



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

(21) PI 0809850-6 A2



(22) Data de Depósito: 26/03/2008
(43) Data da Publicação: 23/09/2014
(RPI 2281)

(51) Int.Cl.:
C22C 38/08
C22C 19/00
H01F 10/12

(54) Título: LIGA AUSTENÍTICA FERRO-NÍQUEL-CROMO-COBRE

(57) Resumo:

(30) Prioridade Unionista: 30/03/2007 EP 07 290382.6

(73) Titular(es): Arcelormittal - Stainless & Nickel Alloys

(72) Inventor(es): Olena Danylova, Thierry Waeckerle

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

(86) Pedido Internacional: PCT FR2008000403 de 26/03/2008

(87) Publicação Internacional: WO 2008/142229 de 27/11/2008

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"LIGA AUSTENÍTICA FERRO-NÍQUEL-CROMO-COBRE"**.

A presente invenção refere-se a uma liga austenítica ferro-níquel-cromo-cobre, mais particularmente destinada à fabricação de dispositivos eletromagnéticos.

As ligas ferro-níquel e ferro-níquel-cromo ricas em níquel são conhecidas há muito tempo e utilizadas em numerosas aplicações da engenharia elétrica (eletrônica, eletrotécnica), da visualização, do transporte de energia, da regulação térmica ou da segurança elétrica, graças às suas propriedades físicas originais e variadas.

Assim, elas apresentam dilatabilidades térmicas entre 20 e 100°C compreendidas entre 12 e 13.10⁻⁶ /°C, conforme sua composição, o que é uma característica excepcional para um material dúctil, própria a alguns raros materiais.

Eles apresentam também uma muito boa manutenção à corrosão aquosa, tanto melhor quanto mais aumenta a percentagem em níquel, até mesmo em cromo.

Observa-se também uma grande aptidão à conformação, ligada à estrutura austenítica monofásica, permitindo laminação facilitada com espessuras muito estreitas, recortes, puncionamento, estampagem, encaixe à grande velocidade.

Seu comportamento ferromagnético, caracterizado pela existência de um ponto de Curie T_c (temperatura de desaparecimento do ferromagnetismo) é também notável, assim como suas propriedades magnéticas (permeabilidade relativa μ_r , campo coercitivo H_c, perdas magnéticas P).

Estas são muito boas, indo no sentido de um baixo consumo de energia, para imantar essas ligas. Assim, essas ligas ferro-níquel e ferro-níquel-cromo são utilizados há muito tempo nas aplicações eletromagnéticas nas quais é imperativo, seja de economizar da energia (motores elétricos relógios, relé alta sensibilidade de disjuntor diferencial, motores à grande velocidade e ligeiro aquecimento,...), seja dispor de uma histerese muito reduzido para limitar significativamente a dispersão de medida dos captadores

magnéticos (transformador de corrente, captador de corrente contínua, res-
solvedores e sincro-ressolvedores) ou as perdas histeréticas (transformador
de medida, de modem...) seja ainda oferecer uma canalização muito privile-
giada dos fluxos magnéticos como em certas carcaças magnéticas de acio-
5 nador com grande dinâmica (injetor eletromagnético de gasolina, por exem-
plo), nos motores-roda, nas blindagens magnéticas passivas de elevada a-
tenuação.

As ligas ferro-níquel, cujo campo coercitivo é geralmente inferior
a 125 mOe, permitem assim um salto real de consumo de energia dos sis-
10 temas elétricos, em relação aos materiais de tipo ferro-silício tradicionalmen-
te utilizados, já que estes atingem campos coercitivos da ordem de 190 mO-
e, de acordo com uma única direção, o que interessa apenas pouca aplica-
ção, seja mais geralmente valem de 500 a 1250mOe, quando a aplicação
tem necessidade de veicular o fluxo magnético em diferentes direções do
15 material (motores, geratrizes, etc.).

Existe, todavia, uma necessidade para a melhoria de certas pro-
priedades dessas ligas ferro-níquel, como aquelas relativas à resistência à
corrosão em meio aquoso ácido e à corrosão em nevoeiro salino que nem
sempre são suficientes em certos meios ambientes agressivos.

20 Além disso, a fabricação de folhas dessas ligas compreende tra-
tamentos térmicos industriais em atmosferas frequentemente pouco puras, o
que acarreta a formação de uma camada oxidada na superfície que protege
o metal de base contra uma oxidação mais importante. Mas, essa camada
de superfície é muito pouco aderente e muito pouco sólida mecanicamente,
25 o que torna sua ação protetora pouco eficaz.

A finalidade da presente invenção é de prevenir esses inconve-
nientes, propondo uma composição de liga que apresenta uma resistência à
corrosão aquosa ácida e à corrosão em nevoeiro salino melhorada, apta à
formação de uma camada de oxidação de superfície sólida e aderente, que
30 possa ser empregada para numerosas aplicações e que apresente um custo
reduzido.

Para isso, a invenção tem por primeiro objeto uma liga austeníti-

ca ferro-níquel-cromo, cuja composição compreende em % em peso:

- 5 $24 \% \leq \text{Ni} \leq 36\%$
 $\text{Cr} \geq 0,02 \%$
 $\text{Cu} \geq 0,1 \%$
 $\text{Cu} + \text{Co} \leq 15 \%$
 $0,01 \leq \text{Mn} \leq 6 \%$
 $0,02 \leq \text{Si} \leq 2 \%$
 $0 \leq \text{C} \leq 2 \%$
 $0 \leq \text{V} + \text{W} \leq 6 \%$
 10 $0 \leq \text{Nb} + \text{Zr} \leq 0,5 \%$
 $0 \leq \text{Mo} \leq 8$
 $\text{Sn} \leq 1$
 $0 \leq \text{B} \leq 0,006 \%$
 $0 \leq \text{S} + \text{Se} + \text{Sb} \leq 0,008 \%$
 15 $0 \leq \text{Ca} + \text{Mg} \leq 0,020 \%$

o resto sendo ferro e impurezas resultantes da elaboração, as percentagens em níquel, cromo, cobre, cobalto sendo tais que a liga satisfaz, além disso, as seguintes condições:

- 20 $\text{Co} < \text{Cu}$
 $\text{Co} < 4 \%$ se $\text{Cr} > 7,5 \%$
 $\text{Eq1} > 28 \%$ com $\text{Eq1} = \text{Ni} + 1,2\text{Cr} + (\text{Cu}/5)$
 $\text{Cr} < 7,5 \%$, se $\text{Ni} > 32,5 \%$,

e o teor em manganês respeitando, além disso, as seguintes condições:

- 25 - se $\text{Eq3} \geq 205$ $\text{Mn} \leq \text{Ni}-27,5 + \text{Cu}-\text{Cr}$
 - se $180,5 \leq \text{Eq3} \leq 205$, $\text{Mn} \leq 4\%$
 - se $\text{Eq3} \leq 180,5$, $\text{Mn} \leq 2\%$

com $\text{Eq3} = 6\text{Ni}-2,5\text{X} + 4 (\text{Cu}+\text{Co})$ e $\text{X} = \text{Cr}+\text{Mo}+\text{V}+\text{W}+\text{Si}+\text{Al}$

- 30 A solução proposta é uma família de ligas Fe-Ni-Cr-Cu austeníticas e ferromagnéticas que se prestam a uma elaboração industrial econômica, por forno com arco ou com indução, tendo poucos elementos onerosos e oferecendo desempenhos elevados ou originais para vários domínios de aplicações que vão ser detalhados na sequência. Jamais foi descoberto até

aqui que uma família de liga podia satisfazer todas essas propriedades. Além disso, a utilização de uma mesma liga para aplicações muito diferentes (por exemplo, satisfazendo ao mesmo tempo necessidades em dilatabilidade reduzida, em manutenção à corrosão, em magnetismo e ponto de Curie) permite produzir uma tonelagem mais considerável, ter maior experiência de produção industrial e, portanto, uma liga mais confiável em termos de reprodutibilidade das propriedades.

Além disso, os presentes inventores constataram a aptidão do silício, do cromo e do cobre, para reforçar mecânica e quimicamente a camada protetora oxidada de superfície e torná-la muito aderente. Assim, a camada oxidada se torna muito estável no tempo do tratamento térmico ou da utilização em atmosfera ambiente oxidante, muito estável quimicamente face os produtos químicos externos e muito estável mecanicamente face os choques e atritos entre peças metálicas, quando do ciclo industrial de produção.

Além disso, esse óxido muito estável apresenta geralmente uma espessura fina de alguns microns, segundo esse ciclo de tratamento térmico utilizado. Essa estreita espessura de óxido é particularmente interessante em relojoaria, pois ela limita e calibra ao mesmo tempo o entreferro entre estator e núcleo magnético de bobina, acarretando respectivamente, ao mesmo tempo, uma limitação da energia consumida pela pilha do relógio e uma redução da dispersão industrial dos motores relógios.

A invenção vai a seguir ser descrita mais detalhadamente, mas de forma não-limitativa e ilustrada por exemplos.

A liga, de acordo com a invenção, compreende em % em peso, os teores definidos abaixo.

O teor em níquel está limitado a 36 %, de preferência a 35 % em peso e de forma mais particularmente preferida a 34 %, até mesmo a 29 %. Essa limitação permite limitar muito o custo da composição. Ela permite também ter uma resistividade elétrica de pelo menos 70 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$, até mesmo de pelo menos 80 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$, se o teor em níquel for inferior a 34 %, o que é um dos elementos de uma boa dinâmica de imantação (os dois outros sendo de

uma espessura estreita de metal e um pequeno campo coercitivo). Para certas aplicações, tal como a fabricação de bilâminas, prefere-se manter o teor em níquel superior ou igual a 30 %, a fim de garantir um ponto de Curie elevado. O teor em níquel é no mínimo de 24 %, a fim de garantir a obtenção de uma estrutura austenítica no conjunto do domínio de composição, de acordo com a invenção.

O teor em cromo é superior ou igual a 0,02 %, pois é preciso um mínimo de cromo para ter as propriedades de manutenção à corrosão demandadas. Por outro lado, quando o teor em níquel está compreendido entre 32,5 e 36 %, o teor em cromo está limitado a 7,5 %, a fim de limitar o custo do conjunto dos elementos diferentes o ferro e o silício.

Essas características permitem melhorar a manutenção à corrosão aquosa ácida, à corrosão atmosférica e à oxidação a quente da composição, pois se observa a formação de um óxido superficial muito estável quimicamente, que é, além disso, muito aderente ao metal. Além disso, o acréscimo desses elementos não degrada significativamente as outras propriedades de desgaste da liga, tais como o ponto de Curie ou a imantação com saturação.

O teor em cobre é superior ou igual a 0,1 % e está limitada a um teor de 15 % e, de preferência, com um teor de 10 % (a fim de limitar o custo do conjunto dos elementos diferentes do ferro e do silício), com substituição possível por cobalto. Além de seu impacto sobre a resistência à corrosão da composição, o cobre melhora sensivelmente a aderência da camada oxidada que se forma a quente na superfície da liga.

Prefere-se que a composição não contenha cobalto, em razão de seu custo e por essa mesma razão, se o cobalto estiver presente, será necessário que seu teor seja inferior àquele do cobre. Além disso, quando o cromo está presente à razão de mais de 7,5 %, o cobalto deve ser limitado a 4 % no máximo, e, de preferência, a 2 %, pois se quer limitar o custo do conjunto dos elementos diferentes do ferro e do silício.

O acréscimo de pelo menos 0,02 % de silício permite melhorar, de forma significativa a manutenção ao desgaste mecânico da camada de

óxido de superfície. Além disso, o silício pode ser acrescentado à altura de 2 % à liga, segundo a invenção, para participar da sua desoxidação ao forno com arco, sem prejudicar as outras propriedades da liga.

Por outro lado, os presentes inventores constataram que os teores em níquel, cromo e cobre deviam respeitar a seguinte relação:

$$Eq1 > 28 \% \text{ com } Eq1 = Ni + 1,2 Cr + (Cu/5)$$

Com efeito, o respeito dessa condição permite garantir o caráter austenítico da liga, sem o qual nenhuma das propriedades de uso da liga estivesse de acordo com finalidades pesquisadas e que impediria também ter uma boa aptidão à conformação.

O teor em manganês está compreendido entre 0,01 e 6 % em peso, e, de preferência, entre 0,02 e 6 % em peso, o que permite obter uma liga que se transforma bem a quente, graças à formação de sulfetos, sem degradar as propriedades de uso da liga, tais como o ponto de Curie ou a imantação com saturação. A fim de manter valores de indução com saturação Bs superiores a 4000 G, prefere-se que o teor em manganês permaneça inferior a 5 %. De forma mais particularmente preferida, o teor em manganês está compreendido entre 0,1 e 1 % em peso. Além disso, em presença de cromo, seu efeito sobre a indução com saturação é agravado, daí a necessidade de limitá-lo conforme a seguir:

$$Mn \leq Ni - 27,5 + Cu - Cr \text{ se } Eq3 \geq 205$$

$$Mn \leq 4 \% \text{ se } 180,5 \leq Eq3 \leq 205$$

$$Mn \leq 2 \% \text{ se } Eq3 \leq 180,5$$

com $Eq3 = 6Ni - 2,5X + 4(Cu + Co) \text{ e}$

$$X = Cr + Mo + V + W + Si + Al$$

A liga pode também compreender elementos de adição, tais como o carbono, o titânio, o alumínio, o molibdênio, o vanádio, o tungstênio, o nióbio, o zircônio, o estanho, o boro, o enxofre, o selênio, o antimônio, o cálcio ou o magnésio.

O carbono pode ser acrescentado à liga à altura de 2 % e, de preferência, à altura de 1 % para endurecer a liga por formação de carbeto. Todavia, quando a aplicação da liga necessita de um campo coercitivo HC

de menos de 125 mOe, o teor em carbono será mantido inferior a 0,1 % após elaboração-solidificação em lingote ou lingote, pois sua presença degrada muito essa característica. Além disso, para atingir essa característica (H_C) e conservá-la no tempo, um tratamento térmico de descarburização poderá ser aplicado à chapa fina no estado final, a fim de diminuir significativamente a percentagem de carbono, a fim de diminuir significativamente a percentagem de carbono a menos de 100 ppm, e, de preferência, a menos de 50 ppm.

O titânio e o alumínio podem ser acrescentados à liga com altura de 3 %, a fim de endurecer a composição por precipitação de compostos $Ni_3(Ti,Al)$. O acréscimo de alumínio pode também melhorar a aptidão à soldabilidade da liga sobre o vidro. Todavia, quando dos tratamentos térmicos sob gás redutor, deseja-se utilizar o amoníaco crepitado ou uma mistura prévia de nitrogênio + hidrogênio. Exceto, o nitrogênio se combina desde os recozimentos à baixa temperatura em compostos de tipo AlN ou TiN , e é preciso, portanto, reduzir o teor em residuais Al , Ti o mais baixo possível para assegurar a compatibilidade entre desempenhos magnéticos e tratamento térmico sob gases que comportam nitrogênio. Esse ponto se aplica, em particular, a qualquer aplicação que necessita dos elevados desempenhos magnéticos e implicando recozimentos sob atmosfera contendo nitrogênio. Nesse caso de figura, limita-se o teor acumulado em titânio e alumínio a 30 ppm e, de preferência, a 20 ppm.

O molibdênio pode ser acrescentado à altura de 8 % para melhorar ao mesmo tempo a resistência mecânica e a resistência à oxidação a quente da liga. Limitar-se-á, de preferência, a 4 % para limitar o custo dos elementos diferentes do Fe e Si .

O vanádio e o tungstênio podem ser acrescentados à liga com altura acumulada de 6 %, a fim de melhorar sua tenacidade, se são acrescentados, de preferência, a menos de 3 %, a fim de limitar o custo do conjunto dos elementos diferentes do ferro e do silício.

O nióbio e o zircônio podem ser acrescentados à liga com altura acumulada de 0,5 %, a fim de melhorar sua resistência mecânica.

O estanho pode ser acrescentado à liga à altura de 1 % em substituição parcial do cromo.

O boro pode ser acrescentado à liga, de acordo com a invenção, em quantidades que vão de 2 a 60 ppm, e, de preferência, de 5 a 10 ppm, a fim de melhorar sua recortabilidade por formação de nitretos de boro. Abaixo
5 dessa faixa, seu efeito não é mais observável, enquanto que esse efeito satura acima de 60 ppm.

O enxofre é uma impureza presente nas ferragens utilizadas para a elaboração da liga, mas pode também ser acrescentado em quantida-
10 des que vão de 5 a 80 ppm, e, de preferência, de 10 a 30 ppm, a fim de melhorar também a recortabilidade e a usinabilidade da liga por formação de sulfeto de manganês. Poder-se-á substituir todo ou parte do enxofre pelo acréscimo do selênio e/ou de antimônio.

Quando se acrescenta como aditivos de recortabilidade, os teo-
15 res acumuladas em enxofre e em boro estão, de preferência, compreendidas entre 5 e 60 ppm e, de preferência, se associam-se esses dois elementos no respeito de sua faixa preferida respectiva.

Da mesma forma, podem-se acrescentar à liga, de acordo com a invenção, cálcio e magnésio de altura acumulada de 4 a 200 ppm para me-
20 lhorar a recortabilidade por formação de compostos de tipo MgO ou CaO, a ampla faixa de Ca+Mg permitindo regular o compromisso entre a aptidão ao recorte e aos desempenhos magnéticos, já que, contrariamente, a certos sulfetos (MnS...) e nitretos (AlN...) um recozimento redutor à alta temperatura não poderá dissolvê-los em fim de fabricação.

O resto da composição é constituído de ferro e de impurezas inevitáveis oriundas da elaboração. Dentre estas, serão citados mais particu-
25 larmente o fósforo, o nitrogênio e o oxigênio, que ficam contidos à altura máxima de 500 ppm. Para certas aplicações, é necessário limitar os teores acumulados em oxigênio e nitrogênio a 100 ppm, a fim de manter o campo
30 coercitivo nos limites desejados.

De uma forma geral, a liga, de acordo com a invenção, pode ser elaborada e produzida sob a forma de cinta laminada a quente, depois a frio,

antes de ser recozida, depois eventualmente martelada. Pode-se também parar no estado de cinta laminada a quente.

A liga, de acordo com a invenção, pode também ser utilizada sob a forma de produtos maciços, forjados ou não, de barras ou de fios ori-
5 undos de uma laminação a quente eventualmente completado de uma trefilação.

As cintas ou peça em liga poderão ser obtidas por qualquer processo adaptado, tal como técnico sabe fazê-lo.

Assim, a liga, de acordo com a invenção, será, de preferência,
10 fundida no forno de indução sob vácuo em lingotes. Os lingotes poderão ser forjados entre 1100 e 1300°C, depois laminadas a quente até uma espessura de 2,5 mm entre 1000 e 1200°C. Poder-se-á em seguida decapar quimicamente a cinta a quente, depois laminá-la a frio até a espessura requerida.

Quando se deseja desenvolver uma estrutura cristalográfica particular, de tipo {100}, <001>, procede-se a uma laminação a frio com uma
15 taxa de martelamento global de 90 a 99 % em vários passes sem recozimento intermediário entre cada passe.

À saída da laminação a frio, pratica-se, de preferência, um recozimento entre 800 e 1100°C durante 1 hora para adoçar a cinta, a liga e facilitar assim seu recorte ou sua conformação posterior. Mas pode ser ainda
20 mais vantajoso recortar por puncionamento, a estampagem à grande velocidade no estado martelado, em fim de laminação a frio, sobretudo se o metal tiver sido otimizado face essa utilização pelos elementos citados anteriormente, tais como B, S, Ca, Mg, Se...

