

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 986 434**

51 Int. Cl.:

C21D 8/12 (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01)
C22C 38/06 (2006.01)
C22C 38/28 (2006.01)
C22C 38/34 (2006.01)
H01F 1/147 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.09.2020** **E 20193920 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.07.2024** **EP 3960886**

54 Título: **Producto plano metálico de grano no orientado, procedimiento para su fabricación, así como uso**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.11.2024

73 Titular/es:

THYSSENKRUPP STEEL EUROPE AG (100.0%)
Kaiser-Wilhelm-Str. 100
47166 Duisburg, DE

72 Inventor/es:

FISCHER, OLAF;
TELGER, KARL;
VIDOVIC, ANTON;
STRECKER, NINA MARIA;
DAAMEN, JULIA y
COSTA, ALEKSANDER MATOS

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 986 434 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

Producto plano metálico de grano no orientado, procedimiento para su fabricación, así como uso

- 5 La invención se refiere a un producto plano metálico de grano no orientado, a un procedimiento para la fabricación de un producto plano, además de a su uso.

10 En el marco de los perfeccionamientos descritos, el término "producto plano metálico" comprende en particular productos laminados, como por ejemplo bandas de acero o chapas de acero, recortes o platinas fabricadas mediante colada. En particular, la invención se refiere a productos planos configurados como banda eléctrica de acero y a productos planos configurados como chapa eléctrica de acero.

15 En muchas aplicaciones de industria electrotécnica se necesitan productos planos de grano no orientado, en particular banda o chapa eléctrica de grano no orientado.

20 La banda o chapa eléctrica de grano no orientado, a menudo denominado "banda eléctrica NO" o "chapa eléctrica NO", en inglés "NGO Electrical Steel" ("NGO" = Non Grain Oriented), sirve, por ejemplo, como material base para la fabricación de componentes de una máquina eléctrica rotativa. En una aplicación de este tipo, el curso de los campos electromagnéticos se controla y refuerza con el producto plano metálico de grano no orientado. Los campos de aplicación habituales de este tipo de bandas y chapas son rotores y estatores en motores eléctricos y generadores eléctricos.

25 Para muchos motores eléctricos se desea un funcionamiento a altas velocidades por unidad de tiempo, por ejemplo en motores que se están desarrollando para aplicaciones en el marco de la llamada electromovilidad y que, por lo tanto, adquieren cada vez más importancia. El funcionamiento de un motor eléctrico a altas velocidades va acompañado de altas frecuencias del campo electromagnético alterno requerido, que en última instancia es la base para el accionamiento del motor. Por lo tanto, se necesitan cada vez más materiales que estén diseñados para su uso en campos electromagnéticos alternos con frecuencias comparativamente altas.

30 Al desarrollar motores eléctricos para un funcionamiento con campos alternos de alta frecuencia, el desarrollador de materiales se enfrenta al reto de contribuir a aumentar la eficiencia del motor eléctrico. En este contexto se necesitan productos planos metálicos de grano no orientado, en particular banda eléctrica de grano no orientado y chapa eléctrica de grano no orientado, que combinen pérdidas por inversión magnética comparativamente bajas a frecuencias comparativamente altas con una polarización magnética comparativamente alta. e inducción, así como una permeabilidad comparativamente alta.

Los aceros de grano no orientado se conocen, por ejemplo, por los documentos JP 2002 080948 A, KR 2015 0073800 A y JP 2011 219795 A.

40 En bandas eléctricas y chapas eléctricas probadas se consiguen buenas combinaciones de estas propiedades gracias a una elevada proporción en peso de silicio y/o aluminio en la aleación de partida de la banda eléctrica o de la chapa eléctrica. Sin embargo, proporciones elevadas de estos elementos van por regla general acompañadas del efecto desventajoso de que las correspondientes bandas eléctricas NO o chapas eléctricas NO ya conocidas con las propiedades mencionadas presentan un grado de fragilidad comparativamente alto debido a su alto contenido de silicio y/o aluminio, con las desventajas consiguientes en la maquinabilidad, por ejemplo la idoneidad para el laminado en frío. Por ejemplo, pueden producirse con mayor frecuencia roturas de la banda durante el laminado en frío de una banda eléctrica NO correspondiente.

50 Teniendo en cuenta las explicaciones anteriores, la invención se basa en el objetivo de ofrecer alternativas para productos planos de acero conocidos, que cumplan en la misma o en mayor medida los requisitos en cuanto a sus propiedades magnéticas. Los productos planos a proporcionar también deben poder usarse con espesores finales muy reducidos, por ejemplo inferiores a 0,35 mm.

55 La invención se resuelve con un producto plano con las características de la reivindicación 1. La invención se resuelve además con un procedimiento con las características de la reivindicación 5. La invención comprende además un producto plano con las características de la reivindicación 6 y un uso con las características de la reivindicación 8.

