aço de grão orientado eletricamente contendo, em % em massa, Si: de 2 a 7% e usando AlN como inibidor é feito incluir um composto contendo um ou mais elementos selecionados a partir de entre Ca, Sr e Ba, pelo menos um metal de terras raras e enxofre elementar (este composto sendo denominado aqui o "composto (A)"), torna-se possível obter uma folha de aço de grão orientado eletricamente excelente na adesão de revestimento, particularmente na adesão em regiões fortemente flexionadas.

Os exemplos do composto (A) que podem ser mencionados incluem compósitos de sulfeto, compósitos de sulfato, sulfetos halogenados e similares.

É pensado que a adesão excelente nas regiões fortemente flexionadas é obtida porque o composto (A) na forsterita atua efetivamente como uma substância com capacidade de deformação. É valioso notar, particularmente, que o composto (A) contendo enxofre tem um Módulo de Young mais
 5 baixo, ou é mais deformável, do que o óxido estruturalmente rígido (forsterita), de modo que o revestimento primário de forsterita seja impresso com uma capacidade de trabalho. Este efeito é especialmente notável quando o composto (A) é um compósito de sulfeto compreendendo um ou mais metais alcalino-terrosos selecionados a partir de entre Ca, Sr e Ba, e pelo menos
 10 um metal de terras raras.

Diferentemente de um óxido ligado ionicamente, o composto (A) se aproxima de uma ligação covalente que dá origem a uma direcionalidade de ligação. Uma vez que muito disso, portanto, assume uma estrutura em camadas, uma deformação por deslizamento ocorrendo entre as camadas é
 15 pensada produzindo uma capacidade de deformação excelente.

Como compostos de sulfeto usáveis podem ser listados $(Ca_x, Sr_y, Ba_z) Re_2S_4$, $(Ca_x, Sr_y, Ba_z) ReS_2$, $(Ca_x, Sr_y, Ba_z)_2 ReS_4$ e similares. Mais ainda, estes podem ser compostos não-estequiométricos $(Ca_x, Sr_y, Ba_z)_{1-w} Re_{2+w} S_4$. Os símbolos x, y, z aqui são números que satisfazem a $x + y + z =$
 20 1 , $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $0 \leq z \leq 1$, Re é um metal de terras raras e satisfaz a $0 \leq w \leq 1$.

Os metais de terras raras que podem estar contidos no composto (A) nesta invenção são Sc e Y pertencentes ao grupo 3 da tabela periódica e os elementos da série dos lantanídeos, os quais incluem La, Ce, Pr e
 25 Nd. Um ou mais destes elementos é suficiente. Do ponto de vista de custo e disponibilidade, La e Ce são preferíveis. Uma seleção de um ou ambos dentre La e Ce é preferível, portanto. Por razões desconhecidas, o La tende a exibir características melhores do que o Ce.

O composto (A), expresso como o total de elementos de metal e
 30 S, preferencialmente está presente no revestimento primário na taxa de 0,001 partes em massa (pbm) a 50 pbm por 100 pbm de MgO, expresso como Mg. Quando presente em menos de 0,001 pbm, o efeito de adesão é

inadequado, e quando apresenta além de 50 pbm, as propriedades de revestimento são propensas a uma deterioração. A faixa mais preferível é de 0,005 pbm a 30 pbm, e a faixa ainda mais preferível é de 0,01 pbm a 10 pbm.

5 O melhoramento de adesão da região de flexão forte é ótimo quando o composto (A) está presente na camada de interface entre o revestimento primário e a folha de aço. O revestimento primário geralmente forma uma rede de raízes em direção à camada de metal de base interna. Portanto, conforme denominado com respeito a esta invenção, a "camada de interface" entre o revestimento primário e o metal de base é definida como es-
10 tando localizada na região de transição entre a camada dominada pelo revestimento primário e a camada dominada pelo metal de base. Conforme pode ser visto na figura 1, a camada de interface pode ser observada na seção transversal de camada de revestimento.

15 A camada de interface desta invenção é determinada por um método analítico, tal como a seguir.

Quando a distribuição de elementos na direção de profundidade é medida por um método tal como uma espectrometria de descarga de brilho (GDS), os picos de Mg e Si, os elementos principais formando o revestimen-
20 to primário, são encontrados caindo com a profundidade crescente, enquanto o pico de Fe sobe com uma profundidade crescente. O valor numérico em que a intensidade do pico de Fe se torna constante ao atingir o metal de base é tomado como uma referência. A profundidade a partir da superfície calculada a partir do tempo em que o pico era de metade desta intensidade é
25 definida como o ponto de começo e a zona a partir dali até a profundidade calculada a partir do tempo em que a intensidade de pico de Fe se torna constante (cuja profundidade corresponde à profundidade na qual a intensidade de Mg cessa de ser detectada) é definida como a camada de interface. Isto é mostrado na figura 2. As camadas de interface nas figura 1 e 2 combi-
30 nam substancialmente.

A presença do composto (A) na camada de interface entre o revestimento primário e a folha de aço é desejável, porque melhora a adesão

pelo fortalecimento das raízes do revestimento primário. E na camada de interface é particularmente desejável que o composto (A) esteja presente a partir do ponto de começo da camada de interface até uma profundidade de 5 μm a partir dali. Quando está presente em localizações mais profundas do
5 que 5 μm , uma perda por histerese pode aumentar para degradação das propriedades magnéticas. A profundidade mais preferível é de até 3 μm .

No caso em particular de uma folha de aço de grão orientado eletricamente contendo AlN como o inibidor de modo a se obter uma densidade de alto fluxo magnético, não apenas a forsterita, mas também um
10 compósito de óxido de Mg-Al denominado espinélio (MgAl_2O_4) é formado na interface entre o revestimento e o metal de base. O espinélio ocorre no revestimento primário e principalmente na camada de interface entre o revestimento primário e a folha de aço. É sabido que a formação do espinélio degrada a adesão. A razão para isto é pensada como sendo o espinélio a cau-
15 sa dos danos e produz pontos de iniciação de esfoliação durante uma flexão. A inibição dos danos e da atividade de ponto de iniciação de fissura do espinélio, portanto, contribui grandemente para a melhoria da adesão durante uma flexão.

Quando o composto (A) composto por um ou mais elementos selecionados dentre Ca, Sr e Ba, pelo menos um metal de terras raras e um enxofre elementar está presente na interface entre o revestimento e a folha de aço, bem como próximo do espinélio formado para dentro da folha de aço a partir da interface, o dano mencionado anteriormente e a atividade de pon-
20 to de iniciação de fissura do espinélio são inibidos para melhoria adicional da adesão durante uma flexão forte.

Quando o revestimento primário contém Al, o composto (A), expresso como o total de elementos metálicos e S do mesmo, preferencialmente está presente a de 0,001 pbm a 300 pbm por 100 pbm de Al. Quando presente a menos de 0,001 pbm, o efeito de espinélio é pequeno, de modo
30 que um efeito de melhoria de adesão não pode ser obtido. Quando presente além de 300 pbm, o efeito sobre o espinélio permanece não-modificado, enquanto as propriedades de revestimento são propensas a uma deterioração.

A faixa mais preferível é de 0,01 pbm a 100 pbm.

Particularmente quando o composto (A) é um sulfeto de um ou mais dentre Ca, Sr e Ba e pelo menos um metal de terras raras, o melhoramento da adesão durante uma flexão forte é ainda mais efetivo. O sulfeto
5 tende a permanecer no revestimento primário como um sulfeto e tende a se formar nas raízes do revestimento primário próximo do espinélio. Portanto, é pensado que contribui largamente para a redução da taxa da área de esfoliação de revestimento, especialmente durante uma flexão forte.

Uma explicação do mecanismo de formação do composto (A) é
10 conforme se segue.

Os metais de terras raras se acumulam de forma abundante na camada superficial do revestimento primário porque sua taxa de difusão na camada de óxido descarbonizada é lenta. Sulfetos do metal de terras raras, portanto, prontamente ocorrem próximo da superfície de revestimento. Por
15 outro lado, Ca, Sr e Ba, os quais se difundem rapidamente na camada de óxido descarbonizada, atingem as raízes da camada de óxido descarbonizada em uma camada interna do metal de base durante um recozimento de acabamento, a 1.000°C ou menos. Quando o aço contém Al, o Al se difunde a partir do interior do aço até a camada superficial, onde, desde que o Mg
20 não esteja presente, ele forma compósitos de óxido de Ca, Sr e Ba, e permanece na localização das raízes da camada de óxido descarbonizada.

