



**República Federativa do Brasil**  
Ministério da Indústria, Comércio Exterior  
e Serviços  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) PI 0608607-1 B1**

**(22) Data do Depósito:** 26/04/2006

**(45) Data de Concessão:** 17/07/2018



---

**(54) Título:** CHAPA DE AÇO ELÉTRICA COM GRÃOS ORIENTADOS E BAIXA PERDA NO NÚCLEO E MÉTODO PARA PRODUÇÃO DA MESMA

**(51) Int.Cl.:** H01F 1/16; C21D 8/12

**(30) Prioridade Unionista:** 09/05/2005 JP 2005-135763, 25/05/2005 JP 2005-152218

**(73) Titular(es):** NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION

**(72) Inventor(es):** SATOSHI ARAI; HIDEYUKI HAMAMURA; TATSUHIKO SAKAI; KAORU SATO; HIDEYUKI KOBAYASHI

**Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "CHAPA DE AÇO ELÉTRICA COM GRÃOS ORIENTADOS E BAIXA PERDA NO NÚCLEO E MÉTODO PARA PRODUÇÃO DA MESMA".**

Esse pedido reivindica prioridade sob a 35 U.S.C. § 119(a) para os Pedidos relacionados série nº 2005-135763 e 2005-152218 registradas no Japão em 9 de maio de 2005 e 25 de maio de 2005, respectivamente, ambas as quais estão aqui incorporadas como referência em sua totalidade.

Antecedentes da Invenção

Campo da Invenção

Esta invenção refere-se a uma tecnologia para reduzir as perdas de núcleo em chapas de aço elétrica com grãos orientados usados para um indutômetro tal como um transformador.

Descrição da Técnica Relativa

Chapas de aço elétricas com grãos orientados são usadas principalmente para um indutômetro estático tal como um transformador elétrico. As propriedades necessárias para as chapas de aço elétricas com grãos orientados são: (1) baixa perda de energia durante a magnetização em um campo de corrente alternada, isto é, baixa perda no núcleo, (2) a permeabilidade é alta na faixa para a indução usada para o maquinário e os dispositivos e as chapas são facilmente magnetizadas, e (3) a magnetoestricção que provoca ruído é pequena. Especialmente, a necessidade (1) é um dos fatores mais importantes do transformador para avaliação do seu T.O.C. (custo particular total) que é uma medida de desempenho de custo do transformador, uma vez que a perda de energia ao longo do tempo para um transformador continua por um longo período de tempo da sua instalação até seu sucateamento.

Para reduzir a perda no núcleo das chapas de aço elétricas com grãos orientados, foram desenvolvidas muitas melhorias tais como (1) aumento da intensidade da orientação (110)[001] que pé conhecida como orientação Goss, (2) aumento do teor de elementos de solução sólida tais como o Si que aumenta a resistência elétrica, (3) diminuição da espessura da chapa, (4) revestimento de uma película cerâmica ou de uma película isolan-

te na chapa para transmitir tensão de superfície à mesma, e (5) redução dos tamanhos dos grãos. Há, entretanto, limitações nas melhorias por estas abordagens metalúrgicas, e outras formas de redução das perdas nos núcleos foram buscadas.

5                                    Conforme descrito na U.S. Patent 3.647.575, para Fieldler e outros, foi proposto um método para reduzir as perdas de núcleo pelo refino dos domínios magnéticos pela transmissão de ranhuras à superfície das chapas de aço elétricas com um cortador. As chapas de aço elétricas com grãos orientados têm domínios magnéticos retangulares em forma de placa

10    cada um dos quais é adjacente a um outro domínio tendo polaridade magnética oposta (doravante o domínio magnético é referido simplesmente como "domínio"). Uma chapa de aço elétrica com grãos orientados é magnetizada como resultado da expansão ou encolhimento de cada um dos domínios provocado por um campo magnético aplicado. Assim, quando a chapa de

15    aço elétrica com grãos orientados é magnetizada, ocorrem mudanças na magnetização apenas na vizinhança dos limites dos domínios (paredes dos domínios) entre domínios adjacentes. Com esta mudança, uma corrente parasita é gerada na chapa de aço para provocar perdas de corrente parasita que somam de 60% a 70% da perda no núcleo. As perdas de corrente para-

20    sita é proporcional ao quadrado da corrente parasita e é também proporcional à velocidade de movimento da parede do domínio. Se cada um dos domínios é refinado até um tamanho pequeno, o número de porções, onde ocorrem as correntes parasitas aumenta. Entretanto, uma vez que a velocidade de movimento das paredes do domínio diminui na proporção inversa à

25    largura do domínio, a perda de corrente parasita como um todo diminui quase em proporção à largura do domínio.

Várias invenções foram propostas para fazer esta tecnologia de refino do domínio industrialmente aplicável. A JP S58-5968B descreve um método para fornecer porções tensionadas sem provocar arranhões na superfície de uma chapa de aço elétrica pela pressão e rolamento de pequenas bolas de 0,2 a 10 mm de diâmetro na superfície de uma capa de aço

30    elétrica. A JP S57-2252B descreve um método para fornecer uma chapa de

5 aço elétrica com pequenas porções plásticas tensionadas pela irradiação de um raio laser na superfície de uma chapa de aço elétrica na direção oblíqua. A JP 62-96617A descreve um método para fornecer uma chapa de aço elétrica com pequenas tensões plásticas concentrando-se a chama de plasma na superfície da chapa de aço elétrica linearmente na direção oblíqua. Esses métodos são baseados na tecnologia de refino do domínio que utiliza um domínio que é estabilizado com um componente magnetizado na direção perpendicular à direção de laminação, como resultado do efeito recíproco (mecanismo oposto) de magnetoestricção, por pequenas tensões plásticas introduzidas na chapa de aço elétrica. Especialmente, a chapa de aço elétrica com grãos orientados cujo domínio é refinado com irradiação a laser (do-  
10 ravante referida como "chapa de aço elétrica com grãos orientados com domínio refinado a laser") é amplamente usada na indústria para um transformador de força de laminação de grande porte para o qual é requerida uma baixa perda no núcleo. A demanda para tais chapas de aço elétricas aumentou tremendamente em anos recentes devido às tendências globais para redução de consumo de energia visando uma redução da saída de CO<sub>2</sub>.

Entretanto, a tecnologia descrita na acima mencionada JP S58-5968B usa apenas tensão mecânica, que pode falhar em trazer uma grande  
20 redução de perda no núcleo e tornar difícil aplicar a tecnologia industrialmente porque a tecnologia requer a pressão e o rolamento de pequenas bolas na direção oblíqua. A tecnologia descrita na acima mencionada JP S57-2252B pode também reduzir as perdas de núcleo, entretanto, outra melhoria é necessária para reduzir a magnetoestricção. Na tecnologia descrita na acima  
25 mencionada JP S62-96617A, é difícil controlar a quantidade de tensão, e assim permanece o problema em obter uma perda estavelmente reduzida no núcleo.

A JP 2647322B descreve um método para produzir uma chapa de aço elétrica com grãos orientados de baixa perda no núcleo, onde uma  
30 chapa de aço elétrica é fundido pela irradiação de raios laser na forma de uma linha e re-solidificada, a porção re-solidificado tem 50 a 300  $\mu$ m, 5 a 35% da espessura da chapa na profundidade e está localizada em uma dire-

ção variando dentro de  $\pm 15$  graus da direção perpendicular para a direção de laminação, e o intervalo entre as linhas adjacentes é de 5 a 30 mm. Então a chapa é finalmente revestida com uma película isolante para transmitir tensão. Esta tecnologia, entretanto, é pretendido para o uso em pequenos transformadores do tipo núcleo enrolado que são recozidos para alívio de tensões, e se a tecnologia for usada em grandes transformadores do tipo laminação plana cisalhada que não são recozidos para alívio de tensões, o excesso de tensões introduzido torna difícil obter estavelmente uma chapa de aço elétrica tendo as propriedades de baixa perda no núcleo bem como de baixa magnetoestricção e pode mesmo reduzir a perda no núcleo.

