

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 620 439**

51 Int. Cl.:

C22C 1/00 (2006.01)

C22C 33/00 (2006.01)

C22C 45/02 (2006.01)

C21D 6/00 (2006.01)

H01F 1/153 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.03.2008 PCT/JP2008/053935**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.09.2008 WO08114611**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.03.2008 E 08721355 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.01.2017 EP 2128291**

54 Título: **Aleación magnética, banda de aleación amorfa, y pieza magnética**

30 Prioridad:

16.03.2007 JP 2007068868

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

28.06.2017

73 Titular/es:

**HITACHI METALS, LTD. (100.0%)
2-1, SHIBAURA 1-CHOME
MINATO-KU TOKYO 105-8614, JP**

72 Inventor/es:

**YOSHIZAWA, YOSHIHITO y
OHTA, MOTOKI**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 620 439 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

Aleación magnética, banda de aleación amorfa, y pieza magnética

Área técnica

5 La presente invención hace referencia a una aleación magnética blanda que presenta alta densidad de flujo magnético de saturación y que se utiliza para aleaciones magnéticas, en particular, diversos transformadores, diversos reactores, como medidas para la supresión de ruido, fuentes de alimentación para láser, piezas magnéticas por pulsos eléctricos para aceleradores, diversos tipos de motores, diversos tipos de generadores, etc., a una banda fina de una aleación amorfa para la producción de la aleación magnética, y a una pieza magnética que utiliza la aleación magnética.

10 Antecedentes de la técnica

Entre los ejemplos de un material magnético, que presenta alta densidad de flujo magnético de saturación y baja fuerza coercitiva y que se utiliza para diversos transformadores, diversos reactores, como medidas para la supresión de ruido, fuentes de alimentación para láser, piezas magnéticas por pulsos eléctricos para aceleradores, diversos tipos de motores, diversos tipos de generadores, etc., se incluyen un acero al silicio, ferrita, una aleación amorfa, y
15 un material de aleación nanocristalina a base de Fe.

Una lámina de acero al silicio es un material de bajo coste con alta densidad de flujo magnético, pero tiene el problema de que la pérdida del núcleo magnético es grande para su utilización en alta frecuencia. Desde el punto de vista de un método de producción, es muy difícil producir una lámina fina de acero al silicio equivalente a bandas amorfas, y, debido a que las pérdidas por corrientes de Foucault son grandes, la pérdida del núcleo es
20 desfavorablemente grande. Además, un problema que presenta el material de ferrita es que la densidad de flujo magnético de saturación es baja y las características de temperatura son deficientes; por consiguiente, la ferrita que se satura magnéticamente con facilidad, resulta desventajosa para una aplicación de alta potencia en la que la densidad de flujo magnético operativa es grande.

Una aleación amorfa a base de Co presenta el problema de que la densidad de flujo magnético de saturación baja es de 1 T o menor para un material práctico y presenta mala estabilidad térmica. Por consiguiente, cuando se utiliza la aleación amorfa a base de Co en un uso de alta potencia, existe el inconveniente de que la pieza aumenta de tamaño y la pérdida del núcleo se incrementa en el tiempo.

Más aún, una aleación magnética blanda amorfa a base de Fe, tal como la que se describe en la memoria de patente JP-A-05-140703 (párrafos Nos. 0006 a 0010), presenta excelentes características de perpendicularidad y una fuerza coercitiva baja y muestra excelentes características magnéticas blandas. Sin embargo, un sistema de aleación amorfa a base de Fe presenta un valor límite superior físico de densidad de flujo de saturación de, sustancialmente, 1,7 T. Además, un problema de las aleaciones amorfas a base de Fe es que la magnetostricción es grande y las características se deterioran por la tensión, y otro inconveniente de las mismas es que en una aplicación en las que las corrientes en el rango de frecuencias audibles se solapan, el nivel de ruido es alto. A este respecto, se ha desarrollado y utilizado en diversas aplicaciones un material magnético blando nanocristalino, tal como el descrito en la memoria JP-A-01-156451 (de la línea 19 en la columna superior derecha a la línea 6 en la columna inferior derecha en la página 2). Se conoce una aleación de FeCo como aleación amorfa que tiene una mayor densidad de flujo magnético de saturación. Sin embargo, un problema de una aleación amorfa de este tipo es que el valor límite de densidad de flujo magnético de saturación es, sustancialmente, de 1,8 T y la magnetostricción es muy grande. Se describe una tecnología tal como la descrita en la memoria JP-A-2006-40906 (párrafos Nos. 0040 a 0041), como un cuerpo formado magnético blando que presenta alta permeabilidad magnética y alta densidad de flujo magnético de saturación. Además, en un material magnético blando nanocristalino, se ha realizado un intento de añadir Co para mejorar más aún la densidad de flujo magnético de saturación. En la memoria JP-A-2006-241569 (párrafos Nos. 0016 a 0017), se describe que en una aleación de FeCoCuNbSiB se obtiene una alta densidad de flujo magnético de saturación que supera los 1,8 T.