Após recorte ou conformação, as peças obtidas poderão vantajosamente ser recozidas a 1100°C, durante 3 horas sob H₂ purificado (ponto de rosácea <-70°C), a fim, notadamente, de otimizar as propriedades magnéticas da liga. Ao contrário, esse recozimento pode ser inteiramente inútil,
25 caso se busquem particularmente propriedades de dilatação ou de ponto de Curie ou de resistência à corrosão.
30

Conforme se viu anteriormente, as ligas, de acordo com a invenção, podem ser produzidas em recozimento industrial sob qualquer tipo de

gás.

As ligas, de acordo com a invenção, encontram aplicações potenciais em numerosos domínios. Definem-se assim domínios de composição preferidos, agrupando ligas mais particularmente adaptadas a uma aplicação determinada, que vão ser descritos em detalhes a seguir.

Dispositivos eletromagnéticos com autorregulação de temperatura

Em um primeiro modo de resíduo preferido, as percentagens em níquel, cromo, cobre, cobalto, molibdênio, manganês, vanádio, tungstênio, silício e alumínio são tais que a liga satisfaz, além disso, as seguintes condições:

$$0,02 \leq \text{Mn}$$

$$\text{Eq2} \geq 0,95 \text{ com } \text{Eq2} = (\text{Ni}-24)[0,18 + 0,08 (\text{Cu} + \text{Co})] \text{ e}$$

$$\text{Eq3} \geq 161 \text{ e}$$

$$\text{Eq4} \leq 10 \text{ com } \text{Eq4} = \text{Cr} - 1,125 (\text{Cu} + \text{Co}) \text{ e}$$

$$\text{Eq5} \leq 13,6 \text{ com } \text{Eq5} = \text{Cr} - 0,227 (\text{Cu} + \text{Co}) \text{ e}$$

$$\text{Eq6} \geq 150 \text{ com } \text{Eq6} = 6\text{Ni} - 2,5\text{X} + 1,3(\text{Co} + \text{Cu}) \text{ e}$$

$$\text{Eq7} \geq 150 \text{ com } \text{Eq7} = 6\text{Ni} - 5\text{Cr} + 4\text{Cu} \text{ e}$$

Essa composição é mais particularmente adaptada à fabricação de dispositivos eletromagnéticos de autorregulagem de temperatura.

Um material ferromagnético doce apresenta uma permeabilidade μ muito superior à permeabilidade do vácuo. Quando esse material é submetido a uma excitação magnética variável no tempo, gera muito mais perdas magnéticas antes de atingir um valor característico denominado ponto de Curie T_c que, quando ultrapassa essa temperatura, além da qual o material não é mais ferromagnético. Além disso, a imantação com saturação do material, suas perdas magnéticas e, portanto, sua geração de potência térmica diminuem à medida que se aproxima de T_c .

A autorregulagem em temperatura é, então, realizada em torno do ponto de Curie da liga, caso as perdas magnéticas residuais próprias a qualquer condutor não magnético sejam evacuadas, isto é, o fluxo de calor que parte da liga seja superior ao fluxo de calor gerado em perdas magnéticas. Para isso, tem-se, às vezes, necessidades de colar na liga, de acordo

com a invenção, um material bem melhor condutor térmico como o alumínio ou o cobre, encarregado de evacuar as perdas paramagnéticas e permitindo, notadamente a autorregulagem de temperatura nas aplicações de cozimento por indução onde o calor de um recipiente aquecido desastrosamente a vá-
5 cuo só evacuariá por convecção natural.

Essa técnica foi notadamente descrita na patente de aplicação EP 1 455 622, na qual a autorregulagem de temperatura é obtida, associando-se ligas com baixo T_c entre 30 e 350°C e pelo menos 32,5 % de níquel, com um difusor térmico, em alumínio, permitindo evacuar as perdas magnéticas da liga Fe-Ni-Cr, quando ela atinge T_c .
10

A principal propriedade de uso permanece, portanto, o ponto de Curie funcional que é buscado entre 30°C e 400°C para o cozimento por indução, o aquecimento industrial por indução, por exemplo, de bocais de injetores, de moldes de compósito, o aquecimento de alimentos de bebidas, alimentos, produtos médicos, de sangue e constituintes, de matérias moles ou orgânicas, etc...
15

Busca-se também uma manutenção mínima à corrosão e à oxidação, já que as ligas estão frequentemente em contato com diferentes meios e/ou constituintes em atmosferas industriais. Demanda-se assim uma boa estabilidade química da liga traduzindo-se por uma boa manutenção à corrosão aquosa, uma boa manutenção à corrosão em nevoeiro salino e uma boa estabilidade mecânica (adesão + manutenção ao desgaste) da camada oxidada de superfície em atmosfera quente e oxidante.
20

Por outro lado, buscam-se também, de forma preferencial, ligas que apresentam um coeficiente de dilatação entre 20 e 100°C superior a $4 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, até mesmo superior a $7 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$. Essa característica permite notadamente reduzir a eventual bilamina que pode existir entre a liga e uma camada de condutor estreitamente associada à liga por colocação, engripamento, soldagem, depósito plasma, etc...
25

Ao contrário, não há exigência particular sobre as propriedades magnéticas e o campo coercitivo pode ser muito degradado. Pode-se, portanto, acrescentar proporções importantes de carbono, da ordem de 2% no
30

máximo e de preferência menores de 1 %. Com efeito, é conhecido há muito tempo que o carbono em grande quantidade coloca a rede cristalina sob esforço forte e aumenta assim a interação de troca entre momentos magnéticos e, portanto, aumenta o ponto de Curie, o que permite diminuir ainda a
5 percentagem de níquel para conservar o mesmo nível de ponto de Curie e, portanto, a mesma temperatura de autorregulagem.

A aplicação de autorregulagem de temperatura não está, todavia, restrita ao cozimento por indução dos líquidos e sólidos alimentares, mas se endereça mais geralmente a qualquer sistema doméstico ou industrial,
10 utilizando um indutor eletromagnético e pelo menos uma peça ativa termicamente sobre elementos de passagem que devem ser momentaneamente aquecidos, sem exceder certa temperatura crítica.

A título de exemplo, será citada a injeção de fluidos mais ou menos viscosos, alimentares ou não, para acelerar a produção de parte de matéria pré-aquecida para degustação, ou como pré-requisito antes de uma
15 outra operação industrial, tal como a colagem termoativada, a polimerização de plásticos, compósitos, etc...

Citar-se-á também o aquecimento rápido e autorregulado de superfície de moldes de forma para compósitos termoendurecíveis (necessidade de regular a temperatura entre 200 e 350°C, conforme o tipo de compósito) ou termoplásticos (necessidade de regular a temperatura entre 150 e
20 250°C, segundo o tipo de compósito).

Citar-se-á ainda o aquecimento autorregulado de uma agulha ou enxerto em liga baixo Tc biocompatibilizada por um revestimento, no centro
25 de um tumor maligno (cujas células temem mais o calor do que as células normais).

Será citado enfim o aquecimento autorregulado de uma matriz de extrusão, de fiação, etc. permitindo limitar o gradiente térmico na peça utilizada através da fiação, limitando assim esforço interno, fragilização de
30 superfície, gradiente de propriedades, não homogeneidades estruturais...

As ligas, de acordo com a invenção, tais como definidas acima permitem atingir todas as propriedades requeridas.

Em particular, os inventores constataram que o respeito dos valores limites das equações 2 a 7 permite garantir tanto um nível de indução com saturação a 20°C superior a 0, e mesmo superior a 1000 G, permitindo emitir calor por perdas magnéticas, quanto um ponto de Curie $T_c \geq 30^\circ\text{C}$.

5 De uma forma mais geral, e independentemente da aplicação, de acordo com a invenção, constata-se que, adaptando-se a composição da liga, se pode modificar o valor de cada uma das equações 2 a 7, de modo a estar conforme o valor limite imposto em uma aplicação particular, e assim regular o nível de indução, assim como o valor de T_c da liga em questão.

10 Dispositivos de autorregulagem de fluxo magnético

Em um outro modo de realização preferido, a liga pode, além disso, ser tal que:

$$\text{Ni} \leq 29 \%$$

$$\text{Co} \leq 2 \%$$

15 $0,02 \leq \text{Mn} \leq 2 \%$

$$\text{Eq2} \geq 0,95 \text{ com } \text{Eq2} = (\text{Ni} - 24) [0,18 + 0,08 (\text{Cu} + \text{Co})] \text{ e}$$

$$\text{Eq3} \geq 161 \text{ e}$$

$$\text{Eq4} \leq 10 \text{ com } \text{Eq4} = \text{Cr} - 1,125 (\text{Cu} + \text{Co}) \text{ e}$$

$$\text{Eq5} \leq 13,6 \text{ com } \text{Eq5} = \text{Cr} - 0,227 (\text{Cu} + \text{Co}) \text{ e}$$

20 $\text{Eq6} \geq 150 \text{ com } \text{Eq6} = 6\text{Ni} - 2,5\text{X} + 1,3(\text{Co} + \text{Cu}) \text{ e}$

$$\text{Eq7} \geq 160$$

Essa composição é mais particularmente adaptada à fabricação de dispositivos de autorregulagem de fluxo magnético.

25 A regulagem de fluxo magnético de um dispositivo em função da temperatura ambiente se baseia na diminuição da imantação com saturação com a temperatura nas proximidades do ponto de Curie, com uma taxa de diminuição sensivelmente constante e bastante forte. Isto permite por um sistema com desvio de fluxo compensar exatamente a diminuição de imantação dos ímãs, agindo sobre as relações de seção de passagem de fluxo magnético entre ímã e liga de compensação e assim fornecer sempre o
30 mesmo fluxo magnético em uma faixa determinada de temperatura.

Essa autorregulagem de fluxo magnético é realizada mais co-

mumente em torno da temperatura ambiente, e, em particular, entre 30°C e +100°C. Tem-se, portanto, necessidade de diferentes ligas que terão um ponto de Curie T_c no interior dessa faixa de temperatura.

Ao contrário, não há exigência particular sobre as propriedades magnéticas e, nesse caso de aplicação, o campo coercitivo pode ser muito degradado em relação ao limite de 10A/m correspondente ao potencial de desempenho das novas ligas, de acordo com a invenção. Conforme anteriormente, poderão ser acrescentados até 2 % de carbono e, de preferência, até 1 % de carbono.

10 Dispositivos com dilatação controlada

Em um outro modo de realização preferido, a liga pode, além disso, ser tal que:

- $Ni \leq 35 \%$
- $0,02 \leq Mn$
- 15 $C \leq 0,5 \%$
- $Eq2 \geq 1$
- $Eq3 \geq 170$
- $Eq4 \leq 10$ com $Eq4 = Cr - 1,125 (Cu + Co)$ e
- $Eq5 \leq 13,6$ com $Eq5 = Cr - 0,227 (Cu + Co)$ e
- 20 $Eq6 \geq 159$
- $Eq7 \geq 160$ com $Eq7 = 6Ni - 5Cr + 4Cu$

Essa composição é mais particularmente adaptada à fabricação de dispositivos de dilatação controlada.

Entende-se por liga de dilatação controlada, ligas que apresentem coeficientes de dilatação menores que as outras ligas metálicas ($\alpha_{20-100} > 10 \cdot 10^{-6} / ^\circ C$), isto é, tipicamente, $\alpha_{20-100} < 10 \cdot 10^{-6} / ^\circ C$ ou $\alpha_{20-300} < 13 \cdot 10^{-6} / ^\circ C$.

Eles encontram um uso nas aplicações que necessitam conservar uma geometria e cotas precisas de certos desses componentes, em função da temperatura, ou necessitando de uma forte compatibilidade em dilatabilidade térmica entre um desses materiais ativos e uma liga de dilatação controlada, oferecendo outras funções (condutor de corrente, por exemplo, ou ainda suporte mecânico). Essas aplicações têm em comum fazer com

que os componentes sofram variações de temperatura em uma faixa que vai de 20 a 450°C.

Para certas aplicações, é assim necessário ser estritamente compatível em dilatação térmica com um outro material ativo na aplicação
 5 (silício, germânio, AsGa, SiC, vidros sódicos, outros vidros, inox com poucas dilatações, cerâmicas, etc...). Essa estrita compatibilidade entre um material e a liga permite ao conjunto desses materiais ligados por colocação, soldagem, colagem, soldagem, engripamento ... se dilatarem juntos, sem modificar a própria forma, as cotas evoluindo unicamente, de forma previsível em
 10 consequência da lei geral de dilatação térmica. Uma outra vantagem dessa estrita compatibilidade de dilatação é que há muito pouco esforços internos de origem térmica entre os dois materiais, o que torna a fadiga térmica em funcionamento bimaterial desprezível, prolongando assim consideravelmente sua duração de vida.

15 Uma dessas aplicações é a conectividade de circuito integrado (*leadframe*) no qual a liga é ligada estritamente ao semicondutor para lhe fornecer a corrente elétrica. É assim necessário empregar uma liga de dilatação controlada, para limitar muito a fadiga térmica e a deterioração prematura da interface.

20 Uma outra aplicação é para suporte mecânico de pouca dilatação em uma faixa de temperatura predefinida. Por exemplo, um vídeo-projetor utiliza uma multidão de pequenos espelhos, cuja posição deve mexer o menos possível com a colocação do aparelho em aquecimento que pode levar o suporte dos espelhos até 400-450°C localmente.

25 Uma outra aplicação é a fabricação de suportes e caixas de transistor, semicondutores de circuito da optoeletrônica (AsGa por exemplo), tubos de RX, travessas estanques de vidro...

Em todas essas aplicações, a liga de dilatação controlada é estritamente ligada a um semicondutor ou a um vidro ou a uma cerâmica, e as
 30 necessidades em dilatabilidade podem ir de $4 \text{ a } 5 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ a $11 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. Pode-se citar, por exemplo, o suporte /colocação de arcos dos vidros maiores de teto automóveis (abrindo ou não), onde a liga deve imperativamente se

dilatar com a cola que os liga do mesmo modo que a laje de vidro. Pode-se citar também o suporte baixa deformação das cerâmicas como as PZT piezoelétricas utilizadas como acionador em injeção de auto carburante.

É também possível que a liga de dilatação controlada forneça apenas essa única função na aplicação, estando apta a ser conformada, de modo preciso por dobra, encaixe, estampagem, fluogiro, usinagem mecânica ou química (gravura), soldagem, etc. Nesse caso, a peça mecânica com cotas precisas realizadas na ligações de dilatação controlada tem por vantagem se dilatar ligeiramente e de forma predefinida em uma ampla faixa de temperatura. Assim, as peças de um canhão de elétron aquecem sob o efeito dos elétrons, oferecendo-lhe apenas certos orifícios para passar (calibragem do feixe eletrônico) o que é a função dessas peças: tem-se, portanto, necessidade de liga que se dilata tão pouco quanto possível em toda a faixa de temperatura de trabalho, e tendo uma boa aptidão à conformação.

Além da dilatabilidade, uma boa manutenção à corrosão aquosa ácida, uma boa manutenção à corrosão sob nevoeiro salino e uma boa manutenção ao desgaste mecânico da camada de óxido são propriedades buscadas. Essas propriedades são obtidas com recozimentos industriais pouco onerosos (ponto de orvalho pequeno ou degradado) ou em ambientes severos, sem ter necessidade de proteção suplementar.

Essas ligas representam, portanto, boas soluções de substituição às ligas FeNi convencionais, contendo menos de níquel que estes.

Captadores de correntes, de transformadores de medida ou captadores magneto-harmônicos

Em um outro modo de realização preferido, a liga pode, além disso, ser tal que:

$$\text{Cu} \leq 10 \%$$

$$0,02 \leq \text{Mn}$$

$$\text{C} \leq 0,1$$

$$\text{Eq2} \geq 1$$

$$\text{Eq3} \geq 170$$

$$\text{Eq4} \leq 10 \text{ com } \text{Eq4} = \text{Cr} - 1,125(\text{Cu} + \text{Co})$$

$$\text{Eq5} \leq 13,6 \text{ com } \text{Eq5} = \text{Cr} - 0,227 (\text{Cu} + \text{Co})$$

$$\text{Eq6} \geq 159$$

$$\text{Eq7} \geq 160 \text{ com } \text{Eq7} = 6\text{Ni} - 5\text{Cr} + 4\text{Cu}$$

Essa composição é mais particularmente adaptada a fabricação
5 de captadores de correntes ou de transformadores de medida.

De preferência, busca-se uma aptidão para conseguir bons desempenhos magnéticos sob qualquer tipo de atmosfera industrial não-oxidante tal como o gás neutro, He, H₂, N₂, NH₃ etc... o que dificulta então
10 reduzir o máximo possível o teor em titânio, de preferência < 30ppmTi, de preferência < 20 ppm Ti.

Entende-se por captador de corrente ou transformador de medida, os dispositivos de detecção de corrente ou de campo magnético em um objetivo de alerta de ultrapassagem limite (disjuntor diferencial eletrônico) ou de medida de corrente, de campo (transformador de corrente, de tensão,
15 medidor de energia, captador de corrente contínua).

Esse tipo de aplicações necessita particularmente de um pequeno campo coercitivo enquanto que a imantação de saturação talvez pequena (4000 a 8000G a 20°C) como, por exemplo, em número de casos de captador de corrente de circuito fechado, ou talvez elevada (> 10000 G), como
20 nos casos dos captadores de corrente de circuito aberto.

A grandeza principal da aplicação é a precisão de medida que é muito ligada ao campo coercitivo da liga utilizada, assim como em muitos casos a linearidade B-H da camada de imantação ou do ciclo de histerese: quanto menor for o HC, melhor será a precisão de medida.

25 Para certas aplicações, esses transformadores captadores de corrente de ampla faixa de frequência, é preciso uma histerese dinâmica muito baixa para garantir uma boa precisão de medida às médias frequências, o que pode ser obtido por estruturas com circuito fechado funcionando com baixa indução, mas também escolhendo materiais com baixo Hc e elevada resistividade elétrica.
30

Em síntese, um material adaptado a essas aplicações deve apresentar as seguintes características:

- indução B_s a 20°C de 4000G a mais de 13000G, segundo a aplicação

- $H_c < 75$ mOe (de preferência < 37 mOe)

- resistividade elétrica $\rho_{el} > 60 \mu\Omega.cm$ (de preferência $\rho_{el} > 70 \mu\Omega.cm$).

Em certos casos de aplicações, busca-se, além disso, a linearidade da curva de imantação B-H até a curvatura da curva de imantação. Essa linearidade é caracterizada pela relação Br / B_m da indução remanente sobre uma indução medida em zona de aproximação de saturação. Se $Br / B_m < 0,3$, a linearidade se tornará explorável nessas aplicações específicas com núcleos magnéticos sem entreferro localizado.

As ligas, de acordo com a invenção, permitem atingir o conjunto dessas propriedades.

A composição adaptada a essas aplicações é também adaptada à fabricação de captadores magneto-harmônicos.

Nessa aplicação, um material de elevada permeabilidade e fraco campo coercitivo é submetido à polarização magnética mais ou menos elevada de um material magnético semirremanente; o estado de imantação deste (imantado, desimantado ou parcialmente imantado) corresponde a uma informação ou um alarme que é transmitido ao material doce através da polarização deste. O material doce é excitado em média frequência por um campo magnético externo, produzindo não, pouco ou muito de harmônico do fundamental emitido segundo o fato de o material doce ter sido submetido a respectivamente um semirremanente desimantado, parcialmente imantado ou imantado. Assim, a amplitude detectada de harmônico é a imagem do nível de polarização dos semirremanente.

