

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 689 552**

51 Int. Cl.:

C22C 19/07	(2006.01)
C22C 30/00	(2006.01)
C22F 1/16	(2006.01)
C21D 6/00	(2006.01)
C21D 8/12	(2006.01)
C22C 38/10	(2006.01)
C22C 38/12	(2006.01)
H01F 1/147	(2006.01)
C22F 1/10	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.12.2012 PCT/EP2012/075851**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **20.06.2013 WO13087939**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.12.2012 E 12801754 (8)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.07.2018 EP 2791377**

54 Título: **Método de fabricación de una banda delgada fabricada de una aleación magnética blanda**

- 30 Prioridad:
16.12.2011 WO PCT/FR2011/053037
- 45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.11.2018

- 73 Titular/es:
**APERAM (100.0%)
12C rue Guillaume Kroll
1882 Luxembourg, LU**
- 72 Inventor/es:
**WAECKERLE, THIERRY y
BATONNET, RÉMY**
- 74 Agente/Representante:
SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 689 552 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

Método de fabricación de una banda delgada fabricada de una aleación magnética blanda

- 5 **[0001]** La presente invención se refiere a la fabricación de una banda de aleación magnética blanda del tipo hierro-cobalto.
- [0002]** Numerosos equipos electrotécnicos llevan piezas magnéticas y particularmente culatas magnéticas fabricadas de aleaciones magnéticas blandas. Este es el caso en particular de los generadores eléctricos equipados en los vehículos, particularmente en el campo de la aeronáutica, ferroviaria o automovilística. Generalmente, las aleaciones utilizadas son aleaciones del tipo hierro-cobalto y especialmente las aleaciones que incluyen aproximadamente el 50 % en peso de cobalto. Estas aleaciones tienen la ventaja de tener una inducción muy fuerte en la saturación, una permeabilidad elevada para las inducciones del trabajo igual o superior a 1,6 Teslas y una resistividad suficientemente fuerte que permite una reducción de las pérdidas de la corriente alternativa y a inducción elevada. Cuando las mismas son de uso común, estas aleaciones tienen una resistencia mecánica que corresponde a un límite de elasticidad de entre 300 y 500 MPa aproximadamente. No obstante, para ciertas aplicaciones, es deseable disponer de aleaciones de límite elástico elevado cuyo límite de elasticidad puede alcanzar o sobrepasar 600 MPa, aún en ciertos casos 900 MPa. Estas últimas aleaciones llamadas HLE son particularmente útiles para realizar alternadores miniaturizados equipados en los aviones. Estos alternadores están caracterizados por velocidades de rotación muy elevadas que pueden sobrepasar 20 000 tr/min, que necesitan una gran resistencia mecánica de las piezas que constituyen las culatas magnéticas. Para lograr las características de las aleaciones con límite de elasticidad elevado, se ha propuesto en diferentes patentes añadir diferentes elementos de aleación tales como el niobio, carbono y boro particularmente.
- 25 **[0003]** Todos estos materiales que contienen del 15 al 55 % en peso de cobalto, como los que tienen una composición de Fe-Co aproximadamente equiatómica, o los que contienen mucho más de hierro que cobalto, han de ser sometidos a un recocido adaptado para obtener las propiedades de empleo deseadas, y especialmente un buen compromiso entre las características mecánicas y las características magnéticas deseadas en función de los usos para los cuales están destinados. Para estas aleaciones, se conoce, se sabe bien, y se pone en práctica que las piezas electrotécnicas (estatores, rotores y otros perfiles diversos) se recortan en bandas de material estirado obtenidas por laminado en frío hasta el espesor final. Después del recorte, las piezas son sometidas sistemáticamente, en la última etapa, a un recocido del tipo estático para ajustar las propiedades magnéticas. Se entiende por recocido estático en el estado del arte de las aleaciones de Fe-Co, un tratamiento térmico en el transcurso del cual las piezas recortadas se mantienen por encima de 200 °C durante al menos 1 hora y se les hace pasar a una temperatura superior o igual a 700 °C, a la cual se impone una estabilización. Se entiende por estabilización un periodo de tiempo de al menos 10 minutos durante el cual la temperatura varía como mucho 20 °C por encima o por debajo de una temperatura de consigna. Durante este tratamiento, las elevaciones y descensos entre la temperatura ambiental y la de estabilización comprenden en general un tiempo de al menos 1 hora en el régimen de producción industrial. Por lo tanto, un tratamiento de recocido "estático" industrial, que permite una buena optimización de los rendimientos magnéticos, comprende para este una estabilización de la temperatura de una a varias horas: el recocido "estático" comprende así varias horas.
- 45 **[0004]** De una manera conocida *per se* por el experto en la técnica, el laminado en frío se realiza en las bandas de espesor generalmente del orden de 2 a 2,5 mm, obtenidas por laminado en caliente después de someterse a un hipertemplado. Esto permite evitar en gran parte la transformación ordenada/desordenada en el material que, por lo tanto, permanece muy desordenada, pero cambió poco con respecto a su estado estructural a una temperatura superior a 700 °C. Debido a este tratamiento, el material puede laminarse entonces en frío sin restricciones hasta el espesor final.
- 50 **[0005]** Las bandas obtenidas de este modo tienen entonces una ductilidad suficiente para poder ser recortadas por recorte mecánico. Además, cuando las mismas están destinadas a fabricar culatas magnéticas que consisten en el apilamiento de piezas recortadas en bandas delgadas, estas aleaciones son vendidas a los usuarios bajo la forma de bandas en el estado estirado. El usuario recorta entonces las piezas, las apila y asegura el montaje o el ensamblaje de las culatas magnéticas, luego se realiza el tratamiento térmico de la calidad necesaria para obtener las propiedades deseadas. Este tratamiento térmico de calidad contempla obtener un cierto desarrollo del crecimiento de los granos después de la recristalización, por lo que es el tamaño del grano lo que fija el compromiso entre los rendimientos mecánicos y magnéticos. De acuerdo con las piezas consideradas de la máquina electrotécnica, el compromiso de los rendimientos, y así de los tratamientos térmicos, pueden ser diferentes. Por lo tanto, en general, los estatores y rotores de los generadores de a bordo aeronáuticos se recortan conjuntamente en

la misma porción de la banda para minimizar las virutas de metal. Pero, el rotor experimenta un tratamiento térmico que favorece los rendimientos mecánicos muy elevados, típicamente a una temperatura inferior a 800 °C, mientras que el estator experimenta un tratamiento térmico que optimiza los rendimientos magnéticos (por lo tanto, con un mayor tamaño del grano promedio) típicamente a una temperatura superior a 800 °C.

5

[0006] Además, este tratamiento térmico de calidad puede comprender para cada tipo de pieza recortada, dos recocidos, uno para ajustar las propiedades magnéticas y mecánicas como las que se quieren obtener y el otro para oxidar las superficies de las láminas a fin de reducir las partes magnéticas interlaminares. Este segundo recocido también puede ser reemplazado por un depósito de un material orgánico, mineral o mixto.

10

[0007] Los inconvenientes de la técnica de acuerdo con esta técnica anterior son múltiples y se citarán en particular:

- la necesidad de cambiar de aleación (complicado, aumento de existencias, más costoso) cuando se desea lograr límites elásticos de al menos 500 a 600 MPa; en efecto, la aleación de FeCo conocida por el experto en la técnica adecuada para una gran cantidad de aplicaciones electrotécnicas, puede lograr propiedades magnéticas blandas tales como un campo coercitivo de 0,4 a 0,6 Oe (32 a 48 A/m) cuando el recocido se realiza al menos a 850 °C y también puede lograr un límite elástico de 450-500 MPa cuando la temperatura de recocido se reduce por debajo de 750 °C; en cualquier caso, el límite elástico no lleva nunca a 600 MPa en la misma aleación; para lograr este fin, han de utilizarse otras aleaciones, ligeramente diferentes en composición, utilizando particularmente precipitados o una 2ª fase;
- la necesidad para el usuario de recocer todas las piezas recortadas (ya sea que el grado sea de un límite elástico elevado (HLE)), en efecto, después del recocido estático, la aleación es muy frágil para poder recortarse por medios mecánicos;
- la necesidad de tener que soportar pérdidas magnéticas elevadas para límites elásticos de al menos 500 MPa;
- la dificultad, o incluso la imposibilidad, para los rendimientos del HLE de lograr, mediante tratamiento térmico, un compromiso preciso en los rendimientos mecánicos y magnéticos; de hecho, en teoría siempre es posible obtener rendimientos de HLE (500 a 1200 MPa de límite de elasticidad) para un "recocido estático" tal como se define a continuación aplicando estabilizaciones de temperatura entre 700 y 720 °C, por lo tanto, en un estado metalúrgico que va desde el estado endurecido y después restaurado hasta un estado más o menos cristalizado y propio de este tipo de recocido; pero en la práctica, en este intervalo de 500-1200 MPa, el límite elástico depende muy sensiblemente de la temperatura de la estabilización hasta el grado preciso; esta hipersensibilidad de los rendimientos a la temperatura de la estabilización inhabilita la transposición industrial dado que los hornos industriales estáticos no pueden asegurar en general una homogeneidad de la temperatura de la carga a recocer mejor de +/-10 °C, es decir, la extensión del intervalo de regulación del límite elástico entre 500 y 1200 MPa; excepcionalmente esta homogeneidad puede ser de +/-5 °C; sin embargo, esto no es suficiente para controlar una fabricación industrial.
- la dificultad de lograr costes precisos de las piezas terminadas cuando el recocido estático final se aplica a las piezas recortadas en el metal endurecido, de geometría compleja (pieza/perfil ejemplar en E de transformador de patas alargadas).

[0008] Se conoce adicionalmente a partir del documento US 3.622.409 un método para fabricar piezas hechas de una aleación magnética blanda tal como hierro-cobalto, que comprende recocido continuo.

[0009] El objeto de la presente invención es resolver estos inconvenientes proponiendo un método que permita fabricar una banda delgada de una aleación magnética blanda del tipo hierro-cobalto que, a partir de la misma aleación, permita ofrecer una banda fácilmente recortable que pueda tener también, de manera predefinida, un límite de elasticidad tanto promedio como muy elevado conservando la posibilidad de obtener propiedades magnéticas de buenas a muy buenas aplicando posteriormente un segundo tratamiento térmico estático o continuo, siendo la aleación capaz de pasar de un estado de alto límite de elasticidad a un estado de alto rendimiento magnético bajo el efecto de un recocido de tal como, por ejemplo, un recocido convencional estático, teniendo la aleación además una buena resistencia al envejecimiento de sus propiedades mecánicas hasta 200 °C.

[0010] Con este fin, el objeto de la invención es un método para fabricar una banda de una aleación magnética blanda que puede recortarse mecánicamente, cuya composición química comprende, en peso:

$$\begin{array}{rclcl}
 18 \% & \leq & \text{Co} & \leq & 55 \% \\
 0 \% & \leq & \text{V} + \text{W} & \leq & 3 \% \\
 0 \% & \leq & \text{Cr} & \leq & 3 \%
 \end{array}$$

ES 2 689 552 T3

0 %	≤	Si	≤	3 %
0 %	≤	Nb	≤	0,5 %
0 %	≤	B	≤	0,05 %
0 %	≤	C	≤	0,1 %
0 %	≤	Zr + Ta	≤	0,5 %
0 %	≤	Ni	≤	5 %
0 %	≤	Mn	≤	2 %

El resto es hierro e impurezas resultantes de la elaboración.

