

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 802 478**

51 Int. Cl.:

B22D 11/06 (2006.01)

B22D 11/00 (2006.01)

H01F 1/153 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.08.2011 PCT/US2011/049841**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.03.2012 WO12033682**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.08.2011 E 11823976 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.04.2020 EP 2614509**

54 Título: **Cinta de aleación amorfa ferromagnética con salientes superficiales reducidos, método de colado y aplicación de los mismos**

30 Prioridad:

09.09.2010 US 923224

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

19.01.2021

73 Titular/es:

METGLAS, INC. (50.0%)

440 Allied Drive

Conway, SC 29526, US y

HITACHI METALS, LTD. (50.0%)

72 Inventor/es:

THEISEN, ERIC A.;

PEROZZI, JAMES;

OGAWA, YUICHI;

MATSUMOTO, YUJI;

AZUMA, DAICHI y

HASEGAWA, RYUSUKE

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 802 478 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Cinta de aleación amorfa ferromagnética con salientes superficiales reducidos, método de colado y aplicación de los mismos

5

ANTECEDENTES

1. Campo

10 La presente invención se refiere a una cinta de aleación amorfa ferromagnética para su uso en núcleos de transformador, máquinas rotatorias, estáteres eléctricos, sensores magnéticos y dispositivos de potencia de impulsos y a un método de fabricación de la cinta.

2. Descripción de la técnica relacionada

15

La cinta de aleación amorfa a base de hierro presenta propiedades magnéticas blandas excelentes, que incluyen una baja pérdida magnética bajo excitación por CA, encontrando su aplicación en dispositivos magnéticos eficientes desde el punto de vista energético tales como transformadores, motores, generadores, dispositivos de gestión energética, incluyendo generadores de potencia de impulsos y sensores magnéticos. En estos dispositivos se prefieren materiales ferromagnéticos con altas inducciones de saturación y alta estabilidad térmica. Además, la facilidad de la capacidad de fabricación de los materiales y sus costes de materia prima son factores importantes en el uso industrial a gran escala. Las aleaciones a base de Fe-B-Si amorfas cumplen estos requisitos. Sin embargo, las inducciones de saturación de estas aleaciones amorfas son menores que las de aceros al silicio cristalino usados convencionalmente en dispositivos tales como transformadores, dando como resultado tamaños algo mayores de los dispositivos a base de aleaciones amorfas. Por tanto, se han hecho esfuerzos para desarrollar aleaciones ferromagnéticas amorfas con inducciones de saturación mayores. Un enfoque es aumentar el contenido de hierro en las aleaciones amorfas a base de Fe. Sin embargo, esto no está claro, ya que la estabilidad térmica de las aleaciones se degrada a medida que aumenta el contenido de Fe. Para mitigar este problema se han añadido elementos tales como Sn, S, C y P. Por ejemplo, la patente estadounidense n.º 5.456.770 (la patente '770) enseña aleaciones de Fe-Si-B-C-Sn amorfas, en las que la adición de Sn aumenta la conformabilidad de las aleaciones y sus inducciones de saturación. En la patente estadounidense n.º 6.416.879 (la patente '879) se enseña que la adición de P en una sistema de Fe-Si-B-C-P amorfo aumenta las inducciones de saturación con un contenido de Fe aumentado. Sin embargo, la adición de elementos tales como Sn, S y C en las aleaciones amorfas a base de Fe-Si-B reduce la ductilidad de la cinta colada, haciendo que sea difícil fabricar una cinta ancha, y la adición de P en las aleaciones a base de Fe-Si-B-C tal como se enseña en la patente '879 da como resultado la pérdida de estabilidad térmica a largo plazo, lo que conduce a su vez al aumento de la pérdida de núcleo magnético en varias decenas de tanto por ciento en el plazo de varios años. Por tanto, las aleaciones amorfas enseñadas en las patentes '770 y '879 no se han fabricado en la práctica mediante colado a partir de sus estados fundidos.

Además de una alta inducción de saturación necesaria en dispositivos magnéticos tales como transformadores, inductores y similares, son deseables una alta relación de cuadratura B-H y una baja coercitividad, H_c , siendo B y H la inducción magnética y el campo magnético de excitación, respectivamente. El motivo de esto es: tales materiales magnéticos tienen un alto grado de blandura magnética, lo que significa facilidad de magnetización. Esto conduce a bajas pérdidas magnéticas en los dispositivos magnéticos que usan estos materiales magnéticos. Al darse cuenta de estos factores, los presentes inventores han encontrado que estas propiedades magnéticas requeridas, además de una alta ductilidad de la cinta, se conseguían manteniendo la capa de precipitación de C sobre la superficie de la cinta a un cierto grosor seleccionando la relación de Si:C a ciertos niveles en un sistema de Fe-Si-B-C amorfo tal como se describe en la patente estadounidense n.º 7.425.239. Además, en la patente Kokai japonesa n.º 2009052064 se proporciona una cinta de aleación amorfa de alta inducción de saturación, que muestra una estabilidad térmica mejorada de hasta 150 años a un funcionamiento del dispositivo a 150°C controlando la altura de la capa de precipitación de C con la adición de Cr y Mn al sistema de aleación. Sin embargo, la cinta fabricada presentaba varios salientes en la superficie de cinta dirigida hacia la superficie de cuerpo de enfriamiento en movimiento. Un ejemplo típico de saliente se muestra en la FIG. 1. La disposición básica de boquilla de colado, superficie de cuerpo de enfriamiento sobre una rueda rotatoria y la cinta colada resultante se ilustra en la patente estadounidense n.º 4.142.571. El documento US 2006/000524 A1 enseña una cinta de aleación amorfa ferromagnética. La aleación tiene una composición representada por $Fe_aSi_bB_cC_d$, donde a es del 76 al 83,5% atómico, b es el 12% atómico o menos, c es del 8 al 18% atómico y d es del 0,01 al 3% atómico con impurezas accidentales. El documento US 2006/000525 A1 enseña una cinta de aleación amorfa ferromagnética. La aleación tiene una composición representada por $Fe_aSi_bB_cC_dM_x$ o $Fe_aSi_bB_cC_dM_x$, donde M es Cr y/o Ni, a es del 78 al 86% atómico, b es del 0,001 al 5% atómico, c es del 7 al 20% atómico, x es del 0,01 al 5% atómico y d es del 0,001 al 4% atómico. El documento US 6.273.967 B1 se refiere a una aleación amorfa con bajo contenido de boro y generalmente a factores que afectan a la rugosidad.

Tras un análisis cuidadoso de la naturaleza del saliente y su formación, se encontró que el "factor de empaquetamiento" (FE) de la cinta disminuía cuando la altura de un saliente superaba cuatro veces el grosor de cinta y/o cuando el número de salientes superaba los 10 por 1,5 m a lo largo de la dirección longitudinal de la cinta. En este caso, el factor de empaquetamiento, FE, se define mediante el volumen efectivo de la cinta, cuando la cinta se apila o

65

lamina. Se desea un FE mayor, cuando un producto apilado o laminado se usa en un componente magnético, cuando se necesita un componente magnético más pequeño.

Por tanto, existe una necesidad de una cinta de aleación amorfa ferromagnética que presente una alta inducción de saturación, una baja pérdida magnética, una alta relación de cuadratura B-H, una alta ductilidad mecánica, una alta estabilidad térmica a largo plazo y un número reducido de salientes superficiales de cinta con un alto nivel de capacidad de fabricación de la cinta, lo cual es un objetivo de la presente invención. Más específicamente, un estudio exhaustivo de la calidad de la superficie de la cinta colada durante el colado condujo a los siguientes hallazgos: cuando la altura de saliente superaba cuatro veces el grosor de cinta o cuando el número de salientes superaba los 10 a lo largo de una longitud de cinta colada de 1,5 m, tenía que terminarse el colado con el fin de cumplir con un factor de empaquetamiento $FE > 82\%$, que era un FE mínimo requerido en la industria. Generalmente la altura y el número de los salientes aumentaron con el tiempo de colado. Para cintas de aleación amorfa convencionales que tienen una inducción de saturación, B_s , menor de 1,6 T, el tiempo de colado de cinta era de aproximadamente 500 minutos antes de que la altura de saliente superase cuatro veces el grosor de cinta o el número de salientes aumentase hasta 10 por 1,5 m de longitud de la cinta colada. Para las cintas de aleación amorfa que tienen $B_s > 1,6$ T, el tiempo de colado se redujo a menudo hasta aproximadamente 120 minutos, dando como resultado una tasa de terminación de colado del 25%. Por tanto, es claramente necesario aclarar la causa de la formación de salientes y controlarla, lo cual es otro aspecto de la presente invención.

20 SUMARIO

Según aspectos de la invención, una cinta de aleación amorfa ferromagnética se cuele a partir de una aleación que tiene una composición representada por $Fe_aSi_bB_cC_d$, donde $80,5 \leq a \leq 83\%$ at., $0,5 \leq b \leq 6\%$ at., $12 \leq c \leq 16,5\%$ at., $0,01 \leq d \leq 1\%$ at., siendo $a + b + c + d = 100$, e impurezas accidentales. La cinta se cuele a partir de un estado fundido de la aleación con una tensión superficial de aleación fundida de más de o igual a 1,1 N/m sobre una superficie de cuerpo de enfriamiento, y la cinta tiene una longitud de cinta, un grosor de cinta y una superficie de cinta dirigida hacia la superficie de cuerpo de enfriamiento. La cinta tiene salientes superficiales de cinta que están formados en la superficie de cinta dirigida hacia la superficie de cuerpo de enfriamiento, y los salientes superficiales de cinta se miden en términos de una altura de saliente y un número de salientes. La altura de saliente supera los 3 μm y menos de cuatro veces el grosor de cinta, y el número de salientes es menor de 10 dentro de 1,5 m de la longitud de cinta. La cinta tiene una inducción magnética de saturación que supera los 1,60 T y presenta una pérdida de núcleo magnético de menos de 0,14 W/kg cuando se mide en su forma de banda recta recocida a 60 Hz y a un nivel de inducción de 1,3 T.

