



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 294 924**

② Número de solicitud: 200600915

⑤ Int. Cl.:

G01N 27/02 (2006.01)

G01B 7/06 (2006.01)

G01N 27/90 (2006.01)

G01R 27/02 (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

② Fecha de presentación: **07.04.2006**

④ Fecha de publicación de la solicitud: **01.04.2008**

④ Fecha de publicación del folleto de la solicitud: **01.04.2008**

⑦ Solicitante/s: **Universidad de Salamanca
Patio de las Escuelas, 1
37008 Salamanca, ES**

⑦ Inventor/es:
**Íñiguez de la Torre Bayo, José Ignacio y
Raposo Funcia, Víctor**

⑦ Agente: **Pons Ariño, Ángel**

⑤ Título: **Método y aparato para medir la conductividad eléctrica así como para efectuar una caracterización estructural y dimensional de muestras metálicas cilíndricas por técnicas inductivas.**

⑤ Resumen:

Método y aparato para medir la conductividad eléctrica así como para efectuar una caracterización estructural y dimensional de muestras metálicas cilíndricas por técnicas inductivas.

Método para medir la conductividad eléctrica así como para efectuar una caracterización estructural y dimensional de muestras metálicas cilíndricas por técnicas inductivas utilizando un aparato que comprende un puente LCR de frecuencia variable o cualquier otro medidor capaz de detectar diferencias de fase entre dos señales alternas, una primera bobina inductora, al menos una segunda bobina sensores que se dispone dentro de la primera bobina inductora, el material problema, que se encuentra colocado entre la primera bobina inductora y la segunda bobina sensora y un elemento que registra la frecuencia y la corriente de la bobina inductora así como el voltaje inducido en la bobina detectora.

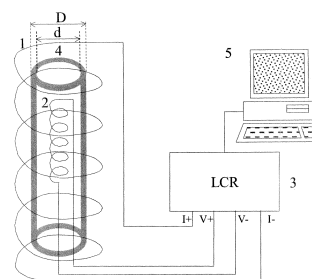


Fig. 1

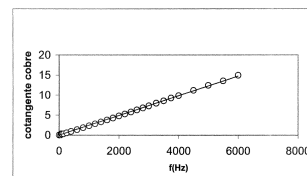


Fig. 2

ES 2 294 924 A1

DESCRIPCIÓN

Método y aparato para medir la conductividad eléctrica así como para efectuar una caracterización estructural y dimensional de muestras metálicas cilíndricas por técnicas inductivas.

5

Campo de la invención

La presente invención hace referencia a un método y un aparato para medir la conductividad eléctrica aplicable a tubos conductores no magnéticos así como a la caracterización de materiales metálicos magnéticos y no magnéticos, por técnicas inductivas.

10

Antecedentes de la invención

La medida precisa de la conductividad eléctrica en materiales conductores no es sencilla. Por lo general se requiere del uso de métodos como el de cuatro puntas, en el que es necesario establecer unos puntos físicos de unión o contactos sobre muestras de geometría muy simple. Esos contactos, muchas veces formados por resinas conductoras de plata, resultan críticos a la hora de efectuar la medida y limitan la precisión del resultado ya que introducen alteraciones en la interfase material-contacto, lo que afecta a la medida de la conductividad. Además existen medidas especiales, como las de materiales superconductores a baja temperatura, en la que no es adecuado aplicar este tipo de métodos. Por esta razón se han desarrollado diferentes técnicas que buscan medir la conductividad eléctrica mediante métodos inductivos. Este tipo de técnicas presenta la ventaja de rapidez y simplicidad, ya que carecen de la necesidad de establecer contactos eléctricos y permiten la detección en línea en materiales incluso a altas temperaturas.

Estas técnicas se basan en la aplicación de un campo magnético sinusoidal cercano a la superficie del material a analizar, que se genera por medio de una bobina inductora.

25

Dicho campo se ve afectado por la presencia del material problema, siendo registrada esa alteración por medio de la propia bobina inductora o por una segunda bobina acoplada inductivamente a la primera.

30

Cuando la técnica emplea una única bobina para inducir y detectar el cambio de impedancia generado por la presencia del metal próximo a la bobina, las variaciones observadas son muy pequeñas, a no ser que se empleen frecuencias muy elevadas, lo que dificulta la posibilidad de obtener medidas precisas.