Indutômetros estáticos tais como transformadores e reatores fazem ruído quando o núcleo é magnetizado por um campo de corrente alternada. A redução de ruído é altamente exigida, uma vez que o número de transformadores instalados em áreas urbanas está aumentando conforme o aumento da demanda por eletricidade. Em adição, há a tendência de minimização do impacto ambiental. O ruído é geralmente provocado pelo que segue; isto é, a vibração entre as bobinas de indução induzidas pela força eletromagnética, a vibração nas juntas do núcleo e entre as laminações induzidas pela força magnética, e a vibração de magnetoestricção das chapas de aço elétricas.

Entre essas fontes de ruído, o ruído do material de núcleo pode ser reduzido pelos métodos descritos abaixo, por exemplo: (1) o núcleo é projetado para trabalhar a uma densidade de fluxo magnético menor devido a uma menor magnetoestricção a uma baixa densidade de fluxo magnético do aço elétrico; (2) uma chapa de aço de grãos altamente orientados é usada de modo a reduzir a magnetoestricção e a tensão da película de revestimento da superfície na chapa de aço elétrica é aumentada conforme descrito na IEEE Transaction, MAG-8 (1972), páginas 677-681, "Magnetic Properties of Grain-Oriented Silicon Steel with High Permeability Oriented Core HIB", T. Yamamoto e outros; (3) Arranjos específicos para apertar uniformemente o núcleo são feitos conforme descrito na JP S47-28419A; (4) o núcleo é coberto com uma caixa de isolamento de som conforme descrito na JP

S48-83329A; e/ou (5) o transformador é colocado em um amortecedor de borracha conforme descrito na JP S56-40123A.

Esses métodos, entretanto, são muito caros porque requerem equipamento extra a ser adicionado ao transformador.

5                   Conforme relatado no Journal Of The Magnetic Society of Japan, Vol. 25, nº 4-2, 2001, a propriedade da magnetoestricção com "chapa de aço elétrica com grãos orientados com domínio refinado a laser" varia conforme as condições usadas para irradiação do laser. Mais especificamente, a pro-  
10                   riedade da magnetoestricção varia à medida que a densidade de irradiação de energia do laser  $U_a$  varia, Com o método mencionado acima, entretanto, é difícil obter-se os efeitos máximos em relação à redução da magnetoestricção.

                  Conforme mencionado acima, embora a chapa de aço elétrica com grãos orientados tenha sido grandemente melhorada em relação à per-  
15                   da no núcleo, outra melhoria é exigida em vista do crescente consumo de energia, a preocupação aumentada em relação à drenagem de energia fóssil e a necessidade de contra-medidas para o aquecimento global. Quanto ao ruído gerado pelo transformador, a redução do ruído foi também exigida uma vez que a instalação do transformador é feita em área urbana.

## 20    Sumário da Invenção

                  Um objetivo da presente invenção é fornecer uma chapa de aço elétrica com grãos orientados com uma perda no núcleo extremamente bai-  
25                   xa e um baixo ruído e um método para produzir a mesma. Após pesquisa diligente pelos inventores da presente invenção, foi descoberto que o produ-  
to e o método podem ser realizados controlando-se a espessura da camada solidificada que é formada por irradiação de laser na chapa de aço elétrica com grãos orientados e controlando-se a rugosidade da superfície e a forma da seção transversal da porção irradiada com laser.

                  A essência da presente invenção é como segue:

30                   (1) Chapa de aço elétrica com grãos orientados capaz de excelentes perda no núcleo e magnetoestricção em uma alta densidade de fluxo de 1,9T , compreendendo um domínio magnético refinado e uma porção ir-

radiada com laser que tenha uma camada solidificada, onde a espessura da camada solidificada na porção irradiada com laser é de 4  $\mu\text{m}$  ou menos.

(2) Chapa de aço elétrica com grãos orientados capaz de excelentes perda no núcleo e magnetoestricção em uma alta densidade de fluxo de 1,9T , compreendendo um domínio magnético refinado e uma porção irradiada com laser que tenha uma camada solidificada, onde a rugosidade da superfície Rz da camada solidificada na porção irradiada com laser ao longo da direção de laminação da chapa é de 4  $\mu\text{m}$  ou menos.

(3) Chapa de aço elétrica com grãos orientados conforme o item 1 ou 2, onde a porção irradiada a laser está na forma de uma linha contínua ou pontilhada e a seção transversal da porção irradiada a laser vista da direção oblíqua tem uma porção côncava tendo uma largura de 200  $\mu\text{m}$  ou menos e uma profundidade de 10  $\mu\text{m}$  ou menos.

(4) A chapa de aço elétrica com grãos orientados conforme o item 1 ou 2, onde a distância entre linhas adjacentes contínuas ou pontilhadas na chapa de aço é de menos de 30 mm.

(5) A chapa de aço com grãos orientados conforme o item 4, onde a distância entre linhas adjacentes contínuas ou pontilhadas na chapa de aço é de 3-5 mm.

(6) A chapa de aço elétrica com grãos orientados conforme o item 3, onde a largura da porção côncava é de 30-180  $\mu\text{m}$  e a profundidade da porção côncava é de 1-4  $\mu\text{m}$ .

(7) O método para produção de uma chapa de aço elétrica com grãos orientados capaz de excelentes perda no núcleo e magnetoestricção em uma alta densidade de fluxo de 1,9T , compreendendo uma etapa de execução de irradiação a laser para formar uma camada solidificada de forma que a espessura da camada solidificada seja de 4  $\mu\text{m}$  ou menos.

(8) Método para produção de uma chapa de aço elétrica com grãos orientados capaz de excelentes perda no núcleo e magnetoestricção em uma alta densidade de fluxo de 1,9T , compreendendo uma etapa de execução de uma irradiação a laser na forma de uma linha contínua ou pontilhada na chapa de aço elétrica com grãos orientados para formar uma ca-

mada solidificada de forma que a seção transversal da camada solidificada na porção irradiada com laser tendo uma largura de 200 µm ou menos e uma profundidade de 10 µm ou menos, onde a espessura da camada solidificada no fundo da porção côncava é de 4 µm ou menos.

5 (9) Método para produção de uma chapa de aço elétrica com grãos orientados conforme o item 7 ou 8, onde o laser para irradiação a laser é um laser de fibra usando uma fibra tendo um diâmetro de núcleo de 500 µm ou menos.

10 (10) Método para produção de uma chapa de aço elétrica com grãos orientados conforme o item 7 ou 8, onde o laser para irradiação a laser é um laser de fibra compreendendo uma fibra tendo um diâmetro de núcleo de 200 µm ou menos.

15 (11) O método para produção de uma chapa de aço elétrica com grãos orientados conforme o item 7 ou 8, onde a distância entre as linhas adjacentes contínuas ou pontilhadas na chapa de aço é menor que 30 mm.

(12) O método para produção de uma chapa de aço elétrica com grãos orientados conforme o item 11, onde a distância entre as linhas adjacentes contínuas ou pontilhadas na chapa de aço é de 3-5 mm.

20 (13) O método para produção de uma chapa de aço elétrica com grãos orientados conforme o item 7 ou 8, onde a largura da porção côncava é de 30-180 µm e a profundidade da porção côncava é de 1-4 µm.

Esta invenção pode reduzir tanto a perda no núcleo quanto a magnetoestricção da chapa de aço elétrica com grãos orientados.

Breve Descrição dos Desenhos

25 A figura 1 é um diagrama esquemático ilustrando uma porção irradiada a laser.

30 A figura 2 contém fotos mostrando a estrutura da camada solidificada da porção irradiada a laser. A foto (a) mostra um exemplo da presente invenção e a foto (b) mostra um exemplo comparativo. A superfície observada da seção transversal foi cortada obliquamente e polida. Devido ao corte oblíquo, o comprimento na direção vertical da foto é alongado para mostrar 5 vezes o comprimento verdadeiro no caso da seção transversal cortada nor-

malmente.