Según un aspecto de la invención, la cinta tiene una composición en la que el contenido de Si b y el contenido de B c están relacionados con el contenido de Fe a y el contenido de C d según las relaciones de $b \geq 166,5 \times (100 - d) / 100 - 2a$ y $c \leq a - 66,5 \times (100 - d) / 100$.

Según otro aspecto de la invención, en la cinta, hasta el 20% at. de Fe está reemplazado opcionalmente por Co y hasta el 10% at. de Fe está reemplazado opcionalmente por Ni.

Según un aspecto adicional de la invención, la cinta incluye además al menos un elemento traza de al menos uno de Cu, Mn y Cr con el fin de reducir el saliente superficial de cinta en el lado de cuerpo de enfriamiento de la cinta. Las concentraciones para los elementos traza son: Cu en un intervalo de entre el 0,005% en peso y el 0,20% en peso, Mn en un intervalo de entre el 0,05% en peso y el 0,30% en peso, y Cr en un intervalo de entre el 0,01% en peso y el 0,2% en peso.

Según aún otro aspecto de la invención, la cinta se cuele en un estado fundido de la aleación a temperaturas de entre 1.250°C y 1.400°C. La temperatura preferida está en el intervalo de entre 1.280°C y 1.360°C.

Según aún un aspecto adicional de la invención, la cinta se cuele en una atmósfera ambiental que contiene menos del 5% en volumen de oxígeno en la superficie de contacto de aleación fundida-cinta.

Según otro aspecto de la invención, un núcleo magnético enrollado incluye una cinta de aleación amorfa ferromagnética que se ha enrollado para formar el núcleo magnético. Según un aspecto adicional, el núcleo magnético enrollado es un núcleo de transformador.

Según aún otro aspecto de la invención, el núcleo de transformador enrollado, tras recocerse en un campo magnético aplicado a lo largo de la dirección de la longitud de la cinta, presenta una pérdida de núcleo magnético de menos de 0,3 W/kg y una potencia de excitación de menos de 0,4 VA/kg a 60 Hz y una inducción de 1,3 T.

Según aún un aspecto adicional de la invención, la cinta del núcleo magnético enrollado se cuele a partir de la aleación que tiene la composición química representada por $Fe_aSi_bB_cC_d$, donde $81 \leq a < 82,5\%$ at., $2,5 < b < 4,5\%$ at., $12 \leq c \leq 16\%$ at., $0,01 \leq d \leq 1\%$ at., siendo $a + b + c + d = 100$ y cumpliendo las relaciones de $b \geq 166,5 \times (100 - d) / 100 - 2a$ y $c \leq a - 66,5 \times (100 - d) / 100$, y la aleación incluye además un elemento traza que es al menos uno de Cu en un contenido del 0,005-0,20% en peso, tMn en un contenido del 0,05-0,30% en peso y Cr en un contenido del 0,01-0,2% at.

5 Según un aspecto adicional de la invención, la cinta del núcleo magnético enrollado se ha recocido en un campo magnético aplicado a lo largo de una dirección de la longitud de la cinta, y presenta una pérdida de núcleo magnético de menos de 0,25 W/kg y una potencia de excitación de menos de 0,35 VA/kg a 60 Hz y una inducción de 1,3 T. El núcleo de transformador enrollado se recuece en un intervalo de temperatura de entre 300°C y 335°C.

10 Según otro aspecto de la invención, el núcleo del núcleo de transformador enrollado está funcionando hasta un nivel de inducción de 1,5 - 1,55 T a temperatura ambiente. Según un aspecto diferente de la invención, el núcleo tiene una forma toroidal o forma semitoroidal. Según un aspecto adicional de la invención, el núcleo tiene uniones por solape escalonado. Según un aspecto más de la invención, el núcleo tiene uniones por solape imbricado.

15 Según un aspecto adicional de la invención, un método de colado de una cinta de aleación amorfa ferromagnética incluye: seleccionar una aleación que tiene una composición representada por $Fe_aSi_bB_cC_d$, donde $80,5 \leq a \leq 83\%$ at., $0,5 \leq b \leq 6\%$ at., $12 \leq c \leq 16,5\%$ at., $0,01 \leq d \leq 1\%$ at., siendo $a + b + c + d = 100$, e impurezas accidentales; colar a partir de un estado fundido de la aleación con una tensión superficial de aleación fundida de más de o igual a 1,1 N/m sobre una superficie de cuerpo de enfriamiento; y obtener la cinta que tiene una longitud de cinta, un grosor de cinta y una superficie de cinta dirigida hacia la superficie de cuerpo de enfriamiento. La cinta tiene salientes superficiales de cinta formados en la superficie de cinta dirigida hacia la superficie de cuerpo de enfriamiento, y los salientes superficiales de cinta se miden en términos de una altura de saliente y un número de salientes. La altura de saliente supera los 3 μ m y menos de cuatro veces el grosor de cinta, y el número de salientes es menor de 10 dentro de 1,5 m de la longitud de cinta. La cinta puede recocerse para conseguir una forma de banda recta recocida que tiene una inducción magnética de saturación que supera los 1,60 T y presenta una pérdida de núcleo magnético de menos de 0,14 W/kg cuando se mide a 60 Hz y a un nivel de inducción de 1,3 T.

25 Según un aspecto adicional de la invención, en el método de colado de la cinta de aleación amorfa ferromagnética, el contenido de Si b y el contenido de B c están relacionados con el contenido de Fe a y el contenido de C d según las relaciones de $b \geq 166,5 X (100 - d) / 100 - 2a$ y $c \leq a - 66,5 X (100 - d) / 100$.

30 Según un aspecto adicional de la invención, en el método de colado de la cinta de aleación amorfa ferromagnética, hasta el 20% at. de Fe está reemplazado opcionalmente por Co y hasta el 10% at. de Fe está reemplazado opcionalmente por Ni.

35 Según un aspecto adicional de la invención, en el método de colado de la cinta de aleación amorfa ferromagnética, la aleación comprende además al menos un elemento traza seleccionado del grupo que consiste en Cu, Mn y Cr.

40 Según un aspecto adicional de la invención, en el método de colado de la cinta de aleación amorfa ferromagnética, el Cu está en un contenido en un intervalo de entre el 0,005% en peso y el 0,20% en peso, el Mn está en un contenido en un intervalo de entre el 0,05% en peso y el 0,30% en peso, y el Cr está en un contenido en un intervalo de entre el 0,01% en peso y el 0,2% en peso.

Según un aspecto adicional de la invención, en el método de colado de la cinta de aleación amorfa ferromagnética, el colado se lleva a cabo a temperaturas de entre 1.250°C y 1.400°C.

45 Según un aspecto adicional de la invención, en el método de colado de la cinta de aleación amorfa ferromagnética, el colado se lleva a cabo en una atmósfera ambiental que contiene menos del 5% en volumen de oxígeno en la superficie de contacto de aleación fundida-cinta.

50 Según un aspecto adicional de la invención, el método de colado de la cinta de aleación amorfa ferromagnética incluye enrollar la cinta colada mediante el método para dar un núcleo magnético. El núcleo magnético enrollado puede usarse como núcleo de transformador enrollado.

55 Según un aspecto adicional de la invención, el método de colado de la cinta de aleación amorfa ferromagnética incluye recocer la cinta en un núcleo magnético en un campo magnético a lo largo de una dirección de la longitud de la cinta para formar una cinta recocida, en el que la cinta recocida presenta una pérdida de núcleo magnético de menos de 0,3 W/kg y una potencia de excitación de menos de 0,4 VA/kg cuando se mide a 60 Hz y una inducción de 1,3 T.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

60 La invención se entenderá de manera más completa y ventajas adicionales resultarán evidentes cuando se haga referencia a la siguiente descripción detallada de las realizaciones preferidas y los dibujos adjuntos en los que:

La FIG. 1 es una imagen que muestra un saliente típico en una superficie de cinta dirigida hacia la superficie de cuerpo de enfriamiento de un cuerpo de enfriamiento en movimiento.

65 La FIG. 2 es una imagen que muestra un patrón ondulado observado en una superficie de cinta dirigida hacia el lado de atmósfera de colado de una cinta colada. La cantidad λ es la longitud de onda del patrón.

La FIG. 3 es un diagrama que facilita la tensión superficial de aleación fundida en un diagrama de fases de Fe-Si-B. Los números mostrados indican la tensión superficial de aleación fundida en N/m.

5 La FIG. 4 es un gráfico que muestra la tensión superficial de aleación fundida en función de la concentración de oxígeno en la proximidad de la superficie de contacto de aleación fundida-cinta.

La FIG. 5 es un gráfico que muestra el número de salientes por 1,5 m de cinta colada en función de la tensión superficial de aleación fundida.

10 La FIG. 6 es un diagrama que ilustra un núcleo de transformador con uniones por solape imbricado.

La FIG. 7 es un gráfico que muestra la potencia de excitación a una excitación de 60 Hz y a una inducción de 1,3 T en función de la temperatura de recocido para cintas de aleación de $Fe_{81,7}Si_2B_{16}C_{0,3}$, $Fe_{81,7}Si_3B_{15}C_{0,3}$ y $Fe_{81,7}Si_4B_{14}C_{0,3}$ amorfa en núcleos magnéticos recocidos durante una hora con un campo magnético de 2.000 A/m aplicado a lo largo de la dirección longitudinal de la cinta.

15 La FIG. 8 es un gráfico que muestra la potencia de excitación a una excitación de 60 Hz en función de la inducción magnética B_m para cintas de aleación de $Fe_{81,7}Si_2B_{16}C_{0,3}$, $Fe_{81,7}Si_3B_{15}C_{0,3}$ y $Fe_{81,7}Si_4B_{14}C_{0,3}$ amorfa en núcleos magnéticos recocidos a 330°C durante una hora con un campo magnético de 2.000 A/m aplicado a lo largo de la dirección longitudinal de la cinta.

