

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 989 120**

51 Int. Cl.:

**G01B 7/06** (2006.01)

**B21B 37/16** (2006.01)

**G01D 5/243** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.03.2021** **E 21160573 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.07.2024** **EP 4053495**

54 Título: **Mediciones de inclinación y curvatura de láminas metálicas en un laminador**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**25.11.2024**

73 Titular/es:

**ABB SCHWEIZ AG (100.0%)**  
**Bruggerstrasse 66**  
**5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:

**ZLATANSKI, MARTIN y**  
**WIJK, THOMAS**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 989 120 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**

Mediciones de inclinación y curvatura de láminas metálicas en un laminador

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un dispositivo de medición para medir las propiedades de una lámina metálica procesada en un laminador. La presente invención se refiere, además, a un laminador y a un método para detectar una desviación espacial de un plano de referencia de una lámina metálica procesada en un laminador.

10

**Antecedentes**

El laminado de metal generalmente se refiere a la producción de una pieza de trabajo de metal con un espesor reducido y uniforme mediante el laminado de la pieza de trabajo de metal entre dos rodillos de trabajo giratorios.

15

Con el fin de garantizar una alta calidad del producto, el espesor de la pieza de trabajo se supervisa y controla con precisión.

20

La tecnología de medición de corrientes de Foucault pulsadas usada convencionalmente se basa en medir las corrientes de Foucault inducidas en una lámina metálica por un campo magnético rápidamente variable aplicado a la lámina metálica. La resistividad y el espesor de la lámina metálica extraída, por ejemplo, se basan en las corrientes de Foucault medidas.

25

Si la lámina metálica es perfectamente paralela al sensor, solo se necesitan dos bobinas para medir con precisión las propiedades de la lámina metálica. Sin embargo, en la práctica, la lámina metálica no siempre será paralela al sensor, por lo que la curvatura y la inclinación de la lámina metálica con respecto al sensor afectarán las mediciones y darán lugar a estimaciones inexactas de las propiedades de la lámina metálica.

30

En consecuencia, es deseable mejorar la precisión de las mediciones de láminas metálicas en los laminadores.

El documento US8390280 divulga un dispositivo de medición para medir las propiedades de una lámina metálica de acuerdo con el estado de la técnica.

35 **Sumario**

En vista de los inconvenientes mencionados anteriormente y otros de la técnica anterior, es un objeto de la presente invención proporcionar un dispositivo de medición que al menos parcialmente alivie las deficiencias de la técnica anterior. Las realizaciones sugeridas proporcionan una forma mejorada de detectar desviaciones espaciales tales como la curvatura y la inclinación de una lámina metálica procesada en un laminador.

40

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un dispositivo de medición para medir las propiedades de una lámina metálica procesada en un laminador.

45

El dispositivo de medición comprende un conjunto de bobinas de inspección que comprende una bobina transmisora y una bobina receptora, estando configurada la bobina transmisora para aplicar un campo magnético variable en el tiempo a la lámina metálica, y estando configurada la bobina receptora para detectar un transitorio de campo magnético producido a partir de la lámina metálica en respuesta al campo magnético variable en el tiempo aplicado, en donde la al menos una propiedad de la lámina metálica es derivable a partir del transitorio de campo magnético.

50

El dispositivo de medición comprende un conjunto de bobinas de corrección para detectar una desviación espacial de la lámina metálica desde un plano de referencia, estando cada bobina de corrección conectada a un condensador para formar un circuito de resonancia respectivo que tiene una frecuencia de resonancia, en donde las bobinas de corrección están configuradas para resonar a la frecuencia de resonancia respectiva, en donde puede detectarse un desfase en la frecuencia de resonancia en presencia de la lámina metálica, en donde la desviación espacial es derivable a partir de los desfases en las frecuencias de resonancia.

55

La presente invención se basa, al menos parcialmente, en la realización para medir desviaciones espaciales mediante bobinas de corrección que resuenan a su frecuencia de resonancia, y en que la frecuencia de resonancia se desfasa en presencia de una lámina metálica.

60

Un desfase de frecuencia es un desfase en la frecuencia de resonancia de un circuito de resonancia que comprende una bobina de corrección, donde el desfase es causado por la contribución inductiva de la lámina metálica colocada en las proximidades de la bobina de corrección. De este modo, la frecuencia de resonancia nominal del circuito de resonancia puede medirse o estimarse en primer lugar sin la presencia de la lámina metálica, por lo que el desfase en la frecuencia es una desviación en la frecuencia de resonancia de la frecuencia de resonancia nominal.

65

5 A modo de ejemplo, si la lámina metálica no es paralela con respecto a un plano de referencia, por ejemplo, proporcionado por un cabezal de sensor o un plano de las bobinas de corrección, el componente inductivo de los circuitos de resonancia de dos bobinas de corrección difiere entre de una a otra debido a la diferente contribución inductiva de la lámina metálica. Por lo tanto, los desfases de frecuencia de las bobinas de corrección diferirán entre sí, por lo que se puede detectar una inclinación de la lámina metálica.

Con el dispositivo de medición propuesto, se puede evitar añadir polos adicionales y capacitancia parásita al sistema de bobinas de inspección.

10 El plano de referencia puede seleccionarse arbitrariamente, pero es preferentemente paralelo a un plano de las bobinas de corrección. El eje principal del campo magnético producido por las bobinas de corrección puede ser normal al plano de referencia.

15 Preferentemente, las bobinas de corrección están dispuestas para minimizar el acoplamiento y la diafonía con las bobinas de inspección. Esto se puede lograr de diversas formas concebibles. Una forma es disponer las bobinas de corrección lejos de las bobinas de inspección. Por ejemplo, cuando las bobinas de corrección y las bobinas de inspección comparten un soporte común, las bobinas de corrección pueden colocarse cerca de los bordes o esquinas del soporte y las bobinas de inspección pueden colocarse cerca del centro del soporte. Dicho soporte puede ser, por ejemplo, un sustrato portador que puede ser plano.

20 Las propiedades de la lámina metálica medidas por las bobinas de inspección pueden ser al menos una de una distancia a un cabezal de sensor, la resistividad de la lámina metálica y el espesor de la lámina metálica.

25 La desviación espacial de la lámina metálica puede ser al menos una de una curvatura de la lámina metálica y una inclinación de la lámina metálica. Una curvatura puede ser, por ejemplo, una curvatura local de la lámina metálica.