Conforme destacado anteriormente, um separador de recozimento composto principalmente por MgO é usado. Portanto, quando o aço contém Al, o Al se difundindo a partir do interior até a superfície do aço reage com o Mg difundido na camada superficial do aço durante um tratamento
25 de temperatura alta, desse modo formando o espinélio. Quando um ou mais dentre Ca, Sr e Ba estão copresentes, uma porção dos mesmos é capturada pelo espinélio, mas a maioria se difunde até a camada superficial para a formação de sulfetos. Em outras palavras, o Mg reage preferencialmente,
30 não com os Ca, Sr e Ba, mas com Al, desse modo formando um óxido de espinélio na interface entre o revestimento e a folha de aço.

Conforme mencionado acima, os metais de terras raras pronta-

mente formam sulfetos na região de superfície do revestimento. Contudo, quando um ou mais dentre Ca, Sr e Ba estão copresentes, o(s) metal(is) de terras raras se difunde(m) para o interior, de modo que compósitos de óxido estáveis de metal(is) de terras raras e Ca, Sr e/ou Ba se formem, com os Ca, Sr e/ou Ba permanecendo nas raízes da camada de óxido descarbonizada. Ainda, uma vez que o compósito de sulfeto é formado onde o Al está presente, ele finamente vem a estar presente nas proximidades do espinélio. O efeito considerável em direção a um melhoramento de adesão é presumido, portanto, como sendo atribuível ao fato que sulfetos deformáveis estão presentes, onde eles podem mitigar diretamente o efeito adverso do espinélio como pontos de iniciação de fissura.

Conforme previamente determinado, os sulfetos formados de metal(is) de terras raras e Ca, Sr e/ou Ba tendem a permanecer no revestimento primário como sulfetos e, mais ainda, tendem a se formar nas raízes do revestimento primário próximos do espinélio, de modo que eles possam contribuir grandemente para a redução da taxa da área de esfoliação de revestimento particularmente durante uma flexão forte.

Nesta invenção, uma adesão da região fortemente flexionada é determinada pelo envolvimento da folha de aço em torno de uma barra redonda de 10 mm ou de diâmetro menor e é expressa como a taxa da área de esfoliação de revestimento definida como a relação da área em que uma esfoliação de revestimento ocorreu para a área trabalhada da folha de aço em contato com a barra redonda. Especificamente, peças de teste são preparadas pela aplicação de revestimentos de filme de isolamento sobre seus revestimentos primários, as peças de teste sendo enroladas em torno de barras redondas de diâmetro diferente, e as taxas de área de esfoliação de revestimento das peças de teste em diâmetros diferentes de barra redonda são avaliadas.

A taxa de área de esfoliação de revestimento é a relação obtida pela divisão da área realmente descascada pela área trabalhada (área da peça de teste em contato com a barra redonda; igual à largura de peça de teste x diâmetro de barra redonda x π). Mesmo se um descascamento ocor-

rer durante uma flexão forte, uma degradação das características do transformador pode ser minimizada se o descascamento não progredir, de modo que a taxa da área de esfoliação seja baixa.

5 Como o método para a incorporação do composto (A) no revestimento primário, e o método para controle do mesmo, é efetivo introduzir os componentes adicionais no separador de recozimento. Como é requerido que a folha de aço usada em um núcleo enrolado tenha excelentes propriedades magnéticas, é mais efetivo utilizar a folha de aço contendo AlN e MnS como um inibidor ensinado pela Publicação de Patente Japonesa (B) Nº
10 S40-15644 e ainda usar Bi como um inibidor auxiliar, conforme ensinado pela Publicação de Patente Japonesa (A) Nº H6-88171.

O método de produção da presente invenção é explicado em detalhes a seguir.

15 Como o aço pode ser usado compreendendo, em % em massa, C: 0,10% ou menos, Si: de 2 a 7%, Mn: de 0,02 a 0,30%, um ou ambos dentre S e Se: de 0,001 a 0,040% no total, e um saldo de Fe e impurezas inevitáveis. Também é possível usar um aço da composição precedente compreendendo Al solúvel em ácido: de 0,010 a 0,065%, N: de 0,0030 a 0,0150%, um aço da composição precedente ainda compreendendo Bi: de
20 0,0005 a 0,05%, ou um aço da composição precedente ainda compreendendo Al solúvel em ácido: de 0,010 a 0,065%, N: de 0,0030 a 0,0150%; e Bi: de 0,0030 a 0,05%.

O Si é um elemento extremamente efetivo para aumento da resistência elétrica do aço e para redução da componente de perda por corrente parasita da perda de núcleo. Contudo, a perda por corrente parasita não
25 pode ser minimizada quando o teor de Si é de menos de 2%. E um teor além de 7,0% é indesejável porque a capacidade de trabalho do aço é notavelmente degradada.

C de um teor excedendo a 0,10% é indesejável porque o tempo
30 requerido para a descarbonização durante um recozimento por descarbonização seguindo-se a uma laminação a frio se torna longo, o que não é econômico, e também porque a descarbonização tende a ser incompleta, de

modo que o produto sustente um defeito de propriedade magnética conhecido como envelhecimento magnético.

O Mn é um elemento importante que forma MnS e/ou MnSe, os quais são conhecidos como inibidores que controlam uma recristalização secundária. E um teor de Mn de menos de 0,02% é indesejável porque, neste nível, a quantidade de MnS e/ou de MnSe formada está abaixo da quantidade absoluta requerida para se proporcionar uma elevação à recristalização secundária. Quando o teor excede a 0,3%, uma dissolução sólida durante um aquecimento de chapa grossa é difícil de obter e, além disso, o tamanho de precipitação durante uma laminação a quente tende a se tornar grosseiro, de modo que a distribuição ótima de tamanho como um inibidor não pode ser realizada.

S e/ou Se são elementos importantes que se combinam com Mn para a formação dos MnS e/ou MnSe mencionados acima. A um teor fora da faixa acima, um efeito de inibidor adequado não pode ser obtido. O teor total de um ou ambos dentre S e Se deve ser definido, portanto, como de 0,001 a 0,040% no total.

O Al solúvel em ácido é efetivo como um elemento constituindo o inibidor principal de uma folha de aço de grão orientado eletricamente de densidade de alto fluxo magnético. Um teor na faixa de 0,010 a 0,65% é preferível. Um teor de menos de 0,010% em alguns casos pode ser indesejável, porque pode resultar em uma resistência de inibidor inadequada devido à quantidade deficiente estando disponível. Por outro lado, um teor excedendo a 0,065% pode ser indesejável, porque neste nível o AlN precipitado como um inibidor é passível de se tornar grosseiro, desse modo, diminuindo a resistência do inibidor.

N é um elemento importante que combina com o Al solúvel em ácido para a formação de AlN. A um teor fora da faixa acima, um efeito inibidor adequado não pode ser obtido. O teor de N, portanto, é definido preferencialmente como de 0,0030 a 0,0150%.

Bi é um elemento extremamente útil para uso como um inibidor auxiliar permitindo uma produção estável de uma folha de aço de grão orien-

tado eletricamente com uma densidade de fluxo magnético ultra-alta. O Bi não exibe completamente este efeito a um teor de menos de 0,0005%. Quando presente além de 0,05%, o efeito da densidade de fluxo magnético satura e fissuras são passíveis de ocorrerem nas extremidades da bobina laminada a quente.

Além disso, como os elementos para a estabilização da recristalização secundária, é efetivo também incluir um ou mais dentre Sn, Cu, Sb, As, Mo, Cr, P, Ni, B, Te, Pb, V, e Ge em uma quantidade de 0,003 a 0,5%. Quando a quantidade destes elementos adicionados é menor do que 0,003%, o efeito de estabilização da recristalização secundária é insuficiente, enquanto quando é maior do que 0,5%, o efeito se satura, de modo que o limite superior da adição preferencialmente é definido como 0,5% do ponto de vista do custo.

O aço fundido para a produção da folha de aço de grão orientado eletricamente que foi ajustado para a composição química estabelecida no precedente é fundido usando-se um método comum. O método de fundição não é particularmente limitado. Em seguida, a chapa grossa é laminada a quente por um método comum para a obtenção de uma bobina laminada a quente. Usualmente, de modo a se colocarem os componentes inibidores MnS e AlN suficientemente em uma solução sólida, a chapa grossa é aquecida a uma temperatura alta acima de 1300°C. Contudo, quando a prioridade é para ser posta na produtividade e na economia, o aquecimento de chapa grossa pode ser conduzido a uma temperatura de em torno de 1250°C, desde que um fortalecimento do inibidor seja realizado em um processo a jusante, no estado de tira de aço, usando-se nitretação a partir do exterior. Este processamento não se desvia do princípio da presente invenção.