DESCRIPCIÓN DE LAS REALIZACIONES

25 Una aleación amorfa puede prepararse, tal como se enseña en la patente estadounidense n.º 4.142.571, expulsando una aleación fundida a través de una boquilla ranurada sobre una superficie de cuerpo de enfriamiento rotatorio. La superficie de cinta dirigida hacia la superficie de cuerpo de enfriamiento tiene un aspecto mate; pero el lado opuesto, que es la superficie dirigida hacia la atmósfera de colado, es brillante, reflejando la naturaleza líquida de la aleación fundida. En la siguiente descripción de realizaciones de la presente invención, este lado también se denomina "lado brillante" de una cinta colada. Se encontró que la formación de salientes en el lado mate de una cinta colada se veía afectada por la tensión superficial de una aleación fundida. Cuando se forman salientes en una superficie de cinta de aleación amorfa, el factor de empaquetamiento de la cinta disminuye en un componente magnético construido laminando o enrollando la cinta. Por tanto, debe mantenerse un bajo nivel de altura de saliente para cumplir con los requisitos de la industria. La altura de saliente, por otro lado, aumentó con el tiempo de colado de la cinta, lo que limitó el tiempo de colado. Por ejemplo, para cintas de aleación amorfa convencionales con una inducción de saturación menor de 1,6 T, el tiempo de colado era de aproximadamente 500 minutos antes de que el factor de empaquetamiento de la cinta disminuyera hasta el nivel del 82% que era, por ejemplo, el número mínimo en la industria de los núcleos de transformador. Para aleaciones magnéticas amorfas con una inducción de saturación, B_s , mayor de 1,6 T desarrolladas hasta la fecha, el tiempo de colado era de aproximadamente 120 minutos para el 82% requerido para el factor de empaquetamiento.

Una observación adicional reveló lo siguiente: cuando el colado se realizaba de modo que la altura de saliente superase los 3 μm y menos de cuatro veces el grosor de cinta y el número de salientes era menor de 10 dentro de 1,5 m de la cinta colada, el tiempo de colado de la cinta aumentaba considerablemente. Tras un número de ensayos experimentales, los inventores encontraron que mantener la tensión superficial de aleación fundida a un nivel alto era crucial para reducir la altura de saliente y su incidencia de aparición.

Para cuantificar la tensión superficial de aleación fundida, σ , se adoptó la siguiente fórmula de Metallurgical and Materials Transactions, vol. 37B, págs. 445-456 (publicado por Springer en 2006):

$$50 \quad \sigma = U^2 G^3 \rho / 3,6 \lambda^2$$

donde U , G , ρ y λ son la velocidad de la superficie de cuerpo de enfriamiento, el hueco entre la boquilla y la superficie de cuerpo de enfriamiento, la densidad de masa de la aleación y la longitud de onda del patrón ondulado observado en el lado brillante de la superficie de cinta tal como se indica en la FIG. 2, respectivamente. La longitud de onda medida, λ , estaba en el intervalo de 0,5 mm - 2,5 mm.

El siguiente paso que dieron los presentes inventores fue encontrar el intervalo de composición química en el que la inducción de saturación de una cinta amorfa colada superaba los 1,60 T, que era uno de los aspectos de la presente invención. Se encontró que las composiciones de aleación que cumplían este requisito se expresaban mediante $Fe_aSi_bB_cC_d$, donde $80,5 \leq a \leq 83\%$ at., $0,5 \leq b \leq 6\%$ at., $12 \leq c \leq 16,5\%$ at., $0,01 \leq d \leq 1\%$ at., siendo $a + b + c + d = 100$, e impurezas accidentales encontradas comúnmente en las materias primas comerciales tales como hierro (Fe), ferrosilicio (Fe-Si) y ferroboro (Fe-B).

Para los contenidos de Si y B, se encontró que la siguiente restricción de química era más favorable para conseguir los objetivos: $b \geq 166,5 \times (100 - d) / 100 - 2a$ y $c \leq a - 66,5 \times (100 - d) / 100$. Además, para impurezas accidentales y elementos traza añadidos intencionadamente, se encontró que eran favorables los siguientes elementos con los intervalos de contenido facilitados: Mn al 0,05-0,30% en peso, Cr al 0,01-0,2% en peso y Cu al 0,005-0,20% en peso.

Además, menos del 20% at. de Fe está reemplazado opcionalmente por Co y menos del 10% at. de Fe estaba reemplazado opcionalmente por Ni.

Los motivos para seleccionar los intervalos composicionales facilitados en los tres párrafos previos anteriormente eran los siguientes: un contenido de Fe "a" de menos del 80,5% at. dio como resultado el nivel de inducción de saturación de menos de 1,60 T, mientras que "a" superando el 83% at. redujo la estabilidad térmica de la aleación y la conformabilidad de la cinta. Reemplazar el Fe por hasta el 20% at. de Co y/o hasta el 10% at. de Ni era favorable para conseguir una inducción de saturación que superase los 1,60 T. El Si mejoró la conformabilidad de la cinta y potenció su estabilidad térmica y superaba el 0,5% at. y era menor del 6% at. para conseguir los niveles de inducción de saturación y las altas relaciones de cuadratura B-H previstos. El B contribuyó favorablemente a la conformabilidad de la cinta de la aleación y su nivel de inducción de saturación y superaba el 12% at. y era menor del 16,5% at. ya que sus efectos favorables disminuían por encima de esta concentración. Estos hallazgos se resumen en el diagrama de fases de la FIG. 3, en el que se indican claramente la región 1, en la que la tensión superficial de aleación fundida es mayor de o igual a 1,1 N/m, y la región 2, en la que la tensión superficial de aleación fundida supera los 1,1 N/m. El intervalo de química representado por las fórmulas $b \geq 166,5 \times (100 - d) / 100 - 2a$ y $c \leq a - 66,5 \times (100 - d) / 100$ corresponde a la región 2 en la FIG. 3. La línea discontinua gruesa en la FIG. 2 corresponde a composiciones eutécticas y la línea discontinua fina indica las composiciones químicas en la región 2.

El C era efectivo para conseguir una alta relación de cuadratura B-H y una alta inducción de saturación por encima del 0,01% at., pero la tensión superficial de la aleación fundida se reduce por encima del 1% at. de C y se prefiere menos del 0,5% at. de C. Entre los elementos traza añadidos, el Mn redujo la tensión superficial de la aleación fundida y el límite de concentración permisible era $Mn < 0,3\%$ en peso. Más preferiblemente, $Mn < 0,2\%$ en peso. La coexistencia de Mn y C en aleaciones amorfas a base de Fe mejoró la estabilidad térmica de la aleación y $(Mn+C) > 0,05\%$ en peso era efectivo. El Cr también mejoró la estabilidad térmica y era efectivo para $Cr > 0,01\%$ en peso, pero la inducción de saturación de la aleación disminuyó para $Cr > 0,2\%$ en peso. El Cu no es soluble en Fe y tiende a precipitar sobre la superficie de la cinta y era útil para aumentar la tensión superficial de la aleación fundida; $Cu > 0,005\%$ en peso era efectivo y $Cu > 0,02\%$ en peso era más favorable, pero $Cu > 0,2\%$ en peso dio como resultado una cinta frágil. Se encontró que el 0,01-5,0% en peso de uno o más de un elemento de un grupo de Mo, Zr, Hf y Nb era permisible.

La aleación, según una realización de la presente invención, tenía una temperatura de fusión preferiblemente de entre 1.250°C y 1.400°C. Por debajo de los 1.250°C, las boquillas tendían a taponarse frecuentemente y por encima de los 1.400°C la tensión superficial de la aleación fundida disminuía. Puntos de fusión más preferidos eran 1.280°C - 1.360°C.

Los inventores encontraron que los salientes superficiales podían reducirse adicionalmente proporcionando gas de oxígeno con una concentración de hasta el 5% en volumen en la superficie de contacto entre la aleación fundida y la cinta colada justo debajo de la boquilla de colado. El límite superior para el gas de O₂ se determinó basándose en los datos de tensión superficial de aleación fundida frente a la concentración de O₂ mostrados en la FIG. 4, que indicaban que la tensión superficial de aleación fundida se volvía menor de 1,1 N/m para la concentración de gas de oxígeno que superaba el 5% en volumen. La relación entre el nivel de gas de O₂, la tensión superficial de aleación fundida, σ , el número de salientes superficiales, n, y las propiedades magnéticas se facilita en la tabla 2.

El siguiente paso era correlacionar el número de salientes superficiales de cinta con la tensión superficial de aleación fundida, lo que se mostró en la FIG. 5. Esta figura, que representa sin pérdida de generalidad a partir de los datos tomados en una cinta colada con anchuras de 100 mm-170 mm y un grosor de 23-25 μ m, indicó que el número de salientes superficiales aumentaba a medida que la tensión superficial de aleación fundida, σ , disminuía por debajo de 1,1 N/m. Como indicaban también las tablas 1-6, el número de salientes, n, por 1,5 m de cinta colada se volvía menor de 10 para $\sigma \geq 1,1$ N/m. A $\sigma = 1,25$ N/m, el número de salientes se volvía cero.

Los inventores encontraron además que el grosor de cinta de desde 10 μ m hasta 50 μ m se obtenía según las realizaciones de las invenciones en el método de fabricación de la cinta. Era difícil formar una cinta para un grosor por debajo de 10 μ m y por encima de un grosor de cinta de 50 μ m las propiedades magnéticas de la cinta se deterioraban.

Los métodos de fabricación de la cinta eran aplicables a cintas de aleación amorfa más anchas, tal como se indica en el ejemplo 3.

Para examinar tantas cintas de aleación amorfa como fuera posible, se sometieron a prueba un número de aleaciones amorfas para realizaciones de la invención y se muestran los resultados en las tablas 4, 5 y 6. Estas tablas fueron la base para los intervalos físicos tales como la altura de salientes y sus números por longitud dada de cintas de aleación amorfa coladas expuestas para realizaciones de la presente invención.