Está previsto un producto plano metálico de grano no orientado, que se compone de un acero con los constituyentes de aleación indicados a continuación, indicándose los elementos en porcentaje en peso, abreviado: % en peso:

60 C: 0,0020 a 0,005;
Si: 2,6 a 2,9;
Al: 0,5 a 0,8;
Mn: 1,1 a 1,3;
65 Cr: 0,7 a 1,6, preferentemente 0,9 a 1,6, de manera especialmente preferente de 1,0 a 1,6;
N: 0,0001 a 0,0060;

S: 0,0001 a 0,0035;
 Ti: 0,001 a 0,010;
 P: 0,004 a 0,060;
 constituyentes opcionales: 0,001 a 0,15;
 resto hierro e impurezas inevitables.

Se entiende que la indicación del resto se refiere al hecho de que las proporciones en peso de todos los constituyentes de la aleación, incluido el resto, suman el 100% en peso.

Como constituyentes opcionales pueden estar presentes Ni, Cu, Sn, Co, Zr, Nb, V y Mo, siempre que la suma de las proporciones en peso de estos elementos no rebase el límite anteriormente indicado.

Debido al proceso, puede haber una proporción entre 0,0005 a 0,005% en peso de Mg y Ca, que están contenidos en el marco de esta descripción en las impurezas inevitables anteriormente mencionadas.

Una medida decisiva para proporcionar un producto plano con una combinación de propiedades de propiedades magnéticas ventajosas y propiedades mecánicas ventajosas se ha podido conseguir aumentándose en la especificación aleación de acuerdo con la invención considerablemente la proporción de Mn y la proporción de Cr del producto plano en comparación con composiciones conocidas de bandas o chapas eléctricas.

Gracias al mayor contenido de Mn y al mayor contenido de Cr en comparación con materiales con un alto contenido de Si y/o Al pero un bajo contenido de Mn y/o Cr, sorprendentemente no solo se ha conseguido un perfil de propiedades de las propiedades magnéticas en el marco de los valores deseados, sino que adicionalmente se han conseguido resultados sorprendentes que indican un comportamiento ventajoso bajo carga mecánica, por ejemplo en un laminado en frío. Las dos cosas se explican y prueban en detalle a continuación en el marco de la descripción de unos ejemplos realizados.

En lo que respecta a las propiedades magnéticas, se ha demostrado sorprendentemente que los materiales de acuerdo con la invención combinan una polarización magnética comparativamente alta con pérdidas de inversión magnética comparativamente bajas.

El producto plano de grano no orientado es preferentemente una banda eléctrica de grano no orientado o una chapa eléctrica de grano no orientado, respectivamente hecha de un acero con una composición de aleación de acuerdo con la invención.

Los productos planos preferentes de acuerdo con la invención tienen polarizaciones y pérdidas de inversión magnética, para las cuales se aplican de forma alternativa o acumulativa las siguientes relaciones:

$$\text{Abs} [P_{1,0;1000} \times d / (J_{200;1000} \times ([\text{Mn}] + [\text{Cr}])^2)] < 9, \text{ y/o}$$

$$P_{1,0;400} < 16 \text{ W/kg, y/o}$$

$$P_{1,0;1000} < 70 \text{ W/kg.}$$

Los símbolos en la fórmula anterior se han elegido a este respecto de la siguiente manera:

- "Abs[]": valor absoluto de los valores entre corchetes;
- $P_{1,0;1000}$: pérdidas de inversión magnética en W/kg en un campo electromagnético alterno con una frecuencia de inversión magnética de 1000 Hz y una densidad de flujo magnético de 1,0 T en el material;
- $P_{1,0;400}$: pérdidas de inversión magnética en W/kg en un campo electromagnético alterno con una frecuencia de inversión magnética de 400 Hz y una densidad de flujo magnético de 1,0 T en el material;
- $J_{200;1000}$: Polarización magnética con una intensidad de campo magnético de 200 A/m en un campo electromagnético alterno con 1000 Hz;
- d: espesor del material en mm.

Todos los valores numéricos de los valores anteriores deben usarse entre los corchetes de la fórmula como valores numéricos adimensionales, es decir, sin las unidades. Se trata de una fórmula encontrada empíricamente que resume los resultados obtenidos y es válida para las muestras preferentes de acuerdo con la invención si se usan los valores numéricos adimensionales que pertenecen a los símbolos de fórmula anteriormente explicados con las unidades anteriormente indicadas.

La relación $P_{1,0;400} < 16 \text{ W/kg}$ indica que las pérdidas de inversión magnética en W/kg en un campo electromagnético alterno con una frecuencia de inversión magnética de 400 Hz y una densidad de flujo magnético de 1,0 T en el material son inferiores a 16 W/kg.

La relación $P_{1,0;1000} < 70 \text{ W/kg}$ indica que las pérdidas de inversión magnética en W/kg en un campo electromagnético alterno con una frecuencia de inversión magnética de 1000 Hz y una densidad de flujo magnético de 1,0 T en el material son inferiores a 70 W/kg.

