

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 759 823**

51 Int. Cl.:

C21D 8/12 (2006.01)

H01F 1/147 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.09.2011 PCT/EP2011/066512**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.08.2012 WO12110111**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.09.2011 E 11761066 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.09.2019 EP 2675927**

54 Título: **Procedimiento para generar un producto plano de acero de grano orientado**

30 Prioridad:

14.02.2011 DE 102011000712

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

12.05.2020

73 Titular/es:

**THYSSENKRUPP ELECTRICAL STEEL GMBH
(100.0%)
Kurt-Schumacher-Strasse 95
45881 Gelsenkirchen, DE**

72 Inventor/es:

**DUMAN, EYUP;
HOLZAPFEL, CHRISTOF;
KRENKE, THORSTEN;
LAHN, LUDGER;
LEMAITRE, RÉGIS;
WANG, CHAOYONG y
BELGRAND, THIERRY**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 759 823 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

Procedimiento para generar un producto plano de acero de grano orientado

- 5 La presente invención se refiere a un procedimiento para generar un producto plano de acero de grano orientado con valores minimizados de pérdida magnética y propiedades magnetoestrictivas optimizadas.

10 En los productos planos de acero de grano orientado de los que se habla en este caso, denominados también "material HGO (de grano orientado de alta permeabilidad)" en el lenguaje técnico, se trata de cintas de acero, también llamadas en el lenguaje técnico simplemente "cintas eléctricas", o chapas de acero, también llamadas en el lenguaje técnico simplemente "chapas eléctricas". A partir de tales productos planos de acero se producen piezas para aplicaciones electrotécnicas.

15 La cinta o chapa eléctrica de grano orientado es apropiada en particular para aplicaciones en las que se encuentre en primer plano una pérdida por histéresis magnética particularmente baja y se apliquen grandes exigencias en cuanto a la permeabilidad o la polarización. Tales exigencias existen en particular en piezas para transformadores de potencia, transformadores distribuidores y pequeños transformadores de gran calidad.

20 Tal y como se explica detalladamente a modo de ejemplo en el documento EP 1 025 268 B1, en el transcurso de la fabricación de los productos planos de acero, en primer lugar por lo general se vierte un acero, que presente (en % en peso) normalmente entre un 2,5 y un 4,0 % de Si, entre un 0,010 y un 0,100 % de C, hasta un 0,150 % de Mn, hasta un 0,065 % de Al y hasta un 0,0150 % de N, así como, opcionalmente en cada caso, entre un 0,010 y un 0,3 % de Cu, hasta un 0,060 % de S, hasta un 0,100 % de P, en cada caso hasta un 0,2 % de As, Sn, Sb, Te, y Bi, hierro residual e impurezas inevitables, formando un material inicial, como un desbaste plano, un desbaste plano fino o una cinta colada. En caso de ser necesario, el material inicial se somete entonces a un tratamiento de recocido para ser laminado en caliente a continuación formando un fleje laminado en caliente.

30 Tras el devanado y un recocido efectuado adicionalmente de manera opcional, así como un tratamiento de decapado o descascarillado también realizados opcionalmente, a continuación se lamina en una o varias etapas un fleje de laminado en frío a partir del fleje laminado en caliente, pudiendo llevarse a cabo un recocido intermedio entre las etapas de laminado en frío si es necesario. Durante el recocido de descarburación efectuado a continuación, habitualmente se reduce de manera drástica el contenido de carbono del fleje laminado en frío para la evitación de un envejecimiento magnético.

35 Tras el recocido de descarburación, sobre las superficies del fleje se aplica un separador de recocido, en el que se trata normalmente de MgO. El separador de recocido impide que las espiras de una bobina bobinada a partir del fleje laminado en frío se peguen unas con otras durante el recocido a alta temperatura efectuado a continuación. Durante el recocido a alta temperatura, que normalmente se lleva a cabo en un horno de campana bajo gas de protección, en el fleje laminado en frío se genera la textura mediante un crecimiento selectivo del grano. Asimismo, sobre las superficies del fleje se conforma una capa de forsterita, la llamada "película de vidrio". Además, el material de acero se limpia mediante los procesos de difusión que tienen lugar durante el recocido a alta temperatura.

40 A continuación del recocido a alta temperatura, el producto plano de acero obtenido así se recubre con una capa aislante, se endurece térmicamente, y se somete a un recocido de ablandamiento en un último "recocido final". Este recocido final puede realizarse antes o después de la confección del producto plano de acero producido del modo descrito anteriormente para los recortes a medida necesarios para el posterior procesamiento, donde, mediante un recocido final tras la separación de los recortes a medida, se pueden eliminar las tensiones adicionales producidas en el transcurso del proceso de separación. Los productos planos de acero generados así presentan por regla general un grosor de entre 0,15 mm y 0,5 mm.