30 Las bobinas de inspección funcionan mediante una técnica de medición que se basa en corrientes de Foucault en la lámina metálica. La bobina transmisora produce un campo magnético variable en el tiempo que se aplica a la lámina metálica. En respuesta, se producen corrientes de Foucault en la lámina metálica, como consecuencia del campo magnético variable en el tiempo aplicado. Las corrientes de Foucault son detectables por la bobina receptora dispuesta a una distancia de la lámina metálica. Se induce una señal de tensión en la bobina receptora por la derivada temporal del campo magnético producido por las corrientes de Foucault en el elemento de trabajo. La señal de tensión se procesa, por ejemplo, amplificada, como suele ser el caso en los sistemas de adquisición de datos para producir una señal adquirida utilizada para determinar las propiedades de la lámina metálica.

35 El campo magnético variable en el tiempo aplicado se produce preferentemente interrumpiendo una corriente CC de polarización en las bobinas del transmisor. De este modo, se aplica un campo magnético pulsado, y la bobina receptora mide el campo magnético generado por las corrientes de Foucault en respuesta al pulso, preferentemente en respuesta al borde negativo del pulso cuando se elimina el campo magnético.

40 La determinación de las propiedades puede realizarse, p. ej., mediante modelos teóricos, o mediante el uso de un modelo determinado empíricamente que relacione las dependencias del tiempo del decaimiento de las corrientes de Foucault con las propiedades de la lámina metálica. Existen diversas formas conocidas *per se* para extraer dichas propiedades de láminas metálicas en función de las propiedades mediciones inductivas, p. ej., mediciones de transitorio magnético.

45 Ventajosamente, la frecuencia de resonancia de las bobinas de corrección puede ser mayor que una frecuencia del transitorio de campo magnético medido desde la lámina metálica en respuesta al campo magnético aplicado. Por ello, se puede reducir la interferencia entre la medición realizada por las bobinas de inspección y las bobinas de corrección. La frecuencia de resonancia de las bobinas de corrección con el condensador respectivo puede ser mayor que una frecuencia máxima presente en el transitorio medido de la lámina metálica.

50 Preferentemente, la frecuencia de resonancia de los circuitos de resonancia que comprenden las bobinas de corrección puede ser al menos el doble de la frecuencia del transitorio de campo magnético medido desde la lámina metálica en respuesta al campo magnético aplicado.

55 Es más, la frecuencia de resonancia de los circuitos de resonancia que comprenden las bobinas de corrección puede ser al menos tres veces más alta que la frecuencia del transitorio de campo magnético medido desde la lámina metálica en respuesta al campo magnético aplicado.

60 Aún más, la frecuencia de resonancia de los circuitos de resonancia que comprenden las bobinas de corrección puede ser al menos cuatro veces más alta que la frecuencia del transitorio de campo magnético medido desde la lámina metálica en respuesta al campo magnético aplicado.

65 Aún más, la frecuencia de resonancia de los circuitos de resonancia que comprenden las bobinas de corrección puede ser al menos cinco veces más alta que la frecuencia del transitorio de campo magnético medido desde la lámina

metálica en respuesta al campo magnético aplicado.

5 La frecuencia del transitorio de campo magnético medido desde la lámina metálica depende de la frecuencia del campo magnético variable en el tiempo aplicado. De este modo, los circuitos de resonancia pueden adaptarse con respecto a la frecuencia del campo magnético variable en el tiempo aplicado para garantizar una relación deseada entre la frecuencia de resonancia de los circuitos de resonancia que comprenden las bobinas de corrección y la frecuencia del transitorio de campo magnético.

10 Para reducir aún más el acoplamiento y la diafonía, en las realizaciones, las bobinas de corrección pueden estar separadas espacialmente de las bobinas transmisora y receptora, así como dispuestas en el exterior de los devanados de las bobinas transmisora y receptora. En otras palabras, las bobinas de corrección están dispuestas fuera de las áreas internas rodeadas por los devanados de las bobinas de inspección.

15 Las bobinas de corrección se colocan en áreas donde no interceptan sustancialmente el campo magnético generado y capturado por las bobinas de inspección y, por lo tanto, se minimiza la interacción entre las bobinas de inspección y las bobinas de corrección.

20 En las realizaciones, las bobinas de corrección pueden ser sustancialmente más pequeñas que la bobina transmisora y la bobina receptora. Por ello, el acoplamiento y la diafonía entre las bobinas de corrección y las bobinas de inspección pueden reducirse aún más. Es más, se puede mejorar una resolución de la medición de desviación espacial permitiendo una medición más local usando las bobinas de corrección más pequeñas.

25 Es más, las bobinas de corrección pueden resonar solo cuando la bobina transmisora está en una fase de excitación que aplica un campo magnético a la lámina metálica. Esto evita ventajosamente la interferencia entre la medición realizada por las bobinas de inspección y la medición realizada por las bobinas de corrección.

30 En las realizaciones, la desviación espacial de la lámina metálica del plano de referencia puede detectarse comparando los desfases de frecuencia entre sí. Por ejemplo, al comparar los desfases relativos entre dos o más bobinas de corrección, se puede detectar una inclinación de la lámina metálica. Al analizar los desfases de frecuencia de tres o más bobinas de corrección resonantes, se puede detectar una curvatura de la lámina metálica. Los desfases de frecuencia se adquieren preferentemente durante el mismo instante de tiempo para proporcionar una imagen instantánea de la inclinación y/o curvatura de la lámina metálica.

35 En las realizaciones, las bobinas transmisora y receptora pueden ser bobinas planas. Las bobinas de inspección planas pueden compartir el mismo plano.

En las realizaciones, las bobinas de corrección pueden ser bobinas planas. Las bobinas de corrección planas pueden compartir el mismo plano.

40 Las bobinas de corrección planas y las bobinas de inspección planas pueden compartir el mismo plano.

Las bobinas planas proporcionan un dispositivo de medición rentable que permite diseños planos, por ejemplo, en placas de circuito impreso.

45 En las realizaciones, el dispositivo de medición puede comprender un sustrato portador para soportar las bobinas de inspección y las bobinas portadoras. El sustrato portador puede ser una placa de circuito impreso.

50 En las realizaciones, el dispositivo de medición puede conectarse a una unidad de control configurada para: controlar un suministro de señal eléctrica a las bobinas de corrección a la frecuencia de resonancia, detectar el desfase en la frecuencia de resonancia en presencia de la lámina metálica, y derivar la desviación espacial en función del desfase detectado.

55 De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona un laminador que comprende al menos dos rodillos de trabajo configurados para procesar una lámina metálica entre ellos, y un dispositivo de medición de acuerdo con las realizaciones analizadas en el presente documento.

Otros efectos y características del segundo aspecto de la invención son en gran medida análogos a los descritos anteriormente en relación con el primer aspecto de la invención.