A figura 3 mostra a estrutura da amostra da chapa de aço preparada para a fotografia da seção transversal como na foto (a) e na foto (b).

5 A figura 4 é um diagrama esquemático ilustrando como medir-se a rugosidade da superfície da porção irradiada a laser.

A figura 5 mostra a definição da rugosidade de superfície Rz.

Descrição Detalhada da Invenção

A irradiação a laser é executada na forma de uma linha usando um dispositivo de laser de fibra, onde a fibra tem um diâmetro de 10 µm, em  
10 uma superfície da chapa de aço elétrica com grãos orientados totalmente processada contendo 3,3% em massa de Si e uma espessura de 0,23 mm, na direção próxima transversal (direção no plano perpendicular à direção de laminação). A distância entre as linhas adjacentes de irradiação a laser é de 4 mm. O comprimento da porção irradiada a laser na direção de laminação é  
15 variada de 50 µm a 200 µm. Uma forma côncava de seção transversal e uma espessura de camada solidificada vista na direção transversal (como mostrado, por exemplo, na figura 1) são mudadas variando-se tais condições de irradiação como o diâmetro do ponto de raio de irradiação a laser, a potência do laser, a densidade da potência e a taxa de varredura. Quanto à  
20 preparação das amostras de comparação, são usados laser a CO<sub>2</sub> e laser YAG. A Tabela 1 mostra os dados magnéticos de cada amostra. A perda no núcleo, a densidade de fluxo e a magnetoestricção são medidas sob a condição de fluxo magnético senoidal sem aplicação de uma carga de estresse à chapa de aço. A Tabela 1 mostra que as amostras (1), (2), (4) e (5) são  
25 superiores às outras amostras em termos tanto de perda no núcleo  $W_{19/50}$  e magnetoestricção  $\lambda_{19p-p}$  a um alto campo magnético tal como um que tenha uma densidade de fluxo de magnetização de 1,9T.

Tabela 1

amostra	largura da porção côncava ( $\mu\text{M}$ )	profundidade da porção côncava ( $\mu\text{M}$ )	espessura da camada solidificada ( $\mu\text{M}$ )	perda no núcleo w19/50 (W/Kg)	magnetoestricção $\lambda_{19p-p}$	notas
(1)	30	4	0,9	1,25	$0,2 \times 10^{-6}$	Invenção
(2)	50	4	0,8	1,26	$0,3 \times 10^{-6}$	Invenção
(3)	50	4	4,4	1,48	$1,2 \times 10^{-6}$	Comparação
(4)	90	3	0,8	1,28	$0,4 \times 10^{-6}$	Invenção
(5)	160	2	1,7	1,36	$0,3 \times 10^{-6}$	Invenção
(6)	280	2	4,7	1,45	$0,8 \times 10^{-6}$	Comparação (CO <sub>2</sub> )
(7)	180	2	4,2	1,35	$0,5 \times 10^{-6}$	Comparação (YAG)

Os inventores consideraram a razão porque tanto a baixa perda no núcleo quanto a baixa magnetoestricção a um alto campo magnético tal como um tendo uma densidade de fluxo de magnetização de 1,9T pode ser executado como segue. O mecanismo para refinar o domínio para reduzir a perda no núcleo é dirigido por um fenômeno onde o volume total do domínio fechado de alta energia, que é formado por tensão residual (tensão térmica ou tensão de impacto pela força de reação do plasma) introduzido pela irradiação a laser, tende a ser reduzido conforme mostrado, por exemplo, no Journal of The Magnetic Society of Japan, Vol. 25, nº 12, pg. 1612.

Como resultado da irradiação de laser sob uma variedade de condições descritas acima, os inventores descobriram que um grande efeito da redução da perda no núcleo pode ser obtido controlando-se a espessura da camada modificada e também a forma da porção côncava da seção transversal conforme descrito na presente invenção. Considera-se que isto se dá porque uma quantidade adequada de tensão residual é introduzida em uma área estreita controlando-se a espessura da camada solidificada, e a largura e a profundidade da porção côncava, que leva à redução do volume total do domínio de fechamento. O efeito é particularmente significativo em relação à perda no núcleo a uma alta densidade de fluxo magnético. No ca-

so de baixa densidade de fluxo de magnetização, o volume total da chapa de aço elétrica é parcialmente magnetizado e a mudança do estado magnetizado do domínio de fechamento ocorre apenas parcialmente através da parede móvel do domínio. No caso de alta densidade de fluxo de magnetização tal como 1,9T , que está próximo da densidade de fluxo magnético de saturação, a maioria dos domínios de fechamento muda para os magnetizados na direção da laminação, e esta mudança provoca perda no núcleo. Portanto, o controle da espessura da camada solidificada é muito eficaz na redução da perda no núcleo em alta densidade de fluxo magnético.

10 A camada solidificada nesta invenção é uma estrutura solidificada muito fina diferente de uma estrutura monocristal da chapa de aço elétrica com grãos orientados, que pode ser vista quando a seção transversal da chapa de aço na direção de laminação é observada usando-se um SEM ou similar. Esta observação pode ser executada tal como, mas não limitado a, 15 SEM (microscópio de varredura eletrônica) juntamente com causticação, SEM usando reflexão de imagem eletrônica, FE-SEM (SEM com emissão de campo) ou microscópio ótico. Para mudar a espessura a espessura da camada solidificada, é eficaz mudar-se o diâmetro do ponto do raio de irradiação a laser, a potência do laser, a densidade de potência e/ou a taxa de varredura. Na Fig, 5 da JP2005-59014A, é descrita uma porção irradiada de laser onde a espessura da camada solidificada está acima de 20 µm. A invenção descrita nesta publicação de patente é, conforme descrito no parágrafo [0003] da publicação, para reduzir a perda no núcleo das chapas de 20 aço elétricas com grãos orientados onde o efeito da redução da perda no núcleo permanece mesmo após o recozimento de alívio de tensões. Isto é distinto do objetivo da presente invenção, que é para o fornecimento de chapas de aço elétricas com grãos orientados com baixa perda no núcleo usada para núcleos de ferro que não devem ser submetidos ao recozimento de alívio de tensões tal como um núcleo de ferro para transformadores de tamanho grande. Conseqüentemente, os conceitos tecnológicos são diferentes 30 uns dos outros. Se a condição onde a espessura da camada solidificada é de mais de 20 µm conforme mostrado na figura 5 da JP2005-59014A é usa-

da na presente invenção, a perda no núcleo torna-se pior. A WO2004/083465A1 descreve a camada re-solidificada formada com um laser de fibra na figura 6(b). Entretanto, a espessura da camada re-solidificada na porção irradiada a laser é de cerca de 6  $\mu\text{m}$ , o que não atinge as necessidades da presente invenção.

5 A tensão residual introduzida na área estreita na direção de laminação pode também reduzir a deformação magnetoestrutiva, que provoca ruídos a partir da perda no núcleo usada, por exemplo, para transformadores bem como perda no núcleo. Embora a tensão residual introduzida pelo laser (na porção côncava conforme visto a partir da direção transversal) é eficaz para a largura do domínio pela formação de um domínio de fechamento conforme mencionado acima, se a área onde a tensão residual introduzida for grande, poderia ser também uma fonte de deformação magnetoestrutiva. Em vista disso, é importante formar a tensão residual de forma que o domínio de fechamento possa ser formado efetivamente e ainda permanecer focalizado.

10 Nesta invenção, a espessura média da camada solidificada é arranjada para ser 4  $\mu\text{m}$  ou menos de forma que tanto a baixa perda no núcleo quanto a redução de magnetoestrutiva  $\lambda_{19p-p}$  em tal campo magnético alto pode ser executado.

