



\*PI 04103335\*  
\*PI 04103335\*

**REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL**  
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR  
**INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL**

## CARTA PATENTE Nº PI 0410333-5

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: PI 0410333-5

(22) Data do Depósito: 10/05/2004

(43) Data da Publicação do Pedido: 25/11/2004

(51) Classificação Internacional: C21D 8/12

(30) Prioridade Unionista: 14/05/2003 US 10/436,571

(54) Título: PROCESSO PARA PRODUÇÃO DE UM AÇO ELÉTRICO NÃO-ORIENTADO

(73) Titular: AK PROPERTIES, INC., Sociedade Norte Americana. Endereço: Intellectual Property Section, 705 Curtis Street, Middletown - OH 45044, Estados Unidos da América (US).

(72) Inventor: JERRY W. SCHOEN; ROBERT COMSTOCK, JR.

Prazo de Validade: 10 (dez) anos contados a partir de 18/02/2015, observadas as condições legais.

Expedida em: 18 de Fevereiro de 2015.

Assinado digitalmente por:

**Liane Elizabeth Caldeira Lage**  
Diretora de Patentes Substituta



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**PROCESSO PARA PRODUÇÃO DE UM AÇO ELÉTRICO NÃO-ORIENTADO**".

Referência Cruzada Para Pedido de Patente Relacionado

Este pedido é uma continuação do pedido de patente não provisório US 10/436.571, depositado em 14 de maio de 2003, intitulado MÉTODO APERFEIÇOADO PARA PRODUÇÃO DE TIRA DE AÇO ELÉTRICO NÃO-ORIENTADO.

Antecedentes da Invenção

Aços elétricos não-orientados são amplamente usados como o material de núcleo magnético em uma variedade de máquinas e dispositivos elétricos, particularmente em motores onde baixa perda de núcleo e alta permeabilidade magnética em todas as direções da folha são desejadas. A presente invenção refere-se a um método para produção de um aço elétrico não-orientado com baixa perda de núcleo e alta permeabilidade magnética pelo que uma fusão de aço é solidificada como um lingote ou placa contínua e submetido a laminação a quente e laminação a frio para prover uma tira acabada. A tira acabada é provida com pelo menos um tratamento de recozimento onde as propriedades magnéticas se desenvolvem, tornando a folha de aço da presente invenção apropriada para uso em maquinaria elétrica como motores ou transformadores.

Aços elétricos não-orientados comercialmente disponíveis são tipicamente divididos em duas classificações: aços de laminação de motor laminados frios ("CRML") e aços elétricos não-orientados laminados a frio ("CRNO"). CRML é genericamente usado em aplicações onde o requisito de perdas de núcleo muito baixas é difícil de se justificar economicamente. Tais aplicações tipicamente requerem que o aço elétrico não-orientado tenha um máximo de perda de núcleo de cerca de 9 w/kg (4 watts/libra) e um mínimo de permeabilidade magnética de cerca de 1500 G/Oe (Gauss/Oersted) medido em 1,5T e 60 Hz. Em tais aplicações, a folha de aço é tipicamente processada para uma espessura nominal de cerca de 0,45 mm (0,018 polegada) a cerca de 0,76 mm (0,030 polegada). CRNO é genericamente usado em aplicações de mais demanda onde melhores propriedades magnéticas

são requeridas. Tais aplicações tipicamente requerem que o aço elétrico não-orientado tenha uma perda de núcleo máxima de cerca de 4,4 W/kg (2w/libra) e uma permeabilidade magnética mínima de cerca de 2000 G/Oe medida em 1,5T e 60 Hz. Em tais aplicações, a folha de aço é tipicamente processada para uma espessura nominal de cerca de 0,15 mm (0,006 polegada) a cerca de 0,63 mm (0,025 polegada).

Aços elétricos não-orientados são genericamente providos em duas formas, comumente referidas como aços "semiprocessado" ou "inteiramente processado". "Semiprocessado" infere que o produto tem de ser temperado antes de uso para desenvolver próprio tamanho de grão e textura, alívio de tensões de fabricação e, se necessário, prover níveis de carbono apropriadamente baixos para evitar envelhecimento. "Inteiramente processado" infere que as propriedades magnéticas foram inteiramente desenvolvidas antes da fabricação da folha em laminações, ou seja, o tamanho de grão e textura foram estabelecidos e o teor de carbono foi reduzido para cerca de 0,003% em peso ou menos para prevenir envelhecimento magnético. Estes graus não requerem recozimento após fabricação em laminações a menos que assim desejado para alívio de tensões de fabricação. Aços elétricos não-orientados são predominantemente usados em dispositivos rotatórios, tais como motores ou geradores, onde propriedades magnéticas uniformes são desejadas em todas as direções com relação à direção de laminação de folha.

As propriedades magnéticas de aços elétricos não-orientados podem ser afetadas por espessura, resistividade de volume, tamanho de grão, pureza química e textura cristalográfica da folha acabada. A perda de núcleo causada por correntes de Foucault podem ser feitas menores através de redução de espessura da folha de aço acabado, aumento de teor de liga da folha de aço para aumentar a resistividade de volume ou ambos em combinação.

Nos métodos estabelecidos usados para fabricação de aços elétricos não-orientados, adições de liga típicas mas não-limitantes de silício, alumínio, manganês e fósforo são empregadas. Aços elétricos não-orien-

tados podem conter até cerca de 6,5% em peso de silício, até cerca de 3% em peso de alumínio, carbono até cerca de 0,05% em peso (que tem de ser reduzido para abaixo de cerca de 0,003% em peso durante processamento para prevenir envelhecimento magnético), até cerca de 0,01% em peso de nitrogênio, até 0,01% em peso de enxofre e o balanço de ferro com outras impurezas incidentais ao método de fabricação de aço.

Obtenção de um tamanho de grão apropriadamente grande após recozimento de acabamento é desejado para ótimas propriedades magnéticas. A pureza da folha recozida acabada pode ter um efeito significativo sobre as propriedades magnéticas uma vez que a presença de uma fase dispersa, inclusões e/ou precipitados pode inibir crescimento de grão normal e prevenir obtenção de desejados tamanho e textura de grãos e, pelo que, as desejadas perda de núcleo e permeabilidade magnética, na forma de produto final. Também, inclusões e/ou precipitados durante recozimento de acabamento impedem movimento de parede de domínio durante magnetização CA, ainda degradando as propriedades magnéticas na forma de produto final. Como notado acima, a textura cristalográfica da folha acabada, ou seja, a distribuição das orientações dos grãos de cristal compreendendo a folha de aço elétrica, é muito importante na determinação de perda de núcleo e permeabilidade magnética na forma de produto final. Os componentes de textura  $\langle 100 \rangle$  e  $\langle 110 \rangle$  como definidos por índices Millers têm maior permeabilidade magnética; ao contrário, os componentes de textura tipo  $\langle 111 \rangle$  têm menor permeabilidade magnética.

Aços elétricos não-orientados são diferenciados por proporções de adições tais como silício, alumínio e elementos semelhantes. Tais adições de formação de liga servem para aumentar resistividade de volume, provendo supressão de correntes de Foucault durante magnetização CA, e pelo que diminuindo perda de núcleo. Estas adições também aperfeiçoam as características de funcionamento do aço através de aumento de dureza. O efeito de adições de formação de liga sobre resistividade de volume de ferro é mostrado na Equação I:

$$(I) \rho = 13 + 6,25(\%Mn) + 10,52(\%Si) + 11,82(\%Al) + 6,5(\%Cr) + 14(\%P)$$

onde  $\rho$  é a resistividade de volume, em  $\mu\Omega\text{-cm}$ , do aço e % Mn, % Si, % Al, % Cr, e % P são, respectivamente, as porcentagens em peso de manganês, silício, alumínio, cromo e fósforo no aço.

Aços contendo menos que cerca de 0,5% em peso de silício e  
5 outras adições para provimento de uma resistividade de volume de até cerca de 20  $\mu\Omega\text{-cm}$  podem ser genericamente classificados como aços de laminação de motor; aços contendo cerca de 0,5 a 1,5% em peso de silício ou outras adições para provimento de uma resistividade de volume de cerca de 20  $\mu\Omega\text{-cm}$  a cerca de 30  $\mu\Omega\text{-cm}$  podem ser genericamente classificados como  
10 aços de baixo teor de silício; aços contendo cerca de 1,5 a 3,0% em peso de silício ou outras adições para provimento de uma resistividade de volume de cerca de 30  $\mu\Omega\text{-cm}$  a cerca de 45  $\mu\Omega\text{-cm}$  pode ser genericamente classificado como aços silício intermediários; e, por último, aços contendo mais que cerca de 3,0% em peso de silício ou outras adições para provimento de um  
15 volume de resistividade maior que cerca de 45  $\mu\Omega\text{-cm}$  pode ser genericamente classificado como aços de alto teor de silício.

