



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 274 846**

51 Int. Cl.:

C22C 38/18 (2006.01)

C21D 8/12 (2006.01)

C21D 6/00 (2006.01)

H01F 1/147 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **01127435 .4**

86 Fecha de presentación : **26.11.2001**

87 Número de publicación de la solicitud: **1211331**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **05.06.2002**

54

Título: **Material magnético blando de Fe-Cr y método para la fabricación del mismo.**

30

Prioridad: **30.11.2000 JP 2000-365793**
07.06.2001 JP 2001-172892

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.06.2007

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.06.2007

73

Titular/es: **NISSHIN STEEL Co., Ltd.**
4-1 Marunouchi 3-chome
Chiyoda-ku, Tokyo 100-8366, JP

72

Inventor/es: **Morikawa, Hiroshi;**
Shigetomi, Tomoharu;
Hirota, Ryoji y
Yamauchi, Takashi

74

Agente: **García-Cabrerizo y del Santo, Pedro**

ES 2 274 846 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 de Fe-Cr y método para la fabricación del mismo.

5 La presente invención se refiere a un material magnético blando útil como un núcleo, una culata o similares instalado en varios tipos de sensores magnéticos tales como la dirección asistida eléctrica, sistemas de inyección de combustible para vehículos y circuitos magnéticos de CA tales como válvulas de solenoide.

10 Un circuito magnético de CA se construye dentro de un sensor de inducción electromagnética, por ejemplo un sensor magnético de bobina diferencial o un sensor de flujo, o un sensor de cantidad mecánico, por ejemplo un sensor de par de torsión magnetoestrictivo o un sensor de par de torsión con diferencia de fase. Ya se conoce otro tipo de sensor que utiliza una bobina de excitación como bobina de detección. Un núcleo y una culata como partes de tal circuito magnético de CA están compuestos por material magnético blando tal como hierro puro, acero de Si, ferrita blanda o permalloy.

15 El desplazamiento de un objeto o un par de torsión se detecta como un cambio leve en la impedancia o voltaje de la bobina de detección originado en el desplazamiento del objeto mediante la aplicación de CA a la bobina de excitación de tal modo que produce un campo alterno.

20 Una demanda para la mejora de la exactitud de medición se vuelve más y más fuerte tal como el desarrollo de sensores magnéticos. Ya que la reducción de ruidos durante la detección del voltaje de salida es inevitable para la mejora de la exactitud de medición, se aplica necesariamente una corriente eléctrica de alta frecuencia (por ejemplo de 100 Hz - 5 kHz) con una onda sinusoidal o rectangular a una bobina de excitación.

25 Sin embargo, la pérdida por corrientes parásitas de hierro dulce electromagnético (SUYP), que se ha utilizado comúnmente como material magnético blando, aumenta en proporción a un aumento de la frecuencia del campo magnético aplicado, dando como resultado la disminución de la inducción magnética necesaria para un voltaje de salida suficiente. El acero de Si es ventajoso en pérdidas por corrientes parásitas inferiores debido a su resistividad eléctrica elevada comparada con el hierro dulce electromagnético, pero el contenido en Si aumenta necesariamente con el fin de suprimir la reducción de la inducción magnética en un campo alterno con frecuencia no inferior a 1 kHz. Aunque el aumento del contenido en Si aumenta de manera eficaz la resistividad eléctrica, el acero de Si se endurece y empeora en su trabajabilidad a presión.

35 La resistencia a la corrosión es también una de las propiedades requeridas del material magnético blando, que se espera que va a utilizarse en un entorno especial. Pero el hierro dulce electromagnético y el acero de Si tienen mala resistencia a la corrosión. La resistencia a la corrosión puede mejorarse mediante la formación de una capa de tratamiento de Ni o cromato, pero tal chapado origina el aumento de los costes de un producto. El chapado degrada desfavorablemente las propiedades magnéticas y también desvía las propiedades magnéticas debido a la irregularidad en el grosor de la capa de chapado.

40 Permalloy, especialmente permalloy C, es un material excelente en la propiedad magnética de CA con resistividad eléctrica elevada, pero es muy caro. La ferrita blanda tiene elevada resistividad eléctrica con una reducción inferior de la inducción magnética en una zona de alta frecuencia no inferior a 10 kHz comparada con el material metálico, pero por el contrario su densidad de flujo magnético es inferior a la del material metálico en una zona de frecuencia no superior a 5 kHz.

45 El documento JP-A-08 047 235 describe una aleación de Fe-Cr ferrítica que está recocida a una temperatura de entre 700 y 1200°C.

50 La aleación de Fe-Cr se ha utilizado hasta este momento como yugos para un motor paso a paso debido a su resistividad eléctrica elevada, buena resistencia a la corrosión y bajo precio comparada con la permalloy. Sin embargo en el caso en el que se utiliza la aleación de Fe-Cr convencional como una parte en un circuito magnético tal como un sensor magnético que funciona en un campo magnético bajo inferior a 10 Oe con una frecuencia de 100 Hz - 5 kHz, no adquiere un voltaje de salida suficiente necesario para la medición exacta en un terminal de detección.

