



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 365 291**

⑫ Número de solicitud: 200950015

⑬ Int. Cl.:
G01B 7/06 (2006.01)

⑭

SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑮ Fecha de presentación: **29.09.2006**

⑯ Fecha de publicación de la solicitud: **28.09.2011**

⑰ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
28.09.2011

⑱ Solicitante/s: **AIRBUS ESPAÑA, S.L.**
Avda. John Lennon, s/n
28906 Getafe, Madrid, ES

⑲ Inventor/es: **Fuente Souviron, Antonio y**
Pascual Fernández, Joaquín

⑳ Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

㉑ Título: **Método para la determinación del espesor de un recubrimiento sobre un material compuesto.**

㉒ Resumen:

Método para la determinación del espesor de un recubrimiento sobre un material compuesto.
Método para determinar el espesor de un recubrimiento sobre un material compuesto aplicando corrientes inducidas caracterizado porque el material compuesto junto con su recubrimiento se coloca sobre un material conductor, en la cual se crean corrientes eléctricas circulantes inducidas por un campo magnético alterno, realizándose posteriormente una medición indirecta basada en la medida del efecto de separación que el recubrimiento, junto con el material compuesto, ofrece en corrientes inducidas frente al citado material conductor.

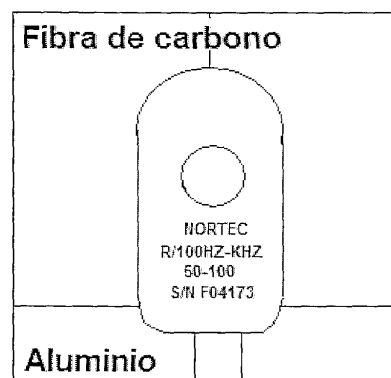


FIGURA 7

ES 2 365 291 A1

DESCRIPCIÓN

Método para la determinación del espesor de un recubrimiento sobre un material compuesto.

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un método para la determinación de espesores de recubrimientos sobre materiales compuestos mediante la aplicación de corrientes inducidas.

10 Antecedentes de la invención

Las corrientes inducidas o corrientes de Eddy (también conocidas como corrientes parásitas o corrientes de Foucault) son corrientes eléctricas circulantes inducidas por un campo magnético alterno en un conductor aislado. Sobre un material aislante no se inducen corrientes de Eddy, atravesando el campo magnético alterno el citado material no conductor.

Es bien conocido en la actualidad el uso de corrientes inducidas como método de ensayo no destructivo para la determinación de espesores de un recubrimiento no conductor sobre un metal conductor, o el espesor de un recubrimiento metálico no magnético sobre un metal magnético. Sin embargo, no existe en la actualidad un método fiable para la aplicación de corrientes inducidas en la medida de espesores sobre materiales compuestos, tal como fibra de carbono, ya que este material, aunque conductor, presenta una conductividad eléctrica muy baja.

Se han propuesto en la actualidad otro tipo de técnicas, tales como técnicas de ultrasonidos, como ensayos no destructivos para determinar espesores sobre materiales compuestos, si bien este tipo de técnicas emplean equipos muy complejos y no han dado resultados fiables.

La presente invención está orientada a la solución de estos inconvenientes.

Sumario de la invención

La presente invención propone un método de medida indirecto para determinar el espesor de un recubrimiento sobre un material compuesto, tal como fibra de carbono, que comprende las siguientes etapas:

- disponer el material compuesto junto con su recubrimiento en una configuración plana tal que tenga espesor constante en las áreas de medida y comprenda una zona libre de recubrimiento;
- disponer la cara del material compuesto sin recubrimiento sobre una chapa de material conductor de espesor constante;
- generar corrientes inducidas sobre el material conductor mediante un equipo generador de corrientes inducidas de tipo multicanal;
- escoger un palpador de baja frecuencia y alto poder de penetración para realizar las medidas, ajustando la ganancia del mismo al ajuste que se desee obtener en la medición;
- realizar la calibración a cero del método midiendo con el palpador la zona del material compuesto libre de recubrimiento;
- realizar una calibración de referencia midiendo con el palpador una fibra de material compuesto calibrada;
- realizar la medida del material compuesto junto con su recubrimiento con el palpador;
- determinar el espesor del recubrimiento del material compuesto teniendo en cuenta el efecto de la disminución de la intensidad de las corrientes inducidas al atravesar el material compuesto y el recubrimiento cuando dichas corrientes se alejan del equipo generador de las mismas, en base a la medida del efecto de la separación que el recubrimiento y el material compuesto ofrecen en corrientes inducidas frente a la chapa de material conductor.

Otras características y ventajas de la presente invención se desprenderán de la descripción detallada que sigue de una realización ilustrativa de su objeto en relación con las figuras que le acompañan.

60 Descripción de las figuras

La Figura 1 muestra la representación en pantalla de la calibración a cero del método de medida objeto de la invención.

