

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

(21) **PI 0712012-5 A2**

(22) Data de Depósito: 07/05/2007
(43) Data da Publicação: 27/12/2011
(RPI 2138)



(51) *Int.Cl.:*
C22C 38/00
C22C 38/02
C22C 38/60
H01F 1/16

(54) **Título:** FOLHA DE AÇO ELÉTRICA DE GRÃO ORIENTADO COM CARACTERÍSTICA SUPERIOR DE PERDA DE CENTRO

(30) **Prioridade Unionista:** 24/05/2006 JP 2006-144058

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

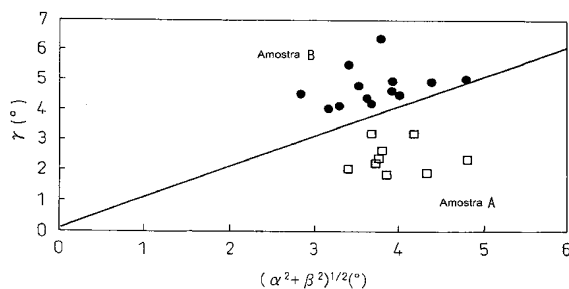
(72) **Inventor(es):** Kenichi Murakami, Nobusato Morishige, Norikazu Fujii, Yoshiyuki Ushigami

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

(86) **Pedido Internacional:** PCT EP2007059812 de 07/05/2007

(87) **Publicação Internacional:** WO 2008/034813 de 27/03/2008

(57) **Resumo:** FOLHA DE AÇO ELÉTRICA DE GRÃO ORIENTADO COM CARACTERÍSTICA SUPERIOR DE PERDA DE CENTRO. Folha de aço elétrica de grão orientado superior em característica da perda de centro que contém Si: 0,8 a 7% em massa e que tem uma textura secundária recristalizada com uma orientação $\{110\}<001>$ como a orientação principal, caracterizada pelo fato de que os ângulos médios de desvio α , β e γ da orientação ideal $\{110\}<001>$ da textura secundária recristalizada satisfazem $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \geq \gamma$, em que α : ângulo médio de desvio de orientação ideal $\{110\}<001>$ em torno da direção normal de laminação (ND) de textura secundária recristalizada, β : ângulo médio de desvio de orientação ideal $\{110\}<001>$ em torno da direção transversal (TD) de textura secundária recristalizada e γ ângulo médio de desvio de orientação ideal $\{110\}<001>$ em torno da direção de laminação (RD) de textura secundária recristalizada.





PI0712012-5

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**FOLHA DE AÇO ELÉTRICA DE GRÃO ORIENTADO COM CARACTERÍSTICA SUPERIOR DE PERDA DE CENTRO**".

Campo Técnico

- 5 A presente invenção refere-se a uma folha de aço elétrica de grão orientado com característica superior de perda de centro usada como um material magnético mole como um centro de um transformador, equipamento elétrico etc.

Técnica Fundamental

- 10 A folha de aço elétrica de grão orientado é uma folha de aço que contém habitualmente Si até 7% e que tem uma textura secundária recristalizada de grãos secundários recristalizados alinhados na orientação $\{110\}\langle 001 \rangle$ (orientação de Goss). As propriedades magnéticas da folha de aço elétrica de grão orientado basicamente são bastante afetadas pelo alinhamento $\{110\}\langle 001 \rangle$ dos grãos secundários recristalizados. Por esta razão,
- 15 até agora, tem havido grande muito R&D conduzido em métodos de produção para melhorar o alinhamento dos grãos secundários recristalizados (por exemplo, ver a Patente U.S. Nº 3287183 e a Publicação da Patente Japonesa (B2) Nº 62-45285).
- 20 No entanto, como explicado em "IEEE Transactions on Magnetics" MAG-14 (1978), pp. 350-352, foi descoberto que se o alinhamento com a orientação se torna demasiadamente alto, ao contrário a característica de perda do centro se deteriora. Portanto, por exemplo, o ângulo de desvio (α) ao redor da direção normal (ND) de laminação da orientação ideal de
- 25 $\{110\}\langle 001 \rangle$, o ângulo de desvio (β) ao redor da direção transversal (TD) e o ângulo de desvio (γ) ao redor da direção de laminação (RD) estão sendo usados para refinar mais ainda o alinhamento com a orientação e estudar a relação com a característica de perda de centro.

- 30 Neste caso, a figura 1 apresenta as definições dos ângulos de desvio em uma figura em uma $\{100\}$ figura do polo (ver "IEEE Transactions on Magnetics" MAG-14 (1978), pp. 252-257). Além disso, a figura 2 apresenta esquematicamente os grãos orientados ideais $\{110\}\langle 001 \rangle$. Além disso, a

figura 3(a) apresenta esquematicamente a orientação secundária de recristalização e os ângulos de desvio (α e β), enquanto que a figura 3(b) apresenta esquematicamente a orientação secundária de recristalização e o ângulo de desvio (γ).

5 Além disso, nos estudos acima, com medidas para melhorar a característica de perda de centro, foram propostas diversas folhas de aço elétrica de grão orientado que definissem o alinhamento de grãos secundários recristalizados baseados nos indicadores acima de ângulo de desvio.

Por exemplo, a Publicação da Patente Japonesa (B2) Nº 57-
10 9418 divulga a folha de aço elétrica de grão orientado superior em propriedades magnéticas que tem uma estrutura cristalina compreendida de $\{h, k, 0\}$ planos com eixos $\langle 001 \rangle$ dos grãos de cristal individuais que combinam com a direção de laminação da folha de aço e com índices dos planos cristalinos paralelos à superfície da folha de aço dispersa ao redor da direção de
15 laminação.

No entanto, os eixos $\langle 001 \rangle$ de grãos cristalinos de produtos reais, como apresentado na figura 3(a), também estão dispersos ao redor da ND e/ou TD, fazendo assim com que seja difícil a combinação dos eixos $\langle 001 \rangle$ dos grãos cristalinos individuais na direção de laminação da folha de
20 aço.

Além disso, a Publicação da Patente Japonesa (A) Nº 59-177349 e "IEEE Transactions on Magnetics" MAG-14(1978), pp. 252-257 divulgam folha de aço elétrica de grão orientado com baixa perda de centro que consiste de uma estrutura cristalina com eixos $[001]$ eixos dos grãos
25 secundários recristalizados inclinados em relação à superfície de laminação por 4° ou menos, de preferência 2° aproximadamente.

No entanto, embora esta folha de aço elétrica de grão orientado tenha os eixos $\langle 001 \rangle$ dos grãos cristalinos individuais inclinados ao redor da direção transversal (TD), o ângulo de desvio (α) ao redor da direção normal de laminação (ND) e o ângulo de desvio (γ) ao redor da direção de lamina-
30 ção (RD) não são prescritos.

Desta maneira, foram obtidas diversas descobertas no que se

refere à relação entre os ângulo de desvio da orientação ideal $\{110\}\langle 001 \rangle$ e a perda de centro característica para um sistema simples tal como descrito na Publicação da Patente Japonesa (B2) Nº. 57-9418 ou na Publicação da Patente Japonesa (A) Nº. 59-177349, porém a relação entre a distribuição da orientação real de aproximadamente $\{110\}\langle 001 \rangle$ e a característica da perda de centro não foram entendidas totalmente.

Divulgação da Invenção

A presente invenção tem como objetivo, baseado na situação atual de que a folha de aço elétrica de grão orientado precise ser melhorada em característica de perda de centro, para elucidar o estado da relação entre o estado de dispersão ao redor da orientação $\{110\}\langle 001 \rangle$ da textura recristalizada secundária real e a característica da perda de centro para fornecer a folha de aço elétrica de grão orientado melhorada na característica da perda de centro em relação ao limite convencional.