Para la sorpresa de los inventores, una cinta de aleación amorfa ferromagnética mostró una pérdida de núcleo magnético baja, a diferencia de lo esperado de que la pérdida de núcleo aumentaba generalmente cuando aumentaba la inducción de saturación del material de núcleo. Por ejemplo, bandas rectas de cintas de aleación amorfa ferromagnética según las realizaciones de la presente invención que se recocían a una temperatura de entre 320°C y 330°C con un campo magnético de 1.500 A/m aplicado a lo largo de la dirección longitudinal de las bandas presentaban una pérdida de núcleo magnético de menos de 0,14 W/kg cuando se mide a 60 Hz y a una inducción de 1,3 T.

Una pérdida de núcleo magnético baja en una banda recta se traduce en una pérdida de núcleo magnético correspondientemente baja en un núcleo magnético preparado enrollando una cinta magnética. Sin embargo, debido a la tensión mecánica introducida durante el enrollamiento del núcleo, un núcleo enrollado siempre presenta una pérdida de núcleo magnético mayor que en su forma de banda recta. La relación de pérdida de núcleo del núcleo enrollado con respecto a pérdida de núcleo de la banda recta se denomina factor de construcción (FC). Los valores de FC son de aproximadamente 2 para núcleos de transformador disponibles comercialmente diseñados de manera óptima basándose en cintas de aleación amorfa. Obviamente se prefiere un valor de FC bajo. Según las realizaciones de la presente invención, los núcleos de transformador con uniones por solape imbricado se construyeron usando cintas de aleación amorfa de realizaciones de la presente invención. La dimensión de los núcleos construidos y sometidos a prueba se facilita en la FIG. 6.

Los resultados de prueba de núcleos magnéticos con la configuración de la FIG. 6 se resumen en las tablas 7 y 8. El primer resultado apreciable es que la pérdida de núcleo, por ejemplo, a 60 Hz y una inducción de 1,3 T medida en un núcleo de transformador recocido a 300°C - 340°C tenía un intervalo de 0,211 W/kg - 0,266 W/kg tal como se muestra en la tabla 7. Esto debe compararse con la pérdida de núcleo de menos de 0,14 W/kg de una banda recta bajo la misma excitación de 60 Hz. Por tanto, los valores de FC para estos núcleos de transformador oscilaban entre 1,5 y 1,9, lo que era considerablemente menor que un valor de FC convencional de 2. Aunque los niveles de pérdida de núcleo eran aproximadamente los mismos entre los núcleos de transformador sometidos a prueba, las aleaciones con un contenido de Si mayor mostraron las siguientes dos características ventajosas. En primer lugar, tal como se indica en la tabla 7, el intervalo de temperatura de recocido en el que la potencia de excitación era baja era mucho más amplio en las aleaciones amorfas que contenían el 3-4% at. de Si que en una aleación amorfa que contenía el 2% at. de Si. Esto se representó en la FIG. 7, en la que las curvas 71, 72 y 73 correspondían a las cintas de aleación amorfa que contenían el 2% at. de Si, el 3% at. de Si y el 4% at. de Si, respectivamente. La potencia de excitación en un núcleo magnético tal como un núcleo de transformador es un factor importante, ya que es la potencia real para mantener un núcleo magnético en un estado excitado. Por tanto, cuanto menor sea la potencia de excitación mejor, dando como resultado un funcionamiento de transformador más eficiente. En segundo lugar, tal como se indica en la tabla 8, los núcleos de transformador con cintas de aleación amorfa que contenían el 3-4% at. de Si recocidas en el intervalo de temperatura de entre 300°C y 355°C en un campo magnético aplicado a lo largo de la dirección longitudinal de la cinta se hicieron funcionar hasta un intervalo de inducción de 1,5 - 1,55 T, por encima del cual la potencia de excitación aumentaba rápidamente a temperatura ambiente, mientras que la aleación amorfa con el 2% at. de Si podía hacerse funcionar hasta aproximadamente 1,45 T, por encima de lo cual la potencia de excitación aumentaba rápidamente en núcleos a base del 2% at. de Si. Esta característica se demostró claramente en la FIG. 8, en la que las curvas 81, 82 y 83 correspondían a las cintas de aleación amorfa que contenían el 2% at. de Si, el 3% at. de Si y el 4% at. de Si, respectivamente. Esta diferencia es significativa en la reducción del tamaño del transformador. Se estima que el tamaño del transformador puede reducirse en un 5-10% para el aumento incremental de su inducción de funcionamiento en 0,1 T. Además, la calidad del transformador mejora cuando su potencia de excitación es baja. A la luz de estas ventajas técnicas, se sometieron a prueba núcleos de transformador que tenían las composiciones según la presente invención y los resultados indicaron que el rendimiento de transformador óptimo se conseguía en las aleaciones amorfas con las composiciones químicas representadas por $Fe_aSi_bB_cC_d$, donde $81 \leq a < 82,5\%$ at., $2,5 < b < 4,5\%$ at., $12 \leq c \leq 16\%$ at., $0,01 \leq d \leq 1\%$ at., siendo $a + b + c + d = 100$ y cumpliendo las relaciones de $b \geq 166,5 \times (100 - d) / 100 - 2a$ y $c \leq a - 66,5 \times (100 - d) / 100$.

Ejemplo 1

Lingotes con composiciones químicas, según las realizaciones de la presente invención, se prepararon y se colaron a partir de metales fundidos a 1.350°C sobre un cuerpo de enfriamiento rotatorio. Las cintas coladas tenían una anchura de 170 mm y su grosor era de 23 μ m. Un análisis químico mostró que las cintas contenían el 0,10% en peso de Mn, el 0,03% en peso de Cu y el 0,05% en peso de Cr. Una mezcla de gas de CO₂ y oxígeno se sopló hasta cerca de la superficie de contacto entre la aleación fundida y la cinta colada. La concentración de oxígeno cerca de la superficie de contacto entre la aleación fundida y la cinta colada era del 0,5% en volumen. La tensión superficial de aleación fundida, σ , se determinó midiendo la longitud de onda del patrón ondulado en el lado brillante de la cinta colada usando la fórmula $\sigma = U^2 G^3 \rho / 3,6 \lambda^2$. El número de salientes superficiales de cinta dentro de 1,5 m a lo largo de la dirección longitudinal de la cinta se midió en la cinta colada durante aproximadamente 100 minutos y el número máximo, n, de salientes superficiales de tres muestras con sus alturas superando los 3 μ m se facilita en la tabla 1. Todas las muestras de cinta tenían alturas de saliente de menos de 4 veces el grosor de cinta. Bandas individuales cortadas de las cintas se recocieron a 300°C - 400°C con un campo magnético de 1500 A/m aplicado a lo largo de la dirección longitudinal de las bandas y las propiedades magnéticas de las bandas tratadas térmicamente se midieron según las normas ASTM A-932. Los resultados obtenidos se enumeran en la tabla 1. Las muestras n.^{os} 1 y 2 cumplen los requisitos de

los objetivos de la invención para la tensión superficial de aleación fundida, el número de salientes superficiales por 1,5 m de la cinta colada, la inducción de saturación, B_s , y la pérdida de núcleo magnético $W_{1,3/60}$ a una excitación de 60 Hz a una inducción de 1,3 T. La muestra de referencia n.º 1 tenía 12 salientes y por tanto superaba el número mínimo de 10 requerido en realizaciones de la presente invención.

5

Tabla 1

Muestra n.º	Composición (% at.)	σ (N/m)	n	B_s (T)	$W_{1,3/60}$ (W/kg)
1	$Fe_{81,7}Si_3B_{15}C_{0,3}$	1,25	3	1,63	0,094
2	$Fe_{81,7}Si_4B_{14}C_{0,3}$	1,38	0	1,63	0,093
Muestra de ref. n.º	Composición (% at.)	σ (N/m)	n	B_s (T)	$W_{1,3/60}$ (W/kg)
1	$Fe_{81,4}Si_2B_{16}C_{0,6}$	1,02	12	1,64	0,091

Ejemplo 2

10 Una cinta de aleación amorfa que tenía una composición de $Fe_{81,7}Si_3B_{15}C_{0,3}$ se coló en la misma condición de colado que en el ejemplo 1 excepto porque la concentración de gas de O_2 se cambió del 0,1% en volumen al 20% en volumen (equivalente al aire). Las propiedades magnéticas, B_s y $W_{1,3/60}$ y la tensión superficial de aleación fundida σ y el número promedio de defectos superficiales, n, obtenidos se enumeran en la tabla 2. Los datos demuestran que un nivel de oxígeno que supera el 5% en volumen reduce la tensión superficial de aleación fundida, lo que a su vez aumenta el

15 número de salientes superficiales.

Tabla 2

Muestra n.º	Vol. de nivel de oxígeno (%)	σ (N/m)	n	B_s (T)	$W_{1,3/60}$ (W/kg)
3	5	1,10	8	1,63	0,096
4	3	1,16	4	1,63	0,094
1	0,5	1,25	3	1,63	0,093
Muestra de ref. n.º	Vol. de nivel de oxígeno (%)	σ (N/m)	n	B_s (T)	$W_{1,3/60}$ (W/kg)
2	7	1,02	13	1,63	0,101
3	20 (aire)	0,85	19	1,63	0,141

Ejemplo 3

20 Una cinta de aleación amorfa que tenía una composición de $Fe_{81,7}Si_3B_{15}C_{0,3}$ se coló en la misma condición que en el ejemplo 1 excepto porque la anchura de cinta se cambió de 50 mm a 254 mm y el grosor de cinta se cambió de 15 μm a 40 μm . Las propiedades magnéticas, B_s , $W_{1,3/60}$ y la tensión superficial de aleación fundida σ y el número de salientes superficiales, n, obtenidas se enumeran en la tabla 3.