Por exemplo, em uma biblioteca, esse dispositivo é deslizado no estado imantado na orelha de cada livro armazenado. Quando de um empréstimo, o livro é registrado e, ao mesmo tempo, desimantado para passar sem problema pelo pórtico de segurança (sem emissão de harmônico). Se o livro não tiver sido desimantado pela aparelhagem específica, a taxa importante de emissão de harmônico aciona a colocação em funcionamento do

sinal de alerta, quando da passagem em direção à saída sob o portal de detecção.

Para reagir dinamicamente a esses impulsos, é preciso uma grande dinâmica de imantação, isto é, uma resistividade elétrica elevada, uma espessura muito estreita de cinta tipicamente inferior a 50 μm , e, de preferência, inferior a 30 μm , e um pequeno campo coercitivo, tipicamente HC inferior a 63 mOe, e, de preferência, inferior a 25 mOe. O campo coercitivo controla também na primeira ordem a sensibilidade do captador magneto-harmônico e permitirá acioná-lo para um afastamento da antena de excitação tanto maior, quanto mais baixo for Hc. O campo coercitivo é a propriedade mais difícil para o domínio de composição que deverá ser limitado em cobre por essa razão.

Em síntese, um material adaptado a essas aplicações deve apresentar as seguintes características:

- HC < 63 mOe (de preferência < 25 mOe) ao mesmo tempo para ter uma boa sensibilidade do captador ao campo de excitação média frequência e para limitar a histerese dinâmica (portanto, favorecer a dinâmica de imantação);

- resistividade elétrica $r_{el} > 60 \mu\Omega.\text{cm}$ (de preferência, $r_{el} > 80 \mu\Omega.\text{cm}$) para ter uma boa dinâmica de resposta à excitação externa média frequência.

As ligas, de acordo com a invenção, permitem atingir o conjunto dessas propriedades.

Motores e acionadores eletromagnéticos

Em um outro modo de realização preferido, a liga pode, além disso, ser tal que:

$$0,05 \% \leq \text{Mn} \leq 2 \%$$

$$\text{C} \leq 0,1$$

$$\text{Eq2} \geq 1,5$$

$$\text{Eq3} \geq 175$$

$$\text{Eq4} \leq 7 \text{ se } \text{Ni} \leq 32,5, \text{ ou } \text{Eq4} \leq 10 \text{ se } \text{Ni} \geq 32,5$$

$$\text{Eq5} \leq 10,6 \text{ se } \text{Ni} \leq 32,5, \text{ ou } \text{Eq5} \leq 13,6 \text{ se } \text{Ni} \geq 32,5$$

$$\text{Eq6} \geq 164$$

$$\text{Eq7} \geq 10 \text{ com } \text{Eq7} = 6\text{Ni}-5\text{Cr} + 4\text{Cu}$$

Essa composição é mais particularmente adaptada à fabricação de motores e acionadores eletromagnéticos.

5 De preferência, busca-se uma aptidão para se conseguirem bons desempenhos magnéticos sob qualquer tipo de atmosfera industrial não oxidante tal como gás neutro, He, H₂, N₂, NH₃ etc... o que leva então a reduzir o máximo possível o teor em titânio, de preferência < 30 ppm Ti, de preferência < 20 ppm Ti.

10 Os motores e acionadores eletromagnéticos que podem ser fabricados, de acordo com a invenção, apresentam uma potência volúmica média a forte, uma grande precisão de movimento, uma pequena dissipação e um baixo custo.

Serão englobados nessa aplicação todos os dispositivos eletromagnéticos não polarizados que comportam uma peça móvel (rotor para sistema rotativo, tal como motor, alternador, sincro-resolvedor, captador de binário relutante, motor-roda, etc..., palheta ou núcleo para os sistemas em translação, tal como motor linear, eletroválvula, injetor, acionador linear impulsivo do tipo sem came, etc... em material magnético doce de elevada resistividade elétrica e pequenas perdas magnéticas, e uma parte estática, comportando um material magnético imantado.

Os dispositivos, de acordo com a invenção, apresentam, em particular, as seguintes características:

- um volume bastante reduzido a muito reduzido, segundo a potência transferida na aplicação, sabendo-se que quanto mais elevada for a potência do acionador ou do captador mais importante será dispor de um material de saturação elevada. Isto implica em uma indução de saturação superior a 5000 G

- uma pequena dissipação de energia (ou bom rendimento energético), graças a uma resistividade elétrica elevada (> 70 μΩ.cm) um baixo HC (< 125 mOe), uma permeabilidade bastante elevada em corrente contínua (> 5000 μ₀);

- uma boa precisão de colocação da parte móvel, reduzindo muito o fenômeno de histerese dinâmica unidirecional ou rotacional (obtido com $H_c < 125$ mOe, e, de preferência, < 75 mOe). Essa propriedade é particularmente importante para os captadores de binário de relutância variável, para os resolvidores e sincro-resolvidores, e mais geralmente para todos os sistemas rotativos de baixa relutância de entreferro.

Nesse tipo de aplicações, as carcaças magnéticas podem ser fabricadas por empilhamento de peças recortadas, com espessuras bem estreitas ($> 0,1$ mm, de preferência $0,15$ mm), permitindo limitar ao máximo as correntes induzidas macroscópicas, as perdas magnéticas, o fenômeno de histerese dinâmica; nos sistemas de solicitações magnéticas unidirecionais (eletroválvulas, eletroinjeção, acionador Sem came, acionador de segurança gás, por exemplo), utiliza-se antes de tudo uma chapa espessa ou uma película colocada na forma da carcaça final por encaixe/conformação/prensagem/usinagem, etc; antes do recozimento final.

No caso dos dispositivos com campos magnéticos giratórios (sistemas rotativos, por exemplo), é preferível que a liga apresente uma isotopia a melhor possível de seus desempenhos magnéticos, pois, caso contrário, isto introduz oscilações de binário em função do passo de rotação (caso dos motores), flutuações de relutância magnética em função da posição da peça móvel (caso do sincro-resolvedor, do captador de binário relutante...). Resolve-se o problema seja utilizando-se sequências de laminação-recozimento que não desenvolvem textura cristalográfica, seja desenvolvendo uma textura de tipo "planária", por exemplo $\{100\} < 0vw>$ ou $\{111\} < uvw>$.

No caso de dispositivo de acionador eletromagnético de segurança, não polarizado, tal como aqueles utilizados para prevenir os escapamentos de gás doméstico sobre os sistemas de aquecimento a gás (aquecimento-água, por exemplo), tem-se necessidade de fracas correntes de travamento e de destravamento do dispositivo (assim como uma pequena diferença entre essas correntes), o que passa necessariamente por pequenos campos coercitivos (ver acima) e pequenos entreferros entre carcaça magnética e núcleo móvel do acionador, mas também por uma pequena rema-

nência para garantir o destravamento mesmo com muito poucos entreferros, para reduzir a diferença das correntes de travamento e de destravamento, para reduzir a dispersão de produção dos desempenhos do dispositivo. Procura-se, em particular, nesse caso de aplicação $B_r/B_{\max} < 0,5$ e, de preferência, $< 0,3$ ($B_{\max}$ indução para um campo magnético pelo menos igual a $3H_c$).

As ligas, de acordo com a invenção, permitem atingir o conjunto dessas propriedades.

Estatores para motores de relojoaria

Em um outro modo de realização preferido, a liga pode, além disso, ser tal que:

$$0,05 \% \leq \text{Mn} \leq 2 \%$$

$$\text{C} \leq 0,1$$

$$\text{Co} \leq 1,8 \%$$

$$\text{O} + \text{N} \leq 0,01 \%$$

$$\text{Eq2} \geq 1,5$$

$$\text{Eq3} \geq 175$$

$$\text{Eq4} \leq 7 \text{ se } \text{Ni} \leq 32,5 \text{ ou } \text{Eq4} \leq 10 \text{ se } \text{Ni} \geq 32,5$$

$$\text{Eq5} \leq 10,6 \text{ se } \text{Ni} \leq 32,5, \text{ ou } \text{Eq5} \leq 13,6 \text{ se } \text{Ni} \geq 32,5$$

$$\text{Eq6} \geq 164$$

$$\text{Eq 7} \geq 160 \text{ com } \text{Eq} = 6\text{Ni} - 5\text{Cr} + 4\text{Cu}$$

a liga satisfazendo, além disso, pelo menos uma das seguintes relações:

$$0,0002 \leq \text{B} \leq 0,002 \%$$

$$0,0008 \leq \text{S} + \text{Se} + \text{Sb} \leq 0,004 \%$$

$$0,001 \leq \text{Ca} + \text{Mg} \leq 0,015 \%$$

Essa composição é mais particularmente adaptada à fabricação de estatores para motores de relojoaria, em particular do tipo passo a passo.

De preferência, busca-se uma aptidão para se conseguirem bons desempenhos magnéticos sob qualquer tipo de atmosfera industrial não oxidante, tal como gás neutro, He, H₂, N₂, NH₃, etc... o que leva então a reduzir o máximo possível o teor em titânio, de preferência $< 30\text{ppmTi}$, de preferência $< 20\text{ppmTi}$.

Para esse tipo de aplicações, buscam-se ligas com um baixo

custo, satisfazendo um certo número de propriedades.

Busca-se inicialmente uma boa recortabilidade da cinta de liga por puncionamento, estampagem ou qualquer outro processo adaptado, permitindo um pequeno desgaste de instrumento e uma grande cadência de recorte.

- 5 Com efeito, o metal é entregue pelo produtor no estado martelado ou adoçado, a fim de conservar uma dureza mecânica suficiente do metal propício à recortabilidade por estampagem e à grande cadência. Contudo, essa dureza não é suficiente para chegar a recortar centenas de milhares de peças de estator, sem formar rebarbas significativas e sem desgastar a matriz de recorte e
- 10 sobretudo o punção de recorte a ponto de ter de reamolá-lo ou substituí-lo. Para chegar a isso, é preciso inserir no metal certas distribuições inclusionárias finas que exercem o papel do “recortar segundo o pontilhado”, quando do processo de recorte entre punção e matriz. Além dessas finas inclusões devem poder ser eliminadas, quando do recozimento alta te posterior de otimização das propriedades magnéticas. É por isso que as ligas, de acordo com a
- 15 invenção, destinadas a essa aplicação incorporam de 8 a 40ppm de S, Se, Sb e/ou de 2 a 20 ppm e/ou de 10 a 150 ppm de Ca, Mg.

Busca-se em seguida uma indução de saturação B_s que deve ser superior a 4000 G a 60°C e, de preferência, inferior a 7000 G.

- 20 Busca-se também reduzir ao máximo o consumo elétrico do motor relógio, quando é utilizado com sua potência nominal, isto é, quando as ligas magnéticas do estator trabalham nas proximidades da curva de imantação B-H do material.

- Para isto, para uma espessura de estator limitada a um mínimo
- 25 de 0,4 mm abaixo da qual a rigidez mecânica não seria mais suficiente, a liga deve apresentar uma resistividade elétrica de mais de 70 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$, e, de preferência, superior a 80 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ e um baixo campo coercitivo H_c inferior a 125 mOe e, de preferência, inferior a 75 mOe, antes da montagem no relógio.

- Por outro lado, o consumo elétrico do relógio não deve aumentar
- 30 significativamente quando a temperatura ambiente aumenta. Com efeito, se a imantação de trabalho diminuir significativamente, quando a temperatura aumenta, então para fornecer sempre o binário mínimo à rotação de uma

semirrotação do rotação, o gerador de energia deve fornecer muito mais energia para conservar o nível de imantação do estator e, portanto, o binário motor que se aplica sobre o rotor. Assim, no caso de utilização do relógio em atmosfera quente, o consumo aumentará sensivelmente.

5 Para controlar o consumo elétrico, quando a temperatura ambiente aumenta, é preciso, portanto, que a imantação com saturação J_s permaneça estável na faixa de funcionamento potencial do relógio a saber de -40°C a $+60^{\circ}\text{C}$: essa característica é sistematicamente obtida quando o ponto de Curie da liga T_c é superior ou igual a 100°C .

10 Busca-se também uma boa manutenção à corrosão. Com efeito, as peças magnéticas de estator, uma vez recortadas e passadas no tratamento térmico de otimização dos desempenhos magnéticos, são armazenadas, encaminhadas, depois montadas ao ar livre nos movimentos dos relógios. Essas montagens são feitas cada vez mais maciçamente em países
15 onde reina uma grande corrosão atmosférica, notadamente de origem salina ou devido à poluição atmosférica (enxofre, cloro...).

Em função da qualidade e da duração de vida buscada para o relógio, a exigência de resistência à corrosão ácida será mais ou menos elevada. Com efeito, a duração de vida do relógio não excede o tempo de de-
20 gradação sensível da liga do estator por corrosão atmosférica. Trata-se de motor de relógio de qualidade que entra em zonas de fabricação renomada como feitos na Suíça ou feito no Japão, o relógio é feito para durar alguns anos e a liga do relógio não deve se corroer significativamente nesse lapso de tempo. Trata-se de um motor de relógio alto de faixa ou de relógio de pul-
25 so transparente com notadamente peças do motor visíveis, este deve em princípio funcionar sem problema durante a vida de uma pessoa.

Os diferentes níveis de manutenção à corrosão podem então ser avaliados de acordo com:

- movimento de relógio baixo de faixa : manutenção à corrosão
30 mínima com $I_{\text{max}}^{\text{ox}} \leq 5\text{mA}$,
- movimento de relógio de qualidade tipo "Swiss-made" ou "Japan-made": manutenção à corrosão intermediária com $I_{\text{max}}^{\text{ox}} \leq 3\text{mA}$,

- movimento de relógio visível em funcionamento (relógio transparente) ou garantido de vida: manutenção à corrosão elevado desempenho, com $I_{\text{max}}^{\text{ox}} \leq 1\text{mA}$.

Indutâncias ou transformadores para a eletrônica de potência

5 Em um outro modo de realização preferido, a liga pode, além disso, ser tal que:

$$\text{Cu} \leq 10 \%$$

$$0,02 \leq \text{Mn}$$

$$\text{C} \leq 0,1$$

10 $\text{Er2} \geq 1,5 \%$

$$\text{Eq3} \geq 189$$

$$\text{Eq4} \leq 4 \text{ se } \text{Ni} \leq 32,5 \text{ ou } \text{Eq4} \leq 7 \text{ se } \text{Ni} \geq 32,5$$

$$\text{Eq5} \leq 4, \text{ se } \text{Ni} \leq 32,5 \text{ ou } \text{Eq5} \leq 7 \text{ se } \text{Ni} \geq 32,5$$

$$\text{Eq6} \geq 173$$

15 $\text{Eq7} \geq 185$

Essa composição é mais particularmente adaptada à fabricação de indutâncias ou de transformadores para a eletrônica de potência.

Os circuitos magnéticos dos componentes magnéticos passivos utilizados em eletrônica de potência em qualquer outro sistema de conver-

20 são de energia em média frequência (algumas centenas de Hz a algumas centenas de kHz) necessitam da utilização de indutância de alisamento ou de transformadores que constituem frequentemente partes volumosas das alimentações de potência.

No dimensionamento desses componentes, é, ao mesmo tempo,

25 a imantação com saturação do núcleo magnético, mas também as perdas Joule-condutor e as perdas magnéticas geradas e evacuadas pelo conjunto do componente que fixam o potencial acessível de redução de volume ligado ao material magnético doce utilizado.

Decorre daí que um bom núcleo magnético de componente

30 magnético passivo tipo indutância de armazenagem ou alisamento, ou transformador de potência deve inicialmente ter uma indução com saturação elevada às temperaturas de utilização, que se situa, tipicamente em torno de

100-120°C. Busca-se assim uma indução com saturação $B_s^{100^\circ\text{C}}$ superior ou igual a 4000 G, o que corresponde a uma indução com saturação a 20°C, $B_s^{20^\circ\text{C}}$ que seja superior a 8000G ou ainda com um ponto de Curie T_c superior ou igual a 150°C.

- 5 Deve também apresentar pequenas perdas magnéticas às temperaturas de utilização, o que corresponde, para espessuras de metal de no máximo 50 μm , a uma resistividade elétrica a 100°C superior a 60 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$, e, de preferência, superior a 100 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ e a uma baixa histerese dinâmica caracterizada por um campo coercitivo H_c a 100°C inferior a 75 mOe e de preferência inferior a 37,5 mOe. Impõe-se, portanto, apenas o campo coercitivo H_c a 20°C seja inferior ou igual a 75 mOe, e, de preferência, inferior a 37,5 mOe. Com efeito, é bem conhecido pelo técnico que H_c diminui com a temperatura nos materiais magnéticos duros, quando a temperatura se aproxima do ponto de Curie, e assim serão conseguidos com mais razão ainda os desempenhos a 100°C, caso sejam garantidos a 20°C.

Além disso, as perdas residuais das ligas, de acordo com a invenção, poderão ser compensadas por uma aptidão bem melhor para extrair essas perdas, graças à condução térmica elevada das ligas metálicas e à muito grande aptidão à conformação e utilização dessas carcaças magnéticas muito dúcteis e permitindo aí instalar facilmente circuitos de resfriamentos ou de dar uma forma complexa ao circuito magnético.

Bilâminas

Em um outro modo de realização preferida, a liga pode, além disso, ser tal que:

- 25 $\text{Ni} \geq 30 \%$
 $0,02 \leq \text{Mn}$
 $\text{C} \leq 1 \%$
 $\text{Eq2} \geq 1,5$
 $\text{Eq3} \geq 189$
30 $\text{Eq4} \leq 4$ se $\text{Ni} \leq 32,5$ ou $\text{Eq4} \leq 7$, se $\text{Ni} \geq 32,5$
 $\text{Eq5} \leq 4$ se $\text{Ni} \leq 32,5$ ou $\text{Eq5} \leq 7$, se $\text{Ni} \geq 32,5$
 $\text{Eq6} \geq 173$

$$Eq7 \geq 185$$

$$Eq8 \geq 33 \text{ com } Eq8 = Ni + Cu - 1,5Cr$$

Essa composição é mais particularmente adaptada à fabricação de bilâminas.

5 Nessa aplicação, uma variação de temperatura pode ser transformada seja em deformação da bilâmina, seja em elevação da extremidade da bilâmina, a outra extremidade sendo mantida em posição, seja em força exercida pela extremidade livre de bilâmina, graças à ligação estreita de dois materiais em forma de cinta estreita e achatada, de dilatabilidades diferentes.

10 As peças de bilâmina podem servir tanto de captador de superintensidade através da resistividade elétrica do material multicamada e de sua deflexão, de captador de temperatura através da deflexão da bilâmina que corta então um circuito elétrico ou ainda de acionador termomecânico através da força gerada pela dilatação não equilibrada dos diferentes constituintes da bilâmina. Em todos os casos, a ação da bilâmina passa por sua deflexão, cuja amplitude é proporcional à diferença de dilatação entre os dois constituintes externos da bilâmina. A sensibilidade do acionador bilâmina será tanto maior quanto maior for o desvio de dilatabilidade para espessuras

15 determinadas de cinta e um desvio determinado de temperatura.

20 Busca-se, portanto, um material que apresenta um coeficiente de dilatação médio entre 20°C e 100°C α_{20-100} que seja inferior ou igual a $7 \cdot 10^{-6}/^{\circ}C$ e, de preferência, inferior ou igual a $5 \cdot 10^{-6}/^{\circ}C$ e, simultaneamente, um coeficiente de dilatação médio α_{20-300} que seja inferior ou igual a $10 \cdot 10^{-6}/^{\circ}C$ e, de preferência, inferior ou igual a $8 \cdot 10^{-6}/^{\circ}C$, para permitir uma utilização em uma ampla faixa de temperatura.

