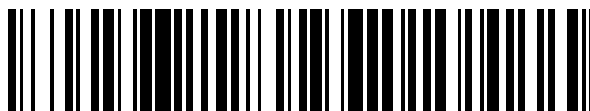


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 773 519**

51 Int. Cl.:

G01N 27/72 (2006.01)

G01N 33/20 (2009.01)

G01R 33/00 (2006.01)

G01R 33/028 (2006.01)

C21D 8/12 (2006.01)

G01R 33/12 (2006.01)

B21B 37/76 (2006.01)

C21D 11/00 (2006.01)

G01N 27/80 (2006.01)

G01R 35/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.04.2012 E 17164269 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.11.2019 EP 3203224**

54 Título: **Sistema y método para monitorizar una microestructura de un objetivo de metal**

30 Prioridad:

27.04.2011 GB 201107064

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

13.07.2020

73 Titular/es:

**THE UNIVERSITY OF MANCHESTER (100.0%)
Oxford Road
Manchester M13 9PL, GB**

72 Inventor/es:

**PEYTON, ANTHONY JOSEPH;
YIN, WULIANG y
DICKINSON, STEPHEN JOHN**

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 773 519 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

Sistema y método para monitorizar una microestructura de un objetivo de metal

Las realizaciones de la presente invención se refieren a aparatos y métodos para monitorizar la microestructura de un objetivo de metal. En particular, algunas realizaciones de la invención se refieren a la monitorización de la formación microestructural de un objetivo de metal.

Antecedentes

Durante el procesamiento de la producción de metales, tal como el acero, el laminado del metal es seguido por enfriamiento controlado. Durante el proceso de producción, particularmente el proceso de enfriamiento, una microestructura del metal evoluciona y da como resultado una microestructura final del metal procesado. La microestructura del metal procesado tiene un impacto en muchos aspectos del carácter del metal, tales como la resistencia a la tracción.

Las técnicas convencionales de análisis microestructural son destructivas e implican la extracción de muestras para el análisis de, por ejemplo, el extremo de una bobina del material procesado. Esto lleva mucho tiempo, es costoso, no permite una monitorización continua y evalúa sólo una pequeña fracción del material procesado.

Cuando el material procesado es de acero, se sabe que las técnicas electromagnéticas pueden controlar las transformaciones de fase de acero detectando el cambio de fase ferromagnético debido a los cambios en la conductividad eléctrica y la permeabilidad magnética dentro del acero. Además, si se coloca una bobina en la proximidad del acero que se está procesando, se produce un cambio en las mediciones de impedancia para la bobina porque la microestructura del acero influye en la conductividad y la permeabilidad. Por ejemplo, la austenita, fase estable de hierro a temperaturas elevadas, es paramagnética, mientras que las fases estables de baja temperatura ferrita, perlita, bainita y martensita son ferromagnéticas por debajo de la temperatura de Curie de aproximadamente 760°C. Las propiedades del acero varían fuertemente con las fracciones de volumen de estas fases, que se controlan en gran parte por la tasa de enfriamiento y el contenido de aleación del acero.

Sin embargo, existen problemas para monitorizar en tiempo real las propiedades electromagnéticas de los metales durante el procesamiento. Muchos problemas resultan de las condiciones ambientales asociadas con el procesamiento de metales, tales como calor, humedad, humectación, etc.

A. J. Peyton et al: "Monitoring Microstructure changes in rod online by using induction spectroscopy", Ironmaking and Steelmaking: processes, products and applications, Vol. 37, No. 2, 1 de febrero de 2010 páginas 135-139 divulga un sistema de sensor multifrecuencia aplicado a un molino industrial de barras.

El documento JP H 05 149923 divulga un aparato y un método para la inspección de inducción electromagnética mediante el uso de cambio en la fase de frecuencia.

Un objeto de las realizaciones de la invención es al menos mitigar uno o más de los problemas de la técnica anterior.

Resumen de la invención

Según aspectos de la invención, se proporciona un aparato y métodos como se definen en las reivindicaciones adjuntas.

De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un sistema para monitorizar una microestructura de un objetivo de metal, que comprende una pluralidad de sensores electromagnéticos para emitir un campo magnético, en el que una señal de excitación emitida por cada uno de los sensores electromagnéticos es una forma de onda multifrecuencia, que detecta un campo magnético resultante y emite una señal de detección en respuesta al mismo y una unidad de control que comprende una pluralidad de unidades de control asociadas cada una con un sensor electromagnético respectivo y dispuestas para recibir las señales de detección de la pluralidad de sensores electromagnéticos, para determinar un cambio de fase entre el campo magnético de salida y el campo magnético resultante en cada una de una pluralidad de frecuencias que forman la multifrecuencia forma de onda para cada uno de la pluralidad de sensores electromagnéticos, en el que el sistema de control está dispuesto para determinar una tasa de desarrollo de microestructura de un objetivo de metal en la pluralidad de sensores electromagnéticos en función de los cambios de fase, y para determinar una desviación de la tasa de desarrollo de microestructura de un tasa de desarrollo de microestructura predeterminada.

Según un aspecto de la invención, se proporciona un método para monitorizar una microestructura de un objetivo de metal, que comprende la salida de un campo magnético generado en respuesta a una forma de onda multifrecuencia en una pluralidad de sensores electromagnéticos, detectando un campo magnético resultante en la pluralidad de sensores electromagnéticos, determinando una respuesta de fase del campo magnético resultante con respecto al campo magnético de salida en cada una de una pluralidad de frecuencias que forman la forma de onda multifrecuencia, determinando una tasa de desarrollo de microestructura de un objetivo de metal en cada una de la pluralidad de basado en la respuesta de fase y la determinación de una desviación de la tasa de desarrollo de la

microestructura de una tasa predeterminada de desarrollo de la microestructura.

Breve descripción de los dibujos

A continuación se describirán realizaciones de la invención a modo de ejemplo solamente, con referencia a las figuras adjuntas, en las que:

- 5 La figura 1 es un esquema de un proceso de producción de metales o "laminado en caliente";
La figura 2 es una ilustración de un sensor electromagnético de la técnica anterior;
La Figura 3 es un gráfico de ejemplo de la salida normalizada del sensor contra la fracción de ferrita;
La figura 4 es una ilustración de un sensor electromagnético de acuerdo con una primera realización de la invención;
La figura 5 es una ilustración de un sensor electromagnético de acuerdo con una segunda realización de la invención;
10 La Figura 6 es un esquema de un sistema de acuerdo con una realización de la invención;
La figura 7 es una ilustración de fasores determinados en una pluralidad de frecuencias de señal;
La Figura 8 es un ejemplo de una salida de sensor de acuerdo con una realización de la invención;
La Figura 9 es un aparato según otra realización de la invención; y
15 La figura 10 es una ilustración de fasores determinados a partir de una pluralidad de sensores según realizaciones de la invención.

Descripción detallada de realizaciones de la invención

- Las realizaciones de la presente invención están destinadas a reducir los problemas asociados con el control de una evolución de una microestructura de un objetivo de metal durante el procesamiento de la producción del objetivo de metal. Un ejemplo de tal procesamiento puede ser en el caso de la producción de acero en donde la laminación en caliente del acero es seguida por enfriamiento controlado. Sin embargo, se comprenderá que las realizaciones de la presente invención no se limitan al uso con objetivos de acero y pueden utilizarse con una gama de metales, incluyendo objetivos metálicos ferrosos y no ferrosos. Los cambios en la microestructura del acero durante el enfriamiento controlado pueden deducirse mediante mediciones de las propiedades electromagnéticas del material.
20 Se describirán realizaciones de la invención con referencia al procesamiento de acero. Sin embargo, se comprende que las realizaciones de la invención también pueden ser útiles para monitorizar otros metales, particularmente metales ferrosos.

En la Figura 1 se muestra una vista general de una etapa de procesamiento de metales, a veces conocida como "laminado en caliente".

