



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

(11) BR 112017008193-8 B1



(22) Data do Depósito: 20/10/2015

(45) Data de Concessão: 13/10/2021

(54) Título: MÉTODO DE PRODUÇÃO DE UMA CHAPA DE AÇO, CHAPA DE AÇO E USO DE UMA CHAPA DE AÇO

(51) Int.Cl.: C21D 8/12; C22C 38/00; C22C 38/06; C22C 38/38; H01F 1/16.

(30) Prioridade Unionista: 20/10/2014 IB PCT/IB2014/002174.

(73) Titular(es): ARCELORMITTAL.

(72) Inventor(es): ELKE LEUNIS; TOM VAN DE PUTTE; SIGRID JACOBS; WAHIB SAIKALY.

(86) Pedido PCT: PCT IB2015001944 de 20/10/2015

(87) Publicação PCT: WO 2016/063118 de 28/04/2016

(85) Data do Início da Fase Nacional: 20/04/2017

(57) Resumo: A presente invenção refere-se a um método de produção de chapa de aço de Fe-Si de grão não orientado. O método compreende as etapas de fundir uma composição de aço que contém, em percentagem em peso: C = 0,006, 2,0 = Si = 5,0, 0,1 = Al = 3,0, 0,1 = Mn = 3,0, N = 0,006, 0,04 = Sn = 0,2, S = 0,005, P = 0,2, Ti = 0,01, sendo que o saldo é Fe e outras impurezas inevitáveis, fundir o dito elemento derretido em um eslabo, reaquecer o dito eslabo, laminar a quente o dito eslabo, embobinar o dito aço laminado a quente, recozer opcionalmente o aço laminado a quente, laminar a frio, recozer e resfriar o aço laminado a frio para a temperatura ambiente.

**“MÉTODO DE PRODUÇÃO DE UMA CHAPA DE AÇO, CHAPA DE AÇO E
USO DE UMA CHAPA DE AÇO”**

CAMPO DA INVENÇÃO

[001] A presente invenção refere-se a um método de produção de chapas de aço elétricas de Fe-Si que exibem propriedades magnéticas. Tal material é usado, por exemplo, na fabricação de rotores e/ou estatores para motores elétricos para veículos.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[002] Conferir propriedades magnéticas para aço Fe-Si é a fonte mais econômica de indução magnética. A partir de um ponto de vista de composição química, adicionar silício ao ferro é um modo muito comum de aumentar a resistividade elétrica, aperfeiçoando, desse modo, as propriedades magnéticas, e reduzindo, ao mesmo tempo, as perdas de potência totais. Duas famílias atualmente coexistem para a construção de aços para equipamento elétrico: aços de grão orientado e de grão não orientado.

[003] Os aços de grão não orientado têm a vantagem de ter propriedades magnéticas que são quase equivalentes em todas as direções de magnetização. Como consequência, tal material é mais adaptado para aplicações que exigem movimentos rotativos tais como motores ou geradores, por exemplo.

[004] As propriedades a seguir são usadas para avaliar a eficiência de aços elétricos em relação a propriedades magnéticas:

- a indução magnética, expressa em Tesla. Essa indução é obtida sob campo magnético específico expresso em A/m. Quanto maior a indução, melhor;

- a perda de potência de núcleo, expressa em W/kg, é medida em uma polarização específica expressa em Tesla (T) com o uso de uma frequência expressa em Hertz. Quanto menores as perdas totais, melhor.

[005] Muitos parâmetros metalúrgicos podem influenciar as propriedades mencionadas acima, sendo que as mais comuns são: o teor de liga, textura de material, o tamanho de grão ferrítico, tamanho e distribuição de precipitados, e a espessura de material. Portanto, o processamento termomecânico a partir da fundição até o recozimento de aço laminado a frio final é essencial para alcançar as especificações alvejadas.

[006] O documento nº JP201301837 revela um método para produzir uma chapa de aço eletromagnética que compreende 0,0030% ou menos de C, 2,0 a 3,5% de Si, 0,20 a 2,5% de Al, 0,10 a 1,0% de Mn, e 0,03 a 0,10% de Sn, em que $Si+Al+Sn \leq 4,5\%$. Tal aço é submetido à laminação a quente e, então, laminação a frio primária com uma taxa de laminação de 60 a 70% para produzir uma chapa de aço com uma espessura mediana. Então, a chapa de aço é submetida a recozimento de processo, depois, laminação a frio secundária com uma taxa de laminação de 55 a 70%, e recozimento final adicional a 950 °C ou mais durante 20 a 90 segundos. Tal método consome bastante energia e envolve uma longa via de produção.