Alternativa o adicionalmente, preferentemente se aplica lo siguiente:

5 $J_{200;1000} > 1,0$, lo que significa que la polarización magnética con una intensidad de campo magnético de 200 A/m en un campo electromagnético alterno con 1000 Hz es superior a 1,0 T.

10 Los expertos en la técnica conocen procedimientos para determinar la polarización y la intensidad del campo, por ejemplo mediante un marco de Epstein para determinar la polarización, en particular de acuerdo con DIN EN 60404-2:2009-01: Materiales magnéticos - Parte 2: Procedimiento para determinar las propiedades magnéticas de banda y chapa eléctrica con ayuda de un marco de Epstein.

15 Los productos planos preferentes pueden estar caracterizados alternativa o adicionalmente por que, a una temperatura entre respectivamente 18 °C y 28 °C, que también incluye 18 y 28 °C, preferentemente a cualquier temperatura entre respectivamente 20 °C y 24 °C, se mantiene la siguiente relación:

$$2,2 \leq ([Mn] + [Cr])^2 \times [\rho_{espec}] \leq 5,5$$

con:

20 [Mn]: valor adimensional del contenido de Mn en % en peso,
[Cr]: valor adimensional del contenido de Cr en % en peso,
[ρ_{espec}]: valor adimensional de la resistencia eléctrica específica en $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$, en particular en la banda laminada en frío sometida a un recocido final.

25 Se ha demostrado que los productos planos en los que se cumple la relación anteriormente mencionada entre la resistencia eléctrica específica y el contenido de Mn y Cr, combinan las propiedades deseadas en un grado especialmente deseable. Con la relación se vincula la proporción en peso de Mn en la aleación de acero con la proporción en peso de Cr en la aleación de acero. De este modo se garantiza que, para una determinada resistencia específica, por un lado, se presente un contenido mínimo, también en la suma de ambos, Mn o Cr, gracias al cual es
30 posible conseguir la resistencia específica y las propiedades electromagnéticas asociadas a ello y, por otro lado, no se rebase un contenido máximo de Mn o Cr, tampoco en la suma de ambos, con las desventajas asociadas a ello en cuanto a las propiedades electromagnéticas.

35 Un producto plano especialmente preferente puede caracterizarse alternativa o adicionalmente por la propiedad sorprendentemente descubierta del producto plano de que, gracias a un recocido del procedimiento de fabricación, se ajusta un mayor contenido de Mn y Cr en las capas superficiales. Eso significa en otras palabras: Mn y Cr se acumulan en las capas marginales del producto plano, y no por el contrario en el interior del producto plano.

40 Esto significa, por ejemplo, que por debajo de la superficie existe una profundidad hasta la cual el producto plano presenta un mayor contenido de Mn por encima de una medida determinada y un mayor contenido de Cr que en el interior del producto plano, existiendo esta profundidad naturalmente en ambos lados, es decir, en el lado superior y en el lado inferior del producto plano.

45 El producto plano presenta preferentemente en una capa marginal, es decir, en una zona límite de la superficie, un contenido de Mn y Cr que, integrado con respecto al volumen de esta zona límite, tiene en relación a un valor de Al y Si un valor de 0,2 o superior.

50 En un caso particular especialmente preferente, el producto plano presenta en los 0,95 micrómetros superiores por debajo de su superficie, integrado con respecto al volumen de esta zona límite, un contenido de Mn y Cr que en relación a un contenido de Al y Si tiene un valor de 0,2 o superior.

55 En otras palabras, preferentemente se aplica que en la capa superficial de 0 a 0,95 μm , es decir hasta una profundidad de 0,95 micrómetros por debajo de la superficie, después del recocido final, la relación de la suma de la densidad del área de la integral de volumen de Mn y Cr a la suma de la densidad del área de la integral de volumen de Si y Al es superior o igual a 0,2.

Expresado matemáticamente:

$$\int_0^{0,95} ([Mn] + [Cr]) / \int_0^{0,95} ([Al] + [Si]) \geq 0,2$$

60 con:

[Mn]: valor adimensional del contenido de Mn en % en peso,
[Cr]: valor adimensional del contenido de Cr en % en peso,

[Al]: valor adimensional del contenido de Al en % en peso,
 [Si]: valor adimensional del contenido de Si en % en peso,

indicando los límites de la integral la profundidad en micrómetros por debajo de la superficie y simbolizando el símbolo integral que hasta una profundidad de 0,95 μm e integrada en toda la superficie del producto plano preferente de acuerdo con la invención, la relación de la suma del contenido de Mn y del contenido de Cr a la suma del contenido de Al y del contenido de Si es igual o superior a 0,2.