La memoria de patente JP-A-1-290746 describe una aleación magnética blanda representada por la fórmula $(\text{Fe}_{1-a-b-c}\text{Cu}_a\text{Co}_b\text{M}'_c)_{100-d}\text{Y}_d$, en donde M' es al menos uno de los elementos del grupo IVa, Va y VIa o Mn, Ni, y Al; Y es al menos uno de los elementos Si, B, P y C; $0,005 \leq a \leq 0,005 \text{ a-}\%$; $0,01 \leq b \leq 0,7 \text{ a-}\%$; $0 \leq c \leq 0,1 \text{ a-}\%$; y $15 \leq d \leq 28 \text{ a-}\%$.

50 La memoria de patente JP-A-6-220592 describe una aleación magnética amorfa en la que Sn, Cu y S tienen el efecto de evitar la cristalización y el contenido de estos elementos está, por lo tanto, limitado. Además, la aleación es recocida a una temperatura que es inferior a la temperatura de cristalización.

Descripción de la invención

Problemas a ser resueltos por la invención

55 Entre los materiales magnéticos blandos nanocristalinos que contienen Co, se ha descrito un material magnético

blando nanocristalino que tiene una densidad de flujo magnético de saturación que supera 1,8 T. Sin embargo, en particular los inconvenientes de un material que supera 1,8 T son que la vida útil de una boquilla para preparar una banda fina es corta, y que el coste de la materia prima se vuelve más elevado debido a que la cantidad de Co es tan elevada como 25% del porcentaje atómico o más.

- 5 Un objeto de la presente invención es proporcionar, en un material magnético blando nanocristalino de FeCo, una aleación magnética blanda que presenta una alta densidad de flujo magnético de saturación de 1,85 T o más, y una prolongación de la vida útil de la boquilla, y que facilita la producción de una banda fina, una banda fina de una aleación amorfa para producir la misma, y una pieza magnética que utiliza la aleación magnética blanda.

Medios para resolver los problemas

- 10 En la presente invención, los inventores han investigado a fondo con el objeto de obtener, en una aleación de FeCo, una aleación magnética blanda que presenta una alta densidad de flujo magnético de saturación B_s de 1,85 T o más, que es capaz de obtener excelentes propiedades magnéticas blandas, que presenta una mayor vida útil de la boquilla y es excelente en su producción en masa. Como resultado, los inventores han observado que una aleación magnética tal como se define en la reivindicación 1 muestra excelentes características, concretamente la densidad de flujo magnético de saturación es de 1,85 T o más y la fuerza coercitiva es de 200 A/m o menos, es amplia en cuanto a las condiciones de recocido para obtener propiedades magnéticas, es menor en la variación y es excelente en la producción en masa.

- 15 La aleación magnética definida en la reivindicación 1 preferiblemente presenta un intervalo más amplio de las condiciones de recocido para obtener propiedades magnéticas blandas. En particular, cuando X (en la fórmula de la reivindicación 1) es uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en Si y P, en particular, el intervalo de temperatura de recocido es amplio y la variación puede, preferiblemente, ser menor.

- 20 Cuando se añade Si, la temperatura a la que un compuesto en fase ferromagnética con una anisotropía magnetocristalina grande comienza a precipitar, se vuelve más elevada; por consiguiente, se permite establecer una temperatura de recocido más elevada. Cuando se aplica un recocido a una temperatura elevada, la proporción de una fase nanocristalina se incrementa para dar como resultado una B_s preferiblemente creciente. Además, la adición de Si resulta efectiva a la hora de impedir que la superficie de una muestra sea modificada y decolorada.

- 25 Para obtener una microestructura homogénea en la aleación nanocristalina magnética blanda de la presente invención, es importante que se pueda obtener una estructura que tenga una fase amorfa como fase principal en el instante temporal en el que se prepara una banda fina de una aleación mediante enfriamiento rápido de la masa fundida, después de que la materia prima se funde. En la presente invención, cuando se encuentran presentes granos finos cristalinos de nanoescala, dispersados en una banda fina de aleación amorfa preparada mediante un método de enfriamiento rápido de la masa fundida, los granos cristalinos se producen más finos y se obtiene de ese modo un resultado preferible. Posteriormente, se aplica un recocido en un intervalo de temperatura igual o mayor que la temperatura de cristalización para formar una estructura en la que los granos cristalinos de una estructura cúbica centrada en el cuerpo con un diámetro del grano cristalino de 60 nm o menos se dispersan a una fracción volumétrica del 30% o más en una fase de matriz amorfa. Cuando una fase de grano nanocristalino está presente en una fracción volumétrica del 30% o más, la densidad de flujo magnético de saturación B_s puede incrementarse más que el estado de una única fase amorfa. Además, cuando el contenido de la fase de grano nanocristalino es del 50% o más por fracción volumétrica, la B_s se incrementa adicionalmente.