[0011] De acuerdo con este método, se lamina en frío una banda obtenida por laminado en caliente de un semiproducto constituido por esta aleación para obtener una banda laminada en frío de espesor inferior a típicamente 0,6 mm y, después del laminado en frío, se realiza sobre la banda un tratamiento de recocido continuo por el paso a través de un horno continuo, a una temperatura comprendida entre la temperatura de transición ordenada/desordenada de la aleación (por ejemplo, 700-710 °C para la aleación de Fe-49 % Co-2 % V bien conocida por el experto en la técnica) y la temperatura de inicio de la transformación ferrítica/austenítica de la aleación (típicamente 880 a 950 °C para las aleaciones de FeCo de la invención), seguido de un enfriamiento rápido hasta una temperatura inferior a 200 °C.

[0012] La temperatura de recocido está comprendida preferiblemente entre 700 °C y 930 °C.

[0013] Preferiblemente, la velocidad de marcha de la banda está adaptada para que el tiempo de permanencia de la banda a la temperatura de recocido sea inferior a 10 mn.

[0014] Preferiblemente, la velocidad de enfriamiento de la banda a la salida del horno de tratamiento sea superior a 1000 °C/h.

[0015] De acuerdo con la invención, se adapta la velocidad de marcha de la banda en el horno y la temperatura de recocido para ajustar la resistencia mecánica de la banda.

[0016] Preferiblemente, la composición química de la aleación es tal que:

47 %	≤	Co	≤	49,5 %
0,5 %	≤	V	≤	2,5 %
0%	≤	Ta	≤	0,5 %
0%	≤	Nb	≤	0,5 %
0%	≤	Cr	<	0,1 %
0%	≤	Si	<	0,1 %
0%	≤	Ni	<	0,1 %
0%	≤	Mn	<	0,1 %

[0017] Este método tiene la ventaja de permitir fabricar una banda delgada fácilmente recortable por medios mecánicos y que se distingue de las bandas conocidas por su estructura metalúrgica. En particular, la banda obtenida por este método es una banda de aleación magnética blanda laminada en frío, de espesor inferior a 0,6 mm, constituida por una aleación cuya composición química comprende, en peso:

18 %	≤	Co	≤	55 %
0 %	≤	V + W	≤	3 %
0 %	≤	Cr	≤	3 %
0 %	≤	Si	≤	3 %
0 %	≤	Nb	≤	0,5 %
0 %	≤	B	≤	0,05 %
0 %	≤	C	≤	0,1 %
0 %	≤	Zr + Ta	≤	0,5 %
0 %	≤	Ni	≤	5 %
0 %	≤	Mn	≤	2 %

siendo el resto hierro e impurezas resultantes de la elaboración, cuya estructura metalúrgica es:

- ya sea del tipo "parcialmente cristalizado", es decir, que sobre al menos el 10 % de la superficie de las muestras observadas al microscopio con un aumento de x 40 después del ataque químico con percloruro de hierro, no es posible identificar los límites de grano;

- 5 - o del tipo "cristalizado", es decir, que sobre al menos el 90 % de las muestras observadas al microscopio con un aumento de x 40 después del ataque químico con percloruro de hierro, es posible identificar una red de límites de grano y, en el intervalo de los tamaños de grano que varía de 0 a 60 μm^2 , existe al menos una clase de 10 μm^2 de anchura del tamaño de grano que comprende al menos dos veces más granos que la misma clase del tamaño de grano correspondiente a la observación de una banda laminada en frío de comparación que tiene la misma
10 composición, que no se ha sometido a un recocido continuo pero que ha sido sometida a un recocido estático a una temperatura de tal forma que la diferencia entre el campo coercitivo obtenido con el recocido estático y el campo coercitivo obtenido con el recocido continuo es inferior a la mitad del valor del campo coercitivo obtenido por el tratamiento continuo y, en el intervalo del tamaño de grano que varía de 0 a 60 μm^2 , existe al menos un tamaño de la clase de grano de 10 μm^2 de anchura cuya relación del número de granos con respecto al número total de granos
15 observados en la muestra que ha experimentado un recocido continuo es superior al menos al 50 % con respecto a la misma relación que corresponde a una muestra extraída sobre la banda laminada en frío de comparación que ha experimentado un recocido estático.

[0018] Como resulta evidente para el experto en la técnica, el término "cristalizado" se utiliza aquí como
20 sinónimo de "recristalizado". De hecho, la banda laminada en frío en forma de una banda delgada está totalmente endurecida, es decir que el orden cristalino está totalmente dislocado a larga distancia, y la noción de cristal o "grano" ya no existe. El tratamiento de recocido continuo permite hacer "cristalizar" esta matriz endurecida de cristales o granos. Este fenómeno sin embargo es denominado igualmente recristalización porque no se trata de la primera cristalización sufrida por la aleación desde su fase de elaboración desde el metal líquido solidificado.

25 **[0019]** Preferiblemente, la composición química de la aleación magnética blanda es tal que:

47 %	≤	Co	≤	49,5 %
0,5 %	≤	V	≤	2,5 %
0 %	≤	Ta	≤	0,5 %
0 %	≤	Nb	≤	0,5 %
0 %	≤	Cr	≤	0,1 %
0 %	≤	Si	≤	0,1 %
0 %	≤	Ni	≤	0,1 %
0 %	≤	Mn	≤	0,1 %

y el límite de elasticidad $R_{P0,2}$ está entre 590 MPa y 1100 MPa, el campo coercitivo H_c está entre 120 A/m y
30 900 A/m, la inducción magnética B para un campo de 1600 A/m está entre 1,5 y 1,9 Tesla.

[0020] Además, la magnetización de saturación de la banda es superior a 2,25 T.

[0021] Con esta banda es posible fabricar piezas para los componentes magnéticos, por ejemplo, piezas de
35 rotor y estator, y especialmente para una culata magnética, y componentes magnéticos tales como las culatas magnéticas, recortando directamente las piezas en una banda de acuerdo con la invención ensamblando entonces, si es necesario, las piezas recortadas de esta manera a fin de constituir componentes tales como las culatas, sometiendo eventualmente a algunas de ellas (por ejemplo, las piezas del estator solamente) o a alguna de entre
40 ellas (por ejemplo, las culatas de estator) a un tratamiento de recocido complementario que permite optimizar las propiedades magnéticas, y en particular, minimizar las pérdidas magnéticas.

[0022] Además, es también un objeto de la invención un método para fabricar un componente magnético según el cual se recorta una pluralidad de piezas por recorte mecánico en una banda obtenida por el método anterior, y, después del recorte, se ensamblan las piezas para formar un componente magnético.

45 **[0023]** Además, se puede someter el componente magnético o las piezas a un recocido estático de calidad, es decir, un recocido de optimización de las propiedades magnéticas.

[0024] Preferiblemente, el recocido estático de calidad o de optimización de las propiedades magnéticas es
50 recocido a una temperatura de entre 820 °C y 880 °C durante un periodo de tiempo comprendido entre 1 hora y 5 horas.

[0025] El componente magnético es, por ejemplo, un yugo magnético.

[0026] La invención se describirá ahora de manera más precisa pero no limitativa, e ilustrada por los ejemplos.

5

[0027] Para fabricar bandas delgadas laminadas en frío destinadas a fabricar por recorte mecánico piezas de yugo magnético de equipos electrotécnicos, se utiliza una aleación conocida *per se* cuya composición química comprende en peso: del 18 % al 55 % de cobalto, del 0 % al 3 % de vanadio y/o tungsteno, del 0 % al 3 % de cromo, del 0 % al 3 % de silicio, del 0 % al 0,5 % de niobio, del 0 % al 0,05 % de boro, del 0 % al 0,1 % de C, del 0 % al 10 0,5 % de circonio y/o tántalo, del 0 % al 5 % de níquel, del 0 % al 2 % de manganeso, siendo el resto hierro e impurezas resultantes de la elaboración.

[0028] Preferiblemente, la aleación contiene del 47 % al 49,5 % de cobalto, del 0 % al 3 % de la suma vanadio más tungsteno, del 0 % al 0,5 % de tántalo, del 0 % al 0,5 % de niobio, menos del 0,1 % de cromo, menos del 0,1 % 15 de silicio, menos del 0,1 % de níquel, menos del 0,1 % de manganeso.

[0029] Además, el contenido de vanadio, preferiblemente, debe ser superior o igual al 0,5 % para mejorar las propiedades magnéticas y evadir mejor la propensión al debilitamiento en el momento del enfriamiento rápido, y permanece inferior o igual al 2,5 % para evitar la presencia de la segunda fase austenítica no magnética, el 20 tungsteno no es indispensable, y el contenido de niobio debe ser preferiblemente, superior o igual al 0,01 % para controlar el crecimiento del grano a alta temperatura y para facilitar la transformación en caliente. El niobio es de hecho un inhibidor del crecimiento que permite limitar la germinación de la cristalización y el crecimiento del grano conjuntamente al recocido continuo.

[0030] La aleación contiene un poco de carbono para que, en el transcurso de la elaboración, la desoxidación sea suficiente, pero el contenido de carbono debe permanecer inferior al 0,1 % y, preferiblemente, inferior al 0,02 % 25 incluso al 0,01 % para evitar formar un exceso de carburos que deterioren las propiedades magnéticas.

[0031] No hay un límite inferior definido para el contenido en los elementos tales como Mn, Si, Ni o Cr. Estos 30 elementos pueden estar ausentes, pero en general están presentes al menos en una cantidad muy reducida después de su presencia en las materias primas o después de una contaminación por los materiales refractarios del horno de elaboración. Estos elementos no tienen ninguna influencia sobre las propiedades magnéticas de la aleación cuando están presentes en cantidades muy reducidas. Cuando su presencia es significativa, esto quiere decir que se han añadido, voluntariamente, a fin de ajustar las propiedades magnéticas de la aleación con respecto 35 a la aplicación contemplada.

[0032] Esta aleación es, por ejemplo, la aleación conocida con el nombre de AFK 502R que esencialmente contiene aproximadamente el 49 % de cobalto, el 2 % de vanadio y el 0,04 % de niobio, estando el resto constituido 40 por hierro e impurezas, así como de pequeñas cantidades de elementos tales como C, Mn, Si, Ni y Cr.

[0033] Esta aleación se elabora de manera conocida *per se* y se enfría bajo la forma de semiproductos tales como lingotes. Para fabricar una banda delgada, un semiproducto, tal como un lingote, es laminado en caliente para 45 obtener una banda en caliente cuyo espesor depende de las condiciones prácticas de fabricación. A modo ilustrativo, este espesor está comprendido generalmente entre 2 y 2,5 mm. A la salida del laminado en caliente, la banda obtenida se somete a un hipertemplado. Este tratamiento permite evitar en una gran parte la transformación ordenada/desordenada en el material de salida de tal modo que el mismo permanece en un estado estructural muy desordenado, poco cambiado con relación a su estado estructural a una temperatura superior a 700 °C y que, debido a esto, es suficientemente dúctil para poder ser laminado en frío. Por lo tanto, el hipertemplado permite que la banda en caliente sea laminada en frío entonces sin restricciones hasta el espesor final. El hipertemplado puede 50 realizarse directamente a la salida del laminado en caliente si la temperatura del final de laminado es suficientemente elevada, o, en caso contrario, después del recalentamiento a una temperatura superior a la temperatura de transformación ordenada/desordenada. En la práctica, en el orden de debilitamiento que se establece entre 720 °C y la temperatura ambiente, el metal se enfría violentamente, por ejemplo con agua (típicamente a una velocidad superior a 1000 °C/min), a la salida de laminado en caliente desde una temperatura de 55 800 a 1000 °C a temperatura ambiente, y el metal laminado en caliente se enfría lentamente, por lo que es frágil, se calienta entre 800 y 1000 °C antes de un enfriamiento violento a temperatura ambiente. Tal tratamiento es conocido *per se* por el experto que sabe cómo hacerlo en el equipo que generalmente tiene.

[0034] Después del hipertemplado, la banda en caliente se lamina en frío para obtener una banda en frío con

un espesor de menos de 1 mm, preferiblemente de menos de 0,6 mm, generalmente de entre 0,5 mm y 0,2 mm, y que puede ser tan baja como hasta 0,05 mm.