60 De acuerdo con un tercer aspecto de la invención, se proporciona un método para detectar una desviación espacial de un plano de referencia de una lámina metálica procesada en un laminador, estando sujeta la lámina metálica a una medición mediante una bobina transmisora y una bobina receptora configuradas para realizar una medición de transitorio de campo magnético para determinar al menos una propiedad de la lámina metálica, comprendiendo el método: resonar cada una de un conjunto de bobinas de corrección conectadas a un condensador respectivo, a una frecuencia de resonancia respectiva, detectar un desfase en la frecuencia de resonancia en presencia de la lámina metálica para cada bobina de corrección, por lo que la desviación espacial es derivable a partir de los desfases en las

65

frecuencias de resonancia.

En las realizaciones, el método puede comprender resonar las bobinas de corrección solo cuando la bobina transmisora no esté aplicando un campo magnético variable en el tiempo a la lámina metálica para realizar la medición de transitorio de campo magnético. En otras palabras, las bobinas de corrección solo resuenan en ausencia del campo magnético variable en el tiempo aplicado por la bobina transmisora. De este modo, las bobinas de corrección resuenan ventajosamente para realizar su medición de corrección en ventanas de tiempo cuando la bobina transmisora no está aplicando el campo magnético variable en el tiempo y las bobinas receptoras no están midiendo la respuesta de corrientes de Foucault de la lámina metálica. Las bobinas de corrección pueden resonar, por ejemplo, antes de activar una medición de inspección de lámina metálica realizada por las bobinas de inspección, o después de que se elimine el campo magnético alterado. Por ello, se puede reducir o evitar la interferencia entre la medición realizada por la bobina transmisora y las bobinas receptoras y la medición de desviación espacial realizada por las bobinas de corrección.

Otros efectos y características del tercer aspecto de la invención son en gran medida análogos a los descritos anteriormente en relación con el primer aspecto y el segundo aspecto de la invención.

Además, se proporciona una unidad de control configurada para: controlar un suministro de señal eléctrica a las bobinas de corrección a la frecuencia de resonancia, estando dispuestas las bobinas de corrección para detectar una desviación espacial de la lámina metálica desde un plano de referencia, pudiendo conectarse cada bobina de corrección a un condensador para formar un circuito de resonancia respectivo que tiene una frecuencia de resonancia, en donde las bobinas de corrección están configuradas para resonar a la frecuencia de resonancia respectiva, en donde puede detectarse un desfase en la frecuencia de resonancia en presencia de la lámina metálica, en donde la desviación espacial es derivable a partir de los desfases en las frecuencias de resonancia, detectar el desfase en la frecuencia de resonancia en presencia de la lámina metálica, y derivar la desviación espacial en función del desfase detectado.

Otras características y ventajas de la presente invención se harán evidente al estudiar las reivindicaciones adjuntas y la siguiente descripción. El experto se da cuenta de que se pueden combinar diferentes características de la presente invención para crear realizaciones distintas de las descritas a continuación, sin alejarse del alcance de la presente invención.

### Breve descripción de los dibujos

Estos y otros aspectos de la presente invención se describirán a continuación con más detalle, con referencia a los dibujos adjuntos que muestran una realización ilustrativa de la invención, en donde:

la figura 1 ilustra conceptualmente una lámina metálica que se procesa en un laminador de acuerdo con una realización de la invención;

la figura 2 ilustra conceptualmente un dispositivo de medición de acuerdo con las realizaciones de la invención;

la figura 3 ilustra esquemáticamente un circuito equivalente de un circuito de resonancia de acuerdo con las realizaciones de la invención;

las figuras 4A-B ilustran conceptualmente una lámina metálica inclinada con respecto a un plano de referencia;

las figuras 4C-D ilustran conceptualmente una lámina metálica con una curvatura; y

la figura 5 es un diagrama de flujo de etapas de método de acuerdo con las realizaciones de la invención.

### Descripción detallada de las realizaciones ilustrativas

En la presente descripción detallada, diversas realizaciones de la presente invención se describen en el presente documento con referencia a implementaciones específicas. Al describir las realizaciones, se emplea terminología específica por razones de claridad. Sin embargo, la invención no pretende limitarse a la terminología específica así seleccionada. Aunque se analizan realizaciones ilustrativas específicas, debe entenderse que esto se hace solo con fines ilustrativos. Un experto en la materia relevante reconocerá que pueden usarse otros componentes y configuraciones sin apartarse del alcance de la invención.

La figura 1 ilustra conceptualmente un laminador 100 que comprende un conjunto de rodillos de trabajo 102a y 102b adaptados para procesar una lámina metálica 104. Los rodillos de trabajo 102a-b giran mientras la lámina metálica 104 se alimenta entre los rodillos de trabajo 102a-b. Los rodillos de trabajo 102a-b reducen el espesor del artículo de trabajo, como apreciarán los expertos en la materia. En la figura 1, se muestra una sección transversal de la lámina metálica 104.

A medida que la lámina metálica 104 se procesa en el laminador 100, es deseable medir con precisión las propiedades de la lámina metálica móvil 104. Para ello, se proporciona un dispositivo de medición 106. El dispositivo de medición 106 comprende un conjunto de bobinas de inspección que comprende una bobina transmisora 108 y una bobina receptora 110. La bobina transmisora 108 está configurada para aplicar un campo magnético variable en el tiempo a la lámina metálica 104. La bobina receptora 110 está configurada para detectar un transitorio de campo magnético producido por corrientes de Foucault en la lámina metálica 104 generada en respuesta al campo magnético aplicado. Las propiedades de la lámina metálica se pueden derivar a partir del transitorio de campo magnético. Dichas propiedades pueden ser una distancia  $d$  a un cabezal de sensor 112, resistividad de la lámina metálica 104, y un espesor,  $t$ , de la lámina metálica 104.

A medida que la lámina metálica 104 se mueve, es decir, avanza rodando en la línea de producción de izquierda a derecha en la figura 1, no siempre será en paralelo al cabezal de sensor 112. La curvatura y la inclinación de la lámina metálica con respecto al cabezal del sensor afectarán a las lecturas y darán lugar a estimaciones incorrectas de la distancia, la resistividad y el espesor. Para abordar este problema, el dispositivo de medición 106 comprende un conjunto de bobinas de corrección que comprende bobinas de corrección 116 y 118 en esta realización ilustrativa. Las bobinas de corrección 116 y 118 están configuradas para detectar una desviación espacial de la lámina metálica 104 desde un plano de referencia. Cada bobina de corrección 116, 118 puede conectarse a un condensador para formar un circuito de resonancia respectivo que tiene una frecuencia de resonancia. El dispositivo de medición 106 puede comprender más de dos bobinas de corrección, como, por ejemplo, tres o más bobinas de corrección, como será evidente con referencia a los dibujos posteriores. En la figura 1, solo se muestran dos bobinas de corrección 116, 118.

