

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 371 754**

51 Int. Cl.:
H01F 1/153 (2006.01)
H01F 3/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **05003335 .6**
96 Fecha de presentación: **16.02.2005**
97 Número de publicación de la solicitud: **1615241**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **11.01.2006**

54 Título: **BANDA DE ALEACIÓN AMORFA A BASE DE Fe.**

30 Prioridad:
05.07.2004 JP 2004198196
11.01.2005 JP 2005003882

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
09.01.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
09.01.2012

73 Titular/es:
HITACHI METALS, LTD.
2-1, SHIBAURA 1-CHOME
MINATO-KU, TOKYO 105-8614

72 Inventor/es:
Ogawa, Yuichi;
Naoe, Masamu y
Yoshizawa, Yoshihito

74 Agente: **Jorda Petersen, Santiago**

ES 2 371 754 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

Banda de aleación amorfa a base de Fe.

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a una banda de aleación amorfa a base de Fe que presenta una alta densidad de flujo magnético y una baja pérdida en el núcleo, y que es adecuada para núcleos magnéticos de transformadores, motores, bobinas de generadores y de choque, sensores magnéticos, etc.

10

Antecedentes de la invención

Las bandas de aleación amorfa a base de Fe han atraído mucha atención en el campo de los núcleos magnéticos de los transformadores, debido a sus excelentes propiedades magnéticas blandas, particularmente su baja pérdida en el núcleo. En particular, en los núcleos magnéticos de los transformadores, se utilizan bandas de aleación amorfa de Fe-Si-B de altas densidades de flujo magnético de saturación B_S y excelente estabilidad térmica. No obstante, las bandas de aleación amorfa a base de Fe son más débiles que las placas de acero al silicio que se utilizan mayoritariamente hoy en día en los núcleos magnéticos de los transformadores en densidad de flujo magnético de saturación. Por lo tanto, se han dedicado esfuerzos para proveer bandas de aleación amorfa a base de Fe de altas densidades de flujo magnético de saturación. Para aumentar la densidad de flujo magnético de saturación, se han realizado varios intentos, en los que la cantidad de Fe que contribuye a la magnetización se incrementa, la disminución de la estabilidad térmica debida al aumento de la cantidad de Fe se compensa incorporando Sn, S, etc. y se añade C.

15

20

25

En el documento JP 5-140703 A, se da a conocer una aleación amorfa de Fe-Si-B-C-Sn que presenta una alta densidad de flujo magnético de saturación, en la que el Sn sirve para hacer que la aleación de alto contenido en Fe se vuelva amorfa. En el documento JP 2002-285304 A, se da a conocer una aleación amorfa de Fe-Si-B-C-P que presenta una alta densidad de flujo magnético de saturación, en la que el P sirve para hacer que la aleación que presenta un contenido en Fe drásticamente incrementado se vuelva amorfa.

30

Es importante que los núcleos magnéticos reales presenten una alta densidad de flujo magnético en un campo magnético bajo, es decir, una alta relación de rectangularidad B_{80}/B_S , en la que B_{80} representa la densidad de flujo magnético en un campo magnético de 80 A/m. En la práctica, lo que es importante para los núcleos magnéticos de los transformadores es que los transformadores se utilicen a una alta densidad de flujo magnético. La densidad de flujo magnético de funcionamiento viene determinada por la relación entre la densidad de flujo magnético y la pérdida en el núcleo, y debe ser inferior a la densidad de flujo magnético a partir de la cual la pérdida en el núcleo aumenta drásticamente. Incluso con la misma densidad de flujo magnético de saturación, las bandas de aleación amorfa a base de Fe de baja B_{80}/B_S tendrán mayores pérdidas en el núcleo a altas densidades de flujo magnético de funcionamiento. Dicho de otro modo, las bandas de aleación amorfa a base de Fe que tienen mayores B_{80} y menores pérdidas en el núcleo en zonas de alta densidad de flujo magnético se pueden utilizar a densidades de flujo magnético de funcionamiento más altas. Sin embargo, las bandas de aleación amorfa a base de Fe que tienen una B_{80} superior a 1,55 T no se producen a escala industrial en la actualidad. Esto está motivado por la imposibilidad de producir a escala industrial y de manera estable bandas de aleación que presenten altas densidades de flujo magnético de saturación que contengan un porcentaje atómico de Fe superior a 81, debido a la cristalización superficial y la reducción de la estabilidad térmica. Para resolver estos problemas, se han llevado a cabo intentos de mejorar la cristalización superficial y la estabilidad térmica añadiendo Sn, S, etc. Aunque estos medios pueden mejorar las propiedades de la aleación, las bandas resultantes son frágiles, y las bandas que contienen aditivos distribuidos uniformemente no pueden producirse de forma continua. Por estas razones, dichas bandas de aleación amorfa no pueden producirse a escala industrial. Aunque es posible producir en serie aleaciones con C que presentan un contenido en Fe de porcentaje atómico 81, éstas tienen una B_{80} de 1,55 T o inferior. Además, la fragilidad, la cristalización superficial y la disminución de la estabilidad térmica constituyen graves problemas para las bandas de aleación amorfa a base de Fe que contienen un porcentaje atómico de Fe de 81 o superior. A pesar de que la adición de C y P puede mejorar las densidades de flujo magnético de saturación, las bandas resultantes son tan frágiles que no pueden convertirse fácilmente en transformadores.