5 **[0035]** Después de fabricar la banda laminada en frío endurecida, se somete a un recocido en un horno de túnel a una temperatura tal que la aleación se encuentra en una fase ferrítica desordenada. Esto significa que la temperatura está entre la temperatura de transformación ordenada/desordenada y la temperatura de transformación ferrítica/austenítica. Para una aleación de hierro-cobalto que tiene un contenido de cobalto entre el 45 y el 55 % en peso, la temperatura de recocido debe estar entre 700 °C y 930 °C. El intervalo de la temperatura de recocido continuo podría estar mucho más extendido hacia las bajas temperaturas de modo que el contenido de cobalto se
10 aproximará al 18 %. Por ejemplo, al 27 % de cobalto, la temperatura de recocido debe estar comprendida entre 500 y 950 °C. El experto en la técnica sabrá determinar esta temperatura de recocido en función de la composición de la aleación.

15 **[0036]** La velocidad de paso en el horno puede adaptarse teniendo en cuenta la longitud del horno para que el tiempo de paso en la zona de temperatura homogénea del horno sea inferior a 10 minutos y, preferiblemente, comprendido entre 1 y 5 minutos. Cualquiera que sea la causa, el tiempo de mantenimiento a la temperatura de tratamiento debe ser superior a 30 s. Para un horno industrial de longitud del orden de un metro, la velocidad debe ser superior a 0,1 metros por minuto. Para otro tipo de horno industrial de 30 m de longitud, la velocidad de marcha debe ser superior a 2 metros por minuto, y preferiblemente de 7 a 40 m/min. De una manera general, el experto en
20 la técnica sabrá adaptar las velocidades de marcha en función de la longitud de los hornos de los que se disponga.

25 **[0037]** Se ha de apreciar que el horno de tratamiento utilizado puede ser de cualquier tipo. En particular este puede ser un horno convencional de resistencias o bien un horno de radiación térmica, un horno de recocido por efecto de Joule, una instalación de recocido por lecho fluido o cualquier otro tipo de horno.

30 **[0038]** A la salida del horno, la banda debe enfriarse a una velocidad suficientemente rápida para evitar que se produzca una transformación ordenada/desordenada total. Sin embargo, los inventores se han sorprendido en constatar que, contrariamente a una banda de 2 mm de espesor que debe ser hipertemplada para poder ser laminada en frío después, una banda de espesor reducido (0,1 a 0,5 mm) destinada a mecanizarse, estamparse, perforarse, no puede ser sometida más que a un orden parcial que no conduce más que a un grado de debilitamiento reducido de tal forma que no es necesario un hipertemplado.

35 **[0039]** Los inventores se han sorprendido igualmente al constatar que, a la salida de un recocido continuo tal como el que se acaba a describir, la capacidad de recorte de la banda debe ser muy buena debido a que la transformación desordenada/ordenada no es total. Esto significa, de manera sorprendente, que tal banda puede ser recortada por los medios mecánicos a pesar del orden parcial que ocasiona un cierto grado de debilitamiento.

40 **[0040]** Para que la transformación ordenada/desordenada no sea total, la velocidad de enfriamiento - determinada entre la temperatura ordenada/desordenada (700 °C para una aleación convencional de la composición próxima a Fe-49%Co-2%V) y 200 °C - debe ser superior a 600 °C por hora, y, preferiblemente, superior a 1000 °C por hora e incluso a 2000 °C/h. En la práctica, no es útil sobrepasar 10 000 °C/h y una velocidad comprendida entre 2000 °C/h y 3000 °C/h es generalmente suficiente.

45 **[0041]** Los inventores han apreciado de manera sorprendente, que con tal tratamiento continuo, y contrariamente a lo que se aprecia con los tratamientos térmicos estáticos que permiten obtener propiedades mecánicas o magnéticas comparables, se obtienen bandas suficientemente dúctiles para poder recortarse mecánicamente para fabricar piezas destinadas a ser apiladas para constituir los yugos magnéticos o cualquier otro componente magnético.

50 **[0042]** Los inventores han apreciado también que cuando se ajustan los tiempos de paso en el horno es posible ajustar las características mecánicas obtenidas sobre la banda de tal modo que, a partir de una aleación de hierro-cobalto estándar, es posible obtener tanto aleaciones de características mecánicas habituales, es decir, con un límite de elasticidad comprendido entre 300 y 500 MPa, como aleaciones del tipo con un límite de elasticidad elevado (HLE), es decir, que tienen un límite de elasticidad superior a 500 MPa, preferiblemente comprendido entre
55 600 a 1000 MPa, y que pueden lograr 1200 MPa. Muy evidentemente estos tratamientos térmicos conducen a propiedades magnéticas que son muy diferentes, en particular en lo que se refiere a las pérdidas magnéticas. La aleación de hierro-cobalto es, por ejemplo, una aleación de hierro-cobalto del tipo AFK 502R que contiene esencialmente el 49 % de cobalto, el 2 % de vanadio y el 0,04 % de Nb, siendo el resto hierro e impurezas.

[0043] Los inventores han apreciado que este conjunto de rendimientos no habituales, es decir, la capacidad de recorte en el estado recocido, fijando de forma deseable el límite elástico entre 300 y 1200 MPa, estaba relacionado directamente con la estructura metalúrgica particular obtenida por el recocido continuo de acuerdo con la invención que es diferente de la estructura metalúrgica surgida de un recocido estático. En particular, esto se refiere a la velocidad de cristalización y, para materiales suficientemente cristalizados, la distribución de los tamaños de grano, que es muy diferente de la obtenida con los recocidos estáticos que dan la posibilidad de obtener las mismas propiedades de uso del material.

[0044] Los efectos del tratamiento térmico continuo y de sus condiciones de realización sobre las propiedades mecánicas y magnéticas de una aleación del tipo al 50 % de cobalto, se describirán ahora más específicamente a partir de una serie de ensayos.

[0045] Se realizaron ensayos de laboratorio, por un lado, sobre una aleación de composición no estándar AFK502NS (fundición JB990) que contiene el 48,6%Co-1,6%V-0,119%Nb-0,058%Ta-0,012%C, siendo el resto hierro e impurezas y en un grado de aleación convencional del tipo AFK 502 R (fundición JD173), es decir, una aleación estándar que contiene 48,6%Co-1,98%V-0,14%Ni-0,04%Nb-0,007%C. El resto es hierro e impurezas. Estas aleaciones que se fabricaron por primera vez en forma de bandas laminadas en frío con un espesor de 0,2 mm se sometieron a tratamientos térmicos haciéndolas pasar a un horno caliente manteniendo una temperatura de 785 °C, 800 °C, 840 °C y 880 °C, respectivamente, durante un minuto. Estos tratamientos térmicos que permiten la simulación de un tratamiento térmico continuo industrial, se realizar en una atmósfera de argón y seguidos de enfriamiento rápido a una velocidad comprendida entre 2000 °C/h y 10 000 °C/h, y un algo más específicamente 6000 +/- 3000 °C/h, teniendo en cuenta la imprecisión de la determinación de este tipo de velocidad y de la no uniformidad de la velocidad de enfriamiento entre la temperatura de estabilización y 200 °C o la temperatura ambiente. Estos ensayos permitieron obtener los resultados indicados en la Tabla 1.

[0046] En la Tabla 1:

T: es la temperatura de recocido en °C.

B1600: es la inducción magnética expresada en Teslas, para un campo magnético de 1600 Nm (aproximadamente 20 Oe).

Br/Bm: es la relación entre la inducción magnética remanente Br con respecto a la inducción magnética máxima Bm obtenida tras la saturación magnética de la muestra.

Hc: es el campo coercitivo en A/m

Pérdidas: son las pérdidas magnéticas en W/kg disipadas por las corrientes inducidas cuando la muestra está sometida a un campo magnético variable que, en el presente caso, es un campo alterno con una frecuencia de 400 Hz que induce una inducción alternante sinusoidal mediante el uso del servocontrol electrónico del campo magnético aplicado, que es conocido *per se* por un experto en la técnica; el valor máximo del campo magnético es 2 Teslas.

R_{P0,2} = es el límite de elasticidad convencional medido en tracción pura en muestras estandarizadas.

Tabla 1: Efectos del tratamiento térmico continuo y de sus condiciones de realización sobre las propiedades mecánicas y magnéticas

Grado	Fundición	T (°C)	B1600 (Tesla)	Br/Bm	Hc (A/m)	Pérdidas (W/kg)	R _{P0,2} (MPa)
AFK502R (estándar)	JD173	785	1,5850	0,83	822	339	990
		800	1,6230	0,80	629	272	890
		840	1,7560	0,49	183	106	660
		880	1,7500	0,40	130	85	600
AFK502NS (no estándar)	JB990	785	1,5180	0,81	883,3	381	1090
		800	1,5490	0,80	779,96	336	970
		840	1,7260	0,64	306,40	156	760
		880	1,8080	0,45	148	95,5	620

[0047] Después del tratamiento térmico, se realizaron ensayos de corte mecánico por medio de punzones y tintes. A partir de estos resultados, se desprende que después del recocido continuo, es posible recortar piezas en condiciones satisfactorias sin ningún signo aparente de debilitamiento tanto con el grado de composición no estándar AFK502NS, como con el grado estándar o convencional AFK502R. También se observa que adaptando la

temperatura de recocido continuo entre 785°C y 880 °C, es posible obtener propiedades mecánicas del tipo de alto límite de elasticidad, tanto para la aleación AFK502NS como para la aleación convencional AFK502R y que las características mecánicas obtenidas son muy comparables. En consecuencia, parece que no es necesario usar dos grados distintos para obtener aleaciones del tipo con alto límite de elasticidad o aleaciones con límite de elasticidad común, es decir, para fabricar piezas en una aleación de alto límite de elasticidad o en una aleación límite de elasticidad común.

[0048] Además, estos resultados muestran que las propiedades magnéticas, que incluyen las pérdidas medidas bajo un campo alterno con una amplitud máxima de 2 Teslas a una frecuencia de 400 Hertz, son bastante comparables. Además, se observa que la relación entre las velocidades magnéticas y el límite de elasticidad para láminas de un espesor de 0,20 mm, medido sobre arandelas recortadas en la banda recocida, son bastante comparables para estas 2 aleaciones de diferente composición.

[0049] En estos materiales, en el estado posterior al recocido descrito anteriormente, también se realizó el recocido a alta temperatura, denominado "recocido estático de optimización", destinado a optimizar las características magnéticas. Este recocido se realizó en arandelas con recocido estático a una temperatura de 850 °C durante tres horas. Los resultados obtenidos con este recocido estático de optimización se indican en la Tabla 2 a continuación.

20 Tabla 2: Propiedades magnéticas después del recocido de optimización

Grado	Fundición	T (°C)	B a 1600 A/m (Tesla)	Br/Bm	Hc (A/m)	Pérdidas (W/kg) 2T-400 Hz
AFK502R estándar de acuerdo con la invención		785	2,2110	0,69	51,7	36,0
		800	2,2040	0,69	50,9	35,5
	JD173	840	2,1970	0,66	50,9	35,0
		880	2,2010	0,67	53,3	34,0
AFK502R estándar sin recocido continuo, con recocido estático estándar a 850 °C	JD173	850	2,225	0,71	0,70	36
AFK502NS no estándar de acuerdo con la invención		785	2,2140	0,78	62,1	52,0
	JB990	800	2,2040	0,74	58,9	53,5
		840	2,2140	0,78	62,1	54,0
		880	2,2190	0,79	62,9	51,0
AFK502R no estándar sin recocido continuo, con recocido estático estándar a 850 °C	JB 990	850	2,244	0,79	1,1	52

[0050] Teniendo en cuenta estos resultados, se puede observar que las pérdidas magnéticas a 400 Hertz en un campo de 2 Teslas se reducen considerablemente y más generalmente que la totalidad de las propiedades magnéticas obtenidas prácticamente no dependen de la temperatura de recocido continuo. Estas propiedades son además casi idénticas a las propiedades obtenidas en las arandelas extraídas de bandas con un espesor de 0,2 mm que no se recoció continuamente, pero que estaban directamente sometidas al mismo recocido estático de optimización, lo que corresponde a la técnica anterior.