Como se expondrá más adelante, las bobinas de corrección 116, 118 están configuradas para resonar a la frecuencia de resonancia respectiva, en donde puede detectarse un desfase en la frecuencia de resonancia en presencia de la lámina metálica 104, en donde la desviación espacial es derivable a partir de los desfases en las frecuencias de resonancia. Preferentemente, el dispositivo de medición 106 comprende al menos tres bobinas de corrección.

Generalmente, el dispositivo de medición 106 está adaptado para medir las propiedades de la lámina metálica por medio de tecnología de corrientes de Foucault. De este modo, la bobina transmisora 108 recibe una corriente eléctrica de una fuente de corriente o tensión, por ejemplo, controlada por una unidad de control 120, para generar y aplicar un campo magnético variable en el tiempo, es decir, un campo magnético pulsado, en la lámina metálica 104. La bobina receptora 110 detecta el campo magnético resultante producido por las corrientes de Foucault en la lámina metálica 104. La unidad de control 120 recibe una señal indicativa del campo magnético detectado a partir del cual la unidad de control 120 puede derivar las propiedades de la lámina metálica 104.

El dispositivo de medición 106 está dispuesto aquí aguas abajo de los rodillos de trabajo 102a-b. Sin embargo, el dispositivo de medición 106 puede disponerse, por supuesto, en otro lugar, por ejemplo, aguas arriba de los rodillos de trabajo 102a-b.

La unidad de control 120 está conectada comunicativamente, ya sea de forma inalámbrica o por cable, con el dispositivo de medición 106, de modo que la unidad de control 120 pueda recibir señales de datos desde el dispositivo de medición 106. En algunas realizaciones, la unidad de control 120 está configurada para controlar un suministro de señal eléctrica a las bobinas de corrección a la frecuencia de resonancia, detectar el desfase en la frecuencia de resonancia en presencia de la lámina metálica, y derivar la desviación espacial en función del desfase detectado.

La figura 2 ilustra conceptualmente un dispositivo de medición 106 de acuerdo con realizaciones ilustrativas. El dispositivo de medición 106 comprende la bobina transmisora 108 y la bobina receptora 110, dispuestas aquí concéntricamente sobre un sustrato portador 126 que soporta las bobinas 108, 110. Es más, un conjunto de bobinas de corrección 116, 118, 122, 124 también está dispuesto sobre el sustrato 126. En otras palabras, en esta realización, se incluye un sustrato portador 126 para soportar las bobinas de inspección 108, 110 y las bobinas de corrección 116, 118, 122, 124. Es más, el sustrato portador 126 puede soportar condensadores en chip (no mostrados) que forman los circuitos de resonancia con las bobinas de corrección 116, 118, 122, 124. El condensador que forma los circuitos de resonancia con las bobinas de corrección puede estar comprendido en el dispositivo de medición 106.

Es más, en la presente realización, las bobinas transmisora y receptora 108, 110 son bobinas planas. Adicionalmente, las bobinas de corrección 116, 118, 122, 124 son bobinas planas. Una bobina plana generalmente tiene sus devanados en un plano que proporciona una bobina relativamente "plana", siendo su altura una sola capa de alambre o solo unas pocas capas de alambre.

Preferentemente, las bobinas de corrección están dispuestas para estar sustancialmente desacopladas de las bobinas de inspección. En la realización mostrada en la figura 2, esto se obtiene disponiendo las bobinas de corrección 116, 118, 122, 124 lo más lejos posible de las bobinas de inspección 108 y 110. Las bobinas de inspección 108 y 110 están dispuestas en el centro del sustrato portador 126 y las bobinas de corrección 116, 118, 122, 124 están dispuestas lejos a los lados del sustrato, aquí cerca de las esquinas del sustrato 126.

Es más, las bobinas de corrección 116, 118, 122, 124 están separadas espacialmente de la bobina transmisora 108 y la bobina receptora 110, así como dispuestas en el exterior de los devanados de las bobinas transmisora y receptora.

## ES 2 989 120 T3

En otras palabras, las bobinas de corrección 116, 118, 122, 124 no están dispuestas dentro de los núcleos, rodeados por los devanados de la bobina transmisora 108 y la bobina receptora 110. En algunas implementaciones posibles, las bobinas de corrección 116, 118, 122, 124 están dispuestas en el mismo plano, que puede ser paralelo al plano de referencia, o que puede servir como plano de referencia. En esta realización ilustrativa, las bobinas de corrección 116, 118, 122, 124, la bobina transmisora 108 y la bobina receptora 110 están dispuestas en el mismo plano. Este plano puede ser paralelo al plano de referencia desde el que se detecta una desviación espacial de la lámina metálica. La bobina transmisora produce su campo magnético variable en el tiempo a lo largo de un eje principal normal al plano del sustrato 126 y normal al plano de referencia.

Debería entenderse que son concebibles otras disposiciones para desacoplar las bobinas de corrección de las bobinas de inspección. Por ejemplo, las bobinas de corrección pueden disponerse en sustratos portadores separados, lo que permite disponer las bobinas de corrección lejos de las bobinas de inspección con un mayor grado de libertad en comparación con tenerlas en el mismo sustrato portador. Sin embargo, al usar un único sustrato portador, como se muestra en la figura 2, se proporciona un dispositivo de medición integrado proporcionado como una sola pieza que se instala fácilmente.

Con referencia adicional a la figura 2, las bobinas de corrección 116, 118, 122, 124 son sustancialmente más pequeñas que la bobina transmisora 108 y la bobina receptora 110. El tamaño aquí se refiere a un diámetro exterior de las bobinas.

El principio de medición de las bobinas de corrección se basa en medir un desfase en la frecuencia de resonancia. La figura 3 ilustra esquemáticamente un circuito equivalente de uno de dichos circuitos de resonancia 300.

El circuito 300 está conectado a una fuente de tensión/corriente 302 para accionar el circuito 300 a su frecuencia de resonancia y un sensor de tensión mide la tensión V a través del circuito 300. La fuente 302 puede ser una fuente de corriente alterna. El circuito 300 está representado por un condensador con capacitancia C conectado en paralelo con un inductor Lc que es la inductancia de una bobina de corrección sin lámina metálica presente cerca de la bobina de corrección. En dicho caso, la frecuencia de resonancia es proporcional a  $\frac{1}{\sqrt{C * Lc}}$ . De este modo, durante el funcionamiento, el circuito de resonancia 300 que comprende una bobina de corrección Lc conectada con un condensador C se accionará a su frecuencia de resonancia  $\frac{1}{\sqrt{C * Lc}}$ . El condensador puede proporcionarse en forma de un condensador de chip en el sustrato portador, como, por ejemplo, un condensador de chip NP0.