Sin embargo, la utilización de dos o más bobinas permite obviar estos problemas y se incrementa la precisión de la medida. No obstante, para obtener resultados precisos es necesario alinear adecuadamente las bobinas.

35

Esto obliga a fijar la geometría de las bobinas siendo necesario en ocasiones el ajuste o el desmontaje de las muestras a analizar, dificultando y retrasando el proceso de medida.

40

Todos estos problemas se ven solucionados en la presente invención, ya que en ella se describe una técnica y un aparato de medida basado en métodos inductivos en el que prácticamente no existe limitación por el alineamiento de las bobinas, ya que la conductividad y las características del metal se determinan midiendo simplemente la variación de un ángulo de fase, lo que permite realizar medidas precisas y rápidas sin necesidad de desmontar y montar constantemente el dispositivo y las muestras a medir. Además, la utilización de corriente alterna de baja frecuencia simplifica y abarata los elementos de medida empleados.

45

Breve descripción de la invención

50

En un primer aspecto la presente invención se refiere a un aparato (en adelante aparato de la invención) para medir la conductividad eléctrica de materiales metálicos no magnéticos con geometría cilíndrica hueca (en adelante muestra problema) de forma inductiva que comprende:

a. un puente LCR de frecuencia variable o cualquier otro medidor capaz de detectar diferencias de fase entre dos señales alternas, que incluye, sin carácter limitante a lock-in, osciloscopio o analizador de redes.

55

b. una primera bobina inductora.

c. al menos una segunda bobina sensora que se dispone dentro de la primera bobina inductora, y acoplada inductivamente a la primera bobina, siendo la disposición no limitante para la medida de la conductividad.

60

d. el material problema, que se encuentra colocado entre la primera bobina inductora y la segunda bobina sensora y

65

e. un elemento que registra la frecuencia y la corriente de la bobina inductora así como el voltaje inducido en la bobina detectora.

ES 2 294 924 A1

En un segundo aspecto de la presente invención se refiere al método de medida (en adelante método de la invención) de la conductividad eléctrica sin contactos de materiales metálicos no magnéticos con forma cilíndrica hueca utilizando el aparato de la invención que comprende las etapas de:

- 5 a. situar la muestra problema entre la primera bobina (inductora) y la segunda bobina (detectora),
- b. aplicar una corriente alterna típicamente comprendida, aunque sin carácter limitante, entre 10 Hz y 10 kHz y medir el voltaje inducido en la segunda bobina, teniendo en cuenta que el material problema debe tener unas paredes con un espesor claramente inferior a la profundidad de penetración por efecto "skin".
- 10 c. medir el desfase entre el voltaje inducido y la corriente inductora en función de la frecuencia de la corriente inductora y efectuar una regresión lineal de la cotangente de ese desfase medido en función de la frecuencia.

En un tercer aspecto de la invención se refiere al uso del aparato de la invención para determinar la geometría de materiales metálicos no magnéticos de conductividad conocida con forma cilíndrica hueca.

En un cuarto aspecto de la presente invención se refiere al uso del método de la invención para medir las características estructurales del material problema como son pero sin limitarnos a la determinación de fracturas y grietas o análisis de inhomogeneidades.

Un último aspecto de la invención se refiere al uso del aparato de la invención para evaluar la presencia de alteraciones en materiales magnéticos y no magnéticos que comprende medir el desfase entre el voltaje inducido y la corriente alterna en un rango de frecuencias comprendido entre 10 Hz y 1 MHz y efectuar un análisis en frecuencia de los resultados obtenidos comparando las muestras problemas con muestras calibradas.

Otros aspectos referidos al aparato de medida así como al método de medida se describen detalladamente a continuación.

Descripción de las figuras

Fig. 1 Descripción esquemática del sistema de medida propuesto en la invención. Donde 1 es la bobina inductora, 2 la bobina detectora, 3 es un puente LCR o medidor de fase análogo, 4 es el material problema y 5 es el sistema de adquisición y registro de datos.

Fig. 2 Diagrama de los resultados obtenidos por el sistema en la medida de un tubo de cobre; de la pendiente de la recta se obtiene la conductividad del material con un resultado de $59,6 \times 10^6$ S/m.

Ejemplos de realización de la invención

Los siguientes ejemplos y figuras sirven para ilustrar pero no limitan la presente invención.