[0051] Estos resultados muestran que el recocido continuo proporciona una ventaja para el material del tipo AFK502R (grado convencional): de hecho, con este material es posible producir bandas recocidas previamente que tienen características de HLE, que además se pueden recortar y conformar en este estado prerrecocido. Además, se observa que el comprimido propiedades mecánicas/propiedades magnéticas se puede ajustar mediante la temperatura de recocido continuo. En consecuencia, una aleación que tenga la composición química de estos ejemplos puede utilizarse por un cliente que desee fabricar tanto piezas con altas características mecánicas como piezas con características mecánicas comunes y que solo podrá llevar a cabo el recocido estático de optimización en las piezas que ha cortado para simplemente optimizar las pérdidas magnéticas si es necesario.

[0052] Además, se realizaron una serie de ensayos en bandas de una aleación industrial AFK502R de composición estándar endurecida con un espesor de 0,35 mm. Durante estos ensayos, se llevaron a cabo tratamientos de recocido continuo a diferentes velocidades de paso a un horno industrial con una longitud útil de 1,2 m. Por longitud útil, se entiende la longitud del horno en el que la temperatura es suficientemente homogénea para que corresponda a la estabilización de temperatura de recocido.

[0053] Las composiciones químicas de las muestras usadas se indican a la Tabla 3. En esta tabla, no se indican todos los elementos y un experto en la técnica entenderá que el resto es hierro e impurezas resultantes de la elaboración, así como también elementos opcionales en una pequeña cantidad tal como carbono.

5

Tabla 3: Composiciones químicas de las muestras utilizadas

Fundición	Marca	Co	V	Nb	Mn	Cr	Si	Ni
N.º 1	JD842	48,61	1,99	0,041	0,027	0,015	0,016	0,04
N.º 2	JE686	48,49	2,00	0,037	0,042	0,031	0,061	0,10
N.º 3	JE798	48,01	1,99	0,041	0,043	0,040	0,057	0,16
N.º 4	JE799	48,51	1,96	0,040	0,035	0,028	0,051	0,06
N.º 5	JE872	48,45	1,98	0,041	0,043	0,049	0,069	0,14

[0054] Las velocidades de paso se seleccionaron de manera que cada uno de estos tratamientos corresponde a un tiempo pasado por encima de 500 °C, el inicio de la temperatura de restauración, de sustancialmente menos de 10 minutos.

[0055] Los recocidos continuos se realizaron a tres velocidades: 1,2 m por minuto para obtener las propiedades magnéticas y mecánicas correspondientes al uso para fabricar yugos magnéticos del estator para los que se buscan niveles de pérdida magnética bajos a medios; una velocidad de 2,4 m por minuto para obtener las características mecánicas adaptadas a la fabricación de yugos magnéticos de rotores, y de 3,6 y 4,8 m por minuto para obtener las características mecánicas correspondientes a la calidad HLE. Además, a título comparativo, se realizó en muestras un recocido estático a la temperatura de 760 °C durante dos horas. Este recocido es un tipo de recocido de "recocido estático de optimización" convencional que conduce a propiedades comparables con las del recocido continuo a una velocidad de 1,2 m por minuto a 880 °C. Finalmente, para la temperatura de recocido continuo más alta (880 °C), la velocidad de marcha se redujo aún más (en el límite de una estabilización de 10 minutos) con el fin de reducir aún más las pérdidas magnéticas y el límite de elasticidad. De hecho, para ciertas aplicaciones, es posible solicitar pérdidas magnéticas bastante bajas en el estator. Estos resultados muestran que esto permite reducir eficazmente $R_{P0,2}$ por debajo de 400 MPa, lo que es interesante como un intervalo extendido para ajustar el límite de elasticidad simplemente ajustando la velocidad de marcha. Por otro lado, las pérdidas magnéticas no se reducen con respecto a la velocidad del valor próximo. Por lo tanto, si la intención es reducir significativamente las pérdidas magnéticas, es necesario llevar a cabo un recocido estático de optimización magnética adicional como se muestra por los resultados de la Tabla 2.

[0056] Los resultados de los ensayos realizados con la fundición n.º 1, JD 842 se indican en la Tabla 4, obteniéndose los resultados con las demás fundiciones comparables.

[0057] Estos resultados muestran que es posible ajustar el límite de elasticidad $R_{P0,2}$ en un intervalo muy amplio de valores entre 400 MPa y 1200 MPa, variando los parámetros de recocido que son la velocidad de paso, es decir, el tiempo de permanencia a alta temperatura, y la temperatura de recocido de este, esto en condiciones satisfactorias para la producción industrial. De hecho, las propiedades obtenidas varían lo suficientemente lento con los parámetros de tratamiento, de modo que es posible controlar la fabricación industrial. Estos resultados también muestran que existe una fuerte correlación entre el límite de elasticidad, el campo coercitivo y las diversas otras propiedades de la aleación.

40

[0058] Además, estos ensayos permiten la identificación de los efectos del tratamiento térmico sobre la estructura metalográfica de la aleación fabricada por el método de acuerdo con la invención. Los ensayos se realizaron en particular en la fundición JD 842. Las mediciones se hicieron particularmente en una lámina que se sometió a recocido continuo a 880 °C con varias velocidades de marcha. Se seleccionó la temperatura de 880 °C, ya que es la que corresponde al valor óptimo para obtener buenas propiedades magnéticas, es decir, a una temperatura a la que es posible obtener valores bajos de pérdidas magnéticas y una amplia gama de límites de elasticidad (por ejemplo, de 300 MPa a 800 MPa) simplemente variando la velocidad de marcha con valores que solo dejan la aleación durante unos minutos (<10 mn) en la zona de la estabilización de temperatura.

50 Tabla 4: Propiedades mecánicas y magnéticas en función de la velocidad de marcha durante el recocido continuo

Condiciones de recocido continuo	Corriente continua	Pérdidas (W/kg) a 400 Hz	
----------------------------------	--------------------	--------------------------	--

T _{RD} (°C)	V (m/min)	B1600 (Tesla)	Br/Bm	Hc (A/m)	B = 1,5 Tesla	B = 2 Tesla	R _{P0,2} (MPa)
760 °C	1,2	1,6750	0,69	321	111	205	665
	2,4	1,5400	0,83	907	252	420	1030
	3,6	1,5250	0,84	939	264	443	1140
	4,8	1,5250	0,84	907	255	414	1230
785 °C	1,2	1,7700	0,48	127	65	125	540
	2,4	1,7050	0,75	446	135	245	760
	3,6	1,5300	0,83	915	255	430	1060
	4,8	1,5300	0,86	915	260	432	1200
810 °C	1,2	1,7350	0,46	122	66	125	540
	2,4	1,7750	0,53	151	71	137	580
	3,6	1,6400	0,76	549	163	286	830
	4,8	1,5200	0,84	947	266	438	1140
840 °C	1,2	1,7250	0,40	107	63	119	500
	2,4	1,7600	0,47	117	65	121	530
	3,6	1,7400	0,66	255	94	176	710
	4,8	1,5400	0,81	820	230	382	1000
880 °C	0,6	1,210*	0,45	95		108	390
	1,2	1,5050*	0,45	94		95	435
	2,4	1,5800*	0,57	89		103	495
	4,8	8,850*	0,68	392			845

*B = Para un campo de 800 A/m
B1600 = Inducción magnética obtenida para un campo magnético de 1600 A/m

[0059] Para estudiar las estructuras metalográficas, se llevaron a cabo observaciones micrográficas en muestras tomadas de las bandas, de modo que se observa el borde de las bandas laminadas perpendiculares en la dirección de laminado. En estas muestras, se realizaron micrografías con ataque por inmersión durante 5 segundos en un baño de percloruro de hierro a temperatura ambiente que contenía (para 100 ml): 50 ml de FeCl₃ y 50 ml de agua después del pulido con papel 1200 y luego pulido electrolítico con baño A2 que consiste (para 1 litro) en 78 ml de ácido perclórico, 120 ml de agua destilada, 700 ml de alcohol etílico, 100 ml de butilglicol.

[0060] Estas observaciones se realizaron con un microscopio óptico con un aumento de 40. Se observó que para velocidades de recocido bajas, es decir, 1,2 m por minuto, la estructura es similar a la que se observa en materiales que se han sometido a recocido estático. Esta es una estructura isotrópica cristalizada. Para el recocido estático, la estructura aparentemente está cristalizada al 100 % y los límites de grano están perfectamente definidos. Para el recocido continuo a 785 °C, la estructura está parcialmente cristalizada (los límites de grano no están muy bien definidos), y para el recocido continuo a 880 °C, la estructura está más cristalizada pero los límites de grano no se revelan suficientemente para determinar si estas muestras están cristalizadas al 100 %.

[0061] Para las velocidades más altas, es decir, para velocidades de 2,4 m por minuto, 3,6 m por minuto y 4,8 m por minuto, las micrografías muestran una estructura muy específica muy distinta de las estructuras obtenidas por recocido estático. Esta es una estructura aparentemente cercana a la del metal endurecido. Los inventores también apreciaron que las micrografías hechas sobre los materiales que fueron recocidos continuamente a 880 °C a una velocidad de 4,8 m por minuto tienen una estructura muy anisotrópica (granos muy alargados), mucho más anisotrópica que la estructura obtenida por recocido a 785 °C con una velocidad de paso de 4,8 m por minuto.

[0062] Por lo tanto, parece que con tratamientos térmicos continuos, es posible obtener dos tipos de estructura:

- por un lado, una estructura específica anisotrópica obtenida para marchas con velocidades más altas (2,4 m por minuto, 3,6 m por minuto y 4,8 m por minuto). Esta estructura es una estructura restaurada o parcialmente cristalizada que puede confirmarse mediante un examen con rayos X que muestra que la textura es la de un material restaurado ligeramente recristalizado, muy similar a la textura de endurecimiento;
- por otro lado, una estructura aparentemente similar a la que se obtiene por recocido estático y que corresponde al recocido continuo a baja velocidad (1,2 m por minuto y 0,6 m por minuto). Esta es una estructura completamente cristalizada que se confirma por examen con rayos X, con una textura muy cercana a la del metal recristalizado en recocido estático.

[0063] En estas muestras diferentes, también se determinó el tamaño de los granos. Como el campo coercitivo de una aleación magnética está altamente relacionado con el tamaño del grano, para poder lograr comparaciones significativas entre dos modos de tratamiento del mismo material, es necesario hacer observaciones sobre los materiales que tienen campos coercitivos equivalentes. Además, para realizar estas mediciones, se seleccionaron muestras que tenían campos coercitivos cercanos y realizaron mediciones, por un lado, en el material que había sido sometido a recocido estático a 760 °C durante dos horas, y por otro lado, en un material que se había recocido continuamente a 880 °C con una velocidad de paso de 1,2 m por minuto.