[007] O documento nº JP2008127612 se refere a uma chapa de aço eletromagnética de grão não orientado que tem uma composição química que compreende, em % em massa, 0,005% ou menos de C, 2 a 4% de Si, 1% ou menos de Mn, 0,2 a 2% de Al, 0,003 a 0,2% de Sn, e o balanço Fe com impurezas inevitáveis. A chapa de aço eletromagnética de grão não orientado com uma espessura de 0,1 a 0,3 mm é fabricada pelas etapas de: laminar a frio a placa laminada a quente antes e após uma etapa de recozimento intermediária e, subsequentemente, recozer por recristalização a chapa. Tal via de processamento é, conforme para a primeira aplicação, prejudicial para produtividade visto que envolve uma longa via de produção.

[008] Parece que permanece uma necessidade para um método de produção de tais aços de FeSi que seria simplificado e mais robusto enquanto

não compreende perda de potência e propriedades de indução.

[009] O aço, de acordo com a invenção, segue uma via de produção simplificada para alcançar bons equilíbrios de perda de potência e indução. Além disso, o desgaste de ferramenta é limitado com o aço de acordo com a invenção.

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

[010] A presente invenção visa fornecer um método de produção de chapa de aço de Fe-Si de grão não orientado laminada a frio recozida que consiste nas etapas sucessivas a seguir:

- fundir uma composição de aço que contém, em percentagem em peso:

$$C \leq 0,006\%$$

$$2,0 \leq Si \leq 5,0\%$$

$$0,1 \leq Al \leq 3,0\%$$

$$0,1 \leq Mn \leq 3,0\%$$

$$N \leq 0,006\%$$

$$0,04 \leq Sn \leq 0,2\%$$

$$S \leq 0,005\%$$

$$P \leq 0,2\%$$

$$Ti \leq 0,01\%$$

sendo que o balanço é Fe e outras impurezas inevitáveis;

- fundir o dito elemento derretido em uma placa (*slab*);

- reaquecer a dita placa a uma temperatura entre 1.050 °C e 1.250 °C;

- laminar a quente a dita placa com uma temperatura de acabamento de laminação a quente entre 750 °C e 950 °C para obter uma fita de aço laminada a quente;

- embobinar a dita fita de aço laminada a quente a uma temperatura

entre 500 °C e 750 °C para obter uma fita quente;

- opcionalmente recozer a fita de aço laminada a quente a uma temperatura entre 650 °C e 950 °C durante um tempo entre 10 s e 48 horas;

- laminar a frio a fita de aço laminada a quente para obter uma chapa de aço laminada a frio;

- aquecer a chapa de aço laminada a frio até uma temperatura de encharcamento entre 850 °C e 1.150 °C;

- manter a chapa de aço laminada a frio na temperatura de encharcamento durante um tempo entre 20 s e 100 s; e

- resfriar a chapa de aço laminada a frio para a temperatura ambiente para obter uma chapa de aço laminada a frio recozida.

DESCRIÇÃO DE REALIZAÇÕES DA INVENÇÃO

[011] Em uma realização preferencial, o método de produção de chapa de aço Fe-Si de grão não orientado, de acordo com a invenção, tem um teor de silício de modo que: $2,0\% \leq \text{Si} \leq 3,5\%$, ainda mais preferencialmente, $2,2\% \leq \text{Si} \leq 3,3\%$.

[012] Em uma realização preferencial, o método de produção de chapa de aço de Fe-Si de grão não orientado, de acordo com a invenção, tem um teor de alumínio de modo que: $0,2\% \leq \text{Al} \leq 1,5\%$, ainda mais preferencialmente, $0,25\% \leq \text{Al} \leq 1,1\%$.

[013] Em uma realização preferencial, o método de produção de chapa de aço Fe-Si de grão não orientado, de acordo com a invenção, tem um teor de manganês de modo que: $0,1\% \leq \text{Mn} \leq 1,0\%$.