50 Las propiedades metalúrgicas del material, los grados de deformación de los procesos de laminado en frío ajustados durante la producción de los productos planos de acero, y los parámetros de las etapas del tratamiento térmico están adaptados en cada caso entre sí de tal modo que tienen lugar procesos de recristalización dirigidos. Estos procesos de recristalización provocan la "textura de Goss", típica para el material, con la que la dirección de la magnetizabilidad más sencilla yace en la dirección de laminado de las cintas terminadas. Por consiguiente, los productos planos de acero de grano orientado presentan un comportamiento magnético intensamente anisotrópico.

60 Existen diferentes métodos para la mejora de las pérdidas por histéresis magnética de un producto plano de acero de grano orientado. A modo de ejemplo, se puede mejorar la precisión de la orientación de la textura de Goss del producto plano de acero. Se pueden conseguir mayores reducciones de las pérdidas mediante la reducción de las distancias de las paredes de dominio de 180°. Las tensiones por tracción elevadas en la dirección de laminado, que se transmiten a la superficie del acero a través de recubrimientos aislantes, también contribuyen a la reducción de las distancias de dominio y, aunada a ella, a la reducción de las pérdidas por histéresis magnética. No obstante, los valores necesarios de la tensión por tracción solo pueden ponerse en práctica de manera restringida por motivos técnicos.

- Otra posibilidad de la mejora de las pérdidas, propuesta a modo de ejemplo en el documento DE 18 04 208 B1 o en el documento EP 0 409 389 A2, consiste en que en la superficie del producto plano de acero se generen deformaciones plásticas parciales. Esto puede realizarse, por ejemplo, arañando o realizando incisiones mecánicamente en las superficies del producto plano de acero correspondiente. En contraposición a las mejoras significativas de las propiedades magnéticas conseguidas de este modo se da la desventaja relativa a que, por el procesamiento mecánico de la superficie, se deteriore la capa aislante aplicada encima del producto plano de acero. Por ejemplo en el caso de la producción de chapas para transformadores a partir de un producto plano de acero de tal tipo, esto puede provocar cortocircuitos en el núcleo apilado del transformador, así como corrosión local.
- Los intentos de utilizar las ventajas de arañar o realizar incisiones mecánicamente sin destruir el aislamiento se han centrado en la utilización de fuentes de láser (EP 0 008 385 B1, EP 0 100 638 B1, EP 1 607 487 A1). Con los procedimientos basados en la utilización de láseres se hace referencia a que un haz láser se focalice sobre la superficie del producto plano de acero que haya de tratarse y se genere allí una tensión térmica en el material base. Esto provoca la formación de desplazamientos en los que componentes del flujo magnético salen de la superficie del producto plano de acero. De este modo, se aumenta localmente la energía del campo magnético de dispersión para cuya compensación tiene lugar la formación de los llamados "dominios terminales", que en lenguaje técnico se denominan también "estructuras secundarias". De manera simultánea, se produce una reducción de la distancia de dominio principal.
- Puesto que la pérdida anormal por histéresis magnética depende de la distancia de los dominios principales, las pérdidas se minimizan mediante un tratamiento por láser apropiado. Mediante el tratamiento por láser, se puede mejorar la pérdida por histéresis magnética de un producto plano de acero de grano orientado con un grosor nominal típico para estos productos de 0,23 mm en más del 10 % con respecto al estado sin tratar. Las mejoras de las pérdidas dependen tanto de las propiedades del material base como, por ejemplo, el tamaño de grano y la agudeza de la textura, como de los parámetros de láser, de los que forman parte la distancia L entre las líneas a lo largo de las que se guían los haces láser sobre el producto plano de acero respectivo, el tiempo de actuación t_{act} y la densidad de energía específica U_s . El ajuste de estos parámetros tiene una influencia decisiva sobre la atenuación conseguida en cada caso de las pérdidas por histéresis magnética.
- Junto a las pérdidas por histéresis magnética, la emisión de ruido también desempeña un papel en los transformadores. Esta se basa en un efecto físico conocido como magnetostricción.
- La magnetostricción es la modificación de la longitud de un material ferromagnético en la dirección de su magnetización. Mediante el funcionamiento de un componente ferromagnético como, por ejemplo, de un transformador, en un campo magnético alterno, se desplazan los dominios principales de 180°, lo cual, no obstante, no contribuye todavía a la magnetostricción. No obstante, en las transiciones entre los dominios principales de 180° a los dominios terminales de 90°, en el material se producen tensiones magnetoestrictivas. Estas forman una fuente de sonido durante el funcionamiento en el campo magnético alterno y son la causa de los ruidos de los transformadores.
- La incorporación de dominios terminales de 90° adicionales, por tanto, de estructuras secundarias, mediante el tratamiento por láser provoca por lo general un aumento de la magnetostricción y, por tanto, de las emisiones de ruido en particular durante el funcionamiento de un transformador.
- Las exigencias que se aplican en lo relativo a la minimización de la emisión de ruido durante el funcionamiento de transformadores aumentan de manera constante. Esto se debe, por un lado, a las especificaciones y normas intensificadas de manera continua. Por otro lado, los consumidores no aceptan por lo general hoy en día aparatos eléctricos en los que se produzca un "zumbido de transformador" audible. Así, la aceptación de grandes transformadores en las proximidades de áreas residenciales depende hoy en día de manera decisiva de las emisiones de ruido que se produzcan durante el funcionamiento de tales transformadores.
- Se ha propuesto una serie de procesos de tratamiento por láser con los que se pueden conseguir tanto mejoras en las pérdidas como mejores propiedades magnetoestrictivas mediante la elección de parámetros del proceso adecuados (DE 601 12 357 T2/EP 1 154 025 B1, DE 698 35 923 T2 / EP 0 897 016 B1, EP 2 006 397 A1, EP 1 607 487 A1). No obstante, en este sentido la optimización de los parámetros del tratamiento por láser se ha llevado a cabo en cada caso solo con vistas a una mejora de las pérdidas por histéresis magnética.
- Además del estado de la técnica explicado anteriormente, por el documento JP-A-2005 226122 se conoce un sistema con el que ha de ser posible prever con precisión las propiedades magnéticas de una chapa de acero electromagnética después de que haya sido sometida a un tratamiento por láser para el ajuste de su dominio magnético.
- Asimismo, por el documento WO 2009/082155 A1 también se conoce que mediante un tratamiento por láser se puedan optimizar las propiedades magnéticas de una chapa de acero para aplicaciones electromagnéticas mediante la mejora de los dominios magnéticos de tal modo que se consigan pérdidas en el hierro minimizadas.