Os inventores investigaram em profundidade as razões pelas quais há limites à melhoria da característica da perda de centro tornando apenas a orientação da textura secundária recristalizada $\{110\}\langle 001 \rangle$ próxima à orientação ideal $\{110\}\langle 001 \rangle$ (ver "IEEE Transactions on Magnetics" MAG-14(1978), pp. 350-352 e a Publicação da Patente Japonesa (A) Nº. 59-177349). Como resultado, os inventores compreenderam que para melhorar a característica da perda de centro em relação ao passado,

(i) o grau de desvio da textura secundária recristalizada da orientação ideal $\{110\}\langle 001 \rangle$ deve ser avaliado não somente pelo ângulo de desvio α ao redor da direção normal de laminação (ND) e pelo ângulo de desvio β ao redor da direção transversal (TD), porém também pelo ângulo de desvio γ ao redor da direção de laminação (RD) e, além disso,

(ii) O ângulo de desvio γ precisa ser ajustado até pelo menos um ângulo pré-determinado que é determinado para ser ajustado até pelo menos um ângulo pré-determinado que é determinado pelos ângulos de desvio α e β .

A presente invenção foi feita baseada nas descobertas acima e tem como fundamento o seguinte:

(1) Folha de aço elétrica de grão orientado superior em uma característica da perda de centro que contém Si: 0,8 até 7% em massa e que tem uma textura secundária recristalizada com uma orientação {110}<001> como a orientação principal, a dita folha de aço elétrica de grão orientado
 5 caracterizada pelo fato de que os ângulos de desvio α , β e γ da orientação ideal {110}<001> da textura secundária recristalizada satisfazem a fórmula a seguir (1):

$$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq \gamma \quad \dots (1)$$

em que,

10 α : ângulo de desvio médio da orientação ideal {110}<001> ao redor da direção normal (ND) de laminação da textura secundária recristalizada

β : ângulo de desvio médio da orientação ideal {110}<001> ao redor da direção transversal (TD) da textura secundária recristalizada

15 γ : ângulo de desvio médio da orientação ideal {110}<001> ao redor da direção de laminação (RD) da textura secundária recristalizada

(2) Folha de aço elétrica de grão orientado superior na característica da perda de centro contendo Si: 0,8 até 7% em massa e que tem uma textura secundária recristalizada com uma orientação {110}<001> como
 20 a orientação principal, a dita folha de aço elétrica de grão orientado caracterizada pelo fato de que os ângulos de desvio médios α , β e γ da orientação ideal {110}<001> da textura secundária recristalizada satisfazem as seguintes fórmulas (1) e (2):

$$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq \gamma \quad \dots (1)$$

25 $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq 4.4^\circ \quad \dots (2)$

em que,

α : ângulo de desvio médio da orientação ideal {110}<001> ao redor da direção normal (ND) de laminação da textura secundária recristalizada

30 β : ângulo de desvio médio da orientação ideal {110}<001> ao redor da direção transversal (TD) da textura secundária recristalizada

γ : ângulo de desvio médio da orientação ideal

{110}<001> ao redor da direção de laminação (RD) da textura secundária recristalizada

- (3) Folha de aço elétrica de grão orientado superior na característica da perda de centro contendo Si: 0,8 até 7% em massa e que tem a textura secundária recristalizada com uma orientação {110}<001> como a orientação principal, a dita folha de aço elétrica de grão orientado caracterizada pelo fato de que os ângulos de desvio médio α , β e γ da orientação ideal da {110}<001> textura secundária recristalizada satisfazem as seguintes fórmulas (1) e (3):

$$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq \gamma \quad \dots (1)$$

$$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq 3.6^\circ \quad \dots (3)$$

em que,

α : ângulo de desvio médio da orientação ideal

- {110}<001> ao redor da direção normal (ND) de laminação da textura secundária recristalizada

β : ângulo de desvio médio da orientação ideal

{110}<001> ao redor da direção transversal (TD) da textura secundária recristalizada

- γ : ângulo de desvio médio da orientação ideal

{110}<001> ao redor da direção de laminação (RD) da textura secundária recristalizada

- (4) Folha de aço elétrica de grão orientado superior na característica da perda de centro como apresentada em qualquer uma de (1) a (3) caracterizada pelo fato de que uma área de grãos cristalino que satisfazem a fórmula (1) é 40% ou mais.

- (5) Folha de aço elétrica de grão orientado superior na característica da perda de centro como apresentada em qualquer uma de (1) a (4) caracterizada pelo fato de que a dita folha de aço elétrica de grão orientado contém, em % em massa, além de Si: 0,8 até 7%, pelo menos um de Mn: 1% ou menos, Cr: 0,3% ou menos, Cu: 0,4% ou menos, P: 0,5% ou menos, Ni: 1% ou menos, Mo: 0,1% ou menos, Sn: 0,3% ou menos e Sb: 0,3% ou menos.

De acordo com a presente invenção, é possível fornecer uma folha de aço elétrica de grão orientado que tenha uma característica superior da perda de centro que excede o limite convencional.

Breve Descrição das Ilustrações

5 A figura 1 é uma vista que apresenta as definições dos ângulos de desvio α , β e γ da orientação ideal $\{110\}<001>$ no processo para avaliação do alinhamento da textura secundária recristalizada.

A figura 2 é uma vista que apresenta esquematicamente a orientação $\{110\}<001>$.

10 A figura 3 é uma vista que apresenta esquematicamente o processo de avaliação de alinhamento da textura secundária recristalizada (ângulos de desvio α , β e γ da orientação $\{110\}<001>$). (a) apresenta os ângulos de desvio α e β , enquanto que (b) apresenta o ângulo de desvio γ .

A figura 4 é uma vista que apresenta a relação entre a perda de 15 centro W17/50 (W/kg) e $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ (°).

A figura 5 é uma vista que apresenta a relação entre a densidade de fluxo magnético B_8 (T) e $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ (°).

A figura 6 é uma vista que apresenta a razão de grãos secundários recristalizados em relação aos ângulos de desvio α , β e γ da orientação 20 ideal $\{110\}<001>$ da textura secundária recristalizada. (a), (c) e (e) apresentam as distribuições dos ângulos de desvio α , β e γ na folha de aço elétrica de grão orientado preparada pelo método de produção baseado na Patente U.S. Nº 3287183. (b), (d) e (f) apresentam as distribuições dos ângulos de desvio α , β e γ na folha de aço elétrica de grão orientado preparada pelo método de 25 produção baseado na Publicação da Patente Japonesa (A) Nº. 2002-60842.

A figura 7 é uma vista que apresenta esquematicamente os três eixos de fácil magnetização na folha de aço elétrica de grão orientado.

A figura 8 apresenta a relação entre γ (°) e $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ (°) na folha 30 de aço elétrica de grão orientado preparada pelo método de produção baseado na Patente U.S. Nº 3287183 a folha de aço elétrica de grão orientado preparada pelo método de produção baseado na Publicação da Patente Japonesa (A) Nº 2002-60842.

Melhor Modo Para a Realização da Invenção

A presente invenção será explicada em detalhe baseado nas ilustrações. Como apresentado na figura 3(a), no passado, principalmente o alinhamento da textura secundária recristalizada $\{110\}\langle 001 \rangle$ foi avaliada
5 pelos ângulos de desvio entre os eixos de fácil magnetização, isto é, os eixos $\langle 001 \rangle$ do cristal e a direção de laminação da folha de aço (ângulo de desvio α e ângulo de desvio β). No entanto, como explicado antes, somente com este meio de avaliação convencional, estritamente falando, não é possível avaliar a característica real da perda de centro de um produto. A orientação $\{110\}\langle 001 \rangle$ de fato, como apresentada na figura 3(b), gira ao redor da
10 direção de laminação (RD). Além dos ângulos de desvio α e β , o plano $\{110\}$ está inclinado em relação ao plano ideal $\{110\}$ pelo ângulo de desvio γ .

