

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 537 805**

51 Int. Cl.:

H01F 1/36 (2006.01)
B22F 1/00 (2006.01)
B22F 1/02 (2006.01)
B22F 3/00 (2006.01)
B22F 3/02 (2006.01)
H01F 1/24 (2006.01)
H01F 27/255 (2006.01)
H01F 41/02 (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.09.2008 E 08831041 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.05.2015 EP 2154694**

54 Título: **Material magnético blando, núcleo magnético de polvo, procedimiento para la fabricación de un material magnético blando y procedimiento para la fabricación de un núcleo magnético de polvo**

30 Prioridad:

11.09.2007 JP 2007235637

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

12.06.2015

73 Titular/es:

**SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.
(100.0%)
5-33 KITAHAMA 4-CHOME CHUO-KU
OSAKA-SHI, OSAKA 541-0041, JP**

72 Inventor/es:

**ISHIMINE, TOMOYUKI;
SAKAMOTO, TOSHIHIRO;
MAEDA, TORU y
IGARASHI, NAOTO**

74 Agente/Representante:

MILTENYI, Peter

ES 2 537 805 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

Material magnético blando, núcleo magnético de polvo, procedimiento para la fabricación de un material magnético blando y procedimiento para la fabricación de un núcleo magnético de polvo

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a un material magnético blando, a un núcleo de polvo, a un procedimiento para la fabricación del material magnético blando y a un procedimiento para la fabricación del núcleo de polvo. Por ejemplo, la presente invención se refiere a un material magnético blando que no provoca fácilmente la saturación magnética y proporciona excelentes características de polarización de corriente continua (CC) cuando se usa para un núcleo magnético de un invertidor o similar, un núcleo de polvo, un procedimiento para la fabricación del material magnético
10 blando y un procedimiento para la fabricación del núcleo de polvo.

Antecedentes de la técnica

Se ha usado una lámina de acero magnética como un material magnético blando utilizado para un núcleo de hierro de un aparato estático, tal como un transformador, una bobina de inducción y un invertidor. Sin embargo, se investiga el núcleo de polvo como un material alternativo para la lámina de acero magnética.

15 En general, la forma de onda de una corriente aplicada a una bobina de un aparato estático incluye un componente de corriente continua junto con un componente de corriente alterna. Cuando aumenta la corriente CC, la inductancia de la bobina disminuye. Como resultado, la impedancia disminuye, provocando de esta manera un problema en tanto que, por ejemplo, disminuye una salida o la eficacia de conversión de potencia cae. Por lo tanto, se requiere que un material magnético blando usado para un aparato estático tenga características tales como una baja caída de inductancia con un aumento en una corriente CC, es decir, excelentes características de polarización CC y baja
20 pérdida (baja pérdida de hierro).

Sin embargo, los núcleos de polvo son peores que las láminas de acero magnéticas en términos de características de polarización CC. Esto se debe a que una caída de inductancia con un aumento en una corriente CC está provocado por saturación magnética de los materiales magnéticos blandos. Específicamente, el campo magnético aplicado a los materiales magnéticos blandos se hace mayor con un aumento de la corriente CC. En consecuencia, la saturación magnética disminuye la permeabilidad magnética. Puesto que la inductancia es proporcional a la permeabilidad magnética la inductancia cae.

Para mejorar las características de polarización CC de los núcleos de polvo, se desvela un procedimiento para la fabricación de un núcleo y el núcleo en la Publicación de Solicitud de Patente No Examinada Japonesa N° 2004-319652 (Documento de Patente 1). El Documento de Patente 1 desvela que se usa un polvo magnético blando irregular que tiene un tamaño de partícula de 5 a 70 μm .

[Documento de Patente 1] Publicación de Solicitud de Patente No Examinada Japonesa N° 2004-319652.

El documento US 2001/0016977 A1 se refiere a un procedimiento para producir un núcleo de polvo embebido en bobina embebiendo una bobina en polvos magnéticos que comprenden partículas de metal ferromagnético recubiertas con un material aislante. Los polvos de metal ferromagnético, en los que las partículas tienen una circularidad de 0,5 o menor, suponen el 20 % o menos del número total de partículas. La circularidad se define por la circularidad $= 4\pi S/L^2$, en la que S es un área de una imagen proyectada de una partícula y L es una longitud de un perfil (o periferia) de la imagen proyectada. Los polvos de metal ferromagnético tienen un diámetro de partícula promedio de 1 μm a 50 μm .

Divulgación de la invención

Problemas que ha de resolver la invención

Sin embargo, en el núcleo desvelado en el Documento de Patente 1 solo se especifica un intervalo de un tamaño de partícula γ , por lo tanto, existe variación en el tamaño de partícula del polvo dentro del intervalo descrito anteriormente. Por consiguiente, cuando el polvo se moldea, la uniformidad del interior del núcleo disminuye y aún queda espacio para mejorar en términos de características de polarización CC.

Para resolver el problema descrito anteriormente, un objeto de la presente invención es proporcionar un material magnético blando, un núcleo de polvo, un procedimiento para la fabricación del material magnético blando y un procedimiento para la fabricación del núcleo de polvo que puede mejorar las características de polarización CC.

Medios para resolver los problemas

50 Un material magnético blando de la presente invención incluye una pluralidad de partículas magnéticas metálicas. En el material magnético blando, un coeficiente de variación C_v (σ/μ), que es una relación de la desviación típica (σ) de un tamaño de partícula de las partículas magnéticas metálicas a un tamaño de partícula promedio (μ) de las

mismas, es 0,40 o menor y una circularidad Sf de las partículas magnéticas metálicas es 0,80 o mayor y 1 o menor.

Un procedimiento para la fabricación de un material magnético blando de la presente invención incluye una etapa de preparación para preparar una pluralidad de partículas magnéticas metálicas. En la etapa de preparación, se preparan partículas magnéticas metálicas cuyo coeficiente de variación Cv (σ/μ), que es una relación de una desviación típica (σ) de un tamaño de partícula a un tamaño de partícula promedio (μ), es 0,40 o menor y cuya circularidad Sf es 0,80 o menor y 1 o menos.

En el material magnético blando y el procedimiento de fabricación de material magnético blando de la presente invención, la distribución de tamaño de partícula de las partículas magnéticas metálicas puede uniformizarse controlando el coeficiente de variación Cv de las partículas magnéticas metálicas a 0,40 o menor. De esta manera, puede mejorarse la uniformidad del interior de una pieza compacta fabricada del material magnético blando por compactación. Esto puede facilitar el movimiento de la pared de dominio en un procedimiento de magnetización y mejorar las características de polarización CC. Adicionalmente, debido a la distorsión que surge en una superficie de cada una de las partículas magnéticas metálicas cuando el material magnético blando se moldea a presión puede reducirse controlando la circularidad Sf de las partículas magnéticas metálicas a 0,80 o mayor, las características de polarización CC pueden mejorarse. En un caso donde la forma externa de las partículas magnéticas metálicas es completamente esférica, la circularidad Sf de las partículas magnéticas metálicas es 1.

La "desviación típica (σ) de una partícula" mencionada en el presente documento significa un valor calculado a partir del tamaño de partícula de las partículas magnéticas metálicas medido por un procedimiento de análisis de distribución del tamaño de partícula por difracción/dispersión láser. El "tamaño de partícula promedio (μ) de las partículas magnéticas metálicas" mencionadas en el presente documento significa un tamaño de partícula de una partícula en la que la suma acumulada de las masas de partículas empezando desde el tamaño de partícula más pequeño alcanza un 50 % en un histograma de tamaños de partícula de las partículas magnéticas metálicas medido por un procedimiento de análisis de distribución de tamaño de partícula de difracción/dispersión láser, es decir, un tamaño de partícula del 50 %. La "circularidad de las partículas magnéticas metálicas" se especifica mediante la siguiente Ec. 1. En la Ec. 1, el área y circunferencia de las partículas magnéticas metálicas puede determinarse por un procedimiento óptico. Por ejemplo, en el procedimiento óptico, el área y circunferencia se calculan estadísticamente a partir de una imagen de proyección de cada una de las partículas magnéticas metálicas obtenidas proyectando las partículas magnéticas metálicas que se van a medir, usando un dispositivo de procesamiento de imágenes disponible en el mercado.

$$\text{Circularidad} = 4\pi \times (\text{Área de Partícula Magnética Metálica}) / (\text{Cuadrado de la Circunferencia de la Partícula Magnética Metálica}) \dots (\text{Ec. 1})$$

En el material magnético blando descrito anteriormente, las partículas magnéticas metálicas preferentemente tienen un tamaño de partícula promedio de 1 μm o mayor y 70 μm o menor.

En el procedimiento para la fabricación del material magnético blando descrito anteriormente, en la etapa de preparación, se preparan preferentemente partículas magnéticas metálicas que tienen un tamaño de partícula promedio de 1 μm o mayor y 70 μm o menor.

Controlando el tamaño de partícula promedio de las partículas magnéticas metálicas a 1 μm o mayor, puede suprimirse un aumento en una fuerza coercitiva y una pérdida de histéresis de un núcleo de polvo fabricado del material magnético blando sin disminuir la fluidez del material magnético blando. Controlando el tamaño de partícula promedio de las partículas magnéticas metálicas hasta 30 μm o menor, puede reducirse eficazmente una pérdida de corriente de Foucault que surge en un intervalo de alta frecuencia de 1 kHz o mayor.

El material magnético blando descrito anteriormente incluye adicionalmente un aditivo compuesto de al menos uno de un jabón metálico y un lubricante inorgánico con una estructura cristalina hexagonal. En el material magnético blando, una relación del aditivo a la pluralidad de partículas magnéticas metálicas es del 0,001 % en masa o mayor y del 0,2 % en masa o menor.

El procedimiento para la fabricación del material magnético blando descrito anteriormente incluye adicionalmente una etapa de adición para añadir un aditivo compuesto de al menos uno de un jabón metálico y un lubricante inorgánico con una estructura cristalina hexagonal, siendo una relación del aditivo a la pluralidad de partículas magnéticas metálicas del 0,01 % en masa o mayor y del 0,2 % en masa o menor.