Sorprendentemente se ha demostrado en análisis elementales de resolución de profundidad que con la composición elemental presente de acuerdo con la invención se crea la condición previa para el enriquecimiento mencionado de Mn y Cr en zonas del producto plano cercanas a la superficie. Esta particularidad del enriquecimiento elemental de Mn y Cr en las zonas cercanas a la superficie se ha determinado experimentalmente en muestras sometidas a un recocido final mediante espectroscopía de descarga luminosa (en inglés: Glow-discharge optical emission spectroscopy (GDOES) de acuerdo con la especificación de prueba ISO 11505:2012-12.

Debido a la distribución especial y novedosa de los elementos en la capa superficial hasta una profundidad de 0,95 μm del producto plano de acuerdo con la invención con un mayor contenido de Mn y Cr en comparación con los productos planos de banda eléctrica altamente siliciados convencionales, en cierta medida puede evitarse que se formen las fases de orden frágil conocidas por los expertos en la técnica (estructuras D03) por un enriquecimiento de altos contenidos de Si y Al en la superficie, probablemente causado por una "alteración" causada por Mn y Cr del orden en el retículo atómico. Debido a que las conocidas fases frágiles inducidas por Si y Al disminuyen inevitablemente en su extensión debido al exceso proporcional descrita en el sentido de un enriquecimiento de Mn y Cr con respecto al contenido de Si y Al, los efectos desventajosos de estas fases frágiles en la idoneidad para la conformación conocidos por el experto se eliminan consecuentemente, por lo que los productos planos de acuerdo con la invención y sus perfeccionamientos presentan una mejor maquinabilidad en el laminado en frío, el estampado y el recubrimiento, así como en general en la conformación.

De acuerdo con la invención, el producto plano presenta una resistencia eléctrica específica entre 0,60 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ y 0,70 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ a una temperatura de 28 °C, presentando unos perfeccionamientos preferentes una entre 0,60 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ y 0,65 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$. Una resistencia eléctrica específica con este requisito se correlaciona con las buenas propiedades magnéticas obtenidas.

De acuerdo con la invención, el producto plano se presenta con un espesor máximo inferior a 0,35 mm, siendo especialmente preferente un espesor entre 0,19 mm y 0,31 mm. En una realización, el producto plano es una chapa o una banda, cuyo espesor cumple el criterio especificado en cada punto. El producto plano se presenta preferentemente con los espesores bajos mencionados, ya que con estos espesores bajos las pérdidas por inversión magnética son menores que con los espesores más altos. Por lo tanto, la maquinabilidad mejorada del producto plano de acuerdo con la invención presenta sus ventajas especiales gracias a la excelente idoneidad para el laminado en frío esperada.

Con uno de los procedimientos que se explican a continuación, pueden fabricarse materiales que presentan las ventajas basadas en la especificación de aleación descrita al principio. Por ejemplo, mediante el procedimiento de acuerdo con la invención que se explica a continuación se fabrica un producto plano que presenta una combinación de propiedades especialmente ventajosa. Se llevan a cabo las siguientes etapas:

- A) fusión de una masa fundida que contiene una composición elemental según la especificación de aleación mencionada al principio;
- B) colada de la masa fundida para obtener un producto preliminar laminable, en particular una banda preliminar, un desbaste o un desbaste delgado;
- C) laminado en caliente del producto preliminar con una temperatura final de laminado entre 820 °C y 890 °C;
- D) decapado;
- E) recocido de banda laminada en caliente;
- F) laminado en frío;
- G) recocido final.

En el marco de la presente invención, por recocido final se entiende el recocido del producto plano de acuerdo con la invención al final del procedimiento de fabricación, es decir, como última etapa del procedimiento antes del recubrimiento con barniz aislante.

Se obtienen propiedades especialmente ventajosas, ya que de acuerdo con la invención el producto preliminar se calienta al inicio del laminado en caliente a una temperatura de precalentamiento de un máximo de 1200 °C.

La etapa D) tiene lugar después de la etapa C)

De acuerdo con la invención, la banda laminada en caliente se bobina a continuación de la etapa C) o, si se lleva a cabo, a continuación de la etapa D), antes, si se lleva a cabo, de la etapa E) y/o antes de la etapa F), con una

temperatura de bobinado entre 500 °C y 750 °C.

De acuerdo con la invención, el recocido de la banda laminada en caliente de la etapa E) se lleva a cabo a una temperatura entre 700 °C y 790 °C. De acuerdo con la invención, el recocido de la banda laminada en caliente se lleva a cabo durante no menos de 12 horas y no más de 36 horas.

En caso de un grado total de laminado en frío de acuerdo con la invención comprendido entre el 75 % y el 90 %, el laminado en frío de la etapa F) conduce a propiedades especialmente ventajosas del producto plano obtenido. De acuerdo con la invención, el producto plano se lamina hasta un espesor comprendido entre 0,19 mm y 0,31 mm. De acuerdo con la invención, no se realizan más de cuatro pasadas.