55 La presente invención tiene como objetivo la provisión de un nuevo material magnético blando de Fe-Cr barato, excelente en sus propiedades como sensor magnético que funciona en un campo magnético bajo de alta frecuencia así como resistencia a la corrosión.

60 El material magnético blando de Fe-Cr recién propuesto tiene una resistividad eléctrica no inferior a $50 \mu\Omega\cdot\text{cm}$ y una estructura metalúrgica compuesta por granos ferríticos en una razón de superficie no inferior al 95% con precipitados de $1 \mu\text{m}$ o de tamaño de partícula inferior en una razón inferior a $6 \times 10^3/\text{mm}^2$ en número.

65 El material magnético blando de Fe-Cr tiene la composición que consiste en hasta el 0,05% en masa de C, hasta el 0,05% en masa de N, hasta el 3,0% en masa de Si, hasta el 1,0% en masa de Mn, hasta el 1,0% en masa de Ni, hasta el 0,04% en masa de P, hasta el 0,01% en masa de S, del 5,0-20,0% en masa de Cr, hasta el 4,0% en masa de Al, el 0-

ES 2 274 846 T3

3% en masa de Mo, el 0-0,5% en masa de Ti y siendo el resto Fe, excepto impurezas inevitables, en las condiciones de (1) y (2)

$$4,3 \times \%Cr + 19,1 \times \%Si + 15,1 \times \%Al + 2,5 \times \%Mo \geq 40,2 \quad (1)$$

$$64 \times \%Si + 35 \times \%Cr + 480 \times \%Ti + 25 \times \%Mo + 490 \times \%Al \geq 221 \times \%C + 247 \times \%N + 40 \times \%Mn + 80 \times \%Ni + 460 \quad (2)$$

El material magnético blando se fabrica proporcionando una aleación de Fe-Cr que tiene la composición especificada, conformando la aleación de Fe-Cr hasta una forma objetivo, y tratando térmicamente la aleación de Fe-Cr conformada en una zona de entre 900°C y una temperatura T(°C) definida por la fórmula (3) en una atmósfera reductora o a vacío. El término “material magnético blando” significa un material, que todavía no está conformado hasta una pieza magnética, en varias formas de láminas, varillas o cables en respuesta a su aplicación

$$T(^{\circ}C) = (64 \times \%Si + 35 \times \%Cr + 480 \times \%Ti + 490 \times \%Al + 25 \times \%Mo + 480) - (221 \times \%C + 247 \times \%N + 40 \times \%Mn + 80 \times \%Ni) \quad (3)$$

La figura 1 es una vista esquemática para explicar un circuito de detección de un sensor de par de torsión magnetostrictivo.

La figura 2 es otra vista esquemática para explicar una bobina de detección instalada en el circuito de detección.

La figura 3 es un gráfico que muestra el efecto de la resistividad eléctrica sobre la inducción magnética de un material magnético blando de Fe-Cr.

La figura 4 es un gráfico que muestra el efecto de la proporción de granos de martensita sobre la inducción magnética de un material magnético blando de Fe-Cr.

La figura 5 es un gráfico que muestra el efecto del número de precipitados finos sobre la inducción magnética de un material magnético blando de Fe-Cr.

Cuando se carga un material magnético blando con un campo magnético alterno, se producen pérdidas de energía en el material magnético blando.

La pérdida por histéresis que es una de las pérdidas de energía, se deriva de la supresión de movimiento de las paredes de los dominios ferromagnéticos debido a la interacción entre las paredes de los dominios ferromagnéticos y los precipitados o defectos de la red cristalina. En este sentido, la pérdida por histéresis se reduce a medida que disminuyen los precipitados y los defectos de la red cristalina. Como para una aleación de Fe-Cr, es prácticamente importante inhibir la generación de los precipitados finos y granos de martensita.

También la pérdida por corrientes parásitas es una de las energías desventajosas. La corriente parásita, es decir una corriente secundaria inducida por el cambio de la intensidad magnética debido a la conductividad del material metálico magnético blando, significa la pérdida de energía originada por la pérdida resistiva. Con el fin de reducir la pérdida por corrientes parásitas, la resistividad eléctrica del material magnético blando se hará necesariamente mayor de modo que se impida la corriente parásita.

En estos puntos de vista, los inventores han estudiado y examinado los efectos de la resistividad eléctrica y una estructura metalúrgica así como el estado de precipitados sobre magnitudes de pérdidas por corrientes parásitas y por histéresis y también han estudiado el mecanismo de densidad de flujo magnético elevada en un campo magnético bajo alterno. Aunque se calienta necesariamente un material magnético blando de Fe-Cr convencional a una temperatura superior a su línea sólido - soluble (es decir un límite entre una disolución sólida y una fase mixta) para la disolución de partículas de carburo finas en su matriz, el calentamiento a una temperatura excesivamente superior origina la generación de la fase γ que se transforma en granos de martensita durante el enfriamiento. Por tanto, es necesario especificar precipitados que impongan influencias nocivas sobre la propiedad magnética blanda, y también determinar las condiciones de la composición y del tratamiento térmico que puedan disolver los precipitados nocivos en una matriz sin generación de la fase de martensita.