Controlando la relación de aditivo al 0,001 % en masa o mayor, la fluidez de las partículas magnéticas metálicas puede mejorar debido a la alta lubricidad del jabón metálico y el lubricante inorgánico con una estructura cristalina hexagonal. Esto puede mejorar las propiedades de carga del material magnético blando cuando el material magnético blando se carga en un troquel. Como resultado, puesto que la densidad de una pieza compacta en la que se ha moldeado el material magnético blando puede aumentarse, las características de polarización CC pueden mejorar. Controlando la relación de aditivo al 0,2 % en masa o menor, puede suprimirse una disminución en la densidad de una pieza compacta en la que está moldeado el material magnético blando. Esto puede evitar la degradación de las características de polarización CC.

El material magnético blando descrito anteriormente preferentemente incluye adicionalmente una película revestida con aislante que rodea una superficie de cada una de las partículas magnéticas metálicas.

5 El procedimiento para la fabricación del material magnético blando descrito anteriormente preferentemente incluye adicionalmente una etapa de formación de película revestida con aislante para formar una película revestida con aislante sobre una superficie de cada una de las partículas magnéticas metálicas.

10 Puesto que la película revestida con aislante rodea una superficie de cada una de las partículas magnéticas metálicas que tienen una circularidad Sf de 0,80 o mayor, la película revestida con aislante se forma entre las partículas magnéticas metálicas en una pieza compacta. Como resultado, las partículas magnéticas metálicas pueden aislarse eficazmente, disminuyendo de esta manera una pérdida de corriente de Foucault. De esta manera, una pérdida de hierro puede reducirse eficazmente en un intervalo de alta frecuencia.

15 Particularmente, en un caso donde el material magnético blando incluye adicionalmente al menos uno de un jabón metálico y un lubricante inorgánico con una estructura cristalina hexagonal, el daño a la película revestida con aislante puede reducirse adicionalmente cuando el material magnético blando está moldeado. En consecuencia, las propiedades aislantes entre las partículas magnéticas metálicas pueden mejorarse adicionalmente e incluso en una atmósfera a alta temperatura, disminuyendo de esta manera adicionalmente una pérdida de corriente de Foucault. De esta manera, una pérdida de hierro puede reducirse más eficazmente en un intervalo de alta frecuencia.

En el material magnético blando descrito anteriormente, la película revestida con aislante está compuesta preferentemente de al menos un material seleccionado del grupo que consiste en un compuesto de ácido fosfórico, un compuesto de silicio, un compuesto de zirconio y un compuesto de boro.

20 En el procedimiento para la fabricación del material magnético blando descrito anteriormente, en la etapa de formación de la película revestida con aislante, se forma preferentemente una película revestida con aislante compuesta de al menos un material seleccionado del grupo que consiste en un compuesto de ácido fosfórico, un compuesto de silicio, un compuesto de zirconio y un compuesto de boro.

25 Debido a que estos materiales tienen excelentes propiedades aislantes, una corriente de Foucault que fluye entre las partículas magnéticas metálicas puede suprimirse más eficazmente.

En el material magnético blando descrito anteriormente, la película revestida con aislante preferentemente es una película revestida con aislante; cada una de las partículas magnéticas metálicas incluye preferentemente otra película revestida con aislante que rodea una superficie de una de las películas revestidas con aislante; y la otra película revestida con aislante preferentemente contiene una resina de silicona termoestable.

30 En el procedimiento para la fabricación del material magnético blando descrito anteriormente, una etapa de formación de película revestida con aislante incluye preferentemente una etapa de formación de película revestida con aislante para formar la película revestida con aislante como una película revestida con aislante; y otra etapa de formación de la película revestida con aislante de formación de otra película revestida con aislante que rodea una superficie de una de las películas revestidas con aislante. En la otra etapa de formación de película revestida con
35 aislante, se forma preferentemente la otra película revestida con aislante que contiene una resina de silicona termoestable.

40 Una de las películas revestidas con aislante está protegida por la otra película revestida con aislante, con lo que el aumento de temperatura de la película revestida con aislante puede suprimirse mediante la otra película revestida con aislante durante el tratamiento con calor del material magnético blando. De esta manera, se consigue un material magnético blando en el que se mejora la resistencia al calor de la película revestida con aislante. El material descrito anteriormente tiene una alta resistencia al calor mientras que aumenta la resistencia de enlace entre las partículas magnéticas compuestas, incluyendo cada una de las partículas magnéticas metálicas y la película revestida con aislante.

45 Un núcleo de polvo de la presente invención se fabrica usando el material magnético blando. Un procedimiento para la fabricación del núcleo de polvo de la presente invención incluye las etapas de fabricar un material magnético blando usando el procedimiento para la fabricación del material magnético blando; y fabricar el núcleo de polvo compactando el material magnético blando.

Ventajas

50 Como puede verse, en el material magnético blando y el procedimiento para la fabricación del material magnético blando de la presente invención, están incluidas la pluralidad de partículas magnéticas metálicas cuyo coeficiente de variación Cv es 0,40 o menor y circularidad Sf es 0,80 o mayor y 1 o menor, que pueden mejorar las características de polarización CC.

Breve descripción de los dibujos

- La Figura 1 es una vista esquemática que muestra un material magnético blando de acuerdo con una realización de la presente invención.
- 5 La Figura 2 es una vista en sección ampliada de un núcleo de polvo de acuerdo con la realización de la presente invención.
- La Figura 3 es una vista esquemática que muestra la distribución del tamaño de partícula de una partícula magnética metálica de acuerdo con la realización de la presente invención y la distribución del tamaño de partícula de una partícula magnética metálica de un ejemplo conocido.
- 10 La Figura 4A es una vista esquemática que muestra la forma de la partícula magnética metálica de acuerdo con la realización de la presente invención.
- La Figura 4B es una vista esquemática que muestra una forma de una partícula magnética metálica del ejemplo conocido.
- La Figura 5 es una vista esquemática que muestra otro material magnético blando de acuerdo con la realización de la presente invención.
- 15 La Figura 6 es un diagrama de flujo que muestra un procedimiento para la fabricación del material magnético blando de acuerdo con la realización de la presente invención.
- La Figura 7 es una vista esquemática que muestra otro núcleo de polvo de acuerdo con la realización de la presente invención.
- 20 La Figura 8 es un gráfico que muestra una relación entre campo magnético y densidad de flujo de acuerdo con la realización de la presente invención.
- La Figura 9 es un gráfico que muestra una relación entre corriente CC e inductancia de acuerdo con la realización de la presente invención.
- La Figura 10 es una vista esquemática que muestra un dispositivo para medir características de polarización CC en los Ejemplos.
- 25 La Figura 11 es un gráfico que muestra características de polarización CC en los Ejemplos.
- Números de referencia
- 10 partícula magnética metálica
 - 20 película revestida con aislante
 - 20a una película revestida con aislante
 - 30 20b otra película revestida con aislante
 - 30 partícula magnética compuesta
 - 40 aditivo
 - 50 aislamiento

Mejor modo para realizar la invención

- 35 Se describirá ahora una realización de la presente invención con referencia a los dibujos. Las mismas partes o partes correspondientes en los dibujos se designan con los mismos números de referencia y las descripciones de los mismos no se repiten.
- 40 La Figura 1 es una vista esquemática que muestra un material magnético blando de acuerdo con una realización de la presente invención. Como se muestra en la Figura 1, el material magnético blando de acuerdo con esta realización incluye una pluralidad de partículas 30 magnéticas compuestas cada una de las cuales tiene una partícula 10 magnética metálica y una película 20 revestida con aislante que rodea una superficie de la partícula 10 magnética metálica; y un aditivo 40 compuesto de al menos uno de un jabón metálico y un lubricante inorgánico con una estructura cristalina hexagonal.
- 45 La Figura 2 es una vista en sección ampliada de un núcleo de polvo de acuerdo con la realización de la presente invención. El núcleo de polvo de la Figura 2 se fabrica compactando y tratando con calor el material magnético blando de la Figura 1. En el núcleo de polvo de esta realización, como se muestra en las Figuras 1 y 2, la pluralidad

de partículas 30 magnéticas compuestas están unidas entre sí mediante un aislante 50 o mediante el encaje de las proyecciones e indentaciones de las partículas 30 magnéticas compuestas. El aislante 50 es uno en el que el aditivo 40, resinas (no mostradas) y similares incluidos en el material magnético blando cambian durante el tratamiento con calor.

- 5 En el material magnético blando y el núcleo de polvo de la presente invención, un coeficiente de variación C_v (σ/μ), que es una relación de la desviación típica (σ) del tamaño de partícula de la partícula 10 magnética metálica a su tamaño de partícula promedio (μ), es 0,40 o menor y la circularidad S_f de la partícula 10 magnética metálica es 0,80 o mayor y 1 o menor.

- 10 El coeficiente de variación C_v de la partícula 10 magnética metálica es 0,40 o menor, preferentemente 0,38 o menor, más preferentemente 0,36 o menor. Debido a que la distribución del tamaño de partículas puede uniformizarse controlando el coeficiente de variación C_v a 0,40 o menor, la uniformidad del interior de una pieza compacta fabricada del material magnético blando puede mejorarse. Esto puede facilitar el movimiento de la pared de dominio en un procedimiento de magnetización y mejorar las características de polarización CC. Las características de polarización CC pueden mejorarse adicionalmente controlando el coeficiente de variación C_v a 0,38 o menor. Las características de polarización CC pueden mejorarse más eficazmente controlando el coeficiente de variación C_v a 0,36 o menor. Aunque el coeficiente de variación C_v preferentemente tiene un valor más pequeño, es de 0,001 o mayor en términos de por ejemplo facilidad de fabricación.

- 20 La Figura 3 es una vista esquemática que muestra la distribución del tamaño de partícula de la partícula 10 magnética metálica de acuerdo con la realización de la presente invención y la distribución del tamaño de partícula de una partícula magnética metálica de un ejemplo conocido. Como se muestra en la Figura 3, puesto que el coeficiente de variación de la partícula 10 magnética metálica de acuerdo con esta realización (ejemplo de la invención en la Figura 3) es 0,40 o menor, la desviación típica (σ) de su tamaño de partícula, es decir, la variación de su tamaño de partícula es menor que en el ejemplo conocido.

