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

(11) PI 0611286-2 B1

(22) Data do Depósito: 19/05/2006

(45) Data de Concessão: 03/09/2019

(54) Título: PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE UMA CINTA EM MATERIAL NANOCRISTALINO, CINTA EM MATERIAL NANOCRISTALINO OBTIDA PELO PROCESSO, TORO, SENSOR DE CORRENTE, INDUTOR DE ARMAZENAGEM OU DE FILTRAGEM E DISPOSITIVO DE FABRICAÇÃO DO TORO

(51) Int.Cl.: H01F 41/02; H01F 1/147; H01F 1/153; B21B 27/00; B21B 1/00.

(30) Prioridade Unionista: 20/05/2005 EP 05 291098.1.

(73) Titular(es): IMPHY ALLOYS.

(72) Inventor(es): THIERRY WAEKERLE; THIERRY SAVE; ALAIN DEMIER.

(86) Pedido PCT: PCT FR2006001170 de 19/05/2006

(87) Publicação PCT: WO 2006/123072 de 23/11/2006

(85) Data do Início da Fase Nacional: 21/11/2007

(57) Resumo: PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE UMA CINTA EM MATERIAL NANOCRISTALINO E DISPOSITIVO DE FABRICAÇÃO DE UM TORO ENROLADO A PARTIR DESSA CINTA. A presente invenção refere-se a um processo de fabricação de uma cinta em material nanocristalino obtida a partir de uma fita fundida em um estado amorfo de com posição atômica [Fe1-a-bCOaN ib]1 oo-x-y.z-a.225>CuxSiyBzNb244>M'225>M"yM' sendo pelo menos um dos elementos V, Cr, Al e Zn, M" sendo pelo menos dos elementos C, Ge, O, Ga, Sb, In e Be, com: a 0,07 e b 0,1,0,5 1,5e25 IO j16,9e5 8, 132ey2,e submetendo a fita amorfa a um recozimento de cristalização, no qual se submete a fita ao recozimento no estado desenrolado, em passagem através de pelo menos dois blocos em S e sob tensão em uma direção sensivelmente longitudinal axial da fita, de tal modo que a fita seja mantida a uma tempera- tura de recozimento compreendida entre 530 e 70000, durante um período compreendido entre 5 e 120 segundos, sob um esforço de tração axial com- preendido entre 2 e 1000 MPa, o esforço de tração sofrida por essa fita a- morfa, sua velocidade de passagem, quando do recozimento, o tempo e (...).

Relatório descritivo de patente de invenção para **"PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE UMA CINTA EM MATERIAL NANOCRISTALINO, CINTA EM MATERIAL NANOCRISTALINO OBTIDA PELO PROCESSO, TORO, SENSOR DE CORRENTE, INDUTOR DE ARMAZENAGEM OU DE FILTRAGEM E DISPOSITIVO DE FABRICAÇÃO DO TORO"**

A presente invenção se refere a um processo de fabricação de uma cinta em material manocristalino, um dispositivo de fabricação de um toro enrolado, a partir dessa cinta, assim como seus toros em questão e os componentes que os integram.

A fabricação de toros em material nanocristalino de pouca permeabilidade ($\mu \leq 1000$), a partir de fitas amorfas de tipo FeCuNbSiB que se transforma por um recozimento é, em particular, divulgada na patente FR 2 823 507.

Esse documento descreve notadamente um processo de recozimento sob esforço dessas fitas amorfas, que reduz significativamente a extrema fragilidade dos nanocristalinos que não podiam previamente ser manipulados após nanocristalização em toro. Esse processo de recozimento sob esforço permite conseguir propriedades mecânicas tais que se pode realizar o enrolamento da cinta sem risco de ruptura, que se possa também desenrolar e reenrolar, conservando sempre os mesmos mandris de enrolamento.

Essas propriedades mecânicas melhoradas são devido à obtenção de uma seção de cinta nanocristalizada em forma de Ω, apresentando no mínimo pontos de inflexão, com uma seta superior a 1 % da largura. Essa conformação corresponde a um estado menos frágil que um nanocristalino clássico, permitindo em particular desenrolar, depois reenrolar a fita cristalizada sobre o mesmo mandril, mas esse estado de perfil marcado em Ω continua ainda muito frágil para ser manipulado e desenrolado/ rebobinado sobre mandris de diâmetro inferior e, em particular, até se obterem toros de diâmetro inferior ou igual a 10 mm.

Além disso, devido ao perfil em Ω, os desempenhos magnéticos e a percentagem de ruptura no reenrolamento não são independentes da face da cinta que fica voltada para o exterior do toro. Quando a bossa do Ω é

orientada para o exterior do toro, os desempenhos são melhores e a taxa de ruptura ao reenrolamento é baixa; inversamente, para a bossa Ω orientada para o interior do toro. Assim, em produção, ou é preciso permitir à fita ser sistematicamente com bossa do Ω no exterior dos toros produzidos, o que exige um controle suplementar, e um processo mais complexo de aplicar, ou o rendimento de produção será degradado e os desempenhos heterogêneos.

Além disso, quando do enrolamento automatizado em torno, a cabeça de fita muito dificilmente pode ser aspirada e colocada sobre o mandril de enrolamento, já que o perfil em Ω impede uma boa aspiração e aderência da cabeça de fita por esse fenômeno de depressão.

Por outro lado, constata-se que quanto mais aumenta a permeabilidade da cinta, mais ela será frágil em seu estado final e sua taxa de ruptura se torna importante. Esse processo não permite portanto produzir, de forma industrial, uma cinta nanocristalizada, em particular quando sua permeabilidade ultrapassa 1000.

Enfim, a fragilidade reduzida, mas ainda importante da cinta obtida, segundo a técnica anterior permite atingir uma velocidade de passagem que não 3 cm/s.

Ora, considera-se que um processo de recozimento de nanocristalização é industrial se permite atingir uma taxa de ruptura da cinta amorfa inferior a 10 rupturas por km, com uma velocidade de passagem superior ou igual a 10 cm por segundo e por metro de zona útil de forno (zona cuja temperatura é superior ou igual a 500°C) e uma faixa de regulagem da temperatura de recozimento superior a 10°C (faixa na qual se pode fazer variar a temperatura de recozimento, sem mudar significativamente os desempenhos da cinta, em particular sua fragilidade).

A finalidade da presente invenção é, portanto, propor um processo de fabricação de cintas nanocristalinas apto a ser aplicado em uma escala industrial, assim como um produto nanocristalino que pode ser manipulado e utilizado para geometrias de circuitos magnéticos mais compactos que aqueles da técnica anterior, com, em particular, um raio de enrolamento

muito menor do que aquele conhecido até aqui

Para isso, a invenção tem por primeiro objeto um processo de fabricação de uma cinta em material nanocristalino, obtida a partir de uma cinta fundida em um estado amorfo, de composição atômica:

$[Fe_{1-a-b}Co_aNi_b]_{100-x-y-z-\alpha-\beta-\gamma}Cu_xSi_yB_zNb_\alpha M'_\beta M''_\gamma$

M' sendo pelo menos um dos elementos V, Cr, Al e Zn,

M" sendo pelo menos um dos elementos C, Ge, P, Ga, Sb, In e Be, com:

$A \leq 0,07$ e $b \leq 0,1$

$0,5 \leq x \leq 1,5$ e $2 \leq \alpha \leq 5$

$10 \leq y \leq 16,9$ e $5 \leq z \leq 8$

$\beta \leq 2$ e $\gamma \leq 2$

e submetendo-se a fita amorfa a um recozimento de cristalização, no qual se submete a fita no recozimento no estado desenrolado, em passagem através de pelo menos dois blocos em S e sob tensão em uma direção sensivelmente longitudinal axial da fita, de tal modo que a fita seja mantida a uma temperatura de recozimento compreendida entre 530°C e 700°C, durante um período compreendido entre 5 e 120 segundos, sob um esforço de tração axial compreendido entre 2 e 1000 Mpa, o esforço de tração sofrido por essa fita amorfa, sua velocidade de passagem, quando do recozimento, o tempo e a temperatura de recozimento sendo escolhidos de tal modo que o perfil de seção da cinta não esteja em forma de Ω, e apresenta uma flecha máxima da seção transversal da cinta inferior a 3% da largura da cinta, e, de preferência, inferior a 1% da largura.

Os presentes inventores constataram, de forma inteiramente surpreendente, que era possível reduzir, de forma considerável, a fragilidade das cintas nanocristalinas conferindo-lhes uma seção plana, não apresentando perfil em Ω. Essa redução de fragilidade permite diminuir consideravelmente a taxa de ruptura por km e aumentar a velocidade de passagem da cinta.