25 Uma outra grandeza importante, quando a fonte de calor provém da corrente elétrica que atravessa a bilâmina, é a resistividade elétrica ρ_{el} . Assim, uma bilâmina que tem uma forte resistividade elétrica mediana aquecerá muito mais e subirá a uma temperatura mais elevada do que uma bilâmina de baixa resistividade elétrica. Resultará daí seja uma amplitude de

30 flecha ou deflexão da bilâmina na mesma relação, ou uma força da bilâmina-

acionador nas mesmas relações. Além disso, a resistividade elétrica é inversamente proporcional à condutividade térmica que assegura por sua vez a uniformização da temperatura e assegura, portanto, a dinâmica da resposta-bilamina.

- 5 Buscam-se, portanto, os materiais que apresentem uma resistividade elétrica a 20°C- ρ_{el} -superior a 75 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$, de preferência superior a 80 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$.

Por outro lado, a adjunção de uma terceira camada metálica como o cobre ou o níquel entre as camadas de baixa e alta dilatabilidade
10 permite regular diferentes compromissos de resistividade / condutividade, sem alterar as dilatabilidades.

Além disso, é necessário ter um material que apresente um ponto de Curie T_c superior ou igual a 160°C, e, de preferência, superior a 200°C para conservar uma boa estabilidade em temperatura propriedades de dila-
15 tação.

Para se conseguir esse ponto de Curie elevado, essa baixa dilatabilidade, e essa forte resistividade elétrica, é necessário que as ligas, de acordo com a invenção, apresentam mais de 30 % de níquel e respeitam a equação 6 definida por:

20
$$\text{Eq8} = \% \text{Ni} + \% \text{Cu} - 1,5\text{Cr} \geq 33.$$

Núcleos de bobinas de motores de relojoaria ou de relés eletromagnéticos de elevada sensibilidade.

Em um outro modo de realização preferido, a liga pode, além disso, ser tal que:

25
$$0,05 \% \leq \text{Mn} \leq 2\%$$

$$\text{C} \leq 0,1$$

$$\text{Eq2} \geq 2$$

$$\text{Eq3} \geq 195$$

$$\text{Eq4} < 2, \text{ se } \text{Ni} < 32,5 \text{ ou } \text{Eq4} < 6, \text{ se } \text{Ni} > 32,5$$

30
$$\text{Eq5} < 2, \text{ se } \text{Ni} < 32,5 \text{ ou } \text{Eq5} < 6, \text{ se } \text{Ni} > 32,5$$

$$\text{Eq6} \geq 180$$

$$\text{Eq7} \geq 190$$

Essa composição é mais particularmente adaptada à fabricação de núcleos de bobinas de motores de relojoaria ou de relés eletromagnéticos de elevada sensibilidade.

De preferência, busca-se uma aptidão a ser conseguida com os
 5 bons desempenhos magnéticos sob qualquer tipo de atmosfera industrial não oxidante tal como gás neutro, He, H₂, N₂, NH₃, etc... o que leva então a reduzir o máximo possível o teor em titânio, de preferência < 30ppmTi, de preferência <20 ppmTi.

Em um objetivo geral de baixo consumo elétrico do relógio, o
 10 campo magnético destinado a imantar o circuito magnético relojoeiro deve ser produzido com o mínimo decorrente elétrico, isto é, como máximo de espiras da bobina de excitação, que gera a utilização de um fio muito fino e um núcleo magnético de elevado fluxo magnético, a fim de reduzir a seção do núcleo e de colocar uma bobina tão grande quanto possível.

15 A liga magnética do núcleo deve, portanto, necessariamente oferecer uma elevada saturação magnética, já que o fluxo magnético é o produto da imantação pela seção do material. Busca-se, portanto, ligas que têm uma indução de saturação B_s a 20°C que seja superior a 10000G.

A liga deve também oferecer um baixo campo coercitivo H_c , assim como uma resistividade elétrica elevada para reduzir as perdas magnéticas, e assim limitar o consumo elétrico do relógio. Buscam-se, portanto, ligas
 20 que apresentem um campo coercitivo H_c a 20°C que seja inferior a 125mOe e, de preferência, inferior a 75mOe e uma resistividade elétrica ρ_{el} que seja superior a 60 $\mu\Omega$.cm e, de preferência, superior a 80 $\mu\Omega$.cm.

25 Além disso, as ligas, de acordo com a invenção, destinadas a essa aplicação apresentam, de preferência, uma boa recortabilidade e podem, portanto, incorporar a título opcional, de 8 a 40 ppm de S, Se, Sb e/ou de 2 a 20 ppm e/ou de 10 a 150 ppm de Ca, Mg.

30 As ligas, de acordo com a invenção, permitem atingir o conjunto dessas propriedades.

Em um modo de realização preferido, as ligas, de acordo com a invenção, apresentam uma indução de saturação B_s superior a 13000G e

sua composição deve então respeitar a equação 9:

$$\text{Eq9} \geq 13000 \text{ com } \text{Eq9} = 1100(\text{Ni} = \text{Co}/3 + \text{Cu}/3) - 1200\text{Cr} - 26000$$

As composições adaptadas à fabricação de núcleos de bobinas de motores de relógios são também adaptadas à fabricação de relés eletromagnéticos de elevada sensibilidade.

Um relé eletromagnético é um acionador mecânico de comando elétrico, no qual uma carcaça magnética geralmente maciça por razão de facilidade e de baixo custo de produção / conformação, é fechada por uma peça de material e em báscula sobre uma extremidade de perna de carcaça.

A posição de báscula entre “aberta” e “fechada” resulta do equilíbrio entre uma força mecânica de comando de uma mola (colocada no exterior da carcaça e tendendo a abrir o circuito magnético, fazendo girar a palheta móvel em torno da escora da carcaça) e uma força eletromagnética constituída em repouso da única força de atração magnética da carcaça imantada por um ímã sobre a palheta. Em repouso, a palheta fecha a carcaça.

Uma bobinagem envolve a escora da carcaça, de tal modo que, se uma corrente elétrica proveniente de um acontecimento externo e que deve ser convertida em sinal mecânico a percorre, acrescenta-se uma força magnética de repulsão da palheta em relação à carcaça, que faz diminuir a amplitude da força de atração magnética. Assim, segundo a amplitude da corrente elétrica na bobinagem, a força de repulsão pode atingir um nível; suficiente para que a ação da mola o leve, abrindo o relé acionando um sistema mecânico. É com base nesse princípio que funcionam notadamente os disjuntores elétricos.

Para que esse tipo de relé funcione com uma elevada sensibilidade é preciso que uma pequena variação de corrente I na bobina provoque uma forte variação da força de repulsão e é preciso, além disso, que esse comportamento seja proporcional em uma faixa suficientemente estendida de corrente, a fim de permitir uma pré-regulagem adequada do relé. Isto leva a definir uma necessidade de permeabilidade elevada em uma faixa de indução $B-H$ bastante linear, centrada sobre o ponto de funcionamento em repouso do relé, que corresponde à imantação do relé polarizado pelo ímã e

para uma frequência de solicitação determinada.

Quanto mais o material tiver uma indução com saturação B_s elevada, mais a variação de indução na carcaça sob o efeito da corrente I será elevada e mais a sensibilidade do relé será grande e sua potência elevada à permeabilidade dinâmica determinada. Tem-se necessidade também de uma indução com saturação B_s a 20°C superior a 10000 G e, de preferência, superior a 10000 G e, de preferência, superior a 13000 G, assim como de uma boa dinâmica de imantação obtida por uma resistividade elétrica elevada, ρ_{el} superior a 60 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ e, de preferência, superior a 70 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ e de um fraco campo coercitivo H_c (a 20°C), inferior a 125 mOe e de preferência inferior a 75mOe.

Por outro lado, uma manutenção à corrosão mínima é demandada, pois os relés são frequentemente protegidos por caixas não herméticas, deixando passar a atmosfera ambiente potencialmente quente, úmida, oxidante (Cl, S...), enquanto que o estado não oxidado do metal durante seu funcionamento durante anos é importante para garantir a reprodutibilidade das condições de acionamento pela não deriva de seus desempenhos magnéticos. É preciso que I_{Max}^{ox} permaneça inferior a 5mA e, de preferência, inferior a 3mA, até mesmo inferior a 1 mA.

20 Dispositivos de medida de temperatura e de marcação de ultrapassagem de temperatura, sem contato

Em um outro modo de realização preferido, a liga pode, além disso, ser tal que:

$$\begin{aligned} & Cu \leq 10 \% \\ 25 \quad & 0,02 \leq Mn \\ & C \leq 1 \% \\ & Eq2 \geq 0,4 \\ & Eq3 \geq 140 \\ & Eq4 \leq 10 \\ 30 \quad & Eq5 \leq 13,6 \\ & Eq6 \geq 140 \\ & Eq7 \geq 125 \end{aligned}$$

Essa composição é mais particularmente adaptada à fabricação de dispositivos de medida de temperatura ou de marcação de ultrapassagem de temperatura, sem contato.

As peças magnéticas de etiquetas de medida de temperatura sem contato (medida em tempo real, utilizando um fenômeno magnético reversível) ou de medida de ultrapassagem de temperatura sem contato (medida a posteriori, utilizando um fenômeno irreversível, mas permitindo uma reinicialização da etiqueta no fim do processo de controle), utilizam, ao mesmo tempo, materiais muito diferentes, tais como materiais magneticamente doces ("a liga") e materiais magnéticos com imantação permanente (MAP) em uma configuração estabilizada de temperatura e de campos magnéticos ambientais. Esse controle de temperatura é, pelo princípio mesmo da etiqueta, realizado na faixa de temperatura imediatamente aquém e em torno do ponto de Curie da liga magnética doce.

Nessa aplicação, pode-se, por exemplo, utilizar uma placa de MAP de seção S_1 solidarizada com uma placa de material de elevada permeabilidade de seção S_2 , tal como uma liga FeNi fina ou uma liga amorfa, deixando um entreferro fraco d entre os dois materiais. O material MAP exerce o papel de polarizador magnético do material magneticamente doce adjacente. Além disso, seja sobre a outra face do MAP, seja ainda entre o MAP e o material de elevada permeabilidade, mas separado do material deste pelo entreferro d , coloca-se uma terceira placa constituída de uma liga, de acordo com a invenção, que apresenta um ponto de Curie T_c .

Quando a temperatura ambiente se aproxima do ponto de Curie T_c da liga, de acordo com a invenção, este é menos imantado e o fluxo magnético do MAP se fecha para uma parte mais importante sobre o material à alta permeabilidade que se acha polarizado em um nível de imantação crescente e dependente da razão T/T_c .

Excitando, então, o material de alta permeabilidade com um campo de frequência mediana a partir de uma antena distante, uma variação de imantação ΔJ é produzida em torno da imantação de polarização J_1 e o material vai emitir harmônicos de forma considerável, pois se otimizou previ-

amente J1 nesse sentido, via a escolha de S_1 , S_2 e d.

O ponto de Curie funcional que é buscado se situa entre -50°C e 400°C , e, em particular, entre -30°C e $+100^{\circ}\text{C}$ para numerosas aplicações de controle de temperatura dos produtos comestíveis como a cadeia do frio, as temperaturas das adegas de vinho, as estocagens e transportes refrige-
 5 radados ou não de mercadorias comestíveis perecíveis, os recipientes de peixe e carne, os produtos sanguíneos e derivados, os estoques e expedições de substâncias orgânicas não comestíveis termoperecíveis, como as plantas, flores, retiradas humanas para implantes ou outros, culturas de células e
 : 10 germes ou bactérias, lotes de polímeros, macromoléculas, etc. Esse ponto de Curie está limitado a 400°C no máximo e está, de preferência, compreendido entre -30°C e 100°C .

Busca-se um campo coercitivo suficientemente baixo ($< 75 \text{ mOe}$, e, de preferência, $< 32,5 \text{ mOe}$) para se conseguir, por um lado, uma elevada
 15 sensibilidade do captador no campo de excitação à média frequência, e, por outro lado, uma grande dinâmica do captador por associação com uma resistividade elétrica elevada ($> 60 \mu\Omega.\text{cm}$) e, de preferência, uma estreita espessura de material. Essa restrição a campos coercitivos pequenos obriga a
 20 limitar a percentagem de cobre a 10 % no máximo e, de preferência, a menos de 6 % em associação com um teor máximo em níquel de 34 %.

Busca-se também uma manutenção mínima à corrosão e à oxidação, já que as ligas estão frequentemente em contato de diferentes meios e/ou constituintes em atmosferas industriais. Nessas aplicações, demanda-se frequentemente uma boa estabilidade química da liga traduzindo-se por
 25 uma boa manutenção à corrosão aquosa ($i_{ox} < 5\text{mA}$), uma boa manutenção à corrosão em nevoeiro salino e uma boa estabilidade mecânica (adesão + manutenção ao desgaste) da camada oxidada de superfície na atmosfera quente e oxidante.

As ligas, de acordo com a invenção, permitem atingir o conjunto
 30 dessas propriedades.

Substratos hipertexturados para epitaxia

Em um outro modo de realização preferido, a liga pode, além

disso, ser tal que:

$$\text{Mn} \leq 2 \%$$

$$\text{Si} \leq 1 \%$$

$$\text{Cu} \leq 10 \%$$

5 $\text{Cr} + \text{Mo} \leq 18 \%$

$$\text{C} \leq 0,1$$

$$\text{Ti} + \text{Al} \leq 0,5 \%$$

a liga satisfazendo, além disso, pelo menos uma das seguintes relações:

$$0,0003 \leq \text{B} \leq 0,004 \%$$

10 $0,0003 \leq \text{S} + \text{Se} + \text{Sb} \leq 0,008\%$

Preferê-se, além disso, acrescentar de 0,003 a 0,5 % de nióbio e/ou de zircônio.

Essas composições são mais particularmente adaptadas à fabricação de substratos hipertexturados para epitaxia.

15 Com efeito, numerosas aplicações necessitam de fazer aumentar as finas camadas de materiais policristalinos os mais texturados possíveis, isto é, com uma textura, se possível, monocomponente a mais aguda possível.

20 Entende-se por textura monocomponente uma distribuição não aleatória das orientações cristalográficas do policristal, de tal modo que elas ficam todas situadas em um ângulo sólido (de semiângulo no topo ω) que envolve a orientação ideal visada, anotada $[\text{hkl}]$ (uvw) em índice de Miller. ω é denominada desorientação mediana de textura e pode ter diferentes valores, segundo o fato de se medir no plano de laminação ou fora do plano.

25 Esses materiais depositados têm propriedades físicas particulares, tais como, por exemplo, a supracondutividade dos óxidos de tipo Y-Ba-Cu-O.

30 Essas propriedades são muito melhoradas por pequenas densidades de defeitos nas juntas de grão, que passam por pequenas desorientações entre cristais adjacentes (papel de uma textura aguda) e por um tamanho de grão da ordem de algumas dezenas de micron para reduzir a densidade volúmica de defeitos com desorientação de textura idêntica.

Para se conseguir esses depósitos policristalinos muito texturados, um dos métodos muito aplicados é a técnica de epitaxia a partir de uma fase vapor ou líquido, sobre um substrato, ele próprio hipertexturado com um parâmetro de malha bastante próxima deste do produto depositado, uma
 5 textura tanto monocomponente e aguda quanto possível, uma boa resistência à oxidação, quando dos recozimentos oxidantes eventuais necessitados pela formação dos óxidos depositados, uma manutenção mecânica mínima para não se deformar quando dos recozimentos e resistir à utilização do produto final (bobinagem, enrolamento, colocação sob tensão, etc.).

10 As propriedades de uso específicas requeridas para os substratos hipertexturados são, portanto, essencialmente a presença de uma fração surfácica de macla e outras orientações centradas a menos de 15° de desorientação da orientação ideal cúbica $[100](001)$, de preferência a menos de 10 %, e, de preferência, a menos de 5 %, assim como uma desorientação ω
 15 da principal componente de textura cúbica $\{100\} \langle 001 \rangle$: inferior a 10° e, de preferência, inferior a 7° .

Busca-se também uma dilatabilidade mediana entre 20°C e 100°C e uma dilatabilidade mediana entre 20°C e 300°C variáveis segundo as aplicações finais. Pode-se assim ter necessidade,. Quando um depósito
 20 sobre substrato é feito a quente, colocar em compressão a camada depositada quando o produto é revenido à ambiente. É preciso, portanto, poder escolher uma dilatação regulada entre 20°C e a temperatura de depósito em um nível muito variável, segundo a dilatação / contração do material depositado.

25 Enfim, o ponto de Curie não está limitado por essa propriedade e em certas aplicações supracondutoras, é mesmo de longe preferível que o substrato seja também pouco magnético quanto possível à temperatura de utilização, isto é, 77k

Exemplos

30 No âmbito da presente invenção, as abreviaturas seguintes são utilizadas:

* Inv.: teste de acordo com a invenção;

- * Comp.: teste comparativo;
- * NR: teste não realizado;
- * CBS: sensibilidade à corrosão em nevoeiro salino;
- * UM: manutenção ao desgaste mecânico da camada oxidada
- 5 de superfície das ligas sob atmosfera industrial oxidante;
- * $B_s^{20^\circ\text{C}}$: indução com saturação, medida a 20°C e expressa em Gauss;
- * $B_s^{60^\circ\text{C}}$ (G):: indução com saturação, medida a 60°C e expressa em Gauss;
- 10 * T_c : ponto de Curie do material, expresso em $^\circ\text{C}$;
- * H_c : campo coercitivo a 20°C , medido em mOe;
- * I^{OX} : corrente máxima com potencial imposto, medida em mA
- * Br/BM: relação da indução remanente Br sobre a indução medida em zona de aproximação com saturação BM;
- 15 * α_{20-100} : coeficiente médio de dilatação (denominada também “dilatabilidade”) do material, médio entre 20 e 100°C e expressa em $10^{-6}/^\circ\text{C}$ e
- α_{20-300} : coeficiente médio de dilatação do material, medido entre 20 e 300°C e expresso em $10^{-6}/^\circ\text{C}$ e
- $\alpha_{20-77\text{K}}$: coeficiente médio de dilatação do material, medido entre
- 20 77K e 20°C e expresso em $10^{-6}/^\circ\text{C}$
- * ρ_{el} ou $\rho\text{-elec}$: resistividade elétrica a 20°C , medida em $\mu\Omega\cdot\text{cm}$
- * μ_{max}^{CC} : permeabilidade relativa máxima em corrente contínua, medida por comparação à permeabilidade do vácuo $\mu_0 (= 4\pi \cdot 10^{-7})$ e, portanto, sem dimensão e unidade;
- 25 * ω : desorientação mediana de textura, medida em $^\circ$ (Grau).

Testes e Medidas

Para testar as ligas, de acordo com a invenção, diferentes composições de ligas foram elaboradas por fusão por indução sob vácuo, sob a forma de lingotes de 50 kg à composição desejada. O material é em, seguida forjado entre 1000 e 1200°C , laminado a quente entre 1150 e 800°C até uma espessura de 4,5 mm, decapado por via química, laminado a frio sem recozimento intermediário até 0,6 mm. Todas as ligas são pelo menos carac-

terizadas nesse estágio, após recorte em diferentes amostras, tais como aquelas para medidas de dilatabilidade, de T_c , de I_{Max}^{ox} , de J_s e arruelas de dia 25 x 36 mm.