- 25 La circularidad S_f de la partícula 10 magnética metálica es 0,80 o mayor y 1 o menor, preferentemente 0,91 o mayor y 1 o menor, más preferentemente 0,92 o mayor y 1 o menor. Debido a que una distorsión que surge sobre una superficie de la partícula magnética metálica cuando se moldea el material magnético blando puede reducirse controlando la circularidad S_f a 0,80 o mayor, las características de polarización CC pueden mejorarse. Las características de polarización CC pueden mejorarse adicionalmente controlando la circularidad S_f a 0,91 o mayor. Las características de polarización CC pueden mejorarse más eficazmente controlando la circularidad S_f a 0,92 o mayor. En un caso en el que la forma externa de la partícula magnética metálica es completamente esférica, la circularidad S_f de la partícula magnética metálica es 1.

- 30 La Figura 4A es una vista esquemática que muestra una forma de la partícula 10 magnética metálica de acuerdo con la realización de la presente invención. La Figura 4B es una vista esquemática que muestra una forma de una partícula 11 magnética metálica del ejemplo conocido. Como se muestra en las Figuras 4A y 4B, puesto que la circularidad S_f de la partícula 10 magnética metálica de acuerdo con esta realización es 0,80 o mayor y 1 o menor, la partícula 10 magnética metálica es más esférica que la partícula 11 magnética metálica del ejemplo conocido.

- 35 El tamaño de partícula promedio (μ) de la partícula 10 magnética metálica preferentemente es de 1 μm o mayor y 70 μm o menor, más preferentemente 1 μm o mayor y 65 μm o menor, más preferentemente 20 μm o mayor y 60 μm o menor. Controlando el tamaño de partícula promedio de la partícula 10 magnética metálica a 1 μm o mayor, puede suprimirse un aumento en una fuerza coercitiva y una pérdida de histéresis del núcleo de polvo fabricado del material magnético blando sin disminuir la fluidez del material magnético blando. Controlando el tamaño de partícula promedio a 20 μm o mayor, puede suprimirse adicionalmente un aumento en una fuerza coercitiva y una pérdida de histéresis del núcleo de polvo fabricado del material magnético blando. Controlando el tamaño de partícula promedio de la partícula 10 magnética metálica a 70 μm o menor, puede reducirse eficazmente una pérdida de corriente de Foucault que surge en un intervalo de alta frecuencia de 1 kHz o mayor. Controlando el tamaño de partícula promedio a 65 μm o menor, una pérdida de corriente de Foucault puede reducirse más eficazmente. Controlando el tamaño de partícula promedio a 60 μm o menor, una pérdida de corriente de Foucault puede reducirse aún más eficazmente.

- 40 Los ejemplos del material que forma la partícula 10 magnética metálica incluyen hierro (Fe), aleaciones de hierro (Fe)-aluminio (Al), aleaciones de hierro (Fe)-silicio (Si), aleaciones de hierro (Fe)-nitrógeno (N), aleaciones de hierro (Fe)-níquel (Ni), aleaciones de hierro (Fe)-carbono (C), aleaciones de hierro (Fe)-boro (B), aleaciones de hierro (Fe)-cobalto (Co), aleaciones de hierro (Fe)-fósforo (P), aleaciones de hierro (Fe)-níquel (Ni)-cobalto (Co), aleaciones de hierro (Fe)-aluminio (Al)-silicio (Si), aleaciones de hierro (Fe)-aluminio (Al)-cromo (Cr), aleaciones de hierro (Fe)-aluminio (Al)-manganeso (Mn), aleaciones de hierro (Fe)-aluminio (Al)-níquel (Ni), aleaciones de hierro (Fe)-silicio (Si)-cromo (Cr), aleaciones de hierro (Fe)-silicio (Si)-manganeso (Mn) y aleaciones de hierro (Fe)-silicio (Si)-níquel (Ni). La partícula 10 magnética metálica puede fabricarse de un solo metal o de una aleación.

El material magnético blando mostrado en la Figura 1 y el núcleo de polvo mostrado en la Figura 2 preferentemente incluyen adicionalmente la película 20 revestida con aislante que rodea una superficie de la partícula 10 magnética metálica. La película 20 revestida con aislante funciona como una capa aislante entre las partículas 10 magnéticas metálicas. La resistividad eléctrica ρ del núcleo de polvo obtenido después de compactar el material magnético

blando puede aumentarse revistiendo la partícula 10 magnética metálica con la película 20 revestida con aislante. Esto puede suprimir una corriente de Foucault que fluye entre las partículas 10 magnéticas metálicas y reducir una pérdida de corriente de Foucault del núcleo de polvo.

5 El espesor de película promedio de la película 20 revestida con aislante preferentemente es de 10 nm o mayor y de 1 μm o menor. Una pérdida de corriente de Foucault puede suprimirse eficazmente controlando el espesor de película promedio de la película 20 revestida con aislante a 10 nm o mayor. La cuota de fractura de la película 20 revestida con aislante durante la compactación puede evitarse controlando el espesor de película promedio de la película 20 revestida con aislante a 1 μm o menos. Adicionalmente, puesto que la relación de la película 20 revestida con aislante a material magnético blando no resulta demasiado alta, puede evitarse que la densidad de flujo del núcleo de polvo obtenido después de compactar el material magnético blando disminuya significativamente.

10 El "espesor promedio" mencionado en el presente documento se determina deduciendo un espesor equivalente, teniendo en cuenta la composición de la película medida por análisis composicional (microscopio electrónico de transmisión con espectroscopia de energía dispersiva de rayos X (TEM-EDX)) y los contenidos de elementos se midieron por espectroscopia de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-EM), y después observando directamente la película usando una imagen TEM y confirmando que el orden de magnitud del espesor equivalente deducido anteriormente es un valor apropiado.

15 La película 20 revestida con aislante preferentemente está compuesta de al menos un material seleccionado del grupo que consiste en un compuesto de ácido fosfórico, un compuesto de silicio, un compuesto de zirconio y un compuesto de boro. Debido a que estos materiales tienen excelentes propiedades aislantes, una corriente de Foucault que fluye entre las partículas 10 magnéticas metálicas puede suprimirse eficazmente. Específicamente, la película 20 revestida con aislante preferentemente está compuesta de óxido de silicio, óxido de zirconio o similares. En particular, una capa de revestimiento que reviste una superficie de la partícula magnética metálica puede adelgazarse adicionalmente usando un óxido metálico que contiene fosfato para la película 20 revestida con aislante. Esto se debe a que la densidad de flujo de las partículas 30 magnéticas compuestas puede aumentarse usando un óxido metálico de este tipo y las características magnéticas del mismo mejoran.

20 La película 20 revestida con aislante puede estar compuesta de un metal tal como Fe (hierro), Al (aluminio), Ca (calcio), Mn (manganeso), Zn (cinc), Mg (magnesio), V (vanadio), Cr (cromo), Y (itrio), Ba (bario), o Sr (estroncio). Puede estar compuesta de un óxido metálico de un elemento de tierras raras, un nitrato metálico, un óxido metálico, un compuesto de fosfato metálico, un compuesto de borato metálico, un compuesto de silicato metálico o similares.

30 La película 20 revestida con aislante puede estar compuesta también de un compuesto de fosfato amorfo de al menos un material seleccionado del grupo que consiste en Al (aluminio), Si (silicio), Mg (magnesio), Y (itrio), Ca (calcio), Zr (zirconio) y Fe (hierro) y un compuesto de borato amorfo de al menos un material.

La película 20 revestida con aislante también puede estar compuesta de un compuesto de óxido amorfo de al menos un material seleccionado entre el grupo que consiste en Si, Mg, Y, Ca y Zr.

35 Aunque se ha mostrado anteriormente un caso donde una partícula magnética compuesta que constituye un material magnético blando tiene una película revestida con aislante con una capa, la película magnética compuesta que constituye el material magnético blando puede tener una película revestida con aislante con una pluralidad de capas como se describe más adelante.

40 La Figura 5 es una vista esquemática que muestra otro material magnético blando de acuerdo con la realización de la presente invención. En el otro material magnético blando de acuerdo con esta realización, como se muestra en la Figura 5, la película 20 revestida con aislante incluye una película 20a revestida con aislante y otra película 20b revestida con aislante. Una película 20a revestida con aislante rodea una superficie de la partícula 10 magnética metálica y la otra película 20b revestida con aislante rodea una superficie de la una película 20a revestida con aislante.

45 La película 20a revestida con aislante tiene sustancialmente la misma estructura que la película 20 revestida con aislante mostrada en las Figuras 1 y 2.

50 Preferentemente se usa una resina de silicona, una resina termoplástica, una resina no termoplástica, o una sal metálica de un ácido graso superior como la otra película 20b revestida con aislante. Específicamente, se usa preferentemente una resina termoplástica, tal como poliimida termoplástica, poliamida termoplástica, poliamida-imida termoplástica, sulfuro de polifenileno, poliétersulfona, poliéterimida o poliéter éter cetona, polietileno de alto peso molecular o poliéster totalmente aromático, una resina no termoplástica tal como poliimida totalmente aromática o poliamida-imida no termoplástica; o una sal metálica de ácido graso superior tal como estearato de cinc, estearato de litio, estearato de calcio, palmitato de litio, palmitato de calcio, oleato de litio u oleato de calcio. En particular, la película 20b revestida con aislante preferentemente está compuesta de una resina de silicona termoestable. Estos materiales orgánicos pueden usarse también en forma de una mezcla. El polietileno de alto peso molecular es polietileno con un peso molecular de 100 mil o mayor.

Cada una de la una película 20a revestida con aislante y la otra película 20b revestida con aislante no están constituidas necesariamente por una sola capa. Cada una de la película 20a revestida con aislante y la otra película 20b revestida con aislante pueden estar constituidas por una pluralidad de capas.

5 El material magnético blando mostrado en la Figura 1 y el núcleo de polvo mostrado en la Figura 2 preferentemente incluyen adicionalmente el aditivo 40 compuesto de al menos uno de un jabón metálico y un lubricante inorgánico con una estructura cristalina hexagonal.