- 30 El acero 101 que se está procesando se enrolla hasta una forma requerida y un tamaño inicial con una o más pasadas sucesivas a través de uno o más soportes 110 de laminación. El proceso de producción se instrumenta típicamente con uno o más sensores 120 para medir espesor, anchura, forma etc., y la temperatura del acero. Cuando el producto de acero abandona el último soporte 110 de laminación, la estructura del acero es usualmente una fase de austenita cúbica centrada en la cara de alta temperatura.
- 35 A medida que el acero se enfría, a menudo en un proceso de enfriamiento acelerado con refrigerantes de aire, agua o aceite que pueden aplicarse al acero a través de una o varias salidas 125 situadas en una zona de refrigeración controlada, el acero se transforma en una estructura que consiste de la fase de ferrita cúbica centrada en cuerpo y carburo, usualmente cementita (Fe_3C), dependiendo la morfología de este último de la tasa de enfriamiento y la composición. Aumentar la tasa de enfriamiento o el contenido de aleación hace que la transformación ocurra a temperaturas más bajas, dando una dispersión de carburo más fina y, por lo tanto, un producto más fuerte. Al alterar las microestructuras finales, se puede producir una amplia gama de resistencias en el producto metálico a partir de estructuras muy ferríticas de muy bajo contenido de carbono, con resistencias a la tracción de aproximadamente 200 N/mm² hasta aceros de alta resistencia con una resistencia a la tracción superior a 1000 N/mm². Estos tienen contenidos de carbono más altos con microestructuras que consisten en mezclas de ferrita, perlita, bainita, martensita y, en algunos casos, conocidos como aceros TRIP, austenita que por aleación adecuada se ha estabilizado a temperaturas hasta ambientales. El proceso de enfriamiento es a menudo monitorizado y controlado por uno o más sensores 140 de temperatura, tales como pirómetros ópticos, que pueden estar posicionados antes y/o después y ocasionalmente en zonas especiales en el medio de las salidas 125.

- 50 Sería útil monitorizar la estructura del acero durante el proceso de enfriamiento, tal como por sensores dentro de la zona de enfriamiento controlada.

Se han propuesto una serie de técnicas para supervisar la microestructura de acero en línea, es decir, en tiempo real, cada una con sus limitaciones. Los sensores ópticos de temperatura se utilizan para implementar un control de realimentación del enfriamiento, pero se ven afectados negativamente por las variaciones de la pulverización de agua y las irregularidades de la emisividad superficial. Además, la temperatura es sólo un supuesto indicador de la microestructura y sólo se mide la superficie del acero. Otros métodos posibles, como la difracción de rayos X y el ultrasonido láser, se han demostrado en el laboratorio, pero no pueden desplegarse fácilmente en la zona de enfriamiento con agua debido a los efectos del rociado de agua y la niebla.

Los intentos pasados de utilizar sensores electromagnéticos para monitorizar la microestructura han sido limitados por:

- 1) la interferencia de otros parámetros del proceso, tales como los efectos de la estructura metálica cercana y las variaciones en la elevación (es decir, la distancia entre la cabeza del sensor y el material)
- 2) un rango de detección limitado, con la respuesta del sensor de nivelación para las fracciones de fase ferrítica por encima del contenido típicamente de ferrita del 30%. Esta es una limitación seria ya que la industria está interesada en controlar la transformación en fracciones mucho más altas.
- 3) la dificultad de conseguir que un sensor funcione a largo plazo en las condiciones hostiles encontradas en un laminador de acero caliente, especialmente con los efectos de la deriva térmica debido a las temperaturas elevadas que tales sensores tendrían que soportar.

La figura 2 muestra una unidad de sensor de la técnica anterior, designada generalmente con el número de referencia 200, para detectar las propiedades electromagnéticas de un objetivo 260 metálico.

- Típicamente, el objetivo 260 metálico puede estar moviéndose rápidamente sobre una serie de rodillos y, por lo tanto, el acceso cercano al objetivo de metal está restringido a un solo lado, con, por ejemplo, una unidad 200 de sensor situada entre un par de rodillos.

La unidad 200 de sensor puede contener un núcleo 210 magnético, una fuente 220 de excitación magnética y uno o más detectores 230, 240 magnéticos. El núcleo 210 magnético está configurado para aplicar tanto de un campo magnético de interrogación al objetivo 260 metálico como sea posible y, por consiguiente, se prefieren diseños basados en núcleos 210 en forma de U. La fuente 220 de excitación puede ser un imán permanente o un electroimán. Los componentes 230, 240 de detección son magnetómetros y se han descrito tanto bobinas de detector de inducción como sensor de sonda Hall. Los detectores 230, 240 magnéticos están montados en los polos del núcleo 210 magnético.

- También se muestra en la Fig. 2 dos variaciones en el diseño básico del núcleo en U del sensor 200. La primera variación muestra un polo 270 adicional y un magnetómetro, que pueden añadirse para proporcionar una medida adicional del campo magnético. Las mediciones proporcionadas por el detector 270 magnético adicional puede utilizarse para cancelar fuentes potenciales de error, tales como cambios causados por la variación en la distancia entre la unidad 200 de sensor y el objetivo 260 metálico. Esta distancia se denomina a menudo elevación. La segunda variación es la combinación de dos polos 280, 290 adicionales en una configuración de espalda con espalda para realizar un sensor en forma de H.

El documento EP177626A, titulado "System for Online-Detecting Transformation value and/or Flatness of Steel or Magnetic Material", describe un sistema para detectar la transformación y/o la planitud de un acero o un material magnético en línea. El sistema consiste en una bobina de excitación en un lado del objetivo de metal en forma de placa con una bobina de excitación que genera un campo magnético alterno. Dos o más bobinas de detección están dispuestas en posiciones diferentes en distancia de la bobina de excitación, pero inducidas mutuamente con la bobina de excitación en una disposición similar a la mostrada en la Fig. 2. Las mediciones magnéticas de las bobinas de detección se alimentan a una unidad aritmética para obtener el valor de transformación y la planitud del objetivo de metal.

- El documento JP03262957A titulado "Transformation Ratio Measuring Instrument for Steel Material" divulga un sistema que utiliza núcleos magnéticos separados de diferentes tamaños.

El documento EP01308721 titulado "Device and Method for Detecting Magnetic Properties of a Metal Object" describe un sistema similar al documento EP177626A, pero en este caso se describe un dispositivo para detectar las propiedades magnéticas de un objeto metálico objetivo. El sistema comprende un medio para generar un campo magnético y un medio de detección para medir el efecto sobre una porción del campo magnético producido por el objetivo de metal. En este caso, sin embargo, el documento EP01308721 describe que el campo magnético generado es un campo magnético continuo de CC y los medios de detección son medios adecuados para detectar al menos un componente continuo del campo magnético. Los medios de detección pueden estar situados en los polos de la unidad de sensor como se muestra en la Fig. 2. Además, el sistema informado tiene un blindaje metálico no magnético situado entre los medios de generación y detección y el objetivo de metal. El blindaje metálico no magnético no afecta al campo magnético de CC, que es una característica clave de la utilización de CC continua en lugar de alternar los campos magnéticos de CA.

Para superar los problemas asociados con la interferencia de la magnetización de los rodillos que llevan el objetivo de metal cuando el objetivo de metal está en forma de una placa o tira, el documento JP07325067A titulado "Transformation Factor Measuring Device" describe un dispositivo de medición del factor de transformación en el que se proporciona una fuente de excitación en un lado de una placa metálica objetivo y los componentes de detección se proporcionan en el otro lado de la placa metálica objetivo. Este enfoque ayuda a reducir los efectos de la magnetización del rodillo que lleva la placa metálica objetivo, pero tiene las desventajas de que diferentes partes del sistema están situadas en diferentes posiciones, lo que hace que el sistema sea más difícil de desplegar y que los componentes del sistema sean más difíciles de proteger desde la placa objetivo de metal de movimiento rápido.

Una desventaja de usar una unidad de sensor que emplea solamente una excitación continua de CC o una excitación de una sola frecuencia es que el sistema de medición es sensible a un rango de detección limitado de la fracción transformada de acero objetivo, con la respuesta de la unidad sensora para nivelación para fracciones de fase ferrítica por encima del contenido de ferrita típicamente del 30%, como se describe en (Yin y col., Journal of Material Science (2007), Vol. 42, páginas 6854-6861, "Exploring the relationship between ferrite fraction and morphology and the electromagnetic properties of steel") y como se muestra en la Fig. 3. Esta es una limitación seria ya que la industria siderúrgica está interesada en controlar la transformación en fracciones mucho más altas. El documento de Yin y colaboradores discute que se puede usar una unidad de sensor para identificar la fracción transformada en objetivos de acero a través del rango completo (0-100%) de la fracción transformada de ferrita usando mediciones de frecuencia múltiple.