35

40

45

50

55

Como se ha descrito anteriormente, a pesar del esfuerzo por mejorar las densidades de flujo magnético de saturación de las bandas de aleación amorfa a base de Fe, hasta ahora no se ha conseguido producir de forma estable bandas de aleación amorfa a base de Fe que presenten una B_{80} de 1,55 T o superior y pérdidas en el núcleo $W_{14/50}$ de 0,28 W/kg o inferiores medidas en núcleos toroidales, debido a la fragilidad, la cristalización superficial y la reducción de la relación de rectangularidad, etc.

60

En el documento US-A-5.871.593, se da a conocer una banda de aleación amorfa a base de Fe de conformidad con el preámbulo de la presente reivindicación 1.

Objetivo de la invención

En consecuencia, uno de los objetivos de la presente invención es proporcionar una banda de aleación amorfa a base de Fe que tenga una alta densidad de flujo magnético de saturación y una baja pérdida en el núcleo, que esté dotada de una alta B_{80}/B_S y excelente estabilidad térmica y que no sea frágil, controlando la relación entre los pesos del Si y el C y la rugosidad de la superficie de contacto con el rodillo, y controlando el rango y el pico de la capa de C separada de la superficie libre y la superficie de contacto con el rodillo mediante la cantidad de gas soplado sobre un rodillo.

10 Sumario de la invención

El objetivo se alcanza mediante la banda definida en la reivindicación independiente 1.

Según una forma de realización, la banda de aleación amorfa a base de Fe presenta una composición que comprende $Fe_aSi_bB_cC_d$ e impurezas inevitables, en la que a es un porcentaje atómico de 76 a 83,5, b es un porcentaje atómico de 12 o inferior, c es un porcentaje atómico de 8 a 18 y d es un porcentaje atómico de 0,01 a 3, presentando la distribución de la concentración de C, medida radialmente desde ambas superficies hasta el interior de la banda de aleación amorfa a base de Fe, un pico de una profundidad comprendida entre 2 y 20 nm. Es decir, hay una capa de C separada a una profundidad de 2 a 20 nm tanto desde la superficie libre como desde la superficie de contacto con el rodillo de la banda de aleación a base de Fe.

Las reivindicaciones dependientes se refieren a modificaciones preferidas.

Preferentemente, a es un porcentaje atómico de 80 a 83, b es un porcentaje atómico de 0,1 a 5, c es un porcentaje atómico de 12 a 18 y d es un porcentaje atómico de 0,01 a 3, y a , b y d cumplen la condición $b \leq (0,5 \times a - 36) \times d^{1/3}$, de tal forma que la banda de aleación amorfa a base de Fe tiene una densidad de flujo magnético de saturación B_S de 1,6 T o más y una densidad de flujo magnético B_{80} de 1.55 T o más después del recocido.

Un núcleo toroidal recocido constituido por la banda de aleación amorfa a base de Fe según una forma de realización de la presente invención presenta preferentemente una pérdida en el núcleo $W_{14/50}$ de 0,28 W/kg o menos, a una densidad de flujo magnético de 1,4 T y una frecuencia de 50 Hz.

La banda de aleación amorfa a base de Fe según otra forma de realización de la presente invención presenta preferentemente una carga de rotura ϵ de 0,02 o superior después del recocido. La carga de rotura ϵ se calcula mediante la ecuación $\epsilon = t/(2r - t)$, en la que t representa el grosor de la banda y r representa el radio de rotura de la banda en un ensayo de flexión. Como se representa en la figura. 6, el ensayo de flexión se realiza colocando una banda de aleación doblada 10 entre un par de placas paralelas 20, 21, manteniendo paralelas las dos partes de la banda de aleación 10 (180°), y bajando la placa superior 20 horizontalmente para doblar gradualmente la banda de aleación 10 hasta formar un ángulo más pequeño, y midiendo la distancia $D (= 2r)$ entre las dos placas 20, 21 en el momento en que la banda de aleación 10 se rompe (indicado por 12). Si la banda de aleación se puede doblar hasta 180°, entonces $\epsilon = 1$.

La banda de aleación amorfa a base de Fe puede fabricarse soplando una cantidad predeterminada de gas de CO o CO₂ sobre un rodillo durante el moldeo, de tal forma que la superficie de contacto con el rodillo de la banda de aleación amorfa a base de Fe presenta una rugosidad superficial media R_a de 0,6 μm o inferior. La rugosidad superficial media R_a se determina calculando la media aritmética de cinco datos de rugosidad superficial obtenidos mediante un perfilómetro de superficie.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una vista esquemática que representa la profundidad de una capa de C separada que puede variar con la cantidad de gas soplado;

la figura 2 es un gráfico que representa la relación entre la relajación de la tensión y la carga de rotura y las concentraciones de C y Si;

la figura 3 es una vista esquemática que representa el procedimiento de medición del índice de relajación de la tensión;

la figura 4 es un gráfico que representa las relaciones entre las concentraciones de los elementos y la profundidad desde la superficie de contacto con el rodillo de la muestra 1;

la figura 5 es un gráfico que representa las relaciones entre las concentraciones de los elementos y la profundidad desde la superficie de contacto con el rodillo de la muestra 8; y

la figura 6 es una vista esquemática que representa el procedimiento de medición de la carga de rotura.