Las bobinas de corrección y/o el condensador están diseñados de tal manera que la frecuencia de resonancia del circuito de resonancia sea más alta que una frecuencia del transitorio de campo magnético medido a partir de la lámina metálica en respuesta al campo magnético aplicado producido por la bobina transmisora. La frecuencia de resonancia del circuito de resonancia es al menos el doble de la frecuencia del transitorio de campo magnético medido desde la lámina metálica en respuesta al campo magnético aplicado.

Cuando la lámina metálica está presente cerca de la bobina de corrección, una inductancia adicional, Lm (no mostrada), contribuye a la inductancia en el circuito. Esta es la contribución de inductancia de la lámina metálica, p. ej., la lámina metálica 104 ilustrada en la figura 1. Si la lámina metálica es perfectamente plana, es decir, sin curvatura y sin inclinación, la contribución de inductancia Lm será la misma para todas las bobinas de corrección, por lo que también el desfase de frecuencia para cada bobina de corrección será sustancialmente el mismo. Sin embargo, como suele ser el caso, la lámina metálica tiene cierta curvatura o inclinación, por lo que la contribución de inductancia Lm no será igual para todas las bobinas de corrección. La diferencia en la inductancia general provoca un desfase en la frecuencia de resonancia para cada una de las bobinas de corrección, que generalmente es proporcional a  $\frac{1}{\sqrt{C * Lc'}}$ , donde Lc' son las contribuciones de inductancia combinadas de la lámina metálica, Lm, y las bobinas de corrección, Lc. Generalmente, Lc' < Lc.

La desviación espacial de la lámina metálica del plano de referencia puede detectarse comparando los desfases de frecuencia de resonancia entre sí, como se describirá conceptualmente con referencia a las figuras 4A-D.

La figura 4A ilustra conceptualmente una vista lateral de una lámina metálica inclinada 104 con respecto a un plano de referencia 400. La lámina metálica 104 se muestra aquí, en la figura 4A, para mayor claridad sin curvatura. Se muestra que las bobinas de corrección 116 y 118 están dispuestas en el plano de referencia 400, pero el plano de referencia puede estar en otro lugar. La lámina metálica inclinada 104 está más cerca del plano de referencia 400 en un extremo 104a que en el otro extremo 104b. Si el desfase en la frecuencia de resonancia para la bobina 118 se compara con el desfase en la frecuencia de resonancia para la bobina 116, el desfase relativo entre ellas, por ejemplo, una relación entre el desfase de la bobina 116 y el desfase de la bobina 118, o una diferencia entre los desfases, proporciona una indicación de una inclinación de la lámina metálica 104.

La figura 4A ilustra una vista lateral donde se representan las bobinas 116 y 118 de la figura 2. Obsérvese que se aplica una descripción análoga si se considera otra vista lateral, por ejemplo, tal y como se ilustra en la figura 4B, donde en su lugar se presenta una vista lateral que muestra las bobinas de corrección 118 y 124. Aquí, la lámina

metálica inclinada 104 está más cerca del plano de referencia 400 en el extremo 104c que en el otro extremo 104d. Si el desfase en la frecuencia de resonancia para la bobina 118 se compara con el desfase en la frecuencia de resonancia para la bobina 124, el desfase relativo entre ellas proporciona una indicación de una inclinación de la lámina metálica 104.

5 La figura 4C ilustra conceptualmente una vista lateral en sección transversal de una lámina metálica 104 con una curvatura. En la figura 4C, se ilustran conceptualmente tres bobinas de corrección 116, 118, 122 que se encuentran en el plano de referencia 400. Para determinar la curvatura de la lámina metálica, se determina el desfase de resonancia para cada una de las tres bobinas 116, 122 y 118. A partir de los tres desfases de resonancia puede calcularse la curvatura. Por ejemplo, cada uno de los desfases de resonancia es indicativo de una desviación espacial respectiva d1, d2, d3 entre la lámina, en la ubicación de las bobinas de corrección, y el plano de referencia 400. Las tres desviaciones espaciales d1, d2, d3, o los desfases de resonancia indicativos de las mismas, pueden usarse para determinar la curvatura local de la lámina metálica. Esto es similar a determinar la curvatura de una trayectoria, donde es necesario conocer al menos tres puntos de la trayectoria para determinar la curvatura.

15 La figura 4D ilustra conceptualmente otra vista lateral en sección transversal de una lámina metálica 104 con una curvatura, considerando aquí cuatro bobinas de corrección conceptualmente ilustradas 116, 118, 122, 124. Como antes, la curvatura de la lámina metálica 104 puede determinarse a partir del desfase de resonancia para cada una de las bobinas de corrección 116, 118, 122 y 118. Cada uno de los desfases de resonancia es indicativo de una desviación espacial respectiva d3, d4, d5 y d6 entre la lámina metálica 104, en la ubicación de la bobina de corrección respectiva, y el plano de referencia 400. Las cuatro desviaciones espaciales d3, d4, d5 y d6, o los desfases de resonancia indicativos de las mismas, pueden usarse para determinar la curvatura local de la lámina metálica.

20 Como se ha descrito anteriormente, la desviación espacial de la lámina metálica es al menos una de una curvatura de la lámina metálica y una inclinación de la lámina metálica 104.

25 Los desfases relativos en la frecuencia de resonancia entre dos o más circuitos de resonancia, incluyendo cada uno una bobina de corrección, pueden compararse con datos almacenados previamente que relacionan datos de curvatura y datos de inclinación con desfases de frecuencia de resonancia. Por ejemplo, una tabla de consulta puede comprender un gran número de datos de desfase de frecuencia de resonancia frente a datos de curvatura y datos de inclinación, de modo que, en función de los desfases de frecuencia medidos, una unidad de control pueda encontrar datos de curvatura coincidentes, o al menos casi coincidentes, y datos de inclinación.

30 Otra forma concebible de obtener los datos de curvatura y los datos de inclinación es por medio de modelos empíricos en los que se usa una gran cantidad de datos de desfase de frecuencia de resonancia y correspondientes datos de curvatura y datos de inclinación para construir un modelo.

35 Otra forma concebible de obtener los datos de curvatura y datos de inclinación es por medio de modelos de aprendizaje automático que se enseñan en datos de aprendizaje previos datos de desfase de frecuencia de resonancia y correspondientes datos de curvatura y datos de inclinación.