25

Tabla 3

Muestra n.º	Grosor (μm)	Anchura (mm)	σ (N/m)	n	B_s (T)	$W_{1,3/60}$ (W/kg)
7	25	50	1,16	2	1,63	0,097
8	25	140	1,16	3	1,63	0,098
9	25	170	1,16	3	1,63	0,100
10	25	210	1,16	4	1,63	0,101
11	25	254	1,16	4	1,63	0,105
12	15	170	1,16	3	1,63	0,105
13	22	170	1,16	4	1,63	0,101
14	30	170	1,16	5	1,63	0,106
15	40	170	1,16	6	1,63	0,114

Ejemplo 4

30 Lingotes con las composiciones químicas enumeradas en las tablas 5 y 6 se usaron para colar cintas de aleación amorfa como en el ejemplo 1. El colado se realizó en una atmósfera que contenía el 0,5% en volumen de gas de O_2 . La cinta resultante tenía un grosor de 23 μm y una anchura de 100 mm. El número de salientes superficiales de cinta y las propiedades magnéticas de la cinta se determinaron como en el ejemplo 1 y los resultados se muestran en la tabla 4. Todos estos ejemplos cumplían las propiedades requeridas expuestas para realizaciones de la presente

35 invención.

Tabla 4

Muestra n.º	Composición (% at.)						σ (N/m)	n	Bs (T)	W _{13/60} (W/kg)
	Fe	Co	Ni	Si	B	C				
16	81,7	0	0	3	15	0,3	1,16	2	1,63	0,094
17	81,7	0	0	4	14	0,3	1,31	0	1,63	0,093
18	81,0	0	0	6	12	1	1,48	0	1,61	0,101
19	80,5	0	0	5	14,2	0,3	1,13	3	1,62	0,103
20	81,7	0	0	4,5	13,5	0,3	1,38	0	1,62	0,094
21	83,0	0	0	0,5	16,5	0,01	1,22	1	1,62	0,135
22	81,7	0	0	5	13	0,3	1,43	0	1,62	0,095
23	81,7	0	0	2,3	16	0,01	1,11	4	1,64	0,095
24	80,5	0	0	6	13,2	0,3	1,55	0	1,60	0,099
25	80,5	0	0	2,7	16,5	0,3	1,18	2	1,62	0,105
26	83,0	0	0	4,7	12	0,3	1,58	0	1,62	0,109
27	76,7	5	0	4	14	0,3	1,34	0	1,70	0,104
28	61,7	20	0	4	14	0,3	1,36	0	1,78	0,101
29	79,7	0	2	4	14	0,3	1,27	0	1,65	0,100
30	71,7	0	10	4	14	0,3	1,25	0	1,60	0,103

Las cintas de aleación amorfa enumeradas en la tabla 5, por otro lado, se elaboraron y se examinaron como las de la tabla 4, pero no cumplían los requisitos expuestos para realizaciones de la presente invención.

5

Tabla 5

Muestra de ref. n.º	Composición (% at.)				σ (N/m)	n	Bs (T)	W _{1,3/60} (W/kg)
	Fe	Si	B	C				
6	81,4	2	16	0,6	0,95	15	1,64	0,091
7	79,7	8	12	0,3	1,45	0	1,57	0,095
8	81	3	14,8	1,2	1,05	13	1,63	0,103
9	80,5	4	14,9	0,6	0,90	15	1,62	0,096
10	83,7	2	14	0,3	1,58	0	1,58	0,124
11	81,7	8	10	0,3	1,68	0	1,59	0,120

Ejemplo 5

10 Aleaciones amorfas de Fe_{81,7}Si₃B₁₅C_{0,3} que contenían Cu se colaron como en el ejemplo 4 y los resultados de prueba se enumeran en la tabla 6. Las muestras n.ºs 16, 31 y 32 cumplían las propiedades requeridas expuestas en realizaciones de la presente invención. Entre las muestras de referencia, la muestra n.º 12 mostró más salientes superficiales de cinta, n, mientras que la muestra n.º 13 cumplía todos los requisitos, pero era frágil.

15

Tabla 6

Muestra n.º	% en peso de Cu	σ (N/m)	n	Bs (T)	W _{1,3/60} (W/kg)
16	0,03	1,16	2	1,63	0,094
31	0,20	1,25	1	1,63	0,093
32	0,005	1,10	10	1,63	0,106
Muestra de ref. n.º	% en peso de Cu	σ (N/m)	n	Bs (T)	W _{1,3/60} (W/kg)
12	0,001	1,05	13	1,62	0,091
13	0,25	1,28	0	1,61	0,108

Ejemplo 6

20 Cintas de aleación amorfa con composiciones de Fe_{81,7}Si₂B₁₆C_{0,3}, Fe_{81,7}Si₃B₁₅C_{0,3} y Fe_{81,7}Si₄B₁₄C_{0,3} y con un grosor de 23 μ m y una anchura de 170 mm se enrollaron para dar núcleos magnéticos con las dimensiones mostradas en la FIG. 6. Los núcleos de la FIG. 6 para su uso en transformadores se conocen como de tipo solape imbricado en la industria. Los núcleos se recocieron a 330°C con un campo magnético de 2000 A/m aplicado a lo largo de la dirección longitudinal de la cinta. Las propiedades magnéticas tales como pérdida de núcleo y potencia de excitación se midieron según las normas ASTM n.º A-912. Los resultados de prueba se facilitan en las tablas 7 y 8 y las FIGS. 7 y 8.

25

Tabla 7

Pérdida de núcleo CL _{1,3/60} (W/kg)							
Temperatura de recocido (°C)	300	310	320	330	340	350	
Fe _{81,7} Si ₂ B ₁₆ C _{0,3}	0,229	0,232	0,220	0,216	0,243	0,306	
Fe _{81,7} Si ₃ B ₁₅ C _{0,3}	0,240	0,226	0,222	0,229	0,256	0,308	
Fe _{81,7} Si ₄ B ₁₄ C _{0,3}	0,216	0,211	0,217	0,225	0,266	0,311	
Potencia de excitación VA _{1,3/60} (VA/kg)							

Pérdida de núcleo CL _{1,3/60} (W/kg)						
Temperatura de recocido (°C)	300	310	320	330	340	350
Fe _{81,7} Si ₂ B ₁₆ C _{0,3}	0,544	0,443	0,354	0,314	0,314	0,395
Fe _{81,7} Si ₃ B ₁₅ C _{0,3}	0,380	0,345	0,309	0,308	0,322	0,396
Fe _{81,7} Si ₄ B ₁₄ C _{0,3}	0,368	0,322	0,301	0,299	0,334	0,396

Tabla 8

Pérdida de núcleo CL _{1,3/60} (W/kg)										
Inducción B _m (T)	1,00	1,10	1,20	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60
Fe _{81,7} Si ₂ B ₁₆ C _{0,3}	0,13	0,15	0,18	0,22	0,23	0,26	0,28	0,30	0,33	0,38
Fe _{81,7} Si ₃ B ₁₅ C _{0,3}	0,14	0,17	0,20	0,23	0,25	0,26	0,28	0,31	0,33	0,37
Fe _{81,7} Si ₄ B ₁₄ C _{0,3}	0,14	0,16	0,19	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,33	0,37
Potencia de excitación VA _{1,3/60} (VA/kg)										
Inducción B _m (T)	1,00	1,10	1,20	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60
Fe _{81,7} Si ₂ B ₁₆ C _{0,3}	0,15	0,19	0,24	0,31	0,37	0,47	0,65	1,02	1,69	4,28
Fe _{81,7} Si ₃ B ₁₅ C _{0,3}	0,16	0,20	0,25	0,31	0,35	0,41	0,49	0,64	0,95	1,87
Fe _{81,7} Si ₄ B ₁₄ C _{0,3}	0,16	0,20	0,24	0,30	0,34	0,39	0,47	0,61	0,96	2,15

5 Los núcleos de transformador que usan las aleaciones magnéticas amorfas facilitadas en el ejemplo 6 recocidas entre 300°C y 350°C presentaban una pérdida de núcleo de menos de 0,3 W/kg a 60 Hz y una excitación de 1,3 T y aquellas recocidas entre 310°C y 350°C mostraron una potencia de excitación de menos de 0,4 VA/kg. El rendimiento de núcleo de transformador óptimo se obtuvo en los núcleos recocidos a 320°C -330°C que contenían el 3% at. - 4% at. de Si. Para estos núcleos se consiguieron una pérdida de núcleo de menos de 0,25 W/kg y una potencia de excitación de menos de 0,35 VA/kg a 60 Hz y una inducción de 1,3 T, proporcionando un intervalo preferido para el Si del 3 - 4% at.

10 También se observa que los núcleos que contenían el 3-4 % at. de Si mostraron una potencia de excitación de mucho menos de 1,0 VA/kg a 60 Hz y una inducción de 1,5 T, que es un intervalo de potencia de excitación preferido para un funcionamiento de transformador eficiente.