Descripción detallada de las formas de realización preferidas

La cantidad *a* de Fe es un porcentaje atómico de 76 a 83,5. Cuando la cantidad de Fe es inferior a un porcentaje atómico de 76, la banda de aleación amorfa a base de Fe no presenta una densidad de flujo magnético de saturación B_S suficiente para los núcleos magnéticos. Por otro lado, cuando esta cantidad supera el porcentaje atómico de 83,5, la banda de aleación amorfa a base de Fe presenta una estabilidad térmica tan reducida que no puede producirse de forma estable. Para obtener una densidad de flujo magnético de saturación alta, el porcentaje atómico de *a* es preferentemente de 80 a 83. Un porcentaje atómico de 50 o inferior de Fe puede sustituirse por Co y/o Ni. Para obtener una densidad de flujo magnético de saturación alta, la cantidad que se sustituye es preferentemente un porcentaje atómico de 40 o inferior para el Co y un porcentaje atómico de 10 o inferior para el Ni.

El Si es un elemento que contribuye a hacer que la aleación se vuelva amorfa. Para mejorar la densidad de flujo magnético de saturación B_S , la cantidad *b* de Si es un porcentaje atómico de 12 o inferior. Para obtener una densidad de flujo magnético de saturación B_S más alta, el porcentaje atómico de *b* es preferentemente de 0,1 a 5.

El B es el elemento que contribuye más a hacer que la aleación se vuelva amorfa. La cantidad *c* de B es un porcentaje atómico de 8 a 18. Cuando la cantidad *c* de B es inferior a un porcentaje atómico de 8, la banda de aleación amorfa a base de Fe resultante tiene una estabilidad térmica reducida. Por otro lado, aunque el porcentaje atómico sea superior a 18, no se consigue que la aleación se vuelva más amorfa. Para dotar la banda de aleación amorfa a base de Fe de una densidad de flujo magnético de saturación B_S y una estabilidad térmica elevadas, la cantidad *c* de B es preferentemente un porcentaje atómico de 12 a 18.

El C es un elemento eficaz para mejorar la relación de rectangularidad y la densidad de flujo magnético de saturación B_S . La cantidad *d* de C es un porcentaje atómico de 0,01 a 3. Cuando *d* es inferior a un porcentaje atómico de 0,01, no pueden obtenerse suficientes efectos. Por otro lado, cuando *d* supera el porcentaje atómico de 3, la banda de aleación amorfa a base de Fe resultante experimenta fragilidad y disminución de la estabilidad térmica. La cantidad *d* de C es preferentemente un porcentaje atómico de 0,05 a 3.

La aleación puede contener un porcentaje atómico de 0,01 a 5 de por lo menos uno de los elementos seleccionados de entre el grupo constituido por Cr, Mo, Zr, Hf y Nb, y un porcentaje atómico de 0,5 o inferior de por lo menos una impureza inevitable seleccionada de entre el grupo constituido por Mn, S, P, Sn, Cu, Al y Ti.

La presente invención ha resuelto los problemas de fragilidad, cristalización superficial y disminución de la relación de rectangularidad, causados por el aumento de la densidad de flujo magnético de saturación B_S en la banda de aleación amorfa a base de Fe. La densidad de flujo magnético de saturación B_S de la banda de aleación amorfa a base de Fe puede incrementarse mediante diversos procedimientos. No obstante, cuando se utiliza en los núcleos magnéticos de los transformadores, etc., los problemas de relación de rectangularidad, fragilidad, cristalización superficial, etc. deben resolverse por completo.

La adición de C conduce a un incremento de la densidad de flujo magnético de saturación B_S , la fluidez de fusión y la humectabilidad mediante rodillo. Sin embargo, se genera una capa de C separada, que da lugar a fragilidad e inestabilidad térmica y, por lo tanto, a una mayor pérdida en el núcleo a altas densidades de flujo magnético. En consecuencia, el C no se añade intencionadamente en las aplicaciones prácticas. Como resultado de la investigación sobre la dependencia de la distribución de C cerca de la superficie respecto de la cantidad de C añadido, se ha comprobado que el control de la relación entre los pesos del C y el Si y el rango y el pico de la capa de C separada permite dotar la banda de aleación amorfa a base de Fe de una alta B_{80}/B_S , una baja pérdida en el núcleo y una fragilidad y una inestabilidad térmica reducidas.

La formación de una capa de C separada causa la relajación de la tensión cerca de la superficie a bajas temperaturas, lo cual resulta particularmente eficaz cuando la banda de aleación amorfa a base de Fe se enrolla en un núcleo toroidal. Un alto índice de relajación de la tensión da por resultado una alta B_{80}/B_S y, por consiguiente, una pérdida en el núcleo reducida a altas densidades de flujo magnético. Es importante que dichos efectos puedan obtenerse cuando el pico de concentración de C se encuentra en un rango controlado de una superficie.

