



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

(11) PI 1009094-0 B1



(22) Data do Depósito: 09/03/2010

(45) Data de Concessão: 08/09/2021

(54) Título: FOLHA DE AÇO MAGNÉTICA NÃO ORIENTADA E MÉTODO PARA PRODUZIR A MESMA

(51) Int.Cl.: C23C 10/28; C21D 9/46; C22C 38/00; C22C 38/12; H01F 1/16.

(30) Prioridade Unionista: 13/03/2009 JP 2009-061981; 13/03/2009 JP 2009-061918.

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

(72) Inventor(es): SATOSHI ARAI; YASUhide MORIMOTO; KIYOKAZU ISHIZUKA; KAZUTOSHI TAKEDA.

(86) Pedido PCT: PCT JP2010053873 de 09/03/2010

(87) Publicação PCT: WO 2010/104067 de 16/09/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 13/09/2011

(57) Resumo: FOLHA DE AÇO MAGNÉTICA NÃO ORIENTADA E MÉTODO PARA PRODUZIR A MESMA. A presente invenção refere-se a uma folha de aço magnética não orientada que contém, em % em massa, C: 0,005% ou menos; Si: 2% a 4%; Mn e V: totalmente 11% ou menos; e Al: 3% ou menos, com o equilíbrio sendo Fe e impurezas inevitáveis, em que uma concentração de Mn (% em massa) e uma concentração de V (% em massa) em uma direção da espessura satisfazem a seguinte fórmula. $0,1 (X_{Mn,V} - X_{CMn,V})/t_{Mn,V} \geq 100$, onde $X_{Mn,V}$: uma soma da concentração de Mn (% em massa) e a concentração de V (% em massa) em uma superfície da folha de aço, $X_{CMn,V}$: uma soma da concentração de Mn (% em massa) e a concentração de V (% em massa) em um centro da folha de aço, e $t_{Mn,V}$: uma profundidade (mm), da superfície da folha de aço, de uma posição onde a soma da concentração de Mn (% em massa) e a concentração de V (% em massa) é igual a $X_{CMn,V}$.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"FOLHA DE AÇO MAGNÉTICA NÃO ORIENTADA E MÉTODO PARA PRODUZIR A MESMA"**.

CAMPO TÉCNICO

[0001] A presente invenção refere-se a uma folha de aço magnética não orientada adequada para um núcleo de um motor e um método para produzir a mesma.

ANTECEDENTE DA TÉCNICA

[0002] Nos últimos anos, do ponto de vista de proteção ambiental, economia de energia, e outros, há um interesse crescente em veículos elétricos. Velocidade de rotação mais alta e dimensões reduzidas são requeridas dos motores de propulsão dos veículos elétricos, e conseqüentemente, sua frequência de propulsão tem se tornado por volta de 800 Hz.

[0003] Quando um tal motor de propulsão estiver em operação, os componentes de frequência alta várias vezes tão alta quanto a frequência de propulsão são sobrepostos na frequência de propulsão. Isto origina em uma demanda que uma folha de aço magnética não orientada sendo um material de núcleo do motor de propulsão deve ser excelente não só em propriedade mecânica permitindo a velocidade de rotação mais alta e a redução nas dimensões mas também em propriedade magnética, especialmente, em propriedade de perda no núcleo, em uma faixa de frequência alta de 400 Hz a 2 kHz.

[0004] A perda no núcleo pode ser no geral classificada em perda de correntes parasitas e perda de histerese. A perda de correntes parasitas é proporcional ao quadrado de uma espessura da folha de aço magnética não orientada e está em proporção inversa à resistência específica. Portanto, para reduzir a perda de correntes parasitas, uma tentativa foi feita para reduzir a espessura da folha de

aço magnética não orientada. Outra tentativa foi feita para aumentar uma quantidade de Si e/ou uma quantidade de Al na folha de aço magnética não orientada para aumentar a resistência específica. O aumento na quantidade de Si e/ou na quantidade de Al pode também aumentar a resistência mecânica (rigidez do rotor).

[0005] Porém, as técnicas relacionadas não podem completamente reduzir a perda no núcleo na faixa de frequência alta, por exemplo, de 400 Hz a 2 kHz.

LISTA DE CITAÇÃO

LITERATURA DE PATENTE

Literatura de Patente 1: Publicação de Patente japonesa aberta à inspeção pública No. 2007-247047

Literatura de Patente 2: Publicação de Patente japonesa aberta à inspeção pública No. 07-258863

Literatura de Patente 3: Publicação de Patente japonesa aberta à inspeção pública No. 11-323511

Literatura de Patente 4: Publicação de Patente japonesa aberta à inspeção pública No. 2005-240185

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

PROBLEMA TÉCNICO

[0006] É um objetivo da presente invenção fornecer uma folha de aço magnética não orientada cuja perda no núcleo em uma faixa de frequência alta pode ser reduzida completamente e um método para produzir a mesma.

SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA

[0007] Os presentes inventores notaram que, com uma faixa de frequência alta de 400 Hz a 2 kHz, a corrente parasita flui apenas até uma profundidade de cerca de 50 µm de uma superfície de uma folha de aço, e laboriosamente estudaram uma técnica para aumentar a resistência elétrica em uma área cuja profundidade da superfície da

folha de aço é 50 µm.

[0008] Como resultado, os inventores presentes descobriram que é possível reduzir a perda no núcleo de frequência alta mediante galvanização da superfície da folha de aço com Mn ou V, que torna uma taxa de aumento da resistência alta, e difusão do Mn ou V no aço por cozimento para formar um gradiente de uma concentração de Mn ou uma concentração de V da superfície da folha de aço para uma profundidade prescrita.

[0009] A presente invenção foi feita com base nas descobertas acima, e sua essência é como segue.

[0010] Uma folha de aço magnética não orientada de acordo com a presente invenção contém, em % em massa: C: 0,005% ou menos; Si: 2% a 4%; Mn e V: totalizando 11% ou menos; e Al: 3% ou menos, com o equilíbrio sendo Fe e impurezas inevitáveis, em que uma concentração de Mn (% em massa) e uma concentração de V (% em massa) em uma direção da espessura satisfazem a seguinte fórmula:

$$0,1 < (X_{\text{Mn,V}} - X_{\text{CMn,V}})/t_{\text{Mn,V}} < 100,$$

onde

$X_{\text{Mn,V}}$: uma soma da concentração de Mn (% em massa) e a concentração de V (% em massa) em uma superfície da folha de aço,

$X_{\text{CMn,V}}$: uma soma da concentração de Mn (% em massa) e a concentração de V (% em massa) em um centro da folha de aço, e

$t_{\text{Mn,V}}$: uma profundidade (mm), da superfície da folha de aço, de uma posição onde a soma da concentração de Mn (% em massa) e a concentração de V (% em massa) é igual a $X_{\text{CMn,V}}$.

EFEITOS VANTAJOSOS DA INVENÇÃO

[0011] De acordo com a presente invenção, devido à regulação apropriada das concentrações de Mn e de V, é possível reduzir completamente a perda no núcleo em uma faixa de frequência alta de,

por exemplo, 400 Hz para 2 kHz.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[00012] [Figura 1A] Figura 1A é um quadro ilustrando as correlações entre uma espessura de um filme de galvanização de Mn e uma distribuição de uma concentração de Mn quando cozimento de 900°C for conduzido por três horas.

[00013] [Figura 1B] Figura 1B é um quadro ilustrando as correlações entre uma espessura de um filme de galvanização de Mn e uma distribuição de uma concentração de Mn quando cozimento de 900°C for conduzido por dez horas.

[00014] [Figura 1C] Figura 1C é um quadro ilustrando as correlações entre uma espessura de um filme de galvanização de Mn e uma distribuição de uma concentração de Mn quando cozimento de 900°C for conduzido por trinta horas.

[00015] [Figura 2] Figura 2 é um quadro ilustrando as correlações entre uma espessura de um filme de galvanização de Mn e a perda no núcleo $W_{10/400}$.

[00016] [Figura 3] Figura 3 é um quadro ilustrando as correlações entre uma espessura de um filme de galvanização de Mn e a perda no núcleo $W_{10/800}$.

[00017] [Figura 4] Figura 4 é um quadro ilustrando as correlações entre uma espessura de um filme de galvanização de Mn e a perda no núcleo $W_{10/1700}$.

[00018] [Figura 5] Figura 5 é um quadro ilustrando as correlações entre uma espessura de um filme de galvanização de Mn e a perda no núcleo $W_{10/1700}$.

[00019] [Figura 6A] Figura 6A é um quadro ilustrando as correlações entre uma espessura de um filme de galvanização de V e uma distribuição de uma concentração de V quando cozimento de 900°C for conduzido por três horas.

[00020] [Figura 6B] Figura 6B é um quadro ilustrando as correlações entre uma espessura de um filme de galvanização de V e uma distribuição de uma concentração de V quando cozimento de 900°C for conduzido por dez horas.

[00021] [Figura 6C] Figura 6C é um quadro ilustrando as correlações entre uma espessura de um filme de galvanização de V e uma distribuição de uma concentração de V quando cozimento de 900°C for conduzido por trinta horas.

[00022] [Figura 7] Figura 7 é um quadro ilustrando as correlações entre uma espessura de um filme de galvanização de V e a perda no núcleo $W_{10/400}$.

[00023] [Figura 8] Figura 8 é um quadro ilustrando as correlações entre uma espessura de um filme de galvanização de V e a perda no núcleo $W_{10/800}$.

[00024] [Figura 9] Figura 9 é um quadro ilustrando as correlações entre uma espessura de um filme de galvanização de V e a perda no núcleo $W_{10/1700}$.

[00025] [Figura 10] Figura 10 é um quadro ilustrando as correlações entre uma espessura de um filme de galvanização de V e a perda no núcleo $W_{10/1700}$.

DESCRIÇÃO DAS MODALIDADES

PRIMEIRA MODALIDADE

[00026] Uma folha de aço magnética não orientada de acordo com uma primeira modalidade da presente invenção contém, em % em massa: C: 0,005% ou menos; Si: 2% a 4%; Mn: 10% ou menos; e Al: 3% ou menos, com o equilíbrio sendo Fe e impurezas inevitáveis, em que uma concentração de Mn (% em massa) em uma direção da espessura satisfaz a seguinte fórmula (1) ou a seguinte fórmula (2):

$$0,1 < (X_{sMn} - X_{cMn})/t_{Mn} < 100... (1)$$

$$0,1 < (X_{sMn}' - X_{cMn})/t_{Mn} < 100... (2),$$

onde

X_{Mn} : a concentração de Mn (% em massa) em uma superfície da folha de aço,

X_{Mn}' : a concentração de Mn máxima (% em massa) próxima da superfície da folha de aço,

X_{CMn} : a concentração de Mn (% em massa) em um centro da folha de aço, e

t_{Mn} : uma profundidade (mm), da superfície da folha de aço, de uma posição onde a concentração de Mn (% em massa) é igual a X_{CMn} .