JP60017350A divulga un sistema para medir cuantitativamente la tasa de transformación de un objetivo de acero utilizando una bobina excitante y una bobina de detección en el mismo lado del objetivo de acero a medir, pasando una corriente de frecuencia variable a la bobina excitante y obteniendo una permeabilidad magnética del material de medición para la dirección del espesor de ambas bobinas en cada frecuencia.

El uso de diferentes frecuencias también ha sido informado por (Dickinson et al., IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement (2007), Vol. 56 (3), páginas 879-886, "The development of a multi-frequency electromagnetic instrument for monitoring the phase transformation of hot strip steel"). En este trabajo se describe un instrumento dispuesto para analizar las transformaciones de fase de acero laminado en caliente utilizando un sensor electromagnético.

El sensor explota variaciones en la conductividad eléctrica y la permeabilidad magnética del acero para monitorizar la evolución de la microestructura durante el procesamiento. El sensor es un dispositivo inductivo basado en un núcleo de ferrita en forma de H, que es interrogado con un analizador de impedancia multifrecuencia que contiene un procesador de señal digital. Se ejecutó transformada de Fourier rápida en línea para extraer los cambios de inductancia de múltiples frecuencias debido a la evolución microestructural de la muestra. Se presenta una visión general del instrumento y las mediciones de una gama de muestras de acero al carbono. Los resultados verifican la capacidad del instrumento tanto para monitorizar los cambios microestructurales como para rechazar variaciones en la distancia de elevación entre el sensor y la banda caliente.

El documento JP 2000-304725 titulado "Method for Measuring Thickness of Transformation Layer of Steel Material" también describe un método de múltiples frecuencias para supervisar el progreso de la transformación a través de un objetivo de metal. En este caso, el objetivo de metal es grueso y el sistema mide el espesor de la capa transformada externa analizando los espectros medidos por la unidad de sensor.

Sin embargo, existen problemas significativos con el uso de tales sensores electromagnéticos en un entorno de procesamiento de metales. Algunas realizaciones de la invención apuntan a reducir uno o más de tales problemas para que los sensores electromagnéticos puedan ser utilizados con mayor fiabilidad y precisión en tales ambientes. Hay desafíos para el diseño de una unidad de sensor electromagnético. Una unidad de sensor ideal debe ser capaz de (i) rechazar o reducir la interferencia de otros parámetros del proceso, tales como los efectos de la acería cercana y las variaciones en el despegue, (ii) medir una amplia gama de fracciones transformadas, como una gama completa 0 a 100% de las fracciones transformadas, y (iii) tener una baja sensibilidad a las variaciones causadas por el entorno de alta temperatura con metal caliente a temperaturas de 1000°C sólo a una corta distancia, tal como unos pocos centímetros del lado activo del sensor. Algunas realizaciones de la invención pueden tener como objetivo tratar o reducir algunos de estos problemas.

Un ejemplo se refiere a un aparato y método para calibrar una unidad de sensor electromagnético. En particular, el primer ejemplo se refiere a un aparato y método para lograr una calibración regular durante el funcionamiento de la unidad de sensor. La calibración frecuente de la unidad de sensor es deseable debido al entorno de temperatura muy alta encontrado en operación con cargas de calor radiante muy altas, típicamente ejercidas al menos en parte desde el objetivo de metal que está siendo medido.

Algunos ejemplo proporcionan un medio electrónico de aplicación de uno o más niveles de calibración de referencia a una unidad de sensor electromagnético.

La figura 4 ilustra un aparato 400 de acuerdo con un ejemplo. El aparato es una unidad 400 de sensor electromagnético para detectar una microestructura de un objetivo de metal.

La unidad 400 de sensor comprende un núcleo 410 magnético, una o más fuentes 420 de excitación magnética y uno o más detectores 430 magnéticos. El núcleo 410 magnético está configurado para aplicar un campo 440 magnético de interrogación generado por las fuentes 420 de excitación, a un objetivo de metal (no mostrado). El núcleo 410 metálico puede tener forma de U, como se muestra en la figura 4, o puede configurarse como una forma diferente, tal como en forma de H. La fuente 420 de excitación puede ser un imán permanente, un electroimán o una combinación de los mismos. El detector 430 magnético está dispuesto para detectar un campo 440 magnético y puede incluir una o más bobinas de detector de inducción y/o sensores de sonda Hall. También se prevén otros magnetómetros. En algunos ejemplos, la unidad 400 de sensor comprende dos detectores 430 magnéticos, cada uno ajustado a un polo correspondiente del núcleo 410 magnético. El núcleo 410 puede tener forma de U o forma de H (en forma de H incluye dos núcleos en forma de U dispuestos espalda-espalda). En algunos ejemplos, el núcleo puede tener forma de H y comprende una o más bobinas 445 de detección de fondo.

La unidad 400 de sensor comprende además una unidad 450 de calibración para calibrar la unidad 400 de sensor.

La unidad 450 de calibración comprende uno o más circuitos de calibración para generar un campo magnético de calibración que interactúa con el campo 440 magnético generado por una o más fuentes 420 de excitación para simular el efecto de un objetivo de metal que está presente proximal al sensor 400. En algunos ejemplos, el campo magnético de calibración se genera por las corrientes inducidas en el circuito de calibración por el campo 440 magnético de interrogación. El circuito de calibración puede comprender una bobina 451 de calibración para aumentar la sensibilidad del circuito de calibración al campo 440 magnético, mientras que una bobina 451 de calibración se muestra en la figura 4, se comprenderá que la unidad 450 de calibración puede comprender una pluralidad de bobinas 451 de calibración.

La unidad 450 de calibración puede comprender además un medio 452 de control o de conmutación para controlar un funcionamiento de la bobina 451 de calibración. Los medios 452 de control se muestran en la Figura 4 como un conmutador para activar selectivamente la bobina 451 de calibración aplicando selectivamente la bobina inducida eléctrica a la bobina 451 de calibración. Los medios de control pueden ser operados en respuesta a una señal de control de calibración recibida, como se discutirá. En otros ejemplos, los medios 452 de control pueden implementarse de otras maneras, tales como por una fuente de energía controlable o generador de señal para generar y aplicar selectivamente una tensión o señal a la bobina 451 de calibración. Una impedancia 453 de referencia o resistencia puede estar prevista en el circuito con la bobina 451 de calibración para limitar un flujo de corriente a través de la bobina 451 de calibración. Alternativamente, puede utilizarse una salida limitada de corriente de un generador de alimentación o de señal. Aunque no se muestra en la figura 4, se puede incluir una fuente de potencia en la unidad 450 de calibración para proporcionar una corriente o señal eléctrica para la bobina 451 de calibración, que se aplica selectivamente a través del conmutador 452.

Cada bobina 451 de calibración puede estar situada alrededor de un polo del núcleo 410 magnético para interactuar con una porción del flujo 440 magnético generado por la fuente 420 de excitación que se aplicaría al objetivo de metal.

Cuando el interruptor 452 está cerrado, una corriente eléctrica es capaz de fluir alrededor del circuito de calibración que contiene la bobina 451 de calibración y la impedancia 453 de referencia. La unidad 450 de calibración tiene un efecto sobre el sensor magnético similar al flujo de las corrientes parásitas que se inducirían en el objetivo de metal por la fuente 420 de excitación. Por consiguiente, la unidad 450 de calibración puede proporcionar una entrada conocida a la unidad 400 de sensor que puede usarse para calibrar la unidad 400 de sensor. La unidad 450 de calibración puede activarse manualmente, tal como por activación del usuario del conmutador 452, o automáticamente es decir por el conmutador 452, fuente de alimentación o generador de señal que es activado por una unidad de control, tal como un microprocesador o similar.

La figura 5 ilustra un aparato 500 de acuerdo con un ejemplo adicional. El aparato 500 comprende un sensor 410, 420, 430, 440, 445 electromagnético como se ha descrito anteriormente con referencia a la figura 4 y se omitirá una descripción repetida de partes numeradas similares para mayor claridad. El aparato 500 incluye además una unidad 550 de calibración que tiene una pluralidad de circuitos 551, 552, 553, 554 de calibración. Cada circuito 551, 552, 553, 554 de calibración puede considerarse cada uno como una unidad 450 de calibración como se ha descrito anteriormente con referencia a la Figura 4, y se repetirá la discusión de nuevo para mayor claridad. Como se ha expuesto anteriormente, cada circuito 551, 552, 553, 554 de calibración puede incluir una o más bobinas de calibración.