15 Aunque se han mostrado y descrito realizaciones de la presente invención, los expertos en la técnica apreciarán que pueden hacerse cambios en estas realizaciones sin apartarse de la invención, cuyo alcance está definido en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

- 1.- Una cinta de aleación amorfa ferromagnética, que comprende:
- 5 una aleación que tiene una composición representada por $Fe_aSi_bB_cC_d$, donde $80,5 \leq a \leq 83\%$ at., $0,5 \leq b \leq 6\%$ at., $12 \leq c \leq 16,5\%$ at., $0,01 \leq d \leq 1\%$ at., siendo $a + b + c + d = 100$, e impurezas accidentales, que se cuele a partir de un estado fundido de la aleación con una tensión superficial de aleación fundida de más de o igual a 1,1 N/m sobre una superficie de cuerpo de enfriamiento;
- 10 teniendo la cinta una longitud de cinta, un grosor de cinta y una superficie de cinta dirigida hacia la superficie de cuerpo de enfriamiento;
- teniendo la cinta salientes superficiales de cinta que se forman en la superficie de cinta dirigida hacia la superficie de cuerpo de enfriamiento;
- 15 midiéndose los salientes superficiales de cinta en términos de una altura de saliente y un número de salientes;
- superando la altura de saliente los 3 μ m y menos de cuatro veces el grosor de cinta, y siendo el número de salientes menor de 10 dentro de 1,5 m de la longitud de cinta; y
- 20 teniendo la cinta una inducción magnética de saturación que supera los 1,60 T y presentando una pérdida de núcleo magnético de menos de 0,14 W/kg cuando se mide en una forma de banda recta recocida a 60 Hz y a un nivel de inducción de 1,3 T.
- 25 2.- La cinta de aleación amorfa ferromagnética según la reivindicación 1, en la que el contenido de Si b y el contenido de B c están relacionados con el contenido de Fe a y el contenido de C d según las relaciones de $b \geq 166,5 X (100 - d) / 100 - 2a$ y $c \leq a - 66,5 X (100 - d) / 100$.
- 3.- La cinta de aleación amorfa ferromagnética según la reivindicación 1 o 2, en la que hasta el 20% at. de Fe está reemplazado opcionalmente por Co y hasta el 10% at. de Fe está reemplazado opcionalmente por Ni.
- 30 4.- La cinta de aleación amorfa ferromagnética según una de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende además al menos un elemento traza seleccionado del grupo que consiste en Cu, Mn y Cr.
- 35 5.- La cinta de aleación amorfa ferromagnética según la reivindicación 4, en la que el Cu está en un contenido en un intervalo de entre el 0,005% en peso y el 0,20% en peso, el Mn está en un contenido en un intervalo de entre el 0,05% en peso y el 0,30% en peso, y el contenido de Cr está en un intervalo de entre el 0,01% en peso y el 0,2% en peso.
- 40 6.- La cinta de aleación amorfa ferromagnética según una de las reivindicaciones 1 a 5, en la que la cinta se cuele en un estado fundido de la aleación a temperaturas de entre 1.250°C y 1.400°C.
- 7.- La cinta de aleación amorfa ferromagnética según una de las reivindicaciones 1 a 6, en la que la cinta se cuele en una atmósfera ambiental que contiene menos del 5% en volumen de oxígeno en la superficie de contacto de aleación fundida-cinta.
- 45 8.- Un núcleo magnético enrollado, que comprende la cinta según una de las reivindicaciones 1 a 7, que se ha enrollado para formar el núcleo magnético.
- 9.- Un núcleo de transformador enrollado, que comprende el núcleo magnético enrollado según la reivindicación 8, en el que el núcleo magnético enrollado es un núcleo de transformador.
- 50 10.- El núcleo de transformador enrollado según la reivindicación 8 o 9, que se ha recocido en un campo magnético aplicado a lo largo de la dirección longitudinal de la cinta y que presenta una pérdida de núcleo magnético de menos de 0,3 W/kg y una potencia de excitación de menos de 0,4 VA/kg a 60 Hz y una inducción de 1,3 T.
- 55 11.- El núcleo magnético enrollado según una de las reivindicaciones 8 a 10, en el que la cinta se basa en la aleación que tiene la composición química representada por $Fe_aSi_bB_cC_d$, donde $81 \leq a < 82,5\%$ at., $2,5 < b < 4,5\%$ at., $12 \leq c \leq 16\%$ at., $0,01 \leq d \leq 1\%$ at., siendo $a + b + c + d = 100$ y cumpliendo las relaciones de $b \geq 166,5 X (100 - d) / 100 - 2a$ y $c \leq a - 66,5 X (100 - d) / 100$, y la aleación comprende además al menos un elemento traza del grupo que consiste en Cu en un contenido del 0,005-0,20% en peso, Mn en un contenido del 0,05-0,30% en peso y Cr en un contenido del 0,01-0,2% en peso.
- 60 12.- El núcleo magnético enrollado según la reivindicación 11, en el que la cinta se ha recocido en un campo magnético aplicado a lo largo de una dirección de la longitud de la cinta, que presenta una pérdida de núcleo magnético de menos de 0,25 W/kg y una potencia de excitación de menos de 0,35 VA/kg a 60 Hz y una inducción de 1,3 T.
- 65

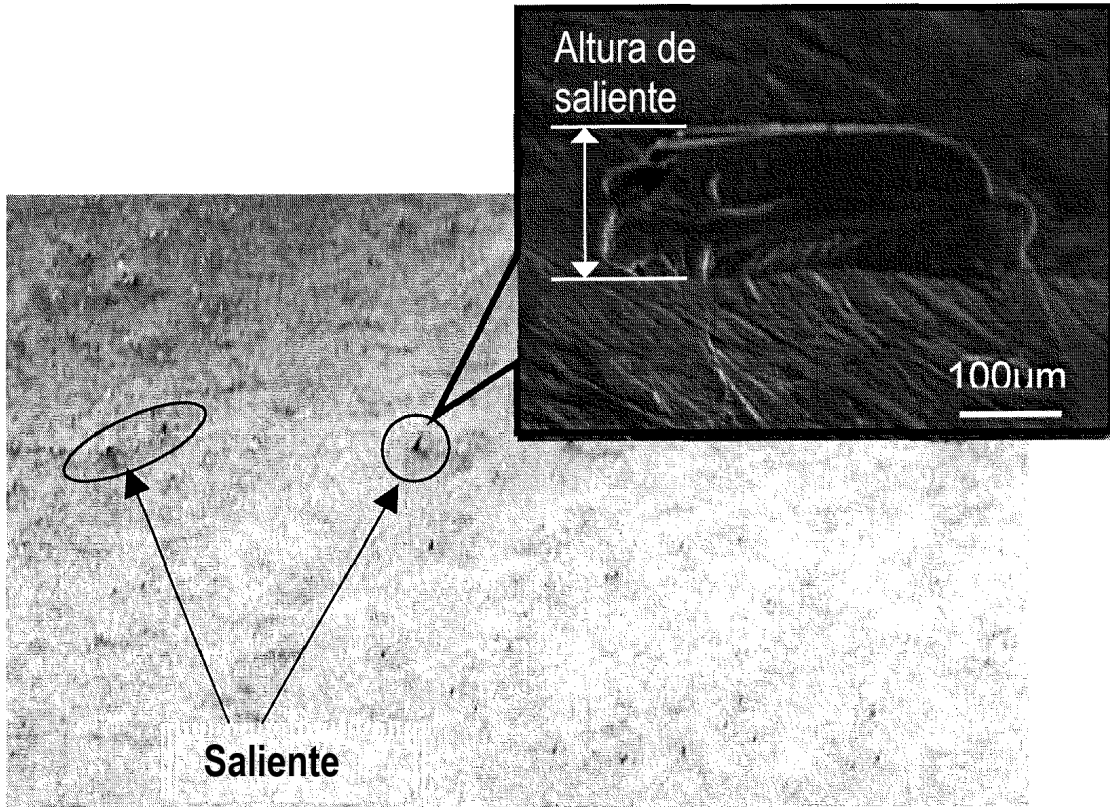
ES 2 802 478 T3

- 13.- El núcleo magnético enrollado según una de las reivindicaciones 10 a 12, recociéndose la cinta en un intervalo de temperatura de entre 300°C y 335°C en un campo magnético aplicado a lo largo de una dirección de la longitud de la cinta.
- 5 14.- Un método de colado de una cinta de aleación amorfa ferromagnética, que comprende:
- seleccionar una aleación que tiene una composición representada por $Fe_aSi_bB_cC_d$, donde $80,5 \leq a \leq 83\%$ at., $0,5 \leq b \leq 6\%$ at., $12 \leq c \leq 16,5\%$ at., $0,01 \leq d \leq 1\%$ at., siendo $a + b + c + d = 100$, e impurezas accidentales;
- 10 colar a partir de un estado fundido de la aleación con una tensión superficial de aleación fundida de más de o igual a 1,1 N/m sobre una superficie de cuerpo de enfriamiento; y
- obtener la cinta que tiene una longitud de cinta, un grosor de cinta y una superficie de cinta dirigida hacia la superficie de cuerpo de enfriamiento;
- 15 en el que
- la cinta tiene salientes superficiales de cinta formados en la superficie de cinta dirigida hacia la superficie de cuerpo de enfriamiento;
- 20 los salientes superficiales de cinta se miden en términos de una altura de saliente y un número de salientes;
- la altura de saliente supera los 3 μm y es menos de cuatro veces el grosor de cinta, y el número de salientes es menor de 10 dentro de 1,5 m de la longitud de cinta; y
- 25 la cinta puede recocerse para conseguir una forma de banda recta recocida que tiene una inducción magnética de saturación que supera los 1,60 T y que presenta una pérdida de núcleo magnético de menos de 0,14 W/kg cuando se mide a 60 Hz y a un nivel de inducción de 1,3 T.
- 30 15.- El método según la reivindicación 14, en el que el contenido de Si b y el contenido de B c están relacionados con el contenido de Fe a y el contenido de C d según las relaciones de $b \geq 166,5 \times (100 - d) / 100 - 2a$ y $c \leq a - 66,5 \times (100 - d) / 100$.
- 35 16.- El método según la reivindicación 14 o 15, en el que hasta el 20% at. de Fe está reemplazado opcionalmente por Co y hasta el 10% at. de Fe está reemplazado opcionalmente por Ni.
- 17.- El método según una de las reivindicaciones 14 a 16, en el que la aleación comprende además al menos un elemento traza seleccionado del grupo que consiste en Cu, Mn y Cr.
- 40 18.- El método según la reivindicación 17, en el que el Cu está en un contenido en un intervalo de entre el 0,005% en peso y el 0,20% en peso, el Mn está en un contenido en un intervalo de entre el 0,05% en peso y el 0,30% en peso, y el Cr está en un contenido en un intervalo de entre el 0,01% en peso y el 0,2% en peso.
- 45 19.- El método según una de las reivindicaciones 14 a 18, en el que el colado se lleva a cabo a temperaturas de entre 1.250°C y 1.400°C.
- 20.- El método según una de las reivindicaciones 14 a 19, en el que el colado se lleva a cabo en una atmósfera ambiental que contiene menos del 5% en volumen de oxígeno en la superficie de contacto de aleación fundida-cinta.
- 50 21.- Un método de preparación de un núcleo magnético enrollado que comprende enrollar la cinta colada mediante el método según una de las reivindicaciones 14 a 20 para dar un núcleo magnético.
- 22.- El método según la reivindicación 21, en el que el núcleo magnético enrollado es un núcleo de transformador enrollado.
- 55 23.- El método según la reivindicación 21 o 22, que comprende además: recocer la cinta en un núcleo magnético en un campo magnético a lo largo de una dirección de la longitud de la cinta para formar una cinta recocida, en el que la cinta recocida presenta una pérdida de núcleo magnético de menos de 0,3 W/kg y una potencia de excitación de menos de 0,4 VA/kg cuando se mide a 60 Hz y una inducción de 1,3 T.
- 60 24.- El método según una de las reivindicaciones 21 a 23, en el que la cinta se cuele a partir de la aleación que tiene la composición química representada por $Fe_aSi_bB_cC_d$, donde $81 \leq a < 82,5\%$ at., $2,5 < b < 4,5\%$ at., $12 \leq c \leq 16\%$ at., $0,01 \leq d \leq 1\%$ at., siendo $a + b + c + d = 100$ y cumpliendo las relaciones de $b \geq 166,5 \times (100 - d) / 100 - 2a$ y $c \leq a - 66,5 \times (100 - d) / 100$, y la aleación comprende además al menos un elemento traza seleccionado del grupo que consiste en Cu en un contenido del 0,005-0,20% en peso, Mn en un contenido del 0,05-0,30% en peso y Cr en un contenido del 0,01-0,2% en peso.
- 65