Diferentes testes são então realizados:

5 Resistência à corrosão sob nevoeiro salino, CBS

Para medir CBS, imerge-se uma chapa de liga em um compartimento climático de nevoeiro salino feito de uma atmosfera a 95 % de umidade, saturada em sal NaCl, durante 24 horas. Enxáguam-se em seguida as chapas com álcool, depois se observam os pontos de corrosão. A densidade e a importância dos pontos são então anotadas com 3 níveis de sensibilidade:

0 : não sensível;

- : um poucos sensível

-- : sensível e

15 --- : muitos sensível à corrosão sob nevoeiro salino.

Desgaste mecânico da camada de óxido de superfície, UM

Para medir UM, procede-se inicialmente a um recozimento do metal martelado à espessura 0,6 mm, a uma temperatura de 1100°C, durante 3 horas sob hidrogênio puro e vapor de água tal que o ponto de orvalho seja de -30°C (simulação de um recozimento industrial). Empilham-se em seguida duas chapas assim recozidas sob uma massa uniformemente repartida, dando uma pressão equivalente a 1 kg para 10 cm². Realizam-se então 100 deslizamentos ida/volta até a meio comprimento de uma chapa em relação à outra, depois se observa o desgaste das superfícies anotado com 3 níveis de manutenção ao desgaste, o pós-exame de superfície do metal.

- 0 : ligeira manutenção ao desgaste

- +: manutenção ao desgaste mecânico e

- ++: muito boa manutenção ao desgaste mecânico.

Ponto de Curie, T_c

30 T_c é medida por força magnética ao termomagnetômetro de Chevenard: a amostra é aquecida a 100°C/h até 800°C, depois resfriada à mesma velocidade até a ambiente. O valor de T_c retido é aquela correspon-

dente à exploração do termograma ao aquecimento; o valor de T_c é extrapolado sobre o eixo das origens (desvio = 0) a partir da tangente ao ponto de inflexão da curva força magnética: $f(T^{\text{re}})$.

Manutenção à corrosão aquosa ácida $I^{\text{ox}}_{\text{Max}}$

- 5 A manutenção à corrosão das ligas em meios atmosféricos corrosivos ou em meios aquosos ácidos pode ser avaliada pela medida da corrente máxima obtida, quando se imerge uma amostra-placa de liga em um banho de ácido sulfúrico 0,01M e a liga sendo ligada por um condutor a um outro eletrodo-placa de platina, aplicando diferentes valores de tensões. Diferentes valores de intensidade I são assim medidas sobre o condutor que
10 liga os dois eletrodos e determina-se então o valor máximo $I^{\text{ox}}_{\text{Max}}$ de $I(U)$.

Por esse teste com potencial imposto entre placas, a evolução da corrente no condutor e, em particular, seu valor máximo dá uma avaliação correta da aptidão da liga a constituir uma camada de óxido estável em sua superfície: quanto mais baixo for $I^{\text{ox}}_{\text{Max}}$, mas a liga resiste bem a corrosão.
15

Coeficientes de dilatações (ou dilatabilidade)

- Os coeficientes médios de dilatação térmica entre 20°C e uma temperatura T - anotados $\langle \alpha_{20 \rightarrow T} \rangle$ ou por comodidade α_{20-T} -são medidos sobre dilatômetro de Chevenard, comparando-se a uma amostra de aferição de Pyros (Fe-Ni de composição e dilatação precisas): registra-se a variação de alongamento Δl de uma amostra de comprimento inicial " l_0 " em função da temperatura T : $\Delta l = f(T)$. A dilatabilidade média entre 20°C e a temperatura T_1 é dada por:
20

$$\langle \alpha_{20 \rightarrow T_1} \rangle = \frac{1}{(T_1 - 20)^2} \int_0^{T_1} \frac{\Delta l(T)}{l_0} dT$$

25

expressa em $10^{-6}/^\circ\text{C}$ (milionésimo de alongamento relativo por grau).

Propriedades magnéticas H_c , B_r , $\mu_{\text{max}}^{\text{CC}}$

- Essas propriedades são medidas por método flux-métrico, segundo a norma IEC 404-, sobre as arruelas recozidas: o traçado do ciclo de histerese permite determinar os valores de H_c , B_r , $\mu_{\text{max}}^{\text{CC}}$.
30

Exemplo 1 - Dispositivos magnéticos de autorregulação de temperatura

- Várias ligas foram elaboradas até a espessura final de 0,6 mm, a fim de caracterizar as propriedades de uso. As ligas são elaboradas a partir de matérias puras a 99,9 %, fundidas no forno de indução sob vácuo em um lingote de 50 kg. O lingote é forjado entre 1100 e 1300°C, depois laminado a quente até uma espessura de 2,5 mm, entre 1000 e 1200°C, depois decapado quimicamente. A cinta é em seguida laminada a frio, depois a espessura de laminado a quente até a espessura de 0,6 mm, depois recozida entre 800 e 1100°C durante 1 hora, depois desengordurada, recortada em diferentes peças ou arruelas para medidas, depois recozida a 110°C/3h sob H₂ purificado (ponto de orvalho <-70°C).

As composições testadas comportam os elementos mencionados na tabela seguinte, o complemento sendo o ferro e as impurezas inevitáveis.

15 Tabela 1 - Composição das composições de testes

	Composições	% de Ni	% de Cr	% de Cu	% de Mn	% de Si
Inv.	SV285mod-1	32,45	0,04	0,53	0,3	0,18
Inv.	SV285mod-6	32,45	0,04	6	0,3	0,23
Inv.	SV287-1	31,8	0,04	0,5	0,3	0,34
Inv.	SV287-5	30,7	0,04	3,7	0,3	0,26
Inv.	SV302mod-1	30	0,05	7	0,2	0,34
Inv.	SV302mod-2	29,4	0,05	7	2	0,23
Inv.	SV302mod-3	28,8	0,05	7	4	0,31
Inv.	SV298-1	29,44	0,98	0,5	0,2	0,18
Inv.	SV298-4	28,9	0,97	3	0,2	0,23
Inv.	SV315-3	32,5	1,97	2	0,2	0,21
Inv.	SV317-1	35	2	0,5	0,2	0,31
Inv.	SV323-6	33	1,9	0,6	3,8	0,18
Inv.	SV300-2	27,9	4	1	0,2	0,31

	Composições	% de Ni	% de Cr	% de Cu	% de Mn	% de Si
Comp.	A	28,9	0,03	0,15	0,2	0,31
Comp.	SV297-1	26,9	1,9	1	0,2	0,34
Comp.	SV300-1	28	4	0,5	0,2	0,23
Comp.	SV305-1	28	6	0,5	0,2	0,18
Comp.	Fe-30Ni	30	0	<u>0</u>	0	0
Comp.	B	27	0,03	<u>0,14</u>	0,2	0,23
Comp.	C	28	0,03	<u>0,12</u>	0,2	0,21
Comp.	D	26,5	6	<u>0,15</u>	0,2	0,18
Comp.	E	26,33	4	<u>0,12</u>	0,2	0,17

Faz-se uma série de testes para determinar os valores de resistência à corrosão em nevoeiro salino, de resistência ao desgaste mecânico, de indução com saturação, de ponto de Curie, de resistência à corrosão ácida e de dilatabilidade entre 20 e 100°C.

5 Os resultados desses testes estão reunidos na tabela 2.

Vê-se que uma parte das ligas, de acordo com a invenção, contém menos de 30 % Ni e podem se aproximar muito do ponto de Curie do Invar ® (Fe-36%Ni: Tc = 250°C) como, por exemplo, SV302mod1(Tc = 199°C). Reduz-se, portanto, sensivelmente o custo de liga, substituindo-se uma parte do níquel por cobre; além disso, melhora-se sensivelmente a manutenção à corrosão aquosa, salina e à oxidação pelas adições conjuntas de Cu, Cr, Cr.

15 Comparativamente, caso não se coloque cobre em uma liga a 30 % Ni, consegue-se um ponto de Curie tão baixo quanto 40°C e uma muito má manutenção à corrosão ácida.

Tabela 2 - Resultados dos testes

	Composição	CBS	UM	Bs ^{20°C} (G)	Tc (°C)	I ^{ox} (mA)	a ₂₀₋₁₀₀ (10-6/°C.)
In v.	SV285mod-1	-	++	9560	205	4,5	4,2
Inv.	SV285mod-6	-	++	12410	238	3,9	3,05
In v.	SV287-1	-	++	8420	152	4,5	5,3

	Composição	CBS	UM	Bs ^{20°C} (G)	Tc (°C)	I ^{ox} (mA)	a ₂₀₋₁₀₀ (10 ⁻⁶ /°C.)
Inv.	SV287-5	-	++	9780	198	4,04	4,1
Inv.	SV302mod-1	-	++	9820	199	4,5	4,8
Inv.	SV302mod-2	-	++	7580	154	4,6	6,3
Inv.	SV302mod-3	-	++	5210	104	4,6	7,8
Inv.	SV298-1	-	++	5030	104	2,9	11
Inv.	SV298-4	-	++	6810	137	2,8	8,3
Inv.	SV315-3	-	++	9520	174	1,3	4,5
Inv.	SV317-1	-	++	11100	204	1,5	2,4
Inv.	SV323-6	-	++	4400	78	1,6	4,5
Inv.	SV300-2	-	++	1970	37	1,9	NR
Comp.	A	-	++	1650	25	4,5	NR
Comp.	SV297-1	-	++	1530	<u>24</u>	2,6	NR
Comp.	SV300-1	-	++	1570	<u>24</u>	1,7	NR
Comp.	SV305-1	-	++	1140	<u>18</u>	1,4	NR
Comp.	Fe-30Ni	--	--	120	<u>40</u>	7	NR
Comp.	B	-	++	0	<u>-50</u>	4,9	NR
Comp.	C	-	++	0	<u>-10</u>	4,7	NR
Comp.	D	-	++	0	<u>-50</u>	3,1	NR
Comp.	E	-	++	0	<u>-50</u>	3,7	NR

Vê-se também no exemplo SV298-1 que se podem obter dilata-
bilities elevadas entre 20 e 100°C (11.10⁻⁶/°C no exemplo), regulando-se
os teores em Ni, Cr e Cu de forma adequada e sem ultrapassar 30% Ni. A
escolha de composição regula ao mesmo tempo o ponto de Curie.

5 Exemplo 2 - Dispositivos de autorregulação de fluxo magnético

Várias ligas foram elaboradas até a espessura final de 0,6 mm, a
fim de caracterizar as propriedades de uso. As ligas são elaboradas a partir
de matérias puras a 99,9 %, fundias no forno de indução sob vácuo em um
lingote de 50 kg. O lingote é forjado entre 1100 e 1300°C, depois laminado
até uma espessura de 2,5 mm, entre 1000 e 1200°C, depois decapado qui-
micamente. A cinta é em seguida laminada a frio, depois a espessura do
laminado a quente até a espessura de 0,6 mm, depois recozida entre 800 e
1100°C durante 1 hora, depois desengordurada, recortada em diferentes

espécies ou arruelas para medidas, depois recozido a 1100°C/3h sob H₂ purificado (ponto de orvalho <-70°C).

As composições testadas comportam os elementos mencionados na tabela seguinte, o complemento sendo o ferro e as impurezas inevitáveis.

Tabela 3 - Composição das composições de testes

	Composição	% de Ni	% de Cr	% de Cu	% Mn	% de Si
Inv.	TD521-2	28	0,02	1	0,02	0,2
Inv.	TD521-3	28	0,02	3	0,02	0,2
Inv.	TD561-1	26	2	10	0,02	0,2
Inv.	TD565-1	25	1	10	0,02	0,2
Inv.	TD558-1	28	2	3	0,02	0,2
Inv.	SV289-1	27,8	2	1	0,02	0,2
Inv.	SV297-3	26,2	1,9	4	0,02	0,2
Comp.	SV302mod-4	28,2	0,1	6	6	0,3
Comp.	SV297-1	26,9	1,9	1	0	0,2
Comp.	NMHG-1	28	0	0	0	0,2
Comp.	NMHG-2	29	0	0	0	0,2

Faz-se uma série de testes para determinar os valores de resistência à corrosão em nevoeiro salino, de resistência ao desgaste mecânico, de indução com saturação, de ponto de Curie, de resistência à corrosão ácida e de dilatabilidade entre 20 e 100°C.

Os resultados desses testes estão reunidos na tabela 4.

Vê-se que a maior parte das ligas, de acordo com a invenção, tem pontos de Curie de 30°C a aproximadamente 100°C e isto para ligas contendo somente de 2 a 28 % Ni, segundo a manutenção à corrosão e/ou à oxidação desejadas. O contraexemplo SV302mod-4 não pode ser conveniente, pois contém uma percentagem de manganês superior a 2 %, e uma resistência ao desgaste da camada oxidada degradada, apesar a presença de silício.

Os contraexemplos SV297-1, NMHG-1 e NMHG-2 não estão de acordo com a invenção, pois não respeitam a equação 2. Constata-se que suas temperaturas de Curie são inferiores ao valor limite de 30°C contraria-

mente aos exemplos, de acordo com a invenção.

Tabela 4 - Resultados dos testes

	Composição	CBS	UM	Bs ^{20°C} (G)	Tc (°C)	I ^{ox} (mA)
Inv.	TD521-2	-	++	4610	75	3,2
Inv.	TD521-3	-	++	5420	98	2,3
Inv.	TD561-1	-	++	5070	100	1,1
Inv.	TD565-1	-	++	4000	81	1,6
Inv.	TD558-1	-	++	4900	95	1,3
Inv.	SV289-1	-	++	2540	43	1,7
Inv.	SV297-3	-	++	3170	53	1,8
Comp.	SV302mod-4	-	+	3450	67	4,7
Comp.	SV297-1	-	++	1530	24	2,5
Comp.	NMHG-1	NR	NR	NR	<u>-10</u>	NR
Comp.	NMHG-2	NR	NR	NR	<u>25</u>	NR

Exemplo 3 - Dispositivos com dilatação controlada

- Várias ligas foram elaboradas até a espessura final de 0,6 mm, a
- 5 fim de caracterizar as propriedades de uso. As ligas são elaboradas a partir de matérias puras a 99,9 %, fundidas no forno com indução sob vácuo em um lingote de 50 kg. O lingote é forjado entre 1100 e 1300°C, depois laminado a quente até uma espessura de 2,5 mm, entre 1000 e 1200°C, depois decapado quimicamente. A cinta é em seguida laminada a frio, a partir da
- 10 espessura de laminado a quente até a espessura de 0,6 mm, depois recozida entre 800 e 1100°C, durante 1 hora, depois desengordurada, recortada em diferentes peças ou arruelas para medidas, depois recozimento a 1100°C/3h sob H₂ purificado (ponto de orvalho <- 70°C).

- As medidas de dilatabilidade são feitas sobre um "dilatômetro de
- 15 Chevenard" entre -196°C e 800°C.

As composições testadas comportam os elementos mencionados na tabela seguinte, o complemento sendo o ferro e as impurezas inevitáveis.

Tabela 5 - Composição das composições de testes

	Composição	% de Ni	% de Cr	% de Cu	% de Mn	% de Si
Inv.	36	32,45	0,04	4	0,3	0,17
Comp.	Invar®	<u>36</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	0,2	0,05
Inv.	SV285mod-1	32,45	0,04	0,53	0,3	0,18
Inv.	SV285mod-2	32,45	0,04	1	0,3	0,17
Inv.	SV287mod3	31,3	0,04	1,9	0,3	0,16
Inv.	SV287mod4	31	0,04	2,8	0,3	0,22
Inv.	SV287mod5	30,7	0,04	3,7	0,3	0,23
Inv.	SV287mod6	30,2	0,04	5,5	0,3	0,19
Inv.	SV315-5	31,9	1,93	4	0,2	0,18
Inv.	SV318-6	34,1	1,89	6	0,2	0,23
Comp.	N42	<u>42</u>	0	<u>0</u>	0,2	0,07
Inv.	SV304-4	28,2	2	7	6	0,17
Inv.	TD561-3	28	2	10	0,3	0,21
Comp.	N426	<u>42</u>	6	<u>0</u>	0,25	0,22
Inv.	SV296-4	28,2	1,9	3	0,2	0,19
Inv.	TD521-4	28	0,03	6	0,2	0,2
Inv.	TD561-1	26	2	10	0,3	0,22
Comp.	N485	<u>48</u>	6	0	0,33	0,06
Inv.	TD558-6	31	2	3	0,24	0,15
Inv.	TD558-7	32	2	3	0,22	0,12
Inv.	TD558-8	33	2	3	0,21	0,17
Inv.	TD560-3	30	0,05	10	0,26	0,15
Inv.	TD563-6	31	1,5	3	0,22	0,16
Comp.	Invar M93	36	<u>0</u>	<u>0</u>	0,2	0,03

Faz-se uma série de testes para determinar os valores de resistência à corrosão em nevoeiro salino, de resistência ao desgaste mecânica, de ponto de Curie, de resistência à corrosão ácida e de dilatabilidade entre 20 e 100°C e entre 20 e 300°C.

Os resultados desses testes estão reunidos na tabela 6.

Os dois primeiros testes correspondem a dilatações muito pequenas. Os nove seguintes têm dilatabilidades próximas dos semicondutores, tais como Si, Ge, AsGa ou SiC. Os sete seguintes têm dilatações próxi-

mas daquelas dos vidros. Os seis seguintes são compatíveis com a utilização como reservatório estanque para o transporte de gás liquefeito a 77K nos calços de metano.

Tabela 6 - Resultados dos testes

	Composição	CBS	UM	α_{20-100} ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	α_{20-300} ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	$\alpha_{20-77\text{K}}$ ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	$I_{\text{ox}}^{\text{max}}$ (mA)
Inv.	36	-	++	2,7	NR	NR	3,9
Comp.	Invar®	--	0	1,5	3	NR	6,2
Inv.	SV285mod-1	-	++	4,2	10	NR	4,5
Inv.	SV285mod-2	-	++	3,9	9,6	NR	4,4
Inv.	SV287mod3	-	++	4,5	10	NR	4,17
Inv.	SV287mod4	-	++	4,03	9,6	NR	4,4
Inv.	SV287mod5	-	++	4,1	9,4	NR	4,04
Inv.	SV287mod6	-	++	4,19	9,1	NR	3,95
Inv.	SV315-5	-	++	4,6	9,3	NR	1,1
Inv.	SV318-6	0	++	4,4	6	NR	1,2
Comp.	N42	--	0	4	4,3	NR	<u>5,7</u>
Inv.	SV304-4	-	++	7,1	11,9	NR	1,02
Inv.	TD561-3	-	++	6,7	11,6	NR	0,9
Comp.	N426	0	+	8,3	NR	NR	NR
Inv.	SV296-4	-	++	8,5	13,4	NR	4,2
Inv.	TD521-4	-	++	9,6	11,9	NR	2,1
Inv.	TD561-1	-	++	9,5	14,1	NR	0,7
Comp.	N485	0	+	9,2	9,3	NR	NR
Inv.	TD558-6	-	++	5,79	11,19	3,5	1,9
Inv.	TD558-7	-	++	4,58	9,75	3,05	1,7
Inv.	TD558-8	-	++	3,78	8,42	3	1,6
Inv.	TD560-3	-	++	3,99	7,94	3,68	3,3
Inv.	TD563-6	-	++	5,09	10,8	3,23	2,6
Comp.	Invar M93	-	+	<2	NR	<2	NR

5

No exemplo 36, comparativamente ao Invar®, acontece que substituir 3,5 % Ni por 4°C de Cu e baixos teores em Si e Cr permite conservar uma dilatabilidade inferior a $3 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ entre 20 e 100°C , o que é suficiente para muitas aplicações que necessitam de limitar ao mesmo tempo o cus-

to e a dilatação para a ambiente, como as máscaras de sombra das telas de tubos catódicos de alta definição, os suportes de acionador de injeção automóvel de carburante piezoelétrica, os moldes maciços de peças aeronáutica em fibra de carbono e outras, e também necessitando de que o material se
 5 oxida pouco em recozimento industrial sob atmosfera muito ligeiramente reductora até mesmo sob atmosfera oxidante, e permite evitar utilizar uma atmosfera de gás protetor, simplificando assim a utilização industrial.