También son concebibles modelos teóricos para obtener los datos de curvatura y los datos de inclinación.

40 Además, se entiende que la curvatura y la inclinación pueden determinarse mediante una combinación de dos o más de las formas mencionadas anteriormente, incluida una tabla de consulta, modelos empíricos, modelos teóricos y métodos de aprendizaje automático.

Una vez que se determina la curvatura y/o la inclinación de una lámina metálica, se pueden usar para corregir las propiedades de la lámina metálica medidas por las bobinas de inspección de maneras que son conocidas *per se*.

50 La figura 5 es un diagrama de flujo de etapas de método de acuerdo con las realizaciones de la presente invención. El método es para detectar una desviación espacial de un plano de referencia de una lámina metálica procesada en un laminador. La lámina metálica está sujeta a una medición por una bobina transmisora y una bobina receptora configurada para realizar una medición de transitorio de campo magnético para determinar al menos una propiedad de la lámina metálica.

El método comprende, en la etapa S102, resonar cada una de un conjunto de bobinas de corrección conectadas a un condensador respectivo, a una frecuencia de resonancia respectiva.

60 El método comprende, además, la etapa S104 que incluye, detectar un desfase en la frecuencia de resonancia en presencia de la lámina metálica para cada bobina de corrección, por lo que la desviación espacial es derivable de los desfases en las frecuencias de resonancia en la etapa S106.

65 Preferentemente, la etapa S102 de resonar las bobinas de corrección solo se realiza cuando la bobina transmisora no está aplicando un campo magnético variable en el tiempo a la lámina metálica para realizar la medición de transitorio de campo magnético. De este modo, las bobinas de corrección resuenan antes o después de que se altere el campo

magnético.

5 Una unidad de control puede incluir un microprocesador, un microcontrolador, un procesador de señal digital programable u otro dispositivo programable. La unidad de control también puede incluir, o en su lugar, un circuito integrado de aplicación específica, una matriz de puertas programables o una lógica de matriz programable, un dispositivo lógico programable o un procesador de señales digitales. Cuando la unidad de control incluye un dispositivo programable, como el microprocesador, el microcontrolador o el procesador de señal digital programable mencionados anteriormente, el procesador puede incluir, además, un código ejecutable por ordenador que controla el funcionamiento del dispositivo programable.

10 La comunicación entre dispositivos, unidades de control u otros módulos descritos en el presente documento pueden ser inalámbricos o cableados, según sea adecuado e implementar un protocolo adecuado para el caso específico.

15 Aunque la invención se ha descrito con referencia a realizaciones ilustrativas específicas de la misma, muchas alteraciones, modificaciones y similares diferentes resultarán evidentes para los expertos en la técnica.

20 Adicionalmente, las variaciones de las realizaciones descritas pueden ser comprendidas y efectuadas por el experto en la práctica de la invención reivindicada, a partir de un estudio de los dibujos, la divulgación y las reivindicaciones adjuntas. En las reivindicaciones, la expresión "que comprende" no excluye otros elementos o pasos, y el artículo indefinido "un" o "una" no excluye una pluralidad. El mero hecho de que determinadas medidas se mencionen en reivindicaciones dependientes mutuamente diferentes no indica que una combinación de estas medidas no pueda utilizarse con ventaja.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un dispositivo de medición (106) para medir las propiedades de una lámina metálica (104) procesada en un laminador (100), comprendiendo el dispositivo de medición:
  - 10 un conjunto de bobinas de inspección que comprende una bobina transmisora (108) y una bobina receptora (110), estando configurada la bobina transmisora para aplicar un campo magnético variable en el tiempo a la lámina metálica, y estando configurada la bobina receptora para detectar un transitorio de campo magnético producido a partir de la lámina metálica en respuesta al campo magnético variable en el tiempo aplicado, en donde la al menos una propiedad de la lámina metálica es derivable a partir del transitorio de campo magnético, y
  - 15 un conjunto de bobinas de corrección (116, 118, 122, 124), para detectar una desviación espacial de la lámina metálica desde un plano de referencia, estando cada bobina de corrección conectada a un condensador para formar un circuito de resonancia respectivo que tiene una frecuencia de resonancia, en donde las bobinas de corrección están configuradas para resonar a la frecuencia de resonancia respectiva, en donde puede detectarse un desfase en la frecuencia de resonancia en presencia de la lámina metálica, en donde la desviación espacial es derivable a partir de los desfases en las frecuencias de resonancia.
- 20 2. El dispositivo de medición de acuerdo con la reivindicación 1, en donde las bobinas de corrección están dispuestas para estar sustancialmente desacopladas de las bobinas de inspección.
- 25 3. El dispositivo de medición de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la frecuencia de resonancia de los circuitos de resonancia es mayor que una frecuencia del transitorio de campo magnético medido a partir de la lámina metálica en respuesta al campo magnético aplicado.
- 30 4. El dispositivo de medición de acuerdo con la reivindicación 3, en donde la frecuencia de resonancia de las bobinas de corrección es al menos el doble de la frecuencia del transitorio de campo magnético medido a partir de la lámina metálica en respuesta al campo magnético aplicado.
- 35 5. El dispositivo de medición de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las bobinas de corrección están separadas espacialmente de la bobina transmisora y la bobina receptora, así como dispuestas en el exterior de los devanados de la bobina transmisora y la bobina receptora.
- 40 6. El dispositivo de medición de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las bobinas de corrección son sustancialmente más pequeñas que la bobina transmisora y la bobina receptora.
- 45 7. El dispositivo de medición de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la desviación espacial de la lámina metálica es al menos una de una curvatura de la lámina metálica y una inclinación de la lámina metálica.
- 50 8. El dispositivo de medición de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la desviación espacial de la lámina metálica desde el plano de referencia se detecta comparando entre sí los desfases de frecuencia de resonancia.
- 55 9. El dispositivo de medición de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las bobinas transmisora y receptora son bobinas planas.
- 60 10. El dispositivo de medición de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las bobinas de corrección son bobinas planas.
- 65 11. El dispositivo de medición de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un sustrato portador (126) para soportar el conjunto de bobinas de inspección y el conjunto de bobinas de corrección.
12. El dispositivo de medición de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que puede conectarse a una unidad de control (120) configurada para:
  - controlar un suministro de señal eléctrica a las bobinas de corrección a la frecuencia de resonancia,
  - detectar el desfase en la frecuencia de resonancia en presencia de la lámina metálica, y
  - derivar la desviación espacial en función del desfase detectado.
13. Un laminador (100), que comprende al menos dos rodillos de trabajo (102a, 102b) configurados para procesar una lámina metálica entre ellos, y un dispositivo de medición de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
14. Un método para detectar una desviación espacial desde un plano de referencia de una lámina metálica procesada en un laminador, estando sujeta la lámina metálica a una medición mediante una bobina transmisora y una bobina receptora configuradas para realizar una medición de transitorio de campo magnético para determinar al menos una propiedad de la lámina metálica, comprendiendo el método:

resonar (S102) cada una de un conjunto de bobinas de corrección conectadas a un condensador respectivo, a una frecuencia de resonancia respectiva,

5 detectar (S104) un desfase en la frecuencia de resonancia en presencia de la lámina metálica para cada bobina de corrección, por lo que la desviación espacial es derivable (S106) a partir de los desfases en las frecuencias de resonancia.