Os inventores, como explicado acima, sugeriram a idéia de que para reduzir mais ainda a perda de centro, o alinhamento da textura secundária recristalizada na orientação $\{110\}\langle 001 \rangle$ devia ser avaliado juntamente
15 com os ângulos de desvio entre o eixo de fácil magnetização, isto é, o eixo $\langle 001 \rangle$ do cristal e a direção de laminação da folha de aço (ângulo de desvio α e ângulo de desvio β) pela inclusão também do "ângulo de desvio γ " e investigada em profundidade a relação entre as propriedades magnéticas e o
20 alinhamento na orientação $\{110\}\langle 001 \rangle$ (ângulo de desvio α , ângulo de desvio β e ângulo de desvio γ).

Para esta investigação, é necessário produzir e avaliar as folhas de aço mudadas em alinhamentos de orientação $\{110\}\langle 001 \rangle$ (ângulo de desvio α , ângulo de desvio β e ângulo de desvio γ) de várias maneiras.

Os inventores, como apresentado em "Proceedings of 12th International Conference on Textures of Materials" (1998), pp. 981-990, descobriram que pelo controle da textura depois da recristalização primária, é possível controlar não apenas o alinhamento dos eixos de fácil magnetização $\langle 001 \rangle$ à direção de laminação, porém o ângulo de desvio (α) ao redor
25 da direção normal de laminação (ND), o ângulo de desvio (β) ao redor da direção transversal (TD) e o ângulo de desvio (γ) ao redor da direção de laminação (RD).
30

Portanto, por aplicação desta técnica para o controle da textura primária recristalizada, os produtos que têm várias distribuições de orientação de recristalização secundária (ângulo de desvio α , ângulo de desvio β e ângulo de desvio γ) foram produzidos e investigados para a relação entre a

5 orientação do cristal e a característica da perda de centro.

Uma folha de aço elétrica de grão orientado com 0,23 mm de espessura (amostra A) preparada pelo processo de produção descrito na Patente U.S. Nº 3287183 foi colhida para amostras que medem 60 x 300 mm que foram medidas para perda de centro e densidade de fluxo magnético.

10 Além disso, cada medida da amostra foi feita a intervalos de 5 mm para a orientação dos grãos do grãos de cristal a 171 pontos. Os ângulos de desvio médio α , β e γ foram calculados.

Além disso, a folha de aço elétrica de grão orientado com 0,23 mm de espessura (amostra B) preparada pelo processo de produção descrito na Publicação da Patente Japonesa (A) Nº 2002-60842 foi colhida similarmente para amostras medidas similarmente e foi medida similarmente.

15

A figura 4 apresenta a relação entre a perda de centro $W_{17/50}$ (W/kg) e $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ ($^\circ$), enquanto que a figura 5 apresenta a relação entre a densidade de fluxo magnético B_8 (T) e $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ ($^\circ$). Para a densidade de

20 fluxo magnético B_8 (T), para esclarecer a relação com a textura secundária recristalizada da folha de aço, os materiais não magnéticos (filme de vidro e revestimento) sobre a superfície do produto foram removidos antes da medida. Observe-se que na figura, os quadrados brancos indicam as propriedades magnéticas da amostra A, enquanto que os pontos negros são apresentaram as propriedades magnéticas da amostra B.

25

Na presente invenção, como um indicador para a avaliação do alinhamento da textura $\{110\}<001>$ secundária recristalizada, é empregado o indicador de desvio $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ ($^\circ$). Este indicador expressa o ângulo de desvio entre o eixo de fácil magnetização, isto é, o eixo $<001>$ do cristal e a direção de laminação da folha de aço. Na presente invenção, como um indicador

30 para a avaliação do alinhamento da textura $\{110\}<001>$ secundária recristalizada, é empregado não apenas o ângulo de desvio α e o ângulo de desvio

β , porém também o indicador de desvio axial acima.

Como apresentado na figura 4, a perda de centro W17/50 é melhorada linearmente juntamente com uma redução na $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ (°). Além disso, como apresentado na figura 5, a densidade de fluxo magnético B_8 também é melhorada linearmente juntamente com uma redução na $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ (°).

Em geral, se os ângulos de desvio α e β se tornam menores e o alinhamento da textura $\{110\}\langle 001 \rangle$ secundária recristalizada for melhorada, a perda de centro é reduzida e a densidade de fluxo magnético é aumentada, porém o ponto que devia ser observado na figura 4 e na figura 5 é que a $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ (°) e a característica da perda de centro e a densidade de fluxo magnético exibem uma relação linear correlacionada.

Isto demonstra a compatibilidade e o significado, quando se avalia o alinhamento da textura $\{110\}\langle 001 \rangle$ secundária recristalizada que usa os ângulos de desvios α e β , de não se utilizar simplesmente os ângulos de desvios α e β , porém utilizando-se o indicador de desvio $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ (°) desenvolvido pelos inventores.

Este ponto é uma das descobertas (descoberta Y) realizadas pelos inventores e é uma descoberta que forma a base da presente invenção.

Baseados nesta descoberta Y, os inventores investigaram intensivamente a relação entre o alinhamento da textura $\{110\}\langle 001 \rangle$ secundária recristalizada que inclui o ângulo de desvio γ (°) e as propriedades magnéticas.

Neste caso, as figuras 6(a), (c) e (e) apresentam as distribuições do ângulo de desvio α , β e γ na amostra A (quadrados brancos nas figuras 4 e 5), enquanto que as figuras 6(b), (d) e (f) apresentam as distribuições dos ângulos de desvio α , β e γ da amostra B (pontos negros nas figuras 4 e 5).

Pela figura 6, será entendido que na amostra B superior na característica da perda de centro, o ângulo de desvio γ se expande. Isto significa o fato da garantia de uma boa característica da perda de centro,

(i) os ângulos de desvio α e β são de preferência tão pequenos quanto possível, ao passo que

(ii) o ângulo de desvio γ de preferência é expandido até uma certa extensão.

Acredita-se que a razão pela qual o ângulo de desvio γ é de preferência expandido até uma certa extensão para se garantir uma boa característica da perda de centro seja a seguinte:

Como apresentado na figura 7, a folha de aço elétrica de grão orientado tem três eixos de fácil magnetização $\langle 001 \rangle$. Um eixo de fácil magnetização $[001]$ é paralelo à direção de laminação, ao passo que os outros dois eixos de fácil magnetização $[100]$ e $[010]$ estão em direções que formam ângulos de 45° com a superfície interna direção transversal da folha de aço.

Em geral, do ponto de vista da minimização da energia global, entre estes três eixos de fácil magnetização, o eixo de fácil magnetização $[001]$ paralelo à direção de laminação podendo ser facilmente excitado. Como resultado, são formados domínios em tiras a 180° .

Para reduzir a perda de centro, é necessário diminuir a largura dos domínios a 180° . Para diminuir a largura dos domínios a 180° , é eficaz excitar o eixo de fácil magnetização em uma direção que forme um ângulo de 45° com a superfície interna na direção transversal da folha de aço explicada mais adiante entre os três eixos de fácil magnetização acima para formar os domínios de fechamento nos domínios a 180° . Acredita-se que os domínios de fechamento sejam rearranjados aos domínios a 180° devido ao efeito de tração do filme de vidro ou do revestimento presente na superfície da folha de aço e para contribuir finalmente para o refinamento dos domínios a 180° .