- 30 La fracción volumétrica de los granos cristalinos se obtiene mediante un método de análisis lineal, es decir, se calcula una línea recta arbitraria en una estructura microscópica, línea de prueba está representada por L_t y se mide la longitud L_c de una línea ocupada por una fase cristalina, y se obtiene la relación $L_L = L_c/L_t$ de la longitud de la línea ocupada por los granos cristalinos. Aquí, el porcentaje en volumen de los granos cristalinos es $V_V = L_L$.

- 35 La cantidad de Cu (x) se establece en $1 < x \leq 3$. Cuando la cantidad de Cu (x) supera el 3,0%, es muy difícil obtener una banda fina con una fase amorfa como fase principal durante un enfriamiento rápido de la masa fundida, y las propiedades magnéticas blandas también se deterioran rápidamente. Por otro lado, cuando la cantidad de Cu (x) es 1% o menor, el intervalo de las condiciones de recocido apropiadas se vuelve más restringido y la fuerza coercitiva se incrementa para reducir desfavorablemente las propiedades magnéticas blandas. La cantidad de Cu es preferiblemente $1 < x \leq 2$. La cantidad de B (y) se establece en $10 \leq y \leq 20$. Cuando la cantidad de B es menor del 10%, se vuelve muy difícil obtener una banda fina con una fase amorfa como fase principal. Por otro lado, cuando la cantidad de B (y) supera 20%, la densidad de flujo magnético de saturación se deteriora desfavorablemente. Las cantidades de Cu (x) y B (y) son preferiblemente $1,2 < x \leq 1,8$ y $12 \leq y \leq 17$, respectivamente y más preferiblemente $1,2 \leq x \leq 1,6$ y $14 \leq y \leq 17$, respectivamente. Cuando la cantidad de Cu y la cantidad de B se establecen en dichos intervalos, en particular, las propiedades magnéticas blandas se vuelven excelentes, la producción se realiza de forma más sencilla, y puede reducirse la variación en las características causada por el recocido.

- 40 En la presente invención, en el caso en el que, antes del recocido, una aleación no incluye una fase amorfa y está hecha únicamente de fase cristalina, no se obtiene una fuerza coercitiva baja. Sin embargo, en el caso de una estructura en la que los granos cristalinos de nanoescala se dispersan menos de 30% en fase amorfa, se obtiene

una fuerza coercitiva baja incluso después del recocido. B es un elemento indispensable para fomentar la formación de una fase amorfa, y Si, S, C, P, Al, Ge, y Ga contribuyen a mejorar la capacidad de formación de una fase amorfa. La concentración de B (y) es $10 \leq y \leq 20$, y esta se encuentra en un intervalo de la composición que permite obtener de manera estable una fase amorfa que cumple con la restricción en la cantidad de Fe.

- 5 La aleación magnética puede contener Ni en una cantidad menor que 2% atómico en relación con la cantidad de Fe. La adición de Ni es efectiva a la hora de controlar la anisotropía magnética inducida y de mejorar la resistencia a la corrosión.

Además, la aleación magnética puede contener al menos un elemento seleccionado de entre Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Mn, Re, elementos del grupo del platino, Au, Ag, Zn, In, Sn, As, Sb, Bi, Y, N, O y elementos de tierras raras en menos que 1% atómico con respecto a la cantidad de Fe. La adición de elementos ayuda al crecimiento de granos cristalinos finos y contribuye a la mejora en las propiedades magnéticas blandas.

Un método de producción específico es como sigue a continuación. Es decir, una masa fundida que tiene la composición se enfría rápidamente a una velocidad de enfriamiento de 100°C/s o más mediante una técnica de enfriamiento rápido, tal como un método de un solo cilindro, para preparar una vez una aleación que tiene una fase amorfa como fase principal, y la aleación se procesa y somete a recocido a una temperatura cercana a la temperatura de cristalización para formar una estructura nanocristalina que presenta un diámetro de grano medio de 60 nm o menor. La preparación de una banda fina mediante una técnica de enfriamiento rápido, tal como un método en un único cilindro, y el recocido, se lleva a cabo en aire, o en una atmósfera de Ar, He, nitrógeno, monóxido de carbono, o dióxido de carbono, o bajo presión reducida. Cuando se aplica el recocido en un campo magnético, la anisotropía magnética inducida permite la mejora en las propiedades magnéticas blandas. En este caso, para impartir anisotropía magnética inducida, el recocido en un campo magnético se lleva a cabo aplicando un campo magnético durante un cierto periodo de tiempo durante el recocido. El campo magnético que se aplica puede ser cualquiera de entre un campo magnético de corriente continua, un campo magnético de corriente alterna y un campo magnético pulsado de forma cíclica. El recocido de un campo magnético se realiza habitualmente durante 20 min o más en una región de temperatura de 200°C o más. Cuando se aplica un campo magnético durante una subida de temperatura, al mantenerse una temperatura constante y enfriarse, se mejoran las propiedades magnéticas blandas. La aleación de la invención contiene Co y tiende a causar anisotropía magnética inducida, y las propiedades magnéticas pueden ser mejoradas mediante la variación de la forma de un bucle B-H.