O processamento precedente provê uma folha de aço de grão orientado elétrica.

A folha de aço de grão orientado eletricamente então é recozida e, após isso, acabada até a espessura do produto por um único passe de laminação a frio de acabamento, múltiplos passes de laminação a frio ou múltiplos passes de laminação a frio com um recozimento intermediário. No

recozimento antes da laminação a frio de acabamento, a estrutura de cristal é homogeneizada e a precipitação de AlN é controlada.

A tira laminada até uma espessura de produto final conforme mencionado acima é submetida a um recozimento por descarbonização. O recozimento por descarbonização é realizado da maneira usual, usando-se um tratamento térmico em hidrogênio úmido para a redução do C na folha de aço até a região em que uma deterioração por envelhecimento magnético da folha de produto não pode ocorrer e, simultaneamente, para se submeter a tira laminada a frio a uma recristalização primária na preparação para a recristalização secundária. Antes deste recozimento por descarbonização, é preferível em um estágio precedente realizar uma recristalização e um melhoramento de propriedade de perda de núcleo, por exemplo, conforme ensinado pela Publicação de Patente Japonesa (A) N° H8-295937 e a Publicação de Patente Japonesa (A) N° H9-118921, realizando um aquecimento a uma taxa de 80°C/s ou mais.

Ainda, um recozimento de acabamento final é aplicado a 1.100°C ou mais para fins de uma formação de filme primário, uma recristalização secundária e uma purificação. Este recozimento de acabamento é aplicado à tira no estado de uma bobina. Um pó separador de recozimento composto principalmente por MgO é aplicado à superfície da tira de aço para fins de prevenção de agarramento e formação do revestimento primário. O pó separador de recozimento, geralmente é aplicado a e seco sobre a superfície da tira de aço na forma de uma suspensão aquosa, mas o método de revestimento eletrostático pode ser usado, ao invés disso.

Quando o separador de recozimento é aplicado na forma de uma suspensão, é preferível que a suspensão não contenha íons de cloro ou, se contiver, que os íons de cloro estejam contidos em não mais do que 500 mg/L. Quando o teor de íon de cloro excede a 500 mg/L, bons resultados não podem ser obtidos devido a uma aplicação de separador de recozimento não-uniforme. Em uma modalidade da invenção, o separador de recozimento tem um teor de composto de metal de terras raras, expresso como um metal de terras raras, de 0,1 a 10% em massa, um teor de composto

de metal alcalino-terroso de um ou de Ca, Sr e Ba, expresso como um metal alcalino-terroso, de 0,1 a 10% em massa, e um teor de composto de enxofre, expresso como S, de 0,01 a 5% em massa. As percentagens em massa dadas aqui são com base na percentagem em massa do separador de recozimento incluindo os compostos mencionados anteriormente como 100% em massa. O método desta modalidade provê uma folha de aço de grão orientado eletricamente tendo uma taxa da área de esfoliação pequena durante uma flexão forte.

Quando a quantidade de composto de metal de terras raras adicionado e a quantidade de composto de metal alcalino-terroso são menores do que 0,1% em massa, respectivamente, uma formação adequada do composto composto é difícil de se obter, de modo que uma taxa da área de esfoliação se torna grande. Por outro lado, quando elas excedem a 10% em massa, respectivamente, o desempenho de aplicação da suspensão de MgO é ruim. Isto é indesejável, porque dá origem a questões referentes à uniformidade e às propriedades do revestimento. A quantidade de adição de composto de metal de terras raras, expressa como um metal de terras raras, é mais preferencialmente de 0,2 a 10% em massa, ainda mais preferencialmente de 0,2 a 5% em massa, e o mais preferencialmente de 0,5 a 3% em massa.

Os compostos de metal de terras raras podem ser adicionados como qualquer tipo de composto, os exemplos incluindo óxidos, sulfetos, sulfatos, silicetos, fosfatos, hidróxidos, carbonatos, boretos, cloretos, fluoretos e brometos. Os compostos podem ser usados em qualquer forma ou combinação. Do ponto de vista de disponibilidade e custo, os compostos de La e Ce preferencialmente são usados como compostos de metal de terras raras.

Levando-se em consideração as propriedades magnéticas, a quantidade dos compostos de metal alcalino-terroso de Ca, Sr e Ba, expressos como um metal alcalino-terroso, preferencialmente é de 0,5 a 10% em massa, mais preferencialmente de 1 a 5% em massa.

Ca, Sr e Ba podem ser adicionados como qualquer tipo de com-

posto, os exemplos incluindo óxidos, sulfetos, sulfatos, silicetos, fosfatos, hidróxidos, carbonatos, boretos, cloretos, fluoretos e brometos. Os compostos podem ser usados em qualquer forma ou combinação.

Quando a quantidade de adição de composto de enxofre, expresso como S, é menor do que 0,01% em massa, torna-se difícil suprimir o efeito de recristalização secundária. Quando é maior do que 5 por cento em massa, uma purificação é afetada de modo adverso. A faixa mais preferencialmente é de 0,05 a 3% em massa, mais ainda preferencialmente de 0,1 a 1% em massa.

Os compostos de enxofre adicionados podem ser de qualquer tipo. Por exemplo, é possível adicionar sulfetos ou sulfatos de qualquer um de vários metais. O método de adição de composto de enxofre pela adição de ácido sulfúrico à suspensão de separador de recozimento também pode ser adotado. Ainda, os compostos de metal de terras raras e os compostos de metal alcalino-terroso simultaneamente adicionados podem ser supridos como sulfetos ou sulfatos. Isto é vantajoso, porque minimiza o número de componentes adicionados e melhora a taxa de reação de formação de composto de sulfeto. Quando os compostos de metal de terras raras e os compostos de metal alcalino-terroso simultaneamente adicionados podem ser supridos como sulfetos ou sulfatos, a quantidade adicionada dos compostos de enxofre, incluindo o enxofre contido nos compostos mencionados anteriormente, é calculada como equivalente a S.

Quando S está presente no aço, ele é suprido para a camada superficial de aço por difusão, durante um recozimento de acabamento, de modo que os sulfetos sejam formados mesmo se S não for adicionado ao separador de recozimento. Contudo, quando a formação de sulfetos por S no aço é promovida por metais de terras raras e metais alcalino-terrosos adicionados ao separador de recozimento, o consumo resultante de S no aço pode mudar o comportamento de recristalização secundária de uma forma que afete as propriedades magnéticas. O método de adição de S ao separador de recozimento de antemão é preferível, portanto.

Além disso, a adição de compostos de Ti ao separador de reco-

zimento em uma quantidade expressa como Ti de 0,5 a 10% em massa melhora mais a adesão de revestimento. Quando a quantidade adicionada expressa como Ti é menor do que 0,5% em massa, há uma probabilidade de não ter efeito de redução da taxa de esfoliação de revestimento. Quando é maior do que 10% em massa, a propriedade de perda de núcleo da folha de produto tem probabilidade de declinar. A quantidade de adição de composto de Ti preferencialmente está na faixa precedente. O uso de compostos de Ti inclui, por exemplo, TiO_2 , Ti_3O_5 , Ti_2O_3 , TiO , TiC , TiN , TiB_2 , e TiSi_2 . Todos esses compostos trabalham para melhoria da propriedade de esfoliação de revestimento. A quantidade adicionada dos compostos de Ti expressos como Ti preferencialmente é de 1 a 8% em massa, mais preferencialmente de 2 a 6% em massa.

No recozimento final, é preferível desidratar o MgO pela inclusão de uma etapa de desidratação à frente do recozimento de recristalização secundária na qual a folha é mantida a uma temperatura baixa de 700°C ou menos em uma atmosfera de redução de 20% ou mais da concentração de H_2 .

Na maioria dos casos, um revestimento de isolamento é adicionalmente formado sobre o revestimento primário após o recozimento de acabamento. Um revestimento de isolamento obtido pela aplicação e pelo cozimento de uma solução de revestimento composta principalmente por um fosfato e sílica coloidal sobre a superfície de folha de aço é particularmente vantajoso, porque a grande tensão que imprime à folha de aço melhora mais a propriedade de perda de núcleo.

Também é preferível, conforme requerido, submeter a superfície da folha de aço de grão orientado eletricamente a um refinamento de domínio magnético, por exemplo, por irradiação com laser, irradiação com plasma, abertura de ranhuras com um rolo dentado ou por ataque químico.

Pelos procedimentos precedentes, é obtida uma excelente folha de aço de grão orientado eletricamente tendo um revestimento primário composto principalmente por forsterita.