[00027] Galvanização de Mn é aplicada em uma superfície de uma folha de aço de base com uma composição de componente predeterminada para produzir a folha de aço magnética não orientada de acordo com a primeira modalidade, para formar um filme de galvanização de Mn, e depois disso Mn é fundido no aço por cozimento. Durante o cozimento, a recristalização da folha de aço de base também ocorre. Como a folha de aço de base que é para ser galvanizada com Mn, usada é, por exemplo, uma folha de aço laminada a frio obtida em uma tal maneira que uma folha de aço laminada a quente recozida é laminada a frio a uma espessura predeterminada (por exemplo, uma espessura de uma folha de produto). Neste caso, uma folha de aço laminada a frio galvanizada com Mn é obtida pela galvanização de Mn, e depois disso, a folha de aço laminada a frio galvanizada com Mn é recozida. Alternativamente, uma folha de aço laminada a quente recozida pode ser usada como a folha de aço de base. Neste caso, uma folha de aço laminada a quente galvanizada com Mn é obtida pela galvanização de Mn, e depois disso uma folha de aço laminada a frio galvanizada com Mn é obtida por enrolamento a frio da folha de aço laminada a quente galvanizada com Mn. Depois, a folha de aço laminada a frio galvanizada com Mn é

recozida.

[00028] Aqui, as razões pelas quais a composição de componente da primeira modalidade é regulada serão descritas. Note que % significa % em massa.

[00029] C piora a perda no núcleo após cozimento de alívio de tensão. Um conteúdo de C na folha de aço de base é ajustado para 0,005% ou menos de modo que o fenômeno não ocorre.

[00030] Si é um elemento efetivo para aumentar a resistência elétrica e reduzir a perda no núcleo. Quando um conteúdo de Si for menos que 2%, o efeito não é obtido. Por outro lado, quando o conteúdo de Si for acima de 4%, uma propriedade de enrolamento a frio piora grandemente. Portanto, o conteúdo de Si na folha de aço de base é ajustado para 2% a 4%.

[00031] Mn, similarmente a Si, é um elemento efetivo em aumentar a resistência elétrica. Ainda, Mn reage com S no aço para produzir MnS, assim tornando S inofensivo. Para obter estes efeitos, um conteúdo de Mn na folha de aço de base é preferivelmente 0,1% ou mais. Por outro lado, quando o conteúdo de Mn na folha de aço de base for acima de 1%, o crescimento de grão de cristal durante o cozimento é impedido. Portanto, o conteúdo de Mn na folha de aço de base é ajustado para 1% ou menos.

[00032] Ainda, o conteúdo de Mn na folha de aço magnética não orientada fica mais alto que o conteúdo de Mn na folha de aço de base devido à formação do filme de galvanização de Mn. Quando o conteúdo de Mn na folha de aço magnética não orientada for acima de 10%, a densidade de fluxo de saturação diminui para deteriorar uma propriedade magnética. Portanto, o conteúdo de Mn na folha de aço magnética não orientada é preferivelmente 10% ou menos.

[00033] Al, similarmente a Si, é um elemento efetivo para aumentar a resistência elétrica e reduzir a perda no núcleo. Para obter estes

efeitos, um conteúdo de Al na folha de aço de base é preferivelmente 0,1% ou mais, mais preferivelmente 0,5% ou mais. Por outro lado, quando o conteúdo de Al for acima 3%, a fundibilidade do aço (aço fundido) piora. Portanto, o conteúdo de Al na folha de aço de base é ajustado para 3% ou menos.

[00034] V, similarmente a Si, é um elemento efetivo para aumentar a resistência elétrica e reduzir a perda no núcleo. Porém, quando um conteúdo de V for acima de 1%, o enrolamento a frio da folha de aço laminada a quente recozida é responsável por tornar-se difícil. Portanto, o conteúdo de V na folha de aço de base é preferivelmente 1% ou menos. Ainda, o conteúdo total de Mn e V na folha de aço magnética não orientada é preferivelmente 11% ou menos.

[00035] P é um elemento tendo um efeito notável para aumentar a resistência à tração, mas não necessita ser incluído na primeira modalidade. Quando um conteúdo de P for acima de 0,3%, grande fragilização é causada, e processamento tal como enrolamento a quente e enrolamento a quente em uma escala industrial fica difícil. Portanto, o conteúdo de P na folha de aço de base é preferivelmente 0,3% ou menos, mais preferivelmente 0,2% ou menos, e ainda mais preferivelmente 0,15% ou menos.

[00036] Um conteúdo de S é preferivelmente tão baixo quanto possível. Especificamente, o conteúdo de S na folha de aço de base é preferivelmente 0,04% ou menos, mais preferivelmente 0,02% ou menos, e ainda mais preferivelmente 0,01% ou menos.

[00037] Cu tem um efeito de aumentar a resistência dentro de uma faixa que não dá um efeito adverso a uma propriedade magnética. Portanto, a folha de aço de base pode conter 5% Cu ou menos.

[00038] Nb tarda a recristalização da folha de aço não só como Nb inerente mas pela precipitação de principalmente carbonitreto de Nb na folha de aço. Ainda, pelo precipitado de Nb fino, este também tem

um efeito de aumentar a resistência dentro de uma faixa não dando um efeito adverso para a propriedade magnética. Portanto, a folha de aço de base pode conter 1% de Nb ou menos.

[00039] N, similarmente a C, piora a propriedade magnética. Portanto, um conteúdo de N na folha de aço de base é preferivelmente 0,02% ou menos.

[00040] A maioria dos outros elementos usados nas folhas de aço magnéticas de resistência alta para aumentar a resistência nas técnicas relacionadas não só são considerados como problemáticos por causa de custo para sua adição mas também não causam o efeito um efeito adverso pequeno à propriedade magnética, e desse modo há nenhuma necessidade para ousar em fazê-los contidos. Se eles ousarem em ficar contidos, Ti, B, Ni, e/ou Cr são usados, por exemplo, em atenção a um efeito de tardar a recristalização, um efeito de aumentar a resistência, um aumento no custo, e deterioração na propriedade magnética. Neste caso, seus conteúdos são preferivelmente cerca dos seguintes: Ti: 1% ou menos, B: 0,01% ou menos, Ni: 5% ou menos, e Cr: 15% ou menos.

[00041] Ainda, como para outros elementos de traço, adicionando os mesmos, por causa de vários propósitos em geral conhecidos, além de sua quantidade inevitavelmente contida em um minério e/ou sobras, e assim por diante, não prejudica o efeito da primeira modalidade de modo algum. Há também elementos que, apesar de suas quantidades pequenas, formam precipitados finos tais como carboneto, sulfeto, nitreto, e/ou óxido e não apresentam um efeito pequeno de tardar a recristalização. Estes precipitados finos também têm um efeito adverso grande na propriedade magnética, e se Cu ou Nb estiverem contidos, Cu ou Nb podem fornecer um efeito suficiente de tardar a recristalização, e portanto, não é necessário ousar fazer estes elementos contidos. Conteúdos inevitáveis destes elementos de

traço são cada normalmente cerca de 0,005% ou menos mas podem ser cerca de 0,01% ou mais para vários propósitos. Neste caso, é também preferível que o conteúdo total de Mo, W, Sn, Sb, Mg, Ca, Ce, e Co tenha 0,5% ou menos em vista do custo e da propriedade magnética.

[00042] Incidentalmente, os conteúdos destes elementos, exceto Mn, na folha de aço magnética não orientada ficam ligeiramente mais baixos que seus conteúdos na folha de aço de base de acordo com a formação do filme de galvanização de Mn. Porém, uma vez que uma espessura do filme de galvanização de Mn é bem menor que uma espessura da folha de aço de base, os conteúdos dos elementos, exceto Mn, na folha de aço magnética não orientada podem ser considerados iguais aos seus conteúdos na folha de aço de base. Por outro lado, o conteúdo de Mn na folha de aço magnética não orientada é ajustado para 10% ou menos como descrito acima. Depois, quando o filme de galvanização de Mn com uma tal espessura que o conteúdo de Mn na folha de aço magnética não orientada torna-se 10% ou menos é formado, Mn escassamente difunde-se do filme de galvanização de Mn para o centro da folha de aço de base. Portanto, o conteúdo de Mn no centro da espessura da folha de aço magnética não orientada pode ser considerado igual a seu conteúdo na folha de aço de base.

[00043] Portanto, como a folha de aço de base, utilizável é, por exemplo, uma folha de aço laminada a frio contendo C: 0,005% ou menos, Si: 2% a 4%, Mn: 1% ou menos (preferivelmente 0,1% ou mais), e Al: 3% ou menos, com o equilíbrio sendo Fe e impurezas inevitáveis. Alternativamente, uma folha de aço laminada a frio contendo ainda 1% V ou menos pode ser usada.

[00044] A espessura da folha de aço de base (folha de aço laminada a frio) não é particularmente limitada. Pode ser decidido

apropriadamente em atenção a uma espessura da folha de aço magnética não orientada como um produto final e uma redução de enrolamento no processo de enrolamento. A espessura da folha de aço magnética não orientada como o produto final não é particularmente limitada, mas é preferivelmente 0,1 mm a 0,3 mm em vista de uma redução na perda no núcleo de frequência alta.

[00045] Um método para galvanização de Mn da folha de aço de base não é limitado a um método específico. Eletro galvanização de uma solução aquosa ou um solvente não aquoso, eletrólise de sal fundido, imersão a quente, galvanização a vapor tal como PVD (deposição física de vapor) e CVD (deposição química de vapor), e assim por diante são preferíveis porque elas podem facilmente ajustar uma espessura da galvanização (a espessura do filme de galvanização de Mn).

[00046] A espessura do filme de galvanização de Mn não é particularmente limitada, mas é preferivelmente grande o bastante para assegurar uma quantidade de Mn suficientemente difundida na folha de aço de base, e é preferivelmente cerca de 1 μm a 10 μm , por exemplo.

[00047] O cozimento segue a galvanização de Mn da folha de aço de base para difundir Mn na folha de aço de base, assim formando um gradiente de concentração de Mn que satisfaz a fórmula (1) ou (2) acima (isso será descrito depois). Condições para cozimento (temperatura, tempo, e assim por diante) não são particularmente limitadas, contanto que o Mn difunda-se na folha de aço de base de modo que a concentração de gradiente de Mn acima seja obtida. Na premissa de cozimento por batelada, as condições são preferivelmente "1000°C ou menos e uma hora ou muito mais tempo". As condições de cozimento podem ser ajustadas na premissa de cozimento contínuo.

[00048] Em seguida, as razões pelas quais as fórmulas (1) e (2) são

definidas na primeira modalidade serão descritas.

[00049] Figura 1A à figura 1C cada mostram correlações entre uma espessura de um filme de galvanização de Mn e uma distribuição de uma concentração de Mn em uma direção da espessura de uma folha de aço magnética não orientada. Obtendo as correlações, as folhas de aço laminadas a frio (folhas de aço de base), cada, contendo C: 0,002%, Si: 3,0%, Mn: 0,3%, e Al: 0,6%, com o equilíbrio sendo Fe e impurezas inevitáveis, foram fabricadas. Em seguida, por um método de deposição de vapor, os filmes de galvanização de Mn com uma espessura de 2 μm , uma espessura de 5 μm , e uma espessura de 10 μm foram formados em superfícies das respectivas folhas de aço laminadas a frio. Depois, como resultado do cozimento, folhas de aço magnéticas não orientadas foram obtidas. Uma espessura de cada uma das folhas de aço laminadas a frio foi 0,3 mm.