Sem querer estar ligado por uma teoria, os presentes inventores descobriram com efeito que, à velocidade de passagem determinada e es-

forço de tração determinada, quando a temperatura ou o tempo de recozimento sob esforço aumentar, mais a fração cristalizada f_X aumentará até atingir uma fração cristalizada crítica f_x^c, dependendo do nível de esforço. Se f_x se tornar superior a essa fração crítica f_X^c, então o perfil em Ω começará a aparecer e o material se tornará nitidamente mais frágil.

Por esse novo processo, implicando uma regulagem adaptada das condições de recozimento (esforço de tração, velocidade de passagem, tempo e temperatura de recozimento) é possível estabilizar a produção a uma fração cristalizada inferior à fração recristalizada crítica, de forma a evitar um perfil de seção de cinta em Ω. Consegue-se assim uma cinta apta a ser presa facilmente no início de enrolamento, a ser bobinada em grandes diâmetros, sem falsos redondos, e a ser enrolada eficazmente e indistintamente com uma ou outra de suas faces voltada para o exterior do toro.

O processo, de acordo com a invenção, pode, além disso, apresentar as seguintes características, consideradas sozinhas ou em combinação:

- a velocidade de passagem da cinta é superior ou igual a 10 cm por segundo e por metro de zona útil de forno;

- o esforço de tração axial é superior a 500 Mpa;

- a taxa de ruptura da fita amorfa em passagem é inferior a 10 rupturas por quilômetro de fita;

- y é superior ou igual a 12.

Em um modo de realização preferido, a composição da fita amorfa é escolhida de tal modo que:

$A \leq 0,04$ e $b \leq 0,07$

$0,5 \leq x \leq 1,5$ e $2 \leq \alpha \leq 5$

$13 \leq y \leq 16,6$ e $5,8 \leq z \leq 8$

$\beta \leq 2$ e $\gamma \leq 2$.

Em um outro modo de realização preferido, a composição da fita amorfa é escolhida de tal modo que:

$A \leq 0,02$ e $b \leq 0,05$

$0,5 \leq x \leq 1,5$ e $2,5 \leq \alpha \leq 4$

$14,5 \leq y \leq 16,5$ e $5\,8 \leq z \leq 7,5$

$\beta \leq 1$ e $\gamma \leq 1$.

Estes dois últimos modos de realização, empregando faixas de composição particulares, são mais particularmente úteis para a fabricação de captadores de corrente aptos a medir uma corrente que comporta uma forte componente contínua e podendo ser utilizados em um computador de energia com simples ou duplos estágio, compreendendo pelo menos um toro nesse material nanocristalino, assim como para a fabricação de indutância de armazenagem ou de filtragem, independentes do nível de componente contínua superposta, podendo ser utilizadas em um computador de energia, compreendendo pelo menos um toro nesse material nanocristalino.

Um segundo objeto da invenção é constituído por uma cinta em material nanocristalino que pode ser obtido pela aplicação do processo, de acordo com a invenção, apto a sofrer em qualquer lugar dessa cinta, uma dobra com um diâmetro de curvatura de no máximo 3 mm, sem apresentar ruptura, nem fissura.

A cinta, de acordo com a invenção, pode, além disso, apresentar as características seguintes, consideradas sozinhas ou em combinação:

- cinta obtida pela aplicação do processo, de acordo com a invenção, a partir de uma cinta amorfa, a espessura dessa cinta sendo reduzida de pelo menos 10% em relação à espessura dessa fita amorfa;

- cinta cujo campo coercitivo é inferior ou igual a 7A/m, e, de preferência, inferior ou igual a 5A/m;

- cinta cuja indução a 2000e é superior ou igual a 12 kG.

Um terceiro objeto da invenção é constituído por um toro em material nanocristalino que pode ser obtido pela aplicação do processo, de acordo com a invenção, ao final do qual se enrola essa cinta nanocristalina, e cuja permeabilidade é superior ou igual a 50 e inferior a 200, e cuja freqüência de corte está compreendida entre 30 e 200 MHz, e por um toro, cujo diâmetro é inferior ou igual a 10 mm.

Em um modo de realização preferido, o toro, de acordo com a invenção, apresenta uma degradação do aumento de volume de no máximo

3% em relação ao volume obtido pelo enrolamento de uma cinta de mesma composição que sofreu um recozimento de cristalização sem esforço, e isto para uma redução de espessura da cinta nanocristalizada que vai até 10% em relação à espessura da fita amorfa de partida.

Em um outro modo de realização preferido, o toro, de acordo com a invenção é obtido pelo processo, de acordo com a invenção, ao final do qual se enrola uma primeira vez essa cinta nanocristalina sobre um primeiro mandril, depois por desenrolamento e enrolamento posterior sobre um segundo mandril, o diâmetro do segundo mandril sendo inferior ao diâmetro do primeiro mandril.

Um quarto objeto da invenção é constituído por um dispositivo (1) de fabricação de um toro magnético a partir de uma fita (R) fundida em um estado amorfo, por recozimento dessa fita (R) amorfa, que comporta:

- uma árvore de recepção (2) de uma bobina de fita (R) no estado amorfo;
- um forno com passagem (3) regulado em temperatura;
- pelo menos um bloco em S (4) situado antes da entrada da fita (R) no forno (3) e ligado a um motor freio (5);
- um dispositivo (6) de regulagem de um esforço de tração na direção axial dessa fita amorfa (R) e da cinta (N) em material nanocristalino, esse dispositivo (6) compreendendo um dispositivo de medida de esforço ligado a um módulo de comando do motor freio (5) desse bloco em S situado (4), antes da entrada da fita (R) no forno (3);
- pelo menos um bloco em S (7) situado após a saída da cinta (N) do forno de passagem (3) e ligado a um motor;
- pelo menos um mandril de enrolamento (8) para o enrolamento da cinta (N) obtida após recozimento sob a forma de um toro em material nanocristalino,

a fita amorfa (R) que passa de uma bobina de estocagem da fita amorfa (R) encaixada sobre essa árvore de recepção (2), na bobina de cinta (N) em material nanocristalino, sucessivamente através do bloco em S (4) situado antes da entrada da fita (R) no forno (3), depois através do dispositivo de me-

dida de esforço (6). depois através do forno (3). depois através do bloco em S (7) situado após a saída da cinta (N) do forno (3).

O dispositivo, de acordo com a invenção, pode, além disso, apresentar as seguintes características, consideradas sozinhas ou em combinação:

- o dispositivo compreende um primeiro mandril de enrolamento da cinta e um segundo mandril de enrolamento da cinta, de modo que se possa, após enrolamento de um primeiro toro sobre o primeiro mandril, cortar a cinta (N) e encaixar uma parte de cabeça da cinta (N) sobre o segundo mandril, para realizar o enrolamento de um segundo toro, sem interromper a fabricação;

- o dispositivo compreende um único mandril de enrolamento (8) da cinta (N) e de um acumulador de cinta (9) a jusante desse bloco em S (7) de saída do forno (3), permitindo substituir a bobina de enrolamento, sem interromper a fabricação;

- o dispositivo compreende, além disso, pelo menos um rodete prensor (10) que acaba de comprimir a cinta (N) recozida quando de sua passagem no bloco em S (7) situado após a saída da cinta (N) do forno de passagem (3);

- o dispositivo compreende, além disso um rodete arqueado que vem comprimir a fita amorfa (R), quando de sua passagem no bloco em S (4) situado antes da entrada dessa fita (R) no forno (3).

Esse dispositivo permite obter uma seção plana tal que ela é pesquisada, de acordo com a invenção. É preciso notar que não era possível para o técnico predizer que uma cinta nanocristalina poderia seguir as curvaturas fortes e alternadas de bloco em S com os fortes esforços de tração superpostos, e isto sem ruptura durante um até mesmo vários quilômetros de fita.

A invenção vai agora ser descrita com referência às figuras anexadas que representam:

- figura 1: dispositivo da patente FR 2 823 507

- figura 2: vista esquemática de um dispositivo, de acordo com a

invenção.

As ligas utilizadas para a fabricação de cintas nanocristalinas, segundo a presente invenção têm a seguinte composição atômica:

$$[Fe_{1-a-b}Co_aNi_b]_{100-x-y-z-\alpha-\beta-\gamma}Cu_xSi_yB_zNb_\alpha M'_\beta M''_\gamma$$

M' sendo pelo menos um dos elementos V, Cr, Al e Zn,

M" sendo pelo menos dos elementos C, Ge, P, Ga, Sb, In e Be,

com:

$A \leq 0,07$ e $b \leq 0,1$

$0,5 \leq x \leq 1,5$ e $2 \leq \alpha \leq 5$

$10 \leq y \leq 16,9$ e $5 \leq z \leq 8$

$\beta \leq 2$ e $\gamma \leq 2$.

No presente pedido, salvo menção contrária, todas as percentagens reportando-se a composições são percentagens atômicas.