Finalmente, por el documento DE 600 04 244 T2 se conoce un procedimiento para la mejora de las propiedades magnéticas de una chapa de acero, compuesta de acero al silicio de grano orientado, que haya pasado por un recocido final de recristalización secundaria y esté provista de un recubrimiento aislante. En este procedimiento, la chapa de acero movida en una dirección de movimiento es barrida de manera continua con un láser de emisión de CO₂ con una longitud de onda de 10,46 μm en una dirección que se extiende transversalmente con respecto a la dirección de movimiento. Los parámetros del proceso escogidos para ello "energía de radiación específica", "tiempo de actuación" y "distancia entre dos trazas consecutivas del haz láser sobre la chapa de acero" se ajustan de manera sincrónica y continua dentro de 0,1 y 25 mJ/mm², 1x10⁻⁶s - 1x10⁻² s, así como 2 - 12 mm, con el fin de optimizar la mejora de al menos uno de los parámetros magnéticos de la chapa, existiendo la elección entre magnetostricción, inducción y pérdidas de núcleo, que se miden de manera continua antes y después del tratamiento por haz láser.

Ante tales antecedentes del estado de la técnica explicado anteriormente, el objetivo de la presente invención consistía en especificar un procedimiento para la producción de productos planos de acero que sean apropiados de manera óptima para la fabricación de piezas para transformadores.

De acuerdo con la invención, este objetivo se consigue, durante la producción de un producto plano de acero, realizando los pasos de trabajo indicados en la reivindicación 1.

En las reivindicaciones dependientes se indican realizaciones ventajosas de la invención, y a continuación se explican detalladamente como la idea general de la invención.

De conformidad con el estado de la técnica expuesto anteriormente, un procedimiento según la invención para generar un producto plano de acero de grano orientado con valores minimizados de pérdida magnética y propiedades magnetoestrictivas optimizadas comprende los pasos de trabajo

a) proporcionar un producto plano de acero,
y

b) tratar con láser el producto plano de acero, donde, en el transcurso del tratamiento por láser, en la superficie del producto plano de acero se conforman deformaciones lineales, que están dispuestas a una distancia L, mediante un haz láser emitido con una potencia P por una fuente de haz láser.

No existen exigencias especiales en cuanto al tipo de fabricación del producto plano de acero proporcionado de acuerdo con el paso de trabajo a). Así, el producto plano de acero proporcionado para el procedimiento según la invención puede fabricarse aplicándose las medidas conocidas en general para el experto en la materia, resumidas al inicio, y basándose en aleaciones de acero apropiadas que también sean ya suficientemente conocidas por el estado de la técnica. Esto también incluye evidentemente aquellos procedimientos de producción y aleaciones que aún no sean conocidos en la actualidad.