Adições de silício e alumínio têm efeitos prejudiciais sobre aços. Grandes adições de silício são bem conhecidas tornarem o aço mais quebradiço, particularmente em níveis de silício maiores que cerca de 2,5%, e  
20 mais sensível à temperatura, ou seja, a temperatura de transição dútil-para-quebradiço pode aumentar. Silício também pode reagir com nitrogênio para formação de inclusões de nitreto que podem degradar as propriedades físicas e causarem "envelhecimento" magnético do aço elétrico não-orientado. Propriamente empregadas, adições de alumínio podem minimizar o efeito de  
25 nitrogênio sobre a qualidade física e magnética do aço elétrico não-orientado na medida em que alumínio reage com nitrogênio para formar inclusões de nitreto de alumínio durante o resfriamento após fundição e/ou aquecimento antes de laminação a quente. Entretanto, adições de alumínio podem impactar fusão e moldagem de aço a partir de mais agressivo desgaste de materiais refratários e, em particular, entupimento de componentes refratários usa-  
30 dos para alimentar o aço líquido durante moldagem de placa. Alumínio também pode afetar qualidade de superfície da tira laminada a quente tornando

a remoção da incrustação de óxido antes de laminação a frio mais difícil.

Adições de formação de liga para ferro tais como silício, alumínio e semelhantes também afetam a quantidade de austenita como mostrado na Equação II:

$$(II) \gamma_{1150^{\circ}\text{C}} = 64,8 - 23 \cdot \text{Si} - 61 \cdot \text{Al} + 9,9 \cdot (\text{Mn} + \text{Ni}) + 5,1 \cdot (\text{Cu} + \text{Cr}) - 14 \cdot \text{P} + 694 \cdot \text{C} + 347 \cdot \text{N}$$

onde  $\gamma_{1150^{\circ}\text{C}}$  é porcentagem de volume de austenita formada em  $1150^{\circ}\text{C}$  ( $2100^{\circ}\text{F}$ ) e % Si, % Al, % Cr, % Mn, % P, % Cr, % Ni, % C, e % N são, respectivamente, as porcentagens em peso de silício, alumínio, manganês, fósforo, cromo, níquel, cobre, carbono e nitrogênio no aço. Tipicamente, ligas contendo em excesso de cerca de 2,5% de Si são inteiramente ferríticas, ou seja, nenhuma transformação de fase da fase ferrita cúbica – centro – corpo para a fase austenita cúbica - centrada – face ocorre durante aquecimento ou resfriamento. É comumente conhecido que a fabricação de aços elétricos inteiramente ferríticos usando moldagem de placa fina ou espessa é complicada devido a uma tendência para "formação de sulco". Formação de sulco é um defeito resultante de não-uniformidades localizadas na estrutura metalúrgica da folha de aço laminada a quente.

Os métodos para a produção de aços elétricos não-orientados discutidos acima são bem estabelecidos. Estes métodos tipicamente envolvem preparação de uma fusão de aço tendo a desejada composição; moldagem de fusão de aço em um lingote ou placa tendo uma espessura de cerca de 50 mm (2 polegadas) a cerca de 500 mm (20 polegadas); aquecimento de lingote ou placa para uma temperatura tipicamente maior que cerca de  $1040^{\circ}\text{C}$  ( $1900^{\circ}\text{F}$ ); e, laminação a quente para uma espessura de folha de cerca de 1 mm (0,040 polegada) ou mais. A folha laminada a quente é subsequentemente processada através de uma variedade de rotas que podem incluir decapagem ou, opcionalmente, recozimento de banda quente antes de ou após decapagem; laminação a frio em uma ou mais etapas para a desejada espessura de produto; e, recozimento de acabamento, algumas vezes seguida por uma laminação de encruamento, para desenvolver as desejadas propriedades magnéticas.

No método exemplar mais comum para a produção de um aço elétrico não-orientado, uma placa tendo uma espessura de mais que cerca de 100 mm (4 polegadas) e menos que cerca de 370 mm (15 polegadas) é continuamente moldada; reaquescida para uma temperatura elevada antes de uma etapa de desbastamento quente onde a placa é convertida em uma barra de transferência tendo uma espessura de cerca de 10 mm (0,4 polegada) e menos que cerca de 75 mm (3 polegadas); e laminada a quente para produzir uma tira tendo uma espessura de mais que cerca de 1 mm (0,04 polegada) e menos que cerca de 10 mm (0,4 polegada) apropriada para ainda processamento. Como notado acima, métodos de moldagem de placa espessa rendem a oportunidade para múltiplas etapas de redução quente que, se propriamente empregadas, podem ser usadas para provimento de uma microestrutura metalúrgica laminada a quente uniforme necessária para evitar a ocorrência de um defeito comumente conhecido como "formação de sulco". Entretanto, as práticas necessárias são freqüentemente incompatíveis com ou indesejáveis para operação do equipamento de moinho.

Em anos recentes, avanços tecnológicos em moldagem de placa fina foram feitos. Em um exemplo deste método, um aço elétrico não-orientado é produzido a partir de uma placa de moldagem tendo uma espessura de mais que cerca de 25 mm (1 polegada) e menos que cerca de 100 mm (4 polegadas) que é imediatamente aquecida antes de laminação a quente para produzir uma tira tendo uma espessura de mais que cerca de 1 mm (0,04 polegada) e menos que cerca de 10 mm (0,4 polegada) apropriada para ainda processamento. Entretanto, embora produção de graus de laminação motor de aços elétricos não-orientados tenha sido compreendida, a produção de aços elétricos não-orientados inteiramente ferríticos tendo a qualidade magnética e física muito alta foi satisfeita somente com sucesso limitado devido a problemas de "formação de sulco". Em parte, moldagem de placa fina é mais restringida devido à quantidade de e flexibilidade em redução quente a partir da placa como-moldada para tira laminada a quente acabada é mais limitada do que quando métodos de moldagem de placa espes-

sa são empregados.

Pelas razões mencionadas acima, existe uma necessidade sentida por longo tempo de desenvolvimento de um meio para produção de graus mais altos de aços elétricos não-orientados usando métodos que são mais compatíveis com as capacidades oferecidas por moldagem de placa espessa e fina e que são de menor custo para fabricação.

#### Descrição das Figuras

Figura 1. Um desenho esquemático do campo de fase austenita como uma função de temperatura mostrando as temperaturas  $T_{min}$  e  $T_{max}$  críticas.

Figura 2. Fotografias da microestrutura de Aquecimento A após as placas moldadas serem aquecidas e laminadas quentes usando as reduções mostradas.

Figura 3. Fotografias da microestrutura de Aquecimento B após as placas moldadas serem aquecidas e laminadas quentes usando as reduções mostradas.

Figura 4. Um gráfico da quantidade calculada de austenita em várias temperaturas caracterizando os campos de fase austenita de Aquecimentos C, D, E, e F da Tabela 1.

#### Sumário da Invenção

O principal objeto da presente invenção é a exposição de uma composição aperfeiçoada para a produção de um aço elétrico não-orientado com excelentes características físicas e magnéticas a partir de uma placa de moldagem contínua.

Os objetos acima e outros importantes da presente invenção são obtidos por um aço tendo uma composição na qual os teores de silício, alumínio, cromo, manganês e carbono são como se segue:

- i. silício: até cerca de 6,5%
- ii. alumínio: até cerca de 3%
- iii. cromo: até cerca de 5%
- iv. manganês: até cerca de 3%
- v. carbono: até cerca de 0,05%.

Em adição, o aço pode ter antimônio em uma quantidade de até 0,15%; nióbio em uma quantidade de até cerca de 0,005%; nitrogênio em uma quantidade de até cerca de 0,01%; fósforo em uma quantidade de até cerca de 0,25%; enxofre e/ou selênio em uma quantidade de até cerca de 0,01%; estanho em uma quantidade de até cerca de 0,15%; titânio em uma quantidade de até cerca de 0,01%; e vanádio em uma quantidade de até cerca de 0,01% com o balanço sendo ferro e resíduos incidentais ao método de fabricação de aço.

Em uma composição preferida, estes elementos estão presentes nas seguintes quantidades:

- i. silício: cerca de 1% a cerca de 3,5%;
- ii. alumínio: até cerca de 1%;
- iii. cromo: cerca de 0,1% a cerca de 3%;
- iv. manganês: cerca de 0,1% a cerca de 1%;
- v. carbono: até cerca de 0,01%;
- vi. enxofre: até cerca de 0,01%;
- vii. selênio: até cerca de 0,01%; e
- viii. nitrogênio: até cerca de 0,005%.