Un sensor de par de torsión magnetostrictivo, uno de los sensores magnéticos, tiene un circuito de detección mostrado en la figura 1. Un eje 1 rotatorio se mantiene en una posición orientada hacia una bobina 2 de excitación y una bobina 3 de detección. La bobina 3 de detección tiene un circuito magnético equipado con una pieza 5 magnética blanda en la que se devana un cable 4 conductor, tal como se muestra en la figura 2. Cuando se carga un voltaje V

ES 2 274 846 T3

predeterminado entre los terminales para producir una corriente i eléctrica, se genera un flujo Φ magnético entre la pieza 5 magnética blanda y un objeto S de medición. Se detecta un cambio de la magnetoestricción originada por la tensión debida a un par de torsión, por la bobina 3 de detección como la variación del voltaje de salida inducido por el flujo Φ magnético generado por la bobina 2 de excitación accionada por el oscilador 6 y el amplificador 7 de potencia. Un resultado de detección sale a través de un detector 8 sincrónico y un amplificador 9.

Una pieza magnética blanda tal como un núcleo instalado en el circuito de detección se fabrica mediante el trabajo mecánico de una lámina de acero magnético blando o similar hasta una forma predeterminada. El material magnético blando así trabajado tiene mala permeabilidad magnética debido a la permanencia de tensiones introducidas por el trabajo mecánico, dando como resultado mala inducción magnética. Tales influencias nocivas de las tensiones se eliminan mediante el tratamiento térmico para liberar las tensiones.

Los inventores han estudiado los efectos de varios factores sobre la inducción magnética de una pieza magnética blanda tal como sigue: se trabajan mecánicamente aceros magnéticos blandos de Fe-Cr que se diferencian entre sí en la resistividad eléctrica, hasta una forma anular, se someten a recocido en varias condiciones y entonces se presentan para la medición de la densidad de flujo magnético. La densidad de flujo magnético se mide mediante un analizador B-H en un campo magnético bajo de excitación con una frecuencia de oscilación de 1 kHz y una intensidad magnética de 1 Oe.

Los resultados de las mediciones se muestran en la figura 3. Se observa que mejora notablemente un material magnético blando en la inducción magnética a una resistividad eléctrica superior a $50 \mu\Omega\cdot\text{cm}$. Además los inventores han estudiado los efectos de composiciones de materiales magnéticos blandos, cuya resistividad eléctrica es superior a $50 \mu\Omega\cdot\text{cm}$, sobre la resistividad eléctrica, y han descubierto que la resistividad ρ eléctrica de la aleación de Fe-Cr está definida por la fórmula mencionada a continuación. En consecuencia, se determina la fórmula (1) anteriormente mencionada con el fin de obtener una resistividad ρ eléctrica superior a $50 \mu\Omega\cdot\text{cm}$.

$$\rho(\mu\Omega \cdot \text{cm}) = 4,3\%\text{Cr} + 19,1\%\text{Si} + 15,1\%\text{Al} + 2,5\%\text{Mo} + 9,8$$

Sin embargo, las piezas magnéticas blandas compuestas por la misma aleación de Fe-Cr tienen la característica de que se desvía significativamente la inducción magnética en respuesta a las condiciones de recocido, para su uso en un circuito magnético que funciona en un campo magnético bajo de 1 Oe o así. Los inventores han investigado los efectos de las estructuras metalúrgicas sobre la inducción magnética para la elucidación de causas que conducen a la desviación de la inducción magnética, observando la estructura metalúrgica de un material magnético blando recocido. Como resultado, los inventores han descubierto que la estructura metalúrgica, que implica granos de martensita o precipitados finos en una fase única de ferrita libre de granos de martensita, tiene muy mala inducción magnética (es decir, mala propiedad de sensor), incluso si la pieza magnética blanda está compuesta por la misma aleación de Fe-Cr.

El efecto desfavorable de los granos de martensita sobre la inducción magnética se observa aparentemente en la aleación de Fe-Cr que implica granos de martensita en una proporción del 5% en volumen o superior. Los precipitados de $1 \mu\text{m}$ o de mayor tamaño de partícula no tienen un efecto sustancialmente sobre la inducción magnética, pero la inducción magnética se ve afectada por los precipitados finos inferiores a $1 \mu\text{m}$ de tamaño de partícula. La inducción magnética empeora a medida que aumentan los precipitados en número. Especialmente la distribución de precipitados finos inferiores a $1 \mu\text{m}$ en una proporción de $6 \times 10^5/\text{mm}^2$ en número origina la degradación significativa de la inducción magnética, tal como se muestra en la figura 5.

Estos resultados prueban que una aleación de Fe-Cr, que es útil como una pieza magnética blanda instalada en un circuito magnético tal como un sensor magnético que funciona en un campo de excitación de alta frecuencia, tendrá una resistividad eléctrica no inferior a $50 \mu\Omega\cdot\text{cm}$ y una estructura metalúrgica así recocida que implica granos de martensita no superior al 5% en volumen con precipitados de $1 \mu\text{m}$ o de tamaño de partícula inferior en una proporción no superior a $6 \times 10^5/\text{mm}^2$.