Para el recocido final han demostrado ser ventajosas las propiedades si el mismo se realiza de acuerdo con la invención a una temperatura entre 930 °C y 1070 °C, siendo la duración del recocido final de manera especialmente preferente como máximo de 300 segundos. La duración mínima del recocido final es preferentemente de 50 segundos.

El recocido final se realiza preferentemente en un horno que funciona de forma continua, por el que pasa el producto plano, por ejemplo en un horno de paso continuo horizontal.

Es especialmente preferente que el recocido final descrito se realice en una etapa, pero no en dos etapas.

De acuerdo con la invención, las etapas A) a G) se realizan en el orden alfabéticamente predeterminado.

Otro aspecto de la presente solicitud es un producto plano que puede obtenerse con uno de los procedimientos anteriormente mencionados o sus perfeccionamientos.

Otro aspecto de la presente solicitud es el uso de un recorte estampado de uno de los productos planos anteriormente mencionados como lámina de una máquina eléctrica rotativa.

Ejemplos

A continuación, la invención se explica con más detalle con ayuda de ejemplos de realización.

Se fabricaron 3 bandas eléctricas de acuerdo con la invención, denominadas en lo sucesivo variante 1, variante 2 y variante 3. Las composiciones de las variantes 1, 2 y 3 se indican en la Tabla 1. Otras variantes, denominadas variante Ref. 1, variante Ref. 2 y variante Ref. 3, sirven como muestras de comparación no realizadas de acuerdo con la invención, cuyas composiciones de aleación también se indican en la Tabla 1.

A partir de las aleaciones indizadas, se ajustaron bajos contenidos de azufre y nitrógeno mediante un horno de cuchara y se fabricaron desbastes mediante colada continua o colada de desbastes finos. A partir estos, se fabricó a continuación respectivamente una banda mediante laminado en caliente, decapado, recocido de banda laminada en caliente, laminado en frío y recocido final. En los ejemplos, el material se calentó a un máximo de 1200 °C antes del laminado en caliente, se laminó hasta un espesor de banda laminada en caliente de 1,3-1,9 mm hasta una temperatura final de laminado de 820 °C-890 °C y una temperatura de bobinado de 500 °C-750 °C.

Las bandas laminadas en caliente fabricadas se decapan y a continuación se recuecen durante 24 horas a 700-790 °C, no formando esta etapa necesariamente parte de la invención, por lo que es opcional. La banda laminada en caliente recocida fue conformada con un grado total de laminado en frío del 75-90 % hasta un espesor final de 0,19-0,31 mm (+/- 8 %) con un máximo de 4 pasadas.

El recocido final se lleva a cabo a una temperatura máxima entre 930-1070 °C.

Los parámetros de fabricación de las variantes 1 a 3, así como de la Ref. 1 a Ref. 3 se indican en la Tabla 1.

Tabla 1

Muestra	Temperatura de precalentamiento antes del laminado en caliente en grados Celsius	Temperatura final de laminado en grados Celsius	Temperatura de bobinado en grados Celsius	Temperatura de recocido banda laminada en caliente en grados Celsius	Grado total laminado en frío en porcentaje	Espesor final en mm	Número de pasadas	Temperatura de recocido final en grados Celsius
Var. 1	1120	840 °C	1,6	620	740	Variable, véase la Tabla 4	4	Variable, véase la Tabla 4
Var. 2	1120	840 °C	1,6	620	740	véase arr.	4	véase arr.
Var. 3	1120	840 °C	1,6	620	740	véase arr.	4	véase arr.
Ref. 1	1120	840 °C	1,6	620	740	véase arr.	4	véase arr.
Ref. 2	1120	840 °C	1,6	620	740	véase arr.	4	véase arr.
Ref. 3	1120	840 °C	1,6	620	740	véase arr.	4	véase arr.

La resistencia eléctrica específica de las muestras se midió después del recocido final. Para ello se usó un puente de medición de Wheatstone de acuerdo con DIN EN 60404-13:2015-01.

Tabla 2

Var.	C [% en peso]	Si [% en peso]	Mn [% en peso]	Al [% en peso]	Cr [% en peso]	P [% en peso]	Ti [% en peso]	N [% en peso]	S [% en peso]	Resistencia eléctrica espec. a 28 °C [Ωmm ² /m]	$2,2 \leq [\rho_{\text{espec}}] \times ([Mn] + [Cr]) \leq 5,5$
1	0,0038	2,72	1,20	0,77	1,01	0,02	0,0050	0,0026	0,0030	0,626	si
2	0,0041	2,74	1,20	0,77	1,31	0,02	0,0050	0,0025	0,0030	0,642	si
3	0,0040	2,70	1,20	0,70	1,60	0,02	0,0030	0,0030	0,0030	0,643	si
Ref. 1	0,0034	3,29	0,16	0,93	0,07	0,03	0,0040	0,0018	0,0020	0,625	no
Ref. 2	0,0031	3,22	0,16	0,75	0,02	0,01	0,0040	0,0010	0,0012	0,588	no
Ref. 3	0,0023	2,67	0,20	0,74	0,04	0,02	0,0042	0,0010	0,0010	0,525	no

La Tabla 3 muestra las propiedades de las muestras preparadas 1 a 3 y Ref. 1 a Ref. 3.