Quando o ângulo de desvio γ é expandido até uma certa extensão, a perda de centro é reduzida porque, quando o ângulo de desvio γ for grande, o equilíbrio de energia dos três eixos de fácil magnetização acima muda, em vez do eixo $\langle 001 \rangle$ paralelo ao eixo de laminação, um dos dois eixos $\langle 001 \rangle$ presentes na direção formando um ângulo de 45° com a superfície interna na direção transversal é citada nos casos em aumento e, como resultado, os domínios a 180° são refinados.

Além disso, o indicador de desvio axial $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ é um indicador que prescreve a característica de excitação do eixo de fácil magnetização

paralelo ao eixo de laminação, while o ângulo de desvio γ é um indicador que prescreve a característica de excitação dos dois eixos $\langle 001 \rangle$ presentes na direção que forma um ângulo de 45° com a superfície interna na direção transversal. Portanto, qual o eixo entre os três eixos de fácil magnetização está excitado se baseia na relação de correlação dos dois indicadores acima. O valor crítico do ângulo de desvio γ necessário para formar os domínios de fechamento não é um valor absoluto, porém pode ser considerado como sendo determinado pela relação de correlação com $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$.

Os inventores investigaram a relação entre γ ($^\circ$) e o indicador de desvio axial $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ ($^\circ$) de modo a confirmar esta idéia e avaliar o valor crítico do ângulo de desvio γ .

A figura 8 apresenta a relação entre o ângulo de desvio γ ($^\circ$) e o indicador de desvio axial $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ ($^\circ$). Na figura 8, será entendido que o grupo de quadrados brancos (amostra A) e o grupo de pontos negros (amostra B) estão separados por $\gamma = (\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$.

Isto é, a amostra B (grupo de pontos negros) é superior na característica da perda de centro em relação à amostra A (grupo de quadrados brancos) (ver a figura 4), assim aprende-se que o alinhamento da textura $\{110\}\langle 001 \rangle$ secundária recristalizada da folha de aço elétrica de grão orientado superior na característica da perda de centro deve satisfazer a relação

$$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq \gamma$$

Este resultado fornece o reforço para a postulação acima de que "em vez do eixo paralelo $\langle 001 \rangle$ ao eixo de laminação, um dos dois eixos $\langle 001 \rangle$ presentes na direção que forma um ângulo de 45° com a superfície interna na direção transversal é excitado para formar os domínios de fechamento devido à relação de correlação destes domínios, assim o valor crítico do ângulo de desvio γ necessário para formar os domínios de fechamento não é um valor absoluto, porém é determinado pela relação de correlação com $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ ".

Resumindo os resultados acima, para garantir uma boa característica da perda de centro, os ângulos de desvio α e β são de preferência tão

pequenos quanto possível e o ângulo de desvio γ é pelo menos o $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ ($^\circ$) determinado pelos ângulos de desvio α e β .

Este ponto é uma descoberta (descoberta Z) encontrada pelos inventores baseados na descoberta Y e, juntamente com a descoberta Y, é
5 uma descoberta que constitui a base da presente invenção.

Portanto, a presente invenção fornece uma folha de aço elétrica de grão orientado que tem a textura secundária recristalizada com uma orientação $\{110\}<001>$ como a orientação principal caracterizada pelo fato de que os ângulos de desvio médios α , β e γ provenientes da orientação ideal $\{110\}<001>$
10 da textura secundária recristalizada satisfazem a fórmula (1) a seguir:

$$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq \gamma \dots (1)$$

Para garantir uma boa característica da perda de centro, o ângulo de desvio médio γ deve exceder $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$. Além disso, a percentagem da área dos grãos de cristal com ângulos médios de desvio γ excedendo $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ é de preferência 40% ou mais.

15 Além disso, a característica da perda de centro é mais preferível quanto menor os ângulos de desvio α e β . De acordo com a figura 4, para garantir uma perda de centro de W17/50 de 0,85 W/kg ou menos, o indicador de desvio axial $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ de preferência satisfaz a fórmula (2) a seguir:

$$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq 4.4^\circ \dots (2)$$

Além disso, para garantir uma perda de centro de W17/50 de
20 0,80W/kg ou menos, o indicador de desvio axial $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ de preferência satisfaz a fórmula (3) a seguir:

$$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq 3.6^\circ \dots (3)$$

A folha de aço elétrica de grão orientado usualmente contém, em % em massa, Si: 0,8 a 7%, de modo que a folha de aço elétrica de grão orientado da presente invenção também contenha Si: 0,8 a 7%, porém tam-
25 bém possa conter, além de Si, pelo menos um elemento de Mn: 1% ou menos, Cr: 0,3% ou menos, Cu: 0,4% ou menos, P: 0,5% ou menos, N: 1% ou

menos, Mo: 0,1% ou menos, Sn: 0,3% ou menos e Sb: 0,3% ou menos. Observe-se que a seguir "%" significa % em massa.

O Mn é um elemento eficaz para aumentar a resistência específica e reduzir a perda de centro. Além disso, Mn é um elemento eficaz para evitar rachaduras na laminação a quente no processo de produção, porém se a quantidade de adição exceder 1%, a densidade de fluxo magnético do produto termina por cair, assim o limite superior é transformado em 1%.

O Cr é também um elemento eficaz para aumentar a resistência específica e reduzir a perda de centro. Além disso, Cr é um elemento que melhora a camada de óxido da superfície após o recozimento para descarburização e é adicionado em uma faixa de até 0,3%.

O Cu é também um elemento eficaz para aumentar a resistência específica e reduzir a perda de centro porém se a quantidade de adição excede 0,4%, o efeito de redução da perda de centro acaba se tornando saturado e, no processo de produção, o Cu se torna uma causa de falhas na superfície do tipo "ponto careca" na ocasião da laminação a quente, assim o limite superior é tornado como 0,4%.

O P é também um elemento eficaz para aumentar a resistência específica e reduzir a perda de centro, porém se a quantidade de adição exceder 0,5%, surgirá um problema na qualidade de laminação da folha de aço, assim o limite superior é tornado 0,5%.

O Ni é também um elemento eficaz para aumentar a resistência específica e reduzir a perda de centro. Além disso, Ni é um elemento eficaz no controle da estrutura de metal de folha laminada a quente para melhorar as propriedades magnéticas, porém se a quantidade de adição exceder 1%, a recristalização secundária se torna instável, assim o limite superior é tornado 1%.

O Mo é também um elemento eficaz para aumentar a resistência específica e reduzir a perda de centro, porém se a quantidade de adição exceder 0,1%, irá surgir um problema na qualidade de laminação da folha de aço, assim o limite superior é tornado 0,1%.

O Sn e o Sb são elementos eficazes para estabilizar a recristali-

zação secundária e desenvolver a orientação $\{110\}<001>$, porém se acima de 0,3%, têm um efeito detrimental sobre a formação de filme de vidro, assim o limite superior é tornado 0,3%.

Em relação a C, N, S, Ti e Al, estes são às vezes adicionados no estágio de fabricação de aço para o controle da textura e para o controle do inibidor para realizar estavelmente a recristalização secundária, porém eles também são elementos que degradam a característica da perda de centro dos produtos finais, assim precisam ser reduzidos depois do recozimento de descarburização e no recozimento final etc. Por esta razão, o teor destes elementos é obtido não mais do que 0,005%, de preferência não mais do que 0,003%.

Além disso, a folha de aço elétrica de grão orientado da presente invenção pode conter elementos sem ser os elementos acima e/ou os elementos que constituem impureza inevitável até uma extensão que não prejudique as propriedades magnéticas.