A utilização de um elemento amorfizante, tal como o boro, permite conseguir por fundição com um resfriamento à grande velocidade, um material amorfo, geralmente sob a forma de uma fita fina que é, em seguida, recozida para se conseguir um material de tipo nanocristalino, isto é, um material contendo mais de 50% em volume de cristais que apresentam um tamanho inferior a 100 nm, em uma fase amorfa, constituindo o sólido do volume do material.

No âmbito da presente invenção, a percentagem atômica em boro está compreendida entre 5 e 8%. Com efeito, se o teor em boro for muito baixo, sem substituição parcial por um outro amortizador, a fita se torna muito difícil de se tornar amorfa por um processo convencional de elaboração por têmpera sobre roda. Na prática, não se pode ter menos de 5% de boro, e prefere-se ter mais de 6%.

Ao contrário, aumentando-se a percentagem em boro, a cristalização à passagem sob esforço é tornada difícil, o que obriga a diminuir a velocidade V de passagem e limita, portanto, a faixa de permeabilidade acessível ($\mu_{min} \geq 300$) e sobretudo degrada muito o campo coercitivo Hc, que atinge valores superiores a 13A/m. Em conseqüência, o teor máximo em boro deve ser limitado a 8%.

Os elementos agrupados sob a letra M", a saber C, Ge, P, Ga, Sb, In e Be são também elementos amortizadores. A substituição parcial do boro por um ou vários desses elementos é possível para um nível de substituição limite, pois o boro é o amortizador mais eficaz face a velocidades de têmpera sobre roda necessária à obtenção de um estado 100% amorfo, antes do recozimento de cristalização sob tração. Limita-se, portanto, essa taxa de substituição dos outros elementos amortecedores a 2%.

O teor em cobalto da cinta, de acordo com a invenção, é no máximo de 5,75% em aproximadamente ($a < 0,07$ e b, x, y, z, α, β e γ mínimo). Com efeito, caso se ultrapasse esse valor, Hc será degradado, assim como as perdas magnéticas, o que é nefasto a uma miniaturização dos componentes fabricados a partir dessa cinta. Considerando-se essas desvantagens, prefere-se limitar o valor de a a 0,04, até mesmo a 0,02 e de forma mais particularmente preferida a zero.

O teor em níquel da cinta, de acordo com a invenção, é no máximo de 8,25% em aproximadamente ($b \leq 0,1$ e a, x, y, z, α, β e γ mínimo). Com efeito, caso se ultrapassa esse valor, a saturação do material é degradada bem abaixo de 1,2T, assim como sua capacidade de reduzir significativamente o volume dos circuitos magnéticos comparado a alternativas em amorfos base cobalto, por exemplo. Considerando-se essas desvantagens, prefere-se limitar o valor de b em 0,07 até mesmo 0,05 e, de forma mais particularmente preferida em 0.

Prefere-se, além disso, limitar o total dos teores em cobalto e níquel a aproximadamente 8,25% em ($a+b \leq 0,1$).

A percentagem atômica em cobre da composição, de acordo com a invenção, está compreendida entre 0,5 e 1,5%. A percentagem em cobre deve ser mantida acima de 0,5%, pois aquém desse valor, a nucleação dos nanocristais não é mais suficiente para ter cristais de pequeno tamanho e Hc aumenta desmedidamente. Ao contrário, se a percentagem em cobre for superior a 1,5%, numerosos cristais são formados, mas isto não provoca melhoria visível dos desempenhos, enquanto que a imantação de saturação diminui.

A percentagem atômica em nióbio da composição, de acordo com a invenção, está compreendida entre 2 e 5%. Esse elemento é um inibidor de aumento, encarregado de conservar um tamanho pequeno de cristais, quando do aumento destes. Abaixo de 2% de nióbio, a inibição é insuficiente e Hc aumenta sobre todos os tipos de fitas nanocristalinas, aí compreendidos esses produtos por nanocristalização sob tração.

Caso se aumente a percentagem em nióbio a 6% a indução saturante B (20 Oe) se degrada significativamente e sobretudo se observa uma fragilização da fita que o torna muito difícil de manipular industrialmente sem risco de rupturas freqüentes. Em conseqüência, a percentagem máxima em nióbio deve ser conservado inferior ou igual a 5%.

A percentagem atômica em silício da composição, de acordo com a invenção, está compreendido entre 10 e 16,9%. Esse metalóide permite regular a magnetostricção da fita nanocristalizada a um valor muito próximo de zero.

Em um modo de realização preferido, o teor em silício da cinta, de acordo com a invenção, é superior ou igual a 12%. Com efeito, abaixo desse valor, Hc se degrada e atinge valores da ordem de 8 A/m, provocando perdas magnéticas relativamente elevadas, embora aceitáveis.

Os elementos agrupados sob a letra M', a saber V, Cr, Al e Zn, são metalóides podendo substituir silício em certos limites. Com efeito, uma substituição que ultrapassa 2% se afasta significativamente desses valores de magnetostricção, tornando o produto final sensível aos esforços externos tais como o enrolamento da fita sobre ela própria (dificuldade de curvatura da cinta) e embalagem.

Por outro lado, para uma utilização em armazenagem de energia, em vaivém de harmônico de corrente ou ainda indutâncias de modo comum para elevadas freqüências, uma grande linearidade B-H não é forçosamente necessária ou útil ou interessante e uma relação Br/Bm (Br indução remanente, BM indução a 20 Oe dita indução de aproximação de saturação) de 10-15% pode ser inteiramente suficiente.

Ao contrário, em certos casos de componentes, tais como as

indutâncias de filtragem onde se deseja atenuar da mesma forma independentemente da componente contínua superposta, as indutâncias de armazenagem onde se deseja estocar e transferir a mesma energia do e no circuito elétrico, independentemente da componente contínua superposta, os captadores de corrente onde se deseja medir ou transformar a corrente com a mesma precisão, independentemente da componente contínua superposta, uma forte linearidade B-H é necessária. Isto quer dizer para as ligas nanocristalizadas sob tração à passagem que essas aplicações necessitam uma relação Br/Bm inferior ou igual a 3% e, de preferência, inferior ou igual a 1%. Os presentes inventores constataram, de forma surpreendente, que as faixas de composição que acabam de ser descritas devem ser reduzidas para atingirem esses valores.

Assim, são obtidos todas as vantagens da invenção já apresentadas anteriormente e também uma linearidade B-H melhorada, tal que a relação Br/Bm seja inferior ou igual a 3% a 20°C, respeitando as seguintes condições suplementares:

$A \leq 0,04$ e $b \leq 0,07$

$0,5 \leq x \leq 1,5$ e $2 \leq \alpha \leq 5$

$13 \leq y \leq 16,6$ e $5,8 \leq z \leq 8$

$\beta \leq 2$ e $\gamma \leq 2$

Além disso, nesse domínio de composição, observa-se que a razão B_r/B_m entre 0 e 400°C é inferior ou igual a 6% e a razão B_r/B_m entre 0 e 300°C é inferior ou igual a 3%.

Consegue-se, além disso, uma linearidade B-H ótima, tal como a relação Br/Bm seja inferior ou igual a 1% a 20°C e, de preferência, inferior ou igual a 0,7% a 20°C, respeitando as seguintes condições suplementares:

$A \leq 0,02$ e $b \leq 0,05$

$0,5 \leq x \leq 1,5$ e $2,5 \leq \alpha \leq 4$

$14,5 \leq y \leq 18,5$ e $5,8 \leq z \leq 7,5$

$\beta \leq 1$ e $\gamma \leq 1$

Além disso, nesse domínio de composição, observa-se que a razão Br/Bm entre 0 e 400°C é inferior ou igual a 1,5% e que a razão Br/Bm

entre 0 e 330°C é inferior ou igual a 0,8%.

O material é elaborado sob a forma líquida, depois derramado com um elevada velocidade de resfriamento, em uma instalação de fundição de fitas amorfas de cilindro resfriado de tipo clássico, de tal modo que se consiga na saída da instalação de fundição, uma cinta amorfa enrolada sob a forma de uma bobina com espiras contíguas.

A instalação de recozimento comporta principalmente um forno de passagem (3) que pode ser um forno de resistência que realiza o afastamento da cinta por convecção e radiação, um forno de radiação puro ou ainda uma instalação de aquecimento da cinta por efeito Joule à travessia do forno.

O recozimento da cinta poderia também ser feito por uma camada fluidizada constituída de partículas sólidas ou líquidas ou sob uma das formas sol gel e aerossol em suspensão em um gás carreador, o meio de aquecimento da cinta sendo ele próprio aquecido por contato com um compartimento ele próprio aquecido por um forno de tipo clássico, por exemplo de resistência.