De acuerdo con la invención, ahora se ajustan los parámetros del tratamiento por láser (paso de trabajo b)) de tal modo que un producto plano de acero producido de acuerdo con la invención no presente solo pérdidas minimizadas por histéresis magnética, sino que también su potencia aparente $S_{1,7/50 \text{ TRAS}}$ dada esté optimizada tras el tratamiento por láser.

Para tal fin, la potencia aparente $S_{1,7/50}$ del producto plano de acero a tratar con el haz láser, determinada con una frecuencia de 50 hercios y una polarización de 1,7 teslas, se determina de acuerdo con la invención antes y después del tratamiento por láser (paso de trabajo b)).

En función de la diferencia entre la potencia aparente $S_{1,7/50 \text{ ANTES}}$ determinada antes del tratamiento por láser y la potencia aparente $S_{1,7/50 \text{ TRAS}}$ determinada tras el tratamiento por láser, se modifican entonces como parámetros del tratamiento por láser la distancia a entre las deformaciones lineales, el tiempo de actuación t_{act} del haz láser, la densidad de energía específica U_s , la potencia de láser P, el foco del láser Δs o la velocidad de barrido v_{barr} de tal modo que la diferencia entre la potencia aparente $S_{1,7/50}$ determinada en cada caso antes y después del tratamiento por láser ascienda a menos del 40 %.

Por lo tanto, los parámetros del tratamiento por láser se ajustan de acuerdo con la invención de tal modo que un aumento de la potencia aparente $S_{1,7/50}$ de un producto plano de acero procesado de acuerdo con la invención, que se ajuste en el transcurso del tratamiento por láser, se limite mediante el ajuste de los parámetros del tratamiento por láser de tal modo que la potencia aparente $S_{1,7/50 \text{ TRAS}}$ determinada tras el tratamiento por láser cumpla la siguiente condición:

$$S_{1,7/50 \text{ TRAS}} < 1,4 \times S_{1,7/50 \text{ ANTES}}$$

Por consiguiente, el aumento de la potencia aparente provocado por el tratamiento por láser está limitado de acuerdo con la invención de tal modo que la potencia aparente esté incrementada tras el láser en no más del 40 %

comparada con su valor en la misma pieza de trabajo antes del láser.

Por lo tanto, la invención tiene en cuenta que en la configuración de transformadores no se encuentran en primer plano por regla general las pérdidas por histéresis magnética de los productos planos de acero procesados en cada caso, sino la potencia aparente. Por consiguiente, de acuerdo con la invención, los parámetros del tratamiento por láser no solo se optimizan en lo referente a las pérdidas por histéresis magnética, sino también en lo relativo a las potencias aparentes con la misma polarización.

Por lo tanto, es objeto del procedimiento de acuerdo con la invención una optimización de los parámetros de láser en lo referente a la minimización de la pérdida por histéresis magnética $P_{1,7/50}$ y la potencia aparente $S_{1,7/50}$. A este respecto, ha resultado que con una minimización de la potencia aparente se minimiza el aumento del ruido. Esto significa que el tratamiento por láser provoca en primer plano la mejora de los dominios principales, lo cual conduce a la pretendida atenuación de las pérdidas, y que, no obstante, va aunado a ello un aumento reducido en comparación de los rangos de volumen con estructuras magnéticas secundarias mediante la optimización de acuerdo con la invención del tratamiento por láser en cuanto a la menor potencia aparente posible.

Básicamente, se concibe que el tratamiento por láser se lleve a cabo en chapas eléctricas, o bien, recortes de chapa. No obstante, ha resultado ser particularmente práctico que un producto plano de acero presente como material de cinta se procese de tal modo que se efectúe en vuelta continua.

En el caso de que la potencia aparente $S_{1,7/50}$ respectiva se determine en línea antes y después del tratamiento por láser durante el funcionamiento en marcha, y los parámetros del tratamiento por láser se modifiquen en línea en función de la diferencia de las potencias aparentes $S_{1,7/50}$ determinadas, se puede reaccionar de manera especialmente rápida a las modificaciones del resultado del tratamiento por láser.

No obstante, también es posible efectuar de manera desacoplada temporalmente la determinación de la potencia aparente antes y después de tratar con láser y de la calibración de los parámetros de láser. Para ello, se pueden tomar muestras del producto plano de acero a intervalos de tiempo determinados, por medio de estas muestras se puede determinar la potencia aparente $S_{1,7/50}$ respectiva antes y después del tratamiento por láser, y los parámetros del tratamiento por láser se pueden modificar en función del resultado de esta determinación. Esta realización permite efectuar el procedimiento de acuerdo con la invención con una técnica procedimental y de medición comparable.