[014] Preferencialmente, o método de produção de chapa de aço de Fe-Si de grão não orientado, de acordo com a invenção, tem um teor de estanho de modo que: $0,07\% \leq \text{Sn} \leq 0,15\%$, ainda mais preferencialmente, $0,11\% \leq \text{Sn} \leq 0,15\%$.

[015] Em outra realização preferencial, o método de produção de

chapa de aço de Fe-Si de grão não orientado, de acordo com a invenção, envolve um recozimento de fita quente opcional realizado com o uso de uma linha de recozimento contínua.

[016] Em outra realização preferencial, o método de produção de chapa de aço de Fe-Si de grão não orientado, de acordo com a invenção, envolve um recozimento de fita quente opcional realizado com o uso de um recozimento por batelada.

[017] Em uma realização preferencial, a temperatura de encharcamento é entre 900 e 1.120 °C.

[018] Em outra realização, a chapa de aço recozida laminada a frio de grão não orientado, de acordo com a invenção, é revestida.

[019] Outro objetivo da invenção é o aço de grão não orientado obtido com o uso do método da invenção.

[020] Os motores de indústria de alta eficiência, geradores para a produção de eletricidade, motores para veículos elétricos com o uso do aço de grão não orientado produzido de acordo com a invenção, também são um objetivo da invenção bem como motores para veículo híbrido com o uso do aço de grão não orientado produzido de acordo com a invenção.

[021] A fim de alcançar as propriedades desejadas, o aço, de acordo com a invenção, inclui os elementos de composição química a seguir em percentagem em peso:

[022] Carbono em uma quantidade limitada a 0,006% incluído. Esse elemento pode ser nocivo visto que pode provocar envelhecimento de aço e/ou precipitação que iria deteriorar as propriedades magnéticas. A concentração deve ser, portanto, limitada para abaixo de 60 ppm (0,006% em peso).

[023] O teor mínimo de Si é 2,0% enquanto seu máximo é limitado a 5,0%, ambos os limites incluídos. Si desempenha uma função principal no

aumento da resistividade do aço e reduz, desse modo, as perdas de corrente parasita. Abaixo de 2,0% em peso de Si, níveis de perda para graus de perda baixos são difíceis de alcançar. Acima de 5,0% em peso de Si, o aço se torna frágil e processamento industrial subsequente se torna difícil. Conseqüentemente, o teor de Si é de modo que: 2,0% em peso \leq Si \leq 5,0% em peso, em uma realização preferencial, 2,0% em peso \leq Si \leq 3,5% em peso, ainda mais preferencialmente, 2,2% em peso \leq Si \leq 3,3% em peso.

[024] O teor de alumínio deve ser entre 0,1% e 3,0%, ambos incluídos. Esse elemento atua de um modo similar àquele de silício em termos de efeito de resistividade. Abaixo de 0,1% em peso de Al, não há efeito real em resistividade ou perdas. Acima de 3,0% em peso Al, o aço se torna frágil e processamento industrial subsequente se torna difícil. Conseqüentemente, Al é de modo que: 0,1% em peso \leq Al \leq 3,0% em peso, em uma realização preferencial, 0,2 % em peso \leq Al \leq 1,5% em peso, ainda mais preferencialmente, 0,25% em peso \leq Al \leq 1,1% em peso.

[025] O teor de manganês deve ser entre 0,1% e 3,0%, ambos incluídos. Esse elemento atua de um modo similar àquele de Si ou Al para resistividade: aumenta a resistividade e reduz, desse modo, as perdas de corrente parasita. Além disso, Mn ajuda a endurecer o aço e pode ser útil para graus que exigem maiores propriedades mecânicas. Abaixo de 0,1 % em peso de Mn, não há um efeito real em resistividade, perdas ou em propriedades mecânicas. Acima de 3,0% em peso de Mn, sulfetos tais como MnS se formarão e podem ser prejudiciais a perdas de núcleo. Conseqüentemente, Mn é de modo que 0,1% em peso \leq Mn \leq 3,0% em peso, em uma realização preferencial, 0,1% em peso \leq Mn \leq 1,0% em peso.

[026] Assim como o carbono, o nitrogênio pode ser nocivo visto que pode resultar em precipitação de AlN ou TiN que pode deteriorar as propriedades magnéticas. O nitrogênio livre também pode causar

envelhecimento que irá deteriorar as propriedades magnéticas. A concentração de nitrogênio deve ser, portanto, limitada a 60 ppm (0,006% em peso).