Los ejemplos del jabón metálico incluyen estearato de cinc, estearato de litio, estearato de calcio, palmitato de litio, palmitato de calcio, oleato de litio y oleato de calcio. Los ejemplos del lubricante inorgánico con una estructura cristalina hexagonal incluyen nitruro de boro, disulfuro de molibdeno, disulfuro de tungsteno y grafito.

10 El aditivo 40 se incluye preferentemente de manera que la relación del aditivo 40 de la pluralidad de partículas 10 magnéticas metálicas es del 0,001 % en masa o mayor y 0,2 % en masa o menor, más preferentemente 0,001 % en masa o mayor y 0,1 % en masa o menor. Controlando la relación de aditivo 40 al 0,001 % en masa o mayor, la fluidez de las partículas 10 magnéticas metálicas puede mejorar debido a la alta lubricidad del jabón metálico y el lubricante inorgánico con una estructura cristalina hexagonal. Esto puede mejorar las propiedades de carga del material magnético blando cuando el material magnético blando se carga en un troquel. Como resultado, puesto que la densidad de una pieza compacta en la que está moldeado el material magnético blando puede aumentarse, las características de polarización CC pueden mejorar. Controlando la relación del aditivo 40 al 0,2 % en masa o menor, puede suprimirse una disminución en la densidad de un componente en el que está moldeado el material magnético blando. Esto puede evitar la degradación de las características de polarización CC.

20 En particular, debido a que el jabón metálico y el lubricante inorgánico con una estructura cristalina hexagonal que constituyen el aditivo 40 pueden conferir buena lubricidad, que suprime el daño a la película 20 revestida con aislante, el daño en la película 20 revestida con aislante puede reducirse adicionalmente cuando el material magnético blando está moldeado. Como resultado, la resistencia de enlace entre las partículas 10 magnéticas metálicas unidas entre sí se mantiene incluso en un entorno de alta temperatura, lo que puede reducir adicionalmente una pérdida de corriente de Foucault. De esta manera, una pérdida de hierro puede reducirse más eficazmente en un intervalo de alta frecuencia.

30 El tamaño de partícula promedio del aditivo 40 preferentemente es 2,0 μm o menor. Controlando el tamaño de partícula promedio a 2,0 μm o menor, el daño a la película 20 revestida con aislante puede reducirse adicionalmente cuando el material magnético blando se moldea por presión, lo que puede reducir adicionalmente una pérdida de hierro.

El "tamaño de partícula promedio del aditivo 40" mencionado en el presente documento significa un tamaño de partícula de una partícula en la cual la suma acumulada de las masas de las partículas, partiendo del tamaño de partícula más pequeño, alcanza el 50 % en un histograma de los tamaños de partícula medidos por un procedimiento de dispersión/difracción láser, es decir, un 50 % del tamaño de partícula D.

35 El material magnético blando mostrado en la Figura 1 puede incluir adicionalmente un lubricante o similar distinto del aditivo 40 descrito anteriormente y una resina (no mostrada).

Se describirá ahora un procedimiento para la fabricación del material magnético blando de la presente invención con referencia a la Figura 6. La Figura 6 es un diagrama de flujo que muestra un procedimiento para la fabricación del material magnético blando de acuerdo con la realización de la presente invención.

40 Como se muestra en la Figura 6, se realiza en primer lugar una etapa (S11) de preparación para preparar una pluralidad de partículas 10 magnéticas metálicas. En la etapa (S11) de preparación se preparan partículas 10 magnéticas metálicas cuyo coeficiente de variación C_v (σ/μ), que es la relación de la desviación típica (σ) del tamaño de partícula de las partículas 10 magnéticas metálicas al tamaño de partícula promedio (μ) de las partículas 10 magnéticas metálicas, es 0,4 o menor y cuya circularidad S_f es 0,8 o mayor y 1 o menor.

45 En la etapa (S11) de preparación, se prepara la pluralidad de partículas 10 magnéticas metálicas descritas anteriormente. Estas partículas 10 magnéticas metálicas se preparan, por ejemplo, atomizando hierro que tiene una cierta composición mediante un procedimiento de atomización, un procedimiento de atomización con agua o similares. En particular, en la etapa (S11) de preparación, se preparan preferentemente partículas 10 magnéticas metálicas que tienen un tamaño de partícula promedio de 1 μm o mayor y 70 μm o menor.

50 Como se muestra en la Figura 6, se realiza entonces una primera etapa (S12) de tratamiento con calor para tratar con calor la pluralidad de partículas 10 magnéticas metálicas. En la primera etapa (S12) de tratamiento con calor, la pluralidad de partículas 10 magnéticas metálicas se tratan con calor a una temperatura de por ejemplo 700 °C o mayor y menor de 1400 °C. Antes del tratamiento con calor, hay muchos defectos tales como distorsiones y límites de grano provocados por la tensión térmica o similares en un procedimiento de atomización dentro de las partículas 10 magnéticas metálicas. Estos defectos pueden reducirse realizando el tratamiento con calor en las partículas 10 magnéticas metálicas en la primera etapa (S12) de tratamiento con calor. La primera etapa (S12) de tratamiento con calor puede omitirse.

5 Como se muestra en la Figura 6, se realiza entonces una etapa (S13) de formación de película revestida con aislante para formar una película 20 revestida con aislante sobre una superficie de cada una de las partículas 10 magnéticas metálicas. En la etapa (S13) de formación de película revestida con aislante, se forma la película 20 revestida con aislante descrita anteriormente (o una película 20a revestida con aislante y otra película 20b revestida con aislante) sobre una superficie de cada una de las partículas 10 magnéticas metálicas. De esta manera, se produce una pluralidad de partículas 30 magnéticas compuestas.

10 En la etapa (S13) de formación de película revestida con aislante, la película 20 revestida con aislante compuesta de un fosfato puede formarse, por ejemplo, sometiendo las partículas 10 magnéticas metálicas a un tratamiento de fosfatación. La pulverización de disolvente o el uso de un tratamiento sol-gel usando un precursor pueden usarse como el procedimiento para formar la película 20 revestida con aislante compuesta de un fosfato en lugar del tratamiento de fosfatación. Como alternativa, la película 20 revestida con aislante puede no obstante formarse de un compuesto orgánico de silicio. Esta película revestida con aislante puede formarse por un tratamiento de revestimiento en húmedo usando un disolvente orgánico, un tratamiento de revestimiento directo con una mezcladora o similares.

15 En la etapa (S13) de formación de película revestida con aislante, se forma preferentemente la película 20 revestida con aislante compuesta de al menos un material seleccionado del grupo que consiste en un compuesto fosfórico, un compuesto de silicio, un compuesto de zirconio y un compuesto de boro. Específicamente, se forma preferentemente la película 20 revestida con aislante compuesta de fosfato de hierro, fosfato de manganeso, fosfato de cinc, fosfato de calcio, fosfato de silicio, fosfato de zirconio o similares.

20 En un caso donde se fabrica el material magnético blando que tiene la película 20 revestida con aislante con una pluralidad de capas, como se muestra en la Figura 5, la etapa (S13) de formación de película revestida con aislante incluye una etapa de formación de película revestida con aislante de formación de la película 20 revestida con aislante como una película 20a revestida con aislante y otra etapa de formación de película revestida con aislante para formar otra película 20b revestida con aislante que rodea una superficie de la película 20a revestida con aislante. La otra película 20b revestida con aislante preferentemente contiene una resina de silicona termoestable.

25 En un caso donde se forma una película revestida con aislante con dos capas mostrada en la Figura 5, cada una de las partículas 10 magnéticas metálicas que tienen la película 20a revestida con aislante se mezcla con un aditivo 40 añadido en una etapa (S14) adicional descrita a continuación para formar la otra película 20b revestida con aislante.

30 En lugar del procedimiento descrito anteriormente, la otra película 20b revestida con aislante puede formarse mezclando o pulverizando una resina de silicona disuelta en un disolvente orgánico y después secando la resina de silicona para retirar el disolvente orgánico.

35 Como se muestra en la Figura 6, la etapa (S14) de adición para añadir el aditivo 40 compuesto de al menos un jabón metálico y un lubricante inorgánico con una estructura cristalina hexagonal, de manera que la relación del aditivo 40 a la pluralidad de partículas 10 magnéticas metálicas es del 0,001 % en masa o mayor y del 0,2 % en masa o menor se realiza entonces. En la etapa (S14) de adición, las partículas 10 magnéticas metálicas se mezclan con el aditivo 40. El procedimiento de mezcla no está limitado. Los ejemplos del procedimiento incluyen aleación mecánica, molino de bolas vibratorio, molino de bolas planetario, fusión mecánica, coprecipitación, deposición química en fase vapor (CVD), deposición física en fase vapor (PVD), metalizado, bombardeo, deposición en fase vapor y procedimiento sol-gel. Puede añadirse opcionalmente una resina u otro aditivo.

40 El material magnético blando de esta realización se obtiene a través de las etapas (S11 a S14) descritas anteriormente. Para fabricar el núcleo de polvo de esta realización, las siguientes etapas se realizan adicionalmente.

45 Se realiza después una etapa (S21) de compactación para cargar un troquel con el material magnético blando resultante y compactarlo. En la etapa (S21) de compactación el material magnético blando se moldea a presión a una presión de 390 MPa o mayor y 1500 MPa o menor. Como resultado, se obtiene una pieza compacta en la que se ha moldeado a presión el material magnético blando. La compactación se realiza preferentemente en una atmósfera de gas inerte o una atmósfera de presión reducida. En este caso, puede evitarse que un polvo mixto se oxide por el oxígeno del aire.

50 Si se realiza la etapa (S14) de adición, el aditivo 40 compuesto de al menos uno de un jabón metálico y un lubricante inorgánico con una estructura cristalina hexagonal está presente entre las partículas 30 magnéticas compuestas uniéndolas entre sí. Esto evita que las partículas 30 magnéticas compuestas se froten duramente entre sí en la etapa (S21) de compactación. Puesto que el aditivo 40 presenta una buena lubricidad, la película 20 revestida con aislante formada sobre la superficie externa de cada una de las partículas 30 magnéticas compuestas no se rompe. Esto puede mantener la forma en la que la película 20 revestida con aislante reviste una superficie de cada una de las partículas 10 magnéticas metálicas. En consecuencia, la película 20 revestida con aislante puede funcionar con certeza como una capa aislante entre las partículas 10 magnéticas metálicas.