[00050] Figura 1A mostra um caso onde cozimento de 900°C foi conduzido por três horas (h), Figura 1B mostra um caso onde cozimento de 900°C foi conduzido por dez horas, e Figura 1C mostra um caso onde cozimento de 900°C foi conduzido por trinta horas. Na figura 1A à figura 1C, (x) mostra a distribuição da concentração de Mn quando a espessura do filme de galvanização de Mn for 5 μm , (y) mostra a distribuição da concentração de Mn quando a espessura do filme de galvanização de Mn for 2 μm , e (w) mostra a distribuição da concentração de Mn quando a espessura do filme de galvanização de Mn for 10 μm . Ainda, (z) mostra a distribuição da concentração de Mn quando o filme de galvanização de Mn não foi formado e o cozimento foi conduzido.

[00051] Como mostrado na figura 1A à figura 1C, em cada uma das folhas de aço magnéticas não orientadas em que os filmes de galvanização de Mn foram formados, a concentração de Mn (% em massa) fica menor substancialmente de modo linear da concentração

de Mn (% em massa) na superfície ou da concentração de Mn máxima (% em massa) próxima da superfície em direção a uma porção do centro da folha de aço.

[00052] Os inventores presentes também mediram as propriedades de perda no núcleo destas folhas de aço magnéticas não orientadas.

[00053] Figura 2 mostra as correlações entre a espessura do filme de galvanização de Mn e a perda no núcleo $W_{10/400}$ (W/kg). Cada valor da perda no núcleo $W_{10/400}$ na figura 2 é um valor médio (L + C) de um valor de perda no núcleo $W_{10/400}$ (L) em uma direção L (direção de enrolamento) e um valor de perda no núcleo $W_{10/400}$ (C) em uma direção C (direção perpendicular à direção de enrolamento). Pode ser dito da figura 2 que é possível reduzir a perda no núcleo $W_{10/400}$ (W/kg) apropriadamente selecionando a espessura do filme de galvanização de Mn e o tempo de cozimento.

[00054] Figura 3 mostra as correlações entre a espessura do filme de galvanização de Mn e a perda no núcleo $W_{10/800}$ (W/kg), Figura 4 mostra as correlações entre a espessura do filme de galvanização de Mn e a perda no núcleo $W_{10/1700}$ (W/kg), e a figura 5 mostra as correlações entre a espessura do filme de galvanização de Mn e a perda no núcleo $W_{10/1700}$ (W/kg). É visto da figura 3 à figura 5 que quando o cozimento de 900°C foi conduzido por dez horas após o filme de galvanização de Mn ter sido formado na folha de aço laminada a frio, uma propriedade de perda no núcleo de frequência alta melhorou, comparada com o caso onde a galvanização de Mn não foi aplicada.

[00055] Uma possível razão por que a propriedade de perda no núcleo na faixa de frequência alta desse modo melhora pode ser porque a concentração de Mn em uma área cuja profundidade da superfície da folha de aço é 50 μm aumenta devido à difusão de Mn pelo cozimento como mostrado na figura 1, e a propriedade de perda

no núcleo nesta área melhora.

[00056] Os inventores presentes ainda estudaram uma correlação entre a distribuição da concentração de Mn (% em massa) após o cozimento e a perda no núcleo de frequência alta.

[00057] Como resultado, foi descoberto que para reduzir a perda no núcleo de frequência alta, é importante que a concentração de Mn (% em massa) na direção de espessura satisfaça a seguinte fórmula (1).

$$0,1 < (X_{sMn} - X_{cMn})/t_{Mn} < 100... (1),$$

onde

X_{sMn} : a concentração de Mn (% em massa) em uma superfície da folha de aço,

X_{cMn} : a concentração de Mn (% em massa) em um centro da folha de aço, e

t_{Mn} : uma profundidade (mm), da superfície da folha de aço, de uma posição onde a concentração de Mn (% em massa) é igual a X_{cMn} .

[00058] Quando um valor de $(X_{sMn} - X_{cMn})$ é 0,1 ou menos, Mn difunde uniformemente e é distribuído substancialmente na área inteira na folha de aço, de modo que a perda no núcleo em uma porção da camada de superfície da folha de aço não diminui. Portanto, o valor de $(X_{sMn} - X_{cMn})/t_{Mn}$ é ajustado para mais de 0,1 e preferivelmente o valor de $(X_{sMn} - X_{cMn})/t_{Mn}$ tem mais de 0,5.

[00059] Quando o valor de $(X_{sMn} - X_{cMn})/t_{Mn}$ for 100 ou mais, o gradiente da concentração de Mn fica íngreme em uma faixa estreita, que grandemente deteriora uma permeabilidade magnética na hora da excitação. Portanto, o valor de $(X_{sMn} - X_{cMn})/t_{Mn}$ é ajustado para menos que 100.

[00060] Incidentemente, t_{Mn} não é particularmente limitado. Pode ser um incluindo a porção da camada de superfície (a área cuja profundidade da superfície é cerca de 50 μm) onde corrente parasita

induzida por uma frequência alta é gerada.

[00061] Na fórmula acima (1), a concentração de Mn (X_{sMn}) na superfície da folha de aço é usada, mas no cálculo atual da distribuição da concentração de Mn, a concentração de Mn máxima (X_{sMn}') próxima da superfície da folha de aço é às vezes usada. Portanto, a fórmula (2) seguinte pode ser usada em vez da fórmula (1) acima. Neste caso, a região "próxima da superfície da folha de aço" é uma região, na folha de aço magnética, começando da porção da camada superior de aço de base presente sob um filme isolante e terminando em um ponto mais próximo à porção central da folha de aço que o ponto de início por 5 μ m.

$$0,1 < (X_{sMn}' - X_{cMn})/t_{Mn} < 100 \dots (2),$$

onde X_{sMn}' : a concentração de Mn máxima (% em massa) próxima da superfície da folha de aço.

[00062] Na primeira modalidade, as fórmulas (1) e (2) acima podem ser seletivamente usadas conforme necessário.

SEGUNDA MODALIDADE

[00063] Uma folha de aço magnética não orientada de acordo com uma segunda modalidade da presente invenção contém, em % em massa: C: 0,005% ou menos; Si: 2% a 4%; Mn: 1% ou menos; V: 10% ou menos, e Al: 3% ou menos, com o equilíbrio sendo Fe e impurezas inevitáveis, em que uma concentração de V (% em massa) em uma direção da espessura satisfaz a fórmula (3) seguinte ou a fórmula (4) seguinte:

$$0,1 < (X_{sV} - X_{cV})/t_v < 100 \dots (3)$$

$$0,1 < (X_{sV}' - X_{cV})/t_v < 100 \dots (4),$$

onde

X_{sV} : a concentração de V (% em massa) em uma superfície da folha de aço,

X_{sV}' : a concentração de V máxima (% em massa) próxima

da superfície da folha de aço,

X_{cv} : a concentração de V (% em massa) em um centro da folha de aço, e

t_v : uma profundidade (mm), da superfície da folha de aço, de uma posição onde a concentração de V (% em massa) é igual a X_{cv} .

[00064] Para produzir a folha de aço magnética não orientada de acordo com a segunda modalidade, galvanização de V é aplicada em uma superfície de uma folha de aço de base com uma composição de componente predeterminada para formar um filme de galvanização de V, e depois disso V é fundido no aço por cozimento. Durante o cozimento, recristalização da folha de aço de base também ocorre. Como a folha de aço de base que é para ser galvanizada com V, usada é, por exemplo, uma folha de aço laminada a frio, similarmente à primeira modalidade. Neste caso, uma folha de aço laminada a frio galvanizado com V é obtida pela galvanização de V, e depois disso, a folha de aço laminada a frio galvanizada com V é recozida. Alternativamente, uma folha de aço laminada a quente recozida pode ser usada como a folha de aço de base. Neste caso, uma folha de aço laminada a quente galvanizada V é obtida pela galvanização de V, e depois disso uma folha de aço laminada a frio galvanizada com V é obtida por enrolamento a frio da folha de aço laminada a quente galvanizada com V. Depois, a folha de aço laminada a frio galvanizada com V é recozida.

[00065] Aqui, razões pelas quais a composição do componente da segunda modalidade é regulada serão descritas. Note que % significa % em massa.

[00066] Conteúdos de C, Si, Al, Mn, V, e assim por diante na folha de aço de base é igual aos da primeira modalidade.

[00067] O conteúdo de V na folha de aço magnética não orientada

fica mais alto que o conteúdo de V na folha de aço de base devido à formação do filme de galvanização de V. Quando o conteúdo de V na folha de aço magnética não orientada ficar acima de 10%, a densidade do fluxo de saturação diminui para deteriorar uma propriedade magnética. Portanto, o conteúdo de V na folha de aço magnética não orientada é preferivelmente 10% ou menos. Ainda, o conteúdo total de Mn e V na folha de aço magnética não orientada é preferivelmente 11% ou menos.

[00068] Incidentalmente, os conteúdos destes elementos, exceto V, na folha de aço magnética não orientada ficam ligeiramente mais baixos que seus conteúdos na folha de aço de base de acordo com a formação do filme de galvanização de V. Porém, uma vez que uma espessura do filme de galvanização de V é bem menor que uma espessura da folha de aço de base, os conteúdos dos elementos, exceto V, na folha de aço magnética não orientada podem ser considerados iguais a seus conteúdos na folha de aço de base. Por outro lado, o conteúdo de V na folha de aço magnética não orientada é ajustado para 10% ou menos como descrito acima. Depois, quando o filme de galvanização de V com uma tal espessura que o conteúdo de V na folha de aço magnética não orientada se torna 10% ou menos for formado, V difunde-se escassamente do filme de galvanização de V para o centro da folha de aço de base. Portanto, o conteúdo de V no centro de espessura da folha de aço magnética não orientada pode ser considerado igual a seu conteúdo na folha de aço de base.

[00069] Ainda, como na primeira modalidade, outros elementos, por exemplo, Sn, Sb, B, e assim por diante podem ser contidos. Ainda, como as impurezas inevitáveis, P, S, N, O, e assim por diante podem ser contidas.

[00070] Portanto, como a folha de aço de base, utilizável é, por exemplo, uma folha de aço laminada a frio contendo C: 0,005% ou

menos, Si: 2% a 4%, Mn: 1% ou menos (preferivelmente 0,1% ou mais), e Al: 3% ou menos, com o equilíbrio sendo Fe e impurezas inevitáveis. Alternativamente, uma folha de aço laminada a frio contendo ainda 1% de V ou menos pode ser usada.

[00071] Um método para galvanização de V a folha de aço de base não é limitada a um método específico. O mesmo método como que da primeira modalidade é adaptável.

[00072] A espessura do filme de galvanização de V não é particularmente limitada, mas é preferivelmente grande o bastante para suficientemente assegurar uma quantidade de V difundida na folha de aço de base, e é preferivelmente cerca de 1 μm a 10 μm , por exemplo.

[00073] O cozimento segue a galvanização de V da folha de aço de base para difundir V na folha de aço de base, assim formando uma concentração de gradiente V que satisfaz a fórmula (3) ou (4) acima (isso será descrito depois). Condições para cozimento (temperatura e tempo) não são particularmente limitadas, contanto que V difunda-se na folha de aço de base de modo que a concentração de gradiente V acima seja obtida. Na premissa de cozimento por batelada, as condições são preferivelmente "1000°C ou menos e uma hora ou muito mais tempo" como na primeira modalidade, mas as condições de cozimento podem ser ajustadas na premissa de cozimento contínuo.