Em uma composição mais preferida, estes elementos estão presentes nas seguintes quantidades:

- i. silício: cerca de 1,5% a cerca de 3%;
- ii. alumínio: até cerca de 0,5%;
- iii. cromo: cerca de 0,15% a cerca de 2%;
- iv. manganês: cerca de 0,1% a cerca de 0,35%;
- v. carbono: até cerca de 0,005%;
- vi. enxofre: até cerca de 0,005%;
- vii. selênio: até cerca de 0,007%; e
- viii. nitrogênio: até cerca de 0,002%.

Em uma modalidade, a presente invenção provê um método para produzir um aço elétrico não-orientado a partir de uma fusão de aço contendo silício e outras adições de formação de liga ou impurezas incidentais ao método de fabricação de aço que é subsequente moldado em uma

placa tendo uma espessura de cerca de 20 mm (0,8 polegada) a cerca de 375 mm (15 polegadas), reauecida a uma temperatura elevada e laminada a quente em uma tira de uma espessura de cerca de 0,35 mm (0,014 polegada) a cerca de 1,5 mm (0,06 polegada). O aço elétrico não-orientado deste método pode ser usado após um tratamento de recozimento de acabamento é provido para desenvolver as desejadas características magnéticas para uso em um motor, transformador ou dispositivo semelhante.

Em uma segunda modalidade, a presente invenção provê um método pelo qual um aço elétrico não-orientado é produzido a partir de uma fusão de aço contendo silício e outras adições de formação de liga ou impurezas incidentais para o método de fabricação de aço que é moldada em uma placa tendo uma espessura de cerca de 20 mm (0,8 polegada) a cerca de 375 mm (15 polegadas), reauecida e laminada a quente em uma tira de uma espessura de cerca de 1 mm (0,04 polegada) a cerca de 10 mm (0,4 polegada) que é subsequêntemente resfriada, decapada, laminada a frio e recozida acabada para desenvolver as desejadas características magnéticas para uso em um motor, transformador ou dispositivo semelhante. Em uma forma opcional desta modalidade, a tira laminada a frio pode ser recozida antes de ser laminada a frio e recozida acabada.

Na prática das modalidades acima, uma fusão de aço contendo silício, cromo, manganês e adições semelhantes é preparada pelo que a composição provê uma resistividade de volume de pelo menos  $20 \mu\Omega\text{-cm}$  como definida usando Equação I e uma fração de volume de austenita de pico,  $\gamma_{1150^\circ\text{C}}$ , é maior que 0% em peso como definido usando Equação II. Na prática preferida, mais preferida, e ainda mais preferida da presente invenção,  $\gamma_{1150^\circ\text{C}}$  é pelo menos 5%, 10% e pelo menos 20%, respectivamente.

Na prática das modalidades acima, as placas moldadas ou finas não podem ser aquecidas a uma temperatura excedendo  $T_{\text{max}} 0\%$  como definido na Equação IIIa antes de laminação a quente em tira.  $T_{\text{max}} 0\%$  é o limite de temperatura alta do campo de fase austenita no qual 100% de ferrita está presente na liga e abaixo do qual uma pequena porcentagem de austenita está presente na liga. Isto é ilustrado na Figura 1. Através de assim limi-

- tando a temperatura de aquecimento, o anormal crescimento de grão causado por retransformação da austenita em ferrita durante rea aquecimento de placa é evitado. Na prática preferida das modalidades acima, as placas moldadas ou finas não podem ser aquecidas a uma temperatura excedendo
- 5  $T_{max}$  5% como definido em Equação IIIb antes de laminação a quente em tira. Similarmente,  $T_{max}$  5% é a temperatura na qual 95% de ferrita e 5% de austenita estão presentes na liga, justo abaixo de limite de campo de fase austenita de alta temperatura. Na prática mais preferida, as placas moldadas ou finas não podem ser aquecidas a uma temperatura excedendo  $T_{max}$  10%.
- 10 Na prática mais preferida das modalidades acima, as placas moldadas ou finas não podem ser aquecidas a uma temperatura excedendo  $T_{max}$  20% como definido na Equação IIIc antes de laminação a quente em tira.  $T_{max}$  10% e  $T_{max}$  20% são as temperaturas nas quais 10% e 20% de austenita estão presentes na liga, respectivamente, em uma temperatura excedendo a
- 15 porcentagem em peso de austenita de pico.  $T_{max}$  5%,  $T_{max}$  10%, e  $T_{max}$  20% também são ilustradas na Figura 1.

$$(IIIa) T_{max}0\%, \text{ }^{\circ}\text{C} = 1463 + 3401(\%C) + 147(\%Mn) - 378(\%P) - 109(\%Si) - 248(\%Al) - 0,79(\%Cr) - 78,8(\%N) + 28,9(\%Cu) + 143(\%Ni) - 22,7(\%Mo)$$

20

$$(IIIb) T_{max} 5\%, \text{ }^{\circ}\text{C} = 1479 + 3480(\%C) + 158(\%Mn) - 347(\%P) - 121(\%Si) - 275(\%Al) + 1,42(\%Cr) - 195(\%N) + 44,7(\%Cu) + 140(\%Ni) - 132(\%Mo)$$

25

$$(IIIc) T_{max}20\%, \text{ }^{\circ}\text{C} = 1633 + 3970(\%C) + 236(\%Mn) - 685(\%P) - 207(\%Si) - 455(\%Al) + 9,64(\%Cr) - 706(\%N) + 55,8(\%Cu) + 247(\%Ni) - 156(\%Mo)$$

- A placa moldada e rea aquecida tem de ser laminada a quente de modo que pelo menos um passe de redução seja realizado em uma temperatura onde a estrutura metalúrgica do aço seja compreendida por austenita. A prática das modalidades acima inclui um passe de redução quente em
- 30 uma temperatura que é maior que cerca de  $T_{min}$  0% ilustrada na Figura 1 e uma temperatura máxima de menos que cerca de  $T_{max}$  0% como definida na

Equação IIIa, ilustrada na Figura 1. A prática preferida das modalidades acima inclui um passe de redução quente em uma temperatura que é maior que cerca de  $T_{\min}$  5% de Equação IVa e uma temperatura máxima de menos que cerca de  $T_{\max}$  5% como definido na Equação IIIb. A prática mais preferida das modalidades acima inclui um passe de redução quente em uma temperatura que é maior que cerca de  $T_{\min}$  10% e uma temperatura máxima de menos que cerca de  $T_{\max}$  10%, ilustrada na Figura 1. A prática mais preferida das modalidades acima inclui um passe de redução quente em uma temperatura que é maior que cerca de  $T_{\min}$  20% de Equação IVb e uma temperatura máxima de menos que cerca de  $T_{\max}$  20% como definida na Equação IIIc.

$$(IVa) \quad T_{\min}5\%, \text{ } ^\circ\text{C} = 921 - 5998(\%C) - 106(\%Mn) + 135(\%P) + 78,5(\%Si) + 107(\%Al) - 11,9(\%Cr) + 896(\%N) + 8,33(\%Cu) - 146(\%Ni) + 173(\%Mo)$$

$$(IVb) \quad T_{\min}20\%, \text{ } ^\circ\text{C} = 759 - 4430(\%C) - 194(\%Mn) + 445(\%P) + 181(\%Si) + 378(\%Al) - 29,0(\%Cr) - 48,8(\%N) - 68,1(\%Cu) - 235(\%Ni) + 116(\%Mo)$$

A prática das modalidades acima inclui pelo menos um passe de redução quente para prover uma deformação nominal ( $\varepsilon_{\text{nominal}}$ ), após laminação a quente de pelo menos 700 calculada usando Equação V como:

$$(V) \quad \varepsilon_{\text{nominal}} = \left[ \frac{2\pi n}{t_i} \sqrt{D(t_i - t_f)} \left( 1.25 - \frac{t_f}{4t_f} \right) \right]^{0.15} \exp\left(\frac{7616}{T}\right) \ln\left(\frac{t_i}{t_f}\right)$$

A prática das modalidades acima pode incluir uma etapa de recozimento antes de laminação a frio cuja etapa de recozimento é conduzida em uma temperatura que é menos que  $T_{\min}$  20% de Equação IVb. A prática preferida das modalidades acima pode incluir uma etapa de recozimento antes de laminação a frio cuja etapa de recozimento é conduzida em uma temperatura que é menos que  $T_{\min}$  10%. A prática mais preferida das modalidades acima pode incluir uma etapa de recozimento antes de laminação a frio cuja etapa de recozimento é conduzida em uma temperatura que é menos que a  $T_{\min}$  5% de Equação IVa. A prática mais preferida das modalida-

des acima pode incluir uma etapa de recozimento antes de laminação a frio cuja etapa de recozimento é conduzida em uma temperatura que é menor que a  $T_{min}$  0%.