Cada uno de los circuitos 551, 552, 553, 554 de calibración puede controlarse individualmente para generar un campo magnético correspondiente. Cada bobina de calibración puede configurarse para operar dentro de una gama de frecuencias de calibración respectiva diferente para calibrar la respuesta de la unidad 500 de sensor en cada intervalo de frecuencia. Una primera bobina 551 de calibración puede estar configurada para operar dentro de una primera gama de frecuencias de calibración, que es un intervalo de frecuencias relativamente bajas. La configuración puede incluir proporcionar la primera bobina 551 de calibración con una o relativamente pocas vueltas. De manera similar, la impedancia de referencia asociada con la primera bobina 551 de calibración puede ser relativamente baja. Una cuarta bobina 554 de calibración puede estar configurada para operar dentro de una cuarta gama de frecuencias, que es una gama de frecuencias de calibración relativamente alta. La configuración puede

incluir proporcionar la cuarta bobina 554 de calibración con un número relativamente grande de vueltas. Las segunda y tercera bobinas 552, 553 de calibración pueden estar configuradas para operar dentro de la segunda y tercera gamas respectivas de frecuencias de calibración, que pueden estar separadas por igual o desigualmente entre la primera y la cuarta gamas de frecuencias de calibración. Aunque se muestra el segundo ejemplo con cuatro circuitos 551, 552, 553, 554 de calibración, se comprenderá que pueden proporcionarse más o menos circuitos de calibración.

La figura 6 ilustra un sistema 600 de acuerdo con una realización de la invención. El sistema 600 está dispuesto para detectar la microestructura de un objetivo de metal, tal como el acero que se forma en un proceso de producción, tal como un laminado en caliente.

El sistema 600 comprende una unidad 400 de sensor electromagnético como se muestra en la Figura 4 y una unidad 600 de control. También pueden preverse las realizaciones del sistema 600 que incluyen la unidad 500 de sensor de la Figura 5. En cuyo caso, la unidad 600 de control puede tener una pluralidad, tal como cuatro, señales de control de calibración de diferente frecuencia proporcionadas a las cuatro bobinas de calibración.

La unidad 600 de control comprende una unidad 610 de señal para generar señales de excitación y de control y recibir señales de detección para/desde la unidad 400 de sensor, respectivamente. En particular, la unidad 610 de señal puede emitir una o más señales de excitación a la bobina 420 de excitación de la unidad 400 de sensor y puede recibir señales de detección de una o más bobinas 430 de detección de la unidad 400 de sensor (la realización mostrada en la Figura 6 comprende una señal de excitación proporcionada a una bobina 420 de excitación y dos bobinas 430 de detección, aunque se pueden prever otros números de bobinas de excitación y bobinas de detección). La unidad 610 de señal está dispuesta además para enviar una señal de control de calibración a la unidad 450 de calibración para ser recibida por los medios 452 de control para controlar el funcionamiento del circuito de calibración. La unidad 600 de control puede comprender además una unidad 620 de procesamiento de señales para procesar señales de detección recibidas de la unidad 400 de sensor, como se explicará.

Para calibrar la unidad 400 de sensor, la unidad 600 de control genera una señal de excitación para la bobina 420 de excitación de la unidad 400 de sensor. La señal de excitación puede ser una forma de onda variable en el tiempo, tal como una forma de onda sinusoidal o cosinusoidal. La señal de excitación puede comprender formas de onda sumadas entre sí para formar una forma de onda de múltiples frecuencias. Tales formas de onda se describen en Dickinson et al, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement (2007), vol. 56 (3), págs. 879-886, que se incorpora aquí como referencia, aunque pueden usarse otras formas de onda. Un circuito accionador, aunque no se muestra en la figura 6, puede estar dispuesto entre la salida de la unidad 610 de señal y una o más bobinas 420 de excitación. La unidad 600 de control también genera una señal de control de calibración para la unidad 450 de calibración. El control de calibración de la señal puede controlar el conmutador 452, de manera que se forme selectivamente un circuito que incluya la bobina 451 de calibración, o pueda generar directamente una señal de calibración aplicada a la bobina de calibración, tal como una señal que tiene una frecuencia f . Como resultado, se genera un campo magnético de calibración. El campo de calibración modifica efectivamente el flujo magnético generado por la bobina 420 de excitación para producir un efecto conocido sobre el sensor 400, que es similar al del objetivo de metal. El campo de calibración imita un flujo de corrientes parásitas que se inducirían en el objetivo de metal por la señal de excitación. La unidad 600 de control está dispuesta además para recibir una o más señales de detector de las bobinas 430 de detección. La unidad 610 de señal puede digitalizar cada una de las señales recibidas y comunicar información indicativa de las señales recibidas y de la señal de excitación generada a la unidad 620 de procesamiento de señales.

Basándose en la información recibida de la unidad 610 de señal, la unidad 620 de procesamiento de señales convierte las señales digitalizadas en equivalentes fasores utilizando técnicas de conversión hacia abajo como se apreciará, por ejemplo a partir de las referencias citadas. La unidad 620 de procesamiento de señales está dispuesta para determinar el cambio de impedancia en el sensor 500 electromagnético resultante del objetivo de metal o del campo de calibración, como apreciarán los expertos en la técnica. El cambio de impedancia se determina teniendo componentes reales e imaginarios, es decir, como componentes de cuadratura y de fase, como se muestra en la figura 7. Éstos pueden ser determinados por la unidad 620 de procesamiento de señales que compara las formas de onda de tensión de salida de la bobina 420 de excitación y de la bobina 430 de detección. Esto puede realizarse en cada una de una pluralidad de frecuencias de interés, particularmente para obtener un perfil dependiente de la profundidad, ya que las señales de mayor frecuencia penetran más profundamente en el objetivo del metal. La impedancia compleja en cada frecuencia puede ser calculada por la unidad de procesamiento de señales aplicando Transformada de Fourier Rápida (FFT) a las formas de onda de voltaje y corriente para obtener la fase y la magnitud de las señales respectivas en cada frecuencia separada. Un ejemplo de mediciones multifrecuencia se muestra en la Figura 7 para un objetivo de metal no magnético y pueden obtenerse mediciones de multifrecuencia similares con la aplicación de la disposición de bobina 450 de calibración, mostrada en la Figura 4.

Para calibrar el sensor 400 electromagnético, la unidad 620 de procesamiento de señales está dispuesta para determinar un gradiente o sensibilidad del sensor 620 electromagnético a la salida de la unidad 450, 550 de calibración en una o más frecuencias de interés restando una respuesta de una o más bobinas 430 detectoras en ausencia de un objetivo de metal o salida de la unidad 450 de calibración (un nivel de fondo) a partir de una

respuesta de las bobinas 430 detectoras en ausencia de un objetivo de metal pero con la unidad 450, 550 de calibración generando una señal de calibración conocida.

El funcionamiento de la unidad de calibración se puede describir como sigue. Aquí se utiliza la notación fasorial compleja para describir la respuesta del sensor. Sea Z_{0f_n} la salida de impedancia compleja del sensor cuando no está presente un objetivo de metal y el circuito de calibración no está activado a la frecuencia f_n y Z_{Cf_n} es la salida de impedancia compleja del sensor cuando no hay objetivo de metal y la bobina de calibración está activada, a la frecuencia f_n , y Z_{f_n} es la salida de impedancia compleja del sensor cuando el objetivo de metal está presente y la bobina de calibración no está activada, a la frecuencia f_n . La salida normalizada y calibrada del sensor, N_{Nf_n} se puede calcular de la siguiente manera:

$$N_{Nf_n} = \frac{Z_{f_n} - Z_{0f_n}}{Z_{Cf_n} - Z_{0f_n}}$$

Finalmente, la salida del sensor calibrado Z_{Afn} a la frecuencia f_n puede calcularse adicionalmente como

$$Z_{Afn} = k \cdot N_{Nf_n}$$

en donde k es un factor de escala complejo que relaciona la respuesta del circuito de calibración a la frecuencia f_n con la respuesta ideal a esta frecuencia.