El recocido puede ser realizado en aire, al vacío o en un gas inerte tal como Ar o nitrógeno. Sin embargo, se realiza de forma particularmente preferible en un gas inerte. La temperatura máxima durante el recocido es, de forma deseable, en una región de temperatura sustancialmente 70°C más elevada que la temperatura de cristalización. Cuando se fija el tiempo de mantenimiento del recocido en 1 hora o más, aunque depende de la composición, el intervalo de 350°C a 470°C es el más adecuado. El periodo de tiempo que se mantiene a una temperatura constante es habitualmente de 24 horas o menos, preferiblemente de 4 horas o menos desde el punto de vista de la producción en masa. La velocidad de calentamiento media durante el recocido es preferiblemente de 0,1°C/min a 10000°C/min, y más preferiblemente de 100 °/min o más, y de ese modo se impide que la fuerza coercitiva se incremente. El recocido puede ser realizado no en una etapa, sino en etapas múltiples o en una pluralidad de tiempos. Además, el recocido puede ser aplicado por calentamiento por efecto Joule, haciendo pasar una corriente directamente a través de una aleación o aplicando recocido bajo presión.

40 Cuando una aleación de la presente invención se prepara mediante el proceso mencionado anteriormente, se obtiene fácilmente un material magnético que presenta una densidad de flujo magnético de saturación de 1,85 T o más, y una fuerza coercitiva de 120 A/m o menos.

El recocido de una aleación de la presente invención pretende formar una estructura nanocristalina. Controlando los dos parámetros de la temperatura y el tiempo, puede controlarse la generación del núcleo y el crecimiento de granos cristalinos. Incluso un recocido bajo una temperatura elevada, cuando se realiza durante un periodo de tiempo muy corto, presenta ventajas. Estas son que se impide que los granos cristalinos crezcan, la fuerza coercitiva es menor, se mejora la densidad de flujo magnético en un campo magnético bajo y se reduce la pérdida de histéresis. Dependiendo de las propiedades magnéticas deseadas, pueden utilizarse independientemente de forma apropiada un recocido a una baja temperatura durante un periodo de tiempo largo, y un recocido a una temperatura elevada durante un periodo de tiempo corto. Sin embargo, se prefiere el recocido a una temperatura elevada durante un periodo de tiempo corto, ya que, en general, se obtienen fácilmente las propiedades magnéticas necesarias.

La temperatura de mantenimiento es preferiblemente de 430°C o más. Cuando la temperatura de mantenimiento es menor que 430°C, incluso controlando adecuadamente la temperatura de mantenimiento, resulta difícil obtener la ventaja anterior. La temperatura de mantenimiento se ajusta, con relación a la temperatura (T_{x2}) a la que un compuesto precipita, preferiblemente a $T_{x2} - 50^\circ\text{C}$ o más.

Además, cuando el recocido forma parte del método de producción, la velocidad de recocido en una región de temperatura alta afecta a las características; por consiguiente, cuando la temperatura de recocido supera 300°C, la velocidad de calentamiento se ajusta preferiblemente a 100°C/min o más, y cuando la temperatura de recocido supera 350°C, la velocidad de calentamiento se ajusta más preferiblemente a 100°C/min o más.

Además, el control de la velocidad de calentamiento, el recocido en diversas etapas que implica el mantenimiento durante un cierto periodo de tiempo a diversas temperaturas, o similares puede también controlar la generación del núcleo. Cuando los granos cristalinos crecen mediante mantenimiento a una temperatura inferior a la temperatura de cristalización durante un determinado periodo de tiempo para impartir el tiempo suficiente para generar núcleos, seguido de un recocido que implica el mantenimiento durante menos de 1 hora a una temperatura superior a la temperatura de cristalización, los propios granos cristalinos inhiben mutuamente su crecimiento; por consiguiente, se obtiene una estructura cristalina fina y homogénea. Por ejemplo, cuando se realiza el recocido a sustancialmente 250°C durante 1 hora o más, seguido de la realización de un recocido a alta temperatura durante un corto periodo de tiempo, por ejemplo, a una velocidad de calentamiento de 100°C/min o más cuando la temperatura de recocido supera 300°C, se puede obtener la misma ventaja que en el método de producción anterior.