La Figura 2 muestra la representación en pantalla de la calibración, empleando como referencia fibra de poliéster Mylar de 175 μm , del método de medida objeto de la invención.

La Figura 3 muestra una de las probetas objeto de ensayo del método de medida objeto de la invención.

ES 2 365 291 A1

La Figura 4 muestra una micrografía que representa la rugosidad de un material compuesto con superficie texturada, que constituye una dificultad adicional al método de medida de la invención.

La Figura 5 muestra las micrografías practicadas sobre una de las probetas examinadas con el método de medida de la invención.

La Figura 6 muestra la curva de resultados obtenidos del ensayo de las probetas examinadas con el método objeto de la invención frente a los datos reales.

La Figura 7 muestra la colocación del palpador de medida sobre el material compuesto a medir según el método de medida de la presente invención.

Descripción detallada de la invención

El método de determinación del espesor de un recubrimiento sobre un material compuesto, tal como fibra de carbono, desarrollado por la presente invención consiste en realizar una medida indirecta, considerando el material compuesto o fibra de carbono y el recubrimiento como una separación (*Lift-Off*) frente a una chapa plana de metal, tal como una chapa de aleación de aluminio.

El método descrito en esta invención es aplicable a una amplia gama de espesores de recubrimientos, que van desde 20 μm a 300 μm , ya que en ningún caso son espesores tan gruesos como para no ser atravesados por la técnica de baja frecuencia aquí propuesta.

Espesores finos de fibra de carbono, principalmente de 1 a 5 mm, permiten obtener resultados muy fiables en la medida de los espesores del recubrimiento, ya que tienen mayor importancia relativa en la separación de variables.

La chapa de aluminio ha de tener un espesor adecuado, preferiblemente de más de 2 mm, y ha de estar sin plaquear. Chapas de 2024, 7075, etc., y en diferentes estados de tratamiento, son adecuadas para realizar la calibración y, por tanto, las medidas.

Los resultados obtenidos con el presente método se contrastan con medidas de corte micrográfico, que son las determinantes en situaciones de litigio.

Ejemplos

Seguidamente vamos a exponer los resultados obtenidos en un ejemplo concreto de realización de la invención utilizando como equipo de corrientes inducidas el Zetec MIZ-40 A multicanal, como equipo micrográfico un Analizador de Imagen Leica Q 550 MW, y como palpador de medida un palpador tipo Donut Nortec/R/100 Hz - 1 kHz/.50 - 1.00 pulgadas, absoluto, P/N 9215653/S/N F04173 con las siguientes características:

- Frecuencia: 950 Hz
- Ángulo: 233°
- Ganancia: 41 dB
- Escala horizontal: 2,0 V/D
- Escala vertical: 0,4 V/D
- Drive: 16.

Primeramente, se procede a realizar la calibración del cero empleando para ello una probeta de fibra de carbono libre de pintura, que es el recubrimiento medido en este caso concreto. Como puede observarse en la Figura 1, que muestra la representación en pantalla del equipo, en la que al tratarse de la medida del efecto de separación o Lift-off, el ángulo o fase del vector impedancia se ha ajustado a 233° para obtener una representación vertical, la línea vertical descendente se sitúa en el primer cuadro de altura de pantalla, alcanzando por tanto una altura de 1 cuadro (sobre 8 en total), que corresponde a la probeta de fibra de carbono libre de pintura, esto es, al cero de la calibración.

Seguidamente, se procede a realizar la calibración en base a una lámina de poliéster tipo Mylar calibrada de 175 μm sobre una probeta de fibra de carbono, según se representa en la Figura 2. El lift-off llega hasta el cuadro 6 de altura de pantalla, lo que provoca 5 cuadros de variación. Cinco cuadros de pantalla equivalen pues a 175 μm en la presente calibración (1 cuadro = 35 μm). Dependiendo del margen de espesores a medir será posible calibrar el equipo con una amplitud suficiente para poder ajustar la calibración en cada caso concreto.

En la Figura 3 se puede observar una de las probetas que fueron objeto de ensayo, la cual comprende 5 zonas de trabajo: 1.- área libre de pintura (para calibrar el cero del equipo), de color negro; 2.- primera capa de pintura, blanca; 3.- segunda capa de pintura, amarilla; 4.- tercera capa de pintura, gris; y 5.- cuarta capa de pintura, azulada. Una vez

ES 2 365 291 A1

realizada la calibración anterior, con el ajuste del cero y la referencia de la fibra de poliéster tipo Mylar de 175 μm , se procedió a las lecturas de espesor de cada una de las capas en diferentes probetas, contrastando las mismas frente a las medidas absolutas de la micrografía.