[027] Estanho é um elemento essencial do aço desta invenção. Seu teor precisa ser entre 0,04% e 0,2%, ambos os limites incluídos. O mesmo desempenha uma função benéfica em propriedades magnéticas, especialmente através de aperfeiçoamento de textura. Ajuda a reduzir o (111) componente na textura final e, ao realizar isso, ajuda a aperfeiçoar as propriedades magnéticas em geral e polarização/indução em particular. Abaixo de 0,04% em peso de estanho, o efeito é desprezível e acima de 0,2% em peso, fragilidade de aço se tornará um problema. Conseqüentemente, o estanho é de modo que: 0,04% em peso \leq Sn \leq 0,2% em peso, em uma realização preferencial, 0,07% em peso \leq Sn \leq 0,15% em peso.

[028] A concentração de enxofre precisa ser limitada a 0,005% em peso visto que S pode formar precipitados tais como MnS ou TiS que irão deteriorar as propriedades magnéticas.

[029] O teor de fósforo precisa ser abaixo de 0,2% em peso. P aumenta a resistividade que reduz perdas e também pode aperfeiçoar as propriedades de textura e magnética devido ao fato de que é um elemento de segregação que pode desempenhar uma função em recristalização e textura. Também pode aumentar as propriedades mecânicas. Se a concentração estiver acima de 0,2% em peso, o processamento industrial será difícil devido à fragilidade crescente do aço. Conseqüentemente, P é de modo que $P \leq 0,2\%$ em peso, mas em uma realização preferencial, para limitar questões de segregação, $P \leq 0,05\%$ em peso.

[030] O titânio é um precipitado que forma elemento que pode formar precipitados tais como: TiN, TiS, $Ti_4C_2S_2$, Ti(C,N) e TiC que são nocivos para as propriedades magnéticas. Sua concentração deve ser abaixo de 0,01% em peso.

[031] O balanço é ferro e impurezas inevitáveis tais como as listadas abaixo com seus teores máximos permitidos no aço de acordo com a invenção:

$Nb \leq 0,005\%$ em peso;

$V \leq 0,005\%$ em peso;

$Cu \leq 0,030\%$ em peso;

$Ni \leq 0,030\%$ em peso;

$Cr \leq 0,040\%$ em peso; e

$B \leq 0,0005$.

[032] Outras impurezas possíveis são: As, Pb, Se, Zr, Ca, O, Co, Sb e Zn, que podem estar presentes em nível de traço.

[033] A fundição com a composição química de acordo com a invenção é, posteriormente, reaquescida, sendo que a Temperatura de Reaquecimento de Placa (*Slab*) (SRT) está entre 1.050 °C e 1.250 °C até a temperatura ser homogênea através de toda a placa. Abaixo de 1.050 °C, a laminação se torna difícil e as forças na fresa serão muito grandes. Acima de 1.250 °C, graus altos de silício se tornam muito macios e podem mostrar alguma curvatura e se tornar, desse modo, difíceis de serem manuseados.

[034] A temperatura de acabamento de laminação a quente desempenha uma função na microestrutura laminada a quente final e ocorre entre 750 e 950 °C. Quando a Temperatura de Laminação de Acabamento (FRT) está abaixo de 750 °C, a recristalização é limitada e a microestrutura é altamente deformada. Acima de 950 °C significará mais impurezas em solução sólida e possível precipitação consequente e deterioração de propriedades magnéticas também.

[035] A Temperatura de Embobinamento (CT) da fita laminada a quente também desempenha uma função no produto laminado a quente final; a mesma ocorre entre 500 °C e 750 °C. O embobinamento a temperaturas abaixo

de 500 °C não permitirá que recuperação suficiente ocorra enquanto essa etapa metalúrgica é necessária para propriedades magnéticas. Acima de 750 °C, uma camada de óxido espessa aparecerá e causará dificuldades para etapas de processamento subsequentes tais como laminação a frio e/ou decapagem.

[036] A fita de aço laminada a quente apresenta uma camada de superfície com textura de Goss que tem componente de orientação conforme $\{110\}\langle 100\rangle$, sendo que a dita textura de Goss é medida a 15% de espessura da fita de aço laminada a quente. A textura de Goss fornece à fita densidade de fluxo magnético aprimorada diminuindo, desse modo, a perda de núcleo que é bem evidente nas tabelas 2, 4 e 6 fornecidas doravante. A nucleação de textura de Goss é promovida durante laminação a quente mantendo-se a temperatura de laminação de acabamento acima de 750 graus Celsius.