Si la rugosidad de la superficie es elevada debido a burbujas de aire, etc., la capa de óxido tiene un grosor desigual, con lo cual la capa de C separada presenta una profundidad y un rango desiguales. Esto determina que la relajación de la tensión sea desigual y que se generen algunas partes frágiles. En la capa de C separada que presenta una menor conductividad térmica debido a la rugosidad superficial, la cristalización superficial se acelera, dando por resultado una disminución de la B_{80}/B_S . En consecuencia, es importante controlar la rugosidad superficial y formar la capa de C separada de la superficie en un rango de profundidades uniforme. Con este propósito, resulta eficaz soplar un gas de CO o CO₂ con un caudal predeterminado sobre una masa fundida de aleación lanzado sobre un rodillo durante el moldeo.

El caudal del gas debe controlarse de tal manera que la capa de C separada se forme en un rango de 2 a 20 nm de la superficie. La figura 1 representa esquemáticamente la relación entre la cantidad y la presión de liberación del gas

soplado sobre el rodillo y el rango de la capa de C separada. Cuando se cambia la presión de liberación del gas para ajustar la anchura de la banda de aleación amorfa a base de Fe, también se cambia la cantidad óptima del gas soplado. En consecuencia, la cantidad de gas soplado debe determinarse en relación con el rango de la capa de C separada. Cuando se sopla una cantidad demasiado pequeña de un gas, la banda de aleación amorfa a base de Fe que se obtiene no presenta una rugosidad superficial suficientemente reducida, lo cual determina que la capa de C separada se desplace hacia el interior y presente un grosor desigual. Por otro lado, el exceso de gas afecta al movimiento de la masa fundida de aleación, generando de ese modo una capa de C separada con un grosor desigual y un desplazamiento hacia el interior debido al efecto del gas, así como una banda con bordes defectuosos, etc. Por lo tanto, es importante que la cantidad de gas soplado sea la óptima. El control de la cantidad de gas soplado reduce drásticamente la rugosidad superficial, obteniéndose de ese modo una capa de C separada de rango uniforme y, por lo tanto, una banda de aleación amorfa a base de Fe con un índice de relajación de la tensión y una relación de rectangularidad B_{80}/B_S más adecuados, así como núcleos toroidales con pérdidas reducidas y sin cristalización superficial ni fragilidad. Esto permite que los efectos de la adición de C se manifiesten suficientemente.

Se obtienen mejores resultados controlando las condiciones de la superficie y la relación entre los pesos del Si y el C. Generalmente, se obtienen mayores efectos cuando la relación b/d es pequeña, aunque estos dependen de la cantidad de C. La figura 2 representa la relación entre las cantidades de C y Si y el índice de relajación de la tensión y la tensión máxima (carga de rotura). En la banda de aleación amorfa a base de Fe que contiene un porcentaje atómico de Fe de 82, el índice de relajación de la tensión obtenido es del 90% o superior cuando $b \leq 5 \times d^{1/3}$. La razón que motiva lo anterior es que la capa de C separada presenta un pico alto cuando la cantidad de Si se reduce con la misma cantidad de C. Por lo tanto, el control de la relación entre los pesos del Si y el C para ajustar el pico de la concentración de C puede cambiar el índice de relajación de la tensión. Cuando d es igual a un porcentaje atómico de 3 o inferior, la banda de aleación amorfa a base de Fe presenta un índice de relajación de la tensión y una densidad de flujo magnético de saturación elevados, lo que la hace más adecuada para los núcleos magnéticos de los transformadores. Además, puede suprimirse la fragilidad, la cristalización superficial y la disminución de la estabilidad térmica, resultantes de la adición de una gran cantidad de C.

A continuación, se describe la presente invención de forma más detallada, haciendo referencia a los ejemplos siguientes que no tienen por finalidad limitar la presente invención.

Ejemplo 1

Se funden 200 g de una aleación que tiene una composición de $Fe_{82}Si_2B_{14}C_2$ en un horno de alta frecuencia, y se lanzan a través de una tobera del horno sobre un rodillo de cobre que gira a una velocidad de 25 a 30 m/s mientras se sopla gas de CO_2 desde la parte trasera de la tobera, para formar bandas de aleación amorfa a base de Fe que tienen anchuras diferentes de 5 mm, 10 mm y 20 mm, respectivamente, y un grosor de 23 a 25 μm . Cada una de las bandas de aleación amorfa a base de Fe presenta una capa de C separada a una profundidad de entre 2 y 20 nm de la superficie. Las bandas de aleación amorfa a base de Fe se recuecen a temperaturas que reducen al mínimo la pérdida en el núcleo, estando dichas temperaturas comprendidas dentro del rango de 300 a 400 °C. Con el caudal de soplado de gas de CO_2 cambiado, se realiza la medición con respecto a las propiedades de las bandas de aleación amorfa a base de Fe. Los resultados se representan en la tabla 1.

Se miden los valores de B_S y B_{80} en muestras de una sola placa, y se mide la pérdida en el núcleo $W_{13/50}$ a una densidad de flujo magnético de 1,3 T y una frecuencia de 50 Hz y la pérdida en el núcleo $W_{14/50}$ a una densidad de flujo magnético de 1,4 T y una frecuencia de 50 Hz en núcleos toroidales de 25 mm de diámetro externo y 20 mm de diámetro interno, que se forman mediante las bandas de aleación amorfa a base de Fe.