Cuando se trata una aleación nanocristalina magnética blanda de la presente invención, según sea necesario, mediante recubrimiento de una superficie de una banda fina de aleación con polvo o una película de SiO₂, MgO, Al₂O₃ o similares, aplicando un tratamiento de superficie mediante un tratamiento de conversión química para formar una capa aislante, conformando una capa aislante de óxido en una superficie por oxidación anódica para aplicar aislamiento entre capas, o similar, se obtiene un resultado preferible. Esto ocurre porque se impide que una corriente de Foucault en alta frecuencia que fluye sobre unas capas en particular, afecte de forma adversa a la hora de mejorar la pérdida del núcleo magnético en alta frecuencia. La ventaja es particularmente notable en un núcleo magnético formado de una banda ancha fina excelente en un estado superficial. Además, cuando un núcleo magnético se prepara a partir de una aleación magnética de la presente invención, según se requiera, puede también aplicarse una impregnación o un recubrimiento. Una aleación magnética de la presente invención muestra mayoritariamente su rendimiento en una aplicación en la que un pulso de corriente fluye como una aplicación de alta frecuencia. Sin embargo, la aleación magnética de la presente invención puede ser utilizada durante su uso como un sensor o una pieza magnética de baja frecuencia también. En particular, la aleación magnética de la presente invención es capaz de mostrar excelentes características en aplicaciones en las que la saturación magnética es problemática; por consiguiente, es particularmente adecuada para su aplicación en electrónica de alta potencia.

En una aleación magnética de la presente invención, en la que se aplica recocido con un campo magnético que se aplica en una dirección básicamente vertical a la dirección de magnetización durante su uso, se obtiene una menor pérdida del núcleo magnético que con un material convencional que tiene alta densidad de flujo magnético de saturación.

Además, la aleación magnética de la presente invención es capaz de ofrecer excelentes características incluso en una película fina o en polvo.

En al menos una parte o una totalidad de la aleación nanocristalina magnética blanda de la presente invención, se forman granos cristalinos con un diámetro medio de grano cristalino de 60 nm o menos. El contenido de los granos cristalinos se encuentra, idealmente, en un intervalo de 30% o más de una estructura, más convenientemente 50% o más, y de forma particularmente deseable 60% o más. Un diámetro medio de grano particularmente deseable es de 2 nm a 30 nm, y, en ese intervalo, se obtienen una fuerza coercitiva y una pérdida del núcleo magnético particularmente bajas.

Los granos nanocristalinos formados en una aleación magnética de la presente invención tienen una fase cristalina de una estructura cúbica centrada en el cuerpo (bcc, por sus siglas en inglés) realizada principalmente de Fe y Co, y puede formar además una solución sólida con Si, B, Al, Ge, Zr o similares. Además, los granos nanocristalinos pueden contener una red ordenada. El resto que no sea la fase cristalina está hecho principalmente de una fase amorfa. Sin embargo, una aleación realizada sustancialmente sólo de una fase cristalina también se incluye en la presente invención. Puede estar presente una fase de una estructura cúbica centrada en las caras (fase fcc, por sus siglas en inglés) que contiene Cu o Au.

Cuando está presente una fase amorfa alrededor de un grano cristalino, la resistividad se hace más elevada, se evita que los granos cristalinos crezcan para ser microparticulados, y las propiedades magnéticas blandas se mejoran; por consiguiente, se obtiene un resultado más preferible.

En la aleación de la invención, cuando una fase del compuesto no está presente, se obtiene una pérdida de núcleo magnético más baja. Sin embargo, una fase del compuesto puede estar contenida parcialmente.

Un segundo aspecto de la presente invención hace referencia a una pieza magnética que utiliza la aleación magnética. Cuando una pieza magnética está constituida por la aleación magnética de la presente invención, se obtiene una pieza magnética miniaturizada o de alto rendimiento adecuada para diversos reactores para una gran corriente tal como una inductancia de ánodo, bobinas de choque para un filtro activo, bobinas de choque para alisado, diversos transformadores, pantallas magnéticas, piezas para la supresión del ruido tales como material para una pantalla magnética, fuentes de alimentación para laser, piezas magnéticas de pulsos eléctricos para aceleradores, motores, generadores, etc.

Ventajas de la invención

Según la presente invención, se proporciona una aleación nanocristalina magnética que muestra una pérdida del

núcleo magnético particularmente baja a alta densidad de flujo magnético de saturación que se utiliza para diversos transformadores, diversos reactores para corriente elevada, piezas para la supresión de ruido tales como un material de pantalla electromagnética, fuentes de alimentación para laser, piezas magnéticas de pulsos eléctricos para aceleradores, bobinas de choque para filtros activos, bobinas de choque de alisado, motores, generadores, etc., y es fácilmente sometida a recocido porque el intervalo de condiciones óptimas de recocido es amplio; y puede realizarse una pieza magnética de alto rendimiento con la misma; por consiguiente, las ventajas de la misma son notables.