Los valores magnéticos P con 1,0 T y 1000 Hz, así como J a 200 A/m y 1000 Hz se determinaron mediante la tabla 60 × 60 mm² de acuerdo con IEC404-3, habiéndose formado respectivamente un valor promedio a partir de un valor longitudinal y uno transversal.

En particular, resulta que, además de la muy buena polarización a 1000 Hz y una intensidad de campo magnético de 200 A/m, se produce una pérdida de inversión magnética P deseablemente baja a 1,0 T y 1000 Hz, que se encuentra aproximadamente en el orden de magnitud de los resultados obtenidos en las muestras de referencia.

Tabla 3

Variante	P a 1,0 T 1000 Hz [W/kg]	J a 200 A/m 1000 Hz [T]	d [mm]	$ P(1, 0_{1000}) \times d /$ $(J(200_{1000}) \times$ $([Mn] + [Cr])^2) \leq 9$	Según invención
1	61,83	1,11	0,25	2,85	sí
2	60,86	1,08	0,25	2,33	sí
3	58,04	1,08	0,25	1,78	sí
Ref. 1	63,75	0,98	0,27	329,15	no
Ref. 2	54,64	1,20	0,25	337,55	no
Ref. 3	80,17	0,91	0,35	536,70	no

En la Tabla 4 se muestran las siguientes propiedades de las muestras preparadas 1.1, 2.1, 2.2, 2.3, 3.1 de los análisis 1-3 y las muestras Ref. 1.1, 1.2, 2.1, 3.1 a 3.5 de los análisis Ref. 1-3, refiriéndose las cifras detrás del punto al hecho de que a partir de una muestra se prepararon aleatoriamente varias muestras para el análisis óptico con el fin de respaldar la fiabilidad de los estudios realizados. Por ejemplo, se prepararon cinco muestras a partir de los materiales de referencia 3, que fueron numerados del 3.1 al 3.5.

La particularidad del enriquecimiento elemental de Mn y Cr en las capas superficiales del producto plano se determinó mediante espectroscopia de descarga luminosa según la especificación de prueba ISO 11505:2012-12. La medición se realiza en el lado superior (OS) y en el lado inferior (US) de las muestras. Además, en los puntos de la muestra del borde (R1/R2) y del centro (M) se tomaron mediciones a lo largo de la anchura de la banda. A partir de las curvas de medición obtenidas de la masa con respecto a la profundidad de la muestra de 0 a 12 µm, se calculó una evaluación integral de la densidad del área desde la superficie (0 µm) hasta una profundidad de la muestra de 0,95 µm para Mn, Cr, Al y Si.

Tabla 4

Variante	Muestra	Espesor	Grado de laminado en frío	Temperatura de recocido final	Posición OS/US	Posición R1/M/R2	Densidad del área por superficie integrada con respecto al volumen desde la superficie hasta una profundidad de 0,95 µm				Relación de (suma de los contenidos de Mn y Cr desde la superficie hasta una profundidad de 0,95 µm) a (suma de los contenidos de Al y Si desde la superficie hasta una profundidad de 0,95 µm)	$\frac{f_{0,95}^{0,95}([Mn]+[Cr])}{f_{0,95}^{0,95}([Al]+[Si])} \geq \frac{f_{0,95}^{0,95}([Mn]+[Cr])}{f_{0,95}^{0,95}([Al]+[Si])} \geq 0,2$
		[mm]	[%]	Temperatura [°C]			Mn [kg/m³]	Cr [(kg/m³)]	Al [kg/m³]	Si [kg/m³]		
1	1,1	0,25	84,4	1030	OS	M	65	59	127	175	0,408	sí
1	1,1	0,25	84,4	1030	US	M	70	61	114	174	0,453	sí
1	1,1	0,25	84,4	960	OS	M	47	45	89	157	0,376	sí
1	1,1	0,25	84,4	960	US	M	58	63	86	194	0,432	sí
2	2,1	0,35	78,1	1000	OS	R1	59	56	126	201	0,353	sí
2	2,1	0,35	78,1	1000	US	R1	66	53	142	210	0,340	sí
2	2,1	0,35	78,1	1000	OS	M	62	61	127	214	0,361	sí
2	2,1	0,35	78,1	1000	US	M	73	57	144	232	0,348	sí
2	2,1	0,35	78,1	1000	OS	R2	56	56	117	191	0,363	sí
2	2,1	0,35	78,1	1000	US	R2	65	56	134	206	0,355	sí
2	2,2	0,27	83,1	1000	OS	R1	52	51	124	185	0,335	sí
2	2,2	0,27	83,1	1000	US	R1	56	54	133	195	0,335	sí
2	2,2	0,27	83,1	1000	OS	M	54	54	116	193	0,349	sí
2	2,2	0,27	83,1	1000	US	M	58	61	111	204	0,375	sí
2	2,2	0,27	83,1	1000	OS	R2	61	59	128	199	0,367	sí
2	2,2	0,27	83,1	1000	US	R2	57	59	120	194	0,370	sí
2	2,3	0,25	84,4	1000	OS	R1	54	44	136	199	0,292	sí
2	2,3	0,25	84,4	1000	US	R1	63	63	133	195	0,381	sí
2	2,3	0,25	84,4	1000	OS	M	62	62	130	201	0,378	sí
2	2,3	0,25	84,4	1000	US	M	65	59	148	213	0,342	sí
2	2,3	0,25	84,4	1000	OS	R2	66	61	139	209	0,367	sí
2	2,3	0,25	84,4	1000	US	R2	62	63	126	193	0,391	sí
3	3,1	0,25	84,4	1000	OS	R1	50	50	149	172	0,310	sí
3	3,1	0,25	84,4	1000	US	R1	57	58	175	182	0,323	sí
3	3,1	0,25	84,4	1000	OS	M	59	60	162	186	0,343	sí
3	3,1	0,25	84,4	1000	US	M	58	57	194	183	0,305	sí
3	3,1	0,25	84,4	1000	OS	R2	60	50	208	170	0,291	sí
3	3,1	0,25	84,4	1000	US	R2	65	52	195	177	0,313	sí