20 Nesta invenção, a redução de perda no núcleo e de magnetoestrutiva podem também ser executados reduzindo-se a rugosidade da superfície inferior de uma porção côncava formada pela irradiação a laser conforme descrito abaixo. A irradiação a laser é executada na forma de uma linha usando-se um dispositivo de laser de fibra tendo um diâmetro de fibra de 10

25  $\mu\text{m}$ , em uma superfície da chapa de aço elétrica com grãos orientados contendo 3,3% em massa de Si e uma espessura de 0,27 mm, na direção transversal. A distância entre as linhas adjacentes de irradiação a laser é de 4 mm. O comprimento da porção irradiada a laser na direção da laminação é (1) 50  $\mu\text{m}$ , (2) 100  $\mu\text{m}$  ou (3) 200  $\mu\text{m}$ . Um laser YAG é também usado para

30 execução da irradiação na forma de uma linha pontilhada na mesma chapa de aço elétrica com grãos orientados. A distância entre linhas adjacentes de irradiação a laser é de 4 mm e o comprimento máximo da porção irradiada a

laser na direção de laminação (correspondente ao diâmetro da irradiação a laser) é (4) 100  $\mu\text{m}$  e (5) 200  $\mu\text{m}$ .

A Tabela 2 mostra os resultados da medição da rugosidade de superfície Rz nas porções irradiadas a laser e suas propriedades magnéticas. A rugosidade de superfície Rz representa um índice indicando a altura máxima da linha externa conforme definida pela ISO4287 (1997) e mostrada na figura 5. A rugosidade de superfície Rz da porção irradiada a laser é medida usando-se um testador de rugosidade de superfície comum. Para a medição, o pino sensor varre a superfície da porção irradiada para cruzar a linha central da porção irradiada a laser na direção de laminação. Como resultado, é descoberto que há uma correlação próxima entre a rugosidade de superfície Rz, a perda no núcleo e a magnetoestricção. A medição da rugosidade de superfície Rz é executada após a limpeza da superfície e um valor médio é calculado fazendo-se a média dos dados de mais de 10 medições após eliminar-se os dados anormais. Quanto à medição da rugosidade de superfície Rz, é melhor medir-se após a remoção da película de isolamento de alta tensão e da película cerâmica na superfície da chapa de aço usando-se base alcalina. Entretanto, algum ácido que não seja fortemente corrosivo para a chapa de aço pode ser usado para remover a película sem mudar o perfil da superfície a partir de uma perspectiva prática. A perda no núcleo, o fluxo magnético e a magnetoestricção são medidos respectivamente enquanto vão sendo expostos a um fluxo magnético senoidal sem aplicação de uma carga de estresse à chapa de aço.

Tabela 2

amostra	largura da porção côncava ( $\mu\text{m}$ )	profundidade da porção côncava ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )	espessura da camada solidificada ( $\mu\text{m}$ )	perda no núcleo W19/50 (W/kg)	magnetoestricção $\lambda_{19-p-p}$	notas
(1)	30	5	0,8	2,8	1,33	$0,4 \times 10^{-6}$	Invenção
(2)	50	4	0,5	0,9	1,35	$0,4 \times 10^{-6}$	Invenção
(3)	160	3	0,7	1,1	1,46	$0,8 \times 10^{-6}$	Invenção

Continuação...

amostra	largura da porção côncava ( $\mu\text{m}$ )	profundidade da porção côncava ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )	espessura da camada solidificada ( $\mu\text{m}$ )	perda no núcleo W19/50 (W/kg)	magnetoestricção $\lambda_{19-p-p}$	notas
(4)	90	1	5,8	4,2	1,49	$1,0 \times 10^{-6}$	comparação
(5)	190	1	5,2	4,7	1,46	$0,9 \times 10^{-6}$	comparação

A Tabela 2 indica que as amostras (1), (2) e (3) são superiores às outras amostras em termos de perda no núcleo e magnetoestricção a um alto campo magnético. Quanto às amostras (4) e (5) onde foi usado um laser YAG, é observada uma protuberância pontiaguda que parece fornecer grande rugosidade de superfície, a qual é considerada como provocadora da perda no núcleo durante o alto fluxo magnético e a magnetoestricção torna-se pior.

Quanto à razão porque é obtida tanto uma baixa perda no núcleo quanto uma baixa magnetoestricção sob tal alto campo magnético, é considerado que um fluxo de escoamento a partir das protuberâncias pontiagudas formadas no fundo da porção irradiada a laser pode influenciar a redução da perda no núcleo. Particularmente a perda no núcleo W19/50 sob alta densidade de fluxo onde a chapa de aço elétrica está quase em um estado de saturação magnética é grandemente influenciada. Em outras palavras, controlando-se a irradiação a laser de forma que nenhuma porção com uma grande rugosidade de superfície seja formada, a perda no núcleo em alta densidade de fluxo pode ser reduzida.

#### Configurações Preferidas da Invenção

Um produto comum de chapa de aço elétrica com grãos orientados pode ser usada para a presente invenção. Embora as chapas de aço tenham uma película primária de forsterita, etc. e um revestimento isolante na superfície, a presente invenção pode ser aplicada à chapa de aço sem cada película ou revestimento.

(Condições do Laser)

O comprimento (largura) da porção irradiada a laser na direção

da laminação refere-se à quantidade de domínios de fechamento que são formados por uma deformação elástica provocada por tensões térmicas em torno da porção irradiada, pelo efeito recíproco da magnetoestricção. O domínio de fechamento é uma fonte de refino do domínio e leva à redução da perda no núcleo, entretanto ele pode ser também a causa da deformação por magnetoestricção. Portanto, uma condição adequada deve ser determinada para satisfazer ambas as propriedades. Para reduzir a magnetoestricção, a largura da irradiação a laser na direção da laminação é preferivelmente de 200  $\mu\text{m}$  ou menos, mais preferivelmente 180  $\mu\text{m}$  ou menos, 140  $\mu\text{m}$  ou menos, 120  $\mu\text{m}$  ou menos e também mais preferivelmente 100  $\mu\text{m}$  ou menos. Para reduzir a perda no núcleo, a largura da irradiação a laser é preferivelmente 20  $\mu\text{m}$  ou mais, mais preferivelmente 30  $\mu\text{m}$  ou mais, e também preferivelmente 50  $\mu\text{m}$  ou mais.

A energia do raio de irradiação a laser por unidade de área, isto é, a densidade de energia, é preferivelmente tão alta quanto possível, para executar efeticamente o refino dos domínios. Se a densidade de energia for muito alta, entretanto, a espessura da camada solidificada torna-se grande. Portanto a densidade de energia é preferivelmente 150  $\text{KW}/\text{mm}^2$  ou menos e mais preferivelmente 100  $\text{KW}/\text{mm}^2$  ou menos. Se a densidade de energia for muito baixa, a espessura da camada solidificada torna-se pequena. Portanto, a densidade de energia é preferivelmente 0,5  $\text{KW}/\text{mm}^2$  ou mais, e mais preferivelmente 1  $\text{KW}/\text{mm}^2$  ou mais.

Se o tempo de irradiação do raio laser na chapa de aço, isto é, a duração da irradiação, for muito longo, a espessura da camada solidificada torna-se muito grande. Portanto, o tempo de irradiação contínuo é preferivelmente 1 ms ou menos e mais preferivelmente 0,3 ms ou menos. Se a duração da irradiação for muito curta, a espessura da camada solidificada torna-se muito pequena. Portanto a duração da irradiação é preferivelmente 1  $\mu\text{s}$  ou mais e mais preferivelmente 5  $\mu\text{s}$  ou mais.

O produto da densidade de energia pela duração da irradiação é um fator de controle importante da espessura da camada solidificada. O valor do produto varia preferivelmente de 5  $\text{mJ}/\text{mm}^2$  a 500  $\text{mJ}/\text{mm}^2$ , mais prefe-

riavelmente de 10 mJ/mm<sup>2</sup> a 300 mJ/mm<sup>2</sup>.