Quando a folha de aço de grão orientado eletricamente assim

obtida é usada para a fabricação de um transformador, especificamente quando ela é usada para a fabricação de um transformador de núcleo enrolado grande, as laminações cisalhadas da folha são empilhadas, enroladas e reformadas com uma matriz. Neste momento, particularmente a periferia interna do núcleo é submetida a um trabalho a um raio de curvatura muito pequeno. Isto é um trabalho notavelmente forte em comparação com aquele do teste de adesão de flexão conduzido a uma flexão de várias dezenas de milímetros de diâmetro que geralmente é usado para avaliação da adesão de revestimento. De modo a se evitar uma esfoliação de revestimento mesmo sob esse trabalho, a taxa da área de esfoliação de revestimento em um teste de adesão de flexão forte de 5 mm de diâmetro é preferencialmente de 20% ou menos, mais preferencialmente de 10% ou menos, o mais preferencialmente de 5% ou menos.

Agora, segue-se uma explicação do método de análise do composto (A) contendo pelo menos um metal de terras raras, um ou mais dentre Ca, Sr e Ba e enxofre.

A análise pode ser realizada por um método tal como espectrometria de descarga de brilho (GDS), no qual um ataque químico com plasma é conduzido a partir da superfície e a luz emitida quando os elementos progressivamente atacados quimicamente são excitados pelo plasma é detectada. O uso deste método provê um perfil de direção de profundidade dos componentes de revestimento e torna possível determinar a partir de intensidades diferentes da luz emitida pelos metais de terras raras, metais alcalino-terrosos e enxofre se os elementos estão presentes na mesma profundidade.

Se os elementos estão ou não presentes na mesma localização também pode ser avaliado mais diretamente pelo polimento de uma seção transversal da folha de aço e, então, usando-se uma espectrometria de elétrons de Auger (AES) ou uma microanálise de sonda de elétrons de emissão de campo (FE-EPMA) para mapeamento das localizações dos metais de terras raras, dos metais alcalino-terrosos e de enxofre.

Um outro método de medição é extrair e analisar apenas a regi-

ção de revestimento. Como um método para a extração de forma confiável e a separação da região de revestimento, o método de eletrólise potencial controlado por solvente não-aquoso (método SPEED) é bem-conhecido como um método caracterizado por sua capacidade de extrair de forma confiável mesmo compostos instáveis. Como o eletrólito geralmente é usada uma solução mista de 10% em vol. de acetilacetona - 1% em massa de cloreto de tetrametilamônio (TMAC), uma solução mista de 10% em vol. de ácido maléico anídrico - 1% em massa de TMAC-metanol, ou uma solução mista de 10% em vol. de salicilato de metila - 1% em massa de TMAC-metanol.

Um exemplo específico de um método de extração será explicado.

Em primeiro lugar, uma amostra de teste tomada da folha de aço é processada para o tamanho de 20 mm x 30 mm x espessura de folha, após o que é limpa por uma eletrólise preliminar. O tamanho da peça de teste não necessariamente será aquele mencionado aqui. Contudo, tendo em vista o limite prático do tamanho do tanque de eletrólise e dos eletrodos, a peça de teste preferencialmente é fabricada até um tamanho não maior do que em torno de 50 mm por lado.

Em seguida, a região da peça de teste a partir do revestimento até a interface de metal de base é dissolvida pelo método SPEED. Um eletrólito comum pode ser usado. Típicos destes são uma solução mista de 10% em vol. de acetilacetona - 1% em massa de cloreto de tetrametilamônio (TMAC)-metanol, uma solução mista de 10% em vol. de ácido maléico anídrico - 1% em massa de TMAC-metanol, e uma solução mista de 10% em vol. de salicilato de metila - 1% em massa de TMAC-metanol.

Particularmente, no caso de extração de sulfetos a partir do revestimento, uma solução mista de 10% em vol. de salicilato de metila - 1% em massa de TMAC-metanol é preferível, porque permite uma extração relativamente consistente.

Levando-se em consideração que 96.000 Coulomb de eletricidade eletrolisam o equivalente a 1 mol, a eletrólise preferencialmente é conduzida com a quantidade de eletricidade controlada pelo número de Coulomb

capaz de eletrolisar aproximadamente de 10 a 20 μm de camada superficial pela área superficial da peça de teste.

Mediante a conclusão da eletrólise, a peça de teste é transferida para um béquer contendo uma solução de metanol e tratada com impacto ultrassônico por vários segundos, para se descascar completamente a camada superficial da peça de teste. Em seguida, o eletrólito e a solução de metanol tratada de forma ultrassônica mencionada anteriormente são recuperados por filtração com sucção usando-se um filtro (por exemplo, um filtro de membrana de 0,2 μm). A presença de metais e enxofre nos componentes de revestimento obtidos desta maneira pode ser avaliada com um espectrômetro de fluorescência de raios X, e a estrutura de cristal pode ser analisada usando-se um difratômetro de raios X.

EXEMPLOS

Primeiro Conjunto de Exemplos

Uma chapa grossa de aço-silício contendo C: 0,06% em massa, Si: 3,3% em massa, Mn: 0,08% em massa, S: 0,02% em massa, Al: 0,027% em massa e N: 0,0082% em massa, e contendo como um inibidor auxiliar Bi: 0,03% em massa, o saldo sendo Fe e impurezas inevitáveis foi recozida após uma laminação a quente, laminada a frio até uma espessura de 0,23 mm, e recozida por descarbonização. A superfície da folha de aço assim obtida foi revestida com uma suspensão aquosa preparada usando-se um separador de recozimento obtido pela adição de um composto de metal de terras raras de separador de recozimento de MgO e um composto de metal alcalino-terroso em uma das combinações de componentes e relações mostradas na Tabela 1, e a suspensão aquosa aplicada foi seca. O teor de íon de cloro da suspensão aquosa foi controlado para a faixa de 50 a 80 mg/L. Um composto de enxofre foi adicionado simultaneamente ao composto de metal de terras raras e/ou ao composto de metal alcalino-terroso. A folha de aço revestida foi recozida acabada pela manutenção por 20 horas em hidrogênio seco a uma temperatura de pico de até 1.180°C.

Os resultados de avaliação de adesão são mostrados na Tabela 2. A avaliação de adesão foi conduzida em peças de teste, cada uma ainda

provida com um revestimento de filme de isolamento sobre o revestimento primário obtido após o recozimento de acabamento, pelo envolvimento da peça de teste em torno de barras redondas de diâmetro diferente. As taxas de área de esfoliação de revestimento assim determinadas são mostradas para os respectivos diâmetros de barra redonda. A taxa de área de esfoliação de revestimento referida aqui é a relação obtida pela divisão da área realmente descascada pela área trabalhada (área da peça de teste em contato com a barra redonda; igual à largura de peça de teste x diâmetro de barra redonda x π). Mesmo se um descascamento ocorrer durante uma flexão forte, uma degradação das características do transformador pode ser minimizada se o descascamento não progredir, de modo que a taxa da área de esfoliação seja baixa. A taxa de área de esfoliação foi avaliada em sete graus, A para 0%, B para maior do que 0% e menor do que 20%, C para maior do que 20% e menor do que 40%, D para maior do que 40% e menor do que 60%, E para maior do que 60% e menor do que 80%, F para 80% e menor do que 100%, e G para 100%. Uma classificação de B, ou melhor, foi considerada como significando que o efeito foi bom.

Conforme pode ser visto a partir das Tabelas 1 e 2, uma taxa da área de esfoliação de revestimento melhorada foi observada quando pelo menos um composto de metal de terras raras e um ou mais dentre Ca, Sr e Ba foram adicionados ao separador de recozimento. Foi avaliado que compostos contendo um metal de terras raras, um metal alcalino-terroso de Ca, Sr e Ba e enxofre, especificamente compósitos de sulfeto de metal de terras raras e metal alcalino-terroso, foram formados nos revestimentos primários das folhas de aço que obtiveram boas taxas de esfoliação de revestimento.