[0064] La evaluación de las dimensiones de los granos se realizó por medio de un equipo para analizar imágenes automáticas que permite la detección del contorno de los granos, el cálculo del perímetro de cada uno de ellos, la conversión de este perímetro en un diámetro equivalente y, finalmente, el cálculo de la superficie del grano. Este dispositivo también brinda la posibilidad de obtener una cantidad total de granos, así como su superficie. Dichos dispositivos para analizar imágenes automáticas para medir granos son conocidos *per se*. Para obtener resultados que tengan una significación estadística satisfactoria, la medición debe llevarse a cabo en una pluralidad de áreas de muestra. La evaluación dimensional se realizó definiendo las siguientes clases de tamaños de grano:

- los granos cuya superficie varía de 10 μm² a 140 μm² en pasos de 10 μm².
- los granos cuya superficie varía de 140 μm² a 320 μm² en pasos de 20 μm²,
- los granos cuya superficie varía de 320 μm² a 480 μm² en pasos de 40 μm²,
- los granos cuyo tamaño varía de 480 a 560 μm², los granos cuyo tamaño varía de 560 a 660 μm², los granos cuyo tamaño varía de 660 a 800 μm², los granos cuyo tamaño varía de 800 a 1000 μm², los granos cuyo tamaño varía de 1000 a 1500 μm², luego los granos cuyo tamaño sobrepasa 1500 μm².

[0065] Estos exámenes muestran que el recocido estático a 760 °C se caracteriza por una distribución del tipo gaussiano del tamaño de grano con un pico de aproximadamente 150 μm². Los granos de esta dimensión representan el 5,5 % de la superficie total de una muestra analizada. Hay muy pocos granos grandes y el tamaño de los granos permanece a menos de 750 μm².

[0066] Por otro lado, los materiales recocidos continuamente muestran una estructura en la que hay menos granos de pequeño tamaño pero más granos de gran tamaño entre 200 y 1000 μm². En particular, los granos comprendidos entre 30 y 50 μm² ocupan una superficie equivalente a la ocupada por los granos grandes con un tamaño comprendido entre 500 μm² y 1100 μm².

[0067] Estos resultados muestran que, aunque aparentemente comparable con una estructura obtenida por recocido estático, el recocido continuo conduce a una estructura muy diferente, en particular, por la distribución de los tamaños de grano.

[0068] Además, las evaluaciones dimensionales de los granos se llevaron a cabo en cuatro bandas con un espesor de 0,34 mm sobre las cuales se realizó, por un lado el recocido continuo a 880 °C bajo una atmósfera de hidrógeno a una velocidad de 1,2 m por minuto y, por otro lado, el recocido estático de optimización a 760 °C durante dos horas bajo una atmósfera de hidrógeno. Estas bandas corresponden a las fundiciones JE 686, JE798, JD 842, JE 799 y JE 872, cuyas composiciones se indican en la Tabla 3. Estos exámenes muestran que, para estas fundiciones, la distribución de los granos más finos y, en particular, con un tamaño de menos de 80 μm² es muy diferente para las muestras que han sido sometidas a un recocido de clasificación estático a 760 °C de lo que es para las muestras que resultan de un tratamiento continuo a 880 °C. En particular, los granos finos son mucho más numerosos en las muestras que han sido sometidas a recocido estático que en las muestras que han sido sometidas a recocido continuo. Se observará en particular que para granos de un tamaño inferior a 40 μm², el número de granos, por clase de tamaño, en muestras que han experimentado recocido estático es mayor que el número máximo de granos obtenidos en muestras recocidas continuamente. El conjunto de estos resultados muestra que, especialmente con el recocido continuo, la distribución de los tamaños de grano no tiene ningún tamaño de grano dominante. La cantidad máxima de granos observada en una clase de tamaño de grano nunca excede de 30, a diferencia del recocido estático donde el número de granos puede alcanzar 160 para una misma clase de tamaño, especialmente para granos pequeños.

[0069] Se determinó también el número total de granos para cada una de estas muestras para una superficie de 44 200 mm², así como el tamaño medio de los granos. Estos resultados se reflejan en la Tabla 5.

Tabla 5: Tamaño y número de granos obtenidos para diversas composiciones

Fundición	Recocido	Tamaño medio de los granos (μm ²)	Número de granos total
-----------	----------	---	------------------------

JD842	Estático 760 °C/2 h	94	454
	Continuo 880 °C/1,2 m/min	155	260
JE686	Estático 760 °C/2 h	104	332
	Continuo 880 °C/1,2 m/min	175	204
JE872	Estático 760 °C/2 h	58	563
	Continuo 880 °C/1,2 m/min	145	243
JE798	Estático 760 °C/2 h	51	634
	Continuo 880 °C/1,2 m/min	168	211
JE799	Estático 760 °C/2 h	78	427
	Continuo 880 °C/1,2 m/min	127	243

[0070] Estos resultados permiten particularmente mostrar que las muestras que han estado sometidas a recocido continuo a 880 °C con una velocidad de 1,2 m por minuto tienen un tamaño medio de grano de más de 110 μm^2 y un número medio de granos de menos de 300, mientras que las muestras que han estado sometidas a recocido estático a 760 °C durante dos horas tienen un tamaño de grano promedio de menos de 110 μm^2 y un número de granos de más de 300. Estas características permiten la identificación o distinción clara de las estructuras obtenidas por recocido continuo por un lado, y por recocido estático por otro lado. De una manera más general, los inventores apreciaron que los tipos de tratamiento se pueden distinguir siguiendo las características de tamaño de grano:

- 10 - ya sea la estructura del tipo "parcialmente cristalizado", es decir, que, sobre al menos el 10 % de la superficie de las muestras observadas al microscopio con un aumento de x 40 después del ataque químico con percloruro de hierro, no es posible identificar los límites de grano;
- 15 - o sea la estructura del tipo "cristalizado", es decir, que, sobre al menos el 90 % de las muestras observadas al microscopio con un aumento de x 40 después del ataque químico con percloruro de hierro, es posible identificar una red de límites de grano y, en el intervalo de los tamaños de grano que varía de 0 a 60 μm^2 , existe al menos una clase de 10 μm^2 de anchura del tamaño de grano que comprende al menos dos veces más granos que la misma clase del tamaño de grano correspondiente a la observación de una banda laminada en frío de comparación que tiene la misma composición, que no se ha sometido a un recocido continuo pero que ha sido sometida a un recocido
- 20 estático a una temperatura de tal forma que la diferencia entre el campo coercitivo obtenido con el recocido estático y el campo coercitivo obtenido con el recocido continuo es inferior a la mitad del valor del campo coercitivo obtenido por el tratamiento continuo y, en el intervalo del tamaño de grano que varía de 0 a 60 μm^2 , existe al menos un tamaño de la clase de grano de 10 μm^2 de anchura cuya relación del número de granos con respecto al número total de granos observados en la muestra que ha experimentado un recocido continuo es superior al menos al 50 % con
- 25 respecto a la misma relación que corresponde a una muestra extraída sobre la banda laminada en frío de comparación que ha experimentado un recocido estático.

[0071] En estas muestras, también se realizaron ensayos de corte. Para esto, los estatores se cortaron de muestras que, de acuerdo con la invención, se recoció continuamente a temperaturas de 785 °C, 800 °C, 840 °C, con velocidades de marcha de 1,2 m por minuto para una longitud útil del horno de 1,2 m, lo que corresponde a un tiempo de permanencia de un minuto a la temperatura de recocido. Estos recortes se llevaron a cabo en instalaciones industriales de corte mediante punzonado con un punzón y un troquel. Los cortes se realizaron en bandas con un espesor de 0,20 mm y 0,35 mm.

35 **[0072]** La calidad del recorte se determinó evaluando el radio de corte y la presencia o ausencia de rebabas. Los resultados se indican en la Tabla 6. Tras su lectura, parece que, independientemente del espesor e independientemente de la temperatura de recocido continuo, la calidad del corte es satisfactoria de acuerdo con los criterios habituales correspondientes a los requisitos de los clientes.

40

Tabla 6: Ensayos de corte

Fundición	Espesor (mm)	Temperatura de recocido continuo	Dureza Hv0.2	Radio de corte con respecto al estado endurecido	Rebabas	Validación del cliente
JD414	0,20 mm	785 °C	185	RAS	RAS	Ok
		800 °C	180	RAS	RAS	Ok
		840 °C	173	RAS	RAS	Ok
	0,35 mm	785 °C	179	Superior	Cerca del	Ok

					estado endurecido	
		800 °C	176	Menos pronunciado	Superior al estado endurecido	Ok
		840 °C	172	Menos pronunciado	Superior al estado endurecido	Ok

[0073] En la Tabla 6, "cerca del estado endurecido" significa que el número de rebabas es sustancialmente igual, o incluso ligeramente superior al número de rebabas evaluadas en el estado endurecido, mientras que "superior al estado endurecido" significa que el número de rebabas sigue siendo ligeramente mayor, mientras que

[0074] También se examinaron las deformaciones después del tratamiento térmico de calidad en las piezas recortadas.

10 **[0075]** De hecho, para ciertas piezas y especialmente para las piezas con forma de E, se observa que el tratamiento final llevado a cabo en piezas obtenidas mediante un método de acuerdo con la técnica anterior puede conducir a deformaciones que probablemente son resultado de la recristalización y de la transformación de la textura de laminado en una textura de recristalización. Estas deformaciones conducen a variaciones dimensionales del orden de algunas décimas de mm que no son aceptables. Para los perfiles en E, por ejemplo, donde las patas de la

15 E tienen una longitud de varias decenas de cm, lo que es grande con respecto a las demás dimensiones de la E, se observan después del recocido de optimización variaciones en la distancia entre las patas cercanas que son del orden de 1 a 5 mm entre la parte superior y la parte inferior de las patas.

[0076] Por el contrario, con la aleación continuamente recocida de acuerdo con la presente invención y que está en un estado cristalizado o parcialmente cristalizado, un recocido estático de optimización adicional de las propiedades magnéticas -típicamente a 850 °C durante tres horas- generalmente no tendrá ninguna incidencia significativa en la geometría de las piezas. Los ensayos en piezas con forma de E han demostrado que las variaciones dimensionales resultantes del recocido estático de optimización magnética permanecieron inferiores a 0,05 mm en el ejemplo anterior de perfiles en forma de E, lo cual es bastante aceptable.

25 **[0077]** Para especificar las funciones de la temperatura de recocido y de la velocidad de enfriamiento de la banda al salir del horno de tratamiento, se llevaron a cabo ensayos en una aleación de un grado convencional AFK502R que contiene 48,63%Co - 1,98%V - 0,14%Ni - 0,04%Nb - 0,007%C (fundición JD173), siendo el resto hierro e impurezas.

30 **[0078]** Esta aleación se fabricó en forma de bandas laminadas en frío de diferentes espesores, y luego se sometió a recocido continuo haciéndolas pasar a una velocidad constante por un horno en una atmósfera protegida, a temperaturas de estabilización iguales a 700 °C, 750 °C, 800 °C, 850 °C, 900 °C o 950 °C, durante un tiempo de estabilización igual a 30 s, 1 min o 2 min.

35 **[0079]** Después de este recocido, las bandas se enfriaron a una temperatura por debajo de 200 °C, a velocidades de enfriamiento comprendidas entre 600 °C/h y 35 000 °C/h.

40 **[0080]** Además, como comparación, ciertas bandas se enfriaron a una velocidad de enfriamiento de solo 250 °C/h.

[0081] La capacidad de cortar bandas recocidas, y más generalmente su fragilidad frente a operaciones de aplicación, incluidas las operaciones de conformado, se ensayaron cortando probetas por tracción y arandelas con diámetros internos y externos de 26 mm y 35 mm respectivamente en bandas delgadas obtenidas después del

45 enfriamiento.

[0082] Las probetas se sometieron a una prueba normalizada de fragilidad de banda, según el estándar IEC 404-8-8. Esta prueba consiste en doblar la probeta plana a 90° alternativamente desde cada posición inicial, de acuerdo con un dispositivo y un procedimiento descrito en la norma ISO7799. El radio de curvatura seleccionado por el estándar IEC 404-8-8 para láminas extra delgadas (de tipo FeCo) utilizadas en frecuencias medias es de 5 mm. La flexión a 90° desde la posición inicial con retorno a la posición inicial representa una unidad. El ensayo se detiene

50

al aparecer la primera grieta visible a simple vista en el metal. La última flexión no se cuenta. Los ensayos se llevaron a cabo a 20 °C en barras de chapa con un ancho de 20 mm en aleación FeCo, mediante un movimiento lento y uniforme de flexión alterna.