(Laser)

É preferível que o diâmetro do ponto de raio do raio laser de alta potência seja 200 µm ou menos na produção de chapas de Aço elétricas da presente invenção. Um raio laser YAG, referido como multi-modal, é pobre na desempenho de focalização, e é muito difícil para o laser YAG ter um raio focalizado com um diâmetro de 200 µm ou menos. Um laser a CO<sub>2</sub>, que também usa oscilação multi-modal e tem um comprimento de onda maior que o laser YAG, é também difícil de ter um ponto de raio com um diâmetro de 200 µm ou menos. Para se obter um modo de saída simples altamente concentrado a partir desses lasers, um dispositivo especial tal como um filtro espacial deve ser instalado no ressonador do laser. Nesse caso, entretanto, a saída do laser é reduzida significativamente. Portanto, tais lasers não são adequados para a produção industrial em massa.

Ao mesmo tempo, um laser de fibra pode facilmente alcançar uma oscilação de modo simples de um raio altamente concentrado. Também o laser de fibra pode facilmente alcançar um raio de alta saída pelo aumento do número de lasers semicondutores que são fontes de excitações leves, e do comprimento da fibra. Como é possível obter-se um raio focalizado até 40-50% do diâmetro do núcleo da fibra usando-se ao invés um sistema de lente simples, um laser de fibra facilmente leva a pequenos (200 µm ou menos) diâmetros de pontos de raios. Em vista disso, um laser de fibra tendo um núcleo de fibra de 500 µm ou menos é um laser preferido para ser usado no método de produção da presente invenção. Se o diâmetro do núcleo da fibra exceder 500 µm, é difícil obter-se uma espessura desejada da camada solidificada e a forma desejada da seção transversal. O diâmetro do núcleo é preferivelmente 300 µm ou menos, e mais preferivelmente 40 µm ou menos.

Um raio multi-modal usado em um laser YAG ou similar é o raio formado pela superposição de várias distribuições de intensidades de luz. O raio pode alterar o modo de oscilação dependendo das mudanças na distribuição de temperaturas do meio de laser na seção transversal do plano perpendicular à direção de saída do laser e/ou da intensidade de excitação. Isto

faz com que o controle da espessura da camada solidificada desta invenção seja instável. O modo do laser de fibra, entretanto, é o modo único regulado pelo diâmetro do núcleo da fibra e não tem o fator instável descrito acima. Portanto o laser de fibra é preferível nesta invenção para formar uma camada solidificada estável consistente.

5 Usando-se o laser sob as condições descritas acima, a irradiação do laser para a superfície da chapa de aço elétrica com grãos orientados é executada. A irradiação do laser pode ser executada na forma de uma linha ou de uma linha pontilhada na direção da largura da chapa. A direção da largura da chapa, nesta invenção, inclui a direção dentro de  $\pm 30$  graus da direção transversal. A distância entre duas linhas de irradiação de laser adjacentes é preferivelmente de 1 mm a 100 mm. A distância é mais preferivelmente de menos de 30 mm e ainda mais preferivelmente 3 mm a 5 mm.

15 A espessura da camada solidificada formada na porção irradiada a laser deve ser de 4  $\mu\text{m}$  ou menos (mostrada como " $t_m$ " na figura 1). A espessura da camada solidificada é determinada medindo-se o comprimento da camada solidificada (na direção da espessura da chapa) da porção mais espessa da camada solidificada. O comprimento da camada solidificada em uma posição do centro da porção irradiada a laser pode ser usado como valor representativo da espessura da camada solidificada, uma vez que a porção mais espessa geralmente corresponde ao centro da porção irradiada a laser. Para se obter uma medição mais precisa da espessura da camada solidificada, é preferível calcular-se a média de uma pluralidade de dados de espessuras medidas na área a ser medida (por exemplo, variando  $\pm 10 \mu\text{m}$  a partir da linha central). A observação da camada solidificada pode ser executada pelo SEM (microscópio de varredura eletrônica) juntamente com causticação, pelo SEM usando uma imagem eletrônica de reflexão, pelo FE-SEM, ou por microscópio ótico. A espessura da camada solidificada pode ser medida mais precisamente usando-se uma foto obtida com o SEM da amostra preparada usando-se polimento oblíquo conforme mostrado na figura 3. Manter-se o valor do limite superior de 4  $\mu\text{m}$  para a espessura da camada solidificada ajuda a melhorar a redução da perda no núcleo em alto fluxo

20  
25  
30

magnético sem deteriorar-se a magnetoestricção. Quanto ao limite inferior da espessura da camada solidificada,  $0,1 \mu\text{m}$  é preferível em termos de garantia do volume de deformação térmica que é necessário para manter a deformação elástica para o refino do domínio. Mais preferivelmente,  $0,5 \mu\text{m}$  a  $2 \mu\text{m}$  da espessura da camada solidificada é mais preferível.

A figura 2 mostra a estrutura da camada solidificada na porção irradiada a laser (Foto (a): Amostra da presente invenção, Foto (b): amostra de comparação). A amostra da Foto (a) é preparada sob a condição de irradiação a laser onde o comprimento da porção irradiada a laser (largura "W" na figura 1) na direcção de laminação é de  $70 \mu\text{m}$ , a densidade de energia pe de  $3 \text{ kW/mm}^2$  e a amostra da Foto (b) é preparada sob a condição de irradiação a laser onde o comprimento da porção irradiada a laser na direcção de laminação é de  $250 \mu\text{m}$ , a densidade de energia é de  $30 \text{ kW/mm}^2$ . A taxa de varredura do raio de irradiação na direcção oblíqua é a mesma em ambas as amostras. A irradiação a laser é executada na forma de uma linha contínua na direcção oblíqua e a distância entre duas linhas de irradiação adjacentes é de  $5 \text{ mm}$ .

A densidade de energia é definida como (energia de irradiação a laser na chapa de aço) / (área da porção irradiada a laser na chapa de aço), isto é, energia da irradiação a laser por unidade de área da porção irradiada. As fotos mostradas na figura 2 são obtidas em relação à amostra do corpo de prova mostrada na figura 3. A secção transversal observada (foto tirada) da chapa de aço é cortada obliquamente juntamente com a resina moldada em torno para garantir a amostra da chapá de aço. Como resultado do corte obliquo, a escala vertical das fotos da figura 2 é ampliada em 5 vezes comparada à secção transversal a ser observada se o corte da chapa de amostra for feito na direcção normal (isto é, um corte não-obliquo). É descoberto que quanto à amostra da foto (a), a espessura da camada solidificada é de  $3,3 \mu\text{m}$ , a perda no núcleo W19/50 ( $\text{W/kg}$ ) =  $1,34 \text{ W/kg}$ , e a magnetoestricção  $\lambda_{19p-p} = 0,45 \times 10^{-6}$ ; e quanto à amostra da foto (b), a espessura da camada solidificada é de  $4,7 \mu\text{m}$ , a perda no núcleo W19/50 ( $\text{W/kg}$ ) =  $1,67 \text{ W/kg}$ , e a magnetoestricção  $\lambda_{19p-p} = 0,7 \times 10^{-6}$ . A amostra da foto (a) da presente in-

venção mostra dados superiores de perda no núcleo em alto fluxo magnético e baixa magnetoestricção. A espessura da chapa de aço de ambas as amostras é de 0,27 mm.