5 25.- El método según la reivindicación 23 o 24, en el que el recocido se lleva a cabo en un campo magnético aplicado a lo largo de una dirección de la longitud de la cinta para formar una cinta recocida, en el que la cinta recocida presenta una pérdida de núcleo magnético de menos de 0,25 W/kg y una potencia de excitación de menos de 0,35 VA/kg cuando se mide a 60 Hz y una inducción de 1,3 T.

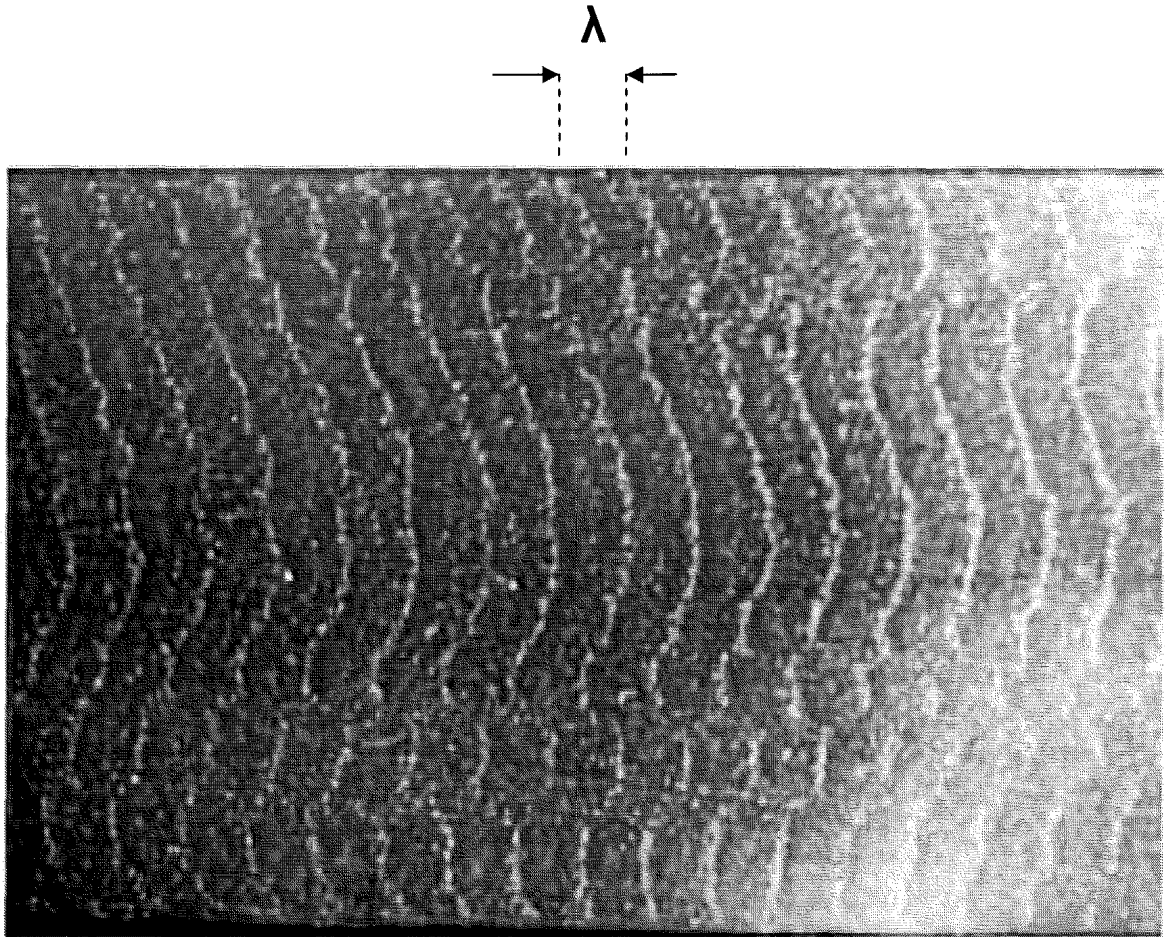
26.- El método según una de las reivindicaciones 23 a 25, en el que el núcleo se recuece en un intervalo de temperatura de entre 300°C y 355°C en un campo magnético aplicado a lo largo de una dirección de la longitud de la cinta.