Ejemplo 1

Determinación de la conductividad en muestras problema

La realización de las medidas de conductividad se efectúa en un sistema como el mostrado en la figura 1. Éste comprende dos bobinas acopladas, una larga bobina inductora (1) que envuelve el tubo problema y otra pequeña bobina detectora (2) que se encuentra localizada dentro del tubo, a una distancia de su borde de al menos cinco veces su radio. A través de la bobina inductora se hace pasar una corriente eléctrica alterna que es ajustada en frecuencia e intensidad mediante un puente LCR o medidor de fase análogo de frecuencia variable (3), esta corriente alterna genera un voltaje inducido en la bobina detectora (2) que depende de la naturaleza del material problema y su geometría (4). Dicho voltaje se registra y almacena en un ordenador (5) que evalúa los datos en tiempo real.

La medida de la conductividad se realiza colocando la muestra problema, en el dispositivo de medida de acuerdo a la figura 1, entre la bobina inductora y la detectora.

El material problema debe tener unas paredes con un espesor claramente inferior a la profundidad de penetración por efecto "skin", lo que aconsejará sobre el intervalo de frecuencias a utilizar.

Esta geometría simplifica la resolución del sistema, evitando realizar una constante realineación de las bobinas. Ello permite trabajar con piezas de diferentes tamaños sin necesidad de desmontarlas.

Colocada la muestra, las medidas de conductividad se efectúan aplicando una corriente eléctrica alterna a través de la bobina inductora, barriendo en un rango de frecuencias que comprende típicamente, pero no se limita, entre 10 Hz y 10 kHz.

De este modo se induce un campo eléctrico que produce un voltaje en la bobina detectora, el cual depende de la frecuencia de la corriente inductora, de la conductividad y de la geometría del material problema.

ES 2 294 924 A1

5 A partir de los datos obtenidos y representando la cotangente del ángulo de desfase existente entre el voltaje inducido y la corriente inductora frente al rango de frecuencias en el que se tomaron dichos ángulo, se obtiene una recta cuya pendiente es proporcional a la conductividad y permeabilidad magnética del material (es decir, prácticamente la del vacío) e inversamente proporcional al factor geométrico de la muestra problema. A partir de aquí y teniendo en cuenta que es conocida la permeabilidad magnética del vacío y que el factor geométrico para las muestras problema es:

$$10 \quad GF = \frac{1}{\pi \ln\left(\frac{D}{d}\right) \left[\frac{d^2}{4} + \frac{D^2 - d^2 - 2d^2 \ln\left(\frac{D}{d}\right) \left(1 + \ln\left(\frac{D}{d}\right)\right)}{8 \ln^2\left(\frac{D}{d}\right)} \right]}$$

15

siendo D el diámetro externo del tubo y d el diámetro interno, que son también conocidos, se determina la conductividad σ .

20 Para tubos en los que $(D-d)/d \leq 0.1$, el factor geométrico puede aproximarse con una tolerancia mejor que 8×10^{-4} por la expresión más simple:

$$25 \quad GF \approx \frac{6(D+d)}{\pi(D-d)(d^2 + 2dD)}$$

Ejemplo 2

30 *Determinación del calibre de las muestras problema*

La determinación del calibre de las muestras problema cuya conductividad se conoce, se realiza de forma similar a la medida de la conductividad. Así, utilizando la pendiente de la recta obtenida de la cotangente del ángulo de desfase en función de la frecuencia, calculada de igual forma que en el ejemplo anterior, se puede obtener el factor geométrico, del que se puede derivar el calibre o grosor de pared de la muestra problema.

Ejemplo 3

40 *Determinación de las características estructurales*

La determinación de las características estructurales puede derivarse de la conductividad medida en materiales problema cuya conductividad y geometría se conocen. De esta forma, a partir de los datos obtenidos de forma similar al experimento 1, es posible determinar la conductividad del material la cual se ve afectada por la presencia de inhomogeneidades, como por ejemplo óxidos, grietas de fabricación, fisuras por fatiga, muescas, fracturas, corrosión, etc., que provocan descensos en la conductividad cuando se compara con el valor de referencia.

Al objeto de efectuar esta comparación, cuando no se desea una medida absoluta de conductividad debe operarse a frecuencias mayores (típicamente hasta 1 MHz) utilizando dos bobinas detectoras idénticas en oposición de fase y midiendo el voltaje inducido en el conjunto. Estas bobinas pueden estar introducidas en el tubo problema o una en él y la otra en un tubo patrón. El análisis en frecuencia (eddy scope) de los resultados obtenidos, la simulación numérica del problema y la comparación con muestras calibradas permiten hacer la determinación de las características estructurales de la muestra problema.