A este respecto, los ensayos prácticos han dado como resultado que, para la consecución de una potencia aparente $S_{1,7/50}$ óptima, puede ser ventajoso que la distancia L entre las deformaciones lineales se modifique en el intervalo de 2 - 10 mm, en particular, 4-7 mm.

Del mismo modo, se puede conseguir una minimización de la modificación de la potencia aparente $S_{1,7/50}$ que se produce a través del tratamiento por láser a través de que el tiempo de actuación t_{act} del haz láser se modifique en el intervalo de entre 1×10^{-5} s y 2×10^{-4} s.

En el caso de que como fuente de láser se utilice un láser de fibra, la potencia de láser P se puede modificar en el intervalo de 200-3.000 W con los láseres de fibra disponibles en la actualidad, con el fin de minimizar la modificación de la potencia aparente $S_{1,7/50}$ que tiene lugar a través del tratamiento por láser. Los láseres de fibra tienen en este caso la particular ventaja de permitir una focalización ajustada del haz láser. Así, con un láser de fibra se pueden poner en práctica anchuras de traza de menos de 20 μ m.

No obstante, también es posible utilizar durante la realización del procedimiento según la invención un láser de CO_2 como fuente de láser. Como consecuencia de que con un láser de este tipo no se pueda focalizar el haz láser con tanta intensidad, con los láseres de CO_2 disponibles en la actualidad se muestra en este caso una variación de la potencia de láser P en el intervalo de 1.000 - 5.000 W con el fin de minimizar la modificación de la potencia aparente $S_{1,7/50}$ que se produce a través del tratamiento por láser.

Como es obvio, el procedimiento de acuerdo con la invención se puede efectuar preferentemente en productos planos de acero que estén cubiertos al menos con una capa aislante. A este respecto, entre la capa aislante y el sustrato de acero del producto plano de acero también puede haber presente adicionalmente, por ejemplo, una capa de vidrio o de forsterita.

Para la demostración del efecto de la invención, se han examinado los siguientes ejemplos para un *modus operandi* de acuerdo con la invención. Muestran:

Fig. 1 una gráfica en la que la mejora de la pérdida $\Delta P_{1,7/50}$ y la modificación de la potencia aparente $\Delta S_{1,7/50}$ aparecen trazadas a través de la distancia L entre las trazas del láser;

Fig. 2 una gráfica en la que el ruido N calculado a partir de la modificación de la longitud medida aparece representado como función de la polarización J .

En el marco de exámenes sistemáticos, se han modificado diversos parámetros del equipo de láser operacional con un láser de fibra multimodal de 1 kW. Los parámetros a optimizar eran la distancia L entre las líneas de láser, la potencia de láser P, el foco del láser Δs y la velocidad de barrido v_{barr}.

La evaluación empírica de una matriz de prueba mostró que variaciones de los parámetros mencionados anteriormente con mejoras considerables de las pérdidas por histéresis magnética pueden ocasionar simultáneamente cambios drásticos de la potencia aparente.

Como ejemplo, la figura 1 indica la mejora de la pérdida ΔP_{1,7/50} (simbolizada mediante cuadrados rellenos) y la modificación de la potencia aparente ΔS_{1,7/50} (simbolizada mediante círculos vacíos) en función de la distancia L entre las trazas del láser. A este respecto, como variable de referencia se indican en cada caso las modificaciones ΔP_{1,7/50} de la pérdida de potencia P_{1,7/50} y la modificación ΔS_{1,7/50} de la potencia aparente S_{1,7/50} con respecto al estado no sometido a láser, es decir, el estado previo al tratamiento por láser (paso de trabajo b)).

Mediante la variación del foco del láser Δs y de la velocidad de barrido v_{barr}, es decir, de la velocidad con la que se mueve el láser, se generaron tiempos de actuación t_{act} de diferente extensión del haz láser sobre la superficie del producto plano de acero presente como material de cinta. La interrelación entre t_{act}, Δs y v_{barr} puede describirse en este sentido como sigue a continuación:

$$t_{act} = \Delta s / v_{barr}$$

El lapso de los tiempos de actuación que dura entre 1 x 10⁻⁵ segundos y 2 x 10⁻⁴ segundos resulta en modificaciones de la potencia aparente ΔS_{1,7/50} de diferente magnitud en un intervalo determinado con mejoras de igual magnitud de las pérdidas por histéresis magnética P_{1,7/50}. Se ha demostrado que, con modificaciones de la potencia aparente ΔS_{1,7/50} minimizadas, se ajusta un comportamiento del ruido óptimo del producto plano de acero tratado en cada caso.