[00074] Em seguida, as razões pelas quais as fórmulas (3) e (4) são definidas na segunda modalidade serão descritas.

[00075] Figura 6A à figura 6C cada mostra as correlações entre uma espessura de um filme de galvanização de V e uma distribuição de uma concentração de V em uma direção da espessura de uma folha de aço magnética não orientada. Obtendo as correlações, as folhas de aço laminadas a frio (folhas de aço de base) cada contendo

C: 0,002%, Si: 3,0%, Mn: 0,3%, Al: 0,6%, e V: 0,01%, com o equilíbrio sendo Fe e impurezas inevitáveis, foram fabricadas. Em seguida, por um método de deposição de vapor, os filmes de galvanização de V com uma espessura de 1 μm e uma espessura de 5 μm foram formados nas superfícies das respectivas folhas de aço laminadas a frio. Depois, após cozimento, as folhas de aço magnéticas não orientadas foram obtidas. Uma espessura de cada uma das folhas de aço laminadas a frio foi 0,3 mm.

[00076] Figura 6A mostra um caso onde cozimento de 900°C foi conduzido por três horas, Figura 6B mostra um caso onde cozimento de 900°C foi conduzido por dez horas, e Figura 6C mostram um caso onde cozimento de 900°C foi conduzido por trinta horas. Na figura 6A à figura 6C, (x) mostra a distribuição da concentração de V quando a espessura do filme de galvanização de V foi 5 μm , e (y) mostra a distribuição da concentração de V quando a espessura do filme de galvanização de V foi 1 μm .

[00077] Como mostrado na figura 6A à figura 6C, as concentrações de V (% em massa) cada fica menor substancialmente de modo linear da concentração de V (% em massa) na superfície ou da concentração de V máxima (% em massa) próximo da superfície em direção àquela em uma porção do centro da folha de aço.

[00078] Os inventores presentes ainda mediram as propriedades de perda no núcleo destas folhas de aço magnéticas não orientadas.

[00079] Figura 7 mostra as correlações entre a espessura do filme de galvanização de V e a perda no núcleo $W_{10/400}$ (W/kg). Cada valor da perda no núcleo $W_{10/400}$ na figura 7 é um valor médio (L + C) de um valor de perda no núcleo $W_{10/400}$ (L) em uma direção L (direção de enrolamento) e um valor de perda no núcleo $W_{10/400}$ (C) em uma direção C (direção perpendicular à direção de enrolamento). Pode ser dito da figura 7 que é possível reduzir a perda no núcleo $W_{10/400}$ (W/kg)

apropriadamente selecionando a espessura do filme de galvanização de V e o tempo de cozimento.

[00080] Figura 8 mostra as correlações entre a espessura do filme de galvanização de V e a perda no núcleo $W_{10/800}$ (W/kg), Figura 9 mostra as correlações entre a espessura do filme de galvanização de V e a perda no núcleo $W_{10/1700}$ (W/kg), e a figura 10 mostra as correlações entre a espessura do filme de galvanização de V e a perda no núcleo $W_{10/1700}$ (W/kg). É visto da figura 8 à figura 10 que quando o cozimento de 900°C foi conduzido por dez horas após o filme de galvanização de V ser formado na folha de aço laminada a frio, uma propriedade de perda no núcleo de frequência alta melhorou, comparada com o caso onde a galvanização de V não foi aplicada.

[00081] Uma possível razão pela qual a propriedade de perda no núcleo na faixa de frequência alta desse modo melhora pode ser porque a concentração de V em uma área cuja profundidade da superfície da folha de aço é 50 μm aumenta devido à difusão de V pelo cozimento como mostrado na figura 6, e a propriedade de perda no núcleo nesta área melhora.

[00082] Os inventores presentes ainda estudaram uma correlação entre a distribuição da concentração de V (% em massa) após o cozimento e a perda no núcleo de frequência alta.

[00083] Como resultado, foi descoberto que para reduzir a perda no núcleo de frequência alta, é importante que a concentração de V (% em massa) na direção da espessura satisfaça a seguinte fórmula (3):

$$0,1 < (X_{sv} - X_{cv})/t_v < 100 \dots (3),$$

onde

X_{sv} : a concentração de V (% em massa) em uma superfície da folha de aço,

X_{cv} : a concentração de V (% em massa) em um centro da folha de aço, e

t_v : uma profundidade (mm), da superfície da folha de aço, de uma posição onde a concentração de V (% em massa) é igual a X_{cV} .

[00084] Quando um valor de $(X_{sV} - X_{cV})/t_v$ é 0,1 ou menos, V difunde-se uniformemente e é distribuído substancialmente na área inteira na folha de aço, de modo que a perda no núcleo em uma porção da camada de superfície da folha de aço não diminui. Portanto, o valor de $(X_{sV} - X_{cV})/t_v$ é ajustado para mais de 0,1 e preferivelmente, o valor de $(X_{sV} - X_{cV})/t_v$ é mais de 0,5.

[00085] Quando o valor de $(X_{sV} - X_{cV})/t_v$ for 100 ou mais, o gradiente da concentração de V fica íngreme em uma faixa estreita que grandemente deteriora uma permeabilidade magnética na hora de excitação. Portanto, o valor de $(X_{sV} - X_{cV})/t_v$ é ajustado para menos que 100.

[00086] Incidentalmente, t_v não é particularmente limitado. Pode ser um incluindo a porção da camada de superfície (a área cuja profundidade da superfície é cerca de 50 μm) onde a corrente parasita induzida por uma frequência alta é gerada.

[00087] Na fórmula (3) acima, a concentração de V (X_{sV}) na superfície da folha de aço é usada, mas no cálculo atual da distribuição da concentração de V, a concentração de V máxima (X_{sV}') próxima da superfície da folha de aço às vezes é usada. Portanto, a fórmula (4) a seguir pode ser usada em vez da acima fórmula (3). Neste caso, a região "próxima da superfície da folha de aço" é uma região, na folha de aço magnética, começando da porção de camada superior de aço de base presente sob um filme isolante e termina em um ponto mais próximo à porção do centro da folha de aço que o ponto de partida por 5 μm .

$$0,1 < (X_{sV}' - X_{cV})/t_v < 100 \dots (4),$$

onde X_{sV}' : a concentração de V máxima (% em massa)

próxima da superfície da folha de aço.

[00088] Na segunda modalidade, as fórmulas (3) e (4) acima podem ser seletivamente usadas quando necessário.

[00089] Incidentalmente, a primeira modalidade e a segunda modalidade podem ser combinadas. Por exemplo, após o filme de galvanização de Mn e o filme de galvanização de V serem ambos formados, o cozimento pode ser conduzido de modo que as fórmulas (1) a (4) sejam satisfeitas. Alternativamente, após um filme de galvanização da mistura de Mn e V ser formado, o cozimento pode ser conduzido de modo que as fórmulas (1) a (4) sejam satisfeitas. Ou seja, em folhas de aço magnéticas não orientadas produzidas por estes métodos, a seguinte fórmula (5) ou (6) é satisfeita:

$$0,1 < (X_{s_{Mn,V}} - X_{c_{Mn,V}})/t_{Mn,V} < 100... (5)$$

$$0,1 < (X_{s_{Mn,V'}} - X_{c_{Mn,V}})/t_{Mn,V} < 100... (6),$$

onde

$X_{s_{Mn,V}}$: a soma da concentração de Mn (% em massa) e a concentração de V (% em massa) na superfície da folha de aço,

$X_{s_{Mn,V'}}$: o valor máximo da soma da concentração de Mn (% em massa) e da concentração de V (% em massa) próxima da superfície da folha de aço,

$X_{c_{Mn,V}}$: a soma da concentração de Mn (% em massa) e da concentração de V no centro da folha de aço, e

$t_{Mn,V}$: uma profundidade (mm), da superfície da folha de aço, de uma posição onde a soma da concentração de Mn (% em massa) e a concentração de V (% em massa) é igual a $X_{c_{Mn,V}}$.

[00090] A seguir, vários experimentos de fato conduzidos pelos inventores presentes serão descritos. Condições e assim por diante nestes experimentos são exemplos adotados para confirmar a viabilidade e o efeito da presente invenção, e a presente invenção não é limitada a estes exemplos. Na presente invenção, várias condições

são adotáveis dentro de uma faixa que não abandone o espírito da presente invenção e dentro de uma faixa que alcance o objetivo da presente invenção.

PRIMEIRO EXPERIMENTO

[00091] Primeiro, as folhas de aço laminadas a quente cada contendo, em % em massa, C: 0,002%, Si: 3,0%, Mn: 0,2%, e Al: 0,6%, com o equilíbrio sendo Fe e impurezas inevitáveis, foram fabricadas. Uma espessura de cada uma das folhas de aço laminadas a quente era 1,6 mm. Em seguida, as folhas de aço laminadas a quente recozidas foram obtidas por cozimento de 1050°C e de um minuto das folhas de aço laminadas a quente. Depois disso, as folhas de aço laminadas a quente recozidas foram laminadas a frio, por meio do qual as folhas de aço laminadas a frio (folhas de aço de base) com uma espessura de 0,25 mm foram obtidas. Subsequentemente, os filmes de galvanização de Mn com várias espessuras (referir-se à Tabela 1) foram formados em ambas as superfícies das folhas de aço laminadas a frio, assim foram obtidos quatro tipos de amostras. Ainda, uma amostra onde nenhum filme de galvanização de Mn foi formado foi também fabricada. Depois disso, as amostras foram recozidas a 900°C por seis horas, assim folhas de aço magnéticas não orientadas foram obtidas. Por este por cozimento, nas amostras onde os filmes de galvanização de Mn foram formados, a difusão de Mn dos filmes de galvanização de Mn para as folhas de aço de base e a recristalização das folhas de aço de base foram levadas a ocorrer, e na amostra onde nenhum filme de galvanização de Mn foi formado, a recristalização da folha de aço de base foi levada a ocorrer.

[00092] Depois, as propriedades magnéticas (perda no núcleo $W_{10/800}$) das respectivas amostras foram medidas com um magnetômetro de placa simples. Ainda, com um EPMA (micro analisador de sonda eletrônica), as concentrações de Mn na direção

da espessura foram medidas por análise de linha de cortes transversais da folha de aço perpendicular à direção de enrolamento (direção de L). Os resultados estão mostrados na Tabela 1. Na Tabela 1, um gradiente de concentração é um valor de $(X_{sMn} - X_{cMn})/t_{Mn}$. Aqui, X_{cMn} representa a concentração de Mn no centro da folha de aço (ou seja, o conteúdo de Mn na folha de aço laminada a quente).