5 **[0083]** Estos ensayos se interrumpieron después de 20 flexiones. Por lo tanto, un número de pliegues igual a 20 significa que la muestra correspondiente soporta al menos 20 flexiones.

10 **[0084]** En paralelo, las muestras en forma de placas se sometieron a una prueba de corte, en instalaciones de corte industrial mediante punzonado usando un punzón y una matriz. La calidad del corte se determinó evaluando el radio de corte y examinando el borde para determinar las rebabas y la proporción de espesor del metal que produjo la fractura transgranular sin apreciable elongación plástica del material (origen de las rebabas de corte).

15 **[0085]** A partir de estos ensayos, la capacidad de corte de estas muestras se describió como muy buena (VG), buena (G), promedio (AVG) o mala (P).

[0086] Una muy buena capacidad de corte corresponde a un corte de metal con una fuerza de prensa reducida con respecto a lo que se conoce en el estado de la técnica en una aleación de FeCo endurecida, a una zona de corte sin rebabas y a una mayor proporción de espesor con fractura transgranular.

20 **[0087]** Una buena capacidad de corte corresponde a un corte de metal con una alta fuerza de prensa y que cumple con lo que se conoce en el estado de la técnica en una aleación de FeCo. En este estado metalúrgico (endurecido o incluso un poco restaurado), la banda es muy elástica y resistente, y se deforma considerablemente antes de que el punzón comience su penetración, y también durante la penetración con una fuerza de prensa muy grande. La zona de corte se logra mediante una fractura transgranular total sin rebabas con un retorno elástico muy grande de la banda después de la perforación.

[0088] La capacidad de corte promedio corresponde a una aleación para la cual el corte es fácil pero la zona de corte se vuelve irregular y aparecen rebabas o desprendimientos de metal en la fase de salida del punzón.

30 **[0089]** La capacidad de corte se describe como mala cuando aparecen grietas alrededor del punzón antes de que este último haya terminado de perforar la lámina. El inicio de la presión elástica de la banda con el punzón puede ser suficiente para generar agrietamiento y fractura de la muestra.

35 **[0090]** En estos materiales, en el estado posterior al recocido descrito anteriormente, también se realizó el recocido a alta temperatura, denominado "recocido estático de optimización", destinado a optimizar las características magnéticas. Este recocido se realizó en arandelas con recocido estático a una temperatura de 850 °C durante tres horas.

40 **[0091]** Estos ensayos permitieron obtener los resultados indicados en la Tabla 7, en la que:

- t_p es el tiempo de estabilización en minutos,
- e es el espesor de la banda en mm,
- T es la temperatura de recocido en °C,
- V_R es la velocidad de enfriamiento a una temperatura inferior a 200 °C en °C/h,
- 45 - H_c es el campo coercitivo en A/m,
- N_{plis} es el número de pliegues antes del fallo,
- Dec. es la capacidad de corte,
- $R_{p0,2}$ es el límite de elasticidad convencional medido en tracción pura en muestras estandarizadas, en MPa,
- Las pérdidas (1) son las pérdidas magnéticas en W/kg disipadas por las corrientes inducidas cuando la muestra
- 50 está sometida a un campo magnético variable que, en el presente caso, es un campo alterno con una frecuencia de 400 Hz que induce una inducción alternante sinusoidal mediante el uso del servocontrol electrónico del campo magnético aplicado, conocido *per se* por un experto en la técnica, cuyo valor máximo es de 2 Teslas. En el caso (1), el metal solo ha sido sometido a recocido continuo.
- Las pérdidas (2) son las pérdidas magnéticas en W/kg después del recocido de optimización, posterior al recocido
- 55 continuo.

Tabla 7: Efecto de la temperatura de recocido y la velocidad de enfriamiento de la banda al salir del horno sobre las propiedades mecánicas y magnéticas

ES 2 689 552 T3

N.º	t _p (min)	e (mm)	V _R (°C/h)	T (°C)	Hc (A/m)	Nplis	Dec.	R _{p0,2} (MPa)	Pérdidas (W/kg) a 400 Hz	
									(1)	(2)
1	1	0,2	35 000	700	1512	>20	B	1270	590	35
2	1	0,2	35 000	750	1114	>20	TB	1030	445	34,5
3	1	0,2	35 000	800	796	>20	TB	850	335	35
4	1	0,2	35 000	850	175	>20	TB	490	123	34,5
5	1	0,2	35 000	900	143	>20	TB	470	108	37
6	1	0,2	35 000	950	271	>20	TB	540	146	44
7	1	0,2	5000	700	1512	>20	B	1250	575	35,5
8	1	0,2	5000	750	955	>20	TB	920	398	36
9	1	0,2	5000	800	716	>20	TB	810	302	34
10	1	0,2	5000	850	159	>20	TB	480	101	34,5
11	1	0,2	5000	900	127	>20	TB	460	87	35
12	1	0,2	5000	950	255	>20	TB	520	142	42
13	1	0,2	1000	800	581	>20	TB	725	262	34,5
14	1	0,2	600	800	406	17	MO	622	193	34
15	1	0,2	600	850	143	15	MO	463	105	35
16	1	0,2	250	700	1194	>20	B	1150	513	34,5
17	1	0,2	250	750	279	7	MA	540	152	34
18	1	0,2	250	800	199	4	MA	500	129	35
19	1	0,2	250	850	127	3	MA	460	85	35
20	1	0,2	250	900	103	4	MA	430	80	38
21	1	0,2	250	950	191	4	MA	490	125	45
22	1	0,35	35 000	800	915	>20	TB	910	432	71
23	1	0,35	5000	800	772	>20	TB	830	369	70,5
24	1	0,35	250	800	223	3	MA	505	159	71
25	1	0,1	35 000	800	676	>20	TB	795	274	28
26	1	0,1	5000	800	581	>20	TB	730	241	27,5
27	1	0,1	250	800	1432	3	MA	470	79	28
28	0,5	0,2	5000	800	1353	>20	B	1180	535	24,5
29	0,5	0,2	600	800	836	5	MA	880	344	35,5
30	2	0,2	5000	800	302	>20	TB	560	161	35
31	2	0,2	250	800	119	4	MA	450	84	34,5
32	0,5	0,35	5000	800	1432	>20	B	470	519	71,5
33	0,5	0,35	250	800	931	5	MA	920	442	71
34	2	0,35	5000	800	326	>20	TB	590	199	71,5
35	2	0,35	250	800	143	4	MA	475	131	71,5

[0092] A partir de estos ensayos, se mostró la siguiente relación experimental, que asocia el número de pliegues antes de la fractura y la capacidad de corte con prensa de los materiales:

- 5 - un número de pliegues superior o igual a 20 obtenido después del recocido continuo a una temperatura de estabilización superior o igual a 720 °C con un tiempo de estabilización superior a 30 segundos se asocia con una muy buena capacidad de corte (ensayos 2-6, 8-13);
- un número de pliegues superior o igual a 20 obtenido después de recocido continuo a una temperatura de estabilización inferior a 720 °C o un tiempo de estabilización inferior o igual a 30 segundos se asocia con una buena capacidad de corte (ensayos 1, 7, 16, 28, 32);
- 10 - un número de pliegues entre 15 y 20 está asociado con la capacidad de corte promedio, que todavía es aceptable;
- un número de pliegues de menos de 15 está asociado con una mala capacidad de corte, que debe evitarse.

[0093] Por lo tanto, solo se pueden obtener las condiciones con las que se pueden obtener capacidades de 15 corte "promedio" a "muy buenas", por lo tanto, se conservan materiales que han resistido al menos 15 pliegues sucesivos sin fractura.

[0094] Además, estos ensayos muestran que, sorprendentemente, la velocidad de enfriamiento al salir del recocido continuo controla la capacidad de corte de la banda recocida y, más en general, su fragilidad frente a las 20 operaciones de aplicación, situándose el límite crítico en torno a 600 °C/h.

[0095] Además, aparecen los siguientes puntos.

[0096] A altas velocidades de enfriamiento (35 000 y 5000 °C/h), el metal tiene sistemáticamente, al menos, buena capacidad de corte, o incluso una muy buena capacidad de corte para materiales parcial o totalmente recristalizados, es decir, sujetos a temperaturas de recocido continuo de al menos 710 °C. Por debajo de 710 °C (ensayos 1 y 7), también sería posible, aumentando el tiempo de estabilización, obtener una recristalización parcial, pero este tiempo de estabilización debería ser de una duración significativa, no muy compatible con una realización de recocido continuo industrial. Por lo tanto, es favorable una temperatura de recocido superior a 700 °C, o incluso superior a 720 °C.

[0097] A 1000 °C/h y especialmente a 600 °C/h, la capacidad de corte se degrada, pero sigue siendo suficiente. Por otro lado, en todos los casos probados a 250 °C/h, la banda se rompe después de un número muy pequeño de pliegues (a menudo menos de 5), lo que muestra claramente que los materiales se vuelven más quebradizos y no se pueden cortar.

[0098] Se considera que una velocidad de enfriamiento de al menos 600 °C/h permite obtener una banda con una capacidad de corte satisfactoria.

[0099] Este control de la capacidad de corte controlando la velocidad de enfriamiento al salir del recocido continuo industrial no solo se confirma para un espesor de la banda de 0,2 mm, sino también para espesores de 0,1 mm y 0,35 mm, dando lugar a la misma ductilidad/límite frágil para una tasa de aproximadamente 600 °C/h.

[0100] Para tiempos de estabilización cortos, inferiores a 3 minutos, y temperaturas de recocido inferiores a 720 °C (ensayos 1, 7 y 16), los campos coercitivos de los materiales obtenidos son muy altos, de al menos 15 Oe, lo que corresponde a materiales que principalmente endurecidos y restaurados, sin ninguna cristalización significativa. Sin embargo, las pérdidas magnéticas superan los 500 W/kg. Por lo tanto, es preferible aplicar temperaturas de estabilización superiores o iguales a 720 °C, dando la posibilidad de obtener, para tiempos de estabilización inferiores a 3 minutos, pérdidas magnéticas limitadas (inferiores a 500 W/kg para un espesor de banda de 0,2 mm).

[0101] Por lo tanto, las bandas magnéticas de acuerdo con la invención tienen ventajosamente, para un espesor de entre 0,05 mm y 0,6 mm, pérdidas magnéticas de menos de 500 W/kg, preferiblemente menos de 400 W/kg.

[0102] También se observa que las incursiones a temperaturas demasiado altas situadas en el dominio austenítico mediante recocido continuo (temperaturas de recocido superiores a 900 °C, ensayos 6, 12 y 21) degradan significativamente las pérdidas magnéticas después del recocido adicional a 850 °C/3 h. Además, los recocidos continuos son más eficaces si su temperatura de estabilización está lo suficientemente lejos de 950 °C.

[0103] Los recocidos a 900 °C no modifican, o solo muy poco, las pérdidas magnéticas después del recocido estático adicional durante 3 h en comparación con temperaturas más bajas. Por lo tanto, se considera que el área de temperatura de estabilización más relevante está comprendida entre 720 °C y 900 °C.

[0104] Por otra parte, además del criterio importante de resistencia al corte de las láminas recocidas, también es importante producir materiales magnéticos que tengan pérdidas magnéticas limitadas tanto con respecto a los aspectos de rendimiento energético de las máquinas como a los aspectos térmicos de calentamiento localizados.

[0105] Se distinguen de este modo dos puntos.