5 A prática das modalidades acima tem de incluir um recozimento de acabamento onde as propriedades magnéticas da tira são desenvolvidas cuja etapa de recozimento é conduzida em uma temperatura que é menor que  $T_{min}$  20% (Equação IVb). A prática preferida das modalidades acima tem de incluir um recozimento de acabamento onde as propriedades magnéticas da tira são desenvolvidas cuja etapa de recozimento é conduzida em uma  
10 temperatura que é menor que  $T_{min}$  10% (ilustrado na Figura 1). A prática mais preferida das modalidades acima tem de incluir um recozimento de acabamento onde as propriedades magnéticas da tira são desenvolvidas cuja etapa de recozimento é conduzida em uma temperatura que é de menos que  $T_{min}$  5% (Equação IVa). A prática mais preferida das modalidades  
15 acima tem de incluir um recozimento de acabamento onde as propriedades magnéticas da tira são desenvolvidas cuja etapa de recozimento é conduzida em uma temperatura que é menor que  $T_{min}$  0% (ilustrada na Figura 1).

A menos que de outro modo definido, todos os termos técnicos e científicos aqui usados têm o mesmo significado como comumente entendido por aqueles versados na técnica. Embora métodos e materiais similares  
20 ou equivalentes àqueles aqui descritos possam ser usados na prática ou teste da presente invenção, apropriados métodos e materiais são descritos abaixo. Todas as publicações, pedidos de patente, patentes, e outras referências aqui mencionadas são incorporadas por referência em sua totalidade. Em caso de conflito, o presente relatório descritivo, incluindo definições,  
25 controlará. Em adição, os materiais, métodos, e exemplos são somente ilustrativos e não pretendidos serem limitantes. Outras características e vantagens da invenção serão aparentes a partir da seguinte descrição detalhada e reivindicações.

### 30 Descrição Detalhada da Invenção

De modo a prover um entendimento claro e consistente do relatório descritivo e reivindicações, incluindo o escopo a ser dado a tais termos,

são providas as seguintes definições.

Os termos "ferrita" e "austenita" são usados para descreverem as específicas formas cristalinas de aço. "Ferrita" ou "aço ferrítico" tem uma forma cristalina de corpo-centrado-cúbico, ou "bcc", enquanto "austenita" ou "aço austenítico" tem uma forma cristalina de face-centrada-cúbica ou "fcc". O termo "aço inteiramente ferrítico" é usado para descrever aços que não sofrem qualquer transformação de fase entre as formas de fase cristal ferrita e austenita no curso de resfriamento a partir da fusão e/ou em reaquecimento para laminação a quente, independente de sua microestrutura final em temperatura ambiente.

Os termos "tira" e "folha" são usados para descreverem as características físicas do aço no relatório descritivo e reivindicações sendo compreendido por pelo menos um aço sendo de uma espessura de menos que cerca de 10 mm (0,4 polegada) e de uma largura tipicamente em excesso de cerca de 250 mm (10 polegadas) e mais tipicamente em excesso de cerca de 1000 mm (40 polegadas). O termo "tira" não tem limitação de largura mas tem uma largura substancialmente maior que espessura.

Na prática da presente invenção, uma fusão de aço contendo adições de formação de liga de silício, cromo, manganês, alumínio e fósforo é empregada.

Para iniciar fabricação de aços elétricos da presente invenção, uma fusão de aço pode ser produzida usando os métodos genericamente estabelecidos de fusão, refino e formação de liga de aço. A composição de fusão compreende genericamente até cerca de 6,5% de silício, até cerca de 3% de alumínio, até cerca de 5% de cromo, até cerca de 3% de manganês, até cerca de 0,01% de nitrogênio, e até cerca de 0,05% de carbono como o balanço sendo essencialmente ferro e elementos residuais incidentais para o método de fabricação de aço. Uma composição preferida compreende de cerca de 1% a cerca de 3,5% de silício, até cerca de 1% de alumínio, cerca de 0,1% a cerca de 3% de cromo, cerca de 0,1% a cerca de 1% de manganês, até cerca de 0,01% de enxofre e/ou selênio, até cerca de 0,005% de nitrogênio e até cerca de 0,01% de carbono. Em adição, o aço preferido po-

de ter quantidades residuais de elementos, tais como titânio, nióbio, e/ou vanádio, em quantidades não excedendo cerca de 0,005%. Um aço mais preferido compreende cerca de 1,5% a cerca de 3% de silício, até cerca de 0,5% de alumínio, cerca de 0,15% a cerca de 2% de cromo, até cerca de 5 0,005% de carbono, até cerca de 0,008% de enxofre ou selênio, até cerca de 0,002% de nitrogênio, cerca de 0,1% a cerca de 0,35% de manganês e o balanço ferro com resíduos ocorrendo normalmente. O aço também pode incluir outros elementos como antimônio, arsênico, bismuto, fósforo e/ou estanho em quantidades de até cerca de 0,15%. O aço também pode incluir 10 cobre, molibdênio e/ou níquel em quantidades de até cerca de 1% individualmente ou em combinação. Outros elementos podem estar presentes tanto como adições deliberadas como presentes como elementos residuais, isto é, impurezas, do método de fusão de aço. Métodos exemplares para preparação de fusão de aço incluem oxigênio, arco elétrico (EAF) ou fusão de indução de vácuo (VIM). Métodos exemplares para ainda refino e/ou fabricação 15 de adições de liga à fusão de aço incluem um forno de metalurgia de colher de suspensão (LMF), vaso de descarburização de oxigênio a vácuo (VOD) e/ou reator de descarburização com argônio – oxigênio (AOD).

Silício está presente nos aços da presente invenção em uma 20 quantidade de cerca de 0,5% a cerca de 6,5% e, preferivelmente, cerca de 1% a cerca de 3,5% e, mais preferivelmente, cerca de 1,5% a cerca de 3%. Adições de silício servem para aumentar resistividade de volume, estabilizar a fase ferrita e aumentar dureza para aperfeiçoadas características de punção na tira acabada; entretanto, em níveis acima de cerca de 2,5%, 25 silício é conhecido tornar o aço mais quebradiço.

Cromo está presente nos aços da presente invenção em uma quantidade de até cerca de 5% e, preferivelmente, cerca de 0,1% a cerca de 3% e, mais preferivelmente, cerca de 0,15% a cerca de 2%. Adições de cromo servem para aumentar resistividade de volume; entretanto, seu efeito 30 tem de ser considerado de modo a manter o desejado balanço de fase e características microestruturais.

Manganês está presente em aços da presente invenção em uma

quantidade de até cerca de 3% e, preferivelmente, cerca de 0,1% a cerca de 1% e, mais preferivelmente cerca de 0,1% a cerca de 0,35%. Adições de manganês servem para aumentar resistividade de volume; entretanto, manganês é conhecido na técnica para diminuir a taxa de crescimento de grão durante o recozimento de acabamento. Devido a isto, a utilidade de grandes adições de manganês deve ser considerada cuidadosamente com relação ao desejado balanço de fase e características de microestrutura no produto acabado.

Alumínio está presente nos aços da presente invenção em uma quantidade de até cerca de 3% e, preferivelmente, até cerca de 1% e, mais preferivelmente até cerca de 0,5%. Adições de alumínio servem para aumentar resistividade de volume, estabilizar a fase ferrita e aumentar dureza para aperfeiçoadas características de funcionamento na tira acabada. Entretanto, a utilidade de grandes adições de alumínio tem de ser cuidadosamente considerada na medida em que alumínio acelera deterioração de refratários de fabricação de aço. Além disso, consideração cuidadosa de condições de processamento são necessárias para prevenir a precipitação de nitreto de alumínio fino durante laminação a quente. Por último, grandes adições de alumínio podem causar o desenvolvimento de uma incrustação de óxido mais aderente, tornando retirada de incrustação da folha mais difícil e onerosa.

Enxofre e selênio são elementos indesejáveis nos aços da presente invenção em que eles elementos podem se combinar com outros elementos para formação de precipitados que podem impedir crescimento de grão durante processamento. Enxofre é um resíduo comum em fusão de aço. Enxofre e/ou selênio, quando presentes nos aços da presente invenção, podem estar em uma quantidade de até cerca de 0,01%. Preferivelmente enxofre pode estar presente em uma quantidade de até cerca de 0,005% e selênio em uma quantidade de até cerca de 0,007%.

Nitrogênio é um elemento indesejável nos aços da presente invenção em que nitrogênio pode se combinar com outros elementos e formar precipitados que podem impedir crescimento de grão durante processamento. Nitrogênio é um resíduo comum em fusão de aço e, quando presente nos

aços da presente invenção, pode estar em uma quantidade de até cerca de 0,01% e, preferivelmente, até cerca de 0,005% e, mais preferivelmente até cerca de 0,002%.