Como se representa en la figura 3, cada banda de aleación amorfa a base de Fe 10 cortada con una longitud de $10,5 (\pi \cdot R_0)$ cm se enrolla alrededor de un tubo de cuarzo 11 que tiene un diámetro de R_0 cm para formar una muestra de una sola placa y se recuece en las mismas condiciones indicadas anteriormente para relajar la tensión mientras se elabora un anillo. Se mide el diámetro R_1 del círculo correspondiente a la muestra en forma de C 10' que se desprende del tubo de cuarzo 11, para determinar el índice de relajación de la tensión R_s expresado mediante la fórmula: $R_s = (R_0/R_1) \times 100$ [%], como un parámetro que expresa hasta qué grado se relaja la tensión mediante el recocido (tratamiento térmico). El índice de relajación de la tensión R_s del 100% indica que la tensión se ha relajado por completo.

La carga de rotura ϵ se calcula mediante la fórmula $\epsilon = t/(2r - t)$, en la que t representa el grosor de la banda y r representa el radio de rotura en un ensayo de flexión.

La zona de la capa de C separada se define como una zona de mayor concentración de C que una zona interna que presenta una concentración uniforme de C, determinada analizando la superficie de contacto con el rodillo de cada muestra mediante un espectroscopio electrónico de Auger. El punto más alto de concentración de C en la capa de C separada se considera como un pico.

La superficie de contacto con el rodillo de la muestra 1 se somete a un análisis de elementos en la dirección de la profundidad, mediante un espectrómetro de emisión óptica por descarga luminiscente (GD-OES) comercializado por

Horiba, Ltd. Los resultados se representan en la figura 4.

Para medir la rugosidad superficial, cada banda de aleación amorfa a base de Fe se corta con una forma rectangular de 5 mm de ancho y 12 cm de longitud y se recuece de la misma manera que se ha indicado. Se calcula la media aritmética de la rugosidad superficial medida. El promedio de la rugosidad superficial Ra de las muestras 1 a 3 es de 0,35.

Tabla 1

| N.º muestra | Anchura (mm) | B ₈₀ [T] | B _s [T] | B ₈₀ /B _s (x 100%) | R _s (%) |
|-------------|--------------|---------------------|--------------------|--|--------------------|
| 1 | 5 | 1,646 | 1,669 | 98,6 | 95 |
| 2 | 10 | 1,642 | 1,665 | 98,6 | 96 |
| 3 | 20 | 1,638 | 1,663 | 98,5 | 95 |

Tabla 1 (continuación)

| N.º muestra | Carga de rotura ε | Rango de capa de C separada (nm) | Pico de concentración de C (% atómico) | W _{13/50} (W/kg) | W _{14/50} (W/kg) |
|-------------|-------------------|----------------------------------|--|---------------------------|---------------------------|
| 1 | 0,048 | 5-16 | 3,2 | 0,152 | 0,227 |
| 2 | 0,030 | 5-16 | 3,0 | 0,159 | 0,239 |
| 3 | 0,025 | 6-18 | 2,8 | 0,157 | 0,247 |

Ejemplo comparativo 1

Se lanza por la tobera la misma masa fundida de aleación que la del ejemplo 1 en las mismas condiciones que las del ejemplo 1, excepto por la cantidad de gas de CO₂ soplado, que se reduce, para formar bandas de aleación amorfa a base de Fe que presentan distintas anchuras de 5 mm, 10 mm y 20 mm, respectivamente, y un grosor de 23 a 25 μm. Las bandas de aleación amorfa a base de Fe resultantes (muestras 4 a 6) presentan capas de C separadas que sobrepasan el rango de profundidades de 2 a 20 nm. Las propiedades de las muestras 4 a 6 se representan en la tabla 2. Las muestras 4 a 6 tienen una rugosidad superficial media Ra de 0,78. Aunque las muestras 4 a 6 son comparables a las muestras 1 a 3 en cuanto a W_{13/50}, la W_{14/50} de las muestras 4 a 6 supera a la de las muestras 1 a 3 en una cantidad de hasta 0,05 W/kg o superior. Además, la carga de rotura ε de las muestras 4 a 6 es inferior a la de las muestras 1 a 3. Debido a la rugosidad superficial, las capas de C separadas de las muestras 4 a 6 no son uniformes, con el consiguiente deterioro de las propiedades.