No exemplo SV318-6, comparativamente ao N42, acontece que substituir 8 % de Ni por 6 % de Cu e 2 % de Cr, e um baixo teor em Si permite
 10 te conservar uma dilatabilidade inferior ou igual a $6.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ entre 20 e 300°C , e mesmo uma dilatabilidade equivalente entre 20 e 100°C , o que é suficiente para a maior parte das aplicações que necessitam de limitar, ao mesmo tempo, o custo e a dilatação em contato com materiais semicondutores em uma faixa restrita de temperatura de 100 a 300°C acima da ambiente como
 15 os suportes de circuitos integrados.

Nos exemplos SV304-4 e TD561-3 dessa tabela, comparativamente ao N426 utilizado por sua compatibilidade em dilatação com os vidros de tipo vidros sódicos ao PB, acontece que substituir 14% Ni por 7 ao 10% Cu e de baixos teores em Si e Cr permite conservar uma dilatabilidade da
 20 ordem de $3.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ entre 20 e 100°C e de $11,5.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ entre 20 e 300°C , o que é suficiente para muita aplicação que necessita de limitar, ao mesmo tempo, o custo e a dilatação ao contato com certos vidros, a alumina, o óxido de berílio, certos semicondutores como AsGa, etc... em uma faixa restrita de temperatura de 100 a 300°C acima da ambiente.

No exemplo TD521-4 dessa tabela, comparativamente ao N485, acontece que substituir 20 % Ni por 6 % Cu e menos de 2 % Cr e um baixo teor em Si permite conservar uma dilatabilidade da ordem de $9,5.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ entre 20 e 100°C e de $11,9.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ entre 20 e 300°C , o que é suficiente para
 25 muita aplicação que necessita de limitar ao mesmo tempo o custo e a dilatação ao contato com esses vidros muito dilatáveis, de ZrO_2 , a forsterita, etc...
 30 em uma faixa restrita de temperatura de 100 a 300°C acima da ambiente.

Nas de metano, tem-se necessidade de uma dilatabilidade muito

baixa entre -196°C (temperatura de liquefação do gás) e a ambiente, a fim de que os recipientes gigantes do gás líquido resistam às forças destrutivas de dilatação, em particular nas juntas triplas de soldadura dos recipientes. Acontece, nos últimos exemplos da tabela, que substituir 3 a 6% Ni por 3 a 10% Cu e baixos teores em Si e Cr permite conservar uma dilatabilidade da ordem 3 a $3,5 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ entre -196°C e 20°C , o que é suficiente para essa aplicação que necessita de limitar, ao mesmo tempo o custo e a dilatação da superestrutura entre o gás liquefeito a -196°C sobre uma face, e a temperatura ambiente sobre a outra face.

10 Exemplo 4 - Captadores de corrente e transformadores de medida

Várias ligas foram elaboradas até a espessura final de 0,6 mm, a fim de caracterizar as propriedades de uso. As ligas são elaboradas a partir de matérias puras a 99,9 %, fundidos no forno de indução sob vácuo em um lingote de 50 kg. O lingote é forjado entre 1100 e 1300°C , depois laminado a quente até uma espessura de 2,5 mm entre 1000 e 1200°C , depois decapado quimicamente. A cinta é, em seguida, laminada a frio sem recozimento intermediário, a partir da espessura de laminado a quente até a espessura de 0,6 mm, depois recortada em diferentes peças ou arruelas para medidas (ver anteriormente os diferentes tipos de caracterização utilizados), antes do desengorduramento, depois recozimento a 1100°C durante 3 horas sob H_2 purificado (ponto de orvalho $< -70^{\circ}\text{C}$).

As composições testadas comportam os elementos mencionados na tabela seguinte, o complemento sendo o ferro e as impurezas inevitáveis.

25 Tabela 7 - Composição das composições de testes

	Composição	% de Ni	% de Cr	% de Cu	% de Mn	% de Si
Inv.	TC768 / SP302+	30	2	3	0,3	0,16
Inv.	SV304-2	29,4	2	7	2	0,19
Inv.	SV314-6	30,3	1,89	6	0,2	0,17
Inv.	SV318-6	34,1	1,89	6	0,2	0,16
Inv.	SV290-4	28,2	2	3	0,3	0,16
Inv.	SV296-2	29,2	1,9	1	0,2	0,17

	Composição	% de Ni	% de Cr	% de Cu	% de Mn	% de Si
Inv.	SV316-4	33,2	1,95	3	0,2	0,18
Inv.	SV317-5	33,8	1,93	4	0,2	0,17
Inv.	SV302mod-3	28,8	0,05	7	4	0,17
Inv.	SV298-3	29,1	0,97	2	0,2	0,19
Inv.	SV330-4	27,5	0,03	3	0,2	0,18
Inv.	SV330-6	27,5	0,03	7	0,2	0,17
Inv.	SV333-2	29	0,03	1	0,2	0,16
Inv.	SV333-5	29	0,03	5	0,2	0,17
Inv.	SV339-2	29	0,2	1	0,2	0,19
Inv.	SV339-5	29	0,2	5	0,2	0,17
Comp.	SV330-8	27,5	0,03	<u>13</u>	0,2	0,18
Comp.	SV333-8	29	0,03	<u>13</u>	0,2	0,18
Comp.	SV339-8	29	0,2	<u>13</u>	0,2	0,15

Faz-se uma série de testes para determinar os valores de resistência à corrosão em nevoeiro salino, de resistência ao desgaste mecânico, de indução com saturação a 20°C, de retangularidade do ciclo de histerese a 20°C, de campo coercitivo a 20°C, de resistividade elétrica a 20°C e de resistência à corrosão ácida.

5

Os resultados desses testes estão reunidos na tabela 8.

Tabela 8 - Resultados dos testes

	Composição	CBS	UM	Bs ^{20°C} (G)	Br/Bm	Hc (mOe)	ρ-elec (μΩ.cm)	I ^{ox} (mA)
Inv.	TC768 / SP302+	-	++	7380	NR	41	88,6	1,3
Inv.	SV304-2	0	++	6310	0,32	32	85	0,9
Inv.	SV314-6	0	++	9190	0,33	34	86	1,2
Inv.	SV318-6	0	++	11960	0,34	31	82	1,2
Inv.	SV29CM	0	++	5180	0,41	25	87	4,2
Inv.	SV296-2	0	++	5560	0,47	30	87,5	4,1
Inv.	SV316-4	0	++	10620	0,34	37	87	1,3
Inv.	SV317-5	0	++	11540	0,35	34	86,5	1,1
Inv.	SV302mod-3	0	++	5210	0,32	21	75	4,6
Inv.	SV298-3	0	++	6170	0,43	32	87	2,8
Inv.	SV33CM	-	++	4430	NR	19	87	4,9

	Composição	CBS	UM	Bs ^{20°C} (G)	Br/Bm	Hc (mOe)	ρ -elec ($\mu\Omega$.cm)	I ^{ox} (mA)
Inv.	SV330-6	-	++	6800	NR	33	88	4,7
Inv.	SV333-2	-	++	4250	NR	18	85	4,6
Inv.	SV333-5	-	++	8360	NR	43	90	4,4
Inv.	SV339-2	-	++	4300	NR	20	85	3,7
Inv.	SV339-5	-	++	8430	NR	40	90	3,4
Comp.	SV330-8	-	++	8340	NR	<u>270</u>	76	4,4
Comp.	SV333-8	-	++	9970	NR	<u>330</u>	78	4,2
Comp.	SV339-8	-	++	10070	NR	<u>364</u>	78	3,1

Observa-se que as ligas que comportam mais de 10 % de Cu apresentam campos coercitivos muito elevados de 200 a 400 mOe incompatíveis com uma aplicação de tipo transformador de medida.

A liga SV330-4 é particularmente econômica com seus 28 % de Ni e 3 % de Cu, com uma HC muito baixa de 19mOe, permitindo uma grande precisão do transformador de medida, ao contrário, sua baixa saturação (4430 G), a restringe a aplicações para a temperatura ambiente.

Em um outro exemplo da invenção, a liga SV330-6 é quase também econômica com 28 % de Ni e 7 % de Cu e permitindo uma boa precisão de captador decorrente de circuito fechado, graças à HC = 33 mOe; além disso, sua saturação mais elevada (6800 G) a torna nitidamente mais estável em temperatura e permitirá um funcionamento do transformador de medida até 70°C.

Em um último exemplo, a liga SV317-5 com saturação elevada (11540G) e fraco campo coercitivo (34mOe) permite a realização de captador de corrente em circuito aberto de grande precisão, e de forma econômica (34 % Ni) garantindo uma boa manutenção à corrosão em numerosos meios, graças à conjugação de 2% Cr e 4 % de Cu associados ao silício.

Exemplo 5 - Captadores magneto-harmônicos

Várias ligas foram elaborados até a espessura final de 0,04 mm, a fim de caracterizar as propriedades de uso. As ligas são elaboradas a partir de matérias puras a 99,9 %, fundidos no forno com indução sob vácuo em um lingote de 50 kg. O lingote é forjado entre 1100 e 1300°C, depois lami-

nado a quente até uma espessura de 2,5 mm, entre 1000 e 1200°C, depois decapado quimicamente. A cinta é, em seguida, laminada a frio, a partir da espessura de laminado a quente até a espessura de 0,6 mm, depois recozida entre 800 e 1100°C, durante 1 hora, depois laminada até a espessura final de 40 µm, depois desengordurada, recortada em diferentes peças ou toros enrolados para medidas, depois de recozimento a 1100°C, durante 3 horas sob H₂ purificado (ponto de orvalho <-70°C).

As composições testadas comportam os elementos mencionados na tabela seguinte, o complemento sendo o ferro e as impurezas inevitáveis.

Tabela 9 - Composição das composições de testes

	Composição	% de Ni	% de Cr	% de Cu	% de Mn	% de Si
Inv.	SV292-3	29,9	0,5	0,5	0,3	0,22
In v.	SV323-6	33	1,9	0,6	3,8	0,23
Inv.	SV289-3	27	1,99	3,85	0,3	0,25
Inv.	SV290-3	28,4	2	2	0,3	0,23
Inv.	SV296-1	29,3	1,9	0,5	0,2	0,24
Inv.	SV306-4	28,3	3,9	3	0,2	0,25
Inv.	SV289-4	26,5	1,98	5,6	0,3	0,24
Inv.	SV304-3	28,8	2	7	4	0,24

Faz-se uma série de testes para determinar os valores de resistência à corrosão em nevoeiro salino, de resistência ao desgaste mecânico, de indução com saturação a 20°C, de campo coercitivo a 20°C, de resistividade elétrica a 20°C e de resistência à corrosão ácida.

Os resultados desses testes estão reunidos na tabela 10.

Tabela 10 - Resultados dos testes

	Composição	CBS	UM	Bs ^{20°C} (G)	Hc (mOe)	relec (µΩ.cm)	I ^{ox} (mA)
Inv.	SV292-3	-	++	4960	46	84	4,3
Inv.	SV323-6	-	++	4400	15	84,5	1,6
Inv.	SV289-3	-	++	4470	18	88,5	3,9
Inv.	SV290-3	-	++	4580	19	86	4,3

	Com- posição	CBS	UM	Bs ^{20°C} (G)	Hc (mOe)	relec ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)	I ^{ox} (mA)
Inv.	SV296-1	-	++	4820	23	85	4,1
Inv.	SV306-4	0	++	4480	18	88	3,6
Inv.	SV289-4	-	++	4720	31	87	1,1
Inv.	SV304-3	-	++	4380	21	86,5	0,93

O exemplo da invenção SV323-6 apresenta uma manutenção à corrosão em meio aquoso muito melhorada e a sensibilidade do captador é excelente (HC = 15 mOe).

No exemplo SV306-4, o teor em níquel é baixado para cerca de 28 %, enquanto que as manutenções à corrosão, à corrosão sob nevoeiro salino, com oxidação em atmosfera quente e oxidante são todas excelentes, assim como a sensibilidade do captador (HC=18 mOe): isto é permitido graças a uma otimização das composições relativas em Ni, Cr, Cu, Mn e Si. O custo do captador pode ser ainda sensivelmente diminuído no exemplo SV289-4 com somente 26,5% Ni, graças a uma acentuada presença de cobre (5,6 %), permitindo conservar boas manutenções à corrosão e à oxidação, e uma sensibilidade muito boa do captador (Hc= 31 mOe).

Exemplo 6 - Motores e acionadores eletromagnéticos

Várias ligas foram elaboradas até a espessura final de 0,6 mm, a fim de caracterizar as propriedades de uso. As ligas são elaboradas a partir de matérias puras a 99,9 %, fundidas no forno com indução sob vácuo em um lingote de 50 kg. O lingote é forjado entre 1100 e 1300°C, depois laminado a quente até uma espessura de 2,5 mm, entre 1000 e 1200°C, depois decapado quimicamente. A cinta é, em seguida, laminada a frio sem recozimento intermediário, a partir da espessura de laminado a quente até a espessura de 0,6 mm, depois recortada em diferentes peças ou arruelas, para medidas antes do desengorduramento, depois de recozimento a 1100°C durante 3 horas sob H₂ purificado (ponto de orvalho <-70°C).

As composições testadas comportam os elementos mencionados na tabela seguinte, o complemento sendo o ferro e as impurezas inevitáveis.

Tabela 11 - Composição das composições de testes

	Composição	% de Ni	% de Cr	% de Cu	% de Mn	% de Si	%S (ppm)	%B (ppm)
Inv.	TD560-1	28	0,04	10	0,2	0,23	23	4
Inv.	TD560-3	30	0,04	10	0,2	0,26	32	0
Inv.	TD560-5	32	0,04	10	0,2	0,28	29	0
Inv.	TD560-7	34	0,04	10	0,2	0,23	27	0
Inv.	TD560-8	35	0,04	10	0,2	0,23	24	5
Inv.	TD561-3	28	2	10	0,2	0,26	28	0
Inv.	TD561-5	30	2	10	0,2	0,26	29	0
Inv.	TD561-7	32	2	10	0,2	0,23	31	7
Inv.	TD565-6	34	2	10	0,2	0,22	33	8
Comp.	SV292-4mod	29	0,5	0,9	0,3	0,24	16	5
Comp.	SV304-2mod	29,4	2	7	4,5	0,24	18	0

Realiza-se uma série de testes para determinar os valores de resistência à corrosão em nevoeiro salino, de resistência ao desgaste mecânico, de indução com saturação a 20°C, de campo coercitivo a 20°C, de resistividade elétrica a 20°C e de resistência à corrosão ácida.

5

Os resultados desses testes estão reunidos na tabela 12.

Vê-se que as propriedades de sensibilidade à corrosão sob nevoeiro salino e de manutenção ao desgaste mecânico da camada oxidada de superfície sempre são boas, contanto que os mínimos de Cr, Si e CU sejam respeitados.

10

Tabela 12 - resultados dos testes

	Composição	CBS	UM	Bs ^{20°C} (G)	He (mOe)	Br/Bm	μ_{max}^{cc}
Inv.	TD560-1	-	++	7950	70	0,17	6000
Inv.	TD560-3	-	++	10300	62	0,17	8500
Inv.	TD560-5	-	++	12300	55	0,17	11000
Inv.	TD560-7	-	++	13300	51	0,19	15000
Inv.	TD560-8	-	++	13700	NR	NR	16000
Inv.	TD561-3	-	++	7000	76	0,22	6000
Inv.	TD561-5	0	++	9200	72	0,22	8500
Inv.	TD561-7	0	++	10700	56	0,23	12500

	Composição	CBS	UM	Bs ^{20°C} (G)	He (mOe)	Br/Bm	$\mu_{\max}^{cc}$
Inv.	TD565-6	0	++	11800	46	0,30	20500
Comp.	SV292-4mod	-	++	<u>4800</u>	55	NR	NR
Comp.	SV304-2mod	0	++	<u>4080</u>	21	NR	NR

Numerosas ligas com composições variadas de 28 a 34 % de níquel permitem a obtenção de saturações magnéticas de 5000 a 12000 G, e resistividades elétricas de 80 a 90 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$, mantendo campos coercitivos baixos e manutenções à corrosão variadas segundo a necessidade precisa da aplicação.

Em contraexemplo a liga SV292-4mod não verifica a equação 2, o que se traduz por saturação muito baixa (4800G) ligada a uma % de Cu insuficiente face ao teor em níquel. Em um outro contraexemplo, a liga SV304-2mod não verifica a invenção, já que sua saturação é muito baixa (4080G ao invés do mínimo de 5000G), o que é devido ao seu elevado teor em manganês.

A liga TD560-8 apresenta 35% de Ni e uma elevada saturação. Mediu-se sua permeabilidade $\mu_{\max}$, segundo as direções 0°, 45° e 90° em relação à direção de laminação. Obtêm-se, respectivamente, 19000, 17200 e 17600, o que mostra que a liga é quase perfeitamente isótropa, graças à sucessão de laminação impulsional e de recozimento final à alta temperatura. Por essa propriedade, o fluxo magnético circulará, de forma isótropa e não privilegiará certas direções da chapa, origem frequente de flutuação de binário eletromagnético nas máquinas elétricas. As ligas, de acordo com a invenção, têm, portanto, também a propriedade, através das laminações a frio e recozimento apropriados, poder apresentar, se necessário, uma boa isotropia das propriedades magnéticas.

Observa-se também que as ligas, de acordo com a invenção, apresentam uma pequena remanência (retangularidade do ciclo de histerese $BR/BM < 0,3$), o que permite seja se desmagnetizar em grande parte naturalmente desde que a excitação é cortada (*desfluxagem* natural), seja não ser sensível aos campos parasitas perturbadores (campos superpostos, superintensidade muito forte e muito fugidia que satura o material durante muito pouco tempo). Anota-se, em particular que é vantajoso baixar a % de Níquel

e a % de cromo para diminuir a retangularidade BR/BM a valores muito baixos, tais como 0,17 sobre as ligas TD560-1, 3 e 5 contendo um mínimo de % de Cr, 28 a 32 % de Ni e 10 % de Cu.

Exemplo 7 - Estatores para motores de relojoaria

5 Várias ligas foram elaboradas até a espessura final de 0,6 mm, a fim de caracterizar as propriedades de uso. As ligas são elaboradas a partir de matérias puras a 99,9 %, fundidas no forno de indução sob vácuo em um lingote de 50 kg. O lingote é forjado entre 1100 e 1300°C, depois laminado a quente até uma espessura de 2,5 mm, entre 1000 e 1200°C, depois deca-

10 pado quimicamente. A cinta é em seguida laminada a frio, sem recozimento intermediário a partir da espessura de laminado a quente até a espessura de 0,6 mm, depois recortada em diferentes peças ou arruelas para medidas, antes do desengorduramento, depois recozimento a 1100°C, durante 3 horas sob H₂ purificado (ponto de orvalho <-70°C).

15 As composições testadas comportam os elementos mencionados na tabela seguinte, o complemento sendo o ferro e as impurezas inevitáveis.