Los precipitados finos de $1 \mu\text{m}$ o de tamaño de partícula inferior pueden reducirse notablemente calentando una aleación de Fe-Cr a una temperatura superior a 900°C . El efecto del tratamiento térmico sobre la disminución de precipitados finos se observa perfectamente manteniendo a una temperatura la aleación de Fe-Cr preferiblemente durante 30 minutos o más. Sin embargo, una temperatura de mantenimiento excesivamente elevada significa un sobrecalentamiento de la aleación de Fe-Cr en una zona γ , dando como resultado la generación de granos de martensita durante el enfriamiento.

Una clase de acero de este tipo, que origina la fase γ a una temperatura de calentamiento inferior de 900°C , no puede convertirse en una estructura metalúrgica compuesta por una fase única de ferrita eficaz para mejorar la inducción magnética con la supresión de los precipitados finos. Considerando la exactitud práctica del control de la temperatura en un horno convencional, un intervalo de temperatura del tratamiento térmico para la generación de una matriz de ferrita única que implica menos precipitados finos sin granos de martensita, tendrá una tolerancia de al menos $\pm 20^\circ\text{C}$ (idealmente $\pm 50^\circ\text{C}$) con respecto a una temperatura predeterminada.

Una temperatura T (°C) de iniciación para la generación de la fase γ está representada por la fórmula (3) anteriormente mencionada según los estudios de los inventores sobre los efectos de los elementos de aleación. Por otro lado, la temperatura T (°C) de iniciación no será inferior a 900°C para inhibir la generación de los granos de martensita y los precipitados finos con una tolerancia de al menos $\pm 20^\circ\text{C}$ considerando la exactitud del control de la temperatura en un horno convencional.

Por tanto, la temperatura T (°C) de iniciación se determina a una temperatura no inferior a 940°C. La fórmula (2) anteriormente mencionada se obtiene insertando la fórmula (3) a la relación de $T \geq 940^\circ\text{C}$. Además, la temperatura para el tratamiento térmico se ajusta preferiblemente a 940°C o superior con el fin de fomentar el crecimiento de granos cristalinos sin la generación de la fase de martensita para mejorar la propiedad magnética. Una temperatura T ideal es de 980°C como mínimo.

La generación de una estructura metalúrgica compuesta por una fase de ferrita única se fomenta añadiendo un(os) elemento(s) de estabilización de la ferrita, tales como Si, a aleación de Fe-Cr para el aumento de la temperatura T de iniciación. Sin embargo, la adición excesiva del (de los) elemento(s) de estabilización de la ferrita origina la degradación de la laminabilidad y la trabajabilidad a presión así como también la aparición de defectos superficiales.

La reducción de los granos de martensita en una proporción no superior al 5% en volumen suprime de manera eficaz la degradación de la inducción magnética, tal como se muestra en la figura 4. La reducción de los granos de martensita se consigue ampliando una diferencia entre una intensidad de ferritización (representada por $11,5 \times \% \text{Si} + 11,5 \times \% \text{Cr} + 49 \times \% \text{Ti} + 12 \times \% \text{Mo} + 52 \times \% \text{Al}$) y una intensidad de austenitización (representada por $420 \times \% \text{C} + 470 \times \% \text{N} + 7 \times \% \text{Mn} + 23 \times \% \text{Ni}$). Tal diferencia superior a 124 hace posible suprimir absolutamente la generación de granos de martensita, ya que una aleación de Fe-Cr puede calentarse hasta 1030°C o así sin generación de la fase γ .

La temperatura T de iniciación para la generación de la fase γ es superior a medida que aumenta la diferencia entre las intensidades de ferritización y austenitización, de modo que fomenta la producción de una estructura metalúrgica compuesta por una fase de ferrita única. Sin embargo, el aumento de la diferencia requiere muchos elementos de ferritización añadidos a la aleación de Fe-Cr, dando como resultado la degradación de la laminabilidad y la trabajabilidad a presión así como la aparición de defectos superficiales. En esta consecuencia, se determina preferiblemente la composición de la aleación de Fe-Cr recién propuesta tal como sigue:

hasta el 0,05% en masa de C

C es un elemento nocivo para la propiedad magnética de un material magnético blando de Fe-Cr, ya que acelera la generación de granos de martensita y la precipitación de carburos. La aleación de Fe-Cr es más dura a medida que aumenta el contenido en C, dando como resultado una mala trabajabilidad a presión. Estas influencias nocivas se suprimen controlando el contenido en C no superior al 0,05% en masa.

hasta el 0,05% en masa de N

N es también un elemento nocivo, ya que acelera la generación de granos de martensita y empeora la trabajabilidad a presión de la aleación de Fe-Cr debido al aumento de la dureza. En este sentido, se controla un límite superior del contenido en N en el 0,05% en masa.

hasta el 3,0% en masa de Si

Si es un elemento de aleación eficaz para el aumento de la resistividad eléctrica y la inducción magnética en un campo magnético alterno. El Si aditivo suprime favorablemente la generación de martensita, que impone influencias nocivas sobre la propiedad magnética blanda. Sin embargo, la adición excesiva de Si origina el aumento de la dureza y la degradación de la trabajabilidad a presión. En este sentido, se determina un límite superior del contenido en Si en el 3,0% en masa.

hasta el 1,0% en masa de Mn

Mn es un elemento de impureza, que se incluyen en una aleación de Fe-Cr fundida a partir de una materia prima tal como chatarra en una etapa de fusión de la aleación, y acelera la generación de martensita. Por tanto, se determina un límite superior del contenido en Mn en el 1,0% en masa

hasta el 1,0% en masa de Ni

Ni es también un elemento de impureza, que se incluye en una aleación de Fe-Cr fundida a partir de una materia prima tal como chatarra en una etapa de fusión de la aleación, y acelera la generación de martensita. Por tanto, se determina un límite superior del contenido en Ni en el 1,0% en masa.