Tabla 2

| N.º muestra | Anchura (mm) | B ₈₀ [T] | B _s [T] | B ₈₀ /B _s (x 100%) | R _s (%) |
|-------------|--------------|---------------------|--------------------|--|--------------------|
| 4 | 5 | 1,605 | 1,661 | 96,6 | 92 |
| 5 | 10 | 1,597 | 1,658 | 96,3 | 89 |
| 6 | 20 | 1,598 | 1,659 | 96,3 | 90 |

Tabla 2 (continuación)

| N.º muestra | Carga de rotura ϵ | Rango de capa de C separada (nm) | Pico de concentración de C (% atómico) | $W_{13/50}$ (W/kg) | $W_{14/50}$ (W/kg) |
|-------------|----------------------------|----------------------------------|--|--------------------|--------------------|
| 4 | 0,034 | 7-23 | 2,6 | 0,162 | 0,293 |
| 5 | 0,019 | 7-24 | 2,3 | 0,168 | 0,325 |
| 6 | 0,017 | 8-24 | 2,4 | 0,166 | 0,319 |

5 **Ejemplo 2**

Se templen rápidamente 200 g de masa fundida de aleación con las composiciones representadas en la tabla 3 de la misma manera que en el ejemplo 1, para formar bandas de aleación amorfa a base de Fe de 5 mm de ancho y 23 a 25 μm de grosor. Las propiedades de cada banda de aleación amorfa a base de Fe se representan en la tabla 3. Las bandas de aleación amorfa a base de Fe que presentan una alta B_{80} pueden mantener baja la pérdida en el núcleo a altas densidades de flujo magnético de funcionamiento. La muestra 8 se somete a un análisis de elementos en la dirección de la profundidad desde su superficie de contacto con el rodillo. Los resultados se representan en la figura 5. El promedio de la rugosidad superficial R_a de las muestras 7 a 22 es de 0,38.

15

Tabla 3

| N.º muestra | Composición | | | | | | B_{80} [T] | B_s [T] | B_{80}/B_s (x 100%) |
|-------------|-------------|-----|-----|------|------|------|--------------|-----------|-----------------------|
| | Fe | Co | Ni | Si | B | C | | | |
| 7 | 78,0 | - | - | 11,0 | 12,9 | 0,1 | 1,461 | 1,550 | 94,3 |
| 8 | 80,0 | - | - | 9,0 | 10,9 | 0,1 | 1,485 | 1,570 | 94,6 |
| 9 | 81,0 | - | - | 5,0 | 13,0 | 1,0 | 1,598 | 1,619 | 98,7 |
| 10 | 82,0 | - | - | 2,0 | 16,0 | 0,05 | 1,609 | 1,632 | 98,6 |
| 11 | 82,0 | - | - | 0,1 | 17,8 | 0,1 | 1,625 | 1,655 | 98,2 |
| 12 | 82,0 | - | - | 1,0 | 16,9 | 0,1 | 1,635 | 1,665 | 98,2 |
| 13 | 82,0 | - | - | 2,0 | 15,9 | 0,1 | 1,615 | 1,643 | 98,3 |
| 14 | 82,0 | - | - | 1,0 | 16,0 | 1,0 | 1,640 | 1,661 | 98,7 |
| 15 | 82,0 | - | - | 3,0 | 14,0 | 1,0 | 1,638 | 1,659 | 98,7 |
| 16 | 82,0 | - | - | 4,0 | 13,0 | 1,0 | 1,614 | 1,656 | 97,5 |
| 17 | 82,0 | - | - | 0,1 | 15,9 | 2,0 | 1,639 | 1,666 | 98,4 |
| 18 | 82,0 | - | - | 4,0 | 12,0 | 2,0 | 1,618 | 1,658 | 97,6 |
| 19 | 82,0 | - | - | 5,0 | 10,0 | 3,0 | 1,601 | 1,641 | 97,6 |
| 20 | 82,0 | - | - | 6,0 | 10,0 | 2,0 | 1,600 | 1,631 | 98,1 |
| 21 | 82,0 | - | - | 6,0 | 11,0 | 1,0 | 1,597 | 1,632 | 97,9 |
| 22 | 83,0 | - | - | 3,0 | 13,0 | 1,0 | 1,600 | 1,629 | 98,2 |
| 23 | 80,0 | 2,0 | - | 2,0 | 16,0 | 0,1 | 1,656 | 1,689 | 98,0 |
| 24 | 80,0 | - | 2,0 | 2,0 | 16,0 | 0,1 | 1,633 | 1,665 | 98,1 |

Tabla 3 (continuación)

| N.º muestra | Rs (%) | Carga de rotura ϵ | Rango de capa de C separada (nm) | Pico de concentración de C (% atómico) | W _{13/50} (W/kg) | W _{14/50} (W/kg) |
|-------------|--------|----------------------------|----------------------------------|--|---------------------------|---------------------------|
| 7 | 82 | 0,020 | 6-19 | 0,6 | 0,165 | 0,297 |
| 8 | 86 | 0,021 | 6-19 | 0,7 | 0,170 | 0,289 |
| 9 | 89 | 0,040 | 7-15 | 1,3 | 0,176 | 0,279 |
| 10 | 91 | 0,030 | 5-15 | 0,8 | 0,171 | 0,260 |
| 11 | 92 | 0,048 | 6-19 | 1,3 | 0,177 | 0,252 |
| 12 | 92 | 0,030 | 7-18 | 1,0 | 0,167 | 0,242 |
| 13 | 90 | 0,048 | 5-17 | 0,9 | 0,175 | 0,272 |
| 14 | 94 | 0,041 | 7-16 | 1,8 | 0,163 | 0,238 |
| 15 | 90 | 0,030 | 7-15 | 1,6 | 0,166 | 0,241 |
| 16 | 91 | 0,034 | 8-16 | 1,4 | 0,178 | 0,257 |
| 17 | 95 | 0,026 | 6-17 | 3,5 | 0,158 | 0,233 |
| 18 | 92 | 0,068 | 6-17 | 3,0 | 0,177 | 0,252 |
| 19 | 91 | 0,024 | 7-15 | 3,8 | 0,169 | 0,268 |
| 20 | 90 | 0,031 | 6-16 | 2,8 | 0,179 | 0,292 |
| 21 | 85 | 0,026 | 7-14 | 1,4 | 0,172 | 0,299 |
| 22 | 88 | 0,048 | 7-16 | 1,6 | 0,170 | 0,259 |
| 23 | 91 | 0,029 | 6-18 | 1,0 | 0,179 | 0,229 |
| 24 | 91 | 0,027 | 6-17 | 0,8 | 0,177 | 0,234 |