Mejor modo para realizar la invención

A continuación, la presente invención se describirá en referencia a los Ejemplos. Sin embargo, la presente invención no está limitada a los mismos.

10 (Ejemplo 1)

Una aleación fundida con una composición de $Fe_{ba1}.CO_{15}CU_{1.5}B_{14}Si_2$ (en porcentaje atómico) se enfrió rápidamente mediante el método de un único cilindro y se obtuvo de ese modo una banda fina de la aleación amorfa con un ancho de 10 mm y un grosor de 19 μm . Como resultado de la observación con difracción de rayos X y microscopio electrónico de transmisión, se confirmó que, en una banda fina de aleación amorfa, se formaron granos cristalinos con un diámetro de grano de menos de 10 nm, a una fracción volumétrica de menos de 30%. El grano cristalino se considera una fase de solución sólida principalmente que presenta una estructura cúbica centrada en el cuerpo (estructura bcc) con FeCo como el componente principal.

La banda fina de una aleación amorfa se calentó a 430°C a una velocidad de elevación de temperatura de 200°C/min y se mantuvo así durante 1 hora, seguido además por enfriamiento con aire después de extraerla del horno. La muestra recocida se sometió a difracción de rayos X y a una observación de la estructura con un microscopio electrónico de transmisión. Estaba presente una fase de granos nanocristalinos con un diámetro de grano de sustancialmente 25 nm y una estructura de bcc a una fracción volumétrica de 50% o más en una fase de matriz amorfa. A continuación, la muestra se cortó en una longitud de 12 cm, y después se sometió a una medición magnética. La densidad de flujo magnético satura aproximadamente en un campo magnético de 8000 A/m y la densidad de flujo magnético a 8000 A/m se denominó Bs. La densidad de flujo magnético de saturación Bs fue de 1,94 T y la fuerza coercitiva Hc fue de 17 A/m, es decir, se mostró una alta Bs y una baja fuerza coercitiva.

Además, la vida útil de una boquilla fue sustancialmente 1,5 veces la de una aleación de $Fe_{ba1}.CO_{29.4}CU_1Nb_2B_{12}Si_1$ convencional que tiene sustancialmente la misma Bs.

(Ejemplo 2)

30 Una aleación fundida representada por la fórmula composicional $Fe_{82.65-x}CO_xCU_{1.35}B_{14}Si_2$ (en porcentaje atómico) se enfrió rápidamente mediante el método en un único cilindro y se obtuvo de ese modo una banda fina de aleación amorfa que tiene un ancho de 5 mm y un grosor de 18 μm . A continuación, se realizó una observación mediante difracción de rayos X y microscopio electrónico de transmisión. Se confirmó que, en la banda fina de la aleación amorfa, se formaron granos cristalinos de nanoescala que tienen un diámetro de grano de menos de 10 nm a un porcentaje de volumen de menos del 30%. El grano cristalino se considera una fase de solución sólida que presenta principalmente una estructura cúbica centrada en el cuerpo (estructura bcc) con FeCo como el componente principal.

40 A continuación, la banda fina de la aleación amorfa se calentó a 430°C a una velocidad de elevación de temperatura de 200°C/min y se mantuvo así durante 1 hora, seguido además por un enfriamiento con aire después de sacarla del horno. La muestra recocida se sometió entonces a difracción de rayos X y a una observación de la estructura con un microscopio electrónico de transmisión. Estaba presente una fase de granos cristalinos nanocristalina con un diámetro de grano de sustancialmente 25 nm y una estructura de bcc estaba presente en un porcentaje de volumen del 50% o más en una fase de matriz amorfa. A continuación, la muestra se cortó en una longitud de 12 cm, a continuación se sometió a una medición magnética. La Fig. 1 muestra la dependencia de la densidad de flujo magnético de saturación Bs y la fuerza coercitiva Hc del contenido de Co. En el intervalo en el que la cantidad de Co (x) que satisface $10 < x < 25$ (en porcentaje atómico), se obtuvieron unas excelentes características en las que la Bs es de 1,85 T o más y la Hc es de 200 A/m o menos.

(Ejemplo 3)

50 Las aleaciones fundidas que tienen diversas composiciones que se muestran en la Tabla 1, se enfriaron rápidamente mediante el método de un único cilindro, y de ese modo se obtuvieron bandas finas de las aleaciones amorfas con un ancho de 5 mm y un grosor de 18 a 25 μm . Las bandas finas de aleación fueron recocidas en el intervalo de 350°C a 460°C, seguido por la evaluación de cada una de las muestras de plancha individuales recocidas con un trazador de la curva B-H. En cada una de las aleaciones magnéticas, al menos parte de la estructura de las mismas contenían granos cristalinos con un diámetro de grano cristalino de 60 nm o menos (sin incluir 0). Una fase nanocristalina estaba también contenida en una fase de matriz amorfa a un porcentaje de volumen del 50% o más.