TABELA 1

	No, da amostra	espessura do filme de galvanização de Mn (μm)	Concentração de Mn X_{sMn} (%)	profundidade t_{Mn} (mm)	gradiente de concentração	perda no núcleo $W_{10/800}$ (W/kg)
exemplo comparativo	1	-	0,2	-	-	36,2
exemplo	2	2	1,7	0,09	16,7	34,8
	3	4	2,8	0,08	32,5	33,9
	4	8	4,8	0,09	51,1	34,7
exemplo comparativo	5	20	10,2	0,09	111,1	37,8

[00093] Como mostrado na Tabela 1, no exemplo comparativo No. 1, a perda no núcleo em 800 Hz foi alta porque o gradiente de concentração foi 0,1 ou menos. No exemplo comparativo No. 5, a perda no núcleo em 800 Hz foi alta porque o gradiente de concentração foi 100 ou mais. Por outro lado, nos exemplos No. 2, No. 3, e No. 4, foi possível obter boa perda no núcleo porque o gradiente de concentração satisfaz a fórmula (1). Do acima, é entendido que a perda no núcleo de frequência alta pode ser reduzida se a concentração de gradiente Mn satisfizer a fórmula (1).

SEGUNDO EXPERIMENTO

[00094] Primeiro, as folhas de aço laminadas a quente cada contendo, em % em massa, C: 0,002%, Si: 3,1%, Mn: 0,3%, Al: 0,8%,

e V: 0,005%, com o equilíbrio sendo Fe e impurezas inevitáveis, foram fabricadas. Uma espessura de cada uma das folhas de aço laminadas a quente foi 2,0 mm. Em seguida, as folhas de aço laminadas a quente recozidas foram obtidas por cozimento de 1000°C e de um minuto das folhas de aço laminadas a quente. Depois disso, as folhas de aço laminadas a quente recozidas foram laminadas a frio, assim as folhas de aço laminadas a frio (folhas de aço de base) com uma espessura de 0,30 mm foram obtidas. Subsequentemente, os filmes de galvanização de V com várias espessuras (referir-se à Tabela 2) foram formados em ambas as superfícies das folhas de aço laminadas a frio, por meio do qual três tipos de amostras foram obtidos. Ainda, uma amostra onde nenhum filme de galvanização de V foi formado foi também fabricada. Depois disso, as amostras foram recozidas a 900°C por cinco horas, assim folhas de aço magnéticas não orientadas foram obtidas. Por este por cozimento, nas amostras onde os filmes de galvanização de V foram formados, a difusão de V dos filmes de galvanização de V com as folhas de aço de base e a recristalização das folhas de aço de base foram levadas a ocorrer, e na amostra onde nenhum filme de galvanização de V foi formado, a recristalização da folha de aço de base foi levada a ocorrer.

[00095] Depois, as propriedades magnéticas (perda no núcleo $W_{10/800}$) das respectivas amostras foram medidas com um magnetômetro de placa simples. Ainda, as concentrações de V na direção da espessura foram medidas por análise de linha dos cortes transversais da folha de aço perpendicular à direção de enrolamento com um EPMA, (direção L). Os resultados são mostrados na Tabela 2. Na Tabela 2, um gradiente de concentração é um valor de $(X_sV - X_cV)/t_v$. Aqui, X_{cV} representa a concentração de V no centro da folha de aço (ou seja, o conteúdo de V na folha de aço laminada a quente).

TABELA 2

	No. da amostra	espessura do filme de galvanização de V (μm)	Concentração de V X_{sV} (%)	profundidade t_v (mm)	gradiente de concentração	perda no núcleo $W_{10/800}$ (W/kg)
exemplo comparativo	11	-	0	-	-	40,3
exemplo	12	2	4,1	0,07	58,6	38,5
	13	4	7,8	0,08	97,5	39,5
exemplo comparativo	14	6	11,2	0,08	140,0	41,2

[00096] Como mostrado na Tabela 2, no exemplo comparativo No. 11, a perda no núcleo em 800 Hz foi alta porque o gradiente de concentração foi 0,1 ou menos. No exemplo comparativo No. 14, a perda no núcleo em 800 Hz foi alta porque o gradiente de concentração foi 100 ou mais. Por outro lado, nos exemplos No. 12 e No. 13, foi possível obter boa perda no núcleo porque o gradiente de concentração satisfaz a fórmula (3). Do acima, é entendido que a perda no núcleo de frequência alta pode ser reduzida se a concentração de gradiente V satisfizer a fórmula (3).

APLICABILIDADE INDUSTRIAL

[00097] A presente invenção é utilizável, por exemplo, em uma indústria de produção de folhas de aço magnéticas e indústrias usando folhas de aço magnéticas. A folha de aço magnética não orientada de acordo com a presente invenção é utilizável como um material de núcleos (núcleos de ferro) de um motor e um transformador acionado com uma faixa de frequência alta.

REIVINDICAÇÕES

1. Folha de aço magnética não orientada, caracterizada pelo fato de que consiste em, em % em massa,

C: 0,005% ou menos;

Si: 2% a 4%;

Mn e V: totalizando 11% ou menos;

em que o teor de Mn é 10% ou menos;

em que o teor de V é 10% ou menos;

Al: 3% ou menos;

P: 0,3% ou menos;

S: 0,04% ou menos;

N: 0,02% ou menos;

Cu: 5% ou menos;

Nb: 1% ou menos;

Ti: 1% ou menos;

B: 0,01% ou menos;

Ni: 5% ou menos;

Cr: 15% ou menos; e

opcionalmente pelo menos um selecionado de um grupo que consiste em Mo, W, Sn, Sb, Mg, Ca, Ce, e Co, um conteúdo total de pelo menos um sendo 0,5% ou menos,

com o equilíbrio sendo Fe e impurezas inevitáveis,

em que uma concentração de Mn (% em massa) e uma concentração de V (% em massa) em uma direção da espessura satisfazem a seguinte fórmula:

$$0,1 < (X_{sMn,V} - X_{cMn,V})/t_{Mn,V} < 100,$$

onde

$X_{sMn,V}$: uma soma da concentração de Mn (% em massa) e a concentração de V (% em massa) em uma superfície da folha de aço,

$X_{C_{Mn,V}}$: uma soma da concentração de Mn (% em massa) e a concentração de V (% em massa) em um centro da folha de aço, e

$t_{Mn,V}$: uma profundidade (mm), da superfície da folha de aço, de uma posição onde a soma da concentração de Mn (% em massa) e a concentração de V (% em massa) é igual a $X_{C_{Mn,V}}$.

2. Folha de aço magnética não orientada, caracterizada pelo fato de que consiste em, em % em massa,

C: 0,005% ou menos;

Si: 2% a 4%;

Mn e V: totalizando 11% ou menos;

em que o teor de Mn é 10% ou menos;

em que o teor de V é 10% ou menos; e

Al: 3% ou menos,

P: 0,3% ou menos;

S: 0,04% ou menos;

N: 0,02% ou menos;

Cu: 5% ou menos;

Nb: 1% ou menos;

Ti: 1% ou menos;

B: 0,01% ou menos;

Ni: 5% ou menos;

Cr: 15% ou menos; e

opcionalmente pelo menos um selecionado de um grupo que consiste em Mo, W, Sn, Sb, Mg, Ca, Ce, e Co, um conteúdo total de pelo menos um sendo 0,5% ou menos,

com o equilíbrio sendo Fe e impurezas inevitáveis,

em que uma concentração de Mn (% em massa) e uma concentração de V (% em massa) em uma direção da espessura satisfazem a seguinte fórmula:

$$0,1 < (X_{S_{Mn,V}} - X_{C_{Mn,V}}) / t_{Mn,V} < 100,$$

onde

$X_{sMn,V}$: um valor máximo de uma soma da concentração de Mn (% em massa) e a concentração de V (% em massa) próxima de uma superfície da folha de aço,

$X_{cMn,V}$: uma soma da concentração de Mn (% em massa) e a concentração de V (% em massa) em um centro da folha de aço, e

$t_{Mn,V}$: uma profundidade (mm), da superfície da folha de aço, de uma posição onde a soma da concentração de Mn (% em massa) e da concentração de V (% em massa) é igual a $X_{cMn,V}$.

3. Folha de aço magnética não orientada, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que adicionalmente contém, em % em massa:

pelo menos um selecionado de um grupo que consiste em P: 0,3% ou menos, S: 0,04% ou menos, N: 0,02% ou menos, Cu: 5% ou menos, Nb: 1% ou menos, Ti: 1% ou menos, B: 0,01% ou menos, Ni: 5% ou menos, e Cr: 15% ou menos; e

pelo menos um selecionado de um grupo que consiste em Mo, W, Sn, Sb, Mg, Ca, Ce, e Co, um conteúdo total de pelo menos um sendo 0,5% ou menos.

4. Folha de aço magnética não orientada, de acordo com a reivindicação 2, caracterizada pelo fato de que adicionalmente contém, em % em massa:

pelo menos um selecionado de um grupo que consiste em P: 0,3% ou menos, S: 0,04% ou menos, N: 0,02% ou menos, Cu: 5% ou menos, Nb: 1% ou menos, Ti: 1% ou menos, B: 0,01% ou menos, Ni: 5% ou menos, e Cr: 15% ou menos; e

pelo menos um selecionado de um grupo que consiste em Mo, W, Sn, Sb, Mg, Ca, Ce, e Co, um conteúdo total de pelo menos um sendo 0,5% ou menos.

5. Método para produzir uma folha de aço magnética não

orientada, caracterizado pelo fato de que compreende:

recozer uma folha de aço laminada a quente contendo, em % em massa,

C: 0,005% ou menos;

Si: 2% a 4%;

Mn: 1% ou menos;

Al: 3% ou menos;

V: 1% ou menos;

P: 0,3% ou menos;

S: 0,04% ou menos;

N: 0,02% ou menos;

Cu: 5% ou menos;

Nb: 1% ou menos;

Ti: 1% ou menos;

B: 0,01% ou menos;

Ni: 5% ou menos;

Cr: 15% ou menos; e

opcionalmente pelo menos um selecionado de um grupo que consiste em Mo, W, Sn, Sb, Mg, Ca, Ce, e Co, um conteúdo total de pelo menos um sendo 0,5% ou menos,

com o equilíbrio sendo Fe e impurezas inevitáveis, para obter uma folha de aço laminada a quente recozida;

laminar a frio a folha de aço laminada a quente recozida para obter uma folha de aço laminada a frio;

galvanizar uma superfície da folha de aço laminada a frio com pelo menos um de Mn e V para obter uma folha de aço laminada a frio galvanizada; e

subsequentemente cozer a folha de aço laminada a frio galvanizada a 1000°C ou menos e uma hora ou mais, em que Mn e V, se presentes difundem-se na folha de aço de base,

em que, recozendo a folha de aço laminada a frio galvanizada, uma concentração de Mn (% em massa) e uma concentração de V (% em massa) em uma direção da espessura da folha de aço magnética não orientada são feitas para satisfazer a seguinte fórmula:

$$0,1 < (X_{s_{Mn,V}} - X_{c_{Mn,V}})/t_{Mn,V} < 100,$$

onde

$X_{s_{Mn,V}}$: uma soma da concentração de Mn (% em massa) e a concentração de V (% em massa) em uma superfície da folha de aço,

$X_{c_{Mn,V}}$: uma soma da concentração de Mn (% em massa) e a concentração de V (% em massa) em um centro da folha de aço, e

$t_{Mn,V}$: uma profundidade (mm), da superfície da folha de aço, de uma posição onde a soma da concentração de Mn (% em massa) e a concentração de V (% em massa) é igual a $X_{c_{Mn,V}}$.