ES 2 274 846 T3

hasta el 0,04% en masa de P

P se incluye como fosfuros, que impone influencias nocivas sobre la propiedad magnética blanda, de tal modo que se determina un límite superior del contenido en P en el 0,04% en masa.

hasta el 0,01% en masa de S

S se incluye como sulfuros, que impone influencias nocivas sobre la propiedad magnética blanda, de tal modo que se determina un límite superior del contenido en S en el 0,01% en masa

del 5,0-20,0% en masa de Cr

Cr es un elemento de aleación, que suprime la generación de martensita, aumenta la resistividad eléctrica de una aleación de Fe-Cr, mejora la inducción magnética en un campo magnético alterno al igual que Si, y también mejora la resistencia a la corrosión. Estos aspectos se observan aparentemente a un contenido en Cr superior al 5,0% en masa (preferiblemente el 10% en masa). Sin embargo, la adición excesiva de Cr superior al 20,0% en masa degrada la inducción magnética y la trabajabilidad a presión de la aleación de Fe-Cr debido al aumento de la dureza.

hasta el 4,0% en masa de Al

Al es un elemento de aleación, que aumenta notablemente la resistividad eléctrica y la inducción magnética en un campo magnético alterno al igual que Si y Cr. Sin embargo, la adición excesiva de Al origina la aparición de defectos superficiales originados en las inclusiones de tipo A_1 , de tal modo que se determina un límite superior del contenido en Al en el 4,0% en masa.

del 0-3% en masa de Mo

Mo es un elemento de aleación opcional, que suprime la generación de martensita, aumenta la resistividad eléctrica, mejora la inducción magnética en un campo magnético alterno y también mejora la resistencia a la corrosión al igual que Cr. Sin embargo, la adición excesiva de Mo superior al 3% en peso endurece significativamente una aleación de Fe-Cr y degrada su trabajabilidad a presión.

del 0-0,5% en masa de Ti

Ti es un elemento de aleación opcional, que suprime la generación de martensita al igual que Cr y Mo, pero origina la aparición de defectos superficiales originados en inclusiones de titanilo. En este sentido, se determina un límite superior del contenido en Ti en el 0,5% en masa.

Ejemplo

Se fundieron varias aleaciones de Fe-Cr que tienen las composiciones mostradas en la tabla 1, en un horno de alta frecuencia de 30 kg en una atmósfera de vacío. Se fabricó una lámina de aleación magnética blanda de Fe-Cr de 2,0 mm de espesor a partir de cada aleación mediante colada, forja, laminación en caliente, laminación en frío, recocido de acabado y después decapado.

(Tabla pasa a página siguiente)

Tabla 1: aleaciones de Fe-Cr utilizadas en el ejemplo 1

Nº de aleación	Elementos de aleación (% en masa)											Valor		Obse r-	Ejemplos de la invención	Ejemplos compa- rativos
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Ti	Al	Mo	N	A	B			
A1	0,011	0,62	0,25	0,031	0,002	0,21	11,3	0,22	0,03	0,02	0,008	60,9	525			
A2	0,002	0,65	0,23	0,033	0,001	0,14	12,5	0,00	0,02	0,01	0,002	66,5	468			
A3	0,008	0,57	0,25	0,031	0,001	0,15	11,6	0,19	0,02	0,02	0,012	61,1	517			
A4	0,008	0,58	0,24	0,032	0,002	0,20	10,9	0,20	0,02	0,01	0,011	58,3	495			
A5	0,012	1,80	0,27	0,030	0,002	0,21	8,9	0,18	0,10	1,02	0,010	76,7	555			
A6	0,013	0,61	0,45	0,029	0,001	0,20	16,5	0,05	0,01	0,02	0,017	82,8	605			
A7	0,012	0,03	0,3	0,029	0,002	0,16	13,1	0,00	0,59	0,01	0,015	65,9	719			
A8	0,008	0,00	0,3	0,029	0,002	0,16	11,2	0,01	2,45	0,01	0,015	85,2	1567			
A9	0,009	0,27	0,45	0,028	0,001	0,40	18,2	0,14	2,90	0,02	0,013	127,3	2088			
B1	0,011	0,50	0,63	0,031	0,002	0,16	11,8	0,00	0,02	0,02	0,012	60,6	412			
B2	0,035	0,25	0,88	0,032	0,002	0,45	10,6	0,20	0,02	0,01	0,017	50,7	410			
B3	0,005	0,23	0,21	0,031	0,001	0,11	7,8	0,37	0,01	0,01	0,005	38,1	521			

Las cifras subrayadas están fuera del alcance de la presente invención.