[0106] En particular, el método de acuerdo con la invención proporciona la posibilidad de obtener directamente productos (tales como estatores o rotores) recortados de la banda recocida, que ya tienen los rendimientos mecánicos deseados del tipo HLE con las pérdidas magnéticas necesariamente degradadas que les corresponden. Sin embargo, las pérdidas magnéticas deben permanecer a un nivel de tal forma que sea posible disipar el calor en el rotor: típicamente, las pérdidas magnéticas a 2 T/400 Hz para un espesor de 0,2 mm deben ser inferiores a 500 W/kg, y preferiblemente inferiores a 400 W/kg. El método de acuerdo con la invención realmente permite que se alcancen tales valores.

[0107] Además, aunque el método de acuerdo con la invención da la posibilidad de cortar todas las piezas en el estado recocido continuo con un límite elástico predefinido y alto, por ejemplo, consistente con los requisitos del

rotor, es necesario aplicar después de cortar, específicamente a las piezas cortadas del estator, un recocido de optimización de las propiedades magnéticas (del tipo 850 °C/3 h en una atmósfera de H₂ puro), necesitando el estator general y principalmente muy bajas pérdidas magnéticas. Ahora, es importante que las bandas proporcionadas después del recocido continuo puedan restaurar, después del recocido de optimización adicional, las mismas pérdidas magnéticas muy bajas que las que habrían tenido directamente con el recocido de optimización solo. Estas bajas pérdidas son del orden de 35 W/kg a 2 T/400 Hz para un espesor de banda de 0,2 mm, 71 W/kg para un espesor de banda de 0,35 mm, y 28 W/kg para un espesor de banda de 0,1 mm en el caso de los grados industriales y comerciales de Fe-49%Co-2%V -0 a 0,1%Nb -0,003 à 0,02%C no refundidos después de una primera elaboración en lingote. Por lo tanto, es deseable que, después de aplicar un recocido adicional de 850 °C/3 h a las bandas procedentes del recocido continuo, las pérdidas no superen más del 20 % de las pérdidas magnéticas que se miden al final de un único recocido estático "convencional" de 850 °C/3 h. El método de acuerdo con la invención también permite alcanzar tales rendimientos.

[0108] Para estudiar el potencial de influencia de la composición de la aleación sobre las propiedades mecánicas y magnéticas, se realizaron ensayos similares a los descritos con referencia a la Tabla 7, para diversas composiciones de aleación. Para estos ensayos, el recocido continuo se realizó a 850 °C, con un tiempo de estabilización de 1 min, y seguido de enfriamiento a 5000 °C/h, en una atmósfera de H₂.

[0109] Las composiciones químicas de las muestras usadas, así como las propiedades obtenidas, se indican a la Tabla 8. En esta tabla, Js designa la magnetización en saturación, expresada en Teslas.

Tabla 8: Influencia de la composición sobre las propiedades mecánicas y magnéticas (1)

Muestra	A	B	C	D	E	F	G	H
C	0,007	0,012	0,009	0,008	0,093	0,011	0,008	0,017
Mn	0,024	0,042	0,037	0,23	0,1	0,023	0,23	0,16
Si	0,045	0,037	0,42	0,09	1,7	0,062	0,09	0,31
S	0,0021	0,0027	0,0075	0,0021	0,0018	0,0017	0,0021	0,0016
P	0,0033	0,0025	0,0028	0,0041	0,0023	0,0035	0,0041	0,0026
Ni	0,14	0,18	0,12	0,09	0,08	0,022	0,09	3,7
Cr	0,026	0,036	0,032	0,017	0,67	0,012	0,017	0,32
Mo	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cu	0,011	0,01	0,088	0,033	0,037	0,026	0,033	0,027
Co	48,63	48,61	48,52	50,05	27,05	48,72	50,05	48,69
V	1,98	1,59	2,03	0,98	0,04	1,55	1,4	1,92
Al	<0,005	<0,003	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Nb	0,04	0,119	0,31	0,006	0,16	0,003	0,006	0,04
Ti	<0,005	0,0015	0,009	0,0013	<0,0005	<0,005	0,0013	0,0015
N ₂	0,0046	0,0027	0,0017	0,0034	0,0038	0,0043	0,0034	0,0048
Ta	<0,0008	0,058	0,032	0,032	<0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008
Zr	<0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008	0,32	<0,0008
B	<0,0006	<0,0005	0,005	0,04	<0,0006	<0,0006	0,0007	0,0013
Fe	48,9	49,1	47,915	48,15	71,94	48,56	47,74	44,8
W	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,6	<0,005	<0,005
Js (T)	2,35	2,36	2,32	2,37	2,28	2,34	2,36	2,26
Hc (A/m)	159	541	668	772	414	151	271	127
Nplis	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
Dec.	TB	TB	TB	TB	TB	TB	TB	TB
R0,2 (MPa)	480	845	960	1045	625	530	640	530
Pérdidas (W/kg) a 400 Hz (1)	101	245	295	334	197	102	146	93
Pérdidas (W/kg) a 400 Hz (2)	34,5	38	42	45	81	36	38,5	33
¿Inv?	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ

[0110] Todas las composiciones de esta tabla son compatibles con la invención.

[0111] El ejemplo A corresponde a una aleación de la misma composición que la utilizada para los ensayos dados en la tabla 7. El ejemplo A es, por lo tanto, idéntico al ensayo 10 de esta tabla 7.

[0112] El ejemplo B integra una disminución del porcentaje de vanadio y adiciones de niobio y tántalo, utilizándose este último para sustituir el papel moderador del ordenamiento del vanadio, mientras que el niobio es un inhibidor del crecimiento que permite limitar la germinación de la recristalización y el crecimiento del grano junto con el recocido continuo. Se ve así que los rendimientos están en el intervalo de las propiedades objetivo y al mismo tiempo se desplazan hacia límites elásticos y pérdidas magnéticas más elevados en comparación con el ejemplo A.

[0113] El ejemplo C contiene más Si, S, Nb, Ta y B como la aleación de referencia A mientras cumple con el rango de propiedades específicas: el silicio añadido moderadamente endurece un poco el metal por su presencia en una solución sólida mientras que el boro y el azufre se precipitan en los límites del grano y el niobio ralentiza la cristalización/crecimiento. Esto genera una fuerte desaceleración de la cristalización, visible en el límite elástico más grande, así como en un aumento aceptable de las pérdidas magnéticas.

[0114] El ejemplo D muestra adiciones mayores de Mn y B mientras que el tántalo permanece al mismo nivel en la aleación C, y el vanadio se reduce al 1 %. Los rendimientos siempre cumplen la invención. La adición mucho más fuerte de boro provoca una fuerte captura de gérmenes y límites de grano, lo que aumenta adicionalmente los límites elásticos y las pérdidas magnéticas.

[0115] El ejemplo E ha experimentado fuertes adiciones de C, Si, Cr y Nb mientras que el porcentaje de cobalto se reduce al 27 %, lo que lo hace una aleación con un rendimiento magnético sustancialmente menor, pero también mucho menos costosa. El porcentaje de vanadio se reduce a un nivel muy bajo ya que ya no existe ningún orden de debilitamiento para tal porcentaje de cobalto. Los rendimientos magnéticos obtenidos aún permanecen en el rango de propiedad objetivo, incluso si las pérdidas magnéticas después del recocido de optimización magnética adicional alcanzan un nivel bastante alto (81 W/kg) pero cumplen con las propiedades específicas (<100 W/kg).

[0116] En el ejemplo F, una parte de vanadio se reemplaza con tungsteno, en comparación con la aleación de referencia A. Los rendimientos cambian solamente un poco, y en cualquier caso permanecen en el rango de las propiedades buscadas.

[0117] En el ejemplo G, una parte de vanadio se reemplaza por circonio. Como Zr es un inhibidor de la germinación y el crecimiento del grano, un poco menos potente que Nb, se observa que los valores del límite elástico y los valores de pérdida magnética aumentan (con respecto a la aleación A) y, en cualquier caso, dentro del espectro de las propiedades objetivo.

[0118] En el ejemplo H, se añade más del 3 % de Ni, que se sabe que aumenta aún más la ductilidad del material, así como la resistividad eléctrica. Sin embargo, la magnetización de saturación se reduce pero sigue cumpliendo con la invención, como todas las demás propiedades caracterizadas.

[0119] A modo de comparación, se llevaron a cabo ensayos similares para composiciones de aleación que no cumplen con la invención.

[0120] Las composiciones químicas de las muestras usadas, así como las propiedades obtenidas, se indican a la Tabla 9.

Tabla 9: Influencia de la composición sobre las propiedades mecánicas y magnéticas (2)

Muestra	I	J	K	L	M	N	O	P
C	0,008	0,012	0,008	0,013	0,001	0,007	0,0011	0,0016
Mn	0,22	0,013	0,028	0,067	0,011	0,019	0,028	0,022
Si	0,033	0,017	0,13	0,039	3,2	0,03	0,019	0,033
S	0,0028	0,0018	0,0017	0,0031	0,0019	0,0037	0,0022	0,0012
P	0,0027	0,0037	0,0023	0,0025	0,0022	0,0041	0,0038	0,0024
Ni	0,1	0,14	0,11	0,16	0,16	0,23	0,18	6,03
Cr	0,025	0,052	3,52	3,8	0,031	0,049	0,016	0,011
Mo	<0,005	0,025	<0,005	<0,005	<0,005	<0,0050	<0,005	<0,005
Cu	0,018	0,032	0,022	0,018	0,031	0,011	0,017	0,012
Co	15,1	48,64	48,59	48,49	48,67	48,58	48,81	48,71
V	<0,005	3,81	<0,005	1,93	<0,005	1,97	1,93	1,98
Al	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005

Nb	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,65	<0,001	<0,001
Ti	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
N2	0,0038	0,0029	0,0031	0,0044	0,0028	0,0024	0,0018	0,0028
Ta	<0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008
Zr	<0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008
B	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	0,11	<0,0006
Fe	84,49	47,25	47,585	45,47	47,89	50,41	48,88	43,19
W	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Js (T)	2,22	2,29	2,26	2,21	2,23	2,33	2,34	2,23
Hc (A/m)	143	955	255	382	163	446	573	836
Nplis	20	18	1	20	2	20	1	20
Dec.	TB	B	MA	TB	MA	TB	MA	TB
R0,2 (MPa)	485	526	509	497	577	620	823	580
Pérdidas (W/kg) (1)	146	442	123	162	88	213	268	395
Pérdidas (W/kg) (2)	127	373	32	25	28	143	77	328
¿Inv?	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

[0121] El Ejemplo I, para el cual la composición comprende el 15 % de Co, se satura a $J_s = 2,22T$ que está por debajo del límite mínimo deseado de $2,25T$. Esto muestra el beneficio de tener un mínimo del 18 % de Co. De hecho, las aleaciones de FeCo se buscan por su alta magnetización en saturación lo que les permite reducir las masas y volúmenes de máquinas electrotécnicas en los sistemas de a bordo (espaciales, aeronáuticos, ferroviarios, automovilísticos, robóticos...).

[0122] La composición de acuerdo con el ejemplo J contiene el 3,8 % de vanadio, que excede el límite máximo del 3 % de V+W. Con dicho porcentaje, se penetra sustancialmente en el dominio bifásico $\alpha + \gamma$, lo que genera una fuerte degradación de los rendimientos magnéticos después del recocido adicional de optimización de los rendimientos (850 °C/3 h), colocándolos muy por encima del límite deseado de 100 W/kg.

[0123] La composición de acuerdo con el ejemplo K contiene un 3,5 % de cromo, pero no vanadio, lo que le permite presentar una magnetización en saturación suficiente ($2,26T$) pero una capacidad muy mala de flexión y corte. Esto se debe al hecho de que, a diferencia del vanadio, el cromo no tiene la capacidad de desacelerar la implementación del orden de debilitamiento del FeCo en torno al 50%Co +/-25%. Las bandas laminadas en caliente, luego laminadas en frío y después recocidas continuamente son por lo tanto frágiles.