5 Carbono é um elemento indesejado nos aços da presente invenção. Carbono promove a formação de austenita e, quando presente em uma quantidade maior que cerca de 0,003%, o aço tem de ser provido com um tratamento de recozimento descarburante para reduzir o nível de carbono suficientemente para prevenir "envelhecimento magnético", causado por precipitação de carbeto, no aço temperado acabado. Carbono é um resíduo  
10 comum de fusão de aço e, quando presente nos aços da presente invenção, pode estar presente em uma quantidade de até cerca de 0,05% e, preferivelmente, até cerca de 0,01% e, mais preferivelmente, até cerca de 0,005%. Se o nível de carbono em fusão é maior que cerca de 0,003%, o aço elétrico não-orientado tem de ser temperado com descarburação para menos que  
15 cerca de 0,003% de carbono e, preferivelmente, menos que cerca de 0,0025% de modo que a tira recozida acabada não envelhecerá magneticamente.

O método da presente invenção endereça-se a uma questão prática surgindo nos presentes métodos de produção de aço e, em particular, os métodos de produção de tira compacta, isto é, moldagem de placa  
20 fina, para a fabricação de folhas de aço elétrico não-orientado de alto grau.

No caso particular de moldagem de placa fina, o fundidor está acoplado de perto à operação de reaquecimento de placa (alternativamente referida como equalização de temperatura) que, por sua vez, está acoplada  
25 à operação de laminação a quente. Tais projetos de moinho compacto podem colocar limitações sobre a temperatura de aquecimento de placa assim como a quantidade de redução que pode ser usada para laminação a quente. Estas restrições tornam a produção de aços elétricos não-orientados inteiramente ferríticos difícil na medida em que recristalização incompleta frequentemente conduz à formação de sulco no produto final.  
30

No caso particular de moldagem de placa espessa e, em alguns casos, com moldagem de placa fina, altas temperaturas de reaquecimento

de placa são algumas vezes empregadas para assegurar que o aço está em uma temperatura suficientemente alta para laminação a quente grosseira, durante a qual a placa é reduzida em espessura para uma barra de transferência, seguido por laminação a quente de acabamento, durante a qual a barra de transferência é laminada a uma banda quente. Aquecimento de placa tem de ser empregado para manter a placa em uma temperatura onde a microestrutura de placa consiste em fases mistas de ferrita e austenita para prevenir anormal tamanho de grão na placa antes de laminação. Na prática do método da presente invenção, a temperatura para reaquecimento de placa não deve exceder  $T_{\max}$  de Equação III.

A tira laminada é ainda provida com um recozimento de acabamento dentro da qual as desejadas propriedades magnéticas são desenvolvidas e, se necessário, para diminuir suficientemente o teor de carbono para prevenir envelhecimento magnético. O recozimento de acabamento é tipicamente conduzido em uma atmosfera controlada durante recozimento, tal como um gás misto de hidrogênio e nitrogênio. Existem vários métodos bem conhecidos na técnica, incluindo recozimento de batelada ou caixa, recozimento de tira contínua, e recozimento de indução. Recozimento de batelada, se usada, é tipicamente conduzida para prover uma temperatura de recozimento de, ou acima de cerca de  $790^{\circ}\text{C}$  ( $1450^{\circ}\text{F}$ ) e menos que cerca de  $843^{\circ}\text{C}$  ( $1550^{\circ}\text{F}$ ) por um tempo de aproximadamente uma hora como descrito em especificações ASTM 726-00, A683-98a e A683-99. Recozimento de tira contínua, se usada, é tipicamente conduzida em uma temperatura de recozimento de, ou acima de cerca de  $790^{\circ}\text{C}$  ( $1450^{\circ}\text{F}$ ) e menos que cerca de  $1065^{\circ}\text{C}$  ( $1950^{\circ}\text{F}$ ) por um tempo de menos que dez minutos. Recozimento de indução, quando usada, é tipicamente conduzida para prover uma temperatura de recozimento maior que cerca de  $815^{\circ}\text{C}$  ( $1500^{\circ}\text{F}$ ) por um tempo de menos que cerca de cinco minutos.

A presente invenção provê um aço elétrico não-orientado tendo propriedades magnéticas apropriadas para uso comercial onde uma fusão de aço é moldada em uma placa de partida que é então processada por laminação a quente, laminação a frio ou ambas antes de recozimento de aca-

bamento para desenvolver as desejadas propriedades magnéticas.

O aço elétrico não-orientado transportando silício e cromo de uma modalidade da presente invenção é vantajoso na medida em que aperfeiçoadas características de propriedades mecânicas de superior rigidez e maior resistência a ruptura de tira durante processamento são obtidas.

Em uma modalidade, a presente invenção provê métodos para produção de aço elétrico não-orientado tendo propriedades magnéticas que têm uma perda de núcleo máxima de cerca de 8,8 W/kg (4 w/libra) e uma permeabilidade magnética mínima de cerca de 1500 G/Oe medida em 1,5 T e 60 Hz.

Em uma outra modalidade, a presente invenção provê métodos para produção de aço elétrico não-orientado tendo propriedades magnéticas que têm uma perda de núcleo máxima de cerca de 4,4 W/kg (2 w/libra) e uma permeabilidade magnética mínima de cerca de 2000 G/Oe medida em 1,5 T e 60 Hz.

Nas práticas opcionais da presente invenção, a tira laminada a quente pode ser provida com uma etapa de recozimento antes de laminação a frio e/ou recozimento de acabamento.

Os métodos de processamento de um aço elétrico não-orientado a partir de uma placa moldada continuamente tendo uma microestrutura de partida compreendida inteiramente por ferrita são bem conhecidos por aqueles versados na técnica. É também conhecido que existem significantes dificuldades na obtenção de completa recristalização da estrutura de grão como moldado durante laminação a quente. Isto resulta no desenvolvimento de uma estrutura de grão não-uniforme na tira de aço laminada a quente que pode resultar na ocorrência de um defeito conhecido como "formação de sulco" durante laminação a frio. Formação de sulco é o resultado de deformação não-uniforme e resulta em inaceitáveis características físicas para uso final. A Equação II ilustra o efeito de composição sobre formação da fase austenita e na prática do método da presente invenção, pode ser usada para determinar a temperatura limitante para laminação a quente, se usada, e/ou recozimento, se usada, da tira.

As requerentes determinaram em uma modalidade da presente invenção onde a tira é laminada a quente, recozida, opcionalmente laminada a frio, e recozida acabada para prover um aço elétrico não-orientado tendo superiores propriedades magnéticas. As requerentes ainda determinaram em uma outra modalidade da presente invenção onde a tira é laminada a quente, laminada a frio e recozida acabada para prover um aço elétrico não-orientado tendo superiores propriedades magnéticas sem requerer uma etapa de recozimento após laminação a quente. As requerentes ainda determinaram em uma terceira modalidade da presente invenção onde a tira é laminada a quente, recozida, laminada a frio e recozida acabada para prover um aço elétrico não-orientado tendo superiores propriedades magnéticas.

Nos estudos de pesquisas conduzidos pelas requerentes, as condições de laminação a quente são especificadas para promoverem recristalização e, pelo que, suprimirem o desenvolvimento do defeito de "formação de sulco". Na prática preferida da presente invenção, as condições de deformação para laminação a quente foram modeladas para determinação de requisitos para deformação quente pelo que a energia de deformação proporcionada a partir de laminação a quente foi necessária para recristalização extensiva da tira foi determinada. Este modelo, esboçado em Equações IV até X, representa ainda uma modalidade do método da presente invenção e deve ser facilmente entendido por aqueles versados na técnica.

A energia de deformação proporcionada a partir de laminação pode ser calculada como:

$$(VI) \quad W = \theta_c \ln \left( \frac{1}{1-R} \right)$$

Pelo que  $W$  é o trabalho gasto em laminação,  $\theta_c$  é a resistência limite restrita do aço e  $R$  é a quantidade de redução tomada em laminação em fração decimal, isto é, espessura inicial da tira ( $t_i$ , em mm) dividida pela espessura final da tira laminada a quente ( $t_f$ , em mm). A deformação verdadeira em laminação a quente ainda pode ser calculada como:

$$(VII) \quad \varepsilon = K_1 W$$

onde  $\varepsilon$  é a deformação verdadeira e  $K_1$  é uma constante. Combinando Equação

ção VI em Equação VII, a deformação verdadeira pode ser calculada como:

$$(VIII) \quad \varepsilon = K_1 \theta_c \ln \left( \frac{t_i}{t_f} \right)$$

A resistência limite restrita,  $\theta_c$ , está relacionada à resistência limite da tira de aço moldada quando laminado a quente. Em laminação a quente, recuperação ocorre dinamicamente e assim endurecimento de deformação durante laminação a quente é considerado não ocorrer no método da invenção. Entretanto, a resistência limite depende acentuadamente de temperatura e taxa de deformação e pelo que as requerentes incorporaram uma solução com base na relação de Zener – Holloman onde a resistência limite é calculada com base na temperatura de deformação e a taxa de deformação, também chamada como a taxa de deformação, como se segue:

$$(IX) \quad \theta_T = 4.019 \dot{\varepsilon}^{0.15} \exp \left( \frac{7616}{T} \right)$$

onde  $\theta_T$  é a temperatura e resistência limite compensada de taxa de deformação do aço durante laminação,  $\varepsilon$  é a taxa de deformação de laminação e T é a temperatura, em °K, do aço quando laminado. Para os propósitos da presente invenção,  $\theta_T$  é substituído para  $\theta_c$  na Equação VII para obter:

$$(X) \quad \varepsilon = K_2 \dot{\varepsilon}^{0.15} \exp \left( \frac{7616}{T} \right) \ln \left( \frac{t_i}{t_f} \right)$$

onde  $K_2$  é uma constante.