[037] A espessura da fita de tira quente varia de 1,5 mm a 3 mm. É difícil alcançar uma espessura abaixo de 1,5 mm pelas fresas de laminação a quente usuais. A laminação a frio fita de mais do que 3 mm de espessura para a espessura laminada a frio alvejada reduzirá fortemente a produtividade após a etapa de embobinamento e isso também deteriorará as propriedades magnéticas finais.

[038] O Recozimento de Fita Quente opcional (HBA) pode ser realizado a temperaturas entre 650 °C e 950 °C, essa etapa é opcional. O mesmo pode ser um recozimento contínuo ou um recozimento por batelada. Abaixo de uma temperatura de encharcamento de 650 °C, a recristalização não será concluída e o aperfeiçoamento de propriedades magnéticas finais será limitado. Acima de uma temperatura de encharcamento de 950 °C, grãos recristalizados se tornarão muito grandes e o metal se tornará quebradiço e difícil de manusear durante as etapas industriais subsequentes. A duração do encharcamento dependerá de se é recozimento contínuo (entre 10 s e 60 s) ou recozimento por batelada (entre 24 h e 48 h). Posteriormente, a fita (recozida ou não) é laminada

a frio. Nesta invenção, a laminação a frio é realizada em uma etapa, isto é, sem recozimento intermediário.

[039] A decapagem pode ser realizada antes ou após a etapa de recozimento.

[040] Por fim, o aço laminado a frio passa por um recozimento final a uma temperatura (FAT) entre 850 °C e 1.150 °C, preferencialmente entre 900 e 1.120 °C, durante um tempo entre 10 e 100 s dependendo da temperatura usada e do tamanho de grão alvejado. Abaixo de 850 °C, a recristalização não será concluída e as perdas não alcançarão seu potencial total. Acima de 1.150 °C, o tamanho de grão será muito grande e a indução irá deteriorar. Já para o tempo de encharcamento, abaixo de 10 segundos, não é fornecido tempo suficiente para recristalização enquanto acima de 100 s, o tamanho de grão será muito grande e afetará negativamente as propriedades magnéticas finais tais como o nível de indução.

[041] A Espessura de Chapa Final (FST) é entre 0,14 mm e 0,67 mm.

[042] A microestrutura da chapa final produzida de acordo com esta invenção contém ferrita com tamanho de grão entre 30 µm e 200 µm. Abaixo de 30 µm, as perdas serão muito grandes enquanto acima de 200 µm, o nível de indução será muito baixo.

[043] Para as propriedades mecânicas, a resistência à elasticidade será entre 300 MPa e 480 MPa, enquanto resistência à tração final deve estar entre 350 MPa e 600 MPa.

[044] Os exemplos a seguir são para os propósitos de ilustração e não são destinados a ser interpretados para limitar o escopo da revelação no presente documento:

EXEMPLO 1

[045] Dois aquecimentos de laboratório foram produzidos com as

composições fornecidas na tabela 1 abaixo. Os valores sublinhados não são de acordo com a invenção. Então, sucessivamente: a laminação a quente foi realizada após reaquecer as placas a 1.150 °C. A temperatura de laminação acabada foi de 900 °C e os aços foram enrolados a 530 °C. As fitas quentes foram recozidas por batelada a 750 °C durante 48 h. Os aços foram laminados a frio para 0,5 mm. Nenhum recozimento intermediário ocorreu. O recozimento final foi realizado a uma temperatura de encharcamento de 1.000 °C e o tempo de encharcamento foi de 40 s.

Elemento (% em peso)	Aquecimento 1	Aquecimento 2
C	0,0024%	0,0053%
Si	2,305%	2,310%
Al	0,45%	0,50%
Mn	0,19%	0,24%
N	0,001%	0,0021%
Sn	<u>0,005%</u>	0,12%
S	0,0049%	0,005%
P	< 0,05%%	< 0,05%
Ti	0,0049%	0,0060%

TABELA 1: COMPOSIÇÃO QUÍMICA EM % EM PESO DE AQUECIMENTOS 1 E 2

[046] As medições magnéticas foram realizadas em ambos esses aquecimentos. As perdas magnéticas totais a 1,5 T e 50 Hz bem como a indução B5000 foram medidas e os resultados são mostrados na tabela abaixo. Pode ser visto que a adição de Sn resulta em um aperfeiçoamento significativo de propriedades magnéticas com o uso dessa via de processamento.