55

60

65

REIVINDICACIONES

5 1. Aparato para medir la conductividad eléctrica de muestras metálicas cilíndricas por técnicas inductivas: que comprende:

- 10 a. un puente LCR de frecuencia variable o cualquier otro medidor capaz de detectar diferencias de fase entre dos señales alternas.
- b. una primera bobina inductora.
- 15 c. al menos un segunda bobina sensora que se dispone dentro de la primera bobina inductora, y acoplado inductivamente a la primera bobina, siendo la disposición no limitante para la medida de la conductividad.
- d. el material problema, que se encuentra colocado entre la primera bobina inductora y la segunda bobina sensora y
- e. un elemento que registra la frecuencia y la corriente de la bobina inductora así como el voltaje inducido en la bobina detectora.

20 2. Método para medir la conductividad eléctrica de muestras metálicas cilíndricas por técnicas inductivas utilizando el aparato de la reivindicación primera que comprende las etapas de:

- 25 a. situar la muestra problema entre la primera bobina (inductora) y la segunda bobina (detectora),
- b. aplicar una corriente alterna y medir el voltaje inducido en la segunda bobina,
- c. medir el desfase entre el voltaje inducido y la corriente inductora en función de la frecuencia de la corriente inductora y efectuar una regresión lineal de la cotangente de ese desfase medido en función de la frecuencia.

30 3. Método para efectuar una caracterización dimensional de muestras metálicas cilíndricas por técnicas inductivas utilizando el aparato de la reivindicación primera que comprende las etapas de:

- 35 a. situar la muestra problema entre la primera bobina (inductora) y la segunda bobina (detectora),
- b. aplicar una corriente alterna y medir el voltaje inducido en la segunda bobina,
- c. medir el desfase entre el voltaje inducido y la corriente inductora en función de la frecuencia de la corriente inductora; efectuar una regresión lineal de la cotangente de ese desfase medido en función de la frecuencia, obtener el factor geométrico de la muestra y derivar su calibre o espesor.

40 4. Método para efectuar una caracterización estructural de muestras metálicas cilíndricas por técnicas inductivas utilizando el aparato de la reivindicación primera, que comprende las etapas de:

- 45 a. Medir el desfase entre el voltaje inducido y la corriente alterna en un rango de frecuencias comprendido entre 10 Hz y 1 MHz y
- b. Efectuar un análisis en frecuencia de los resultados obtenidos comparando las muestras problemas con muestras calibradas.