10 15. El método de acuerdo con la reivindicación 14, que comprende resonar las bobinas de corrección solo cuando la bobina transmisora no esté aplicando un campo magnético variable en el tiempo a la lámina metálica para realizar la medición de transitorio de campo magnético.

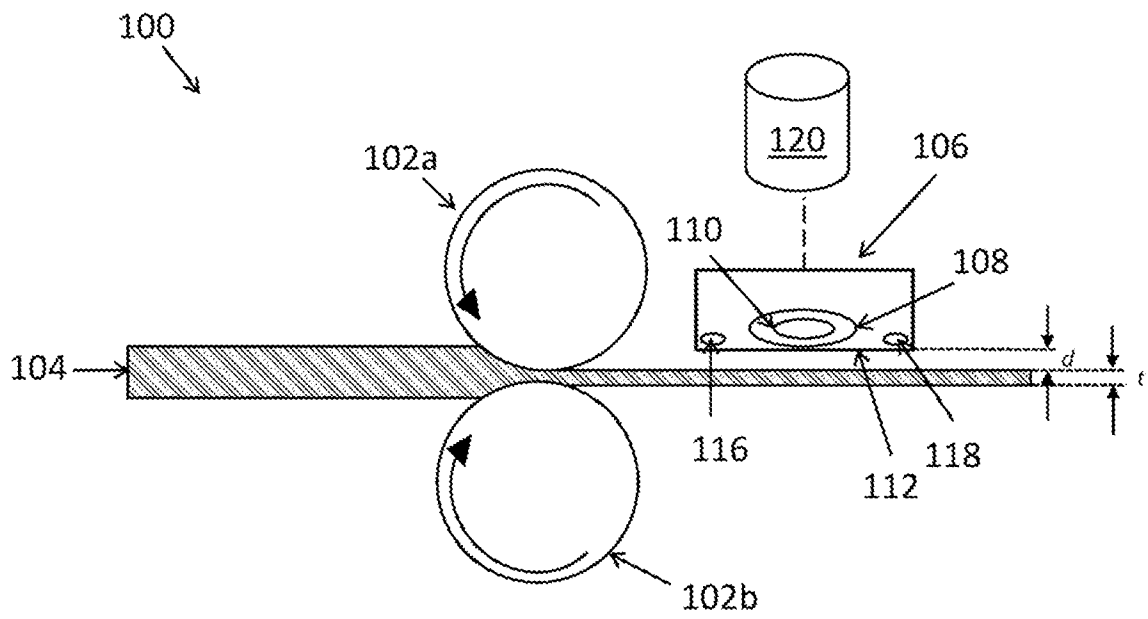


Fig. 1