	Aquecimento 1	Aquecimento 2
Perdas a 1,5T/50Hz (W/Kg)	2,98	2,92
B5000 (T)	1,663	1,695

TABELA 2: PROPRIEDADES MAGNÉTICAS DE HEATS 1 E 2

EXEMPLO 2

[047] Dois aquecimentos foram produzidos com as composições fornecidas na tabela 3 abaixo. Os valores sublinhados não são de acordo com a

invenção. A laminação a quente foi realizada após reaquecer as placas a 1.120 °C. A temperatura de laminação de acabamento foi de 870 °C, temperatura de embobinamento foi de 635 °C. As fitas quentes foram recozidas por batelada a 750 °C durante 48 h. Então, a laminação a frio ocorreu para 0,35 mm. Não ocorreu nenhum recozimento intermediário. O recozimento final foi realizado a uma temperatura de encharcamento de 950 °C e o tempo de encharcamento foi de 60 s.

Elemento (% em peso)	Aquecimento 3	Aquecimento 4
C	0,0037%	0,0030%
Si	2,898%	2,937%
Al	0,386%	0,415%
Mn	0,168%	0,135%
N	0,0011%	0,0038%
Sn	<u>0,033%</u>	0,123%
S	0,0011%	0,0012%
P	0,0180%	0,0165%
Ti	0,0049%	0,0041%

TABELA 3: COMPOSIÇÃO QUÍMICA EM % EM PESO DE AQUECIMENTOS 3 E 4

[048] As medições magnéticas foram realizadas em ambos esses aquecimentos. As perdas magnéticas totais a 1,5 T e 50 Hz bem como a indução B5000 foram medidas e os resultados são mostrados na tabela abaixo. Pode ser visto que a adição de Sn resulta em um aperfeiçoamento significativo de propriedades magnéticas com o uso dessa via de processamento.

	Aquecimento 3	Aquecimento 4
Perdas a 1,5T/50Hz (W/Kg)	2,40	2,34
B5000 (T)	1,666	1,688

TABELA 4: PROPRIEDADES MAGNÉTICAS DE HEATS 3 E 4

EXEMPLO 3

[049] Dois aquecimentos foram produzidos com as composições fornecidas na tabela 5 abaixo. Os valores sublinhados não estão de acordo com a invenção. Então, sucessivamente: a laminação a quente foi realizada após

reaquecer as placas a 1.150 °C. A temperatura de laminação acabada foi de 850 °C e os aços foram enrolados a 550 °C. As fitas quentes foram recozidas por batelada a 800 °C durante 48 h. Os aços foram laminados a frio para 0,35 mm. Nenhum recozimento intermediário ocorreu. O recozimento final foi realizado a uma temperatura de encharcamento de 1.040 °C e o tempo de encharcamento foi de 60 s.

Elemento (% em peso)	Aquecimento 5	Aquecimento 6
C	0,002%	0,0009%
Si	3,30%	3,10%
Al	0,77%	0,61%
Mn	0,20%	0,21%
N	0,0004%	0,0014%
Sn	<u>0,006%</u>	0,076%
S	0,0004%	0,0012%
P	≤0,05%	≤0,05%
Ti	0,0015%	0,0037%
Resistividade ($\mu\Omega\text{cm}$)	55,54%	53,07%

TABELA 5: COMPOSIÇÃO QUÍMICA EM % EM PESO DE AQUECIMENTOS 5 E 6

[050] As medições magnéticas foram realizadas em ambos esses aquecimentos. As perdas magnéticas totais a 1,5 T e 50 Hz, a 1 T e 400 Hz bem como a indução B5000 foram medidas e os resultados são mostrados na tabela abaixo. Pode ser visto que 0,07% em peso de adição de Sn resulta em um aperfeiçoamento de propriedades magnéticas com o uso dessa via de processamento.

	Aquecimento 5	Aquecimento 6
Perdas a 1,5T/50Hz (W/Kg)	2,17	2,12
B5000 (T)	1,673	1,682

TABELA 6: PROPRIEDADES MAGNÉTICAS DE HEATS 5 E 6

[051] Conforme pode ser visto, a partir desses dois exemplos, Sn aperfeiçoa as propriedades magnéticas com o uso da via metalúrgica de acordo

com a invenção com diferentes composições químicas.