O forno (3) comporta uma zona central na qual a temperatura é homogênea e está compreendida no intervalo necessário para efetuar a recristalização da cinta sob tensão em passagem, de acordo com a invenção, essa temperatura estando compreendida entre 530°C e 700°C, e, de preferência, entre 540 e 690°C. Nessa faixa, faz-se variar a temperatura T sensivelmente segundo a velocidade de produção V escolhida e seguindo o esforço de tração σ escolhido (isto é, também a permeabilidade μ escolhida), pois aumentar V ou diminuir σ aumenta a temperatura ótima T de recozimento. O limite de temperatura superior da cinta de 700°C é imposto para evitar a formação de fases constituídas de boretos que fragilizam a cinta e diminuem suas propriedades magnéticas.

Os mandris de enrolamento (8) e de desenrolamento da cinta são, de preferência, motorizados ou freados (por exemplo com o auxílio de um freio a pó sobre desenrolador) para aumentar ainda a produtividade do dispositivo. Os blocos em S na entrada (4) e saída (7) do forno de passagem

(3) são ambos motorizados, o bloco em S de entrada (4) sendo ligado a um motor freio (5) que exerce uma frenagem e um binário de retenção sobre a cinta amorfa (R), durante todo o tratamento. O bloco em S (7) na saída do forno (3) é acionado por um motor, associado a um redutor e serve para acionar a cinta (N), a fim de que passe no forno com um esforço de tração perfeitamente regulado, assim como a uma velocidade regular que pode passar 10 cm/s. O comprimento do forno de recozimento (3) deverá ser adaptado à velocidade de passagem da cinta (R), de tal modo que a cristalização possa ser feita corretamente, sabendo-se que quanto mais a velocidade de passagem aumentar, mais o comprimento do forno (3) deverá ser aumentado.

A combinação desses dois blocos em S (4,7) permite exercer, de forma perfeitamente uniforme sobre a largura da cinta uma tração perfeitamente regulada, o esforço de tração na direção longitudinal axial da cinta (R) em curso de tratamento no forno de recozimento (3) estando compreendida entre 2 e 1000 MPa.

Também é possível e preferível prever que os mandris de enrolamento (8) da cinta (N) e de desenrolamento (2) da cinta amorfa (R) sejam motorizados para assegurar uma tração regulada de amplitude baixa (da ordem de alguns Mpa) sobre a cinta (R), antes da passagem no bloco S de entrada (4) e/ou sobre a cinta (N), após passagem no bloco em S de saída (7).

A regulagem do esforço de tração exercida sobre a cinta (N) em passagem durante o tratamento de recozimento é realizado com o auxílio de um dispositivo de medida e de regulagem de esforço (6).

Esse dispositivo (6) pode compreender uma primeira polia fixa e uma segunda polia fixa sobre a qual a cinta passa sucessivamente à entrada e a tirá-la do dispositivo de regulagem de esforço. Entre essas duas polias, a cinta (R) passa sobre um polia de eixo móvel cujo eixo é paralelo àquele dos eixos das duas polias fixas. A polia do eixo móvel é ligada por uma haste de tração a um captador de esforço fixado sobre um suporte. Essa haste permite medir em contínuo a tração F exercida sobre a cinta (R) e o sinal de me-

dida correspondente é transmitido a um módulo de comando do motor-freio (5) do bloco em S motorizado de entrada (4) no forno (3).

Esse motor-freio (5) é regulado a partir do sinal de esforço para exercer sobre a cinta (R) uma força de retenção e de tração na direção longitudinal axial igual à força F que constitui o parâmetro de regulagem. A força de tração e de acionamento exercida pelo motor do bloco em S motorizado de saída (7) do forno (3) se ajusta automaticamente ao valor de esforço F imposto pelo motor-freio (5).

Por outro lado, o dispositivo (1), de acordo com a invenção, pode compreender um primeiro mandril de enrolamento da cinta e um segundo mandril de enrolamento da cinta, de modo que se possa, após enrolamento de um primeiro toro sobre o primeira mandril, cortar a cinta (N) e encaixar uma parte de cabeça da cinta (N) sobre o segundo mandril, para realizar o enrolamento de um segundo toro, sem interromper a fabricação. Essa substituição de bobinas de produtos acabados é em particular favorecida pelo desacoplamento total da zona de forte tração compreendida entre os dois blocos em S (4,7) das zonas de baixa tração antes e depois desses blocos (4,7), desacoplamento que permite controlar as eventuais flutuações brutais de esforço. Entende-se no caso pela palavra "toro" tanto um toro enrolado definitivamente segundo as prescrições de dimensionamento de um componente magnético, quanto uma bobina, semiproduto destinado posteriormente a ser colocado em uma enroladora manual ou automática de toro (compreendendo as operações de desenrolamento, medida de comprimento da cinta, enrolamento do toro, corte no comprimento, colagem da espira externa e extração a partir do mandril).

Pode-se também acrescentar pelo menos um rodete prensor (10) sobre a saída de bloco em S (7) que vem comprimir a cinta (N) recozida quando de sua passagem no bloco em S(7) situado após a saída da cinta (N) do forno de passagem (3). Esse rodete suplementar (10) de bloco em S pode ser arqueado. É preferível e vantajoso dispor de rodetes arqueados nos blocos em S (47), pois assim não somente eles acabam de comprimir a cinta amorfa (R) ou a cinta nanocristalina (N), quando de sua passagem no

bloco S (4,7), mas eles permitem centrar automaticamente a fita (R) ou a cinta (N), permitindo uma passagem que não se desvia de sua trajetória, e pode sofrer um esforço de tração regular uniformemente distribuída sobre sua largura e sobre o conjunto da superfície de contato dos rodetes de bloco em S (4,7).

Pode-se aumentar ainda a aderência da cinta, sua estabilidade e sua centragem segundo o eixo transverso do cilindro, inserindo-se outros blocos em S em linha sobre o processo. Isto pode permitir, além disso, regular a relação de esforços entre a zona de tração elevada (entre blocos em S) e as zonas a jusante e a montante de tração reduzida, assim como a repartição dos esforço localizados e, portanto, reduzir ainda no final a taxa de ruptura por km.

O processo, de acordo com a invenção, pode também permitir realizar toros enrolados à grande velocidade de forma redonda oblonga defasados sobre um posto de enrolamento desconectado do posto de produção de coleta sob tração. Nesse caso, o enrolamento é feito a partir de bobinas de cintas produzidas por recozimento sob tração, de acordo com a invenção. Para fabricação de toros oblongos, suportes magnéticos de enrolamento devem ser acrescentados no momento do enrolamento da cinta oriunda do processo de recozimento sob tração e podem ser em seguida retirados após o revestimento ou a impregnação do toro, ou ainda ser conservados.

Por outro lado, pode ser interessante utilizar um mandril magnético ou um mandril com aspiração para imobilizar sobre o mandril o começo de fita.

De maneira geral, as condições de cristalização da cinta no interior do forno em recozimento (3) sob tensão são tais que a cinta comporta pelo menos 50% em volume de nanocristais, cujo tamanho está compreendido entre 2 e 20 nm. Os diferentes cristais são separados uns dos outros pela matriz constituída pela fração da liga que permaneceu amorfa.

Uma das vantagens do processo, de acordo com a invenção, é de poder utilizar uma faixa de esforços de tração muito ampla, que vai de 2 a

1000 Mpa. Isto permite atingir permeabilidades compreendidas entre 50 e 5000.

Em particular, utilizando-se um esforço de tração superior a 250 Mpa, e mais superior a 500 Mpa, é possível fabricar uma cinta nanocristalina, que apresenta uma permeabilidade compreendida entre 50 e 200, faixa que não era até aqui possível atingir pelos processos convencionais (por exemplo FR 2 823 507). Assim, foi possível conseguir uma permeabilidade da ordem de 90 para um esforço de 400 Mpa, e uma permeabilidade de 50 para um esforço de 700 Mpa.

Por outro lado, fazendo-se sofrer esforços de tração elevados na fita amorfa, pode-se reduzir a espessura da cinta nanocristalina de 3 a 10%, até mesmo mais. Assim, uma fita de uma espessura de 20 µm poderá se ver transformado em uma cinta de 18 ou 19 µm. Essa redução de espessura da cinta nanocristalina tem conseqüências sobre os desempenhos magnéticos dos componentes fabricados a partir desta. Com efeito, ela permite diminuir as correntes induzidas no metal e, portanto, as perdas magnéticas do futuro núcleo enrolado.

Além disso, os presentes inventores constataram que esses melhores desempenhos magnéticos são conseguidos sem degradação do aumento de volume da cinta, o que é inteiramente surpreendente, pois é conhecido que quanto mais a espessura de uma folha de metal enrolada diminui, mais o aumento do volume do enrolamento aumenta.

De maneira a reduzir as correntes induzidas no toro e as perdas magnéticas, pode ser necessário, em função das aplicações finais previstas para o toro, depositar ou formar uma camada de isolamento elétrico sobre a cinta para isolar as espiras sucessivas umas das outras. Pode-se, por exemplo, depositar em contínuo, sobre a cinta após recozimento, uma substância mineral sobre uma espessura de um décimo de micrometros a alguns micrometros.