Los siguientes ejemplos muestran la influencia del tiempo de actuación t_{act} sobre la pérdida por histéresis magnética P_{1,7/50} y la potencia aparente S_{1,7/50}:

Se han tratado con láser cintas de acero de 0,23 mm de grosor. A este respecto, el tiempo de actuación t_{act} se modificó basándose en las interrelaciones expuestas anteriormente.

Tras la medición de los parámetros magnéticos se obtuvieron las modificaciones ΔP_{1,7/50}, ΔS_{1,7/50} de las pérdidas por histéresis magnética P_{1,7/50} y de la potencia aparente S_{1,7/50} resumidas en la siguiente tabla 1:

Tabla 1

Muestra	P [W]	Δs [mm]	t _{act} [s]	ΔP _{1,7/50} [%]	ΔS _{1,7/50} [%]
1	900	5	9,9*10-5	-12	+ 70
2	900	5	6,6*10-5	-13	+ 46
3	900	5	3,3*10-5	-13	+ 18

Las muestras se examinaron a continuación en lo relativo a sus propiedades magnetostrictivas y, a partir de ello, se calculó el ruido esperado durante el funcionamiento. Para el cálculo del ruido a partir de mediciones de la magnetostricción, se utilizó un método, que ha sido publicado en cada caso en el informe técnico IEC IEC 62581 TR y en la publicación de E. Reiplinger, "Evaluación de las chapas de transformadores de grano orientado con respecto al ruido de los transformadores", Diario del magnetismo y los materiales magnéticos 21 (1980), 257-261.

La figura 2 muestra el ruido N calculado a partir de la modificación de la longitud medida como función de la polarización J.

La curva continua representa en la figura 2 el estado de referencia antes del tratamiento por láser ("sin tratamiento por láser"), donde los valores de medición que forman la base de esta curva están simbolizados por círculos rellenos en negro.

La línea discontinua, cuyos valores de medición se indican mediante cuadrados sin rellenar, reproduce en la figura 2 la emisión de ruido durante un tratamiento por láser que haya producido una modificación de la potencia aparente S_{1,7/50} en + 70 %.

La línea discontinua de trazos de menor separación, cuyos valores de medición se indican mediante triángulos sin rellenar, reproduce en la figura 2 la emisión de ruido durante un tratamiento por láser que haya producido una modificación de la potencia aparente S_{1,7/50} en + 46 %.

La línea de puntos, cuyos valores de medición se indican mediante círculos sin rellenar, reproduce en la figura 2 la

emisión de ruido durante un tratamiento por láser en el que los parámetros del tratamiento por láser se hayan escogido del modo de acuerdo con la invención, de tal forma que la modificación de la potencia aparente $S_{1,7/50}$ haya permanecido limitada a + 18 %.

5 La modificación $\Delta P_{1,7/50}$ de la pérdida de potencia $P_{1,7/50}$ conseguida con el tratamiento por láser ascendió en cada caso a - 13 % con respecto al estado inicial antes del tratamiento por láser.

Por consiguiente, el ruido calculado con las modificaciones de la potencia aparente optimizadas, obtenidas de acuerdo con la invención, de $\Delta S = +18$ % son siempre menores que en el estado inicial.

10 Si, por el contrario, se hace caso omiso de la potencia aparente, se observa entonces un aumento del ruido de 1,1 a 1,5 dB con mejoras de las pérdidas comparables.

15 A este respecto, de la figura 2 se desprende que con modulaciones elevadas del transformador de hasta, por ejemplo, 1,7 teslas, las diferencias de la emisión de ruido entre un producto plano de acero tratado de acuerdo con la invención y un producto plano de acero tratado de manera convencional aún son solo pequeñas. No obstante, también se siguen dando siempre allí de manera sistemática. Además, estas diferencias se muestran inmediatamente de manera muy clara con una menor modulación del transformador, esto es, con menores polarizaciones magnéticas.