Tabela 13 - Composição das composições de testes

	Composição	% de Ni	% de Cr	%Co	% de Cu	% de Mn	% de Si	%S	%B	%O+N
Inv.	TC767	31,7	8	0,01	2,97	0,32	0,2	19	0	59
Inv.	TD521mod	28	0,03	0	5,5	0,2	0,22	24	0	59
Inv.	SV302mod2	29,4	0,05	0	7	2	0,25	12	0	64
Inv.	SV292-5	29,2	0,5	0	2,8	0,3	0,23	17	0	58
Inv.	SV292-6	28,6	0,5	0	4,5	0,3	0,19	19	4	73
Inv.	SV298-4	28,9	0,97	0	3	0,2	0,11	36	8	59
Inv.	SV298-5	28,6	0,96	0	4	0,2	0,22	24	5	67
Inv.	SV296-4	28,2	1,9	0	3	0,2	0,24	9	7	58
Inv.	SV304-2	29,4	2	0	7	0,2	0,23	25	0	48
Inv.	SV316-6	32,2	1,89	0	6	0,2	0,19	24	0	59
Inv.	TD561-3	28	2	0	10	0,3	0,2	28	0	56
Comp.	SV306-6	27,4	3,8	0	6	0,28	0,2	25	8	84
Comp.	TC757	31,8	8,2	3,07	0,06	0,24	0,2	23	0	67
Comp.	SV298-1	29,4	1	0	0,5	0,43	0,2	27	5	61

	Composição	% de Ni	% de Cr	%Co	% de Cu	% de Mn	% de Si	%S	%B	%O+N
Comp.	SV288-2	29,5	1	0	1	0,32	0,3	25	7	48
Comp.	SV299-6	28,2	4,7	0	2,95	0,35	0,3	23	0	70
Comp.	SV301-1	30	0	0	<u>0,1</u>	0,32	0,2	24	0	75
Comp.	22 bis	30	0,1	0	0,2	3,5	0,17	15	5	58

O ponto de Curie é determinado por uma ida e volta do termomagnetômetro até uma temperatura de 800°C.

- Faz-se assim uma série de testes para determinar os valores de resistência à corrosão em nevoeiro salino, de resistência ao desgaste mecânico, de resistividade elétrica a 20°C, de ponto de Curie, o campo coercitivo a 20°C, de indução com saturação a 20°C e de indução com saturação a 60°C.

Os resultados desses testes estão reunidos na tabela 14.

Tabela 14 - resultados dos testes

	Composição	CBS	UM	Pel ($\mu\Omega.cm$)	Tc (°C)	Hc (mOe)	Bs ^{20°C} (G)	Bs ^{60°C} (G)
Inv.	TD521mod	-	++	85	156	48	7430	5500
Inv.	SV302mod2	-	++	83	154	44	7580	5700
Inv.	SV292-5	-	++	86,5	137	64	6700	4300
Inv.	SV292-6	-	++	86,5	154	70	7530	5600
Inv.	SV298-4	-	++	87,5	137	38	6810	4700
Inv.	SV298-5	-	++	87,5	144	46	7150	4900
Inv.	SV296-4	-	++	86,7	112	41	6310	4100
Inv.	SV304-2	0	++	85	111	32	6310	4150
Inv.	SV316-6	0	++	85	211	38	10810	9500
Inv.	TD561-3	0	++	82	131	76	7450	5200
Comp.	SV306-6	-	++	NR	<u>93</u>	NR	5060	NR
Comp.	TC757	0	+	NR	<u>95</u>	NR	5470	4630
Comp.	SV298-1	-	++	NR	<u>92</u>	NR	5030	NR
Comp.	SV288-2	-	++	NR	<u>98</u>	NR	5510	NR
Comp.	SV299-6	0	++	NR	<u>80</u>	NR	4520	NR
Comp.	SV301-1	--	++	NR	<u>76</u>	NR	4300	NR
Comp.	22 bis	-	++	83	<u>76</u>	22	4300	<u>2200</u>

Exemplo 8 - indutância e transformador para a eletrônica de potência.

Várias ligas foram elaboradas até a espessura final de 0,6 mm, a fim de caracterizar as propriedades de uso. As ligas são elaboradas a partir de matérias puras a 99,9 %, fundidas no forno de indução sob vácuo em um lingote de 50 kg. O lingote é forjado entre 1100 e 1300°C, depois laminado a quente até uma espessura de 2,5 mm, entre 100 e 1200°C, depois decapado quimicamente. A cinta é em seguida laminada a frio, a partir da espessura de laminado a quente até a espessura de 0,6 mm, depois recozida entre 800 e 1100°C, durante 1 hora, depois desengordurada, laminada a frio até a espessura de 0,05 mm,, cisalhada, revestida de um isolante mineral para evitar a colagem das **sires** no decorrer do recozimento e enrolada em toros de diâmetro 30 x 20 mm, altura 20 mm, depois recozimento a 1100°C/3horas sob H2 purificado (ponto de orvalho <-70°C).

As composições testadas comportam os elementos mencionados na tabela seguinte, o complemento sendo o ferro e as impurezas inevitáveis.

Tabela 15 - Composição das composições de testes

	Composição	% de Ni	% de Cr	% de Cu	% de Mn
Inv.	TD521-4	28	0,03	6	0,2
Inv.	SV287-1	31,8	0,04	0,5	0,3
Inv.	SV302mod-2	29,4	0,05	7	2
Inv.	SV292-6	28,6	0,5	4,5	0,3
Inv.	SV298-6	28,05	0,95	6	0,2
Inv.	15	33,78	1,02	0,13	0,18
Inv.	SV304-1	30	2	7	0,1
Inv.	SV313-6	29,3	1,89	6	0,2
Inv.	SV326-6	28,4	1,88	6	0,2
Inv.	TD561-4	29	2	10	0,3
Inv.	SV302mod-1	30	0,05	7	0,2
Inv.	SV315-3	32,5	1,97	2	0,2
Inv.	SV317-3	34,5	1,97	2	0,2
Inv.	SV314-6	30,3	1,89	6	0,2
Inv.	SV317-6	33,1	1,89	6	0,2

	Composição	% de Ni	% de Cr	% de Cu	% de Mn
Inv.	TD561-5	30	2	10	0,3
Comp.	SV301mod-1	30	0,05	<u>0,15</u>	0,2
Comp.	SV292-1	29,9	0,5	<u>0,12</u>	0,3
Comp.	TC768	30	2	3	0,3

Faz-se uma série de testes para determinar os valores de indução com saturação a 20°C, de ponto de Curie, de campo coercitivo a 20°C, de resistividade elétrica a 20°C e de resistência à corrosão ácida.

Os resultados desses testes estão reunidos na tabela 16.

5 Tabela 16 - Resultados dos testes

	Composição	Bs ^{20°C} (G)	Tc (°C)	Hc (mOe)	ρ_{el} ($\mu\Omega.cm$)	I ^{ox} (mA)
Inv.	TD521-4	8030	156	71	84,5	2,1
Inv.	SV287-1	8420	152	41	83	4,5
Inv.	SV302mod-2	7580	154	44	84	4,6
Inv.	SV292-6	7530	154	70	87	3,9
Inv.	SV298-6	7590	153	57	85,5	2,4
Inv.	15	8150	159	42,5	81	2,5
Inv.	SV304-1	8530	163	48	85	0,85
Inv.	SV313-6	8320	161	33	86,5	1,2
Inv.	SV326-6	8490	168	55	86,5	2,9
Inv.	TD561-4	8490	178	75	80,5	0,9
Inv.	SV302mod-1	9820	199	75	85	4,5
Inv.	SV315-3	9520	174	39	87	1,3
Inv.	SV317-3	11360	205	38,5	85	1,3
Inv.	SV314-6	9190	183	34	86	1,2
Inv.	SV317-6	11470	229	36	84,5	1,2
Inv.	TD561-5	9370	178	70	81	0,9
Comp.	SV301mod-1	<u>4300</u>	<u>86</u>	23	81	4,5
Comp.	SV292-1	<u>4490</u>	<u>90</u>	36	81,5	4,4
Comp.	TC768	<u>7380</u>	<u>118</u>	41	88,6	1,3

Vê-se que todas as ligas, de acordo com a invenção, têm pelo menos 80 $\mu\Omega.cm$ de resistividade elétrica a 20°C e um campo coercitivo de menos de 75 mOe, e, em geral, de menos de 41 mOe a 20°C: esses de-

sempenhos associados a uma espessura estreita e um bom isolamento interrespira garantem pequenas perdas magnéticas, tanto mais admissível nesses núcleos magnéticos de componentes magnéticos passivos quanto sua boa condução térmica permite extrair facilmente essas perdas magnéticas.

- 5 Vê-se nos contraexemplos SV301mod-1, SV292-1 e TC768 que a balança entre % de Ni e % de Cu deve ser bem assegurada para que a saturação seja suficiente, isto é, para que o dimensionamento do circuito magnético leve a um volume suficientemente interessante face as ferritas.

Exemplo 9 - Bilâminas

- 10 Várias ligas foram elaboradas até a espessura final de 0,6 mm, a fim de caracterizar as propriedades de uso. As ligas são elaboradas a partir de matérias puras a 99,9 %, fundidas no forno de indução sob vácuo em um lingote de 50 kg. O lingote é forjado entre 1100 e 1300°C, depois laminado a quente até uma espessura de 2,5 mm, entre 1000 e 1200°C, depois decapado
- 15 quimicamente. A cinta é, em seguida, laminada a frio até a espessura de 0,6 mm, depois recozida entre 800 e 1100°C durante 1 hora, depois desengordurada, recortada em diferentes peças ou arruelas para medidas, depois recozido a 1100°C, durante 3 horas sob H₂ purificado (ponto de orvalho <-70°C).

- 20 As composições testadas comportam os elementos mencionados na tabela seguinte, o complemento sendo o ferro e as impurezas inevitáveis.

Tabela 17 - Composição das composições de testes

	Composição	% de Ni	% de Cr	% de Cu	% de Mn
Inv.	SV285mod-3	32	0,04	2	0,3
Inv.	SV285mod-5	32	0,04	4	0,3
Inv.	SV287-5	31	0,04	3,7	0,2
Inv.	SV316-6	32	1,89	6	0,2
Inv.	TD561-6	31	2	10	0,3
Inv.	TD561-8	33	2	10	0,3
Comp.	Invar	36	0	0	0,2
Comp.	N42	42	0	0	0,2
Comp.	SV285mod-1	32	0,04	0,53	0,3
Comp.	SV285mod-7	32	0,04	0,01	0,3

	Composição	% de Ni	% de Cr	% de Cu	% de Mn
Comp.	SV287-1	32	0,04	0,5	0,2
Comp.	TD521-1	<u>28</u>	0,03	0,12	0,2
Comp.	TD521-4	<u>28</u>	0,03	6	0,2

Faz-se uma série de testes para determinar os valores de resistência à corrosão em nevoeiro salino, de resistência ao desgaste mecânico, de ponto de Curie, de resistividade elétrica a 20°C, de coeficiente de dilatação entre 20 e 200°C e entre 20 e 300°C.

5 Os resultados desses testes estão reunidos na tabela 18.

Tabela 18 - Resultados dos testes

	Composição	CBS	UM	T _c (°C)	ρ el ($\mu\Omega$.cm)	α_{20-100} ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	α_{20-300} ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
Inv.	SV285mod-3	-	++	211	85	3,1	8,7
Inv.	SV285mod-5	-	++	229	85,8	2,7	6,9
Inv.	SV287-5	-	++	198	86,5	4,1	9,4
Inv.	SV316-6	0	++	211	85	4,8	8,3
Inv.	TD561-6	0	++	204	80,1	5,1	8,5
Inv.	TD561-8	0	++	247	78,7	5,6	7,4
Comp.	Invar	--	++	250	75	1,5	6
Comp.	N42	--	++	330	63	4	4,3
Comp.	SV285mod-1	-	++	205	84	4,2	10,1
Comp.	SV285mod-7	-	++	185	83,5	4,9	<u>10,7</u>
Comp.	SV287-1	-	++	<u>152</u>	83	5,3	<u>10,9</u>
Comp.	TD521-1	-	++	<u>-10</u>	82	<u>16,8</u>	<u>18,5</u>
Comp.	TD521-4	-	++	<u>156</u>	84,5	<u>9,6</u>	<u>11,9</u>

Exemplo 10 - Núcleos de bobinas de motores de relojoaria e relés eletromagnético de elevada sensibilidade.

10 Várias ligas foram elaboradas até a espessura final de 0,6 mm, a fim de caracterizar as propriedades de desgaste. As ligas são elaboradas a partir de matérias puras a 99,9 %, fundidos no forno de indução sob vácuo em um lingote de 50 kg. O lingote é forjado entre 1100 e 1300°C, depois laminado a quente até uma espessura de 2,5 mm, entre 1000 e 1200°C, depois decapado quimicamente. A cinta é em seguida laminada a frio sem re-

cozimento intermediário, a partir da espessura de laminado a quente até a espessura de 0,6 mm, depois recortada em diferentes peças ou arruelas para medidas antes do desengorduramento, depois recozimento a 1100°C durante 3 horas sob H₂ purificado (ponto de orvalho <-70°C).

- 5 As composições testadas comportam os elementos mencionados na tabela seguinte, o complemento sendo o ferro e as impurezas inevitáveis.

Tabela 19 - Composição das composições de testes

	Composição	% de Ni	% de Cr	% de Cu	% de Mn	% de Si
Inv.	SV285-3	31,8	0,04	2	0,3	0,21
Inv.	SV287-6	30,2	0,04	5,5	0,3	0,23
Inv.	SV315-5	31,9	1,93	4	0,2	0,26
Inv.	SV315-6	31,2	1,89	6	0,2	0,26
Inv.	TD561-6	31	2	10	0,3	0,24
Inv.	SV288-1	35,8	0,05	0,5	0,3	0,23
Inv.	SV288-4	34,9	0,05	2,9	0,3	0,26
Inv.	SV288-6	34	0,05	5,6	0,3	0,25
Inv.	SV285mod-4	32,45	0,04	3	0,3	0,35
Inv.	SV285mod-6	32,45	0,04	6	0,3	0,38
Inv.	SV316-3	33,5	1,97	2	0,2	0,33
Inv.	SV316-5	33,2	1,93	4	0,2	0,37
Inv.	SV317-2	34,8	1,99	1	0,2	0,35
Inv.	SV317-4	34,1	1,95	3	0,2	0,36
Inv.	SV316-6	32,2	1,89	6	0,2	0,35
Inv.	TD561-8	33	2	10	0,3	0,34
Inv.	SV288-5	34,6	0,05	3,8	0,21	0,23
Inv.	SV288-6	34	0,05	5,6	0,23	0,43
Inv.	SV560-6	33	0,1	10	0,2	0,35
Inv.	SV560-9	35,95	0,05	10	0,2	0,19
Inv.	SV316-1	34	2	0,5	0,2	0,32
Comp.	TC661	33,8	5	2	0,15	0,22

- 10 Faz-se uma série de testes para determinar os valores de resistência à corrosão em nevoeiro salino, de resistência ao desgaste mecânico, de resistividade elétrica a 20°C, de ponto de Curie, de indução com saturação a 20°C, de campo coercitivo a 20°C e de resistência à corrosão ácida.

Os resultados desses testes estão reunidos na tabela 20.

Vê-se que se pode conseguir uma saturação de 10000 G a 20°C com somente 30 % Ni, e uma saturação de 13000G a 20°C com somente 34 % de Ni.

- 5 Esses desempenhos são inteiramente interessantes e inovadores, além das propriedades de boa manutenção à corrosão e ao desgaste mecânico da camada oxidada.

Tabela 20 - Resultados dos testes

	Composição	CBS	UM	r_{elec} ($\mu\Omega$. cm)	Tc (°C)	Bs ^{20°C} (G)	He (mOe)	I _{ox} (mA)
Inv.	SV285-3	-	++	85	198	10050	53	4,4
Inv.	SV287-6	-	++	84,5	202	10010	72	3,95
Inv.	SV315-5	0	++	88	189	10020	42	1,1
Inv.	SV315-6	0	++	85,5	197	10050	43	1,2
Inv.	TD561-6	0	++	80	204	10090	65	0,8
Inv.	SV288-1	-	++	65	NR	13230	88	4,1
Inv.	SV288-4	-	++	75	NR	13430	71	3,3
Inv.	SV288-6	-	++	79	NR	13430	67	3,7
Inv.	SV285mod-4	-	++	86,5	218	12030	74	4,03
Inv.	SV285mod-6	-	++	83	238	12410	91	3,9
Inv.	SV316-3	-	++	83	198	10460	37	1,3
Inv.	SV316-5	0	++	88	201	10790	40	1,1
Inv.	SV317-2	0	++	76	204	11140	35,5	1,5
Inv.	SV317-4	0	++	84	205	11460	36,5	1,3
Inv.	SV316-6	0	++	85	211	10810	38	1,2
Inv.	TD561-8	0	++	78	247	11350	56	0,8
Inv.	SV288-5	-	++	72	NR	13420	72	3,2
Inv.	SV288-6	-	++	73	NR	13430	67	2,9
Inv.	SV560-6	-	++	70,5	NR	13100	59	3,3
Inv.	SV560-9	-	++	60,1	NR	14070	77	1,6
Inv.	SV316-1	-	++	83	191	10060	41	1,5
Comp.	TC661	0	++	88	174	<u>9000</u>	49	0,5

Exemplo 11 - Dispositivos de medida de temperatura e de marcação de ul-

trapassagem de temperatura, sem contato.

Várias ligas foram elaboradas até a espessura final de 0,6 mm, a fim de caracterizar as propriedades de uso. As ligas são elaboradas a partir de matérias puras a 99,9 %, fundidas no forno de indução sob vácuo em um lingote de 50 kg. O lingote é forjado entre 1100 e 1300°C, depois laminado a quente até uma espessura de 2,5 mm, entre 1000 e 1200°C, depois decapado quimicamente. A cinta é, em seguida, laminada a frio, a partir da espessura de laminado a quente até a espessura de 0,6 mm, depois recozida entre 800 e 1100°C durante 1 hora, depois desengordurada, recortada em diferentes peças ou arruelas para medidas (ver anteriormente os diferentes tipos de caracterização utilizados), depois de recozimento a 1100°C durante 3 horas sob H2 purificado (ponto de orvalho <-70°C).

As composições testadas comportam os elementos mencionados na tabela seguinte, o complemento sendo o ferro e as impurezas inevitáveis.

Tabela 21 - Composição das composições de testes

	Composição	% de Ni	% de Cr	% de Cu	% de Mn	% de Si
Inv.	AA	26,33	4	0,12	0,2	0,17
Inv.	AB	26,5	6	0,15	0,2	0,18
Inv.	SV297-1	26,9	1,9	1	0,2	0,34
Inv.	SV289-1	27,9	2	0,97	0,3	0,16
Inv.	SV300-2	27,9	4	1	0,2	0,31
Inv.	SV300-1	28	4	0,5	0,2	0,23
Inv.	SV305-1	28	6	0,5	0,2	0,18
Inv.	AC	28	0,03	0,12	0,2	0,21
Inv.	SV306-3	28,7	3,9	2	0,2	0,16
Inv.	AD	29	0,03	0,15	0,2	0,31
Inv.	SV287-1	31,8	0,04	0,5	0,3	0,17
Inv.	SV323-5	32	1,92	0,6	3,84	0,18
Inv.	SV285mod-3	32,45	0,04	2	0,3	0,15
Comp.	AE	27	0,03	<u>0,14</u>	0,2	0,23

Faz-se uma série de testes para determinar os valores de resis-

tência à corrosão em nevoeiro salino, de resistência ao desgaste mecânico, de indução com saturação a 20°C, de ponto de Curie, de campo coercitivo a 20°C e de resistência à corrosão ácida.