Para o método de produção da folha de aço elétrica de grão orientado da presente invenção, basicamente pode ser usado o processo de produção baseado na Publicação da Patente Japonesa (A) Nº 2002-60842 etc. Para se fazer com que os ângulos de desvios α , β e γ satisfaçam confiavelmente a fórmula acima (1), na textura recristalizada primária, precisa ser aumentada a razão dos grãos orientados $\{411\}$ nos grãos orientados $\{411\}$ e nos grãos orientados $\{111\}$ que promovem o crescimento dos grãos secundários recristalizados orientado de Goss. Como o processo para aumentar a razão dos grãos orientados $\{411\}$, a técnica de controle da taxa de aquecimento do recozimento para descarburização descrito na Publicação da Patente Japonesa (A) Nº. 2002-60842 é eficaz.

EXEMPLOS

A seguir, serão explicados exemplos da presente invenção, porém as condições dos exemplos são exemplos de condições empregadas para confirmar a possibilidade de execução e os efeitos vantajosos da presente invenção. A presente invenção não é limitada a estes exemplos de condições. A presente invenção pode empregar várias condições desde que

não fora da essência da presente invenção e que atingem o objetivo da presente invenção.

(Exemplo 1)

5 Como amostra (A), uma placa contendo, em % em massa, Si: 3,2%, C: 0,08%, Al solúvel em ácido: 0,024%, N: 0,007%, Mn: 0,08% e S: 0,025% foi aquecida até uma temperatura de 1350°C, foi laminada a quente até uma espessura de 2,3 mm, então foi laminada a frio até uma espessura de 1,8 mm, então foi recozida e, além disso, foi laminada a frio até uma espessura de 0,23 mm.

10 Depois disso, a folha foi aquecida até uma temperatura de 850°C e recozida para descarburização, então foi revestida com um separador de recozimento que consiste principalmente de MgO, então foi submetida a um recozimento final.

15 Como a amostra (B), uma placa contendo, em % em massa, Si: 3,3%, C: 0,06%, Al solúvel em ácido: 0,027%, N: 0,007%, Mn: 0,1% e S: 0,07% foi aquecido até uma temperatura de 1150°C, então foi laminada a quente até uma espessura de 2,3 mm e recozida, então foi laminada a frio até uma espessura de 0,23 mm.

20 Depois disso, a folha foi aquecida até uma temperatura de 830°C e recozida para descarburização, então foi recozida em uma atmosfera contendo amônia para aumentar o N na folha de aço até 0,02%, então foi revestida com um separador de recozimento que consiste principalmente de MgO, então foi submetida a um recozimento final.

25 C, N, S e Al depois do recozimento final foram todos reduzidos até 0,003% ou menos. Depois disso, a folha foi revestida para fornecer capacidade de isolamento e resistência à tração.

30 Os resultados de medida da orientação secundária de alinhamento de recristalização e as propriedades magnéticas do produto são apresentados na Tabela 1. Para a densidade e fluxo magnético B_8 , para esclarecer a relação com a orientação secundária de recristalização da folha de aço, os materiais não magnéticos sobre a superfície do produto (filme de vidro e revestimento) foram removidos antes da medição.

Além disso, as percentagens de área dos grãos de cristal que satisfazem $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq \gamma$ eram, para a amostra (A) e para a amostra (B), respectivamente 18% e 47%.

Tabela 1

Amostra	$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ (°)	γ (°)	Perda de centro W17/50 (W/kg)	Densidade de fluxo magnético B_8 (T)	Observações
(A)	3,7	2,1	0,84	1,939	Ex. comp.
(B)	3,2	5,3	0,78	1,947	Ex. da inv.

5 (Exemplo 2)

Como a amostra, uma placa contendo, em % em massa, Si: 3,3%, C: 0,06%, Al solúvel em ácido: 0,028% e N: 0,008% foi aquecida até uma temperatura de 1150°C, então foi laminada a quente até uma espessura de 2,3 mm, foi recozida, então foi laminada a frio até uma espessura de 0,23 mm.

Depois disso, esta foi aquecida com uma taxa de aquecimento de (A) 5°/s, (B) 100°/s ou (C) 200°/s até uma temperatura de 830°C e recozida para descarburização, então foi recozida em uma atmosfera que contém amônia para aumentar o N na folha de aço até 0,02%, então foi revestida com um separador de recozimento que consiste principalmente de MgO, então foi submetida a um recozimento final.

C, N e Al depois do recozimento final foram todos reduzidos até 0,003% ou menos. Depois disso, a folha foi revestida para fornecer capacidade de isolamento e resistência à tração.

Os resultados da medição de um alinhamento com a orientação secundária de recristalização e as propriedades magnéticas do produto são apresentados na Tabela 2. Para a densidade de fluxo magnético B_8 , para esclarecer a relação com a orientação secundária de recristalização da folha de aço, os materiais não magnéticos sobre a superfície do produto (filme de vidro e revestimento) foram removidos antes da medição.

Tabela 2

	$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ (°)	γ (°)	Perda de centro W17/50 (W/kg)	Densidade de fluxo magnético B_8 (T)	Observações
(A)	4,9	2,5	0,93	1,901	Ex. comp.
(B)	3,2	5,3	0,78	1,947	Ex. da inv.
(C)	3,8	5,6	0,81	1,941	Ex. da inv.

(Exemplo 3)

Como a amostra, uma placa contendo, em % em massa, Si: 3,3%, C: 0,055%, Al solúvel em ácido: 0,027% e N: 0,008% foi aquecida até
 5 uma temperatura de 1150°C, então foi laminada a quente até uma espessura de 2,3 mm, foi recozida, então foi laminada a frio até uma espessura de 0,23 mm.

Depois disso, esta foi aquecida com uma taxa de aquecimento de 40°/s até (A) 790°C, (B) 820°C ou (C) 850°C e recozida para descarburização,
 10 então foi recozida em uma atmosfera que contém amônia para aumentar o N na folha de aço até 0,02%, então foi revestida com um separador de recozimento que consiste principalmente de MgO, então foi submetida a um recozimento final.

C, N e Al depois do recozimento final foram todos reduzidos até
 15 0,003% ou menos. Depois disso, a folha foi revestida para fornecer capacidade de isolamento e resistência à tração.

Os resultados da medição de um alinhamento com a orientação secundária de recristalização e as propriedades magnéticas do produto são apresentados na Tabela 3. Para a densidade de fluxo magnético B_8 , para
 20 esclarecer a relação com a orientação secundária de recristalização da folha de aço, os materiais não magnéticos sobre a superfície do produto (filme de vidro e revestimento) foram removidos antes da medição.

Além disso, as percentagens de água dos grãos de cristal que satisfazem $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq \gamma$ eram, para a amostra (A), para a amostra (B) e para a
 25 amostra (C), respectivamente 24%, 38% e 49%.

Tabela 3

Amos- tra	$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}$ (°)	γ (°)	Perda de centro W17/50 (W/kg)	Densidade de fluxo magnético B_8 (T)	Observações
(A)	5,3	3,5	0,95	1,903	Ex. comp.
(B)	4,6	5,0	0,84	1,918	Ex. da inv.
(C)	3,5	5,1	0,79	1,938	Ex. da inv.

Aplicabilidade Industrial

- 5 Como explicado acima, de acordo com a presente invenção, por controle da distribuição de orientação secundária de recristalização, é possível fornecer uma folha de aço elétrica de grão orientado que tenha uma característica superior de perda de centro em relação ao limite convencional. Conseqüentemente, a presente invenção tem uma grande aplicabilidade em indústrias que produzem equipamento elétrico que usa folha de aço elétrica de grão orientado como materiais.