Essa substância mineral depositada entre as espiras pode ser constituída por um leite de magnésia (MgO), cuja água é eliminada em uma operação posterior de colocação na estufa à baixa temperatura.

Mais geralmente, podem-se utilizar as seguintes composições clássicas:

- Pó SiO_2, MgO, Al_2O_2 depositado na superfície por imersão em uma resina, por pulverização, por eletroforese ou por qualquer outra técnica de depósito;

- depósito de finas camadas de SiO_2, MgO, Al_2O_2 na superfície por pulverização CVD, PVD ou método eletrostático;

- solução de silicato de alquila no álcool, misturada a um ácido para formar forsterita $MgSiO_4$ após tratamento térmico;

- solução obtida por hidrólise parcial de SiO_2 e TiO_2 misturados a diversos pós cerâmicos;

- solução contendo principalmente um politano-carbonato aplicada sobre a fita depois aquecida;

- solução de fosfato aplicada e aquecida;

- solução de isolamento formada por aplicação de um agente de oxidação e aquecida.

De preferência, a camada de isolamento é depositada seja sobra a cinta desenrolada da bobina obtida ao final do recozimento, antes do reenrolamento sob a forma de um ou vários toros para componente eletromagnético, seja em linha na saída do bloco em S motor antes do enrolamento em bobina. Nos dois casos, esse depósito é em geral seguido de um recozimento à baixa temperatura para assegurar a polimerização ou a desidratação.

Pode-se também utilizar um revestimento prévio ao recozimento de cristalização tendo propriedades isolantes, depositado sobre uma espessura de 1/10 de micrometro a algumas dezenas de micrometros sobre a fita amorfa, esse revestimento resistente às temperaturas do recozimento instantâneo e às fortes trações do recozimento. Pode-se, por exemplo, utilizar como revestimento prévio da cinta amorfa, o metilato de magnésio.

Esse tipo de revestimento para isolamento prévio ao recozimento ou por isolamento elétrico da cinta recozida pode ser feito por qualquer meio adaptado, e em particular por revestimento entre dois cilindro, ou por depósito de tipo CVD ou PVD, ou por pulverização, ou por camada fluidiza-

da, etc., com uma etapa complementar eventual de secagem e/ou de polimerização e/ou de reticulação, em função da natureza da matéria isolante, do tipo de monômero e da presença de solvente, entre outros.

Quando se utiliza um revestimento isolante mineral (resistente à temperatura), o revestimento é, de preferência, feito sobre a fita amorfa, antes do recozimento de nanocristalização, e de forma particularmente preferida, antes do bloco em S de entrada. Os presentes inventores constataram que uma parte da matéria isolante se destaca da fita amorfa quando da passagem no forno de recozimento, mas sobretudo que o isolante residual permite reforçar as características mecânicas da fita diminuindo sua fragilidade.

Além disso, a tração necessária para se conseguir um nível de permeabilidade predefinido se acha então reduzida. Pode-se portanto atingir permeabilidades ainda menores, aumentando a tração.

De forma inteiramente diferente e complementar ao isolamento interespira, é também possível revestir os toros, de acordo com a invenção - previamente enrolados em toro, segundos as prescrições geométricos ditadas pela aplicação - por uma matéria plástica, tal como uma resina epóxi por exemplo, essa resina podendo ser aplicada a quente ou a frio. Constatou-se que um revestimento desse tipo não degradava absolutamente os desempenhos magnéticos dos toros, mesmo quando a resina é aplicada a uma temperatura da ordem de 200°C. Esse revestimento penetra muito pouco entre as espiras e tem por função rigidificar e proteger o toro dos esforços de bobinagem, proteger o isolante elétrico do fio de bobinagem dos ferimentos pelas bordas cortantes da cinta enrolada, assegurar um bom isolamento dielétrico entre o toro enrolado e as bobinagens.

Além disso, os revestimentos de isolamento elétrico interespira ou o revestimento externo do toro para proteção elétrica e mecânica do toro e de sua bobinagem, que acabam de ser descritos, é também possível impregnar os intervalos existentes entre as espiras de um toro, de acordo com a invenção, com o auxílio de uma resina fluida e endurecedora específica, sem degradação sensível de sua permeabilidade. Nesse estado, o toro se torna muito rígido, monobloco e assim apto ao recorte.

O toro impregnado assim produzido pode então ser cortado em 2C com um aumento do campo coercitivo H_c não ultrapassando 50%, enquanto que a permeabilidade μ1 do circuito magnético realizado com os 2 C juntados pode ser regulada por supermodelagem adequada das superfícies de corte a um nível menor de no máximo 50% em relação a μ.

Se, por exemplo, se produzir um toro impregnado, de acordo com a invenção, e cuja permeabilidade se eleva a μ = 300, poder-se-á conseguir uma permeabilidade μ1 compreendida entre 150 e 300. Essa diminuição é devido ao entreferro residual oriundo do recorte.

Vê-se, portanto, que é possível colocar à disposição um toro com baixa permeabilidade que têm todos os desempenhos dos nanocristalinos recozidos sob esforço que foram descritos anteriormente, assim como uma geometria a 2 C, permitindo obter um componente final compacto e que não apresenta entreferro diferente do residual, que poderia gerar perturbações dos campos magnéticos externos e dos aquecimentos localizados em direção das zonas de entreferro.

TESTES

Uma série de fundições 1 a 19, cujas composições são reunidas na tabela 1 foram realizadas para serem obtidas fitas amorfas, segundo o processo clássico de têmpera sobre uma roda resfriada.

Essas fitas foram em seguida submetidas a diferentes processos de recozimento, processos cujas características estão reunidas na tabela 2.

Uma vez transformadas em cintas nanocristalinas por recozimento sob esforço, estas foram submetidas a um certo número de testes de caracterização, cujos resultados são também reunidos na tabela 2.

No âmbito desses testes, denominam-se:

. RP: o processo de recozimento sob esforço dos nanocristalinos já conhecido, utilizando um ou dois pares pelo menos de cilindros pinçadores (cf. patente FR 2 823 507);

. direto: o processo de recozimento sob esforço dos nanocristalinos já conhecido, utilizando uma tração direta da fita pelas bobinas de enrolamento e de desenrolamento (cf. patente FR 2 823 507);

. BS: o processo de recozimento sob esforço dos nanocristalinos tal como descrito nessa invenção e utilizando, por exemplo, um bloco em S na entrada do forno de recozimento e um bloco em S à saída desse forno.

São utilizados também os seguintes símbolos:

D_{MIN} - raio de curvatura em limite de ruptura da cinta,

T_{TTH} - temperatura de recozimento de nanocristalização;

σ - esforço de tração, quando do recozimento;

μr - permeabilidade relativa

ΔT - faixa dos valores da temperatura de recozimento, permtindo obter $D_{MIN} \leq 3$ mm para toda a faixa de μr acessível;

Br - Br indução remanente;

Bm - indução a 20 Oe dita indução de aproximação de saturação;

B(200) - indução saturante a 200 Oe;

Hc - campo coercitivo.

Entende-se por "faixa de μr" a extensão de valores de μr acessível a uma fundição determinada para características determinadas de processo, no interior da faixa máxima de μr de 50 a 5000.

Determinação de D_{MIN}

O raio de curvatura em limite de ruptura da cinta D_{MIN} é medido, colocando-se a cinta sobre uma série de formas calibradas em ½ redondo, cujo dia vai diminuindo, até que a cinta se parta. Utilizam-se sucessivamente e por valores decrescentes dos diâmetros de 5 a 2,5 mm por passo de 0,1 mm.

<u>Determinação de ΔT</u>

ΔT é a faixa dos valores da temperatura de recozimento, permitindo obter $D_{MIN} \leq 3$ mm para toda a faixa de μr acessível. Com efeito, considera-se que a fragilidade da cinta é compatível com um processo na escala industrial, quando D_{MIN} é inferior a 3 mm.

Para determinar o valor de ΔT, mede-se portanto D_{MIN} para cintas de diversas permeabilidades, obtidas fazendo-se variar o esforço de tração, quando do recozimento, e isto para diferentes valores da temperatura

de recozimento T_{TTH} Assim. para uma fundição de composição Nº 1 (cf. tabela 1), foram obtidos os seguinte valores de D_{MIN}.

T_{TTH} (°C)	Permeabilidade μr				
	200	300	600	1000	1700
570	1,9	*	1,9	2,0	2,3
590	1,7	*	2,2	2,7	2,7
600	2,5	2,7	3,1	3,5	3,6

* testes não realizados.

Nesse exemplo, o valor de ΔT é estimado em 30°C entre 560 e 595°C.

Constata-se que quanto mais a permeabilidade aumenta, mais D_{MIN} aumentará, para se estabilizar para μ = 1500 - 2000. A fita a menos frágil é, portanto, aquela que tem a menor permeabilidade, o que é uma vantagem suplementar de miniaturização para as aplicações de tipo aumento de volume/armazenagem de energia.