Algunos ejemplos de la invención explotan un intervalo de tiempo entre objetivos de metal, es decir, cuando ningún objetivo de metal está proximal al sensor electromagnético, para calibrar el sensor electromagnético. El intervalo de tiempo, típicamente unos pocos segundos o más, que se produce en los procesos de producción de metales, tales como molinos calientes, entre operaciones de laminación sobre cada planchón, lupia o tocho metálicos al producto final tal como tira, placa, secciones medias, etc, como se muestra en la Fig. 8. La figura 8 ilustra un ejemplo de salida de un sensor 400, 500 electromagnético, dispuesto para vigilar objetivos metálicos producidos a partir de un laminado en caliente. El número de referencia 810 indica un nivel de salida cuando un objetivo de metal está presente proximal al sensor 400, 500, mientras que 820 indica un nivel de salida cuando un objetivo de metal no es proximal al sensor, es decir, la unidad sensora está situada entre objetivos metálicos sucesivos y su salida es relativamente baja. Se ha observado que un intervalo 820 de tiempo entre objetivos de metal puede, en algunos ejemplos, presenta una oportunidad para aplicar una o más condiciones de entrada conocidas a una unidad de sensor para calibrar esa unidad de sensor. Un nivel 830 de umbral predeterminado puede ser utilizado por la unidad 600 de control para determinar cuando el objetivo de metal no es proximal al sensor.

Con el fin de calibrar el sensor 400, 500 se puede aplicar a la unidad 400, 500 de sensor, tanto cero (fondo) como un nivel de referencia predeterminado. El nivel de referencia cero se puede obtener directamente durante el intervalo de tiempo entre operaciones de laminación cuando no hay material presente, es decir, sin salida de la bobina de calibración. El nivel de referencia predeterminado corresponde a una salida de una o más bobinas de calibración. En la técnica anterior, esto se ha conseguido colocando una muestra de referencia de material con propiedades electromagnéticas conocidas próximas a la unidad de sensor. Sin embargo, esto es difícil o inconveniente de conseguir en un corto período de tiempo y/o sobre una base regular, tal como entre los objetivos metálicos que se producen por un laminado en caliente.

La figura 9 ilustra un aparato 900 de acuerdo con una realización de la invención. El aparato 900 está dispuesto para determinar un perfil dependiente del tiempo de las propiedades electromagnéticas de un objetivo 950 metálico. En particular, el aparato 900 puede utilizarse para determinar o para supervisar la evolución de las propiedades electromagnéticas del objetivo 950 metálico a medida que se enfría después de un proceso de producción en caliente, tal como laminación en caliente.

El aparato 900 incluye una pluralidad de sensores 911, 912, 913... 91n electromagnéticos. Cada sensor 911, 912, 913 ... 91n electromagnético puede ser como se describió anteriormente con referencia a la figura 4 o 5. Sin embargo, se apreciará que cada sensor 911, 912, 913... 91n electromagnético puede no comprender una unidad 450, 550 de calibración. Es decir, algunas realizaciones de la invención incluyen sensores electromagnéticos que no comprenden una unidad o circuito de calibración, aunque se comprenderá que pueden preverse realizaciones que lo hagan.

El sistema 900 comprende además una pluralidad de unidades 921, 922, 923, 92n de control, cada una asociada con un respectivo sensor 911, 912, 913... 91n electromagnético para determinar una respuesta de fase del respectivo sensor electromagnético 913...91n al blanco del metal. Las unidades de control pueden formarse individualmente, es decir, dispuestas separadamente para proporcionar una salida a un sistema de monitorización, o pueden estar dispuestas como se muestra en la Figura 9, donde cada unidad de control es una parte componente de un sistema 920 de control. Cuando se forman combinadas, como se muestra en la Figura 9, puede ser posible reducir un número total de componentes mediante la reutilización de algunos subsistemas. Las unidades 921, 922, 923, 92n de control pueden ser como se muestra en y descritas con referencia a la figura 6. Sin embargo, cada unidad 921, 922, 923, 92n control puede no comprender una salida para controlar una unidad 450, 550 de

calibración. Cada unidad 921, 922, 923, 92n control puede comprender una o más salidas de señal de excitación y una o más entradas de señal de detector para determinar la respuesta de fase del sensor electromagnético cuando está proximal al objetivo de metal. Cada unidad 921, 922, 923, 92n control está dispuesta para determinar un cambio en la estructura del objetivo de metal que utiliza el respectivo sensor 911 electromagnético, 912, 913 ... 91n.

5 Los sensores 911, 912, 913 ... 91n electromagnéticos pueden estar dispuestos próximos a una trayectoria del objetivo de metal a través de una o más zonas de enfriamiento, como se ha explicado anteriormente. Las zonas de enfriamiento pueden incluir medios para enfriar de manera controlada el objetivo de metal. Los medios para enfriar de forma controlada el objetivo de metal pueden incluir uno o más medios para aplicar un fluido al objetivo de metal, tal como aire u otros gases o líquidos, tales como agua o aceite. A medida que se mueve el objetivo de metal en una
10 dirección de laminación (mostrada en la figura 10), pasa por un primer sensor 911 electromagnético. Respondiendo a una señal de excitación generada por la unidad 921 de control respectiva, se reciben una o más señales de detección. La señal de excitación puede incluir una pluralidad de componentes de frecuencia, como se indica en la figura 10, aunque la presencia de estos componentes de múltiples frecuencias y su número no es limitante. La primera unidad 921 de control está dispuesta para determinar una respuesta de fase del sensor electromagnético en cada frecuencia de la señal de excitación. De manera similar, a medida que el objetivo de metal avanza más allá de
15 cada uno de los segundo, tercer y cuarto sensores 912, 913, 914 electromagnéticos, la unidad de control respectiva está dispuesta para determinar la respuesta del sensor en cada frecuencia de señal de excitación y la respuesta de fase asociada, como se muestra en la Figura 10.

Puede observarse en la figura 10, aunque los diagramas de fase para cada sensor son meramente ilustrativos y no
20 son a escala, que los cuatro fasores ilustrados se giran gradualmente en el sentido de las agujas del reloj indicando el desarrollo o evolución de la estructura del objetivo de metal a medida se enfría. El sistema 920 de control puede por lo tanto determinar el desarrollo estructural del objetivo de metal en tiempo real. Basándose en la tasa de desarrollo determinada, el sistema 920 de control puede estar dispuesto para emitir una señal 930 indicativa del desarrollo estructural a un controlador 940 de proceso dispuesto para controlar el proceso de producción de metal.
25 La señal puede indicar una desviación del desarrollo estructural del objetivo de metal de una tasa de desarrollo estructural predeterminada, de tal manera que el controlador 940 de proceso puede variar uno o más parámetros del proceso de producción para optimizar el desarrollo estructural del objetivo de metal. Por ejemplo, si la señal 930 indica que la estructura del objetivo de metal se está formando como resultado del enfriamiento más rápido de lo deseado, el controlador del proceso puede reducir la tasa del flujo de fluido hacia el objetivo de metal, tal como
30 reduciendo un caudal de agua desde los puntos 125 de salida descritos anteriormente. De esta manera, el enfriamiento del objetivo de metal puede ser retardado a una tasa deseada. De esta manera, las cualidades resultantes del objetivo de metal pueden controlarse mediante monitorización en tiempo real de los cambios estructurales del objetivo de metal.

Se apreciará a partir de la discusión anterior que algunos ejemplos de la invención permiten la calibración
35 conveniente de sensores electromagnéticos. En particular, en algunos ejemplos, la calibración se puede llevar a cabo en un período determinado automáticamente entre objetivos metálicos. En algunas realizaciones, se utiliza un conjunto de sensores electromagnéticos para determinar la evolución de una microestructura de un objetivo de metal. Mediante tal monitorización, pueden controlarse las propiedades del objetivo de metal.

Se apreciará que las realizaciones de la presente invención pueden realizarse en forma de hardware, software o una
40 combinación de hardware y software. Cualquiera de dichos programas informáticos puede almacenarse en forma de almacenamiento volátil o no volátil tal como, por ejemplo, un dispositivo de almacenamiento como una ROM, ya sea borrable o regrabable o no, o en forma de memoria tal como, por ejemplo, RAM, chips de memoria, dispositivos o circuitos integrados o sobre un medio ópticamente o magnéticamente legible tal como, por ejemplo, un CD, DVD,
45 disco magnético o cinta magnética. Se apreciará que los dispositivos de almacenamiento y medios de almacenamiento son realizaciones de almacenamiento legible por máquina que son adecuadas para almacenar un programa o programas que, cuando se ejecutan, implementan realizaciones de la presente invención. Por consiguiente, las realizaciones proporcionan un programa que comprende un código para implementar un sistema o método según cualquier reivindicación precedente y un almacenamiento legible por la máquina que almacena dicho
50 programa. Aún más, las realizaciones de la presente invención pueden ser transportadas electrónicamente a través de cualquier medio tal como una señal de comunicación transportada sobre una conexión cableada o inalámbrica y las realizaciones abarcan adecuadamente la misma.