REIVINDICAÇÕES

1. Folha de aço elétrica de grão orientado superior em característica da perda de centro que contém Si: 0,8 até 7% em massa e que tem uma textura secundária recristalizada com uma orientação {110}<001> como a orientação principal, a dita folha de aço elétrica de grão orientado caracterizada pelo fato de que os ângulos médios de desvio α , β e γ da orientação ideal {110}<001> da textura secundária recristalizada satisfazem a fórmula (1) a seguir:

$$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq \gamma \dots (1)$$

em que,

- 10 α : ângulo médio de desvio de orientação ideal {110}<001> em torno da direção normal de laminação (ND) de textura secundária recristalizada

β : ângulo médio de desvio de orientação ideal {110}<001> em torno da direção transversal (TD) de textura secundária recristalizada

- 15 γ : ângulo médio de desvio de orientação ideal {110}<001> em torno da direção de laminação (RD) de textura secundária recristalizada

2. Folha de aço elétrica de grão orientado superior em característica da perda de centro que contém Si: 0,8 a 7% em massa e que tem a textura secundária recristalizada com uma orientação {110}<001> como a orientação principal, a dita folha de aço elétrica de grão orientado caracterizada pelo fato de que os ângulos médios de desvio α , β e γ da orientação ideal {110}<001> da textura secundária recristalizada satisfazem as fórmulas (1) e (2) a seguir:

20 $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq \gamma \dots (1)$

25 $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq 4.4^\circ \dots (2)$

em que,

α : ângulo médio de desvio de orientação ideal {110}<001> em torno da direção normal de laminação (ND) de textura secundária recristalizada

- 30 β : ângulo médio de desvio de orientação ideal {110}<001> em

torno da direção transversal (TD) de textura secundária recristalizada

γ : ângulo médio de desvio de orientação ideal $\{110\}<001>$ em torno da direção de laminação (RD) de textura secundária recristalizada

3. Folha de aço elétrica de grão orientado superior em característica da perda de centro que contém Si: 0,8 a 7% em massa e que tem uma textura secundária recristalizada com uma orientação $\{110\}<001>$ como a orientação principal, a dita folha de aço elétrica de grão orientado caracterizada pelo fato de que os ângulos de desvio α , β e γ da orientação ideal $\{110\}<001>$ da textura secundária recristalizada satisfazem as fórmulas (1) e (3) a seguir:

$$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq \gamma \quad \dots(1)$$

$$(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq 3.6^\circ \quad \dots(3)$$

em que,

α : ângulo médio de desvio de orientação ideal $\{110\}<001>$ em torno da direção normal de laminação (ND) de textura secundária recristalizada

β : ângulo médio de desvio de orientação ideal $\{110\}<001>$ em torno da direção transversal (TD) de textura secundária recristalizada

γ : ângulo médio de desvio de orientação ideal $\{110\}<001>$ em torno da direção de laminação (RD) de textura secundária recristalizada

4. Folha de aço elétrica de grão orientado superior em característica da perda de centro como apresentada em qualquer uma das reivindicações 1 a 3 caracterizada pelo fato de que uma área de grãos de cristal que satisfaz a fórmula (1) é 40 % ou mais.

5. Folha de aço elétrica de grão orientado superior em característica da perda de centro como apresentada em qualquer uma das reivindicações 1 a 4 caracterizada pelo fato de que a dita folha de aço elétrica de grão orientado contém, por % em massa, além de Si: 0,8 a 7%, pelo menos um de Mn: 1% ou menos, Cr: 0,3% ou menos, Cu: 0,4 % ou menos, P: 0,5% ou menos, Ni: 1% ou menos, Mo: 0,1% ou menos, Sn: 0,3% ou menos e Sb: 0,3% ou menos.

Fig.1

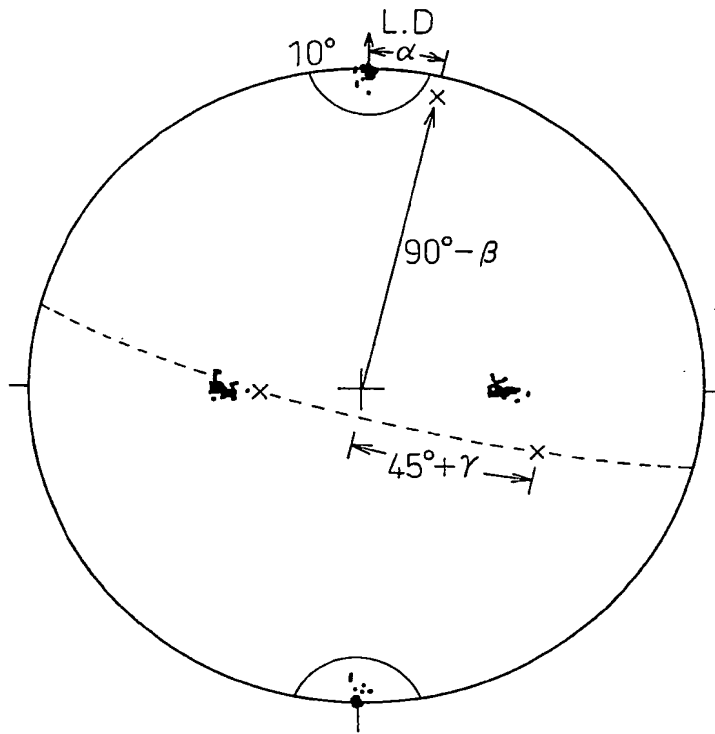


Fig.2

Direção normal à superfície de laminação (ND)

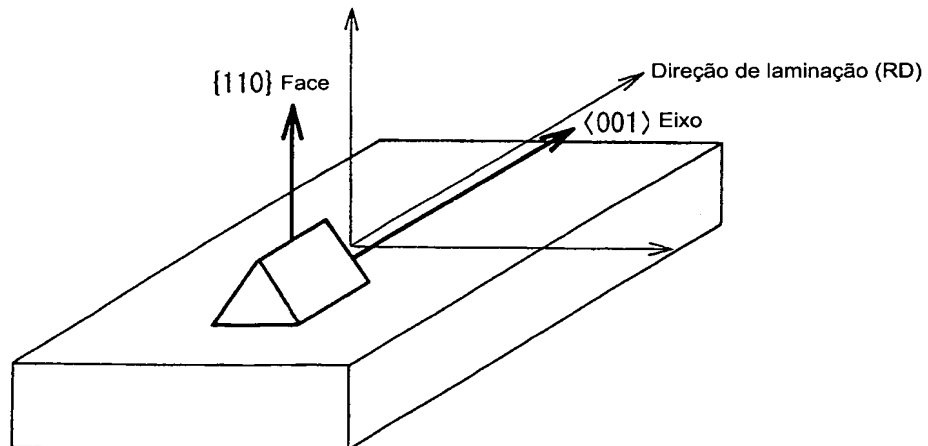
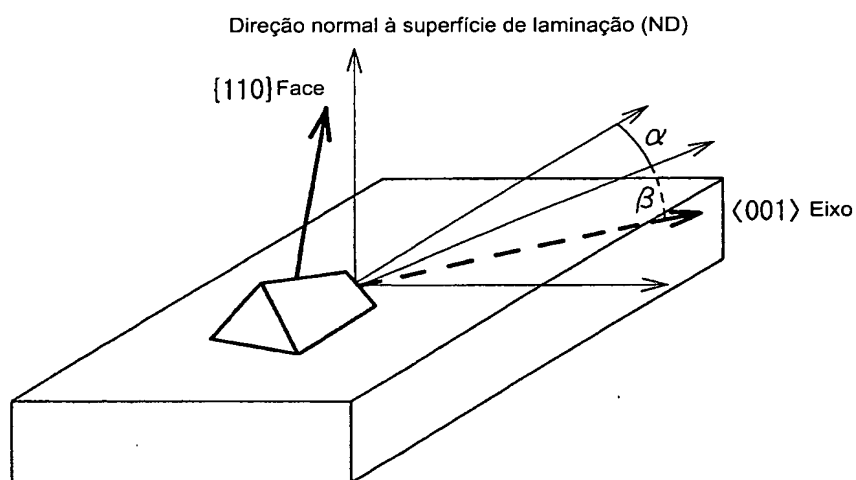