Nota-se também que D_{MIN} é muito sensível à temperatura de recozimento sob tração. Assim, um desvio de 30°C faz passar todas as cintas, cuja permeabilidade é superior a 500 de um estado de pouca fragilidade obtida a 570°C ($D_{MIN} \leq 3$ mm) em um estado cada vez mais frágil (D_{MIN} podendo atingir 3,6 mm).

Tabela 1

Fundição	% CO	% Nl	% Cu	% Si	%B	%Nb	%M'	%M"
1	0	0	1,0	15,3	6,5	2,96		
2	1,7	0	1,0	15,3	6,5	2,96		
3	5,0	0	1,0	15,3	6,5	2,96		
4	5,0	0	1,0	15,3	6,5	2,96		
5	10	0	1,0	15,3	6,5	2,96		
6	0	0	1,5	15,5	7	3,02		
7	0	0	0,7	15,2	6,8	2,98		
8	0	0	1,02	15,1	6,6	3,9		
9	0	0	0,97	15,4	6,7	6		
10	0	0	0,99	14,4	6,4	2,97	Cr: 0,98	
11	0	0	1,03	14,1	6,3	2,88	Al: 1,53	

Fundição	% CO	% Ni	% Cu	% Si	%B	%Nb	%M'	%M''
12	0	0	1,1	15,3	5,3	2,95		C:1,22
13	0	0	1,01	13,1	6,2	2,99	V:2,4	
14	0	0	1,02	12,6	6,3	2,98		Ge: 2,6
15	0	0	1,02	13,5	6,5	2,98		
16	0	0	0,99	11,5	6,6	3,01		
17	0	0	0,98	15,2	8,4	2,96		
18	2,0	1,0	1,0	15,3	6,5	2,96		
19	2,0	3,0	1,0	15,3	6,5	2,96		

Tabela 2

Teste	Fun-dição Nº	Parâmetros Processo						Resultados					Teste verificando a invenção
		Tipo processo	D_{MIN} (mm)	T_{TTH} (°C)	Velocidade (cm/s)	Faixa σ (MPa)	ΔT Faixa de T_{TTH} (°C)	Nb de Ruptura por km	Br/Bm (%)	Faixa de μr	Hc (A/m)	B(200) (KG)	
A	1	RP	≤ 2,5	660	3	≤ 500	30	> 50	< 1	≥ 200	2 a 5	≥ 12	
B	1	direto	~ 3	655	1	≤ 300	30	> 10	< 1	≥ 300	2 a 5	≥ 12	
C	1	BS	≤ 2,5	590	≥ 10	≤ 1000	30	< 5	< 1	≥ 50	3	≥ 12	X
D	2	direto	3	665	1	≤ 300	30	> 10	1	≥ 350	6	≥ 12	
D'	2	BS	≤ 2,2	595	≥ 10	≤ 1000	30	< 5	< 3	≥ 300	4	≥ 12	X
E	3	direto	3	665	1	≤ 300	30	> 10	2	≥ 500	7	12	
E'	3	BS	2,7	625	≥ 10	≤ 1000	30	< 5	< 3	≥ 600	6	12	X
F	4	BS	2,5	610	≥ 10	≤ 500	30	< 5	2	≥ 280	6,5	12	X
G	5	BS	3	670	1	≤ 300	30	20	4-5	≥ 500	10	11,5	
H	6	BS	≤ 2,5	580	≥ 10	≤ 1000	30	< 5	< 1	≥ 50	1 a 5	≥ 12	X
I	7	BS	2,5	605	≥ 10	≤ 1000	30	< 5	< 1	≥ 50	2 a 6	≥ 12	X
J	8	BS	2,7	630	5	≤ 1000	40	< 5	< 1	≥ 70	2 a 5	12	X
K	9	BS	3,8	700	0,5	≤ 300	50	< 5	1,7	≥ 200	8	11,2	
L	10	BS	2,6	590	≥ 10	≤ 1000	20	< 5	1,3	≥ 80	2 a 6	≥ 12	X
M	11	BS	≤ 2,5	590	≥ 10	≤ 500	20	< 5	1,8	≥ 150	2 a 7	≥ 12	X
N	12	BS	2,8	610	10	≤ 1000	13	< 5	< 1	≥ 70	2 a 6	≥ 12	X

Tabela 2 - continuação

Teste	Fun-dição Nº	Parâmetros Processo						Resultados					Teste verificando a invenção
		Tipo processo	D_{MIN} (mm)	T_{TTH} (°C)	Velocidade (cm/s)	Faixa σ (MPa)	ΔT Faixa de T_{TTH} (°C)	Nb de Ruptura por km	Br/Bm (%)	Faixa de μr	Hc (A/m)	B(200) (KG)	
O	13	BS	3,4	620	3	≤ 1000	< 10	> 10	3,0	≥ 300	4 a 9	≥ 12	
P	14	BS	2,7	600	≥ 10	≤ 1000	< 10	< 5	2,7	≥ 100	8 a 12	≥ 12	
R	15	BS	≤ 2,5	615	3,3	50	30	< 5	5	≥ 100	5,6	≥ 12	X
S	15	BS	≤ 2,5	640	3,3	50	30	< 5	3	≥ 100	7	≥ 12	X
T	15	BS	≤ 2,5	650	3,3	50	30	< 5	17	≥ 100	91	≥ 12	
U	16	BS	≤ 2,5	620	3,3	50	20	< 5	8	≥ 300	8	≥ 12	X
V	17	BS	≤ 2,5	550	1,6	50	0	< 5	15,3	≥ 300	13,6	11,8	
W	17	BS	≤ 2,5	550	2,4	50	0	< 5	2,6	≥ 300	14	11,8	
X	17	BS	≤ 2,5	550	3,2	50	0	< 5	9	≥ 300	26,4	11,8	
Y	18	BS	≤ 2,5	600	2,6	≤ 1000	30	< 5	< 2	≥ 350	4,5	≥ 12	X
Z	19	BS	≤ 2,5	610	2,6	≤ 1000	30	< 5	< 3	≥ 400	4,8	≥ 12	X

EXEMPLO 1 - Influência da composição da nuance

Influência do teor em boro

Os exemplos V, W e X, cujo teor em boro é de 8,4% apresentam uma fragilidade de um nível correto, com uma taxa de ruptura inferior a 5 rupturas/km.

Mas, com essa percentagem elevada em boro, a cristalização à passagem sob esforço é tornada difícil, e, em particular, mais lenta do que todos os testes industrializáveis, tais como C, D, E e F, por exemplo, o que obriga a diminuir a velocidade de passagem a menos de 4 cm/seg, e o que limita a faixa de permeabilidade acessível a permeabilidades superiores a 300. Em conseqüência, o teor máximo em boro deve ser limitado a 8%.

Por outro lado, o exemplo N mostra que 1,22% de carbono em substituição parcial do boro degrada muito pouco os desempenhos do produto.

Influência do teor em nióbio

O exemplo J mostra que, caso se utilize uma percentagem de nióbio da ordem de 3,9%, os desempenhos magnéticos são globalmente conservados com, todavia, uma baixa da indução saturante B(200 Oe) a 12 KG ao invés de 12,5 KG, para uma composição tal como aquela utilizada para os exemplos A a G, que só contém 2,96% de nióbio.

Além disso, a velocidade de passagem deve ser consideravelmente reduzida para permitir a obtenção de uma fita recozida sob esforço com os desempenhos requeridos de curvatura limite ($\leq$ 3 mm) e de faixa de permeabilidade acessível.

Caso se aumente a percentagem de nióbio a 6% (exemplo K), a faixa de regulagem em temperatura aumenta ainda (50°C) e a faixa de permeabilidade acessível permanece ainda atraente (μ_{min} = 200). Mas a indutância saturante B (200 Oe) se degrada significativamente a 11,2 kg, o que não permite fabricar componentes tão compactos quanto se desejar.

Além disso, o diâmetro limite para o enrolamento em toro, a partir da cinta nanocristalizada sob esforço, se eleva nitidamente a 3,8 mm, o que testemunha uma fragilização da cinta, que a torna muito difícil de mani-

pular industrialmente. sem risco de fraturas freqüentes.

Influência do teor em cobre

Os exemplos H e I mostram que se afastar um pouco de um teor de 1% em cobre, para atingir respectivamente 1,5 ou 0,7% não degrada significativamente os desempenhos.

Influência do teor em silício

Em relação às fitas dos exemplos A a C que contêm 15,3% de silício, constata-se (testes R a U) que, caso se diminua a percentagem em silício a 13,5%, o metal continua apto à produção industrial (< 5 rupturas/km), a faixa de permeabilidade acessível continua vasta (μ_{min} = 100), mas as condições do processo BS, segundo a invenção, se tornam mais críticas face às características magnéticas tais como campo coercitivo Hc.