Todas las características divulgadas en esta especificación (incluidas cualesquiera de las reivindicaciones, resumen
y dibujos adjuntos), y/o todas las etapas de cualquier método o proceso así divulgado, se pueden combinar en
55 cualquier combinación, excepto combinaciones donde al menos algunas de tales características y/o las etapas son mutuamente excluyentes.

Cada característica divulgada en esta especificación (incluidas cualesquiera de las reivindicaciones, resumen y
dibujos adjuntos) puede ser reemplazada por características alternativas que tengan el mismo propósito, equivalente
o similar, a menos que se indique expresamente otra cosa. Por lo tanto, a menos que se indique expresamente otra
60 cosa, cada característica divulgada es solo un ejemplo de una serie genérica de características equivalentes o similares.

5 La invención no está restringida a los detalles de ninguna de las realizaciones anteriores. La invención se extiende a cualquier novedad, o cualquier combinación novedosa, de las características divulgadas en esta especificación (incluidas las reivindicaciones, resumen y dibujos adjuntos), o a cualquier novedad, o cualquier combinación novedosa, de las etapas de cualquier método o proceso así divulgado. Las reivindicaciones no deben interpretarse para cubrir simplemente las realizaciones anteriores, sino también cualquier realización que se encuentre dentro del alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para monitorizar una microestructura de un objetivo de metal, que comprende:

una pluralidad de sensores (911, 912, 913, ... 91n) electromagnéticos para emitir un campo magnético, en el que una señal de excitación emitida por cada uno de los sensores electromagnéticos es una forma de onda multifrecuencia, que detecta un campo magnético resultante y que genera una señal de detección en respuesta al mismo;

un sistema (920) de control que comprende una pluralidad de unidades (921, 922, 923, ... 92n) de control cada una asociada con un sensor (911, 912, 913, ... 91n) electromagnético respectivo y dispuestas para recibir las señales de detección de la pluralidad de sensores (911, 912, 913, ... 91n) electromagnéticos), para determinar un cambio de fase entre el campo magnético de salida y el campo magnético resultante en cada una de una pluralidad de frecuencias que forman la forma de onda multifrecuencia para cada una de la pluralidad de sensores (911,912,913, ... 91n) electromagnéticos; caracterizado porque

el sistema de control está dispuesto para determinar una tasa de desarrollo de microestructura de un objetivo de metal en la pluralidad de sensores (911, 912, 913, ... 91n) electromagnéticos) con base en los cambios de fase, y para determinar una desviación de la tasa de desarrollo de microestructura de una tasa de desarrollo de microestructura predeterminada.

2. El sistema de la reivindicación 1, en el que la pluralidad de sensores ((911, 912, 913, ... 91n)) electromagnéticos están dispuestos en una dirección de movimiento del objetivo de metal.

3. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en el que el sistema (920) de control está dispuesto para determinar una evolución de la microestructura del objetivo de metal.

4. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el sistema (920) de control está dispuesto para emitir una señal indicativa de la desviación de la tasa de desarrollo de la microestructura del objetivo de metal, comprendiendo el sistema un procesador (940) para controlar un proceso de producción, en el que el procesador (940) está dispuesto para recibir la señal indicativa de la desviación y para controlar uno o más parámetros del proceso de producción en respuesta al mismo.

5. El sistema de la reivindicación 4, en el que el uno o más parámetros son parámetros de un proceso para enfriar el objetivo de metal.

6. El sistema de la reivindicación 4 o 5, en el que la pluralidad de sensores ((911, 912, 913, ... 91n)) electromagnéticos están separados en un área de enfriamiento del proceso de producción.

7. Un método para monitorizar una microestructura de un objetivo de metal, que comprende:

emitir un campo magnético generado en respuesta a una forma de onda multifrecuencia en una pluralidad de sensores (911, 912, 913, ... 91n) electromagnéticos;

detectar un campo magnético resultante en la pluralidad de sensores (911, 912, 913, ... 91n) electromagnéticos;

determinar una respuesta de fase del campo magnético resultante con respecto al campo magnético de salida en cada una de una pluralidad de frecuencias que forman la forma de onda multifrecuencia;

caracterizado por

determinar una tasa de desarrollo de microestructura de un objetivo de metal en cada una de la pluralidad de sensores (911, 912, 913, ... 91n) electromagnéticos con base en la respuesta de fase; y

determinar una desviación de la tasa de desarrollo de microestructura de una tasa de desarrollo de microestructura predeterminada.

8. El método de la reivindicación 7, en el que la microestructura se determina basándose adicionalmente en una magnitud del campo magnético resultante con respecto al campo magnético de salida.

9. El método de las reivindicaciones 7 u 8, que comprende determinar una tasa microestructural de cambio del objetivo de metal.

10. El método de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, que comprende variar uno o más parámetros de un proceso de producción en respuesta a la microestructura determinada.

11. El método de la reivindicación 10, en el que el uno o más parámetros comprenden parámetros de enfriamiento del objetivo de metal.