6. Método para produzir uma folha de aço magnética não orientada, caracterizado pelo fato de que compreende:

recozer uma folha de aço laminada a quente consistindo, em % em massa,

C: 0,005% ou menos;

Si: 2% a 4%;

Mn: 1% ou menos;

Al: 3% ou menos;

V: 1% ou menos;

P: 0,3% ou menos;

S: 0,04% ou menos;

N: 0,02% ou menos;

Cu: 5% ou menos;

Nb: 1% ou menos;

Ti: 1% ou menos;

B: 0,01% ou menos;

Ni: 5% ou menos;

Cr: 15% ou menos; e

opcionalmente pelo menos um selecionado de um grupo que consiste em Mo, W, Sn, Sb, Mg, Ca, Ce, e Co, um conteúdo total de pelo menos um sendo 0,5% ou menos,

com o equilíbrio sendo Fe e impurezas inevitáveis, para obter uma folha de aço laminada a quente recozida;

laminar a frio a folha de aço laminada a quente recozida para obter uma folha de aço laminada a frio;

galvanizar uma superfície da folha de aço laminada a frio com pelo menos um de Mn e V para obter uma folha de aço laminada a frio galvanizada; e

subsequentemente recozer a folha de aço laminada a frio galvanizada a 1000°C ou menos e uma hora ou mais, em que Mn e V, se presentes difundem-se na folha de aço de base,

em que recozendo a folha de aço laminada a frio galvanizada, uma concentração de Mn (% em massa) e uma concentração de V (% em massa) em uma direção da espessura da folha de aço magnética não orientada são feitas para satisfazer a seguinte fórmula:

$$0,1 < (X_{sMn,V}' - X_{cMn,V})/t_{Mn,V} < 100,$$

onde

$X_{sMn,V}'$: um valor máximo de uma soma da concentração de Mn (% em massa) e a concentração de V (% em massa) próxima de uma superfície da folha de aço,

$X_{cMn,V}$: uma soma da concentração de Mn (% em massa) e a concentração de V (% em massa) em um centro da folha de aço, e

$t_{Mn,V}$: uma profundidade (mm), da superfície da folha de aço, de uma posição onde a soma da concentração de Mn (% em massa) e

a concentração de V (% em massa) é igual a $X_{\text{C}_{\text{Mn,V}}}$.

7. Método para produzir uma folha de aço magnética não orientada, caracterizada pelo fato de que compreende:

recozer uma folha de aço laminada a quente, consistindo em, em % em massa,

C: 0,005% ou menos;

Si: 2% a 4%;

Mn: 1% ou menos;

Al: 3% ou menos;

V: 1% ou menos;

P: 0,3% ou menos;

S: 0,04% ou menos;

N: 0,02% ou menos;

Cu: 5% ou menos;

Nb: 1% ou menos;

Ti: 1% ou menos;

B: 0,01% ou menos;

Ni: 5% ou menos;

Cr: 15% ou menos; e

opcionalmente pelo menos um selecionado de um grupo que consiste em Mo, W, Sn, Sb, Mg, Ca, Ce, e Co, um conteúdo total de pelo menos um sendo 0,5% ou menos,

com o equilíbrio sendo Fe e impurezas inevitáveis, para obter uma folha de aço laminada a quente recozida;

galvanizar uma superfície da folha de aço laminada a quente recozida com pelo menos um de Mn e V para obter uma folha de aço laminada a quente galvanizada;

laminar a frio a folha de aço laminada a quente galvanizada para obter uma folha de aço laminada a frio galvanizada; e

subsequentemente recozer a folha de aço laminada a frio

galvanizada a 1000°C ou menos e uma hora ou mais, em que Mn e V, se presentes difundem-se na folha de aço de base,

em que recozendo a folha de aço laminada a frio galvanizada, uma concentração de Mn (% em massa) e uma concentração de V (% em massa) em uma direção da espessura da folha de aço magnética não orientada são feitas para satisfazer a seguinte fórmula:

$$0,1 < (X_{sMn,V} - X_{cMn,V})/t_{Mn,V} < 100,$$

onde

$X_{sMn,V}$: uma soma da concentração de Mn (% em massa) e a concentração de V (% em massa) em uma superfície da folha de aço,

$X_{cMn,V}$: uma soma da concentração de Mn (% em massa) e a concentração de V (% em massa) em um centro da folha de aço, e

$t_{Mn,V}$: uma profundidade (mm), da superfície da folha de aço, de uma posição onde a soma da concentração de Mn (% em massa) e a concentração de V (% em massa) é igual a $X_{cMn,V}$.

8. Método para produzir uma folha de aço magnética não orientada, caracterizado pelo fato de que compreende:

recozer uma folha de aço laminada a quente contendo, em % em massa,

C: 0,005% ou menos;

Si: 2% a 4%;

Mn: 1% ou menos;

Al: 3% ou menos;

V: 1% ou menos;

P: 0,3% ou menos;

S: 0,04% ou menos;

N: 0,02% ou menos;

Cu: 5% ou menos;

Nb: 1% ou menos;

Ti: 1% ou menos;

B: 0,01% ou menos;

Ni: 5% ou menos;

Cr: 15% ou menos; e

opcionalmente pelo menos um selecionado de um grupo que consiste em Mo, W, Sn, Sb, Mg, Ca, Ce, e Co, um conteúdo total de pelo menos um sendo 0,5% ou menos,

com o equilíbrio sendo Fe e impurezas inevitáveis, para obter uma folha de aço laminada a quente recozida;

galvanizar uma superfície da folha de aço laminada a quente recozida com pelo menos um de Mn e V para obter uma folha de aço laminada a quente galvanizada;

laminar a frio a folha de aço laminada a quente galvanizada para obter uma folha de aço laminada a frio galvanizada; e

subsequentemente recozer a folha de aço laminada a frio galvanizada a 1000°C ou menos e uma hora ou mais, em que Mn e V, se presentes difundem-se na folha de aço de base,

em que recozendo a folha de aço laminada a frio galvanizada, uma concentração de Mn (% em massa) e uma concentração de V (% em massa) em uma direção da espessura da folha de aço magnética não orientada são feitas para satisfazer a seguinte fórmula:

$$0,1 < (X_{s_{Mn,V}} - X_{c_{Mn,V}})/t_{Mn,V} < 100,$$

onde

$X_{s_{Mn,V}}$: um valor máximo de uma soma da concentração de Mn (% em massa) e a concentração de V (% em massa) próxima de uma superfície da folha de aço,

$X_{c_{Mn,V}}$: uma soma da concentração de Mn (% em massa) e a concentração de V (% em massa) em um centro da folha de aço, e

$t_{Mn,V}$: uma profundidade (mm), da superfície da folha de aço, de uma posição onde a soma da concentração de Mn (% em massa) e a concentração de V (% em massa) é igual a $X_{C_{Mn,V}}$.