Assim, para temperaturas de recozimento de 615 e 640°C, Hc permanece inferior ou igual a 7 A/m, mas, desde 650°C, HC aumenta muito significativamente (exemplo T),o que não impede uma produção industrial, já que a faixa ΔT de regulagem de temperatura de recozimento sob esforço continua elevada (~30°C). Todavia, caso se diminua ainda a percentagem em silício até atingir 11,5 (exemplo U), o campo coercitivo se degrada para atingir 8 A/m, quando se encontra nas condições ótimas de fragilidade, provocando perdas magnéticas muito elevadas para o toro enrolado.

Influência do teor em elemento de tipo M'

É preciso limitar o teor possível desses metalóides de substituição ao silício a no máximo 2%. Os exemplos L e M mostram, com efeito, que teores de 1% em cromo ou de 1,5% em alumínio não prejudicam o interesse do produto final, quando são substituídos pelo silício.

Ao contrário, o exemplo O mostra que um teor de 2,4% em vanádio aumenta nitidamente a fragilidade da fita (> 10 rupturas/km), o que leva a reduzir a velocidade à passagem admissível devido a essa fragilidade aumentada. No mesmo tempo, o campo coercitivo Hc se degrada e a faixa de temperatura ΔT do processo na qual desempenhos corretos podem ser obtidos se torna muito baixa (< 10°C), tornando a faixa imprópria a uma fabricação industrial. Além disso, a faixa de μr acessível é reduzida a $\mu r \geq 300$.

Influência do teor em elemento de tipo M

O exemplo P mostra que, quando se substitui o silício por 2,6% de germânio, o campo coercitivo Hc é muito degradado ($\geq$ 8 A/m) e a faixa de temperatura de recozimento ΔT acessível é muito baixa, enquanto que as outras características permanecem inteiramente interessantes.

Influência do teor em cobalto

Os exemplos D e E mostram que a adição moderada de cobalto em substituição parcial pelo ferro, à altura de 1,7% e 5%, degrada a faixa de permeabilidade μ acessível pelo processo "direto", já que μ_{min} passa de 300 a 350 e de 300 a 500, respectivamente.

No caso do processo BS, de acordo com a invenção, o teor admissível em cobalto aparece como 0,05 (exemplo F: μ_{min} = 300), enquanto que com 10% de cobalto, não se pode ter acesso pelo processo a uma permeabilidade inferior a 500 (exemplo G).

Testes complementares nos exemplos C, D', E', Y e Z permitiram determinar os valores de suas perdas magnéticas a 500 kHz (50 mT, 27°C), assim como determinar a estabilidade em temperatura de seus valores de permeabilidades entre 25 e 150°C, e suas magnetostricções aparentes de saturação λs.

Teste	% Co	%Ni	%Co + %NI	μ(150°C)/ μ(25°C)	Perdas magnéticas (em mW/cm3)	Faixa de μr	HC (A/m)	λs (ppm)
C	0	0	0	1,2	230	$\geq$ 50	3	0,5
D'	1,7	0	1,7	1,4	480	$\geq$ 300	4	0,8
E'	5,0	0	5,0	1,5	1225	$\geq$ 600	6	1,3
Y	2,0	1,0	3,0	1,45	610	$\geq$ 350	4,5	1
Z	2,2	3,0	5,2	1,6	780	$\geq$ 400	4,8	1,5

Constata-se que, para testes segundo o processo BS, o aumento do teor em cobalto degrada, além disso, o campo coercitivo Hc, assim como o nível de perdas magnéticas. Esses dois pontos não permitem obter uma liga muito sensível aos pequenos sinais nos dispositivos de medida, nem que seja ligeiramente dissipativo. Em conseqüência, limita-se em cobalto a no máximo 5,75% em aproximadamente ($a \leq 0,07$).

Por outro lado, a elevação dos teores acumulados em cobalto e níquel degradam a magnetostricção aparente de saturação λs, o que torna a liga sensível aso esforços externos (colagem, revestimento, impregnação, recorte, manutenção). Esse aumento degrada também a estabilidade em temperatura de permeabilidade entre 25 e 150°C. Em conseqüência, limita-se em níquel a no máximo 8,25% em aproximadamente ($b \leq 0,1$) e, de preferência, a teores acumulados em Ni e Co de no máximo 8,25% em ($a+b \leq 0,1$).

EXEMPLO 2 - aumento

A fim de estudar a influência do esforço aplicado (sobre a fita) sobre o aumento do toro nanocristalino, preparou-se uma série de fitas amorfas, cuja composição está de acordo com a fundição 1 da tabela 1, e são submetidas a esforços de tração crescentes. As condições dos testes, assim como os resultados obtidos em termos de redução de espessura (ΔEp/Ep) e de aumento estão reunidos na tabela 3:

Tabela 3

Esforço (MPa)	Espessura (µm)	ΔEp/Ep	Aumento (%)
0	17,9		87,1%
19,9	17,8	-0,6%	86,7%
39,8	17,7	-1,2%	87,7%
79,5	17,4	-2,8%	87%
119	17,2	-4,1%	86,2%
171	16,8	-6,4%	84,6%
200	16,6	-8,4%	85,3%
300	16,1	-11%	85,7%
500	14,9	-16,8%	84,6%

Constata-se que o processo, de acordo com a invenção, permite reduzir a espessura da cinta nanocristalina, sem degradação significativa do aumento, o que não era de modo nenhum previsível.

Do ponto de vista das aplicações possíveis das cintas nanocristalinas, de acordo com a invenção, podem ser citados a título indicativo e não limitativo:

- captadores de corrente de forte componente contínua superposta, em particular utilizado em certos modelos dos computadores de energia;

- sondas de corrente larga faixa de freqüência, com ou sem blindagem, com utilização por exemplo no controle de corrente em tempo real dos componentes ativos eletrônica de potência, tais como GTO, IGBT, etc;

- indutâncias de controle e de armazenagem de energia para qualquer tipo de estrutura de conversor eletrônico de potência, tal como PFc, *push pull*, *flyback*, *forward*, etc., permitindo:

. reduzir o volume do componente graças ao acesso a permeabilidades baixas, com perdas magnéticas reduzidas e uma imantação com saturação J_s elevada sob fortes esforços de corrente contínua superposta:

. assegurar uma indutância L muito pouco dependente da corrente contínua superposta e muito reprodutível ($\leq$ 10%, de preferência $\leq$ 5%) em produção industrial;

. evitar qualquer ruído acústico devido à magnetostricção;

. evitar qualquer problema ligado à compatibilidade eletromagnética;

. evitar qualquer aquecimento localizado do circuito magnético;

. transformadores HF (superiores a algumas centenas de kHz), compreendendo toras não cortadas, de acordo com a invenção, para uma utilização em alimentações de ressonância, por exemplo. O toro, de acordo com a invenção, é no caso vantajoso para sua freqüência de corte elevado que pode atingir de 20 a 200 MHz para permeabilidade de 50 a 300, com pequenas perdas magnéticas e uma forte indução de trabalho acessível ($J_s > 1$ T);

. indutâncias de modo comum de filtragem HF, compreendendo toros não cortados, de acordo com a invenção, que apresentam a vantagem de poder miniaturizar o componente graças ao mesmo tempo a um J_s elevado e uma grande freqüência de corte que vai de 1 a 200 MHz, e de forma preferida superior a 10 MHz.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de fabricação de uma cinta em material nanocristalino obtida a partir de uma fita fundida em um estado amorfo, em que a tira apresenta a seguinte composição atômica:

$[Fe_{1-a-b}Co_aNi_b]_{100-x-y-z-\alpha-\beta-\gamma}Cu_xSi_yB_zNb_\alpha M'_\beta M''_\gamma$

M' sendo pelo menos um dos elementos V, Cr, Al e Zn,

M'' sendo pelo menos um dos elementos C, Ge, P, Ga, Sb, In e Be, com:

$a \leq 0,07$ e $b \leq 0,1$

$0,5 \leq x \leq 1,5$ e $2 \leq \alpha \leq 5$

$10 \leq y \leq 16,9$ e $5 \leq z \leq 8$

$\beta \leq 2$ e $\gamma \leq 2$,

em que a fita amorfa é submetida a um recozimento de cristalização, no qual a fita está sob tensão sob tensão em uma direção sensivelmente longitudinal axial da fita, de tal modo que a fita seja mantida a uma temperatura de recozimento compreendida entre 530 e 700°C, durante um período compreendido entre 5 e 120 segundos, sob um esforço de tração axial compreendido entre 2 e 1000 MPa,

caracterizado pelo fato de que:

se submete a fita ao recozimento no estado desenrolado, em passagem para frente através de pelo menos dois blocos em S, e

o esforço de tração sofrido por essa fita amorfa, sua velocidade de passagem para frente, quando do recozimento, o tempo e a temperatura de recozimento sendo escolhidos de tal modo que o perfil de seção transversal da cinta não seja em forma de Ω, e apresente uma deflexão máxima da seção transversal da cinta inferior a 3% da largura da cinta, e, de preferência, inferior a 1% da largura.