Tabela 1

Nº	Composto de metal de terras raras	Teor expresso como metal de terras raras (% em massa)	Composto de metal alcalino-terroso	Teor expresso como metal alcalino-terroso (% em massa)	Teor expresso como S (% em massa)	Nota
1-1	Nenhum	0	Nenhum	0	0	Exemplo

Nº	Composto de metal de terras raras	Teor expresso como metal de terras raras (% em massa)	Composto de metal alcalino-terroso	Teor expresso como metal alcalino-terroso (% em massa)	Teor expresso como S (% em massa)	Nota
						Comparativo
1-2	Nenhum	0	$\text{Sr}(\text{OH})_2$	1	0	Exemplo Comparativo
1-3	Nenhum	0	CaSO_4	1	0,8	Exemplo Comparativo
1-4	La_2O_3	1	Nenhum	0	0	Exemplo Comparativo
1-5	La_2O_3	1	BaSO_4	1	0,23	Exemplo da Invenção
1-6	CeO_2	1	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	1	0	Exemplo da Invenção
1-7	$\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$	1	Nenhum	0	0,46	Exemplo Comparativo
1-8	$\text{Ce}_2(\text{SO}_4)_2$	1	$\text{Sr}(\text{OH})_2$	1	0,23	Exemplo da Invenção

Tabela 2

Nº	Taxa de área de esfoliação em 20mmφ	Taxa de área de esfoliação em 10mmφ	Taxa de área de esfoliação em 5mmφ	B8 (T)	W17/50 (W/kg)	Formação de composto de sulfeto?	Nota
1-1	G	G	G	1,96	0,82	Não	Exemplo Comparativo
1-2	C	D	F	1,94	0,81	Não	Exemplo Comparativo

Nº	Taxa de área de esfoliação em 20mmφ	Taxa de área de esfoliação em 10mmφ	Taxa de área de es- foliação em 5mmφ	B8 (T)	W17/5 0 (W/kg)	Formação de compó- sito de sulfeto?	Nota
1-3	C	D	F	1,93	0,82	Não	Exemplo Compara- tivo
1-4	A	B	C	1,90	0,85	Não	Exemplo Compara- tivo
1-5	A	A	B	1,94	0,83	Sim	Exemplo da Inven- ção
1-6	A	A	B	1,89	0,87	Sim	Exemplo da Inven- ção
1-7	A	C	D	1,94	0,82	Não	Exemplo Compara- tivo
1-8	A	A	B	1,95	0,81	Não	Exemplo da Inven- ção

A figura 3 é um conjunto de imagens de FE-EMPA mostrando uma seção transversal do revestimento dos Exemplos 1 a 8 da Invenção do Primeiro Conjunto de Exemplos, incluindo uma foto de mapeamento de S e uma foto de mapeamento de Sr, e uma foto de mapeamento de Ce. Um composto no qual o metal de terras raras Ce, o metal de terras raras Sr, e o S estão copresentes pode ser visto. Após uma extração, o composto foi examinado por difração de raios X e mostrou ser o composto de sulfeto Sr-Ce₂S₄, desse modo se confirmando a presença de um composto de sulfeto. De modo similar, também foi descoberto que sulfetos foram formados nos revestimentos primários dos outros exemplos da invenção. Em contraste, nenhum sulfeto foi formado nos Exemplos Comparativos 1-1 a 1-4 e 1-7.

A figura 4 é uma imagem de FE-EMPA mostrando o SrCe₂S₄ localizado próximo do espinélio no mesmo Exemplo da Invenção 1-8 do Primeiro Conjunto de Exemplos, conforme mostrado na figura 3.

De modo similar, também foi descoberto que sulfetos de metal

de terras raras e um ou mais dentre Ca, Sr e Ba foram formados nas raízes do revestimento primário próximo do espinélio nos outros exemplos da invenção. Nestes materiais, a redução de taxa de área de esfoliação de revestimento durante uma flexão forte foi particularmente notável.

5 Segundo Conjunto de Exemplos

Uma chapa grossa de aço-silício contendo, em % em massa: C: 0,08%, Si: 3,2%, Mn: 0,075%, S: 0,024%, Al solúvel em ácido: 0,024%, N: 0,008%, Sn: 0,1%, Cu: 0,1%, Bi: 0,005%, e o saldo de Fe e impurezas inevitáveis foi aquecida a 1.350°C e laminada a quente para uma espessura de 2,3 mm, após o que a tira laminada a quente foi recozida por 1 min a 1.120°C. A tira recozida foi então laminada a frio até a espessura final de 0,23 mm. A temperatura da folha assim obtida foi elevada para 850°C por um aquecimento com resistência elétrica à velocidade de aquecimento de 300°C/s e, então, recozida por descarbonização por 2 min em hidrogênio seco a 830°C. A superfície da folha então foi revestida com uma suspensão aquosa preparada pela adição dos aditivos mostrados na Tabela 3 a um separador de recozimento de MgO contendo 5% em massa de TiO₂. A folha de aço revestida foi recozida à alta temperatura por 20 h em uma atmosfera de hidrogênio úmido até uma temperatura de pico de 1.200°C. O teor de íon de cloro da suspensão aquosa foi controlado para a faixa de 10 a 30 mg/L. A folha recozida à alta temperatura foi lavada, revestida com um filme de isolamento composto principalmente por fosfato de alumínio e sílica coloidal, cozida, ranhurada a um passo constante usando um rolo dentado e recozida para alívio de tensões.

As propriedades e as taxas de área de esfoliação das folhas de produto obtidas são mostradas na Tabela 4. As bobinas satisfazendo às condições da invenção foram folhas de aço elétricas de grão orientado excelentes na adesão de revestimento, particularmente uma taxa da área de esfoliação de revestimento durante um trabalho forte e em propriedades magnéticas.

Tabela 3

Nº	Composto de metal de terras raras	Teor expresso como metal de terras raras (% em massa)	Composto de metal alcalino-terroso	Teor expresso como metal alcalino-terroso (% em massa)	Composto contendo enxofre	Teor expresso como S (% em massa)	Nota
2-1		0	Nenhum	0	Nenhum	0	Exemplo Comparativo
2-2	Nenhum	0	Nenhum	0	MgSO ₄	2	Exemplo Comparativo
2-3	Nenhum	0	Ca(OH) ₂	1	MgS	1	Exemplo Comparativo
2-4	CeO ₂	2	SrSO ₄	2	(SrSO ₄)	0,74	Exemplo da Invenção
2-5	CeO ₂ La ₂ O ₃	2 3	Ba(OH) ₂	2	FeSO ₄	0,5	Exemplo da Invenção
2-6	La ₂ O ₃	5	BaSO ₄	5	MgSO ₄	3	Exemplo da Invenção
2-7	Ce(SO ₄) ₂	3	Ca(OH) ₂	2	(Ce(SO ₄) ₂) MgSO ₄	1,4 2,6	Exemplo da Invenção
2-8	La ₂ (SO ₄) ₃	2	SrSO ₄	1	(La ₂ (SO ₄) ₃) (SrSO ₄)	1,4 0,37	Exemplo da Invenção
2-9	Ce(SO ₄) ₂	3	Ca(OH) ₂ Ba(OH) ₂	2	(Ce(SO ₄) ₂) MgSO ₄	1,4 2,6	Exemplo da Invenção
2-10	Y ₂ (SO ₄) ₃	2	SrSO ₄	1	Y ₂ (SO ₄) ₃ (SrSO ₄)	1,08 0,37	Exemplo da Invenção

Nota: Os compostos de enxofre entre parênteses foram adicionados simultaneamente como compostos de metal de terras raras ou compostos de me-

tal alcalino-terroso.

Tabela 4

Nº	Taxa de área de es- foliação em 20mmφ	Taxa de área de es- foliação em 10mmφ	Taxa de área de es- foliação em 5mmφ	B8 (T)	W17/5 0 (W/kg)	Formação de compó- sito de sulfeto?	Nota
2-1	G	G	G	1,95	0,70	Não	Exemplo Compa- rativo
2-2	G	G	G	1,94	0,71	Não	Exemplo Compa- rativo
2-3	E	G	G	1,95	0,70	Não	Exemplo Compa- rativo
2-4	A	B	B	1,94	0,71	Sim	Exemplo da Inven- ção
2-5	A	A	B	1,95	0,70	Sim	Exemplo da Inven- ção
2-6	A	A	B	1,95	0,71	Sim	Exemplo da Inven- ção
2-7	A	B	B	1,96	0,68	Sim	Exemplo da Inven- ção
2-8	A	A	B	1,96	0,69	Sim	Exemplo da Inven- ção
2-9	A	A	B	1,96	0,69	Sim	Exemplo da Inven- ção
2-10	A	B	B	1,95	0,70	Sim	Exemplo da Inven- ção

Terceiro Conjunto de Exemplos

- Uma chapa grossa de aço contendo, em % em massa: C:
- 5 0,08%, Si: 3,2%, Mn: 0,075%, S: 0,024%, Al solúvel em ácido: 0,023%, N: 0,008%, Sn: 0,1%, e o saldo de Fe e impurezas inevitáveis foi aquecida a

1.340°C e laminada a quente para uma espessura de 2,3 mm, após o que a tira laminada a quente foi recozida por 1 min a 1.110°C. A tira recozida foi então laminada a frio até a espessura final de 0,23 mm. A temperatura da folha assim obtida foi elevada para 850°C por um aquecimento com resistência elétrica à velocidade de aquecimento de 300°C/s e, então, recozida por descarbonização por 2 min em hidrogênio seco a 830°C. A superfície da

5 tênci a elétrica à velocidade de aquecimento de 300°C/s e, então, recozida por descarbonização por 2 min em hidrogênio seco a 830°C. A superfície da

10 folha então foi revestida com uma suspensão aquosa preparada pela adição dos aditivos mostrados na Tabela 5 a um separador de recozimento. A folha de aço revestida foi recozida à alta temperatura por 15 h em uma atmosfera

15 de gás hidrogênio até uma temperatura de pico de 1.180°C. O teor de íon de cloro da suspensão aquosa foi controlado para a faixa de 40 a 60 mg/L. A folha recozida à alta temperatura foi lavada, revestida com um filme de isolamento composto principalmente por fosfato de alumínio e sílica coloidal, cozida, e varrida com um feixe de laser para refinamento de domínio magnético. As propriedades das folhas de produto obtidas são mostradas na Tabela 6.