Um método simplificado para calcular a taxa de deformação média,  $\varepsilon_m$ , em laminação a quente é mostrado na Equação XI:

$$(XI) \quad \dot{\varepsilon}_m = K_3 \frac{2\pi D n}{\sqrt{D t_i}} \sqrt{\frac{t_i - t_f}{t_i}} \left[ 1 + \frac{1}{4} \left( \frac{t_i - t_f}{t_i} \right) \right]$$

onde D é o diâmetro de rolo de trabalho em mm, n é a taxa de rotação de rolo em revoluções por segundo e  $K_3$  é uma constante. As expressões acima podem ser rearranjadas e simplificadas através de substituição de  $\varepsilon_m$  de Equação IX por  $\varepsilon$  de Equação IX e assinalando um valor de 1 para as cons-

tantes,  $K_1$ ,  $K_2$  e  $K_3$ , pelo que a deformação de laminação a quente nominal,  $\epsilon_{\text{nominal}}$ , pode ser calculada como mostrado na Equação XII:

$$(XII) \epsilon_{\text{nominal}} = \left[ \frac{2\pi n}{t_i} \sqrt{D(t_i=t_f)} \left( 1,25 - \frac{t_f}{4t_i} \right) \right]^{0,15} \exp\left(\frac{7616}{T}\right) \ln\left(\frac{t_i}{t_f}\right)$$

Nas modalidades da presente invenção, a placa moldada é aquecida a uma temperatura não maior que  $T_{\text{max}}$  de Equação III para evitar anormal crescimento de grão. A placa moldada e reaquecida é submetida a um ou mais passes de laminação a quente, pelo que uma redução em espessura de mais que pelo menos cerca de 15%, preferivelmente, maior que cerca de 20% e menos que cerca de 70%, mais preferivelmente maior que cerca de 30% e menos que cerca de 65%. As condições da laminação a quente, incluindo temperatura, redução e taxa de redução são especificadas de modo que pelo menos um passe e, preferivelmente pelo menos dois passes, e, mais preferivelmente, pelo menos três passes, proporcionem uma deformação,  $\epsilon_{\text{nominal}}$  de Equação V, maior que 1000, e, preferivelmente, maior que 2000 e, mais preferivelmente, maior que 5000 para prover condições ótimas para recristalização da estrutura de grão como-moldada antes de laminação a frio ou recozimento de acabamento da tira.

Na prática da presente invenção, recozimento da tira laminada a quente pode ser realizada por meio de autorecozimento na qual a tira laminada a quente é recozida pelo calor ali retido. Autorecozimento pode ser obtida através de espiralamento de tira laminada a quente em uma temperatura acima de cerca de 705°C (1300°F). Recozimento da tira laminada a quente também pode ser conduzida usando qualquer um de métodos de recozimento espiral tipo batelada ou recozimento de tira tipo contínua que são bem conhecidos na técnica; entretanto, a temperatura de recozimento não deve exceder  $T_{\text{min}}$  de Equação IV. Usando um recozimento de espiral tipo batelada, a tira laminada a quente é aquecida a uma temperatura elevada, tipicamente maior que cerca de 705°C (1300°F) por um tempo maior que cerca de 10 minutos, preferivelmente maior que cerca de 760°C (1400°F). Usando um recozimento tipo contínua de tira, a tira laminada a quente é aquecida a uma temperatura tipicamente maior que cerca de 790°C (1450°F) por um tempo

de menos que cerca de 10 minutos.

Uma tira laminada a quente ou tira laminada a quente e recozida banda quente da presente invenção opcionalmente pode ser submetida a um tratamento de desincrustação para remoção de qualquer camada de óxi-  
5 do ou incrustação formada sobre a tira de aço elétrico não-orientado antes de laminação a frio ou recozimento de acabamento. "Decapagem" é o método mais comum de desincrustação onde a tira é submetida à limpeza química da superfície de um metal através do emprego de soluções aquosas de um ou mais ácidos inorgânicos. Outros métodos tais como limpeza cáustica,  
10 eletroquímica e mecânica são métodos estabelecidos para limpeza de superfície de aço.

Após recozimento de acabamento, o aço da presente invenção ainda pode ser provido com um revestimento isolante aplicado tal como aqueles especificados para uso sobre aços elétricos não-orientados em es-  
15 pecificações ASTM A677 e A976-97.

#### Exemplo 1

Aquecimentos A e B foram fundidos para as composições mostradas na Tabela I e feitos em placas moldadas de 64 mm (2,5 polegadas). A Tabela I mostra que Aquecimentos A e B proveram uma  $\gamma_{1150^{\circ}\text{C}}$  calculada de  
20 acordo com a Equação II de cerca de 21% e cerca de 1%, respectivamente. Amostras de placa de ambos aquecimentos foram cortadas e aquecidas em laboratório a uma temperatura de cerca de 1050°C (1922°F) a cerca de 1300°C (2372°F) antes de laminação a quente em um passe simples e uma redução de entre cerca de 10% a cerca de 40%. A laminação a quente foi  
25 conduzida em passe simples de laminação usando rolos de trabalho tendo um diâmetro de 51 mm (9,5 polegadas) e uma velocidade de rolo de 32 rpm. Após laminação a quente, as amostras foram resfriadas e gravadas a ácido para determinar a quantidade de recristalização.

Os resultados de Aquecimentos A e B são mostrados nas Figuras 2 e 3, respectivamente. Como a Figura 2 mostra, um aço tendo uma composição comparável a Aquecimento A pode prover suficiente austenita  
30 para prevenir anormal crescimento de grão em temperaturas de aquecimen-

to de placa de até cerca de 1300°C (2372°F), e uso de condições suficientes para a etapa de redução quente, pode prover excelente recristalização da estrutura moldada. Como a Figura 3 mostra, um aço tendo uma composição comparável a Aquecimento B, tendo uma menor quantidade de austenita, tem de ser processado com restrições como a temperatura de aquecimento de placa permissível, cerca de 1200°C (2192°F) ou menor para o específico caso de Aquecimento B, de modo a evitar anormal crescimento de grão na placa antes de laminação a quente. Além disso, a desejada quantidade de recristalização da estrutura moldada somente pode ser obtida usando reduções quentes muito maiores dentro de uma faixa de temperatura de laminação a quente muito mais estreita. A Figura 3 mostra ambas condições de anormal crescimento de grão e condições insuficientes para laminação a quente resultam em grandes áreas de grãos não-recristalizados que podem formar defeitos de sulco na folha de aço acabada.

#### 15 Exemplo 2

As composições de Aquecimentos C, D e E na Tabela I foram desenvolvidas de acordo com os ensinamentos da presente invenção e empregam uma composição Si-Cr para provimento de uma  $\gamma_{1150}^{\circ}\text{C}$  de cerca de 20% ou maior com uma resistividade de volume calculada de acordo com a Equação I de cerca de 35  $\mu\Omega\text{-cm}$ , típica de um aço silício intermediário da técnica, a cerca de 50  $\mu\Omega\text{-cm}$ , típica de um aço de alto teor de silício da técnica. Aquecimento F, também mostrado na Tabela I, representa um aço elétrico não-orientado inteiramente ferrítico da técnica anterior. A Tabela I mostra a temperatura máxima permissível para aquecimento de placa e a temperatura ótima para laminação a quente para estes aços da presente invenção. Os resultados de Tabela I são plotados na Figura 4. Os campos de fase austenita são mostrados para Calores C, D e E. A Figura 4 também ilustra que Aquecimento F é calculado não ter um campo de fase austenita/ferrita. Como a Tabela I ilustra, um aço elétrico não-orientado pode ser fabricado através do método da invenção para prover uma resistividade de volume típica de aços com teor silício intermediário a alto da técnica anterior enquanto provendo uma quantidade suficiente de austenita para assegurar vigorosa e

completa recristalização durante laminação a quente usando uma ampla faixa de temperaturas de aquecimento de placa e condições de laminação a quente. Além disso, o método ensinado na presente invenção pode ser empregado por aqueles versados na técnica para desenvolvimento de uma composição de liga para máxima compatibilidade com específicos requisitos de fabricação, capacidades operacionais ou limitações de equipamento.