FIG. 1A

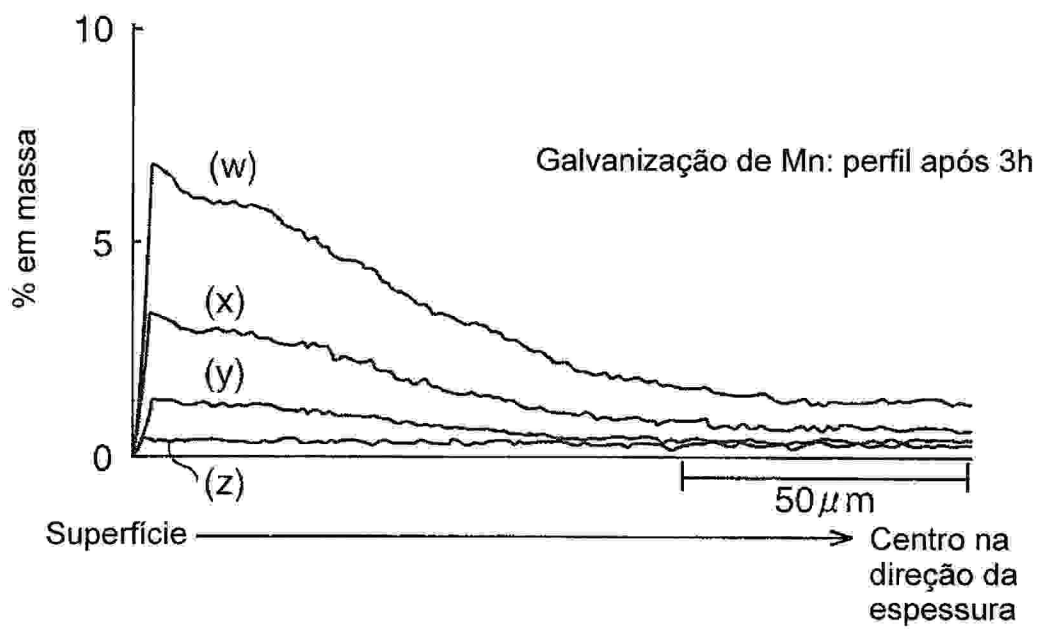


FIG. 1B

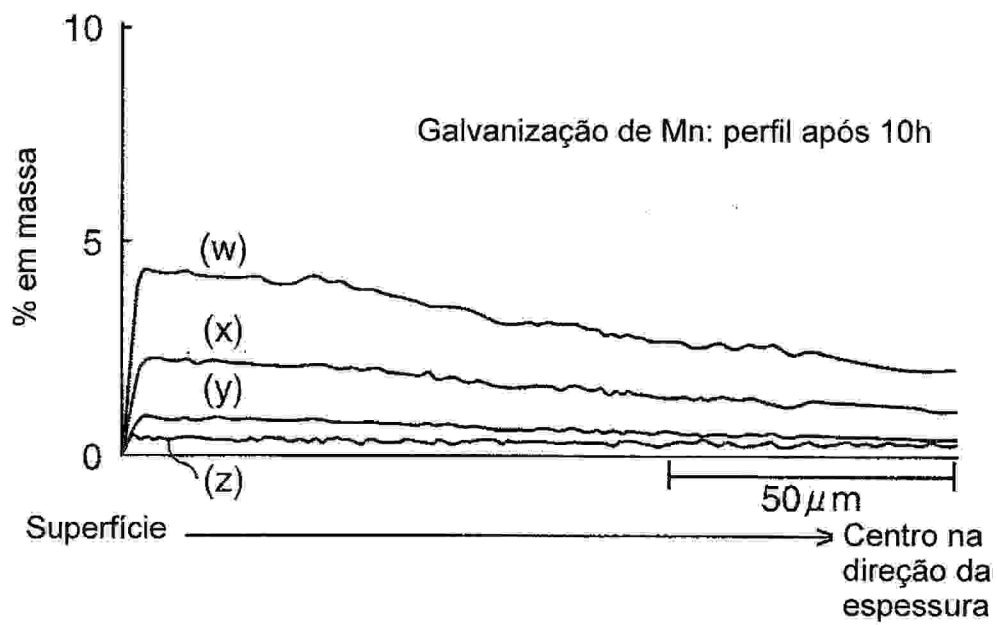


FIG. 1C

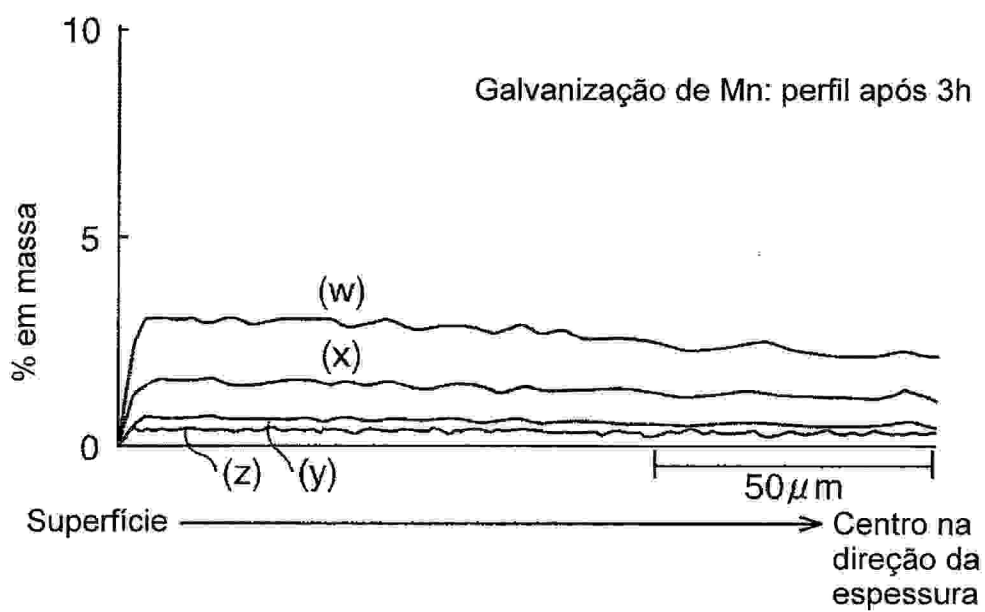


FIG. 2

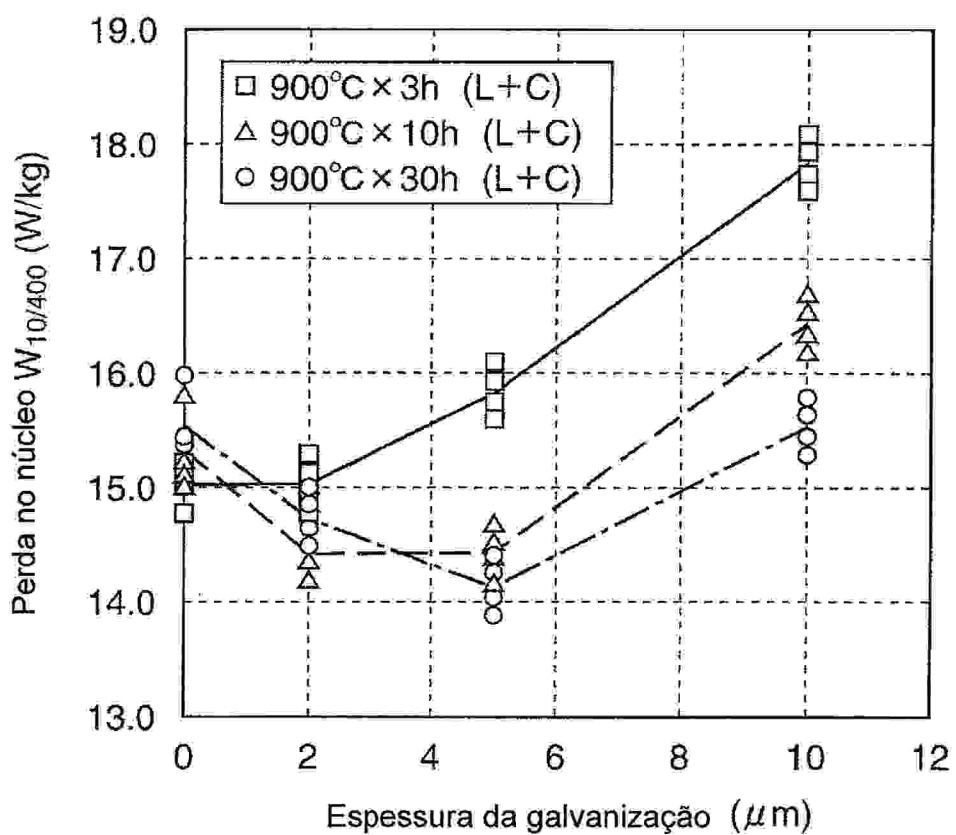


FIG. 3

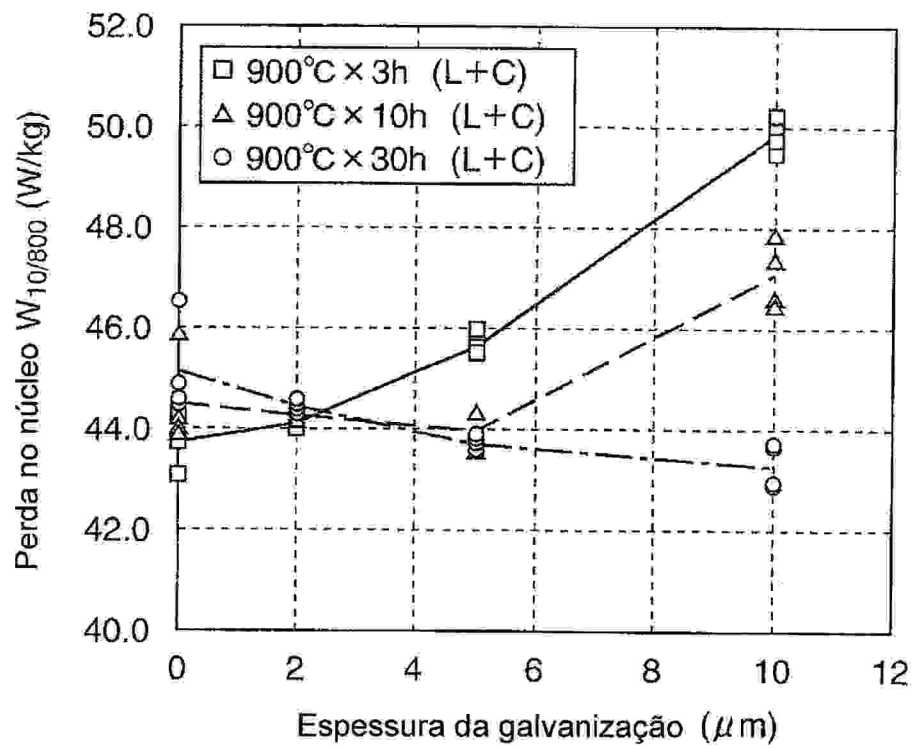


FIG. 4

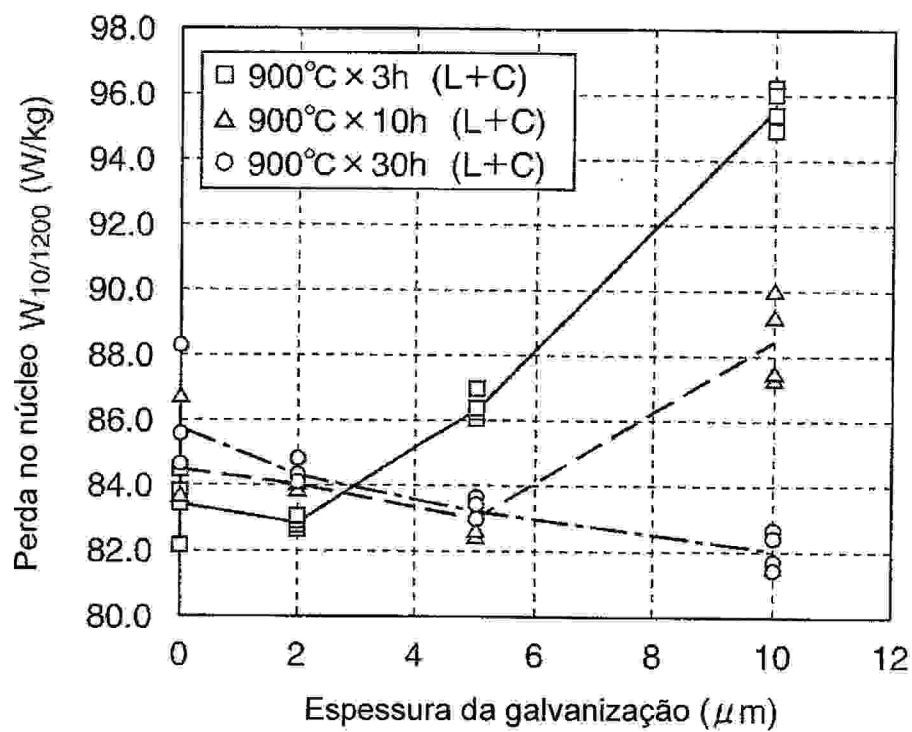


FIG. 5

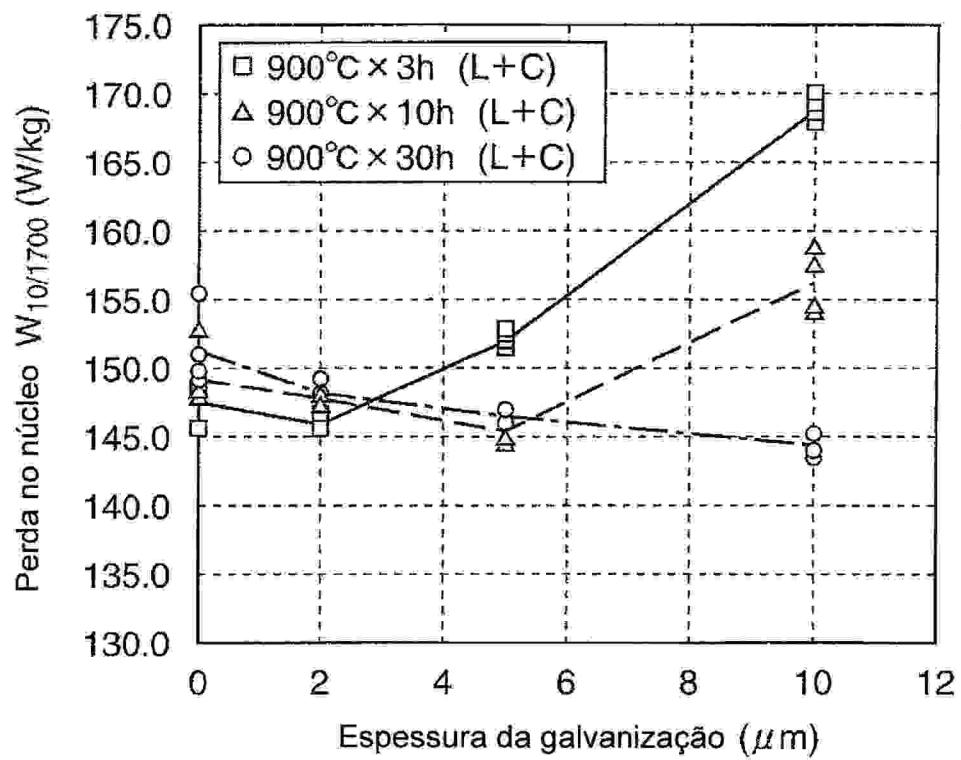