(continuación)

Variante	Muestra	Espesor	Grado de laminado en frío	Temperatura de recocido final	Posición OS/US	Posición R1/M/R2	Densidad del área por superficie integrada con respecto al volumen desde la superficie hasta una profundidad de 0,95 µm				Relación de (suma de los contenidos de Mn y Cr desde la superficie hasta una profundidad de 0,95 µm) a (suma de los contenidos de Al y Si desde la superficie hasta una profundidad de 0,95 µm)	$\frac{\{e^{0,95}\}([Mn]+[Cr])}{\{e^{0,95}\}([Al]+[Si])} \geq \frac{0,2}{0,2}$
Referencia 1	R1.1	0,27	83,1	1030	OS	M	Mn	Cr	Al	Si	$\frac{\{e^{0,95}\}([Mn]+[Cr])}{\{e^{0,95}\}([Al]+[Si])}$	no
Referencia 1	R1.1	0,27	83,1	1030	US	M	10	2	150	238	0,030	no
Referencia 1	R1.2	0,25	84,4	1030	OS	M	10	2	121	243	0,032	no
Referencia 1	R1.2	0,25	84,4	1030	US	M	9	2	129	236	0,030	no
Referencia 2	R2.1	0,25	84,4	1030	OS	M	9	2	118	233	0,031	no
Referencia 2	R2.1	0,25	84,4	1030	US	M	12	2	98	247	0,040	no
Referencia 3	R3.1	0,35	78,1	1000	OS	M	12	2	89	247	0,041	no
Referencia 3	R3.1	0,35	78,1	1000	US	M	5	1	138	132	0,021	no
Referencia 3	R3.1	0,35	78,1	1000	US	M	4	1	133	117	0,020	no
Referencia 3	R3.2	0,25	84,4	1030	OS	M	12	2	79	212	0,049	no
Referencia 3	R3.2	0,25	84,4	1030	US	M	12	2	82	209	0,050	no
Referencia 3	R3.3	0,25	84,4	1030	OS	M	11	2	91	217	0,044	no
Referencia 3	R3.3	0,25	84,4	1030	US	M	12	3	96	203	0,050	no
Referencia 3	R3.4	0,25	84,4	1030	OS	M	13	2	122	201	0,047	no
Referencia 3	R3.4	0,25	84,4	1030	US	M	10	2	103	223	0,038	no
Referencia 3	R3.5	0,25	84,4	1030	OS	M	12	2	98	207	0,048	no
Referencia 3	R3.5	0,25	84,4	1030	US	M	13	2	103	198	0,051	no

REIVINDICACIONES

1. Producto plano metálico de grano no orientado, que se compone de los constituyentes indicados a continuación en porcentaje en peso, abreviado: % en peso:

C: 0,0020 a 0,005;

Si: 2,6 a 2,9;

Al: 0,5 a 0,8;

Mn: 1,1 a 1,3;

Cr: 0,7 a 1,6;

N: 0,0001 a 0,0060;

S: 0,0001 a 0,0035;

Ti: 0,001 a 0,010;

P: 0,004 a 0,060;

constituyentes opcionales: en suma 0,001 a 0,15 de Ni, Cu, Sn, Co, Zr, Nb, V y Mo;

resto Fe e impurezas inevitables, presentando el producto plano un espesor d de $d < 0,35$ mm y a 28 °C una resistencia eléctrica específica de $0,60 \Omega\text{mm}^2/\text{m} \leq \rho_{\text{espec}} \leq 0,70 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$.