ES 2 274 846 T3

Se cortaron probetas de cada lámina de aleación magnética blanda de Fe-Cr.

Tras haberse sometido a recocido una probeta anular de 45 mm de diámetro externo y 33 mm de diámetro interno en las condiciones mostradas en la tabla 2, se midió su densidad B de flujo magnético por un analizador B-H en un campo magnético de 1 Oe con una frecuencia de 1 kHz.

Se atacó químicamente otra probeta de 30 mm x 30 mm de tamaño con un líquido de glicerina - ácido fluoronítrico ($\text{HF} : \text{HNO}_3 : \text{glicerina} = 2:1:2$) y después se sometió a un método de recuento de puntos utilizando un microscopio óptico para la medición de martensita.

Se atacó químicamente la misma probeta mediante un método SPEED (ataque químico potencioestático selectivo mediante disolución electrolítica (Selective Potentiostatic Etching by Electrolytic Dissolution)) y entonces se observó por un microscopio de barrido. Se contó el número de precipitados finos de $1 \mu\text{m}$ o de tamaño de partícula inferior, visualizado en una pantalla de monitor, para calcular el número de precipitados finos por 1 mm^2 . Además se sometió una probeta de 5 mm de anchura y 150 mm de longitud al método de puente de Wheatstone para medir su resistividad eléctrica.

Por otro lado, se trabajó a presión la lámina de aleación de Fe-Cr magnética blanda hasta dar los núcleos de las bobinas de excitación y de detección, y entonces se sometió a recocido en las mismas condiciones que el imán anular. Los núcleos se inspeccionaron para detectar la presencia o ausencia de grietas. Se evaluó la trabajabilidad a presión de la lámina de aleación de Fe-Cr en respuesta a la aparición de grietas.

Se instaló cada núcleo en un sensor de par de torsión magnetoestrictivo (mostrado en la figura 1). Se midió un voltaje de salida de una bobina de detección correspondiente a un par de torsión de entrada en un campo magnético de 1 Oe con una frecuencia de oscilación de 1 kHz aplicada a una bobina de excitación. Se comparó el voltaje medido con un valor estándar (100) representando un voltaje de salida necesario para un sensor, y se evaluó la propiedad de sensor como buena (O) en un valor no inferior a 100, como ligeramente defectuosa (Δ) en un valor de 100-80 o como defectuosa (X) en un valor inferior a 80.

Los resultados del ensayo se muestran junto con condiciones de recocido en la tabla 2.

Los resultados prueban que las probetas números 1-9, cuya resistividad eléctrica, la proporción de martensita y el número de precipitados finos se controlaron según la presente invención, produjeron una densidad de flujo magnético no inferior a 500 G y voltaje de salida superior. Por tanto, las láminas de aleación de Fe-Cr números 1-9 son útiles como núcleos de un sensor de par de torsión mejorado en la propiedad de sensor.

Por otro lado, la lámina de aleación de Fe-Cr nº B1 tenía una inducción magnética significativamente empeorada debido a su estructura metalúrgica en la que están excesivamente distribuidos los precipitados finos de $1 \mu\text{m}$ o de tamaño de partícula inferior en una proporción superior a $6 \times 10^5/\text{mm}^2$ en número. Como resultado, un núcleo compuesto por la lámina de aleación nº B1 era inferior en la propiedad de sensor.

La probeta nº 13, que estaba compuesta por la lámina de aleación de Fe-Cr que tenía la misma composición pero recocida a una temperatura inferior en un campo magnético, tenía una inducción magnética significativamente empeorada debido a su estructura metalúrgica que distribuye excesivamente los precipitados finos de $1 \mu\text{m}$ o de tamaño de partícula inferior en la misma. Un núcleo compuesto por la lámina de aleación nº 13 también era inferior en la propiedad de sensor debido a tal degradación de la inducción magnética. La probeta nº 14, que por el contrario se sometió a recocido a una temperatura excesivamente alta, implica muchos granos de martensita en un estado recocido. Por tanto, el núcleo compuesto por la lámina de aleación nº 14 tenía una inducción magnética significativamente empeorada debido a la generación de martensita, dando como resultado mala propiedad de sensor.

TABLA 2: Efectos de las condiciones de recocido, resistividad eléctrica y estructura metalúrgica sobre la trabajabilidad a presión, propiedad magnética y propiedad de sensor

N° de muestra	N° de aleación	Valor T	Recocido		Resistividad eléctrica $\mu\Omega \cdot \text{cm}$	Proporción de la fase ferrítica (%)	Número de precipitados finos ($\times 10^5/\text{mm}^2$)	Densidad de flujo magnético B (G)	Propiedad de sensor	observación	
			Temperatura (°C)	horas						Ejemplos de la invención	Ejemplos comparativos
1	A1	1005	980	2	61	100	0,6	570	O		
2	A2	948	940	2	65	100	0,2	870	O		
3	A3	997	980	2	62	100	0,4	660	O		
4	A4	975	960	2	59	100	0,4	580	O		
5	A5	1035	980	2	75	100	0,3	740	O		
6	A6	1085	980	2	83	100	0,5	550	O		
7	A7	1199	1060	2	65	100	0,2	770	O		
8	A8	2047	1000	2	121	100	2,5	870	O		
9	A9	2568	1000	2	99	100	0,9	840	O		
10	B1	892	880	2	61	100	7,4	210	x		
11	B2	890	940	2	51	92	0,7	210	x		
12	B3	1001	980	2	47	100	0,2	380	(Δ)		
13	A1	1005	880	2	61	100	9,5	180	X		
14	A1	1005	1060	2	61	88	0,4	220	x		