[0124] El Ejemplo L evita el problema anterior reintroduciendo un 2 % de vanadio, como en la aleación de referencia A, además de, y como en el ejemplo K anterior, un porcentaje de cromo de más del 3 %. El metal se vuelve dúctil y puede cortarse después del recocido continuo, pero la tasa de adición de elementos no magnéticos es demasiado alta y, por la dilución de los momentos magnéticos atómicos del hierro y el cobalto, la magnetización en saturación J_s se vuelve inferior ($2,21T$) con respecto al límite inferior requerido de $2,25T$.

[0125] La composición de acuerdo con el ejemplo M no contiene nada de vanadio pero contiene un 3,2 % de silicio. Con tal porcentaje, la aleación ya no es de ninguna manera dúctil, ya que el silicio no ralentiza la implementación del orden de debilitamiento como lo hace el vanadio. Por el contrario, el silicio endurece la aleación y la debilita por una tendencia hacia el ordenamiento del compuesto estequiométrico Fe_3Si . Además, un porcentaje del 3,2 % de silicio hace pasar la magnetización en saturación J_s por debajo del límite mínimo de $2,25T$ (de hecho, el Si es un elemento no magnético y, por lo tanto, diluye los momentos magnéticos de Fe y Co).

[0126] La composición de acuerdo con el ejemplo N contiene un 2 % de vanadio, al igual que la aleación de referencia A, y además contiene un 0,65 % de niobio, que es superior al límite del 0,5 % de acuerdo con la invención. Ahora, el niobio es conocido no solo como un potente inhibidor de la germinación, la recristalización y el crecimiento del grano, sino también como generador de carbonitruros de Nb, y de fases de Laves $(Fe,Co)_2Nb$, cuando el porcentaje de niobio se vuelve significativo. Estas fases y precipitados ralentizan aún más la migración de los límites de grano, pero deterioran especialmente las propiedades magnéticas mediante el anclaje eficaz de las paredes de Bloch. Esto provoca altas pérdidas (143 W/kg) después de un recocido adicional de optimización de los rendimientos magnéticos.

[0127] La composición de acuerdo con el ejemplo O contiene el 0,11 % de boro, es decir, muy por encima del límite máximo de boro de acuerdo con la invención (0,05 %). Esto causa un debilitamiento muy grande del material

al doblarse y una escasa capacidad de corte: La precipitación de boruros de Fe y Co es tal que los granos están debilitados y el metal ha perdido cualquier ductilidad.

[0128] El ejemplo P explora la adición sustancial de níquel (6,03 %) mientras que la composición además permanece muy similar a la aleación de referencia A: no solo la magnetización en saturación se vuelve demasiado pequeña ($2,23T < 2,25 T$ de mínimo), sino que las pérdidas magnéticas después del recocido adicional de optimización de los rendimientos magnéticos (850 °C/3 h) llegan a ser muy altas (328 W/kg). El níquel de hecho estabiliza la fase γ , y tal aleación provoca la fuerte presencia de una fase γ no magnética en el medio de la fase ferrítica ferromagnética. Por consiguiente, el material no es muy blando magnéticamente y las pérdidas magnéticas son muy importantes.

[0129] Los ensayos de las tablas anteriores muestran que el método de acuerdo con la invención permite producir mediante recocido continuo industrial una banda delgada de FeCo que se puede cortar en una forma compleja, por ejemplo con una prensa, mientras se permite obtener límites elásticos en un amplio intervalo posible, típicamente de 450 a 1150 MPa, sin exceder las pérdidas en 2T/400 Hz de 500 W/kg (para un espesor de 0,2 mm), y preferiblemente inferior a 400 W/kg, mientras se garantiza que las pérdidas magnéticas muy bajas puedan volver a encontrarse después de un recocido convencional estático adicional a 850 °C.

[0130] Estas propiedades se obtienen si:

- la composición química es compatible con la invención,
- la velocidad de enfriamiento del metal al salir del recocido continuo y determinada entre la temperatura de estabilización y 200 °C, es de al menos 600 °C/h, y preferiblemente de al menos 1000 °C/h,
- la temperatura de estabilización es de al menos 700 °C, preferiblemente al menos 720 °C,
- la temperatura de estabilización es como mucho 900 °C.

[0131] Finalmente, se llevaron a cabo ensayos de envejecimiento a 200 °C con tiempos de mantenimiento de 100 horas y de 100 horas + 500 horas acumuladas. Estos ensayos se realizaron a 200 °C porque esta temperatura corresponde aproximadamente a la temperatura máxima a la que pueden estar sometidos los materiales que forman los yugos de las máquinas electrotécnicas giratorias utilizadas en condiciones de funcionamiento normales. Para esto, se realizan ensayos con una aleación del tipo AFK502R para dos grados estándar correspondientes a recocidos estáticos de 760 °C durante dos horas y de 850 °C durante tres horas, y para bandas de acuerdo con la invención correspondientes a recocidos continuos a una temperatura de 880 °C para tres velocidades de marcha: 1,2 m por minuto, 2,4 m por minuto y 4,8 m por minuto en un horno con una longitud útil de 1,2 m. Durante estos ensayos, se midieron B1600 (la inducción magnética para un campo de 1600 A/m), la relación Br/Bm de la inducción magnética remanente con respecto a la inducción magnética máxima y el campo coercitivo Hc. Los resultados se indican en la Tabla 10.

Tabla 10: Ensayos de envejecimiento

Recocido	Duración del envejecimiento a 200 °C	B 1600 (Tesla)	Br/Bm	Hc (A/m)
Estático a 760 °C/2 h	0 h	2,2070	0,71	97
	100 h	2,1700	0,75	102
	100 h + 500 h	2,1600	0,75	107
Estático a 850 °C/3 h	0 h	2,2500	0,62	45
	100 h	2,1850	0,68	58
	100 h + 500 h	2,2000	0,69	58
Continuo 880 °C v = 1,2 m/min	0 h	1,8200	0,55	83
	100 h	1,7700	0,48	88
	100 h + 500 h	1,7750	0,49	85
Continuo 880 °C v = 2,4 m/min	0 h	1,7650	0,41	96
	100 h	1,8250	0,57	75
	100 h + 500 h	1,8350	0,59	74
Continuo 880 °C v = 4,8 m/min	0 h	1,6450	0,82	684
	100 h	1,6650	0,83	652

	100 h+ 500 h	1,6600	0,83	644
--	--------------	--------	------	-----

[0132] Los resultados muestran que para muestras recocidas estáticas, la inducción B para un campo de 1600 Nm disminuye en un 2 % posteriormente al recocido, mientras que el campo coercitivo Hc aumenta en un 10 % (tratamiento térmico a 760 °C) o en un 25 % (tratamiento térmico a 850 °C).

5

[0133] Para las muestras recocidas continuamente, la inducción B para un campo de 1600 Nm, varía como mucho un 2 % posteriormente al recocido y el campo coercitivo Hc en un máximo del 23 %.

[0134] Estos resultados muestran que las aleaciones recocidas continuamente no son más sensibles al envejecimiento que las aleaciones recocidas estáticas. Por lo tanto, con una aleación como se define anteriormente, es decir, que contiene del 18 al 55 % de Co, del 0 al 3 % de V + W, del 0 al 3 % de Cr, del 0 al 3 % de Si, del 0 al 0,5 % de Nb, del 0 al 0,05 % de B del 0 al 0,1 % de C, del 0 al 0,5 % de Ta + Zr, del 0 al 5 % de Ni, del 0 al 2 % de Mn, siendo el resto hierro e impurezas resultantes de la elaboración y particularmente una aleación del tipo AFK502R, se pueden fabricar componentes magnéticos y particularmente escudos magnéticos, cortando por corte mecánico piezas en bandas laminadas en frío recocidas continuamente con el fin de obtener las características mecánicas deseadas teniendo en cuenta la aplicación contemplada y, de acuerdo con esta aplicación, realizando o no sobre estas piezas recortadas opcionalmente ensambladas, un recocido de calidad complementario destinado a optimizar las propiedades magnéticas de la aleación.

[0135] Para cada aplicación y cada aleación particular, un experto en la técnica sabe cómo determinar las características mecánicas y magnéticas deseadas, así como determinar las condiciones particulares de los diversos tratamientos térmicos que permiten su obtención. Por supuesto, las bandas laminadas en frío se obtienen laminando en frío bandas laminadas en caliente hipertempladas para conservar una estructura esencialmente desordenada. Un experto en la técnica sabe cómo fabricar tales bandas laminadas en caliente.

25

[0136] Además, se puede llevar a cabo un tratamiento térmico por oxidación para asegurar el aislamiento eléctrico de las piezas de una pila, como se conoce por los expertos en la técnica.

[0137] El experto en la técnica comprenderá el beneficio de este método que, por un lado, permite la reducción en el número de grados de aleación requeridos para satisfacer las diversas necesidades de los usuarios y, por otro lado, reduce significativamente el número de tratamientos térmicos estáticos a realizar en las piezas recortadas.

30

[0138] Además, un experto en la técnica entenderá que las composiciones químicas indicadas solo definen con un límite inferior y un límite superior los elementos que deben estar presentes. Los límites inferiores del contenido de los elementos opcionalmente presentes se han establecido al 0 %, entendiéndose que estos elementos pueden estar siempre presentes al menos en estado traza, más o menos detectables con medios de análisis conocidos.

35

REIVINDICACIONES

1. Método para fabricar una banda de una aleación magnética blanda que puede recortarse mecánicamente, cuya composición química comprende, en peso:

5

18 %	≤	Co	≤	55 %
0 %	≤	V + W	≤	3 %
0 %	≤	Cr	≤	3 %
0 %	≤	Si	≤	3 %
0 %	≤	Nb	≤	0,5 %
0 %	≤	B	≤	0,05 %
0 %	≤	C	≤	0,1 %
0 %	≤	Zr + Ta	≤	0,5 %
0 %	≤	Ni	≤	5 %
0 %	≤	Mn	≤	2 %

El resto es hierro e impurezas resultantes de la elaboración,

10 de acuerdo con el cual se lamina en frío una banda obtenida por laminación en caliente de un semiproducto que consiste en la aleación para obtener una banda laminada en frío con un espesor inferior a 0,6 mm,

caracterizado porque, después del laminado en frío, se lleva a cabo un tratamiento de recocido continuo en la banda haciendo que pase a un horno continuo, a una temperatura comprendida entre la temperatura de transición ordenada/desordenada de la aleación y la temperatura de inicio de la transformación ferrítica/austenítica de la aleación, seguido de un enfriamiento rápido a una temperatura inferior a 200 °C, siendo la velocidad de enfriamiento de la banda al salir del horno continuo superior a 1000 °C/h, siendo la velocidad de enfriamiento de la banda entre la temperatura de transición ordenada/desordenada de la aleación 200 °C y superior a 1000 °C/h.

2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la temperatura de recocido está entre 700 °C y 930 °C.

20

3. Método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la temperatura de recocido está entre 720 °C y 900 °C.

4. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** la velocidad de marcha de la banda está adaptada de modo que el tiempo de permanencia en el horno continuo de la banda a la temperatura de recocido sea inferior a 10 min.

25

5. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** se adaptan la velocidad de marcha de la banda en el horno continuo y la temperatura de recocido para ajustar la resistencia mecánica de la banda.

30

6. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** la composición química de la aleación es tal que:

47 %	≤	Co	≤	49,5 %
0,5 %	≤	V	≤	2,5 %
0 %	≤	Ta	≤	0,5 %
0 %	≤	Nb	≤	0,5 %
0 %	≤	Cr	<	0,1 %
0 %	≤	Si	<	0,1 %
0 %	≤	Ni	<	0,1 %
0 %	≤	Mn	<	0,1 %

35