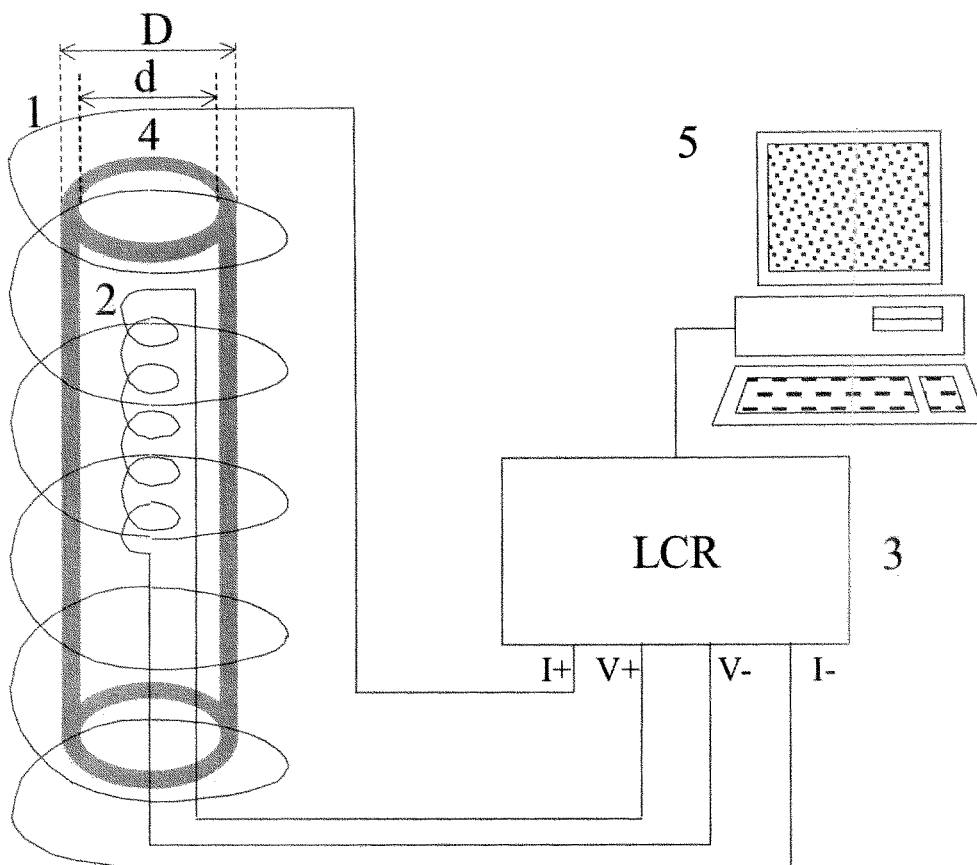


Fig. 1

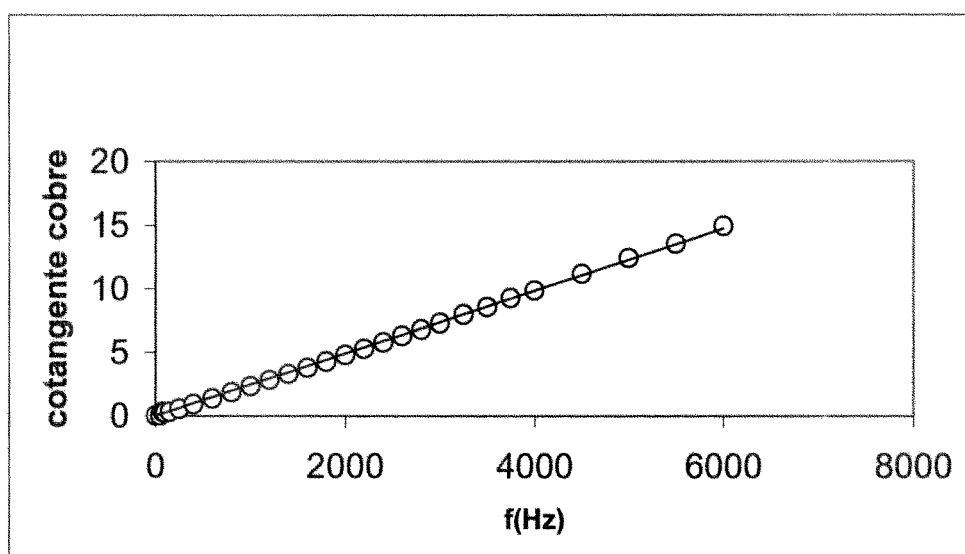


Fig. 2



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① ES 2 294 924

② Nº de solicitud: 200600915

③ Fecha de presentación de la solicitud: 07.04.2006

④ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤ Int. Cl.: Ver hoja adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	EP 0543648 A1 (KAISEI ENGINEER CO LTD) 26.05.1993, página 2, líneas 33-42; página 3, líneas 4-20,44-58; página 4, líneas 1-24,50-55; página 4, línea 58 - página 5, línea 10; página 5, línea 21 - página 7, línea 35; figuras.	1,4
Y		2,3
Y	ES 8606645 A1 (ELECTROMECH DIVISION MARITIME) 01.10.1986, página 5, línea 8 - página 7, línea 3; página 12, líneas 1-16; página 14, línea 26 - página 15, línea 7; página 20, líneas 3-8; página 21, línea 21 - página 22, línea 25; figura 2a.	2,3
A	US 4006405 A (GREENWOOD et al.) 01.02.1977, columna 2, línea 33 - columna 3, línea 14; columna 5, líneas 12-19; columna 5, línea 50 - columna 6, línea 44; figura 1.	1-3
A	US 3936734 A (BRANDLI et al.) 03.02.1976, todo el documento.	1,2
A	US 5311127 A (BISIAUX BERNARD) 10.05.1994, resumen; figura 1.	1,4
A	SU 1219966 A1 (INST FIZ METALLOV URAL) 23.03.1986, (resumen y figura) [en línea] Recuperado de EPO-WPI Database.	2,3

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe 31.01.2008	Examinador E. Martín Malagón	Página 1/2
---	--	----------------------

CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

G01N 27/02 (2006.01)

G01B 7/06 (2006.01)

G01N 27/90 (2006.01)

G01R 27/02 (2006.01)