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a velocidade de passagem da cinta é superior ou igual a 10 cm por segundo e por metro de zona útil de forno.

3. Processo, de acordo com uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o esforço de tração axial é superior a 500 MPa.

4. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que a taxa de ruptura da fita amorfa em passagem é inferior a 10 rupturas por quilômetro de fita.

5. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que, além disso, y é superior ou igual a 12.

6. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que:

$a \leq 0,04$ e $b \leq 0,07$

$0,5 \leq x \leq 1,5$ e $2 \leq \alpha \leq 5$

$13 \leq y \leq 16,6$ e $5,8 \leq z \leq 8$

$\beta \leq 2$ e $\gamma \leq 2$.

7. Processo, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que:

$a \leq 0,02$ e $b \leq 0,05$

$0,5 \leq x \leq 1,5$ e $2,5 \leq \alpha \leq 4$

$14,5 \leq y \leq 16,5$ e $5,8 \leq z \leq 7,5$

$\beta \leq 1$ e $\gamma \leq 1$.

8. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo fato de que:

$a+b \leq 0,1$.

9. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo fato de que:

$a = 0$.

10. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizado pelo fato de que:

$b = 0$.

11. Cinta em material nanocristalino, caracterizada pelo fato de poder ser obtida pela aplicação do processo, como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 10, e sendo que a cinta é apta a sofrer em qualquer lugar dessa cinta uma dobra com um diâmetro de curvatura de no máximo 3 mm, sem apresentar ruptura, nem fissura.

12. Cinta, de acordo com a reivindicação 11, caracterizada por

ser obtida pela aplicação do processo, como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 10, a partir de uma fita amorfa, a espessura dessa cinta sendo reduzida de pelo menos 10% em relação à espessura dessa fita amorfa.

13. Cinta, de acordo com uma ou outra das reivindicações 11 ou 12, caracterizada pelo fato de que o campo coercitivo é inferior ou igual a 7 A/m, e, de preferência, inferior ou igual a 5 A/m.

14. Cinta, de acordo com qualquer uma das reivindicações 11 a 13, caracterizada pelo fato de que a indução a 15.92 kA/m^2 (200 Oe) é superior ou igual a 12 kg.

15. Toro em material nanocristalino, caracterizado pelo fato de poder ser obtido pela aplicação do processo, como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 10, no final do qual se enrola essa cinta nanocristalina, e a permeabilidade da cinta nanocrinstalina é superior ou igual a 50 e inferior a 200, e a freqüência de corte da cinta nanocrinstalina está compreendida entre 30 e 200 MHz.

16. Toro de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de que o diâmetro dessa cinta nanocristalina é inferior ou igual a 10 mm.

17. Toro, de acordo com qualquer uma das reivindicações 15 a 16, caracterizado por apresentar uma diminuição da dilatação de no máximo 3% em relação à dilatação obtida por enrolamento de uma cinta de mesma composição que sofre um recozimento de cristalização sem esforço, e isto para uma redução de espessura da cinta nanocristalizada que vai até 10% em relação à espessura da fita amorfa de partida.

18. Toro, de acordo com qualquer uma das reivindicações 15 a 17, caracterizado por ser obtido pela aplicação do processo, como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 10, ao final do qual se enrola uma primeira vez essa cinta nanocristalina sobre um primeiro mandril, depois por desenrolamento e enrolamento posterior sobre um segundo mandril, o diâmetro do segundo mandril sendo inferior ao diâmetro do primeiro mandril.

19. Sensor de corrente apto a medir uma corrente que comporta um forte componente de corrente contínua e que pode ser utilizada em um

medidor de energia de um estágio ou de duplo estágio, caracterizado por compreender pelo menos um toro em material nanocristalino obtido pelo processo, como definido em qualquer uma das reivindicações 6 a 10.

20. Indutor de armazenagem ou de filtragem, o qual é independente do nível de componente contínua superposta, podendo ser utilizado em um medidor de energia, caracterizado por compreender pelo menos um toro em material nanocristalino obtido pelo processo, como definido em qualquer uma das reivindicações 6 a 10.

21. Dispositivo (1) de fabricação de um toro magnético a partir de uma fita (R) fundida em um estado amorfo, por recozimento dessa fita (R) amorfa, compreendendo:

- uma árvore de recepção (2) de uma bobina de fita (R) no estado amorfo;

- um forno de passagem (3) regulado em temperatura;

- um dispositivo (6) de regulagem de um esforço de tração na direção axial dessa fita amorfa (R) e da cinta (N) em material nanocristalino, e

- pelo menos um mandril de enrolamento (8) para o enrolamento da cinta (N) obtida após recozimento sob a forma de um toro em material nanocristalino,

caracterizado pelo fato de que a instalação compreende ainda:

- pelo menos um bloco em S (4) situado à frente da fita (R) no forno (3) e ligado a um motor freio (5), esse dispositivo (6) compreendendo um dispositivo de medida de esforço ligado a um módulo de comando do motor freio (5) desse bloco em S situado (4) antes da entrada da fita (R) no forno (3); e

- pelo menos um bloco em S (7) situado após a saída da cinta (N) do forno de passagem (3) e ligado a um motor;

sendo que a fita amorfa (R) passa de uma bobina de estocagem da fita amorfa (R) encaixada sobre essa árvore de recepção (2) à bobina de cinta (N) em material nanocristalino, sucessivamente através do bloco em S (4) situado antes da entrada da fita (R) no forno (3), depois através do dispositivo de medida de esforço (6), depois através do forno (3), depois através

do bloco em S (7) situado após a saída da cinta (N) do forno (3).

22. Dispositivo (1), de acordo com a reivindicação 21, caracterizado por compreender um primeiro mandril de enrolamento da cinta e um segundo mandril de enrolamento da cinta, de modo que se possa, após enrolamento de um primeiro toro sobre o primeiro mandril, cortar a cinta (N) e encaixar uma parte de cabeça da cinta (N) sobre o segundo mandril, para realizar o enrolamento de um segundo toro, sem interromper a fabricação.

23. Dispositivo (1), de acordo com a reivindicação 22, caracterizado por compreender um único mandril de enrolamento (8) da cinta (N) e um acumulador de cinta (9) a jusante desse bloco em S (7) de saída do forno (3), permitindo trocar de bobina de enrolamento, sem interromper a fabricação.

24. Dispositivo (1), de acordo com qualquer uma das reivindicações 21 a 23, caracterizado por compreender, além disso, pelo menos um rodete prensor (10) que vem comprimir a cinta (N) recozida quando de sua passagem no bloco em S (7) situado após a saída da cinta (N) do forno de passagem (3).

25. Dispositivo (1), de acordo com qualquer uma das reivindicações 21 a 24, caracterizado por compreender, além disso, pelo menos um rodete arqueado que vem comprimir a fita amorfa (R), quando de sua passagem no bloco em S (4) situado antes da entrada dessa fita (R) no forno (3).

FIG. 1

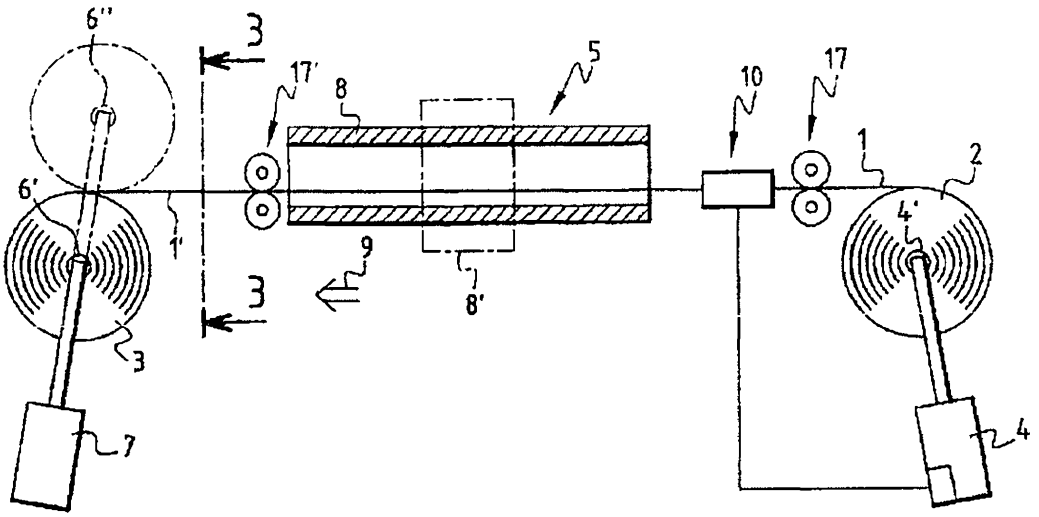


FIG. 2