5

Ejemplo comparativo 2

Se forman bandas de aleación amorfa a base de Fe que presentan las composiciones indicadas en la tabla 4, de la misma forma que en el ejemplo 1. Las propiedades de estas se representan en la tabla 4. Las bandas de aleación amorfa a base de Fe que contienen C en un porcentaje atómico de 4 presentan una gran fragilidad y una estabilidad térmica y una relación de rectangularidad bajas a pesar de los altos índices de relajación de la tensión. Además, las bandas que contienen una gran cantidad de Si presentan un índice de relajación de la tensión y una densidad de flujo magnético de saturación bajos, hecho que causa una gran pérdida en el núcleo a altas densidades operativas de flujo magnético.

10

15

Tabla 4

| N.º muestra | Composición | | | | B ₈₀ [T] | B _s [T] | B ₈₀ /B _s (x 100%) |
|-------------|-------------|-----|------|-----|---------------------|--------------------|--|
| | Fe | Si | B | C | | | |
| 25 | 82,0 | 0,1 | 13,9 | 4,0 | 1,600 | 1,661 | 96,3 |
| 26 | 82,0 | 4,0 | 10,0 | 4,0 | 1,572 | 1,629 | 96,5 |
| 27 | 84,0 | 1,0 | 14,0 | 1,0 | 1,579 | 1,619 | 97,5 |
| 28 | 84,0 | 5,0 | 8,0 | 3,0 | 1,510 | 1,610 | 93,8 |

Tabla 4 (continuación)

| N.º muestra | Rs (%) | Carga de rotura ϵ | Rango de capa de C separada (nm) | Pico de concentración de C (% atómico) | W _{13/50} (W/kg) | W _{14/50} (W/kg) |
|-------------|--------|----------------------------|----------------------------------|--|---------------------------|---------------------------|
| 25 | 98 | 0,012 | 6-16 | 5,6 | 0,185 | 0,310 |
| 26 | 91 | 0,009 | 7-18 | 4,9 | 0,179 | 0,322 |
| 27 | 93 | 0,030 | 7-17 | 1,5 | 0,204 | 0,385 |
| 28 | 82 | 0,018 | 6-15 | 3,4 | 0,250 | 0,420 |

- 5 Si la relación entre los pesos de Si y C se restringe a un rango predeterminado y se reduce la rugosidad superficial, las bandas de aleación amorfa a base de Fe pueden presentar capas de C separadas con un rango y un pico controlados en la dirección de la profundidad, con lo cual la fragilidad se reduce, las densidades de flujo magnético, las relaciones de rectangularidad y la estabilidad térmica se incrementan y la pérdida en el núcleo se reduce. La capa de C separada permite la relajación de la tensión cerca de la superficie a bajas temperaturas, siendo eficaz para relajar la tensión cuando la banda se enrolla en los núcleos toroidales. Dichas bandas de aleación amorfa a base de Fe son particularmente adecuadas para los núcleos magnéticos de los transformadores.
- 10

REIVINDICACIONES

5 1. Banda de aleación amorfa a base de Fe que presenta una composición que comprende $Fe_aSi_bB_cC_d$ e impurezas inevitables, en la que

a es un porcentaje atómico de 76 a 83,5, b es un porcentaje atómico de 12 o inferior, c es un porcentaje atómico de 8 a 18 y d es un porcentaje atómico de 0,01 a 3,

10 el porcentaje atómico de 2 o inferior de Fe se sustituye opcionalmente por Co y/o Ni,

caracterizada porque la distribución de la concentración de C medida radialmente desde ambas superficies hasta el interior de dicha banda de aleación amorfa a base de Fe presenta un pico a una profundidad comprendida entre 2 y 20 nm.

15 2. Banda según la reivindicación 1, en la que

a es un porcentaje atómico de 80 a 83,

b es un porcentaje atómico de 0,1 a 5,

20 c es un porcentaje atómico de 12 a 18,

d es un porcentaje atómico de 0,01 a 3,

a, b y d cumplen la condición $b \leq (0,5 \times a - 36) \times d^{1/3}$, y

dicha banda presenta una densidad de flujo magnético de saturación de 1,6 T o superior después del recocido.