[052] O aço obtido com o método, de acordo com a invenção, pode ser usado para motores de carros elétricos ou híbridos, para motores de indústria de alta eficiência bem como para geradores para produção de eletricidade.

REIVINDICAÇÕES

1. MÉTODO DE PRODUÇÃO DE UMA CHAPA DE AÇO de Fe-Si de grão não orientado laminada a frio recozida caracterizado por consistir nas etapas sucessivas a seguir:

- fundir uma composição de aço que contém em percentagem em peso:

$$C \leq 0,006\%$$

$$2,0\% \leq Si \leq 5,0\%$$

$$0,1\% \leq Al \leq 3,0\%$$

$$0,1\% \leq Mn \leq 3,0\%$$

$$N \leq 0,006\%$$

$$0,04\% \leq Sn \leq 0,2\%$$

$$S \leq 0,005\%$$

$$P \leq 0,2\%$$

$$Ti \leq 0,01\%,$$

sendo que o balanço é Fe e impurezas inevitáveis;

- fundir o elemento derretido em uma placa,

- reaquecer a placa a uma temperatura entre 1.050 °C e 1.250 °C,

- laminar a quente a placa com uma temperatura de acabamento de laminação a quente entre 750 °C e 950 °C para obter uma fita de aço laminada a quente,

- embobinar a fita de aço laminada a quente a uma temperatura entre 500 °C e 750 °C,

- recozer a fita de aço laminada a quente a uma temperatura entre 650 °C e 950 °C durante um tempo entre 10 s e 48 horas,

- laminar a frio a fita de aço laminada a quente para obter uma chapa de aço laminada a frio,

- aquecer a chapa de aço laminada a frio até uma temperatura de

encharcamento entre 850 °C e 1.150 °C,

- manter o aço laminado a frio na temperatura de encharcamento

durante um tempo entre 20 s e 100 s, e

- resfriar o aço laminado a frio até a temperatura ambiente.

2. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por $2,0\% \leq \text{Si} \leq 3,5\%$.

3. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado por $2,2\% \leq \text{Si} \leq 3,3\%$.

4. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 2, caracterizado por $0,2\% \leq \text{Al} \leq 1,5\%$.

5. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado por $0,25\% \leq \text{Al} \leq 1,1\%$.

6. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado por $0,1\% \leq \text{Mn} \leq 1,0\%$.

7. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado por $0,07\% \leq \text{Sn} \leq 0,15\%$.

8. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado por $0,11\% \leq \text{Sn} \leq 0,15\%$.

9. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo recozimento de fita quente ser realizado com o uso de uma linha de recozimento contínua.

10. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo recozimento de fita quente ser realizado com o uso de um recozimento por batelada.

11. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, caracterizado pela temperatura de encharcamento ser entre 900 e 1.120°C.

12. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações

1 a 11, caracterizado pela chapa de aço recozida laminada a frio ser adicionalmente revestida.

13. CHAPA DE AÇO de grão não orientado recozida e laminada a frio, caracterizada por ser produzida conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 12, a chapa de aço compreendendo uma composição de aço que contém em percentagem em peso:

$$C \leq 0,006\%$$

$$2,0\% \leq Si \leq 5,0\%$$

$$0,1\% \leq Al \leq 3,0\%$$

$$0,1\% \leq Mn \leq 3,0\%$$

$$N \leq 0,006\%$$

$$0,04\% \leq Sn \leq 0,2\%$$

$$S \leq 0,005\%$$

$$P \leq 0,2\%$$

$$Ti \leq 0,01\%,$$

sendo que o balanço é Fe e impurezas inevitáveis;

a chapa de aço tendo uma resistência à elasticidade entre 300 MPa e 480 MPa, e uma resistência à tração final entre 350 MPa e 600 MPa, a chapa de aço compreendendo ferrita com um tamanho de grão entre 30 μm e 200 μm e a espessura de chapa (FST) é entre 0,14 mm e 0,67 mm.

14. USO DE UMA CHAPA DE AÇO de grão não orientado recozida e laminada a frio, conforme definido na reivindicação 13, caracterizado por ser para a fabricação de motores e de geradores.