As bobinas satisfazendo às condições da invenção foram folhas de aço elétricas de grão orientado tendo taxas de área de esfoliação de revestimento excelentes pequenas durante uma flexão forte e foram excelentes na adesão de revestimento.

20 tes na adesão de revestimento.

Tabela 5

Nº	Composto de metal de terras raras	Teor expreso como metal de terras raras (% em massa)	Composto de metal alcalino-terroso	Teor expreso como metal alcalino-terroso (% em massa)	Composto contendo enxofre	Teor expreso como S (% em massa)	Composto de Ti	Teor expreso como Ti (% em massa)	Nota
3-1	Nenhum	0	Nenhum	0	Nenhum	0	Nenhum	0	Exemplo Comparativo
3-2	Nenhum	0	Nenhum	0	Li ₂ SO ₄	2	TiO ₂	2	Exemplo Comparativo
3-3	CeO ₂	0,005	Ca(OH) ₂	12	MgS	8	Ti ₂ O ₃	3	Exemplo

Nº	Composto de metal de terras raras	Teor expresso como metal de terras raras (% em massa)	Composto de metal alcalino-terroso	Teor expresso como metal alcalino-terroso (% em massa)	Composto contendo enxofre	Teor expresso como S (% em massa)	Composto de Ti	Teor expresso como Ti (% em massa)	Nota
									Comparativo
3-4	Nd ₂ O ₃	3	Sr(OH) ₂	8	MnSO ₄ TiSO ₄	0,1 0,67	TiSO ₄	1	Exemplo da Invenção
3-5	La(OH) ₃	2	Ba(OH) ₂	0,1	FeSO ₄ Li ₂ SO ₄	0,5 0,1	TiO ₂	5	Exemplo da Invenção
3-6	Ce(OH) ₄	3	Ca(OH) ₂ SrSO ₄	0,3 3	(SrSO ₄) H ₂ SO ₄	0,56 0,2	TiO ₂	4	Exemplo da Invenção
3-7	Y ₂ O ₃	3	CaSO ₄ BaSO ₄	4 6	(CaSO ₄) (BaSO ₄)	0,32 1,4	Ti ₂ O ₃	3	Exemplo da Invenção
3-8	La ₂ O ₃	2	Sr(OH) ₄	5	MgSO ₄	2	Nenhum	0	Exemplo da Invenção
3-9	Pr ₆ O ₁₁	2	BaSO ₄	1	(BaSO ₄)	1,4	TiO ₂	2	Exemplo da Invenção

Nota: Os compostos de enxofre entre parênteses foram adicionados simultaneamente como compostos de metal de terras raras ou compostos de metal alcalino-terroso.

Tabela 6

Nº	Taxa de área de esfoliação em 20mmφ	Taxa de área de esfoliação em 10mmφ	Taxa de área de esfoliação em 5mmφ	B8 (T)	W17/50 (W/kg)	Formação de composto de sulfeto?	Localização de sulfeto	Nota
3-1	D	E	G	1,90	0,76	Não	-	Exemplo Comparativo
3-2	A	D	F	1,92	0,74	Não	-	Exemplo Comparativo

Nº	Taxa de área de esfoliação em 20mmφ	Taxa de área de esfoliação em 10mmφ	Taxa de área de esfoliação em 5mmφ	B8 (T)	W17/50 (W/kg)	Formação de composto de sulfeto?	Localização de sulfeto	Nota
3-3	A	A	D	1,91	0,75	Não	-	Exemplo Comparativo
3-4	A	A	A	1,93	0,74	Sim	Revestimento primário + Camada de interface	Exemplo da Invenção
3-5	A	A	B	1,93	0,73	Sim	Revestimento primário	Exemplo da Invenção
3-6	A	A	A	1,92	0,74	Sim	Revestimento primário	Exemplo da Invenção
3-7	A	A	A	1,91	0,76	Sim	Revestimento primário + Camada de interface	Exemplo da Invenção
3-8	A	A	B	1,92	0,74	Sim	Camada de interface	Exemplo da Invenção
3-9	A	B	B	1,92	0,73	Sim	Revestimento primário	Exemplo da Invenção

Quarto Conjunto de Exemplos

Uma chapa grossa de aço contendo, em % em massa: C: 0,044%, Si: 3,2%, Mn: 0,083%, S: 0,027%, e o saldo de Fe foi aquecida a 1.300°C, laminada a quente para uma espessura de 2,3 mm e laminada a frio para 0,83 mm, após o que a folha laminada a frio foi recozida intermediária por 1 min a 900°C e, então, laminada a frio para uma espessura de 0,29 mm. A folha laminada a frio foi recozida por descarbonização por 2 min em hidrogênio seco a 840°C. A superfície da folha foi revestida com uma suspensão aquosa preparada pela adição dos aditivos mostrados na Tabela 7 a um separador de recozimento de MgO. A folha de aço revestida foi recozida à alta temperatura por 20 h em uma atmosfera de gás hidrogênio até um

pico de temperatura de 1.200°C. O teor de íon de cloro da suspensão aquosa foi controlado para a faixa de 30 a 50 mg/L. A folha recozida à alta temperatura foi lavada, revestida com um filme de isolamento composto principalmente por fosfato de alumínio e sílica coloidal e cozida. As propriedades das

5 folhas de produto obtidas são mostradas na Tabela 8.

As bobinas satisfazendo às condições da invenção foram folhas de aço elétricas de grão orientado tendo taxas de área de esfoliação de revestimento pequenas durante uma flexão forte e foram excelentes na adesão de revestimento.

10 Tabela 7

Nº	Composto de metal de terras raras	Teor expresso como metal de terras raras (% em massa)	Composto de metal alcalino-terroso	Teor expresso como metal alcalino-terroso (% em massa)	Composto contendo enxofre	Teor expresso como S (% em massa)	Composto de Ti	Teor expresso como Ti (% em massa)	Nota
4-1	Nenhum	0	Nenhum	0	Nenhum	0	Nenhum	0	Exemplo Comparativo
4-2	Nenhum	0	Nenhum	0	Nenhum	0	TiO ₂	4	Exemplo Comparativo
4-3	CeO ₂	1,5	SrSO ₄	1	(SrSO ₄)	0,37	TiO ₂	4	Exemplo da Invenção
4-4	La ₂ (SO ₄) ₃	1	Ca(OH) ₂	2	(La ₂ (SO ₄) ₃)	0,35	TiO ₂	4	Exemplo da Invenção

Nota: Os compostos de enxofre entre parênteses foram adicionados simultaneamente como compostos de metal de terras raras ou compostos de metal alcalino-terroso.