FIG. 1



Superficie de cinta en el lado de cuerpo de enfriamiento

FIG. 2



DIRECCIÓN LONGITUDINAL DE CINTA \longrightarrow

FIG. 3

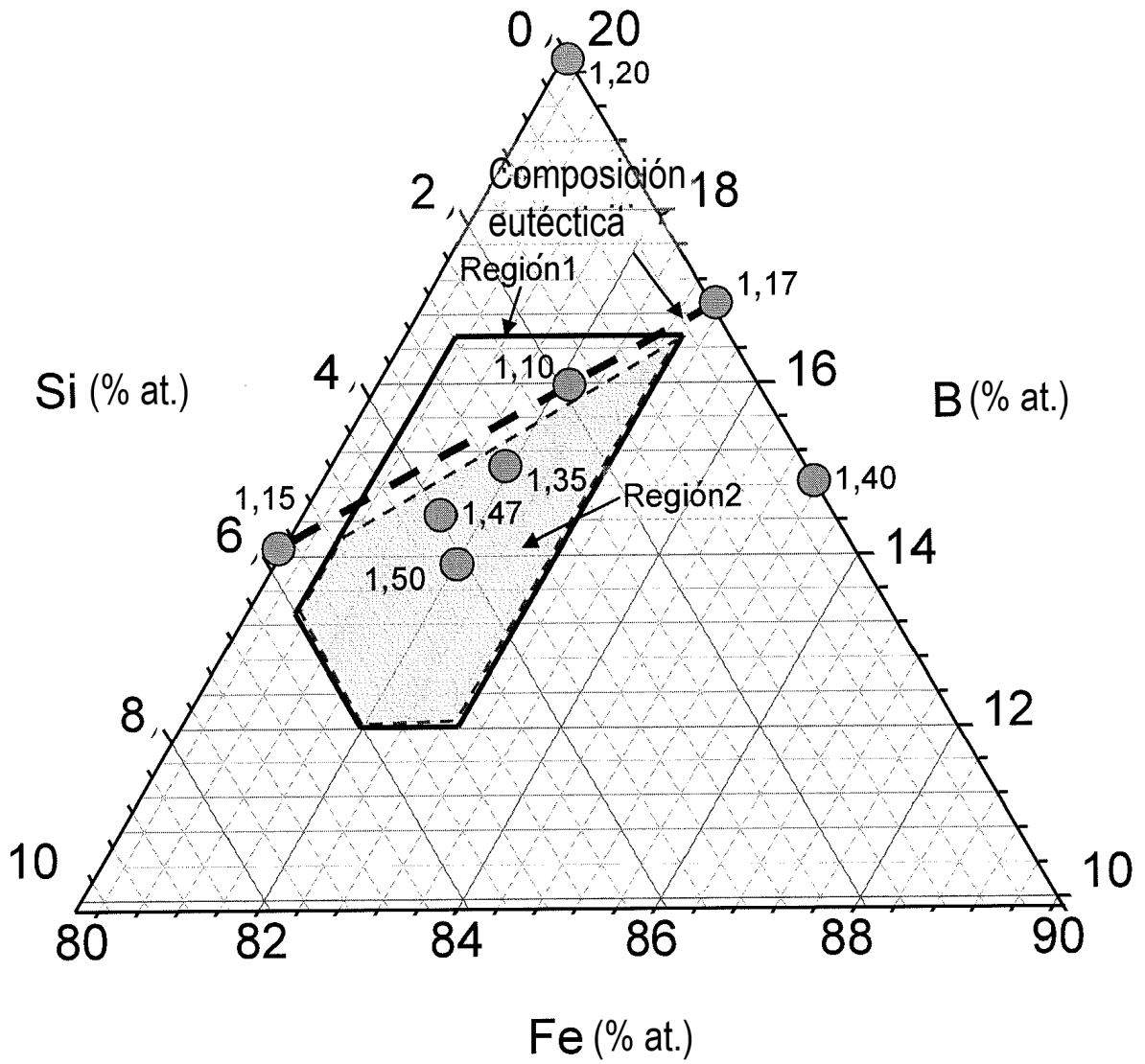


FIG. 4

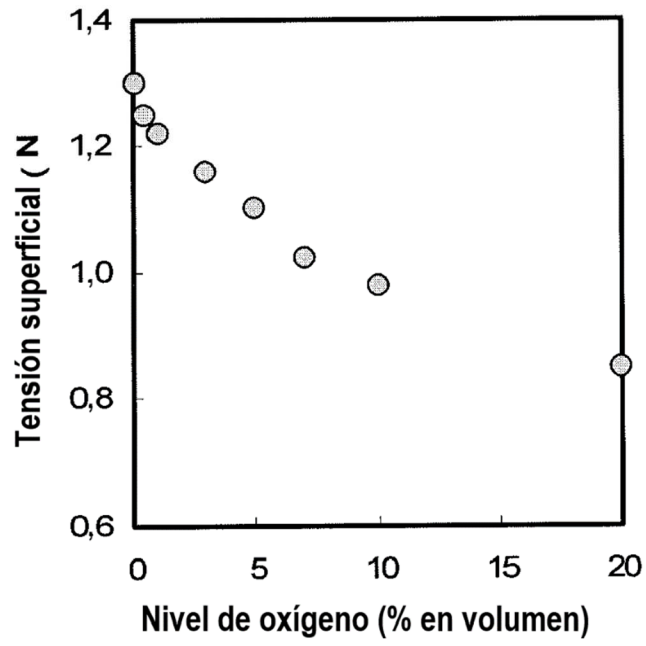


FIG.5

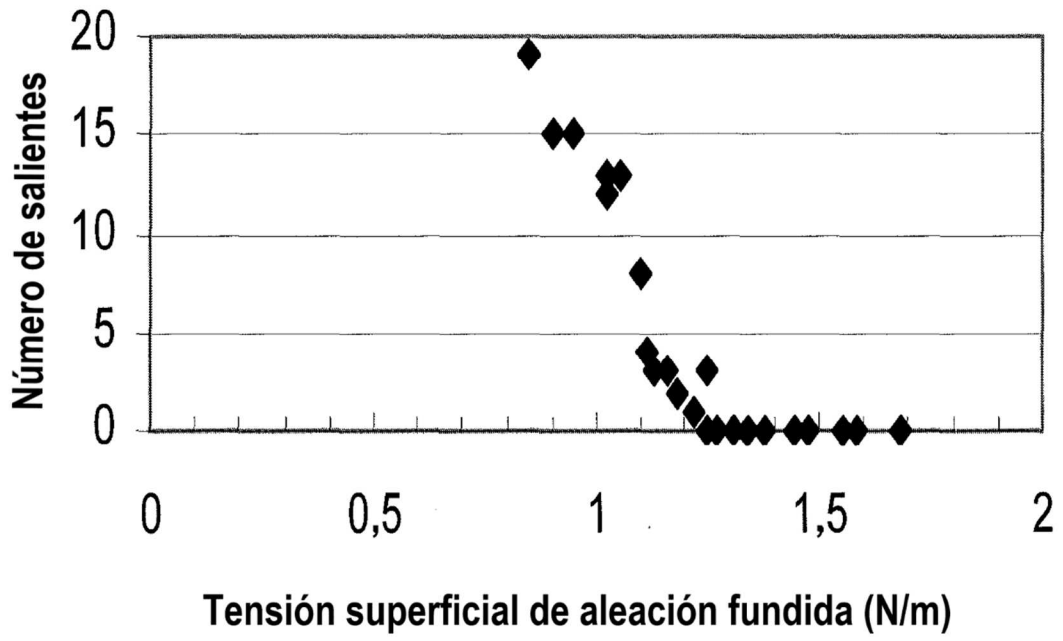


FIG. 6

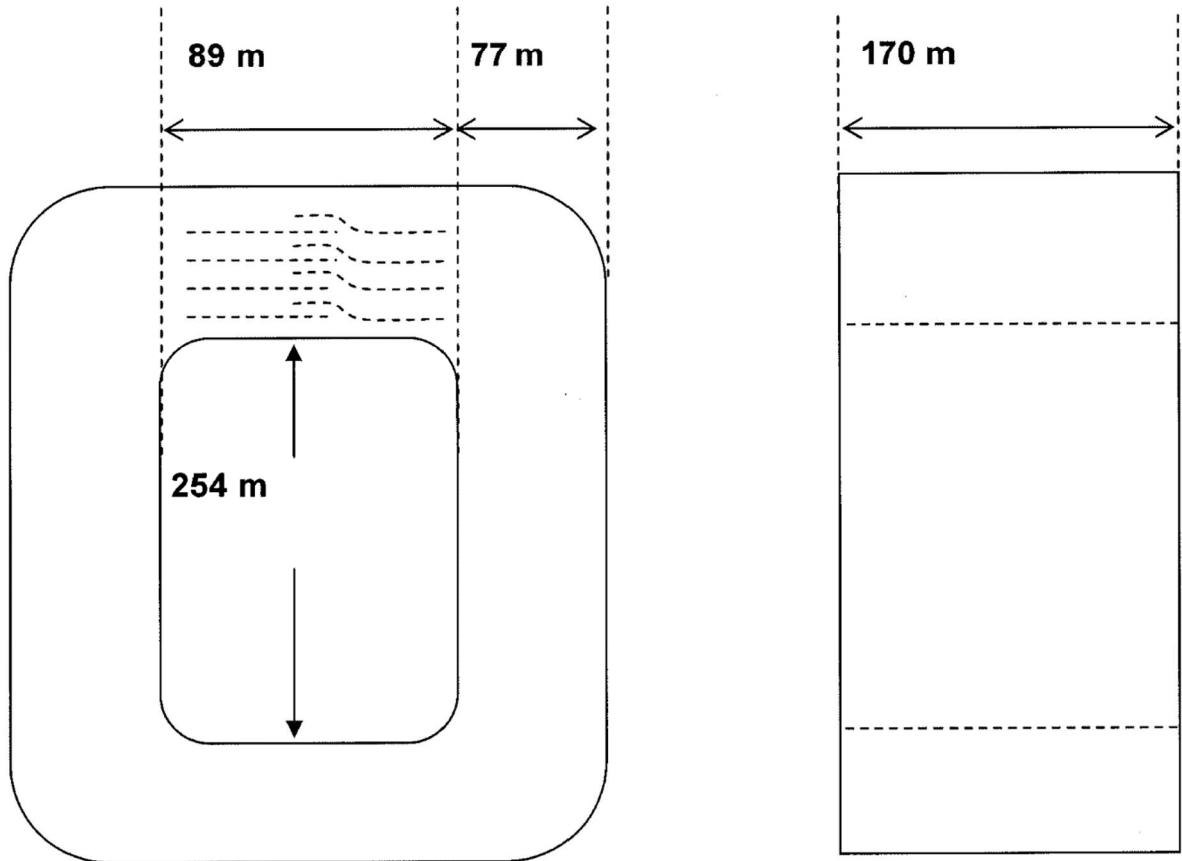


FIG. 7

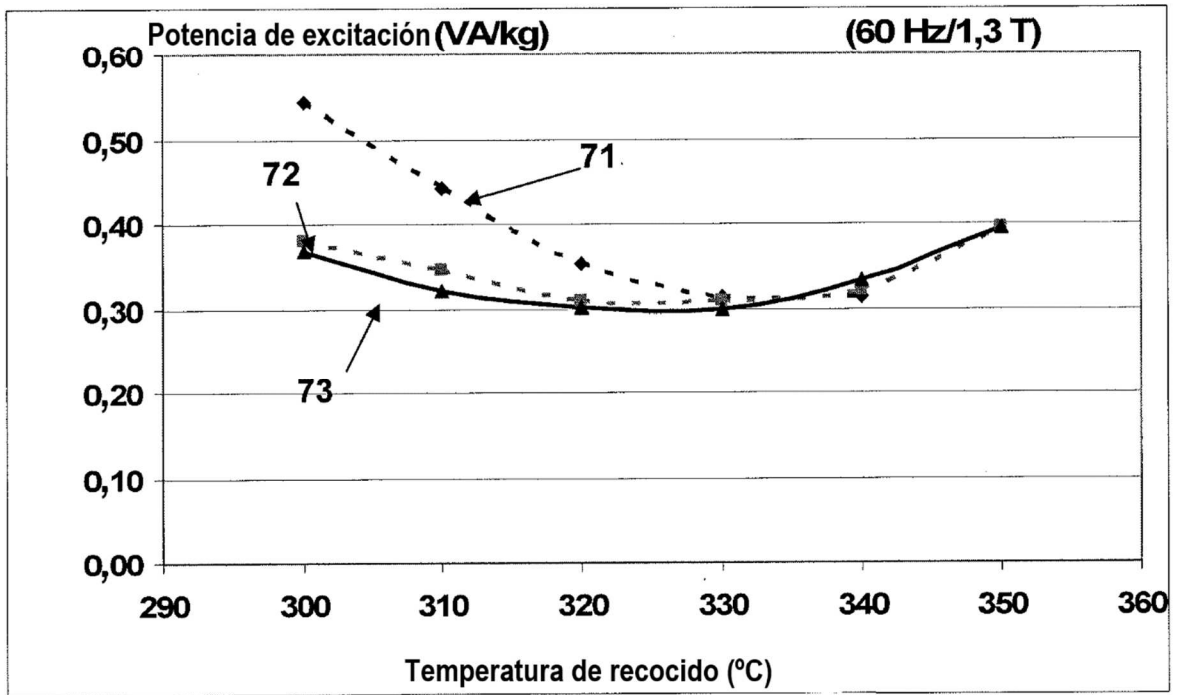


FIG. 8