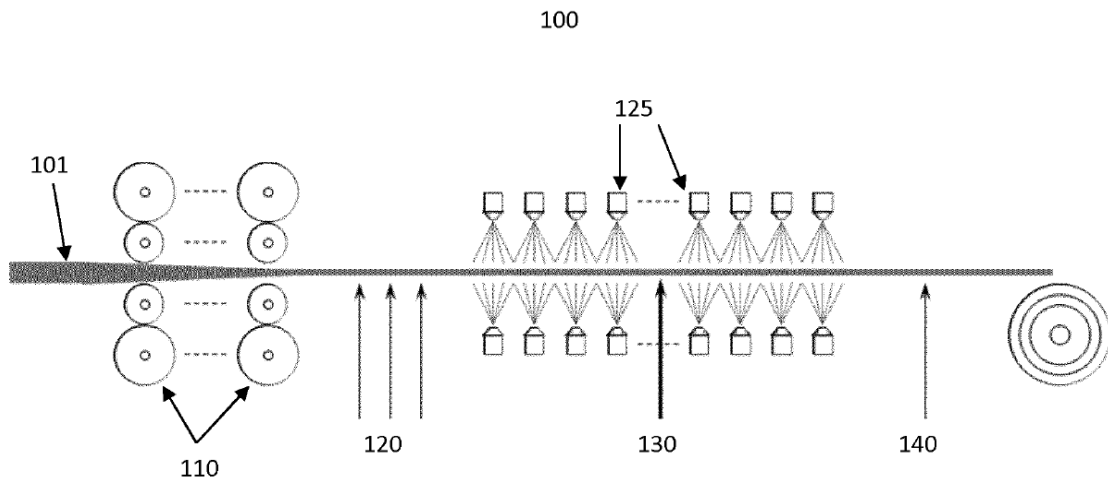


Fig. 1

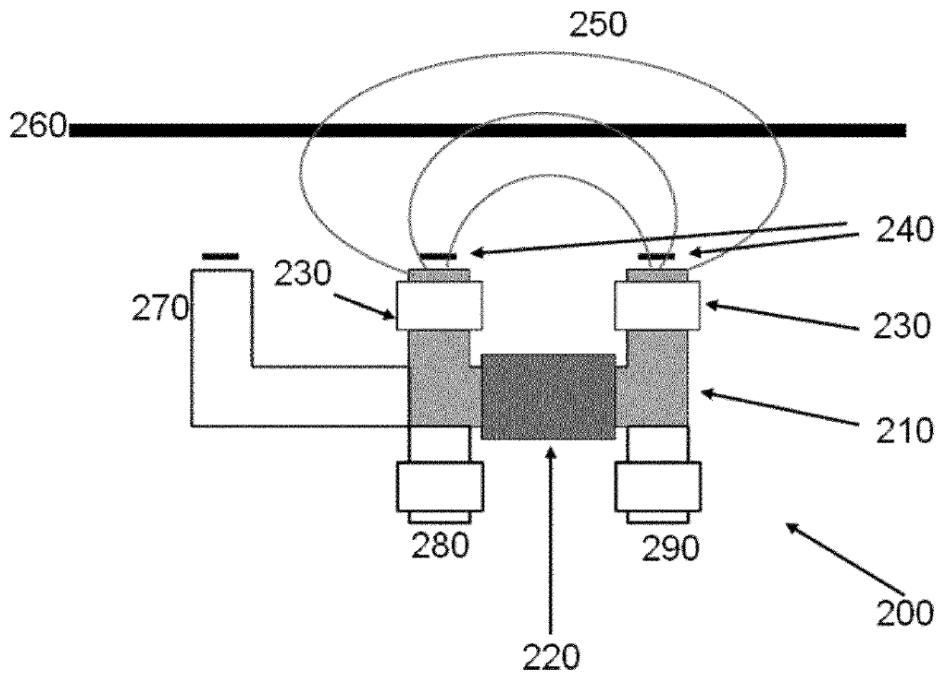


Fig. 2

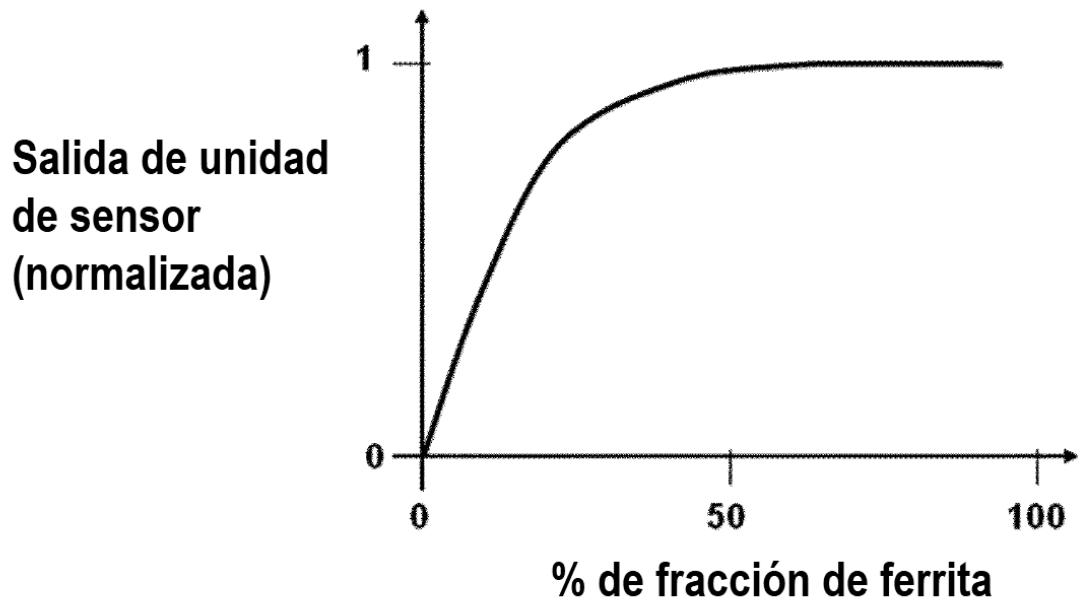


Fig. 3

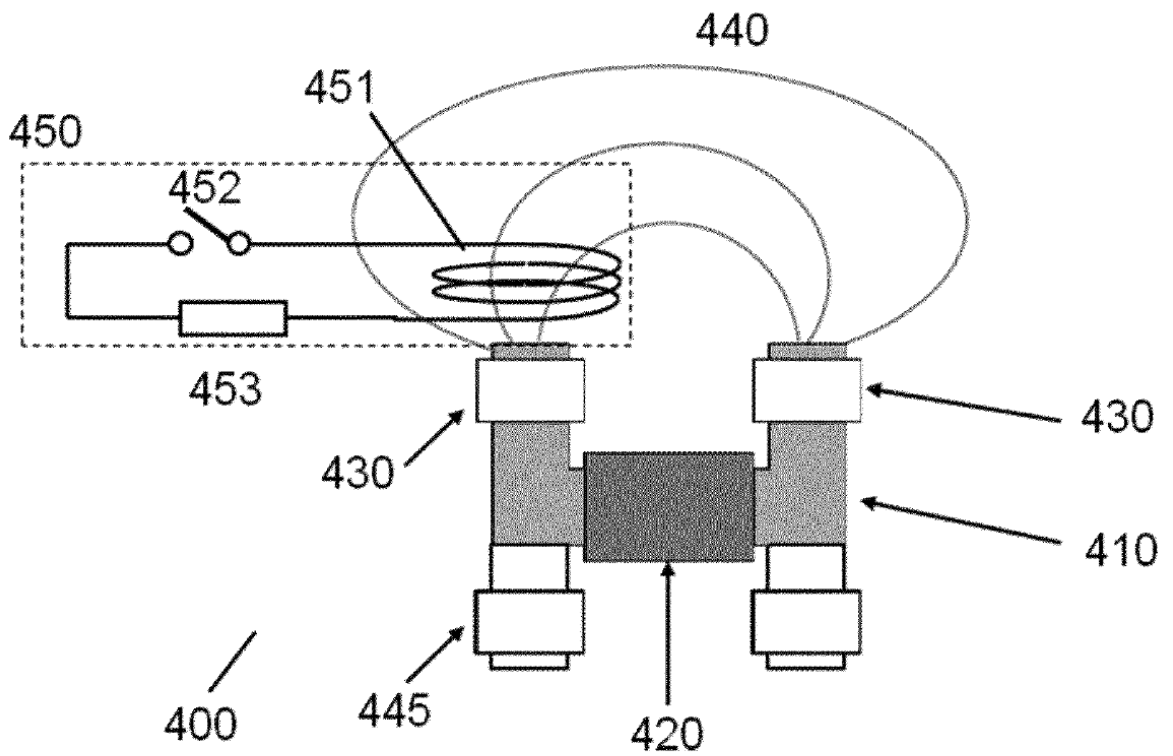


Fig. 4

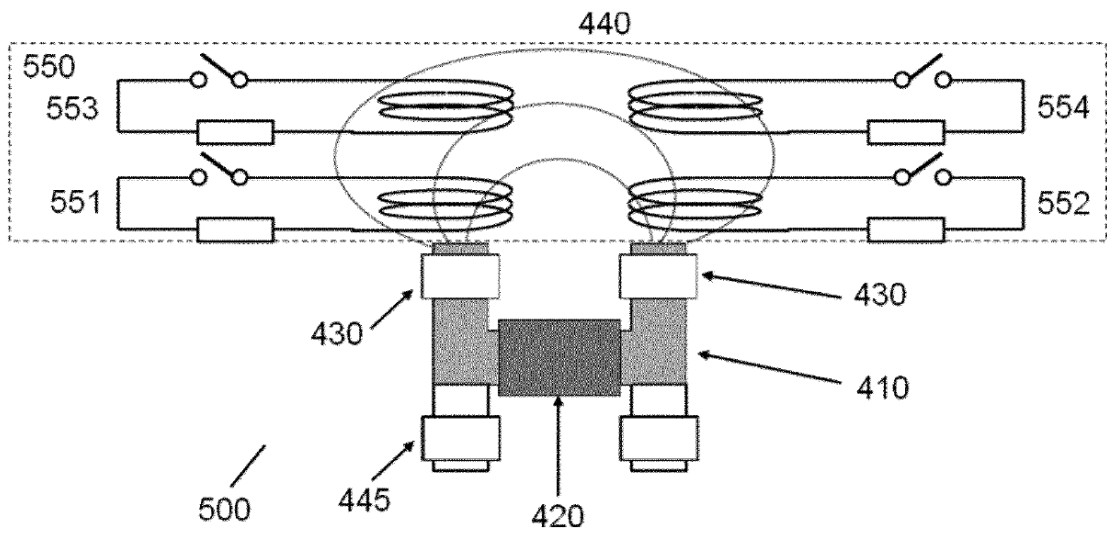


Fig. 5