Os resultados desses testes estão reunidos na tabela 22.

5 **Tabela 22 - Resultados dos testes**

	Composição	CBS	UM	Bs ^{20°C} (G)	Tc (°C)	He (mOe)	I ^{ox} (mA)
Inv.	AA	-	++	0	-50	NR	3,7
Inv.	AB	-	++	0	-50	NR	3,1
Inv.	SV297-1	-	++	1530	24	21,3	2,6
Inv.	SV289-1	-	++	2540	43	NR	NR
Inv.	SV300-2	-	++	1970	37	27,5	1,9
Inv.	SV300-1	-	++	1570	24	18,8	1,7
Inv.	SV305-1	-	++	1140	18	13,8	1,4
Inv.	AC	-	++	0	-10	NR	4,7
Inv.	SV306-3	-	++	3840	70	NR	NR
Inv.	AD	-	++	1650	25	17,5	4,5
Inv.	SV287-1	-	++	8420	152	NR	NR
Inv.	SV323-5	-	++	3620	56	NR	NR
Inv.	SV285mod-3	-	++	11060	211	NR	NR
Comp.	AE	-	++	3700	-50	<u>350</u>	4,9

Nota-se que o contraexemplo não verifica a equação 1, o que significa que a liga não é totalmente austenítica. O caráter não austenítico da liga não permite atingir os valores de campo coercitivo requeridos.

Exemplo 12 - Substratos hipertexturados por epitaxia

- 10 Várias ligas foram elaboradas até a espessura final de 0,1 mm a fim de caracterizar suas propriedades de uso. As ligas são elaboradas a partir de matérias puras a 99,9 %, fundidas no forno de indução sob vácuo em um lingote de 50 kg. O lingote é forjado entre 1100 e 1300°C, depois laminado a quente até uma espessura de 5 mm, entre 1000 e 1200°C, depois
- 15 decapado quimicamente. A cinta é em seguida laminada a frio, até a espessura de 0,1 mm, sem recozimento intermediário, depois polida mecanicamente com feutro de polimento abrasivo até um grão de polimento muito fino

da ordem do μ . O metal é em seguida recozido entre 800 e 1100 durante 1 hora, depois recortado em diferentes peças para medidas de figuras de pólos por RX para avaliar o tipo e a intensidade da textura obtida.

- 5 As composições testadas comportam os elementos mencionados na tabela seguinte, o complemento sendo o ferro e as impurezas inevitáveis.

Tabela 23 - Composição das composições de testes

	Composição	% de Ni	% de Cr	% de Cu	% de Mn	% de Si	%S+ Se+Sb	%Ti+Al
Inv.	TC659	33,5	4,9	0,15	0,13	0,025	5	13ppm
Inv.	TD544-4	31	0,5	3	0,23	0,21	7	11ppm
Comp.	Fe-50% de Ni	48	0,06	<u>0,03</u>	0,35	0,03	23	15ppm

- 10 Faz-se uma série de testes para determinar os valores de resistência à corrosão em nevoeiro salino, de resistência ao desgaste mecânico, de ponto de Curie, de resistência à corrosão ácida, de dilatabilidade entre 20 e 300°C, de taxa de macla e de desorientação mediana de textura.

Os resultados desses testes estão reunidos na tabela 24.

Tabela 24 - Resultados dos testes

	Composição	Ecrouis sage (%)	CBS	UM	Tc (°C)	I_{ox}^{max} (mA)	α_{20-300} ($10^{-6}/^{\circ}C$)	Taux de macle (%)	$\omega(^{\circ})$
Inv.	TC659	98	0	++	149	1,5	16,5	5	8
Inv.	TD544-4	92	0	++	175	3,6	9,8	8	9
Comp.	Fe-Ni 50	96	-	++	450	4,2	9	3	7

- 15 Vê-se que as ligas, de acordo com a invenção, apresentam uma forte aptidão à texturação cúbica $\{100\} \langle 001 \rangle$ com uma baixa taxa de macla (<10 %) e uma pequena desorientação mediana de textura ω (<10 °), uma grande manutenção ao desgaste mecânico da camada oxidada sob atmosfera degradada de funcionamento ou de recozimento, graças à adjunção de teores mínimos de Cr, de Si e de Cu, e dilatabilidades variáveis em uma ampla faixa, permitindo responder a maior parte das necessidades de dilatação
- 20 dos depósitos sobre substrato para epitaxia.

REIVINDICAÇÕES

1. Liga austenítica ferro-níquel-cromo- cobre, cuja composição compreende em % em peso:

- 5 $24 \% \leq \text{Ni} \leq 36\%$
 $\text{Cr} \geq 0,02 \%$
 $\text{Cu} \geq 0,1 \%$
 $\text{Cu} + \text{Co} \leq 15 \%$
 $0,01 \leq \text{Mn} \leq 6 \%$
 $0,02 \leq \text{Si} \leq 2 \%$
10 $0 \leq \text{C} \leq 2 \%$
 $0 \leq \text{V} + \text{W} \leq 6 \%$
 $0 \leq \text{Nb} + \text{Zr} \leq 0,5 \%$
 $0 \leq \text{Mo} \leq 8$
 $\text{Sn} \leq 1$
15 $0 \leq \text{B} \leq 0,006 \%$
 $0 \leq \text{S} + \text{Se} + \text{Sb} \leq 0,008 \%$
 $0 \leq \text{Ca} + \text{Mg} \leq 0,020 \%$

o resto sendo ferro e impurezas resultantes da elaboração, as percentagens em níquel, cromo, cobre, cobalto sendo tais que a liga satisfaz, além disso,
20 as seguintes condições:

- $\text{Co} < \text{Cu}$
 $\text{Co} < 4 \%$ se $\text{Cr} > 7,5 \%$
 $\text{Eq1} > 28 \%$ com $\text{Eq1} = \text{Ni} + 1,2\text{Cr} + (\text{Cu}/5)$
 $\text{Cr} < 7,5 \%$, se $\text{Ni} > 32,5 \%$,

25 e o teor em manganês respeitando, além disso, as seguintes condições:

- se $\text{Eq3} \geq 205$ $\text{Mn} \leq \text{Ni} - 27,5 + \text{Cu} - \text{Cr}$
 - se $180,5 \leq \text{Eq3} \leq 205$, $\text{Mn} \leq 4\%$
 - se $\text{Eq3} \leq 180,5$, $\text{Mn} \leq 2\%$
- com $\text{Eq3} = 6\text{Ni} - 2,5\text{X} + 4 (\text{Cu} + \text{Co})$ e $\text{X} = \text{Cr} + \text{Mo} + \text{V} + \text{W} + \text{Si} + \text{Al}$

30 2. Liga, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de as percentagens em níquel, cromo, cobre, cobalto, molibdênio, manganês, vanádio, tungstênio, silício e alumínio serem tais que a liga satisfaz,

além disso, as seguintes condições:

$$0,02 \leq \text{Mn}$$

$$\text{Eq2} \geq 0,95 \text{ com } \text{Eq2} = (\text{Ni}-24)[0,18 + 0,08 (\text{Cu} + \text{Co})] \text{ e}$$

$$\text{Eq3} \geq 161$$

$$5 \quad \text{Eq4} \leq 10 \text{ com } \text{Eq4} = \text{Cr} - 1,125 (\text{Cu} + \text{Co}) \text{ e}$$

$$\text{Eq5} \leq 13,6 \text{ com } \text{Eq5} = \text{Cr} - 0,227 (\text{Cu} + \text{Co}) \text{ e}$$

$$\text{Eq6} \geq 150 \text{ com } \text{Eq6} = 6\text{Ni} - 2,5\text{X} + 1,3(\text{Co} + \text{Cu}) \text{ e}$$

$$\text{Eq7} \geq 150 \text{ com } \text{Eq7} = 6\text{Ni} - 5\text{Cr} + 4\text{Cu}$$

3. Utilização de uma liga, de acordo com a reivindicação 2, para
10 a fabricação de dispositivos eletromagnéticos de autorregulagem de temperatura.

4. Dispositivo eletromagnético de autorregulagem de temperatura, compreendendo uma liga, como definida na reivindicação 2.

5. Liga, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato
15 de:

$$\text{Ni} \leq 29 \%$$

$$\text{Co} \leq 2 \%$$

$$0,02 \leq \text{Mn} \leq 2 \%$$

$$\text{Eq2} \geq 0,95 \text{ com } \text{Eq2} = (\text{Ni} - 24) [0,18 + 0,08 (\text{Cu} + \text{Co})]$$

$$20 \quad \text{Eq3} \geq 161$$

$$\text{Eq4} \leq 10 \text{ com } \text{Eq4} = \text{Cr} - 1,125 (\text{Cu} + \text{Co})$$

$$\text{Eq5} \leq 13,6 \text{ com } \text{Eq5} = \text{Cr} - 0,227 (\text{Cu} + \text{Co})$$

$$\text{Eq6} \geq 150 \text{ com } \text{Eq6} = 6\text{Ni} - 2,5\text{X} + 1,3(\text{Co} + \text{Cu})$$

$$\text{Eq7} \geq 160$$

6. Utilização de uma liga, como definida na reivindicação 5, para
25 a fabricação de dispositivos de autorregulagem de fluxo magnético.

7. Dispositivo de autorregulagem de fluxo magnético, compreendendo uma liga, como definida na reivindicação 5.

8. Liga, de acordo com a reivindicação 2, caracterizada pelo fato
30 de, além disso:

$$\text{Ni} \leq 35 \%$$

$$\text{C} \leq 0,5 \%$$

$$Eq2 \geq 1$$

$$Eq3 \geq 170$$

$$Eq6 \geq 159$$

$$Eq7 \geq 160$$

5 9. Utilização de uma liga, como definida na reivindicação 8, para a fabricação de dispositivos de dilatação controlada.

10. Dispositivo de dilatação controlada, compreendendo uma liga, de acordo com a reivindicação 8.

11. Liga, de acordo com a reivindicação 2, caracterizada pelo
10 fato de:

$$Cu \geq 10 \%$$

$$C \leq 0,1 \%$$

$$Eq2 \geq 1$$

$$Eq3 \geq 170$$

15 $Eq6 \geq 159$

$$Eq7 \geq 160$$

12. Utilização de uma liga, como definida na reivindicação 11, para a fabricação de captadores de correntes, de transformadores de medida ou de captadores magneto-harmônicos.

20 13. Captadores de correntes, transformadores de medida ou captador magneto-harmônico, compreendendo uma liga, como definida na reivindicação 11.

14. Liga, de acordo com a reivindicação 2, caracterizada pelo fato de, além disso:

25 $0,05 \% \leq Mn \leq 2 \%$

$$C \leq 0,1$$

$$Eq2 \geq 1,5$$

$$Eq3 \leq 7 \text{ se } Ni \leq 32,5$$

$$Eq5 \leq 10,6 \text{ se } Ni \leq 32,5$$

30 $Eq6 \geq 164$

$$Eq7 \geq 160$$

15. Utilização de uma liga, de acordo com a reivindicação 14,

para a fabricação de motores e acionadores eletromagnéticos.

16. Motor e acionador eletromagnético, compreendendo uma liga, como definida na reivindicação 14.

17. Liga, de acordo com a reivindicação 14, caracterizada pelo
5 fato de, além disso:

$$\text{Co} \leq 1,8\%$$

$$\text{O} + \text{N} \leq 0,01 \%$$

a liga satisfazendo, além disso, pelo menos uma das seguintes relações:

$$0,0002 \leq \text{B} \leq 0,002 \%$$

$$0,0008 \leq \text{S} + \text{Se} + \text{Sb} \leq 0,004 \%$$

$$0,001 \leq \text{Ca} + \text{Mg} \leq 0,015 \%$$

18. Utilização de uma liga, como definida na reivindicação 17, para a fabricação de estatores para motores de relojoaria.

19. Estator para motor de relojoaria, compreendendo uma liga,
15 como definida na reivindicação 17.

20. Liga, de acordo com a reivindicação 11, caracterizada pelo fato de:

$$\text{EQ2} \geq 1,5 \%$$

$$\text{EQ3} \geq 189$$

$$\text{Eq4} \leq 4, \text{ se } \text{Ni} \leq 32,5 \text{ ou } \text{Eq4} \leq 7, \text{ se } \text{Ni} \geq 32,5$$

$$\text{Eq5} \leq 4, \text{ se } \text{Ni} \leq 32,5 \text{ ou } \text{Eq5} \leq 7, \text{ se } \text{Ni} \geq 32,5$$

$$\text{Eq6} \geq 173$$

$$\text{Eq7} \geq 185.$$

21. Utilização de uma liga, como definida na reivindicação 20,
25 para a fabricação de indutâncias ou de transformadores para a eletrônica de potência.

22. Indutância ou transformador para a eletrônica de potência, compreendendo uma liga, como definida na reivindicação 20.

23. Liga, de acordo com a reivindicação 2, caracterizada pelo
30 fato de, além disso:

$$\text{Ni} \leq 1 \%$$

$$\text{C} \leq 2 \%$$

$$Eq2 \geq 1,5$$

$$Eq3 \geq 189$$

$$Eq4 \leq 4, \text{ se } Ni \leq 32,5 \text{ ou } Eq4 \leq 7, \text{ se } Ni \geq 32,5$$

$$Eq5 \leq 4, \text{ se } Ni \leq 32,5 \text{ ou } Eq5 \leq 7, \text{ se } Ni \geq 32,5$$

$$5 \quad Eq6 \geq 173$$

$$Eq7 \geq 185$$

$$Eq8 \geq 33 \text{ com } Eq8 = Ni + Cu - 1,5 Cr$$

24. Utilização de uma liga, como definida na reivindicação 23, para a fabricação de bilâminas.

10 25. Bilâmina, compreendendo uma liga, como definida na reivindicação 23.

26. Liga, de acordo com a reivindicação 14, caracterizada pelo fato de, além disso:

$$Eq2 \geq 2$$

$$15 \quad Eq3 \geq 195$$

$$Eq4 \leq 2, \text{ se } Ni \leq 32,5 \text{ ou } Eq4 \leq 6, \text{ se } Ni \geq 32,5$$

$$Eq5 \leq 2, \text{ se } Ni \leq 32,5 \text{ ou } Eq5 \leq 6, \text{ se } Ni \geq 32,5$$

$$Eq6 \geq 180$$

$$Eq7 \geq 190$$

20 27. Liga, de acordo com a reivindicação 26, caracterizada pelo fato de, além disso:

$$Eq9 > 13000 \text{ com } Eq9 = 1100 (ni + Co/3 + Cu/3) - 1200Cr - 26000$$

25 28. Utilização de uma liga, como definida em uma das reivindicações 26 ou 27, para a fabricação de núcleos de bobinas de motores de relógio ou de relés eletromagnéticos de alta sensibilidade.

29. Núcleo de bobina de motor de relógio ou relé eletromagnético de elevada sensibilidade, compreendendo uma liga, como definida em uma das reivindicações 26 ou 27.

30 30. Liga, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de, além disso:

$$Cu \leq 10 \%$$

$$0,02 \leq Mn$$

$$C \leq 1\%$$

$$Eq2 \geq 0,4 \text{ com } Eq2 = (Ni-24)[0,18 + 0,08 (Cu + Co)]$$

$$Eq3 \geq 140$$

$$Eq4 \leq 10 \text{ com } Eq4 = Cr - 1,125 (Cu + Co)$$

$$5 \quad Eq5 \leq 13,6 \text{ com } Eq5 = Cr - 0,227 (Cu + Co)$$

$$Eq6 \geq 140 \text{ com } Eq6 = 6Ni - 2,5X + 1,3(Co + Cu)$$

$$Eq7 \geq 125 \text{ com } Eq7 = 6Ni - 5Cr + 4Cu$$

31. Utilização de uma liga, como definida na reivindicação 30, para a fabricação de dispositivos de medida de temperatura ou de marcação de ultrapassagem de temperatura, sem contato.

32. Dispositivo de medida de temperatura ou de marcação de ultrapassagem de temperatura, sem contato, compreendendo uma liga, como definida na reivindicação 30.

33. Liga, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de, além disso:

$$Mn \leq 2 \%$$

$$Si \leq 1\%$$

$$Cu \leq 10 \%$$

$$Cr + Mo \leq 18 \%$$

$$20 \quad C \leq 0,1$$

$$Ti + Al \leq 0,5 \%$$

a liga satisfazendo, além disso, uma das seguintes relações:

$$0,0003 \leq B \leq 0,004 \%$$

$$0,0003 \leq S + Se + Sb \leq 0,008 \%$$

25 34. Liga, de acordo com a reivindicação 33, caracterizada pelo fato de, além disso:

$$0,003 \leq Nb + Zr \leq 0,5 \%$$

35. Utilização de uma liga, como definida em uma das reivindicações 33 ou 34, para a fabricação de substratos hipertexturados para epitaxia.

36. Substrato hipertexturados para epitaxi, compreendendo uma liga, como definida em uma das reivindicações 33 ou 34.

RESUMO

Patente de Invenção: "LIGA AUSTENÍTICA FERRO-NÍQUEL-CROMO-COBRE".

A invenção refere-se a uma liga austenítica ferro-níquel-cromo-cobre, cuja composição compreende em % em peso: $24 \% \leq \text{Ni} \leq 36\%$; $\text{Cr} \geq 0,02 \%$; $\text{Cu} \geq 0,1 \%$; $\text{Cu} + \text{Co} \leq 15 \%$; $0,01 \leq \text{Mn} \leq 6 \%$; $0,02 \leq \text{Si} \leq 2 \%$; $0 \leq \text{Al} + \text{Ti} \leq 3 \%$; $0 \leq \text{C} \leq 2 \%$; $0 \leq \text{V} + \text{W} \leq 6 \%$; $0 \leq \text{Nb} + \text{Zr} \leq 0,5 \%$; $0 \leq \text{Mo} \leq 8$; $\text{Sn} \leq 1$; $0 \leq \text{B} \leq 0,006 \%$; $0 \leq \text{S} + \text{Se} + \text{Sb} \leq 0,008 \%$; $0 \leq \text{Ca} + \text{Mg} \leq 0,020 \%$; o resto sendo ferro e impurezas resultantes da elaboração, as percentagens em níquel, cromo, cobre, cobalto sendo tais que a liga satisfaz, além disso, as seguintes condições: $\text{Co} < \text{Cu}$; $\text{Co} < 4 \%$ se $\text{Cr} > 7,5 \%$; $\text{Eq1} > 28 \%$ com $\text{Eq1} = \text{Ni} + 1,2\text{Cr} + (\text{Cu}/5)$; $\text{Cr} < 7,5 \%$, se $\text{Ni} > 32,5 \%$, e o teor em manganês respeitando, além disso, as seguintes condições: se $\text{Eq3} \geq 205$, $\text{Mn} \leq \text{Ni} - 27,5 + \text{Cu} - \text{Cr}$; se $180,5 \leq \text{Eq3} \leq 205$, $\text{Mn} \leq 4\%$; se $\text{Eq3} \leq 180,5$, $\text{Mn} \leq 2\%$ com $\text{Eq3} = 6\text{Ni} - 2,5\text{X} + 4(\text{Cu} + \text{Co})$ e $\text{X} = \text{Cr} + \text{Mo} + \text{V} + \text{W} + \text{Si} + \text{Al}$.