Quanto à seção transversal da chapa vista da direção transversal, a seção transversal tem preferivelmente uma porção côncava (recesso) tendo uma largura de 200  $\mu\text{m}$  ou menos e uma profundidade de 10  $\mu\text{m}$  ou menos. O limite superior da largura pe preferivelmente 200  $\mu\text{m}$  para evitar a redução do fator de empilhamento e para manter reduzidos tanto a perda no núcleo a um alto fluxo magnético quanto a baixa magnetoestricção. A largura é preferivelmente de 30 a 180  $\mu\text{m}$ . O limite superior da profundidade é preferivelmente 10  $\mu\text{m}$  para evitar também a redução do fator de empilhamento, para manter uma boa perda no núcleo a um alto fluxo magnético e para evitar a deterioração da densidade de fluxo magnético. A profundidade é preferivelmente de 1 a 4  $\mu\text{m}$ . a Fig, 1 mostra um diagrama esquemático da porção côncava na porção irradiada a laser vista a partir de uma direção oblíqua. O símbolo " $t_m$ " representa a espessura máxima da camada solidificada, " $d$ " representa a profundidade da porção côncava e " $w$ " representa a largura (na direção de laminação) da porção côncava.

É descrita abaixo uma configuração da invenção onde a rugosidade da superfície da porção irradiada a laser é pequena. Na presente invenção, um domínio magnético refinado é feito executando-se irradiação a laser na direção da largura da chapa na forma de uma linha ou de uma linha pontilhada na chapa de aço elétrica com grãos orientados. A direção da largura da chapa, nesta invenção, inclui direções dentro de  $\pm 30$  graus da direção transversal. A forma de uma linha significa que a irradiação a laser é executada de forma que o traço da irradiação a laser forma uma linha contínua. A forma de uma linha pontilhada significa que a irradiação a laser é executada de forma que a irradiação a laser forma formas individuais ovais ou circulares arranjadas em uma linha. O traço da irradiação a laser não tem que formar uma linha reta, mas pode formar uma linha ondulada. No caso de uma linha ondulada, a direção da largura da chapa acima mencionada é definida com base na linha central da linha ondulada.

Nesta invenção, é preferível usar-se um laser de fibra uma vez que o laser de fibra é capaz de reduzir o tamanho da parte de fundo do traço de irradiação e diminuir a perda no núcleo sob alto fluxo magnético. Um laser YAG é também capaz de reduzir o tamanho de um traço de irradiação, mas requer um dispositivo de larga escala para gerar energia suficiente em adição ao fato de que a oscilação multi-modal tem dificuldades em reduzir a rugosidade da superfície da superfície de fundo da porção irradiada a laser. Um laser de CO<sub>2</sub> também tem dificuldades em reduzir o tamanho do traço de irradiação, uma vez que o comprimento de onda é longo e há dificuldade em reduzir a rugosidade devido à oscilação multi-modal bem como o laser YAG.

Quanto ao laser de fibra, é preferível usar-se uma fibra tendo um diâmetro de 500  $\mu\text{m}$  ou menos devido à qualidade melhorada de raio laser que leva a um sistema ótico compacto simples capaz de reduzir o tamanho da parte do fundo. Usando-se uma fibra com um diâmetro de mais de 500  $\mu\text{m}$ , torna difícil obter-se uma forma desejada da parte do fundo. É preferível usar-se uma fibra tendo um diâmetro de 200  $\mu\text{m}$  ou menos, mais preferivelmente 40  $\mu\text{m}$  ou menos.

Uma "porção irradiada a laser" significa uma porção onde a superfície da chapa de aço é parcialmente fundida quando o laser é irradiado. No caso de uma chapa de aço elétrica com grãos orientados tendo uma película cerâmica, uma porção, sob a película cerâmica, onde a superfície da chapa de aço é parcialmente fundida é definida como a porção irradiada a laser. A figura 2 mostra fotos de uma seção transversal. A porção onde a superfície da chapa de aço é parcialmente fundida significa uma região da camada de superfície que parece diferente de uma porção inferior do metal base homogêneo. Quanto à largura da porção côncava na seção transversal vista da direção transversal, a largura é preferivelmente 30  $\mu\text{m}$  ou mais, mais preferivelmente 50  $\mu\text{m}$  ou mais, uma vez que uma largura muito estreita pode fornecer uma rugosidade de superfície maior. Para determinar a rugosidade de superfície Rz nesta invenção, é preferível calcular-se a média de uma pluralidade de dados de medição da rugosidade em diferentes posições na área tendo uma largura na direção de laminação onde a parte de fundo

do laser irradiado está incluído (por exemplo, a área dentro da largura de irradiação). Rz é preferivelmente 4,0  $\mu\text{m}$  ou menos, mais preferivelmente 3,5-3,0  $\mu\text{m}$  ou menos, e ainda mais preferivelmente 2,5  $\mu\text{m}$  ou menos.

[Exemplo 1]

5 A irradiação a laser é executada na forma de uma linha usando-se um dispositivo de laser de fibra, tendo um diâmetro de fibra de 10  $\mu\text{m}$ , em uma superfície de uma chapa de aço elétrica com grãos orientados total-  
mente processada contendo 3,2% em massa de Si, e uma espessura de  
10 0,23 mm, aproximadamente na direção transversal. A distância entre duas linhas de irradiação a laser é de 3 mm. O comprimento da porção irradiada a laser na direção da laminação é de 30  $\mu\text{m}$ . A espessura da camada solidificada é variada, variando-se a energia do laser e variando-se a taxa de varredura do laser na direção transversal. A Tabela 3 mostra os dados magnéticos de cada amostra. A perda no núcleo, a densidade de fluxo e a magneto-  
15 estrição são medidas enquanto estão sendo expostas a um fluxo magnético senoidal sem aplicação de uma carga de estresse à chapa de aço. A tabela 3 indica que as amostras de (1) e (2) são superiores à amostra de comparação em termos tanto de perda reduzida de núcleo e a magnetoestrição em um alto campo magnético.

20

Tabela 3

amostra	espessura da camada solidificada ( $\mu\text{m}$ )	perda no núcleo W19/50 (W/kg)	magnetoestrição $\lambda 19\text{p-p}$	notas
(1)	1,5	1,25	$0,3 \times 10^{-6}$	Invenção
(2)	0,8	1,26	$0,35 \times 10^{-6}$	Invenção
(3)	4,5	1,60	$1,2 \times 10^{-6}$	comparação

[Exemplo 2]

A irradiação a laser é executada na forma de uma linha usando-se um dispositivo de laser de fibra, tendo um diâmetro de fibra de 10  $\mu\text{m}$ , em uma superfície de uma chapa de aço elétrica com grãos orientados total-  
25 mente processada contendo 3,3% em massa de Si, e uma espessura de 0,23 mm, aproximadamente na direção transversal. A distância entre duas

linhas de irradiação a laser adjacentes é de 4 mm. Como o comprimento da porção irradiada a laser na direção de laminação, são executados (1) 30 µm, (2) 80 µm e (3) 250 µm. A irradiação a laser de CO<sub>2</sub> é também executada na forma de uma linha na mesma chapa de aço elétrica com grãos orientados.

5 A distância entre duas linhas de irradiação a laser adjacentes é de 4 mm e o comprimento da porção irradiada a laser na direção de laminação é variada de (4) 300 µm e (5) 500 µm. A espessura da camada solidificada é controlada variando-se a energia do laser e o tempo de irradiação. A Tabela 4 mostra os dados magnéticos de cada amostra. A perda no núcleo, a densidade de fluxo e a magnetoestricção são medidas sob a condição de fluxo magnético senoidal sem aplicação de carga de estresse à chapa de aço. A Tabela 4 indica que as amostras (1), (2) e (3) são superiores às outras amostras em termos tanto de perda no núcleo quanto de magnetoestricção em um alto campo magnético.