Tabela 1

Aque- cimen- to	Al	C	Cr	Cu	Mn	Mo	N	Ni	P	S	Si	Sh	T <sub>min</sub> 5%	T <sub>min</sub> 20%	T <sub>max</sub> 20%	T <sub>max</sub> 5%	T <sub>max</sub> 0%	Y %	P μO- cm
A	0,28	0,009	0,073	0,20	0,15	0,041	0,005	0,13	0,005	0,001	1,67	0,009	1006	1059	1262	1274	1265	21	35,4
B	0,49	0,008	0,077	0,18	0,15	0,040	0,005	0,13	0,008	0,001	1,95	0,006	---	---	---	---	1198	1	40,9
C	0,03	0,030	0,29	0,84	14	0,27	0,037	0,89	0,43	0,009	1,77	0,25	1026	1027	1304	1294	1298	31	34,9
D	0,03	0,044	0,34	0,88	16	0,31	0,020	0,91	0,58	0,006	1,92	0,27	1027	1049	1274	1279	1284	29	37,3
E	0,03	0,023	1,46	0,94	15	0,36	0,032	0,91	0,03	0,010	2,55	---	1071	1118	1180	1214	1227	19	50,3
F	610	0,021	0,8	0,95	16	0,29	0,039	0,81	0,05	0,011	2,75	0,03	---	---	---	---	---	0	50,8

Temperaturas em °C

\* da invenção

\*\* química da invenção

\*\*\* não da invenção.

## REIVINDICAÇÕES

1. Processo para produção de um aço elétrico não-orientado tendo uma resistividade de volume de pelo menos  $20 \mu\Omega\text{-cm}$  e um pico de fração de volume de austenita,  $\gamma_{1150}^{\circ\text{C}}$ , de pelo menos 5% em peso, caracterizado pelo fato de que compreende as etapas de:
- 5
- (a) preparar uma fusão de aço elétrico não-orientado tendo uma composição em % em peso compreendendo:
- até 6,5% de silício,
- até 5% de cromo, como elemento compulsório,
- 10 até 0,05% de carbono,
- até 3% de alumínio, como elemento compulsório,
- até 3% de manganês, como elemento compulsório, e como elementos opcionais,
- até 1,5% de antimônio,
- 15 até 0,0005% de nióbio,
- até 0,01% de nitrogênio,
- até 0,25% fósforo,
- até 0,01% de um metal selecionado do grupo consistindo em enxofre, selênio e suas misturas,
- 20 até 0,15% de estanho,
- até 0,01% de titânio,
- até 0,01% de vanádio,
- até 1% de cobre,
- até 1% de molibdênio,
- 25 até 1% de níquel, e
- o balanço sendo substancialmente ferro e impurezas inevitáveis;
- (b) fundir uma placa de aço tendo uma espessura de 20 mm a 375 mm;
- 30 (c) aquecer a placa de aço em uma temperatura de menos que  $T_{\text{max}}$  e maior que  $T_{\text{min}}$  como definidas por:

$$T_{\min}, ^\circ C = 759 - 4430(\%C) - 194(\%Mn) + 445(\%P) + 181(\%Si) + 378(\%Al) - 29.0(\%Cr) - 48.8(\%N) - 68.1(\%Cu) - 235(\%Ni) + 116(\%Mo)$$

$$T_{\max}, ^\circ C = 1633 + 3970(\%C) + 236(\%Mn) - 685(\%P) - 207(\%Si) - 455(\%Al) + 9.64(\%Cr) - 706(\%N) + 55.8(\%Cu) + 247(\%Ni) - 156(\%Mo)$$

;

(d) laminação a quente da dita placa para uma tira laminada a quente tendo uma espessura de 0,35 mm a 10 mm onde a dita laminação a quente provê uma deformação nominal de pelo menos 700 usando a equação:

$$\varepsilon_{\text{nominal}} = \left[ \frac{2\pi n}{t_c} \sqrt{D(t_c - t_f)} \left( 1,25 - \frac{t_f}{4t_c} \right) \right]^{0,15} \exp\left(\frac{7616}{T}\right) \ln\left(\frac{t_c}{t_f}\right)$$

5 onde  $t_c$  é a espessura inicial da placa de aço fundido,  $t_f$  é a espessura final da tira laminada a quente,  $T$  é a temperatura,  $D$  o diâmetro em mm do rolo de trabalho e  $n$  é a taxa de rotação do rolo em rotações por segundo.

10 2. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a fusão de aço elétrico não-orientado compreende:

de 1% a 3,5% de silício,

de 0,1% a 3% de cromo,

até 0,01% de carbono,

até 1% de alumínio, como elemento compulsório,

15 de 0,1% a 1% de manganês,

até 0,01% de um metal selecionado do grupo consistindo em enxofre, selênio e suas misturas,

até 0,01% de nitrogênio, e

o balanço sendo substancialmente ferro e residuais.

20 3. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a fusão de aço elétrico não-orientado compreende:

de 1,5% a 3% de silício,

de 0,15% a 2% de cromo,

até 0,005% de carbono,  
até 0,5% de alumínio, como elemento compulsório,  
de 0,1% a 0,35% de manganês,  
até 0,005% de enxofre;  
5 até 0,007% de selênio;  
até 0,002% de nitrogênio, e  
o balanço sendo substancialmente ferro e residuais.

4. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a fusão de aço elétrico não-orientado ainda compreende até  
10 0,15% de antimônio, até 0,005% de nióbio, até 0,25% de fósforo, até 0,15% de estanho, até 0,01% de enxofre e/ou selênio, e até 0,01% de vanádio.

5. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que na etapa de processo (d) a tira laminada a quente é laminada a uma espessura de 0,35 mm a 1,5 mm.

15 6. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a tira laminada a quente é laminada a frio.

7. Processo de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que a tira laminada a quente é recozida antes da laminação a frio.

20 8. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que  $\gamma_{1150}^{\circ}\text{C}$  é pelo menos 10%.

9. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que  $\gamma_{1150}^{\circ}\text{C}$  é pelo menos 20%.

25 10. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que ainda compreende recozimento descarburante da tira antes de recozimento de acabamento.

11. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que ainda compreende as etapas após a dita laminação a quente de:

30 a) provimento do dito aço laminado a quente com uma laminação de encruamento; e

b) provimento do dito aço laminado com encruamento com recozimento de qualidade.

12. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que ainda compreende as etapas após laminação a quente de:

a) provimento do dito aço laminado a quente com uma operação de decapagem;

5 b) provimento do dito aço decapado com uma ou mais laminações a frio com um recozimento se ocorrer mais de uma laminação a frio; e

c) recozimento de qualidade do dito aço laminado a frio.

13. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que ainda compreende as etapas, após a dita laminação a quente, de:

10

a) recozimento do dito aço laminado a quente;

b) decapagem do dito aço temperado;

c) laminação a frio de aço recozido em um ou mais estágios com recozimento se ocorrer mais de uma laminação a frio; e

15

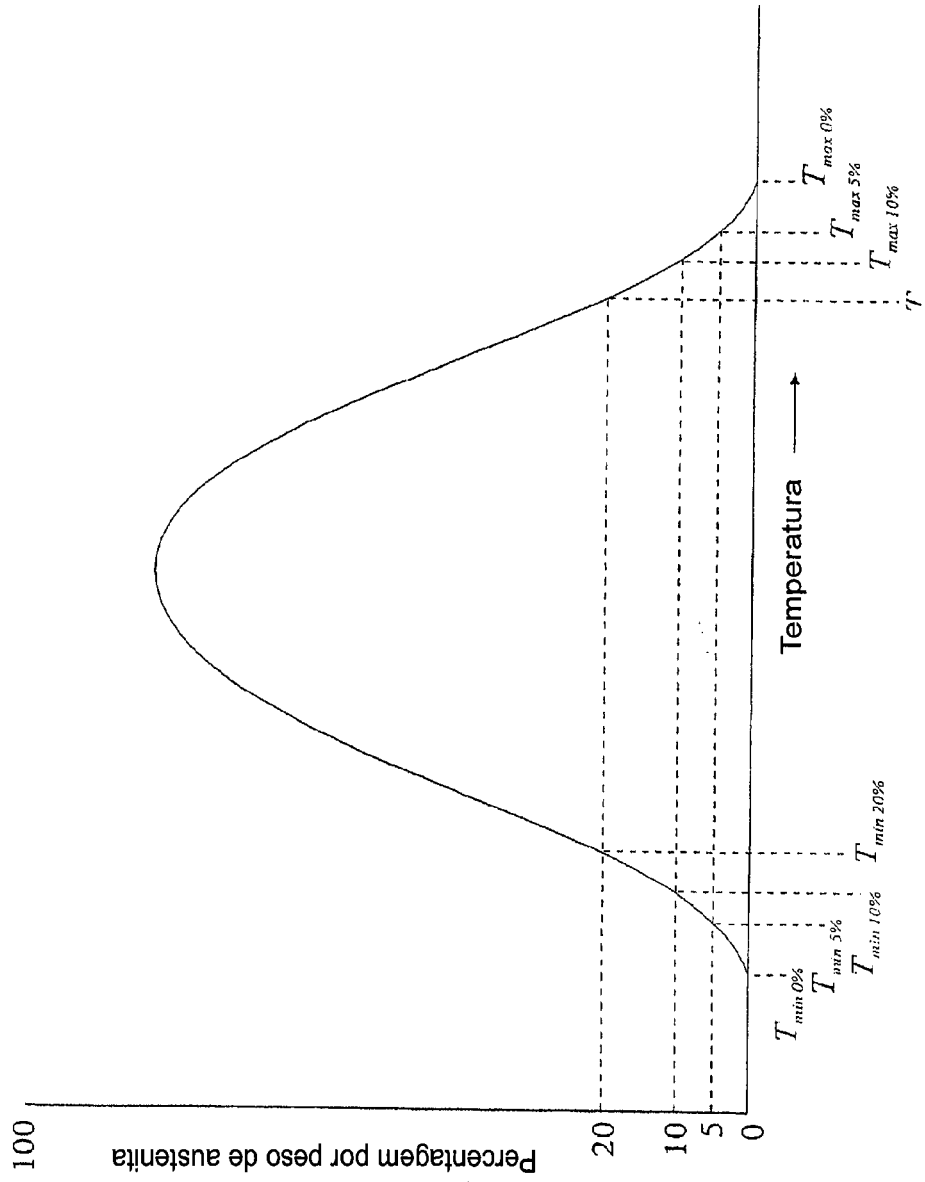
d) recozimento de qualidade do dito aço laminado a frio.