20 Al optimizarse los parámetros de láser de acuerdo con la invención de tal modo que la diferencia entre la potencia aparente $S_{1,7/50}$ medida antes y después del tratamiento por láser asciende a menos del 40 %, se puede por tanto conseguir por un lado una minimización eficaz de las pérdidas de potencia $P_{1,7/50}$, pero por otro lado también se puede minimizar la emisión acústica durante el funcionamiento. A este respecto, es irrelevante si la comparación
25 efectuada de acuerdo con la invención de los valores de la potencia aparente $S_{1,7/50}$ medidos antes y después del tratamiento por láser se realiza en línea en la cinta continua o se efectúa en el marco de calibraciones que tengan lugar de manera desacoplada temporalmente.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para generar un producto plano de acero de grano orientado, determinado para la fabricación de piezas para aplicaciones electrotécnicas, con valores minimizados de pérdida magnética y propiedades magnetoestrictivas optimizadas, que comprende los pasos de trabajo
- 10 a) proporcionar un producto plano de acero,
b) tratar con láser el producto plano de acero, donde, en el transcurso del tratamiento por láser, en la superficie del producto plano de acero se conforman deformaciones lineales, que están dispuestas a una distancia a , mediante un haz láser emitido con una potencia P por una fuente de haz láser,
- 15 **caracterizado por que** la potencia aparente $S_{1,7/50}$ del producto plano de acero, determinada con una frecuencia de 50 hercios y una polarización de 1,7 teslas, se determina antes y después del tratamiento por láser (paso de trabajo b)), y **por que**, como parámetros del tratamiento por láser, la distancia a entre las deformaciones lineales, el tiempo de actuación t_{act} del haz láser, la densidad de energía específica U_s , la potencia de láser P , el foco del láser Δs o la velocidad de barrido v_{barr} se modifican de tal modo que la diferencia entre la potencia aparente $S_{1,7/50}$ determinada antes y después del tratamiento por láser asciende a menos del 40 %.
- 20 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el tratamiento por láser se efectúa en vuelta continua.
- 25 3. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la potencia aparente $S_{1,7/50}$ respectiva se determina en línea antes y después del tratamiento por láser durante el funcionamiento en marcha, y los parámetros del tratamiento por láser se modifican en línea en función de la diferencia de las potencias aparentes $S_{1,7/50}$ determinadas.
- 30 4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** se toman muestras del producto plano de acero a intervalos de tiempo determinados, por medio de estas muestras se determina la potencia aparente $S_{1,7/50}$ respectiva antes y después del tratamiento por láser, y se modifican los parámetros del tratamiento por láser en función del resultado de esta determinación.
- 35 5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la distancia a entre las deformaciones lineales se modifica en el intervalo de 2 - 10 mm.
- 40 6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado por que** la distancia a entre las deformaciones lineales se modifica en el intervalo de 4 - 7 mm.
- 45 7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el tiempo de actuación t_{act} del haz láser se modifica en el intervalo de entre 1×10^{-5} s y 2×10^{-4} s.
8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** como fuente de láser se utiliza un láser de fibra, y la potencia P se modifica en el intervalo de 200 - 3.000 W.
9. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** como fuente de láser se utiliza un láser de CO_2 , y la potencia P se modifica en un intervalo de 1.000 - 5.000 W.
- 50 10. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el producto plano de acero está cubierto de una capa aislante.