La tabla 1 muestra la densidad de flujo magnético de saturación B_s , la fuerza coercitiva H_c , y una permeabilidad magnética máxima μ_m bajo las condiciones de recocido en las que la fuerza coercitiva de la muestra es la más baja. Con el propósito de comparar, se muestran las propiedades magnéticas de aleaciones nanocristalinas convencionales.

- 5 Las aleaciones de la presente invención son, en comparación con las aleaciones nanocristalinas convencionales, bajas en fuerza coercitiva, altas en cuanto a permeabilidad magnética máxima, y excelentes en cuanto a propiedades magnéticas blandas para aleaciones con 1,85 T o más. Las aleaciones nanocristalinas convencionales bajas en fuerza coercitiva y excelentes en propiedades magnéticas blandas, presentan una densidad de flujo magnético de saturación B_s de menos de 1,85 T, que es menor a la B_s de la aleación de la invención. Tal como se
- 10 menciona anteriormente, la aleación de la invención es excelente en cuanto a propiedades magnéticas blandas, con una densidad de flujo magnético de saturación mayor a la de las aleaciones nanocristalinas convencionales. Por consiguiente, la aleación de la invención, cuando se aplica a un material para un núcleo magnético de bobinas de choque, transformadores y etc., pueden contribuir a la miniaturización y a una pérdida reducida.

Tabla 1

	Nº	Composición (en porcentaje atómico)	Grosor de plancha t (μm)	Densidad de flujo Magnético de saturación B_s (T)	Fuerza coercitiva H_c (A/m)	Permeabilidad magnética máxima μ_m (10^3)
Ejemplos de la presente invención	1	$\text{Fe}_{\text{bal.}}\text{Co}_{15}\text{Cu}_{1.35}\text{B}_{14}\text{Si}_2$	19,1	1,91	23	41
	2	$\text{Fe}_{\text{bal.}}\text{Co}_{20}\text{Cu}_{1.45}\text{B}_{14}\text{Si}_2$	19,5	1,86	128	6,2
	3	$\text{Fe}_{\text{bal.}}\text{Co}_{20}\text{Cu}_{1.5}\text{B}_{14}\text{Si}_2$	20,1	1,88	31	16
	4	$\text{Fe}_{\text{bal.}}\text{Co}_{24}\text{Cu}_{1.5}\text{B}_{14}\text{Si}_2$	20,3	1,89	29	16
	5	$\text{Fe}_{\text{bal.}}\text{Co}_{12}\text{Cu}_{2.0}\text{B}_{13}\text{Si}_2$	19,0	1,85	12	64
	6	$\text{Fe}_{\text{bal.}}\text{Co}_{15}\text{Cu}_{1.1}\text{B}_{14}\text{Si}_{1.5}\text{Ge}_{0.5}$	20,1	1,88	28	32
	7	$\text{Fe}_{\text{bal.}}\text{Co}_{15}\text{Cu}_{1.35}\text{B}_{14}\text{Si}_{1.5}\text{C}_{0.5}\text{Ga}_{0.3}$	21,2	1,87	31	30
	8	$\text{Fe}_{\text{bal.}}\text{Co}_{23}\text{Cu}_{1.35}\text{B}_{14}\text{Si}_1\text{P}_{1.5}$	20,3	1,85	117	7,3
	9	$\text{Fe}_{\text{bal.}}\text{Co}_{15}\text{Cu}_{1.35}\text{B}_{14}\text{Si}_{1.5}\text{Al}_{0.5}\text{Be}_{0.2}$	19,8	1,86	28	17
	10	$\text{Fe}_{\text{bal.}}\text{Co}_{11}\text{Cu}_{1.35}\text{B}_{14}\text{Si}_{1.5}\text{S}_{0.01}$	18,1	1,87	27	18
	11	$\text{Fe}_{\text{bal.}}\text{Co}_{15}\text{Cu}_{1.15}\text{B}_{14}\text{Si}_{1.5}\text{Au}_{0.2}$	22,0	1,88	22	37
	12	$\text{Fe}_{\text{bal.}}\text{Co}_{12}\text{Cu}_{1.35}\text{B}_{14}\text{Si}_{1.5}\text{Nb}_{0.5}$	21,5	1,85	11	16
	13	$\text{Fe}_{\text{bal.}}\text{Co}_{14}\text{Cu}_{1.35}\text{B}_{14}\text{Si}_{1.5}\text{Mn}_{0.5}$	20,8	1,87	22	38
	14	$\text{Fe}_{\text{bal.}}\text{Co}_{15}\text{Cu}_{1.35}\text{B}_{14}\text{Si}_{1.5}\text{C}_{0.3}\text{Ta}_{0.2}$	21,2	1,86	20	48
	15	$\text{Fe}_{\text{bal.}}\text{Co}_{15}\text{Cu}_{1.35}\text{B}_{18}$	20,5	1,86	67	8,2
	16	$\text{Fe}_{\text{bal.}}\text{Co}_{15}\text{Cu}_{1.35}\text{B}_{10}\text{Si}_5\text{Cr}_{0.5}$	22,8	1,87	22	37
	17	$\text{Fe}_{\text{bal.}}\text{Co}_{15}\text{Cu}_{1.35}\text{B}_{14}\text{Si}_1\text{Ni}_{1.8}$	21,5	1,86	20	50
	18	$\text{Fe}_{\text{bal.}}\text{Co}_{15}\text{Cu}_{1.35}\text{B}_{12}\text{Si}_3\text{V}_{0.5}$	20,7	1,86	21	45
	19	$\text{Fe}_{\text{bal.}}\text{Co}_{15}\text{Cu}_{1.45}\text{B}_{13}\text{Si}_{4.5}\text{W}_{0.5}\text{Pt}_{0.2}$	20,3	1,86	23	41