2. Producto plano según la reivindicación 1, en el que

$\text{Abs}[P_{1,0;1000} \times d / (J_{200;1000} \times ([\text{Mn}] + [\text{Cr}])^2)] < 9$, y/o

$P_{1,0;400} < 16$ W/kg, y/o

$P_{1,0;1000} < 70$ W/kg, y/o

J a 200 A/m y 1000 Hz $> 1,0$ T;

respectivamente preferentemente con un espesor del producto plano entre 0,19 mm y 0,31 mm.

3. Producto plano según una de las reivindicaciones anteriores, cumpliéndose a una temperatura entre 18 °C y 28 °C, respectivamente incluidas, preferentemente a cualquier temperatura entre 20 °C y 24 °C

$$2,2 \leq ([\text{Mn}] + [\text{Cr}])^2 \times [\rho_{\text{espec}}] \leq 5,5$$

con:

[Mn]: valor adimensional del contenido de Mn en % en peso,

[Cr]: valor adimensional del contenido de Cr en % en peso,

$[\rho_{\text{espec}}]$: valor adimensional de la resistencia eléctrica específica en $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ particular en la banda laminada en frío sometida a un recocido final.

4. Producto plano según una de las reivindicaciones anteriores, siendo en una zona límite de la superficie hasta una profundidad de 0,95 μm la relación de un contenido en kg/m^3 de la suma de Mn y Cr a un contenido en kg/m^3 de la suma de Al y Si 0,2 o mayor, lo que matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$\int_0^{0,95} ([\text{Mn}] + [\text{Cr}]) / \int_0^{0,95} ([\text{Al}] + [\text{Si}]) \geq 0,2$$

con:

[Mn]: valor adimensional del contenido de Mn en % en peso,

[Cr]: valor adimensional del contenido de Cr en % en peso,

[Al]: valor adimensional del contenido de Al en % en peso,

[Si]: valor adimensional del contenido de Si en % en peso,

indicando los límites de la integral la profundidad en micrómetros por debajo de la superficie y simbolizando el símbolo integral que hasta una profundidad de 0,95 μm e integrada en toda la superficie del producto plano preferente de acuerdo con la invención, la relación de la suma del contenido de Mn y del contenido de Cr a la suma del contenido de Al y del contenido de Si es igual a 0,2 o superior a 0,2.

5. Procedimiento para la fabricación de un producto plano, presentando el producto plano un espesor d de $d < 0,35$ mm, presentando las siguientes etapas de fabricación, realizándose las etapas A) a G) en su orden alfabéticamente predeterminado:

A) fusión de una masa fundida que contiene una composición elemental que contiene los constituyentes indicados a continuación en porcentaje en peso, abreviado: % en peso:

C: 0,0020 a 0,005;

Si: 2,6 a 2,9;

- 5 Al: 0,5 a 0,8;
Mn: 1,1 a 1,3;
Cr: 0,7 a 1,6;
N: 0,0001 a 0,0060;
S: 0,0001 a 0,0035;
Ti: 0,001 a 0,010;
P: 0,004 a 0,060;
constituyentes opcionales: en suma 0,001 a 0,15 de Ni, Cu, Sn, Co, Zr, Nb, V y Mo;
resto hierro e impurezas inevitables;
- 10 B) colada de la masa fundida para obtener un producto preliminar laminable, en particular una banda preliminar, un desbaste o un desbaste delgado;
C) laminado en caliente del producto preliminar con una temperatura final de laminado entre 820 °C y 890 °C, calentándose el producto preliminar al inicio del laminado en caliente a una temperatura de precalentamiento de un máximo de 1200 °C;
- 15 D) decapado;
E) recocido de banda laminada en caliente a una temperatura entre 700 y 790 °C durante un período entre 12 h y 36 h;
- 20 F) laminado en frío con un grado total de laminado en frío comprendido entre el 75 % y el 90 %, laminándose el producto plano con un máximo de cuatro pasadas y preferentemente hasta un espesor entre 0,19 mm y 0,31 mm;
G) recocido final a una temperatura entre 930 °C y 1070 °C,
- 25 bobinándose la banda laminada en caliente a continuación de la etapa C) o a continuación de la etapa D) con una temperatura de bobinado entre 500 °C y 750 °C.
6. Producto plano que puede obtenerse mediante un procedimiento según la reivindicación 5.
7. Producto plano según la reivindicación 6, presentando las propiedades según una de las reivindicaciones 1 a 4.
- 30 8. Uso de un recorte estampado de un producto plano según una de las reivindicaciones 1 a 4 como lámina de una máquina eléctrica rotativa.