Fig.3

(a)



(b)

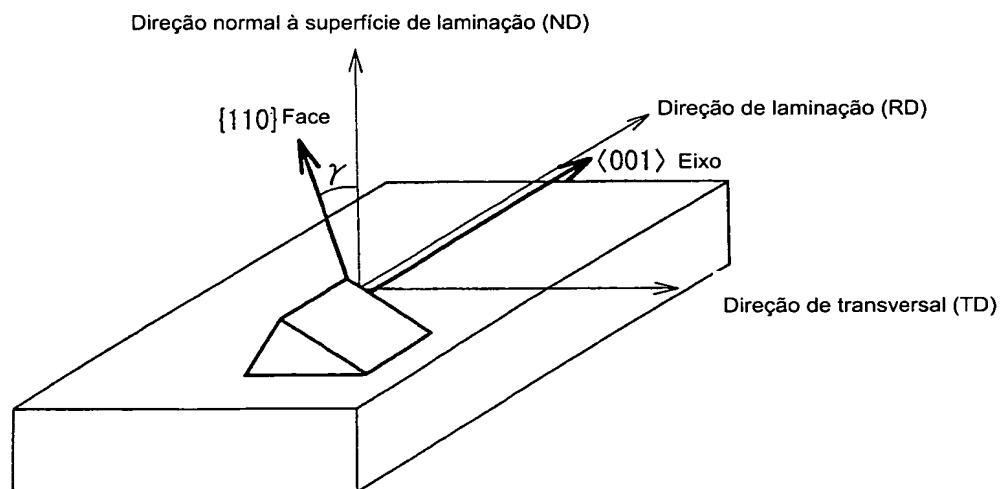


Fig.4

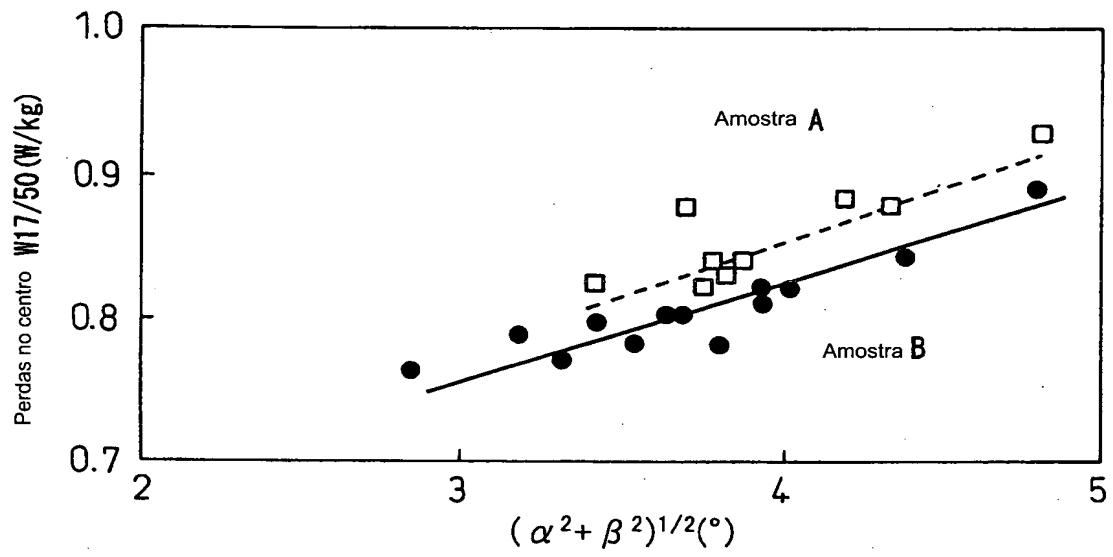


Fig.5

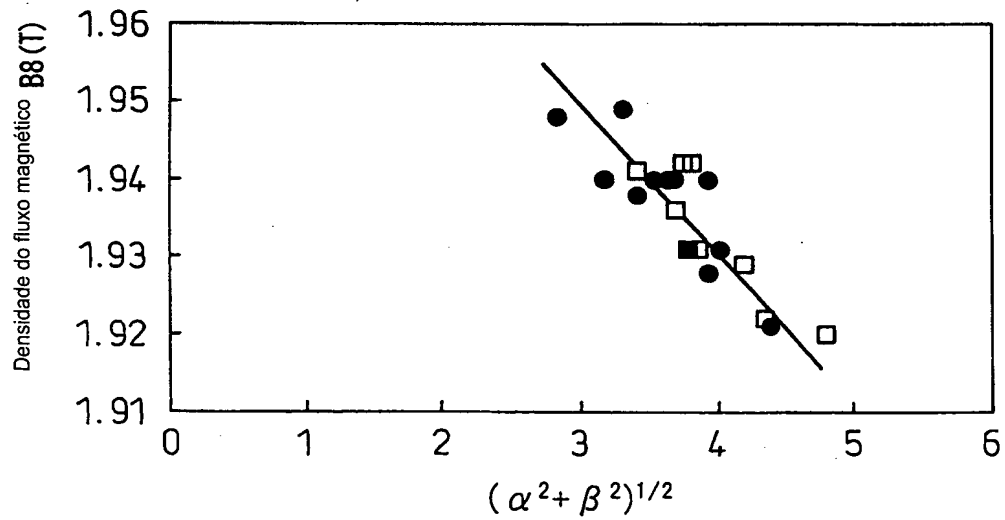


Fig.6

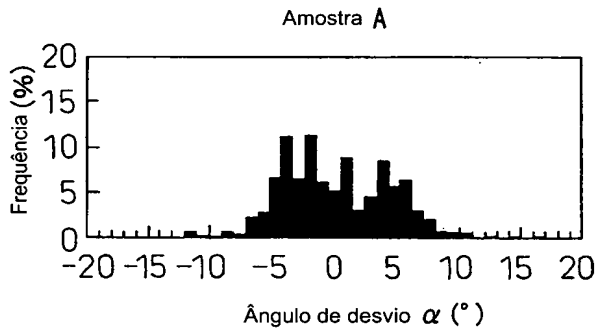
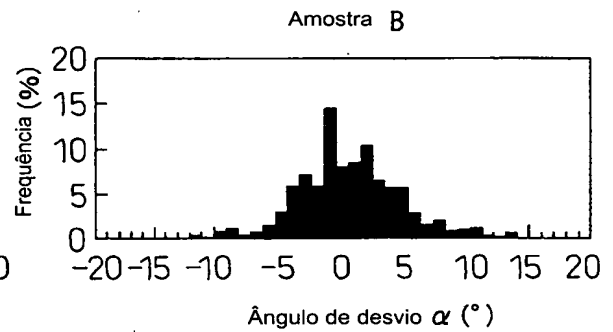
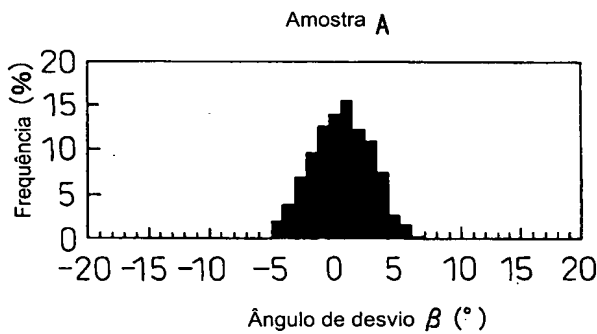
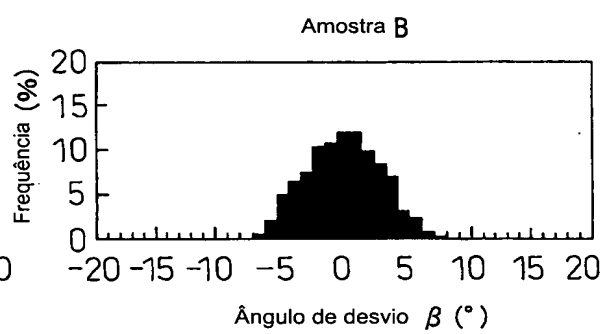
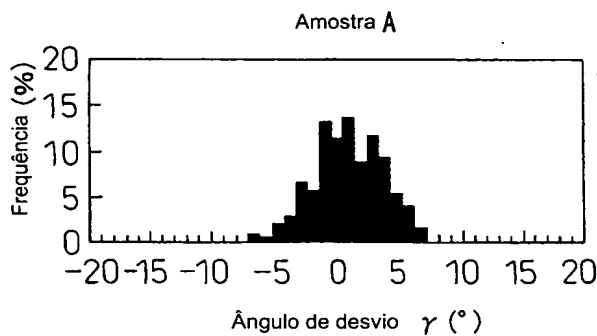
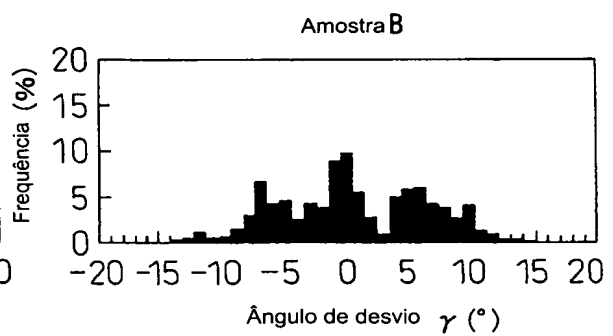
(a) $\alpha = 3.5^\circ$ (b) $\alpha = 3.4^\circ$ (c) $\beta = 1.9^\circ$ (d) $\beta = 2.7^\circ$ (e) $\gamma = 2.3^\circ$ (f) $\gamma = 5.5^\circ$ 

Fig.7

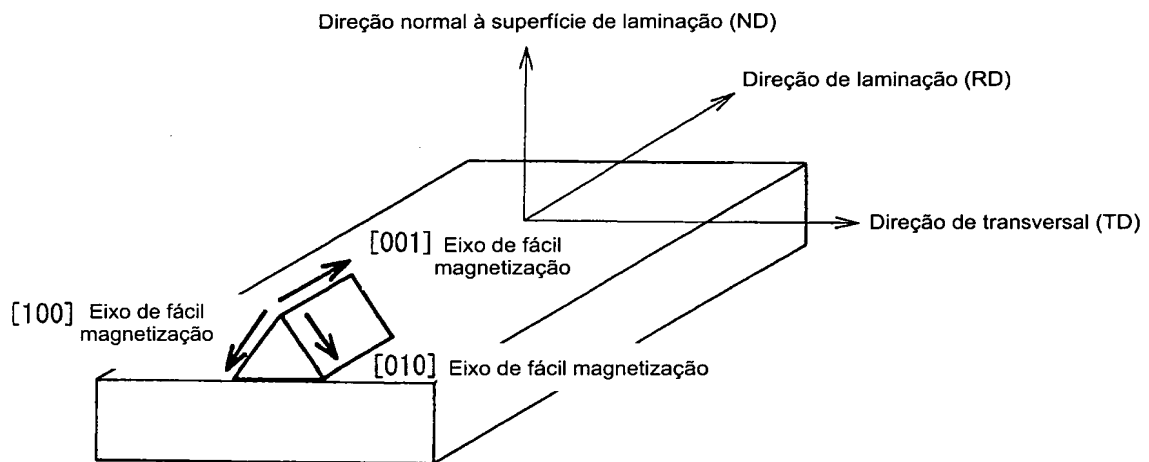
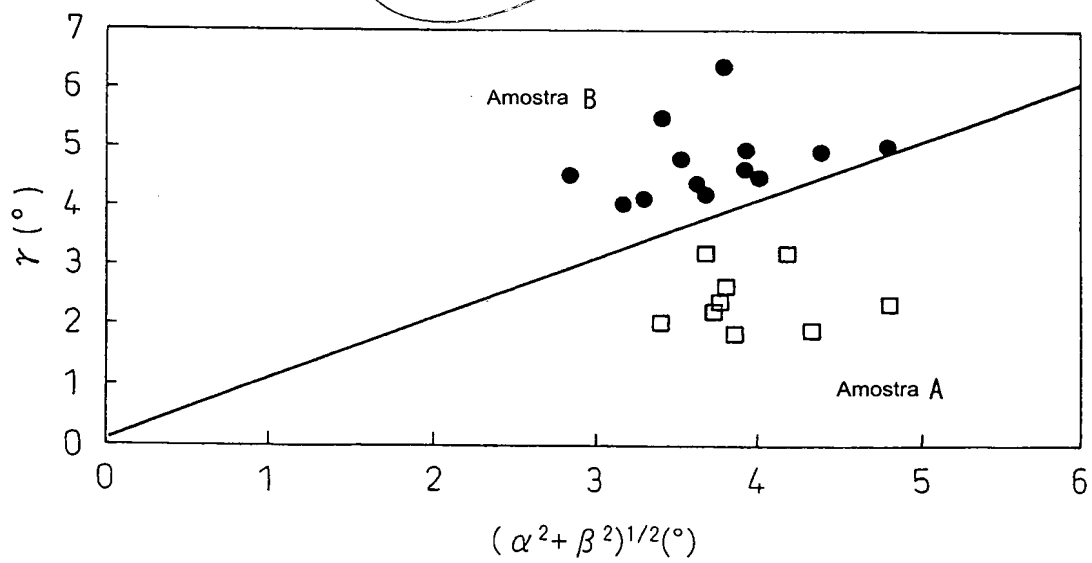


Fig.8



RESUMO

Patente de Invenção: **"FOLHA DE AÇO ELÉTRICA DE GRÃO ORIENTADO COM CARACTERÍSTICA SUPERIOR DE PERDA DE CENTRO".**

- 5 Folha de aço elétrica de grão orientado superior em característica da perda de centro que contém Si: 0,8 a 7% em massa e que tem uma textura secundária recristalizada com uma orientação $\{110\}\langle 001 \rangle$ como a orientação principal, caracterizada pelo fato de que os ângulos médios de desvio α , β e γ da orientação ideal $\{110\}\langle 001 \rangle$ da textura secundária recristalizada satisfazem $(\alpha^2 + \beta^2)^{1/2} \leq \gamma$, em que α : ângulo médio de desvio de orientação ideal $\{110\}\langle 001 \rangle$ em torno da direção normal de laminação (ND) de
- 10 textura secundária recristalizada, β : ângulo médio de desvio de orientação ideal $\{110\}\langle 001 \rangle$ em torno da direção transversal (TD) de textura secundária recristalizada e γ : ângulo médio de desvio de orientação ideal $\{110\}\langle 001 \rangle$ em torno da direção de laminação (RD) de textura secundária recristalizada.