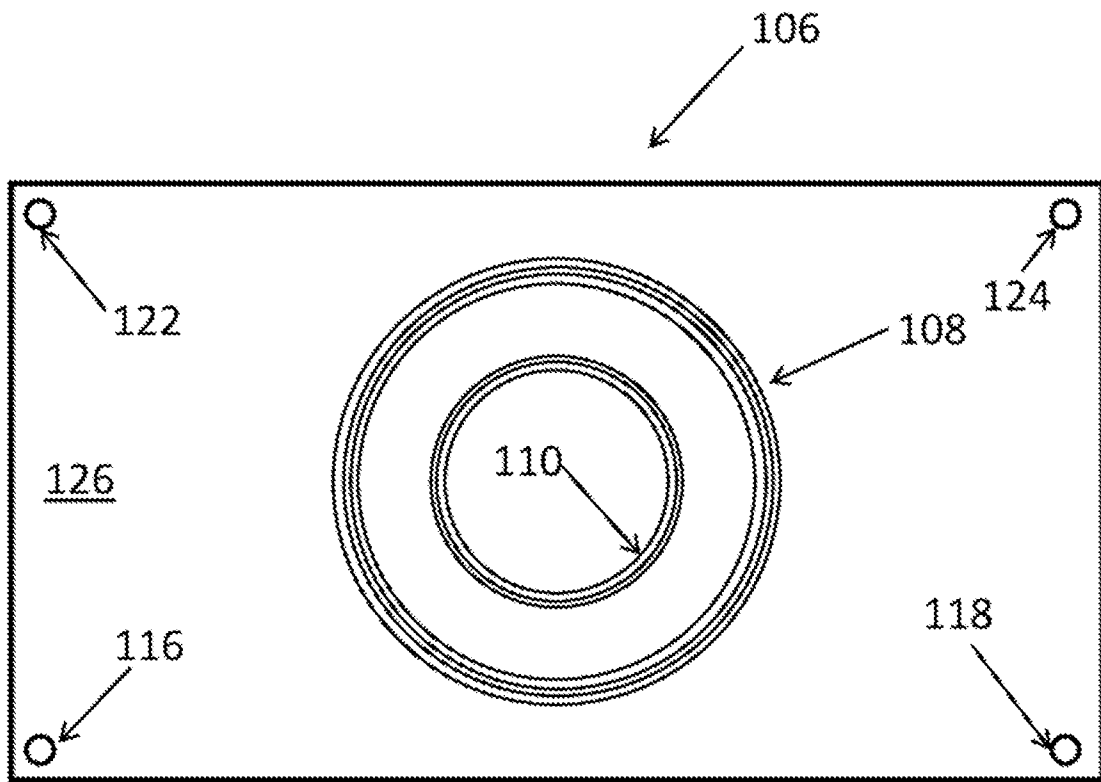


Fig. 2

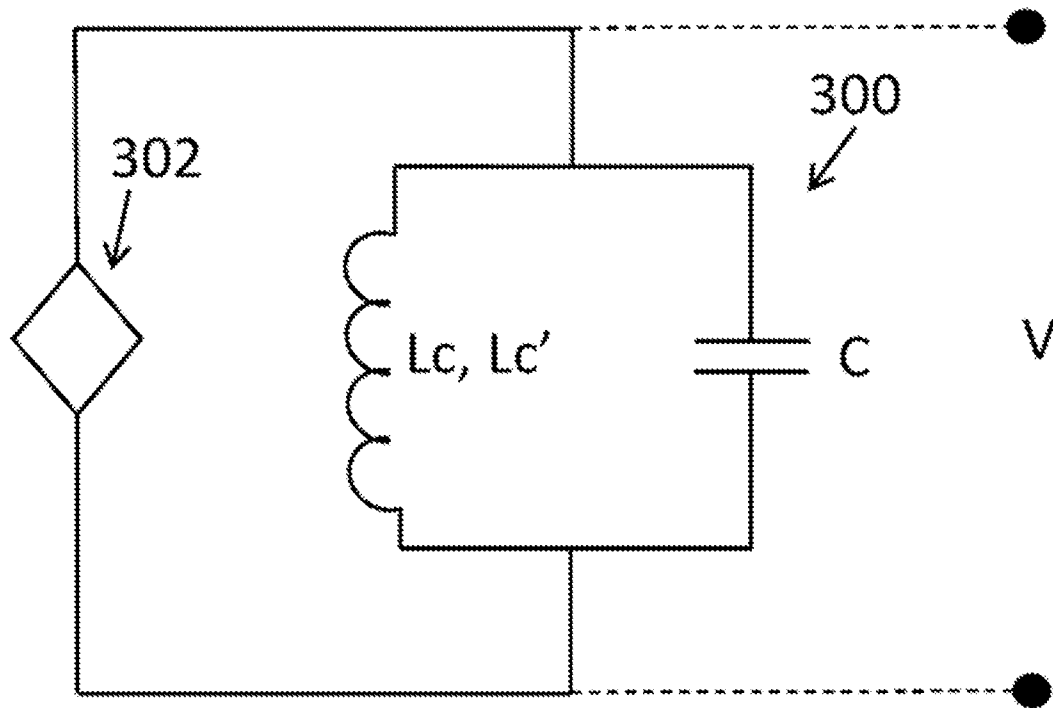


Fig. 3

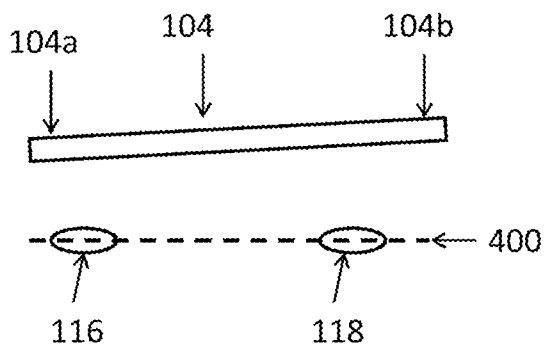


Fig. 4A

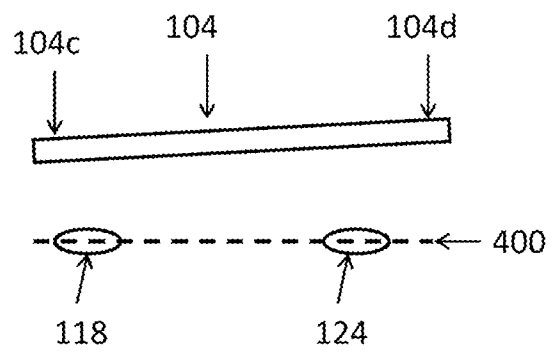


Fig. 4B

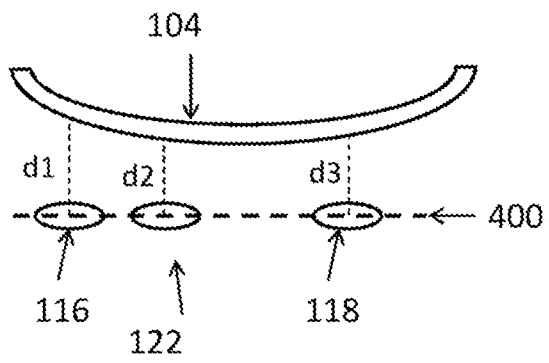


Fig. 4C

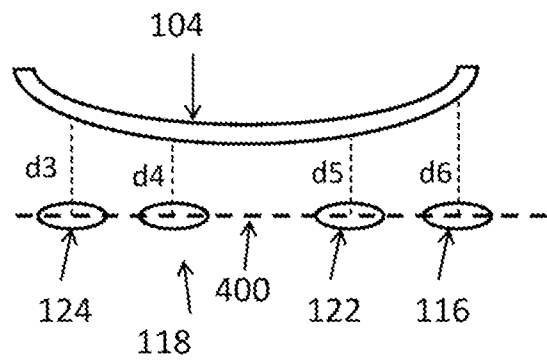


Fig. 4D

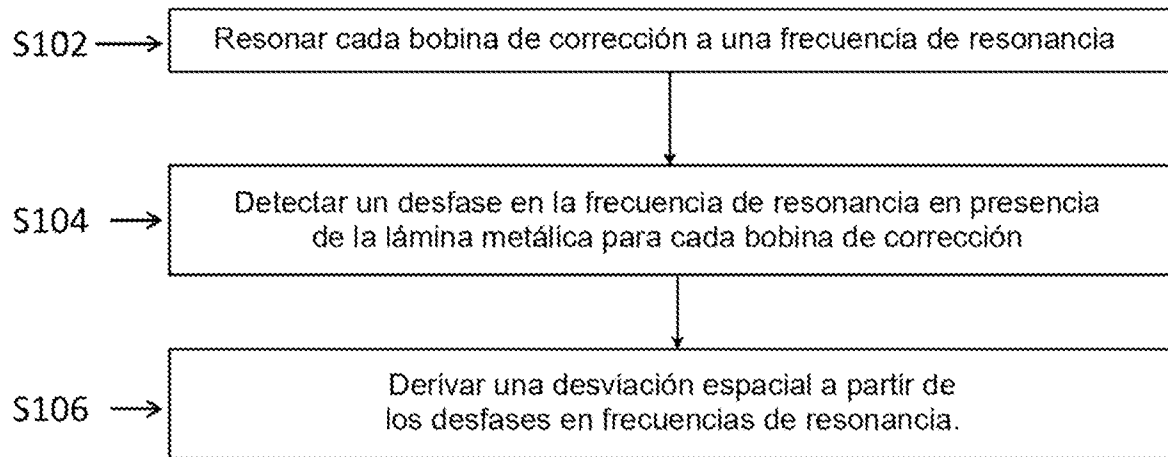


Fig. 5