15

Tabela 4

amos- tra	largura da por- ção cõn- cava (µm)	profundida- de da por- ção cõnca- va (µm)	espes- sura da camada solidifica- da (µm)	perda no núcleo W19/50 (W/kg)	magnetoestricção λ19- p-p	notas
(1)	30	5	0,9	1,23	0,3 x 10 <sup>-6</sup>	Invenção
(2)	50	4	1,3	1,25	0,25 x 10 <sup>-6</sup>	Invenção
(3)	160	3	2,2	1,33	0,4 x 10 <sup>-6</sup>	Invenção
(4)	130	1	5,1	1,49	0,8 x 10 <sup>-6</sup>	comparação
(5)	300	1	4,2	1,46	0,6 x 10 <sup>-6</sup>	comparação

[Exemplo 3]

A irradiação a laser é executada na forma de uma linha usando-se um dispositivo de laser de fibra tendo um diâmetro de fibra de 20 µm, em uma superfície de uma chapa de aço elétrica com grãos orientados total-  
20 mente processado contendo 3,2% em massa de Si, e uma espessura de 0,27 mm, aproximadamente na direção transversal. A distância entre duas linhas adjacentes de irradiação a laser é de 5 mm. O comprimento da porção irradiada a laser na direção de laminação é de 50 µm. A ocorrência de protuberâncias pontiagudas na porção irradiada a laser é variada, variando-se a

velocidade de varredura do raio de irradiação na direção transversal. A Tabela 5 mostra os dados magnéticos e a forma da porção irradiada a laser de cada amostra. A rugosidade da superfície da porção irradiada a laser é medida fazendo-se a varredura na direção da laminação usando-se um testador de rugosidade de superfície do tipo estilete (pinó sensor). A perda no núcleo, a densidade de fluxo e a magnetoestricção são medidas enquanto vão sendo magnetizados até um fluxo magnético senoidal sem a aplicação de uma carga de estresse à chapa de aço. A Tabela 5 indica que as amostras (1) e (2) são superiores a outras amostras em termos tanto de perda no núcleo reduzida quanto de magnetoestricção em um alto campo magnético.

Tabela 5

amostra	Rz ( $\mu\text{m}$ )	perda no núcleo W19/50 (W/kg)	magnetoestricção $\lambda_{19p-p}$	notas
(1)	1,2	1,36	$0,35 \times 10^{-6}$	Invenção
(2)	1,7	1,33	$0,4 \times 10^{-6}$	Invenção
(3)	5,2	1,65	$1,3 \times 10^{-6}$	comparação

[Exemplo 4]

A irradiação a laser é executada na forma de uma linha usando-se um dispositivo de laser de fibra tendo um diâmetro de fibra de  $10 \mu\text{m}$ , em uma superfície de uma chapa de aço elétrica com grãos orientados totalmente processada contendo 3,3% em massa de Si, e uma espessura de  $0,23 \text{ mm}$ , aproximadamente na direção transversal. A distância entre duas linhas de irradiação a laser adjacentes é de  $5 \text{ mm}$ . O comprimento da porção irradiada a laser na direção da laminação é variada de (1)  $50 \mu\text{m}$ , (2)  $100 \mu\text{m}$  e (3)  $200 \mu\text{m}$ . A irradiação de laser de  $\text{CO}_2$  é também executada na forma de uma linha na mesma chapa de aço elétrica com grãos orientados. A distância entre duas linhas de irradiação a laser é de  $5 \text{ mm}$ , e o comprimento da porção irradiada a laser na direção de laminação é variada de (4)  $200 \mu\text{m}$  e (5)  $400 \mu\text{m}$ . A Tabela 6 mostra os dados magnéticos e a forma da porção irradiada a laser de cada amostra. A forma da porção irradiada a laser é uma porção côncava da seção transversal vista a partir da direção transversal. A

- perda no núcleo e a magnetoestricção são medidas enquanto estão sendo magnetizados por um fluxo magnético senoidal sem aplicação de uma carga de estresse à chapa de aço elétrica. A Tabela 6 indica que as amostras (1), (2) e (3) são superiores a outras amostras em termos tanto de perda no núcleo quanto de magnetoestricção reduzidas em um alto campo magnético.

Tabela 6

amostra	largura da porção côncava ( $\mu\text{m}$ )	profundidade da porção côncava ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )	espessura da camada solidificada ( $\mu\text{m}$ )	perda no núcleo W19/50 (W/kg)	magnetoestricção $\lambda_{19-p-p}$	notas
(1)	30	5	2,3	3,7	1,23	$0,3 \times 10^{-6}$	invenção
(2)	50	4	1,4	1,2	1,25	$0,25 \times 10^{-6}$	invenção
(3)	160	3	1,1	0,8	1,33	$0,4 \times 10^{-6}$	invenção
(4)	130	1	6,1	4,3	1,49	$0,8 \times 10^{-6}$	comparação
(5)	300	1	5,2	4,1	1,46	$0,6 \times 10^{-6}$	comparação
(6)	170	2	6,5	3,8	1,35	$0,5 \times 10^{-6}$	invenção

Todas as referências citadas acima estão aqui incorporadas como referência em sua totalidade.

## REIVINDICAÇÕES

1. Chapa de aço elétrica com grãos orientados (1) capaz de excelentes perda no núcleo e magnetoestricção em uma alta densidade de fluxo de 1,9 T, caracterizada pelo fato de que compreende um domínio magnético refinado e uma porção irradiada a laser que tenha uma camada solidificada, e

sendo que a espessura da camada solidificada na porção irradiada a laser é de 4  $\mu\text{m}$  ou menos.

2. Chapa de aço elétrica com grãos orientados (1), de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a porção irradiada a laser está na forma de uma linha contínua ou pontilhada e uma seção transversal da porção irradiada a laser vista a partir da direção transversal tem uma porção côncava apresentando uma largura 200  $\mu\text{m}$  ou menos e uma profundidade de 10  $\mu\text{m}$  ou menos.

3. Chapa de aço elétrica com grãos orientados (1), de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a distância entre linhas adjacentes contínuas ou pontilhadas na chapa de aço é de menos de 30 mm.

4. Chapa de aço elétrica com grãos orientados (1), de acordo com a reivindicação 3, caracterizada pelo fato de que a distância entre linhas adjacentes contínuas ou pontilhadas na chapa de aço é de 3 a 5 mm.

5. Chapa de aço elétrica com grãos orientados (1), de acordo com a reivindicação 2, caracterizada pelo fato de que a largura da porção côncava é de 30 a 180  $\mu\text{m}$  e a profundidade da porção côncava é de 1 a 4  $\mu\text{m}$ .

6. Método para produzir uma chapa de aço elétrica com grãos orientados (1) capaz de excelentes perda no núcleo e magnetoestricção em uma alta densidade de fluxo de 1,9 T, caracterizado pelo fato de que compreende uma etapa de execução de irradiação a laser para formar uma camada solidificada é de 4  $\mu\text{m}$  ou menos.

7. Método para produzir uma chapa de aço elétrica com grãos orientados (1), de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de

que compreende uma etapa de:

execução de irradiação a laser na forma de uma linha contínua ou pontilhada na chapa de aço elétrica com grãos orientados (1) para formar uma camada solidificada de forma que a seção transversal da camada solidificada na porção irradiada a laser vista a partir da direção transversal tenha uma porção côncava tendo uma largura de 200  $\mu\text{m}$  ou menos e uma profundidade de 10  $\mu\text{m}$  ou menos.

8. Método para produzir uma chapa de aço elétrica com grãos orientados (1), de acordo com a reivindicação 6 ou 7, caracterizado pelo fato de que um laser para irradiação a laser é um laser de fibra tendo uma fibra que apresente um diâmetro de núcleo de 500  $\mu\text{m}$  ou menos.

9. Método para produzir chapas de aço elétricas com grãos orientados (1), de acordo com a reivindicação 6 ou 7, caracterizado pelo fato de que o laser para irradiação a laser é um laser de fibra compreendendo uma fibra apresentando um diâmetro de núcleo de 200  $\mu\text{m}$  ou menos.

10. Método para produzir chapas de aço elétricas com grãos orientados (1), de acordo com a reivindicação 6 ou 7, caracterizado pelo fato de que a distância entre linhas adjacentes contínuas ou pontilhadas na chapa de aço é de menos de 30 mm.