14. Processo de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que a resistividade de volume é pelo menos 20% e o pico da fração de volume de austenita é pelo menos 10%.

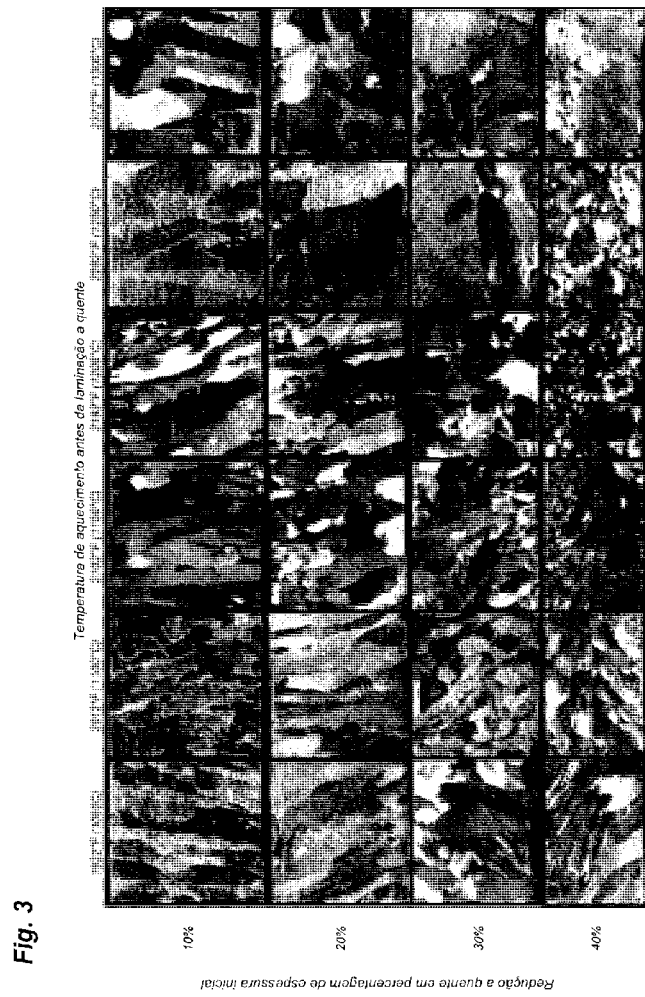
20

15. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que na etapa de processo (d) a tira laminada a quente é laminada a uma espessura de 1 mm a 10 mm.

Fig 1







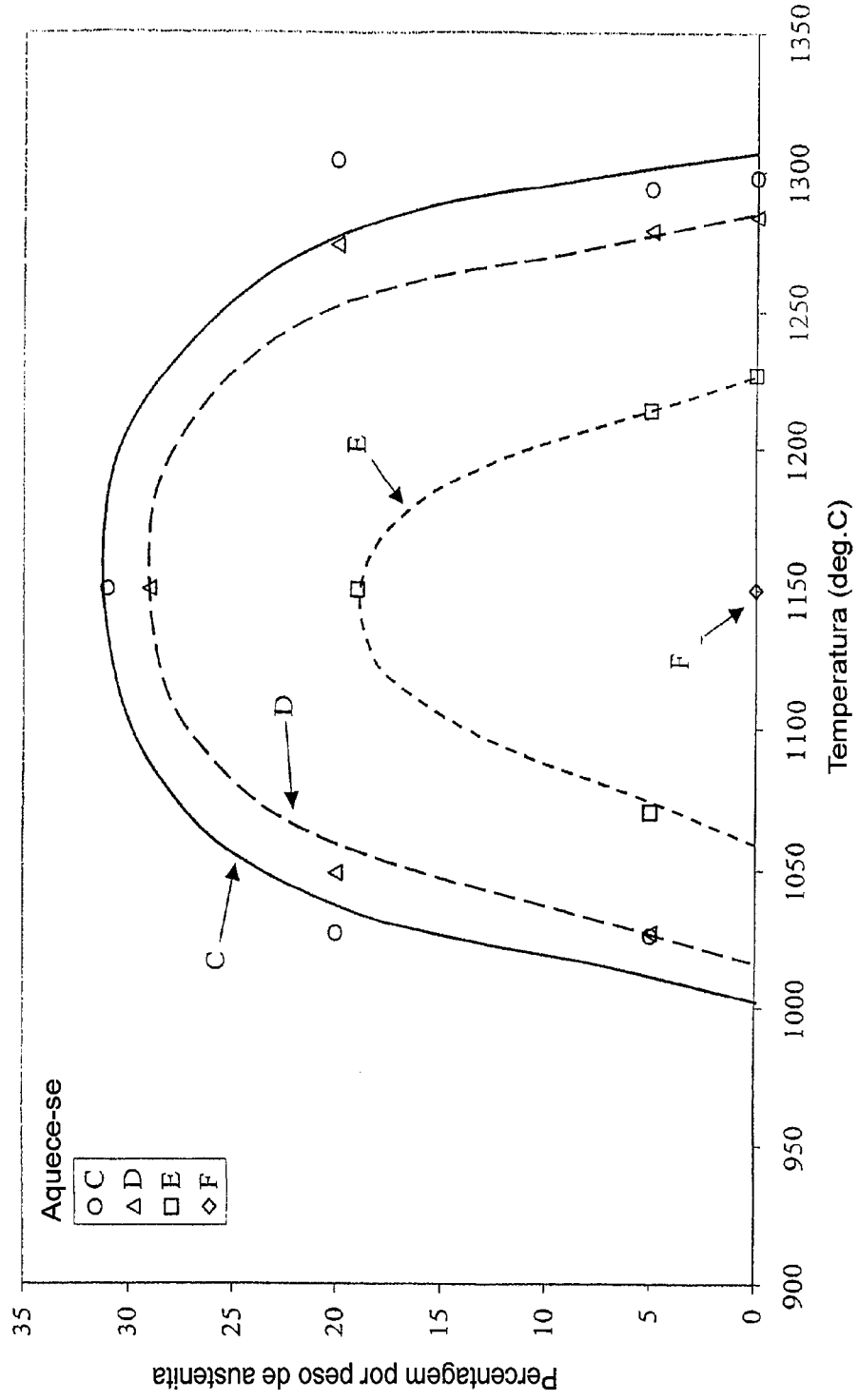


Fig 4

**RESUMO**

Patente de Invenção: **"PROCESSO PARA PRODUÇÃO DE UM AÇO ELÉTRICO NÃO-ORIENTADO"**.

5 A presente invenção refere-se a um processo para produção de um aço elétrico não-orientado com aperfeiçoadas propriedades magnéticas e aperfeiçoada resistência à formação de sulco, fragilidade, entupimento de bocal e envelhecimento magnético. O aço transportando cromo é produzido a partir de uma fusão de aço que é moldada como uma placa fina ou placa convencional, resfriada, laminada a quente e/ou laminada a frio em uma tira  
10 acabada. A tira acabada é ainda submetida a pelo menos um tratamento de recozimento onde as propriedades magnéticas são desenvolvidas, tornando a folha de aço da presente invenção apropriada para uso em maquinaria elétrica como motores ou transformadores.