FIG. 6A

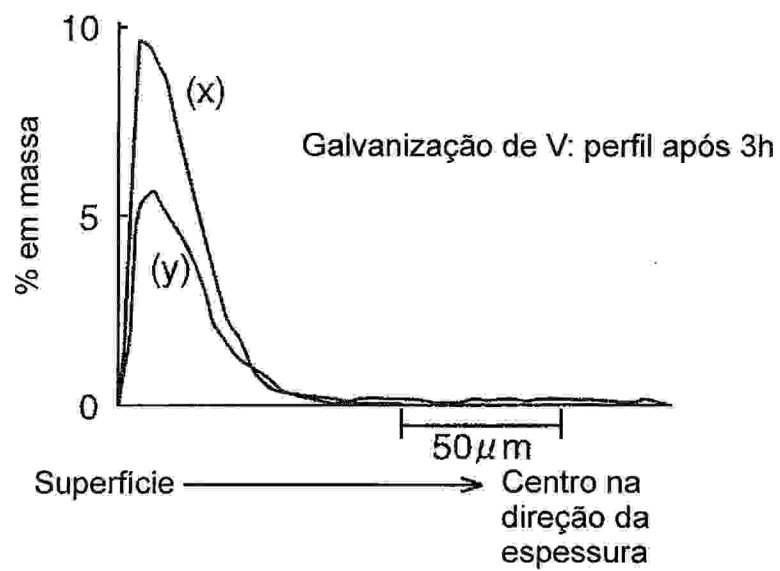


FIG. 6B

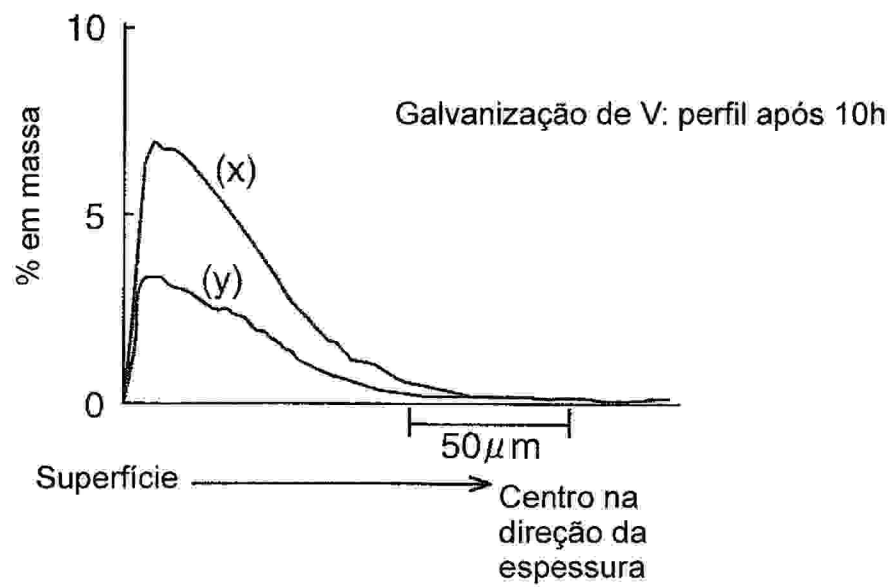


FIG. 6C

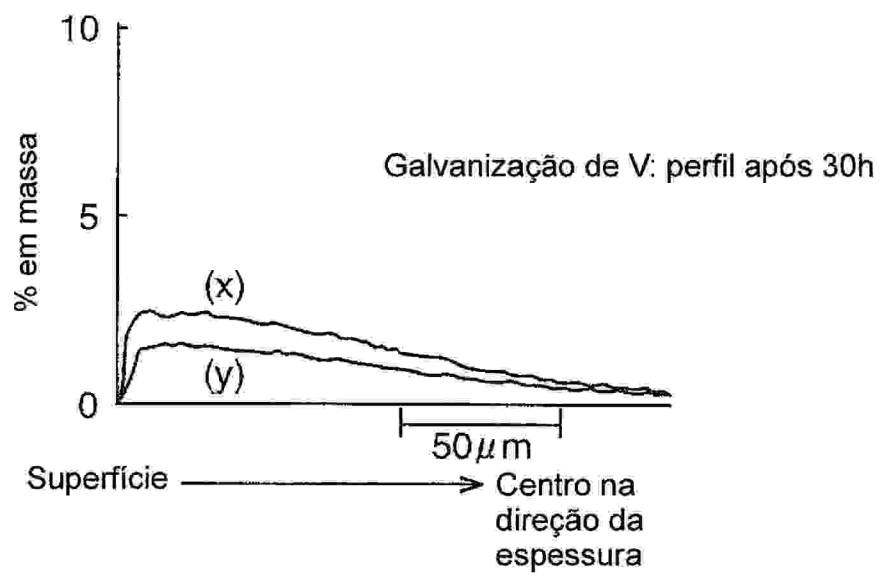


FIG. 7

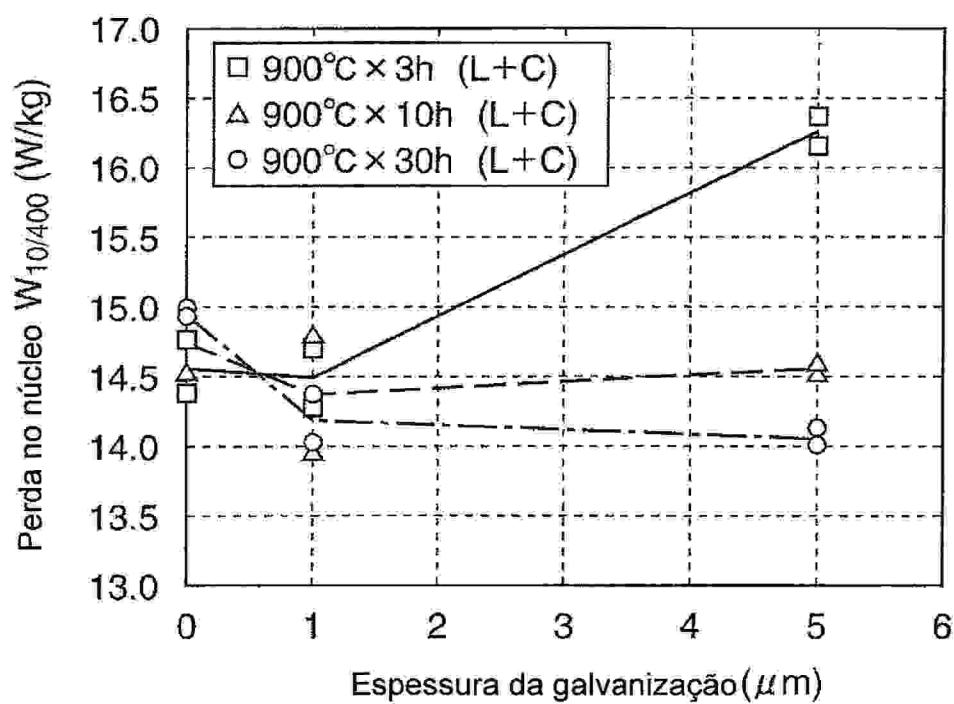


FIG. 8

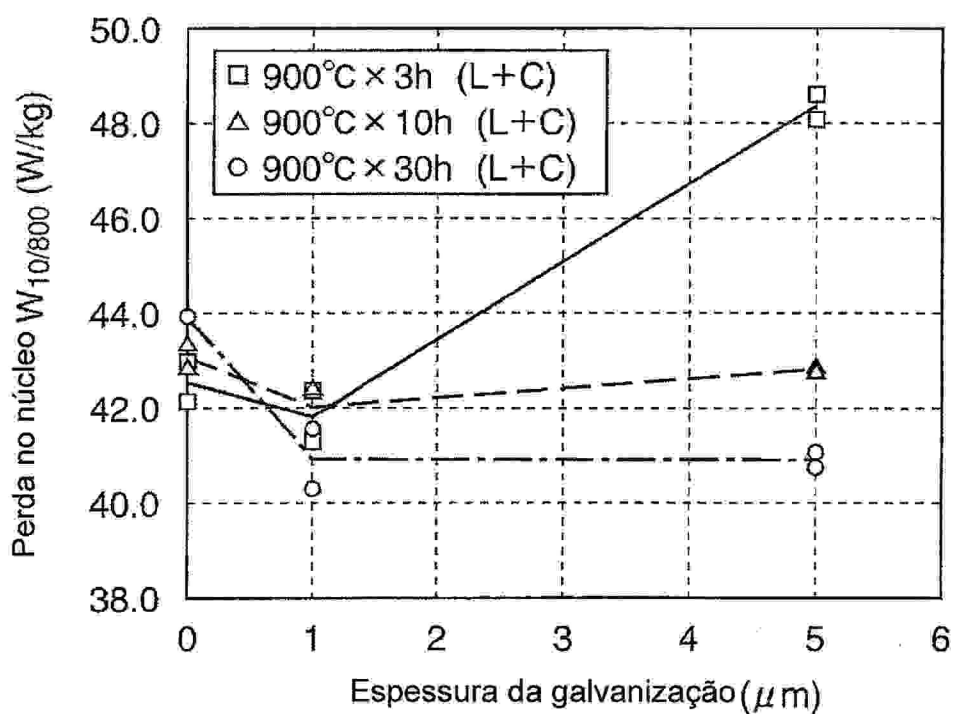


FIG. 9

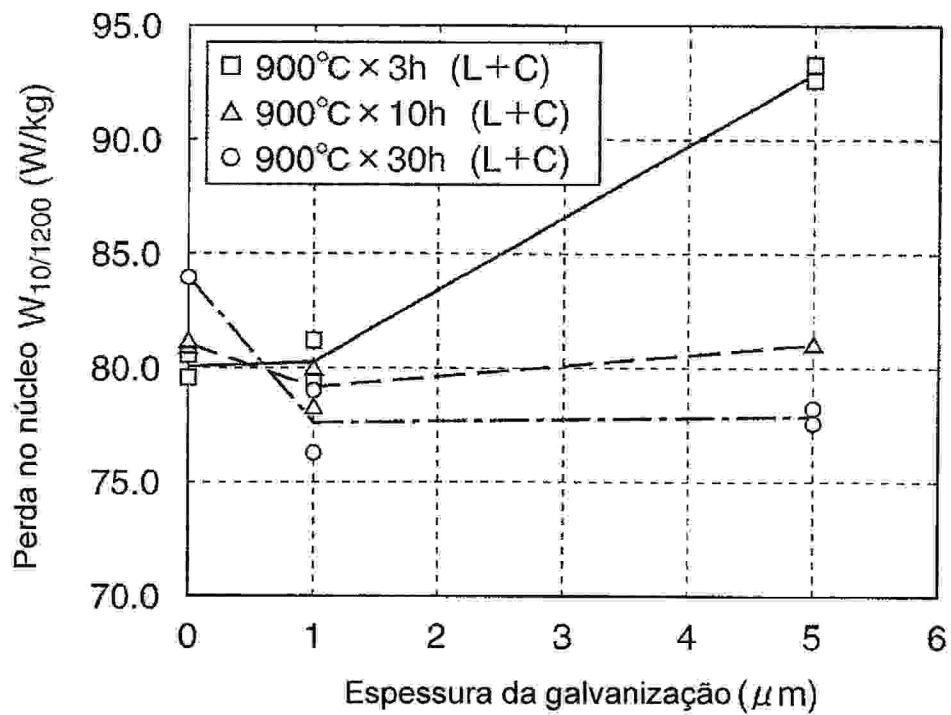


FIG. 10