11. Método para produzir chapas de aço elétricas com grãos orientados (1), de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que a distância entre linhas adjacentes contínuas ou pontilhadas na chapa de aço é de 3 a 5 mm.

12. Método para produzir chapas de aço elétricas com grãos orientados (1), de acordo com a reivindicação 6 ou 7, caracterizado pelo fato de que a largura da porção côncava é de 30 a 180  $\mu\text{m}$  e a profundidade da porção côncava é de 1 a 4  $\mu\text{m}$ .

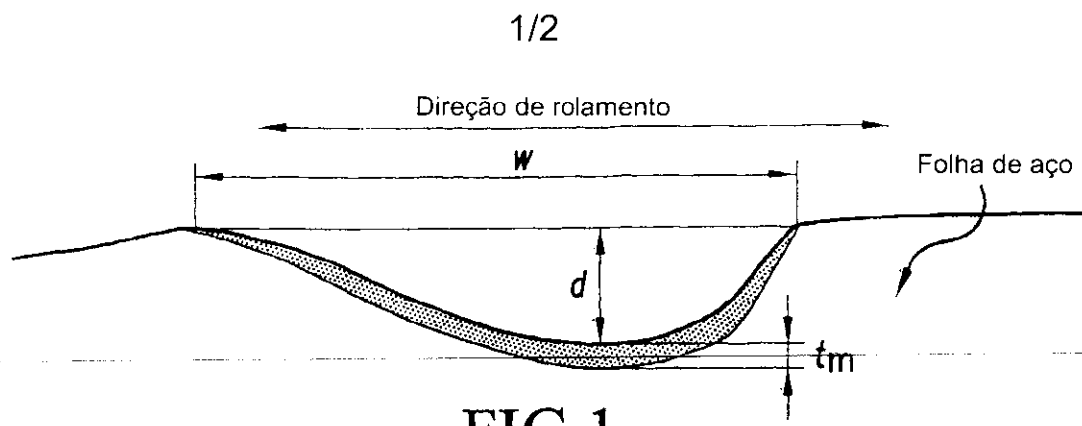


FIG.1

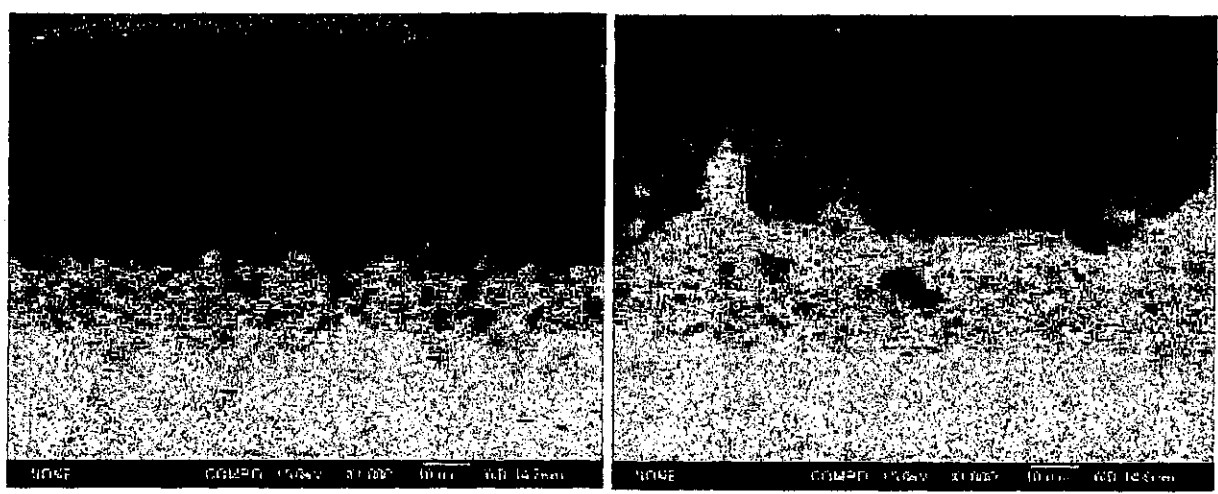


Foto (a)  
Amostra de invenção

Foto (a)  
Amostra de invenção

FIG.2

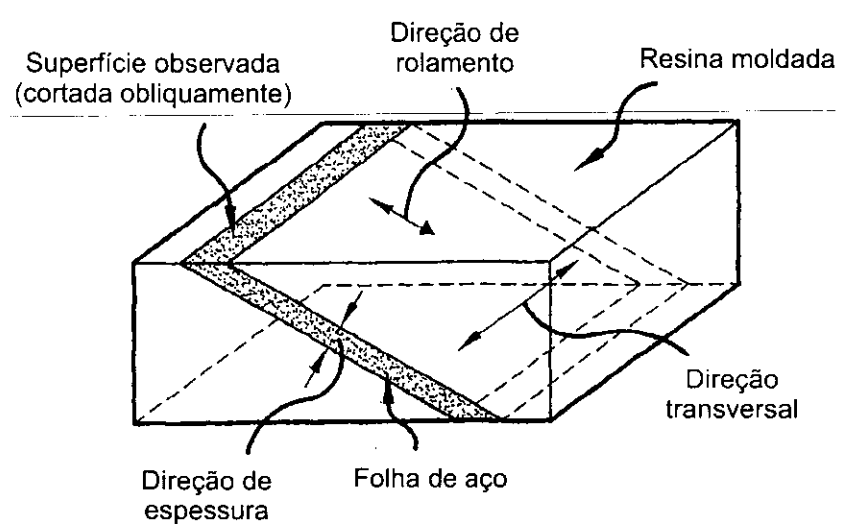


FIG.3

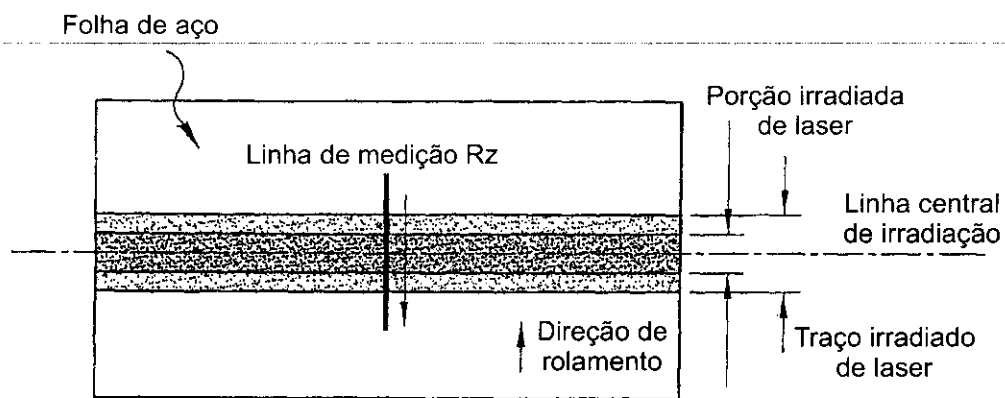


FIG.4

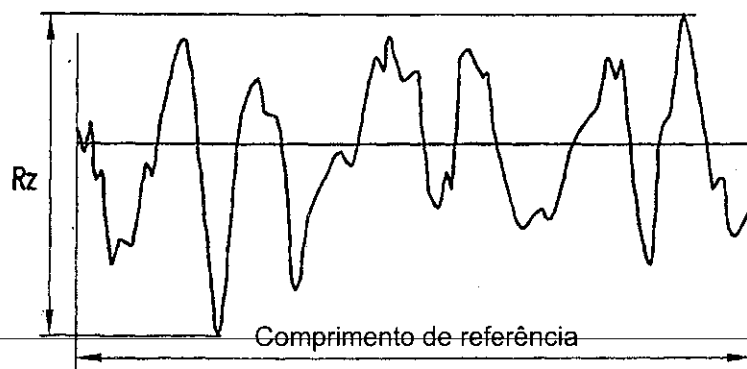


FIG.5