55 En la etapa (S14) de adición, en lugar de o además del aditivo 40, puede añadirse otro lubricante o resina.

Se realiza entonces una segunda etapa (S22) de tratamiento con calor para tratar con calor la pieza compacta

obtenida por compactación. En la segunda etapa (S22) de tratamiento con calor, la pieza compacta se trata con calor, por ejemplo a una temperatura entre 575 °C y la temperatura de pirólisis de la película 20 revestida con aislante. Hay muchos defectos dentro de la pieza compacta después de la compactación. Estos defectos pueden retirarse realizando la segunda etapa (S22) de tratamiento con calor. Adicionalmente, puesto que la segunda etapa (S22) de tratamiento con calor se realiza a una temperatura menor que la temperatura de pirólisis de la película 20 revestida con aislante, la película 20 revestida con aislante no se deteriora debido a la segunda etapa (S22) de tratamiento con calor. La segunda etapa (S22) de tratamiento con calor cambia el aditivo 40 por un aislante 50.

Después de la segunda etapa (S22) de tratamiento con calor, se realiza un procesamiento apropiado, tal como un procesamiento de extrusión o corte, opcionalmente en la pieza compacta para completar el núcleo de polvo mostrado en la Figura 2.

A lo largo de las etapas (S11 a S14 y S21 a S22) descritas anteriormente, puede fabricarse el núcleo de polvo de esta realización mostrada en la Figura 2. En un caso donde se usa el material magnético blando que tiene la película 20 revestida con aislante con dos capas, puede fabricarse un núcleo de polvo mostrado en la Figura 7. La Figura 7 es una vista esquemática que muestra otro núcleo de polvo de acuerdo con la realización de la presente invención.

Como se ha descrito anteriormente, el material magnético blando de acuerdo con la realización de la presente invención incluye las partículas 10 magnéticas metálicas cuyo coeficiente de variación C_v (σ/μ), que es la relación de la desviación típica (σ) del tamaño de partícula al tamaño de partícula promedio (μ) es 0,40 o menor y cuya circularidad S_f es 0,80 o mayor y 1 o menor. Como se muestra en las Figuras 3, 4A y 4B, puesto que el coeficiente de variación C_v (σ/μ) es 0,40 o menor, la variación en el tamaño de partícula de las partículas 10 magnéticas metálicas puede reducirse (puede conseguirse una distribución uniforme del tamaño de partícula). Esto puede mejorar la uniformidad del interior del núcleo de polvo fabricado del material magnético blando, facilitando de esta manera el movimiento de la pared de dominio en un procedimiento de magnetización. Puesto que la circularidad S_f de las partículas 10 magnéticas metálicas es 0,8 o mayor, puede reducirse una distorsión que surge sobre una superficie de cada una de las partículas 10 magnéticas metálicas cuando el material magnético blando se moldea a presión. Como se muestra en la Figura 8, un efecto combinado del coeficiente de variación C_v y la circularidad S_f de las partículas 10 magnéticas metálicas puede mejorar la densidad de flujo en una curva B-H. Como resultado, una reducción en la inductancia provocada por un aumento en la corriente CC puede suprimirse como se muestra en la Figura 9. En otras palabras, las características de polarización CC pueden mejorarse. La Figura 8 es un gráfico que muestra una relación entre un campo magnético y la densidad de flujo de acuerdo con la realización de la presente invención. La Figura 9 es un gráfico que muestra una relación entre corriente CC e inductancia de acuerdo con la realización de la presente invención. En las Figuras 8 y 9, uno de los ejemplos de la invención descritos muestra el núcleo de polvo fabricado del material magnético blando que incluye las partículas 10 magnéticas metálicas de esta realización.

Ejemplos

En estos Ejemplos, se examinó un efecto proporcionado por las partículas magnéticas metálicas cuyo coeficiente de variación C_v (σ/μ) es 0,40 o menor y circularidad S_f es 0,80 o mayor.

(Ejemplos 1 a 4)

En el Ejemplo 1, se usó el material magnético blando fabricado por el procedimiento descrito en la realización anterior. Específicamente, en la etapa (S11) de preparación, una partícula magnética metálica que contiene un 99,6 % en peso o más de hierro y el resto está compuesto de impurezas secundarias tales como 0,3 % en peso o menos de O y 0,1 % en peso o menos de C, N, P, Mn, o similares se preparó por atomización con agua de un polvo de hierro. Los tamaños de partícula promedio de las partículas magnéticas metálicas en los Ejemplos 1 a 4 se seleccionaron como se describe en la Tabla. El coeficiente de variación C_v y la circularidad S_f de las partículas magnéticas metálicas en los Ejemplos 1 a 4 fueron como se describe en la Tabla. El coeficiente de variación C_v de las partículas magnéticas metálicas se calculó midiendo la distribución del tamaño de partícula del material magnético blando diana (una pluralidad de partículas magnéticas metálicas) usando un procedimiento de análisis de distribución del tamaño de partícula por difracción/dispersión láser. La circularidad S_f se calculó estadísticamente a partir de imágenes de proyección de las partículas magnéticas metálicas cuya área y circunferencia se midieron, en base a la Ec. (1) descrita anteriormente.

En la etapa (S13) de formación de la película revestida con aislante, la película revestida con aislante compuesta de fosfato de hierro se formó después realizando un tratamiento de fosfatación.

En la etapa (S14) de adición, se añadió un 0,1 % en masa de estearato de cinc como jabón metálico en los Ejemplos 1 a 3. En el Ejemplo 4, se añadió un 0,1 % en masa de etilbisestearamida que es un lubricante con una estructura cristalina no hexagonal. Adicionalmente, se añadió un 0,3 % en masa de una resina de metil silicona. De esta manera, se obtuvieron los materiales magnéticos blandos de los Ejemplos 1 a 4.

En la etapa (S21) de compactación, se aplicó una presión de 1000 MPa al material magnético blando para preparar una pieza compacta. En la segunda etapa (S22) de tratamiento con calor, la pieza compacta se trató con calor a 500 °C en una atmósfera con corriente de nitrógeno durante una hora. De esta manera, se fabricó el núcleo de polvo del Ejemplo 1.

5 **(Ejemplos Comparativos 1 a 4)**

Los materiales magnéticos blandos de los Ejemplos Comparativos 1 a 4 se fabricaron básicamente de la misma manera que el material magnético blando del Ejemplo 2. Sin embargo, el coeficiente de variación Cv, la circularidad Sf y el tamaño de partícula promedio (μ) se cambiaron a los valores descritos en la Tabla a continuación. Los materiales magnéticos blandos de los Ejemplos comparativos 1 a 4 se fabricaron de la misma manera que en el Ejemplo 1.

(Procedimiento de Evaluación)

Para cada uno de los núcleos de polvo de los Ejemplos 1 a 4 y Ejemplos Comparativos 1 a 4, se midieron las características de polarización CC y la pérdida de corriente de Foucalt.

Específicamente, las características de polarización CC se midieron usando un aparato de ensayo de polarización CC después de que las muestras de ensayo se ajustaran como se muestra en la Figura 10. La Figura 11 y la Tabla muestran los resultados. La Figura 10 es una vista esquemática que muestra un dispositivo para medir las características de polarización CC en los Ejemplos. La Figura 11 es un gráfico que muestra las características de polarización CC en los Ejemplos. En la Figura 11, el eje de ordenadas representa la relación (L_{xA}/L_{0A}) (unidad: ninguna) de inductancia L_{xA} a x A inductancia L_{0A} a 0 A y el eje de abscisas representa la corriente (unidad: A) aplicada. L_{8A}/L_{0A} en la Tabla significa la relación de inductancia L_{8A} a 8 A a inductancia L_{0A} a 0 A.

Después de que se midió una pérdida de hierro, se evaluó una pérdida de corriente de Foucalt separando la pérdida de hierro en una pérdida de histéresis y una pérdida de corriente de Foucalt en base a la dependencia de la frecuencia de la pérdida de hierro. Específicamente, para cada uno de los núcleos de polvo obtenidos de los Ejemplos 1 a 4 y Ejemplos Comparativos 1 a 4, un bobinado primario con 300 vueltas y un bobinado secundario con 20 vueltas se enrollaron alrededor de una pieza compacta con forma de anillo (después del tratamiento con calor) con un diámetro externo de 34 mm, un diámetro interno de 20 mm y un espesor de 5 mm, para preparar las muestras para medición de las características magnéticas. La pérdida de hierro de estas muestras se midió a una densidad de flujo de excitación de 1 kG (= 0,1 T (tesla)) a diversas frecuencias de 50 Hz a 10000 Hz, usando un trazador de la curva de corriente alterna (CA)-BH. Después se calculó la pérdida de corriente de Foucalt a partir de la pérdida de hierro. La Tabla muestra los resultados. Con las siguientes tres ecuaciones, se calculó la pérdida de corriente de Foucalt ajustando la curva de frecuencia de la pérdida de hierro usando un procedimiento de mínimos cuadrados.

$$(Pérdida de Hierro) = (Coeficiente de Pérdida de Histéresis) \times (Frecuencia) + (Coeficiente de Pérdida de Corriente de Foucalt) \times (Frecuencia)^2$$

$$(Pérdida de Corriente de Foucalt) = (Coeficiente de Pérdida de Corriente de Foucalt) \times (Frecuencia)^2$$

[Tabla 1]

	Partícula magnética metálica			Lubricante	L_{SA}/L_{0A}	Pérdida de corriente de Foucalt [kW/m ³]
	Coeficiente de variación Cv	Circularidad Sf	Tamaño de partícula promedio (μ m)			
Ejemplo 1	0,40	0,80	120	Zn. St	0,79	61
Ejemplo 2	0,38	0,91	120	Zn. St	0,81	56
Ejemplo 3	0,36	0,92	70	Zn. St	0,80	31
Ejemplo 4	0,36	0,92	65	EBS	0,79	50
Ejemplo Comparativo 1	0,48	0,76	121	Zn. St	0,70	76
Ejemplo Comparativo 2	0,47	0,75	120	Zn. St	0,70	75

(continuación)

	Partícula magnética metálica			Lubricante	L _{SA} /L _{0A}	Pérdida de corriente de Foucalt [kW/m ³]
	Coeficiente de variación Cv	Circularidad Sf	Tamaño de partícula promedio (μm)			
Ejemplo Comparativo 3	0,47	0,83	123	Zn.St	0,72	61
Ejemplo Comparativo 4	0,40	0,75	122	Zn. St	0,75	73

(Resultados de la medición)

5 Como resulta evidente a partir de la Figura 11 y la Tabla, en los Ejemplos 1 a 4 en los que están incluidas las partículas magnéticas metálicas cuyo coeficiente de variación Cv (σ/μ) es 0,4 o menor y la circularidad Sf es 0,8 o mayor y 1,0 o menor, la inductancia disminuyó menos y las características de polarización CC eran mejores que en los Ejemplos Comparativos 1 a 3.