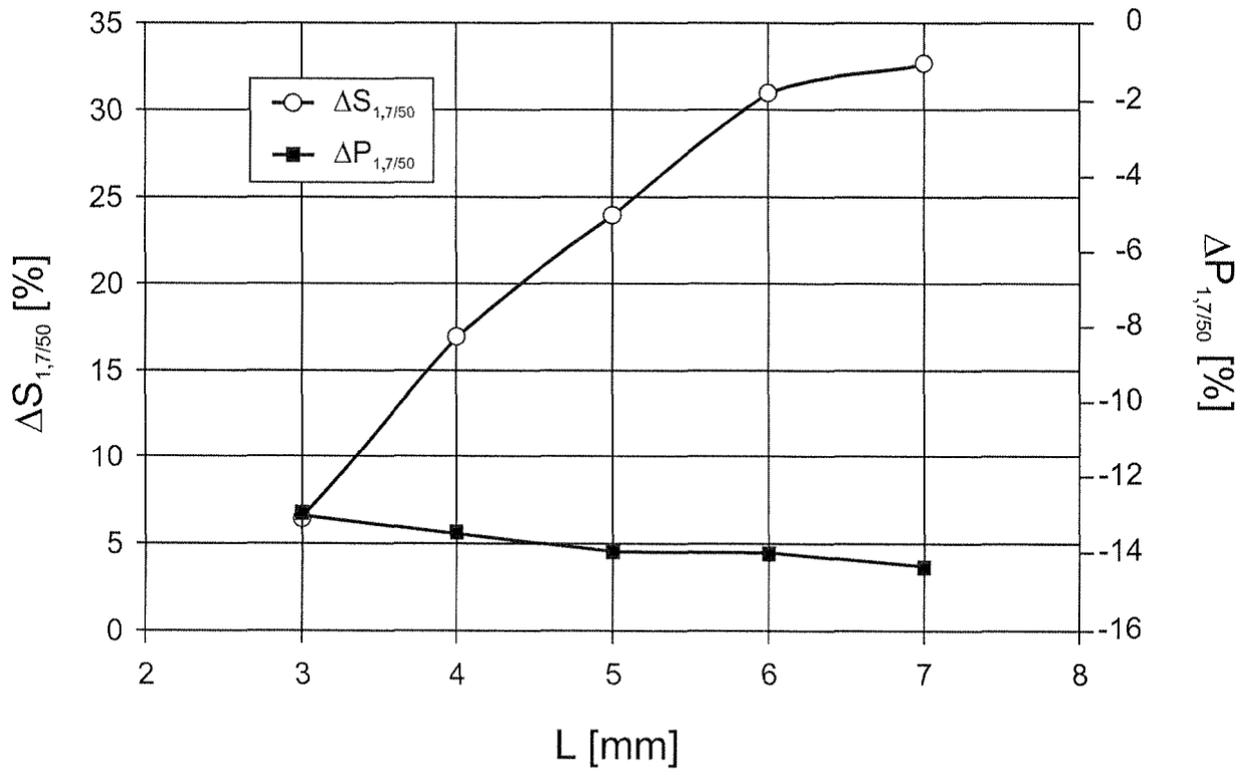


Fig. 1

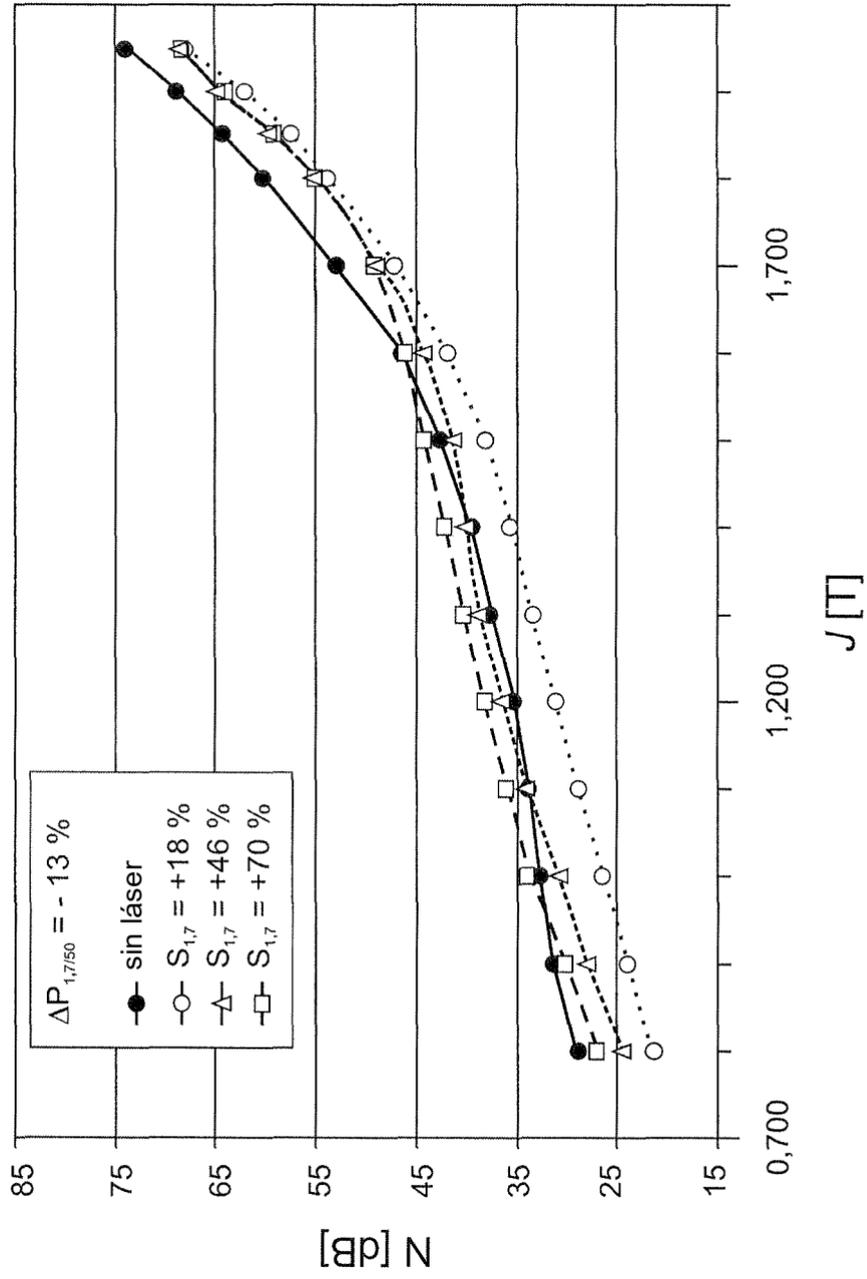


Fig. 2