Fig. 3

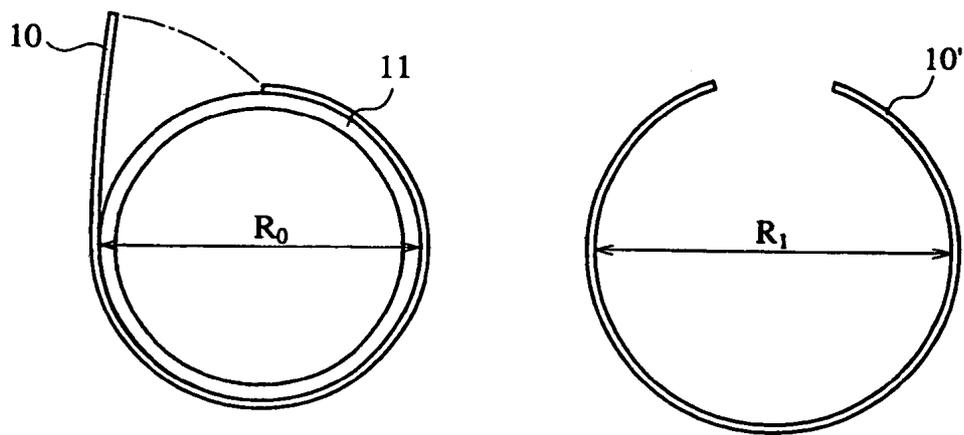


Fig. 4

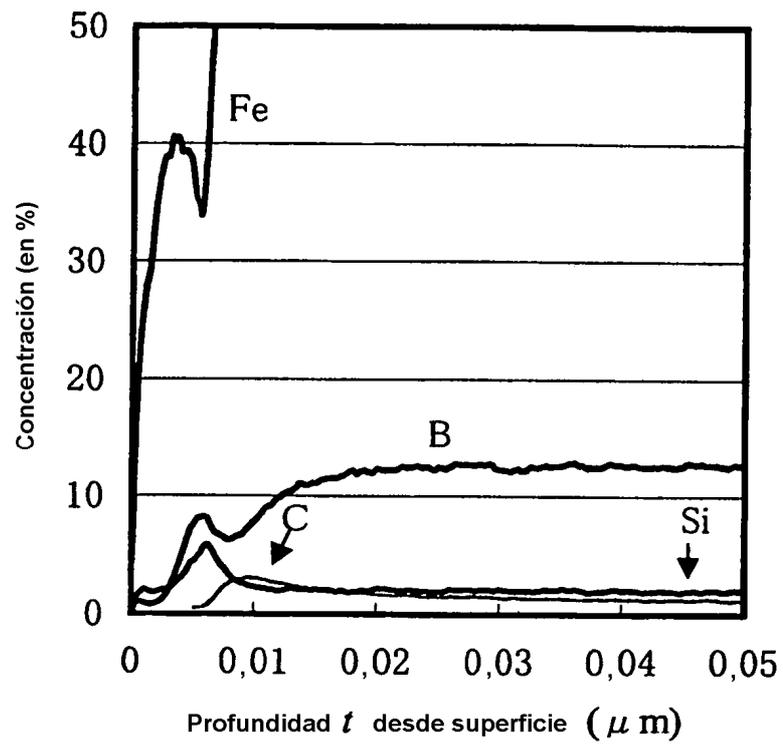


Fig. 5

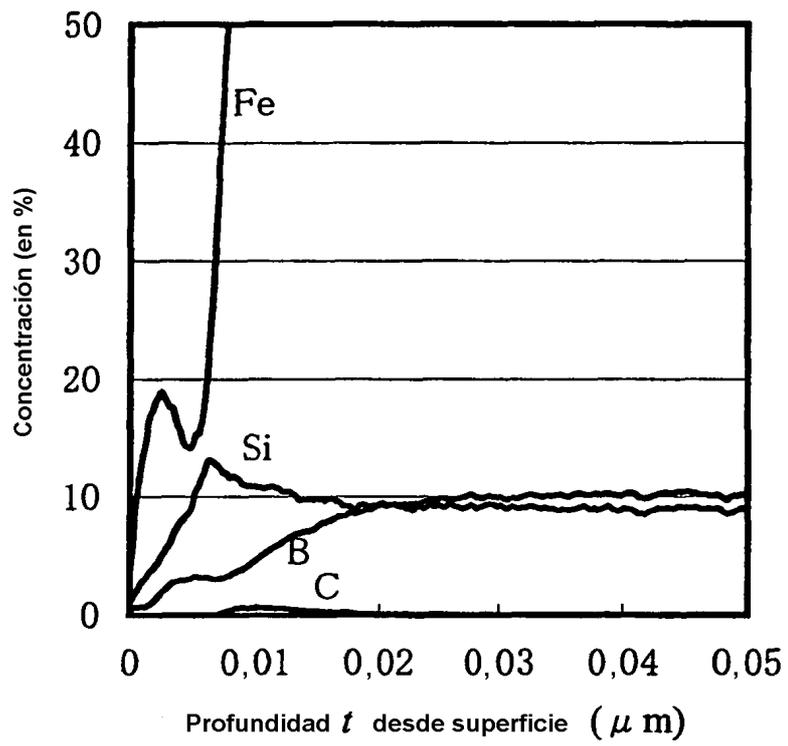


Fig. 6