10 Comparando el Ejemplo 1 con el Ejemplo Comparativo 4, en ambos de los cuales las partículas magnéticas metálicas tienen sustancialmente el mismo tamaño de partícula y coeficiente de variación, se descubrió que podía suprimirse una pérdida de corriente de Foucalt a medida que aumentaba la circularidad. Por lo tanto, comparando el Ejemplo 1 con los Ejemplos 2 a 4, en los que las partículas magnéticas metálicas tienen una circularidad de 0,91 o mayor, se puso de manifiesto que podían conseguirse mejores características de polarización y menores pérdidas de corriente de Foucalt cuando la circularidad era 0,91 o mayor.

15 Comparando los Ejemplos 3 y 4 con el Ejemplo 1, en todos los cuales las partículas magnéticas metálicas tienen sustancialmente el mismo coeficiente de variación Cv, podían conseguirse mejores características de polarización CC y menores pérdidas de corriente de Foucalt cuando el tamaño de partícula promedio era pequeño. Además, comparando el Ejemplo 3 con el Ejemplo 4, se consigue una baja pérdida de histéresis y las mejores características se presentan mejorando la temperatura de resistencia al calor de la película revestida con aislante usando un jabón metálico.

20 En los Ejemplos, como se ha descrito anteriormente, se confirmó que las características de polarización CC de los materiales magnéticos blandos incluyendo partículas magnéticas metálicas cuyo coeficiente de variación Cv (σ/μ), que es la relación de la desviación típica (σ) del tamaño de partícula a su tamaño de partícula promedio (μ), es de 0,40 o menor y cuya circularidad Sf es 0,80 o mayor y 1 o menor podría mejorarse.

Aplicabilidad industrial

25 El material magnético blando, el núcleo de polvo, el procedimiento para la fabricación del material magnético blando y el procedimiento para la fabricación del núcleo de polvo de acuerdo con la presente invención pueden aplicarse, por ejemplo, a un núcleo de hierro de un aparato estático, tal como un transformador, una bobina de inducción o un invertidor.

REIVINDICACIONES

1. Un material magnético blando que comprende:
- una pluralidad de partículas magnéticas metálicas, y
- 5 un aditivo compuesto de al menos uno de un jabón metálico y un lubricante inorgánico con una estructura cristalina hexagonal,
- en el que una relación del aditivo a la pluralidad de partículas magnéticas metálicas es del 0,001 % en masa o mayor y del 0,2 % en masa o menor,
- 10 en el que un coeficiente de variación $C_v (\sigma/\mu)$, que es una relación de una desviación típica (σ) de un tamaño de partícula de las partículas magnéticas metálicas a un tamaño de partícula promedio (μ) de las mismas, es 0,40 o menor y una circularidad S_f de las partículas magnéticas metálicas es 0,80 o mayor y 1 o menor,
- en el que la circularidad $S_f = 4 \pi \times (\text{área de la partícula magnética metálica})/(\text{cuadrado de la circunferencia de la partícula magnética metálica})$,
- en el que la partícula magnética metálica está fabricada de hierro o aleación de hierro y
- 15 en el que el área y la circunferencia se calculan estadísticamente a partir de una imagen de proyección de cada una de las partículas magnéticas metálicas.
2. El material magnético blando de acuerdo con la reivindicación 1, en el que las partículas magnéticas metálicas tienen un tamaño de partícula promedio de $1 \mu\text{m}$ o mayor y de $70 \mu\text{m}$ o menor.
3. El material magnético blando de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, que comprende además una película revestida con aislante que rodea una superficie de cada una de las partículas magnéticas metálicas, en el que la película revestida con aislante está compuesta de al menos un material seleccionado del grupo que consiste en un compuesto de ácido fosfórico, un compuesto de silicio, un compuesto de zirconio y un compuesto de boro.
- 20 4. El material magnético blando de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la película revestida con aislante comprende una primera película revestida con aislante y una segunda película revestida con aislante;
- 25 en el que cada una de las partículas magnéticas metálicas incluye la segunda película revestida con aislante que rodea una superficie de la primera película revestida con aislante; y
- en el que la segunda película revestida con aislante contiene una resina de silicona termoestable.
5. Un núcleo de polvo que comprende el material magnético blando de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4.
- 30 6. Un procedimiento para la fabricación de un material magnético blando, que comprende:
- una etapa de preparación para preparar una pluralidad de partículas magnéticas metálicas fabricadas de hierro o aleación de hierro atomizando dicho hierro o aleación de hierro, y
- 35 una etapa de adición para añadir un aditivo compuesto de al menos uno de un jabón metálico y un lubricante inorgánico con una estructura cristalina hexagonal, siendo una relación de aditivo a la pluralidad de partículas magnéticas metálicas del 0,001 % en masa o mayor y del 0,2 % en masa o menor,
- en el que, en la etapa de preparación, se preparan partículas magnéticas metálicas cuyo coeficiente de variación $C_v (\sigma/\mu)$, que es una relación de una desviación típica (σ) de un tamaño de partícula a un tamaño de partícula promedio (μ), es 0,40 o menor y cuya circularidad S_f es 0,80 o mayor y 1 o menor.
7. El procedimiento para la fabricación del material magnético blando de acuerdo con la reivindicación 6 en el que, en la etapa de preparación, se preparan partículas magnéticas metálicas que tienen un tamaño de partícula promedio de $1 \mu\text{m}$ o mayor y $70 \mu\text{m}$ o menor.
- 40 8. El procedimiento para la fabricación del material magnético blando de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 6 ó 7, que comprende además una etapa de formación de película revestida con aislante para formar una película revestida con aislante sobre una superficie de cada una de las partículas magnéticas metálicas, en el que, en la etapa de formación de la película revestida con aislante, se forma una película revestida con aislante compuesta de al menos un material seleccionado del grupo que consiste en un compuesto de ácido fosfórico, un compuesto de silicio, un compuesto de zirconio y un compuesto de boro.
- 45

9. El procedimiento para la fabricación del material magnético blando de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la etapa de formación de película revestida con aislante incluye:

una primera etapa de formación de película revestida con aislante para formar la película revestida con aislante como una primera película revestida con aislante; y

5 una segunda etapa de formación de película revestida con aislante para formar una segunda película revestida con aislante que rodea una superficie de la primera película revestida con aislante; y

en el que, en la segunda etapa de formación de película revestida con aislante, se forma la segunda película revestida con aislante que contiene una resina de silicona termoestable.

10. Un procedimiento para la fabricación de un núcleo de polvo, que comprende las etapas de:

10 fabricar un material magnético blando usando el procedimiento para la fabricación del material magnético blando de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, y

fabricar el núcleo de polvo compactando el material magnético blando.