Tabela 8

Nº	Taxa de área de esfoliação em 20mmφ	Taxa de área de esfoliação em 10mmφ	Taxa de área de esfoliação em 5mmφ	B8 (T)	W17/50 (W/kg)	Formação de composto de sulfeto?	Nota
4-1	A	C	G	1,82	1,26	Não	Exemplo Comparativo

Nº	Taxa de área de esfoliação em 20mmφ	Taxa de área de esfoliação em 10mmφ	Taxa de área de esfoliação em 5mmφ	B8 (T)	W17/50 (W/kg)	Formação de composto de sulfeto?	Nota
4-2	A	C	G	1,84	1,20	Não	Exemplo Comparativo
4-3	A	A	B	1,84	1,22	Sim	Exemplo da Invenção
4-4	A	A	B	1,85	1,23	Sim	Exemplo da Invenção

Quinto Conjunto de Exemplos

Separadores de recozimento como aqueles dos Exemplos da Invenção 1-8 e 2-6 foram usados para a preparação de suspensões de teor de íon de cloro diferente. As suspensões foram revestidas sobre folhas de aço como aquelas usadas nos Primeiro e Segundo Conjuntos de Exemplos e seus performances de aplicação foram avaliados. NaCl foi usado para regulação dos teores de íon. Um teor de íon de cloro indicado como 0 mg/L na Tabela 9 significa que o teor foi abaixo do limite de detecção. As suspensões mostradas na Tabela 9 foram aplicadas às folhas de teste (10 cm x 30 cm) com um revestidor de barra, e a condição de revestimento após a secagem de cada uma foi examinada visualmente. Um desempenho de aplicação foi avaliado com base na percentagem da área superficial de folha de teste total que sustentou um descascamento ou uma mancha. De 0% a 10% foi classificado como Excelente (E), de 10% a menos de 50% foi classificado como Bom (G), de 50% a menos de 90% foi classificado como Razoável (F) e mais de 90% foi classificado como Ruim (P). Os resultados são mostrados na Tabela 9. Será notado a partir da tabela que um desempenho de aplicação foi melhor a um teor de íon de cloro de suspensão não maior do que 500 mg/L. A eficácia de um separador de recozimento aumenta com uma melhor desempenho de aplicação.

Tabela 9

Nº	Separador de recozimento	Teor de íon de cloro em suspensão (mg/L)	Desempenho de aplicação
5-1	1-8	0	E
5-2	1-8	5	E

Nº	Separador de recozimento	Teor de íon de cloro em suspensão (mg/L)	Desempenho de aplicação
5-3	1-8	30	E
5-4	1-8	100	G
5-5	1-8	500	G
5-6	1-8	600	F
5-7	2-6	0	E
5-8	2-6	2	E
5-9	2-6	50	E
5-10	2-6	100	G
5-11	2-6	500	G
5-12	2-6	600	F

Conforme demonstrado pelos Exemplos estabelecidos acima, as bobinas que satisfazem às condições da invenção foram folhas de aço elétricas de grão orientado tendo taxas de área de esfoliação de revestimento pequenas durante uma flexão forte e foram excelentes na adesão de revestimento.

Aplicabilidade Industrial

A presente invenção suplanta o problema de esfoliação de revestimento de folha de aço de grão orientado eletricamente durante uma forte flexão para dentro a um raio de curvatura pequeno no decorrer da fabricação de um transformador, particularmente um transformador de núcleo enrolado, desse modo eliminando o inconveniente de não ter sido possível realizar uma propriedade de perda de núcleo adequada do material em folha de aço, quando ele é fabricado em um transformador. Assim, ao se permitir a fabricação industrial confiável de transformadores de alta eficiência em linha com as exigências de mercado, a presente invenção faz uma contribuição substancial para o progresso da indústria.

REIVINDICAÇÕES

1. Folha de aço de grão orientado eletricamente excelente na adesão de revestimento compreendendo, em % em massa, Si: de 2 a 7% e tendo em uma superfície da mesma um revestimento primário composto principalmente por forsterita, em que o revestimento primário compreende um composto (A) que contém um ou mais elementos selecionados dentre Ca, Sr e Ba, pelo menos um metal de terras raras e enxofre.

2. Folha de aço de grão orientado eletricamente excelente na adesão de revestimento, de acordo com a reivindicação 1, em que pelo menos um metal de terras raras é um ou ambos dentre La e Ce.

3. Folha de aço de grão orientado eletricamente excelente na adesão de revestimento, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, em que o composto (A) está presente pelo menos na camada de interface entre o revestimento primário e a folha de aço.

4. Folha de aço de grão orientado eletricamente excelente na adesão de revestimento, de acordo com a reivindicação 1, em que a folha de aço de grão orientado eletricamente é formada usando-se AlN como um inibidor.

5. Método de produção de uma folha de aço de grão orientado eletricamente excelente na adesão de revestimento, que compreende:

a preparação de uma tira laminada a quente usando-se um aço contendo, em % em massa, C: 0,10% ou menos, Si: de 2 a 7%, Mn: de 0,02 a 0,30%, um ou ambos dentre S e Se: de 0,001 a 0,040% no total, e um saldo de Fe e impurezas inevitáveis;

o recozimento da tira laminada a quente;

o acabamento da tira recozida para uma folha de uma espessura final por uma ou mais laminações a frio ou duas ou mais laminações a frio com um recozimento intermediário;

o recozimento com descarbonização da folha laminada a frio;

o revestimento da superfície de folha de aço com um separador de recozimento; e

a secagem e o recozimento de acabamento da folha revestida,

desse modo se produzindo uma folha de aço de grão orientado elétrica,

em que o separador de recozimento é um composto principalmente por MgO que tem um teor de composto de metal de terras raras, expresso como um metal de terras raras, de 0,1 a 10% em massa, um teor de
5 composto de metal alcalino-terroso de um ou mais selecionados dentre Ca, Sr e Ba, expresso como um metal alcalino-terroso, de 0,1 a 10% em massa, e um teor de composto de enxofre, expresso como S, de 0,01 a 5% em massa.

6. Método de produção de uma folha de aço de grão orientado
10 eletricamente excelente na adesão de revestimento, de acordo com a reivindicação 5, em que o separador de recozimento ainda tem um teor de composto de Ti, expresso como Ti, de 0,5 a 10% em massa.

7. Método de produção de uma folha de aço de grão orientado eletricamente excelente na adesão de revestimento, de acordo com a reivindicação 5 ou 6, em que o aço ainda contém, em % em massa, Al solúvel em
15 ácido: de 0,010 a 0,065% e N: de 0,0030 a 0,0150%.

8. Método de produção de uma folha de aço de grão orientado eletricamente excelente na adesão de revestimento, de acordo com a reivindicação 5 ou 6, em que o aço ainda contém, em % em massa, Bi: de 0,005 a
20 0,05%.

9. Método de produção de uma folha de aço de grão orientado eletricamente excelente na adesão de revestimento, de acordo com a reivindicação 5 ou 6, em que o aço ainda contém, em % em massa, Al solúvel em ácido: de 0,010 a 0,065%, N: de 0,0030 a 0,0150%; e Bi: de 0,0005 a 0,05%.

Fig. 1

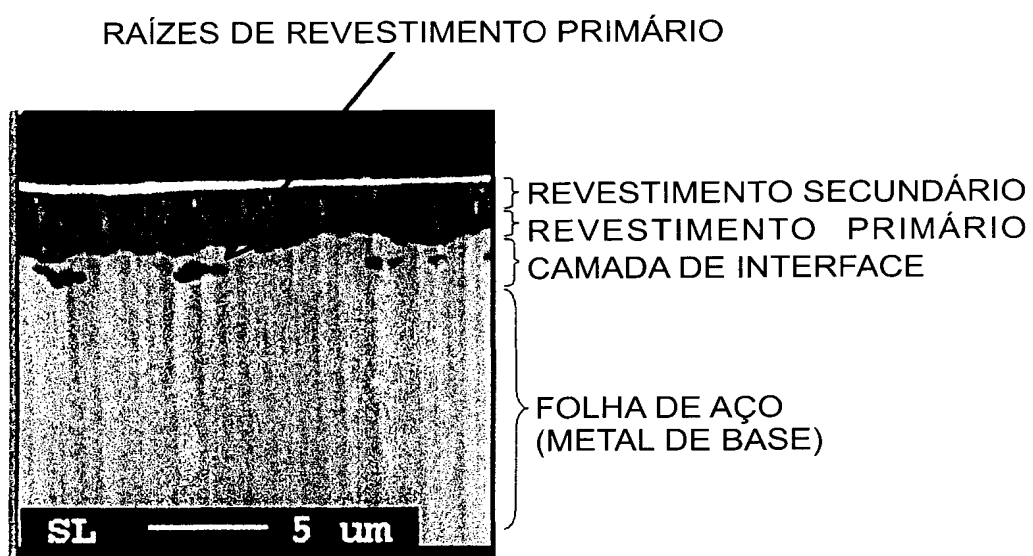
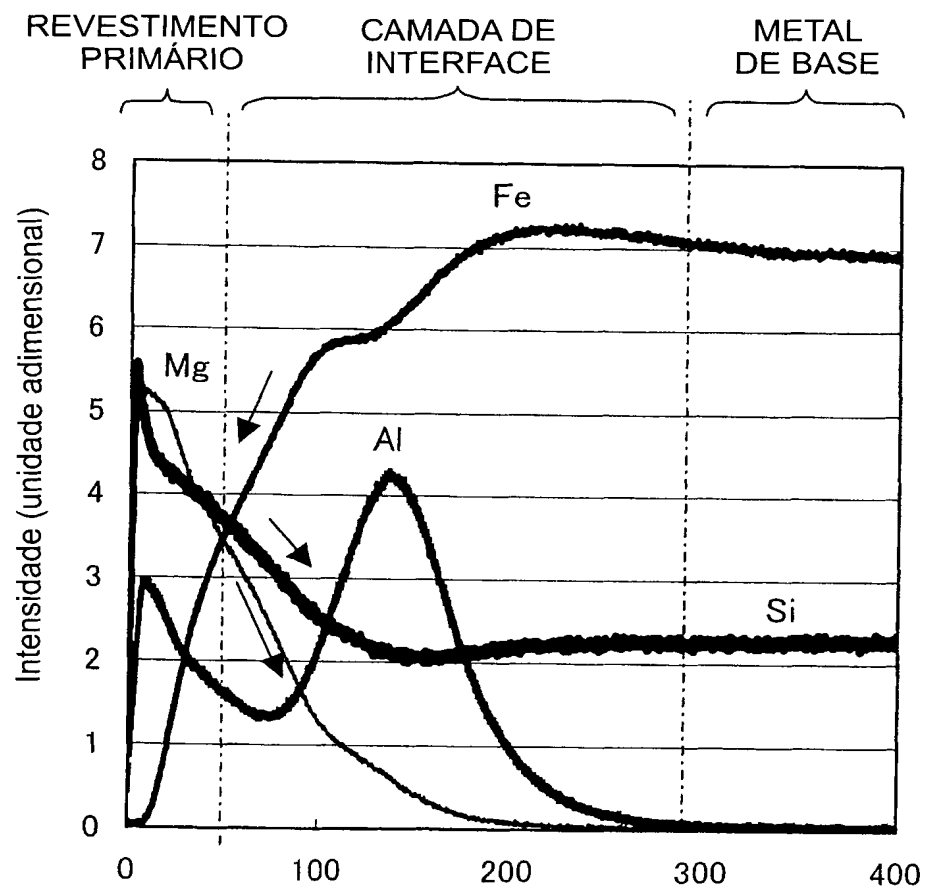