$T = (64 \times \%Si + 35 \times \%Cr + 480 \times \%Ti + 490 \times \%Al + 25 \times \%Mo + 480) - (221 \times \%C + 40 \times \%Mn + 80 \times \%Ni + 247 \times \%N)$

O: buena, (Δ): ligeramente defectuosa, x: defectuosa

Las cifras subrayadas están fuera del alcance de la presente invención.

ES 2 274 846 T3

El material magnético blando según la presenta invención tal como se mencionó anteriormente está compuesto por una aleación de Fe-Cr que tiene resistividad eléctrica no inferior a $50 \mu\Omega\cdot\text{cm}$ y una estructura metalúrgica que implica menos granos de martensita y suprime la distribución de precipitados finos. Debido a la alta resistividad y a la estructura metalúrgica especificada, el material magnético blando produce gran inducción magnética, dando como resultado una propiedad de sensor excelente, incluso en un campo magnético bajo excitado con alta frecuencia. Como resultado, se ofrece una buena exactitud de medición del sensor instalando el material magnético blando como un núcleo o culata en un circuito magnético tal como un sensor de inducción electromagnética o un sensor de cantidad mecánico.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Material magnético blando de Fe-Cr, que tiene resistividad eléctrica no inferior a 50 μcm y una estructura metalúrgica compuesta por granos ferríticos en una razón de superficie no inferior al 95% con precipitados de 1 μm o de tamaño de partícula inferior en una proporción no superior a $6 \times 10^5/\text{mm}^2$ en número, y

que consiste en hasta el 0,05% en masa de C, hasta el 0,05% en masa de N, hasta el 3,0% en masa de Si, hasta el 1,0% en masa de Mn, hasta el 1,0% en masa de Ni, hasta el 0,04% en masa de P, hasta el 0,01% en masa de S, del 5,0-20,0% en masa de Cr, hasta el 4,0% en masa de Al, el 0-3% en masa de Mo, el 0-0,5% en masa de Ti y siendo el resto Fe, excepto impurezas inevitables, en las condiciones de las fórmulas (1) y (2)

$$4,3 \times \% \text{Cr} + 19,1 \times \% \text{Si} + 15,1 \times \% \text{Al} + 2,5 \times \% \text{Mo} \geq 40,2 \quad (1)$$

$$64 \times \% \text{Si} + 35 \times \% \text{Cr} + 480 \times \% \text{Ti} + 25 \times \% \text{Mo} + 490 \times \% \text{Al} \geq 221 \times \% \text{C} + 247 \times \% \text{N} + 40 \times \% \text{Mn} + 80 \times \% \text{Ni} + 460 \quad (2)$$

2. Método de fabricación de un material magnético blando de Fe-Cr, que comprende las etapas de:

proporcionar una aleación de Fe-Cr que tiene una composición que consiste en hasta el 0,05% en masa de C, hasta el 0,05% en masa de N, hasta el 3,0% en masa de Si, hasta el 1,0% en masa de Mn, hasta el 1,0% en masa de Ni, hasta el 0,04% en masa de P, hasta el 0,01% en masa de S, del 5,0-20,0% en masa de Cr, hasta el 4,0% en masa de Al, del 0-3% en masa de Mo, del 0-0,5% en masa de Ti y siendo el resto Fe, excepto impurezas inevitables, en las condiciones de las fórmulas (1) y (2)

$$4,3 \times \% \text{Cr} + 19,1 \times \% \text{Si} + 15,1 \times \% \text{Al} + 2,5 \times \% \text{Mo} \geq 40,2 \quad (1)$$

$$64 \times \% \text{Si} + 35 \times \% \text{Cr} + 480 \times \% \text{Ti} + 25 \times \% \text{Mo} + 490 \times \% \text{Al} \geq 221 \times \% \text{C} + 247 \times \% \text{N} + 40 \times \% \text{Mn} + 80 \times \% \text{Ni} + 460 \quad (2)$$

conformar dicha aleación de Fe-Cr hasta una forma objetivo; y

tratar térmicamente dicha aleación de Fe-Cr conformada en una zona de entre 900°C y una temperatura definida por la fórmula (3) en una atmósfera reductora o a vacío.

$$T(^{\circ}\text{C}) = (64 \times \% \text{Si} + 35 \times \% \text{Cr} + 480 \times \% \text{Ti} + 490 \times \% \text{Al} + 25 \times \% \text{Mo} + 480) - (221 \times \% \text{C} + 247 \times \% \text{N} + 40 \times \% \text{Mn} + 80 \times \% \text{Ni}) \quad (3)$$