FIG. 1

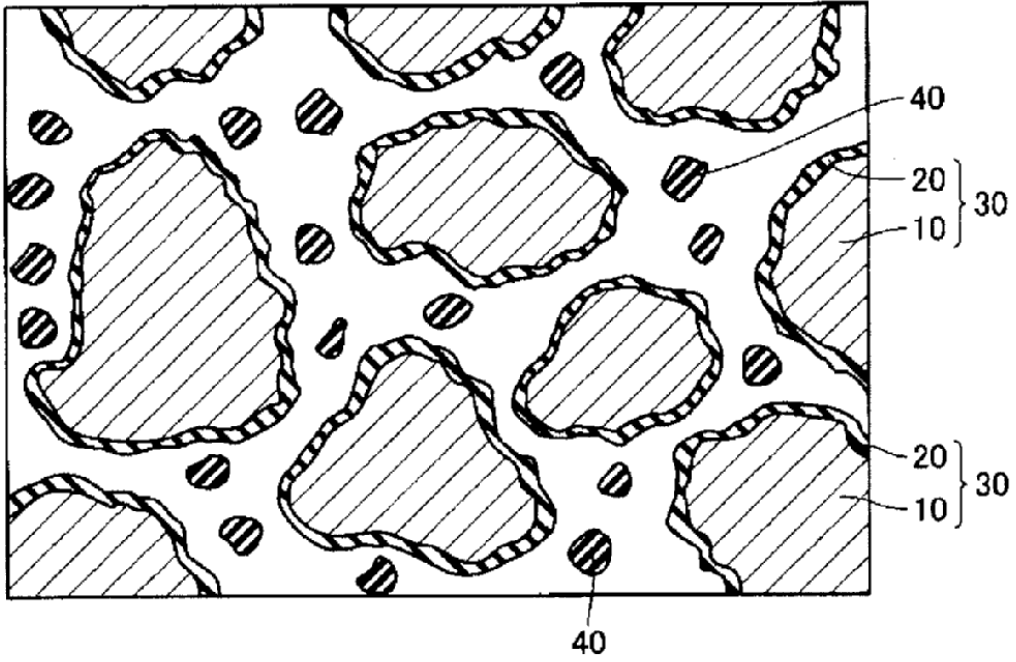


FIG. 2

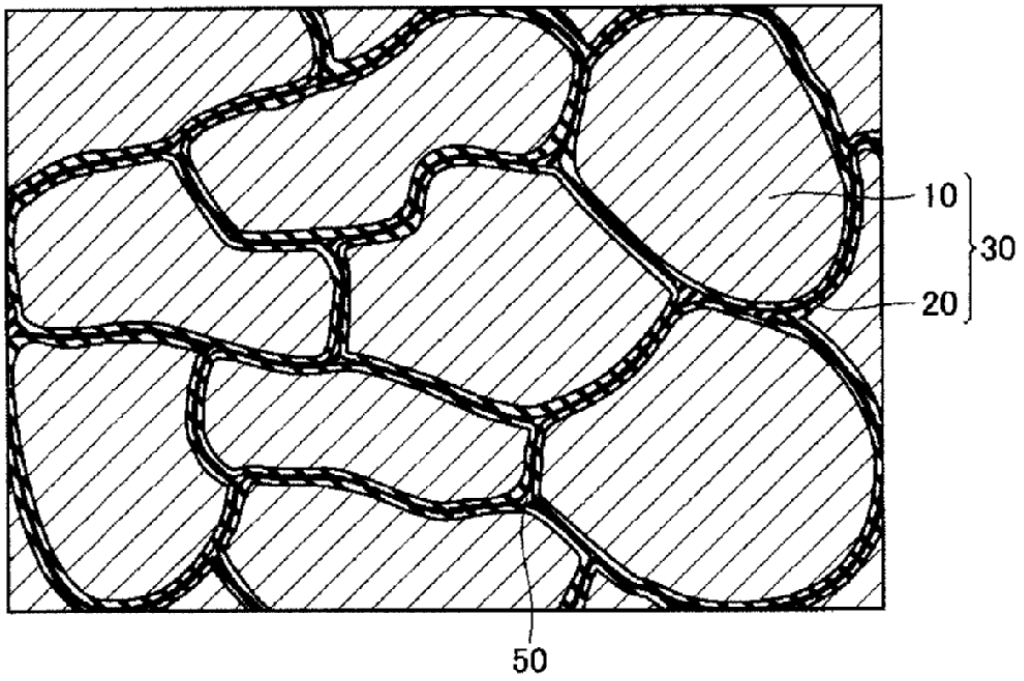


FIG. 3

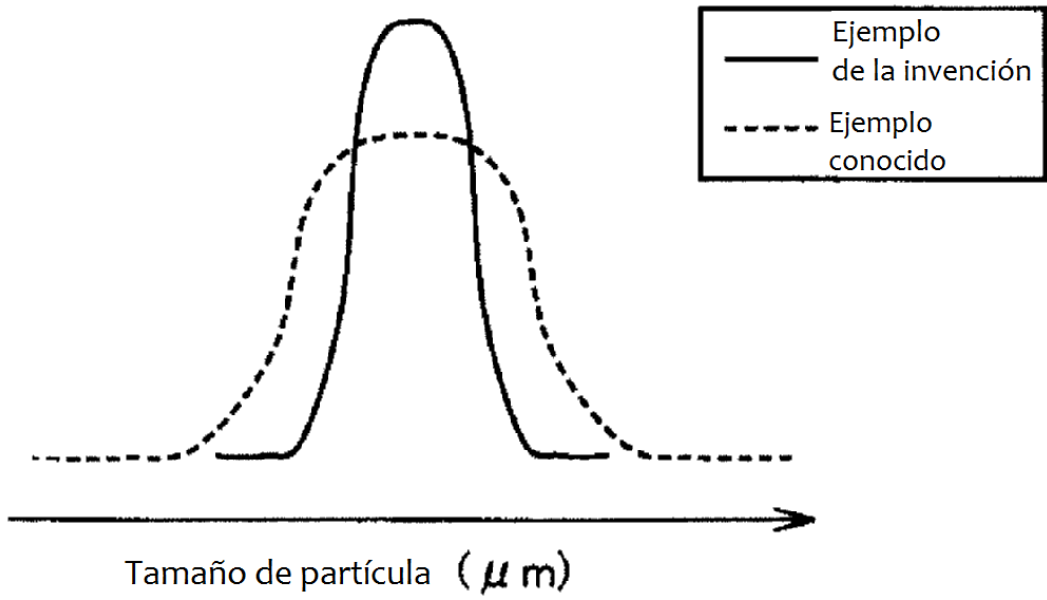


FIG. 4A

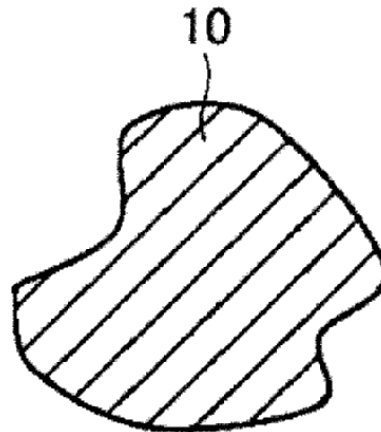


FIG. 4B

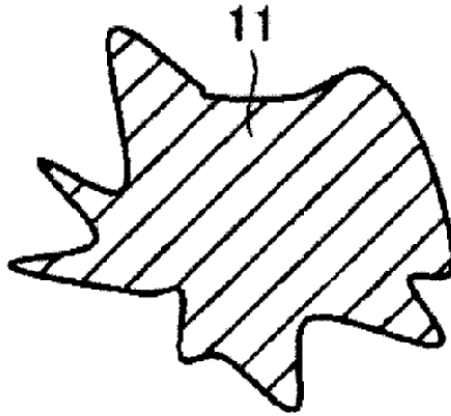


FIG. 5