Fig. 2



TEMPO DE DESINTEGRAÇÃO E DEPOSIÇÃO DE CATODO (s)
CORRESPONDE A UMA PROFUNDIDADE A PARTIR DA SUPERFÍCIE

Fig.3

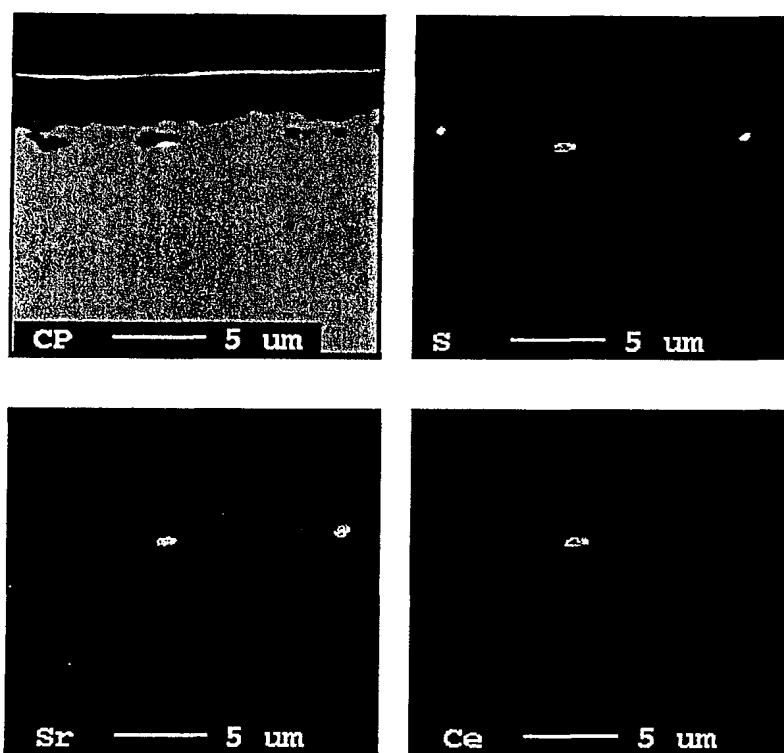
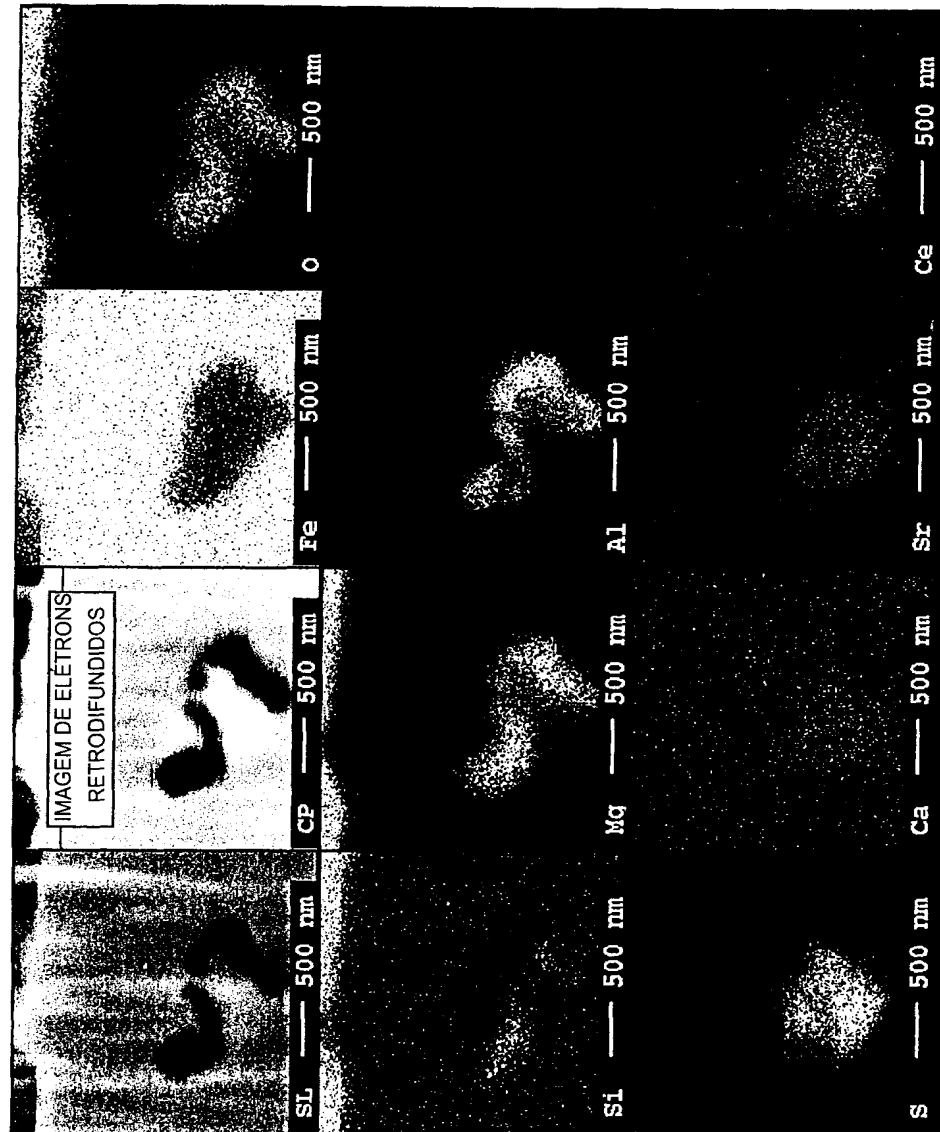


Fig.4



RESUMO

Patente de Invenção: **"FOLHA DE AÇO ELÉTRICA DE GRÃO ORIENTADO EXCELENTE NA ADESÃO DE REVESTIMENTO E MÉTODO DE PRODUÇÃO DA MESMA"**.

5 A presente invenção refere-se a uma folha de aço de grão orientado eletricamente excelente na adesão de revestimento sendo provida. A folha de aço contém Si: de 2 a 7% em massa e tem um revestimento primário composto principalmente por forsterita em sua superfície. Um composto (A) contendo um ou mais elementos selecionados a partir de Ca, Sr e Ba,
10 pelo menos um metal de terras raras e enxofre é incorporado no revestimento primário, de modo a residir na camada de interface entre o revestimento primário e a folha de aço. Como resultado, a ocorrência de uma esfoliação de revestimento primário em regiões que são fortemente trabalhadas durante a fabricação de um transformador de núcleo enrolado ou similar é impedi-
15 da.