FIGURA 1

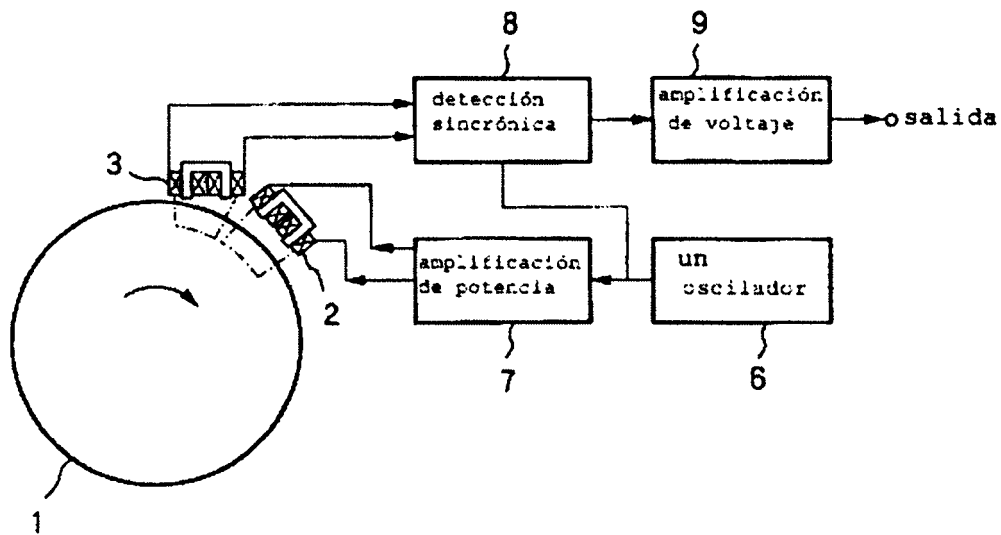


FIGURA 2

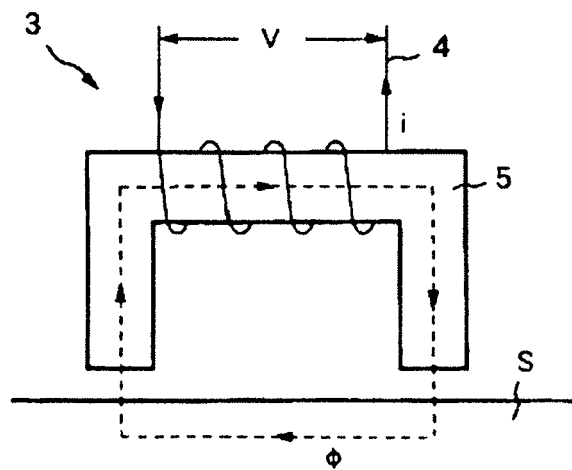


FIGURA 3

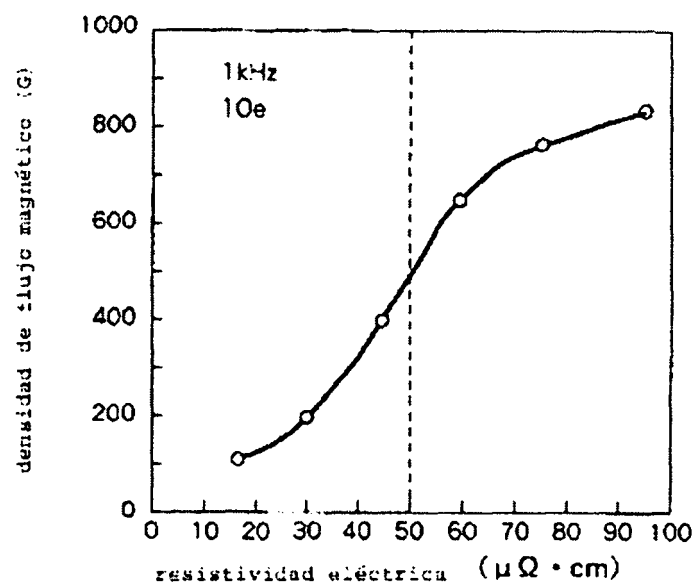


FIGURA 4

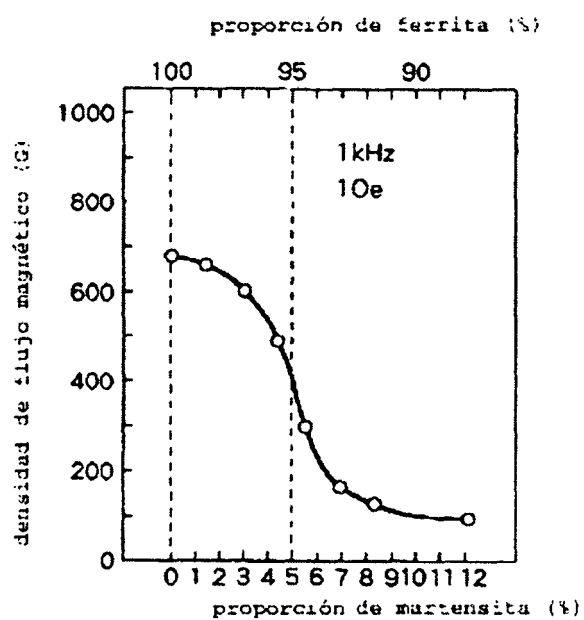


FIGURA 5