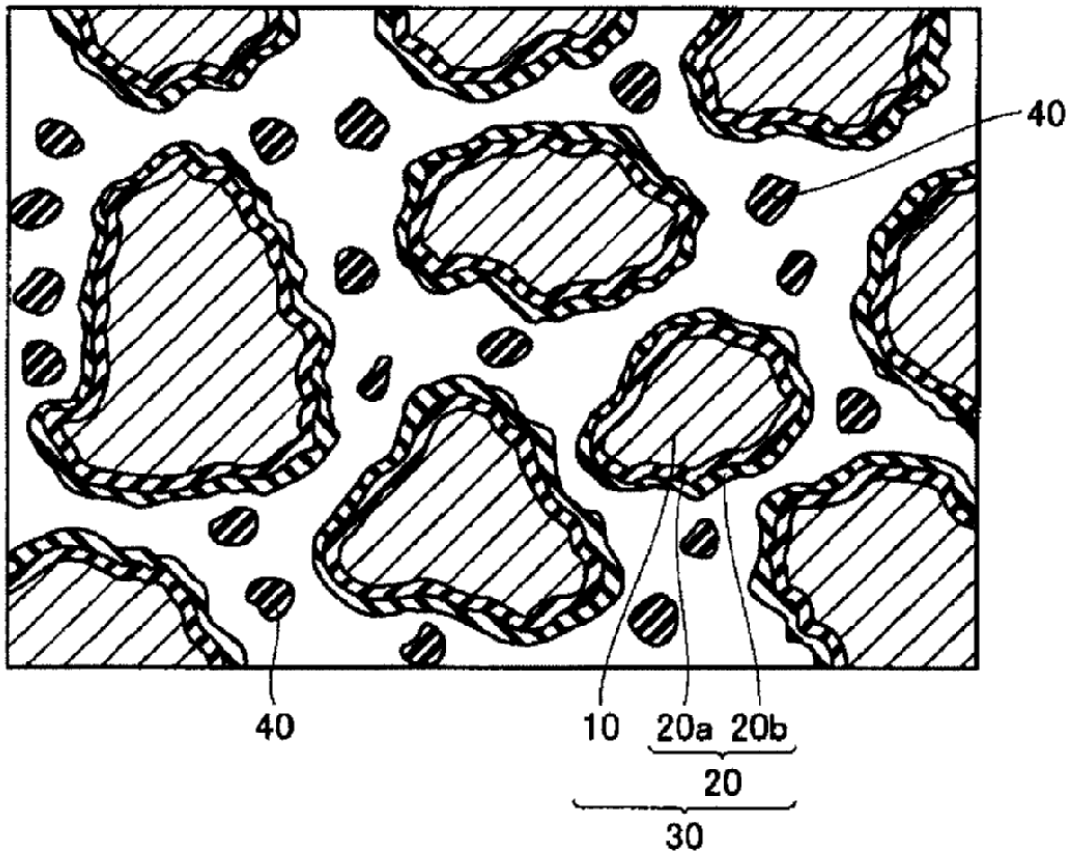


FIG. 6

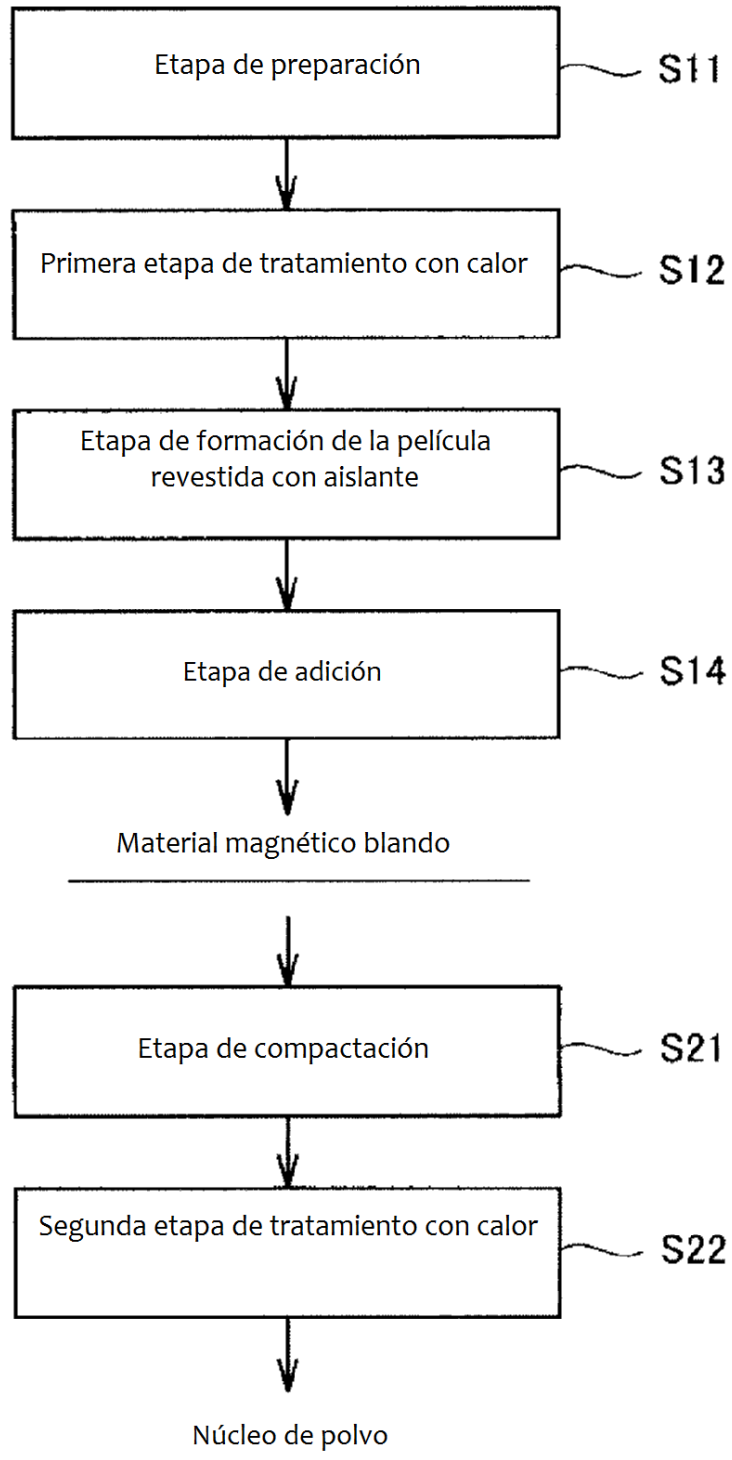


FIG. 7

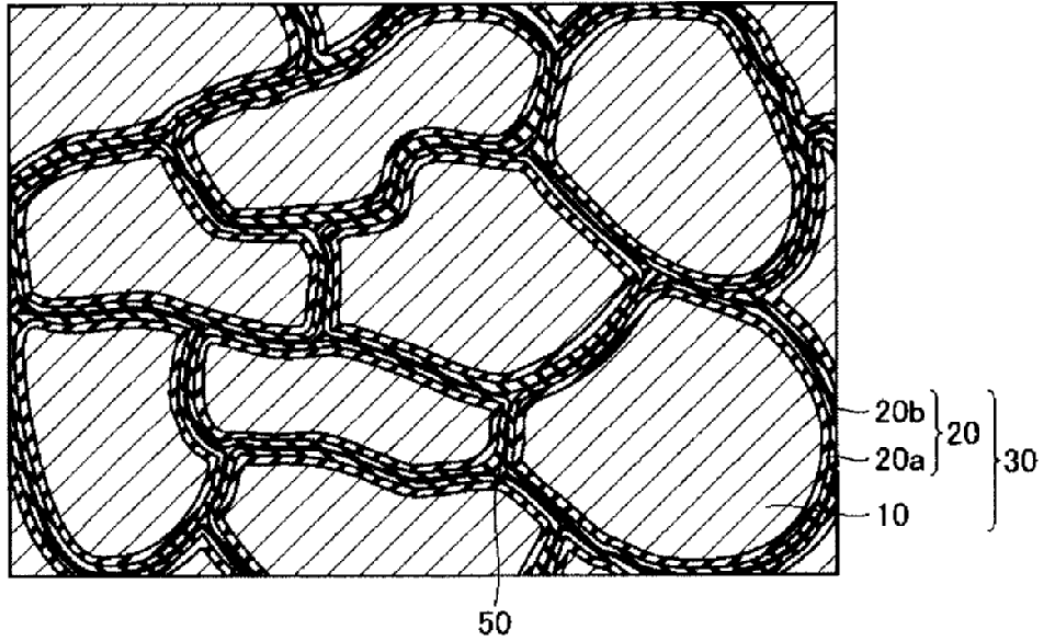


FIG. 8

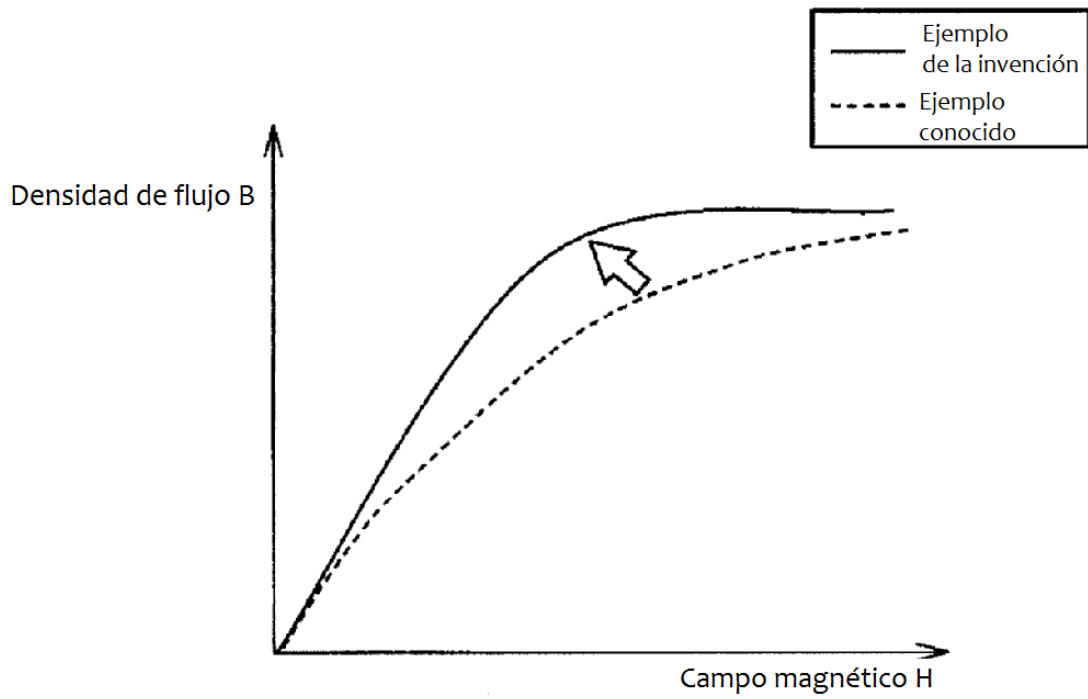


FIG. 9

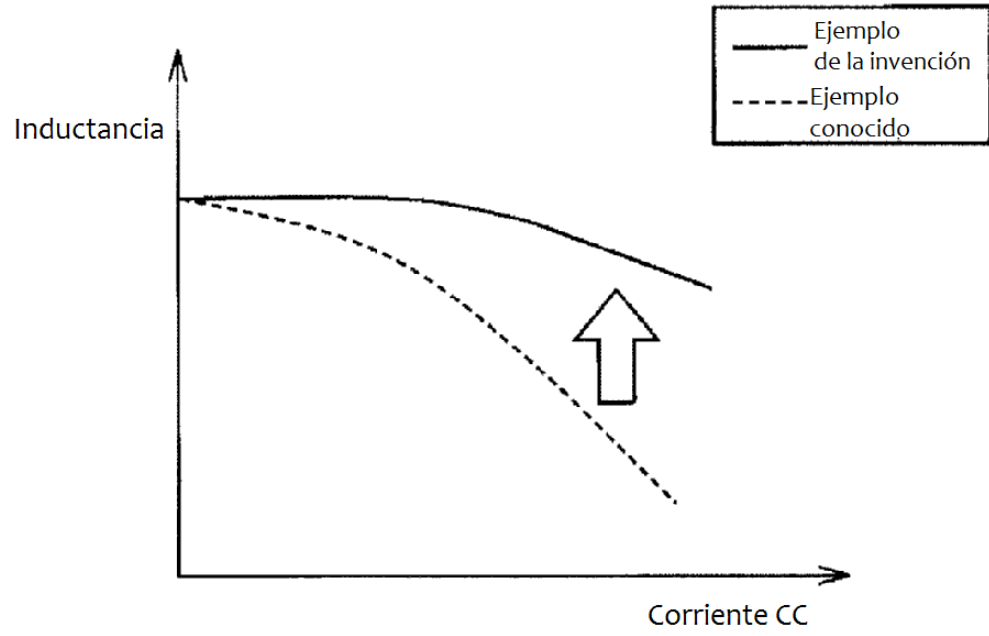


FIG. 10

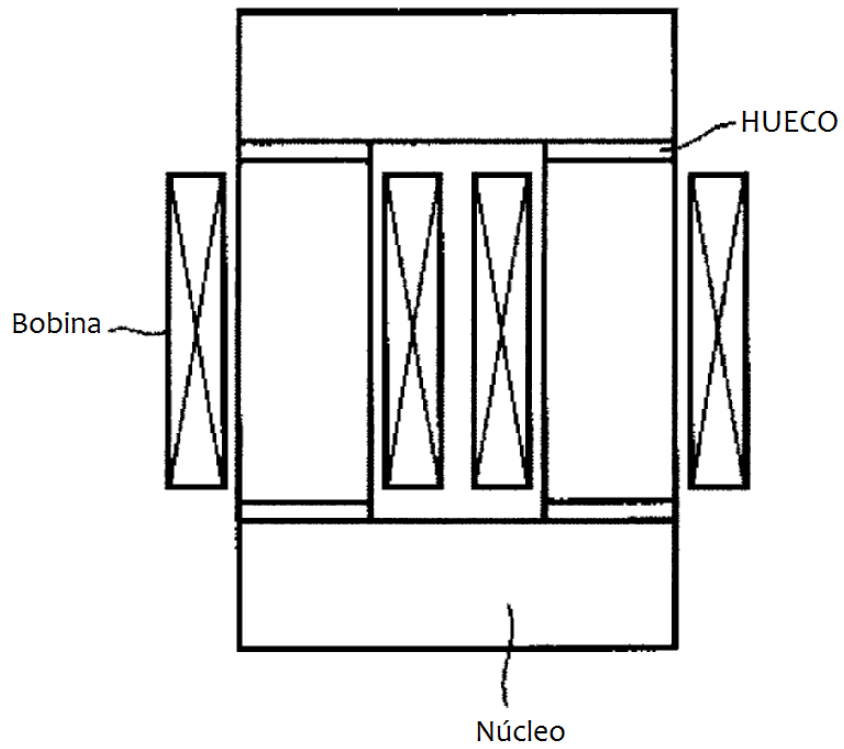


FIG. 11