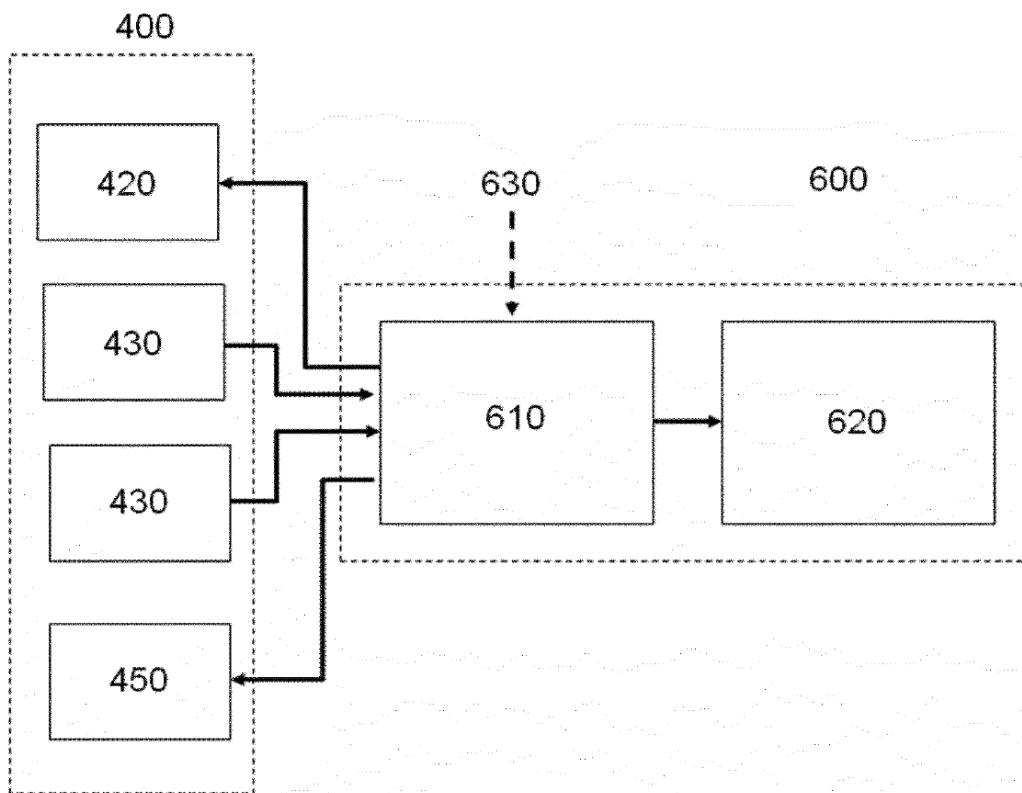


Fig. 6

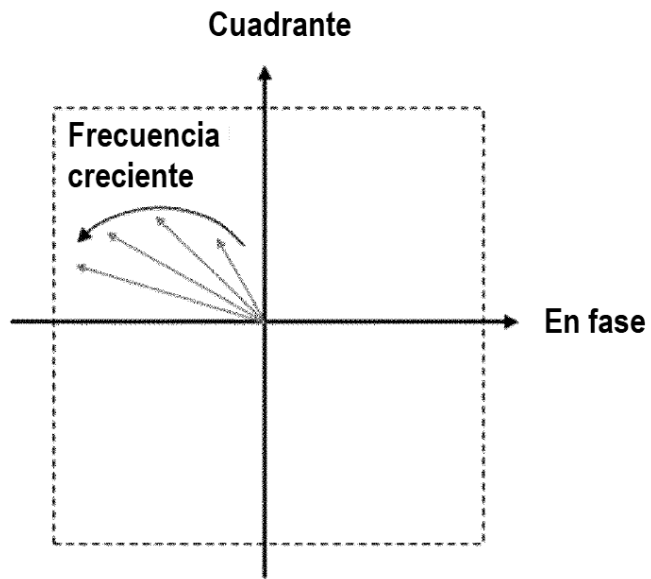


Fig. 7

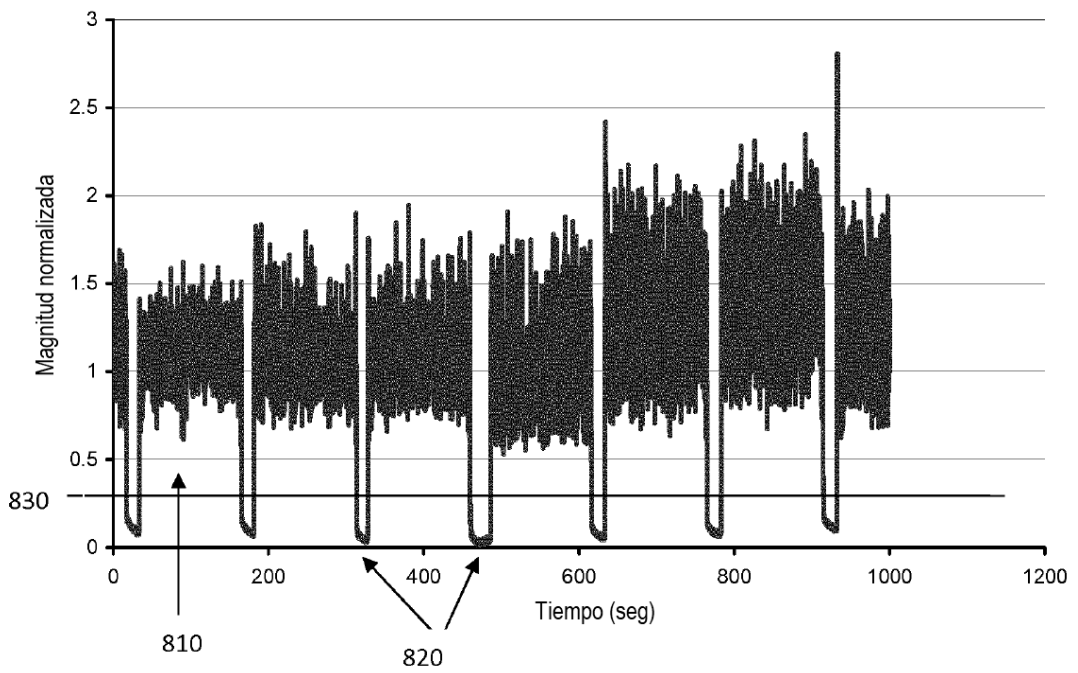


Fig. 8

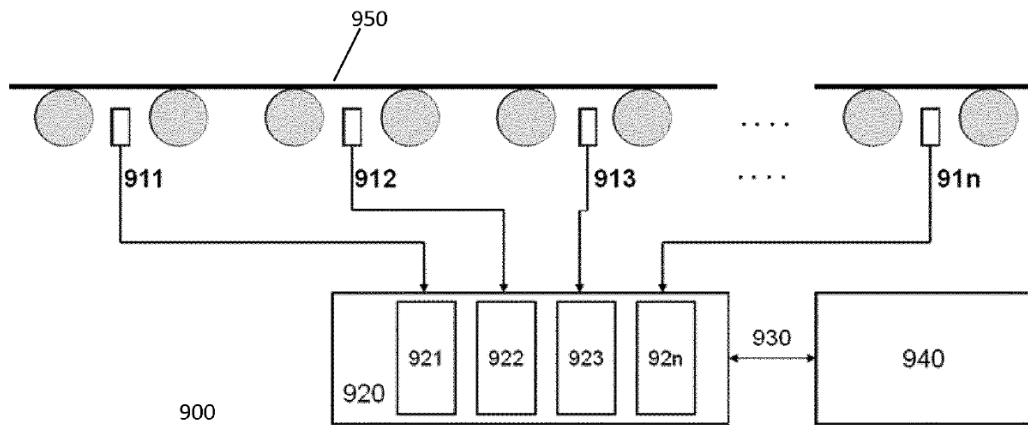


Fig. 9

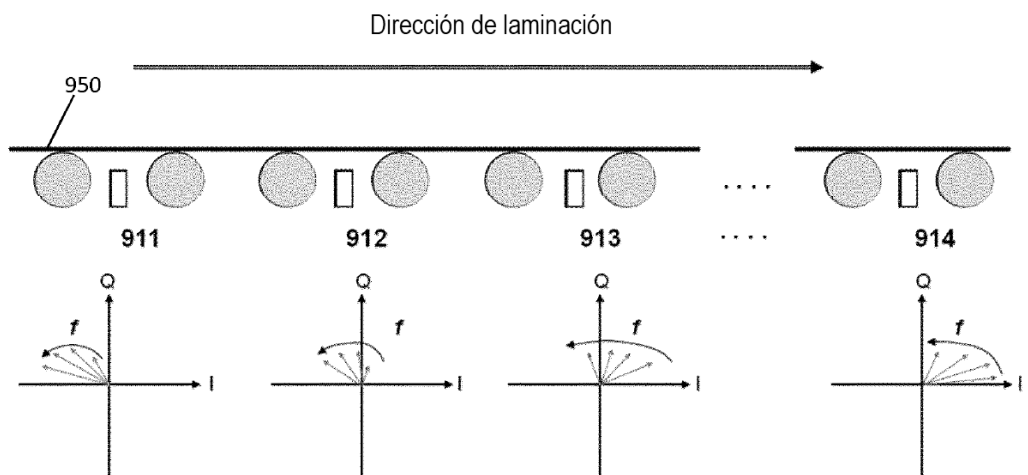


Fig. 10