Tabla 1 (continuación)

	Nº	Composición (en porcentaje atómico)	Grosor de plancha t (µm)	Densidad de flujo Magnético de saturación Bs (T)	Fuerza coercitiva Hc (A/m)	Permeabilidad magnética máxima µm (10 ³)
Ejemplos de la presente invención	20	Fe _{bal} .Co ₁₅ Cu _{1.35} B ₁₄ Si _{1.2} Zr _{0.5}	20,6	1,86	24	38
	21	Fe _{bal} .Co ₁₅ Cu _{1.8} B ₁₄ Si _{1.5} Hf _{0.3}	19,8	1,85	23	40
	22	Fe _{bal} .Co ₁₅ Cu _{1.35} B ₁₄ Si _{1.5} Ti _{0.5}	19,4	1,87	26	23
	23	Fe _{bal} .Co ₁₅ Cu _{1.35} B ₁₄ Si _{1.5} Re _{0.2} Ag _{0.1}	19,5	1,86	28	29
Ejemplo Comparativo	24	Fe _{bal} .Co _{29.4} Cu ₁ Nb ₂ Si ₁ B ₁₂	19,0	1,89	240	4,1
	25	Fe _{bal} .Zr ₇ B ₃	19,2	1,63	5,6	120
	26	Fe _{bal} .Cu ₁ Nb ₃ Si _{13.5} B ₉	18,0	1,24	0,5	800
	27	Fe _{bal} .Co _{29.75} Cu ₁ Nb ₇ Si ₁ B ₈	19,1	1,71	16,8	3,8
	28	Fe _{bal} .Nb ₇ B ₉	22,0	1,49	8,0	7,2
	29	Fe _{bal} .Cu _{0.6} Nb _{2.6} Si ₉ B ₉	19,6	1,50	0,6	790
	30	Fe _{bal} .Cu ₁ Nb ₃ Si _{16.5} B ₆	19,1	1,20	0,8	705

Breve descripción del dibujo

5 La Fig. 1 es un diagrama que muestra la densidad de flujo magnético de saturación Bs y la fuerza coercitiva Hc de una aleación de Fe_{82.65-x}Co_xCu_{1.35}B₁₄Si₂.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Una aleación magnética representada por la fórmula composicional: $Fe_{100-x-y-2-a-b-c}Co_aCu_xB_yNi_bX_zZ_c$ (en donde, X es uno o más de los elementos Si, S, C, P, Al, Ge, Ga y Be, Z es uno o más de los elementos seleccionados de entre Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Mn, Re, elementos del grupo del platino, Au, Ag, Zn, In, Sn, As, Sb, Bi, Y, N, O y elementos de tierras raras y, en términos de porcentaje atómico, $1 < x \leq 3$, $10 \leq y \leq 20$, $0 \leq z \leq 10$, $10 < a < 25$, $10 < y + z \leq 24$, $b < 2$ % atómico con respecto a la cantidad de Fe, y $c < 1$ % atómico con respecto a la cantidad de Fe), en donde los granos cristalinos con un diámetro de 60 nm o menos se dispersan a un porcentaje de volumen del 30% o más en una matriz amorfa y la aleación magnética tiene una densidad de flujo magnético de saturación de 1,85 T o más y una fuerza coercitiva de 200 A/m o menos.
- 10 2. La aleación magnética según la reivindicación 1, que se obtiene mediante recocido de una aleación amorfa que presenta una estructura en donde los granos cristalinos de nanoescala con un diámetro de menos de 10 nm, se dispersan en una fase amorfa a una fracción volumétrica de menos del 30%.
3. La aleación magnética según la reivindicación 1 o 2, en donde X es Si y/o P.
- 15 4. La aleación magnética según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde la cantidad de Cu (x) satisface $1 < x \leq 2$.
5. La aleación magnética según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde la cantidad de B (y) es $12 \leq y \leq 17$.
6. Una pieza magnética que utiliza una aleación magnética según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5.

FIG. 1