La probeta ensayada de la Figura 3 tiene un espesor nominal de fibra de 1,6 mm. Evidentemente, espesores menores o mayores necesitarían un ajuste de la ganancia del palpador de baja frecuencia para conseguir la misma amplitud, en el mismo sentido que el espesor. Así por ejemplo, espesores de fibra de 3,2 mm requieren 44 dB en lugar de los 41 dB utilizados en la anterior calibración.

Otra cuestión importante a considerar es la superficie de acabado de la fibra de carbono a examinar. Materiales compuestos con superficies texturadas son muy rugosos, y ello puede hacer difícil la medida de espesores de pintura muy finos, en particular si a ello se añade un espesor considerable de dicha fibra. Para espesores pequeños, como en este ejemplo (1,6 mm), este hecho se puede minimizar efectuando presión con el palpador sobre la fibra y la chapa soporte de aluminio, así como gracias a la amplia configuración redondeada del palpador tipo Donut empleado.

Así, la micrografía de la Figura 4 representa la rugosidad de un material compuesto con superficie texturada, que llega hasta un valor máximo de casi 125 μm .

Otra cuestión de relevancia en este método es la importancia que tiene el cero de calibración, que ha de realizarse entre cada una de las medidas con objeto de evitar al máximo las fluctuaciones que pudieran interferir en las mismas. Esto conlleva calibrar el cero previamente a cada lectura.

A continuación, la Tabla 1 muestra los resultados obtenidos en las probetas ensayadas por el método de corrientes inducidas de la invención *versus* los datos reales del corte micrográfico de estas probetas, así como dos fibras de poliéster de referencia tipo Mylar empleadas en la calibración del método, en los márgenes de medida.

TABLA 1

Capa	1		2		3		4	
Probeta	Real	Obte.	Real	Obte.	Real	Obte.	Real	Obte.
2	42	39	68	49	139	105	172	161
3	41	35	52	70	114	98	139	140
4	41	42	55	70	105	105	140	143
5	43	49	54	70	90	105	135	133

Mylars: 195/193 18,9/17,5 en μm

Haciendo referencia a la Figura 6, que muestra la curva de resultados obtenidos, lineal, se puede observar un mayor ajuste en los márgenes de trabajo (40 y 140 μm) y una mayor dispersión en los tramos centrales (70 y 100 μm), probablemente debida a una falta de homogeneidad en las capas 2ª y 3ª de pintura, y a la mayor incidencia relativa de la rugosidad de la fibra, al tratarse de una superficie texturada. Sin embargo, el ajuste es suficientemente bueno y preciso, si tenemos en cuenta las limitaciones de partida.

Así, el método de determinación del espesor de un recubrimiento sobre un material compuesto empleando corrientes inducidas, desarrollado por la presente invención, tiene las características principales que se detallan a continuación:

- la medida es indirecta, considerando el revestimiento de fibra de carbono y el revestimiento de pintura como Lift-off frente a una chapa plana de aleación de aluminio;
- la configuración, normalmente plana, permite el acceso a ambas caras de la fibra;
- se necesita una zona de material libre de pintura para calibrar el cero del método de medida;
- la calibración a cero ha de ser previa a cualquier medida, con objeto de obviar posibles fluctuaciones del método;
- cuanto mayor es el espesor de fibra, la ganancia necesaria en el palpador de medida es mayor;

ES 2 365 291 A1

- es preciso utilizar un palpador de baja frecuencia, tipo Donut, con una frecuencia tal que le otorgue un alto poder de penetración; y
- el ajuste obtenido depende de la ganancia del palpador empleado, estando en torno a $15\text{ }\mu\text{m}$.

5

En la realización preferente que acabamos de describir pueden introducirse aquellas modificaciones comprendidas dentro del alcance definido por las siguientes reivindicaciones.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Método de medida para determinar el espesor de un recubrimiento sobre un material compuesto **caracterizado** porque comprende las siguientes etapas:

- disponer el material compuesto junto con su recubrimiento en una configuración plana tal que tenga espesor constante en las áreas de medida y comprenda una zona libre de recubrimiento;
- disponer la cara del material compuesto sin recubrimiento sobre una chapa de material conductor de espesor constante;
- generar corrientes inducidas sobre el material conductor mediante un equipo generador de corrientes inducidas de tipo multicanal;
- escoger un palpador de baja frecuencia y alto poder de penetración para realizar las medidas, ajustando la ganancia del mismo al ajuste que se desee obtener en la medición;
- realizar la calibración a cero del método midiendo con el palpador la zona del material compuesto libre de recubrimiento;
- realizar una calibración de referencia midiendo con el palpador una fibra de material compuesto calibrada;
- realizar la medida del material compuesto junto con su recubrimiento con el palpador;
- determinar el espesor del recubrimiento del material compuesto teniendo en cuenta el efecto de la disminución de la intensidad de las corrientes inducidas al atravesar el material compuesto y el recubrimiento cuando dichas corrientes se alejan del equipo generador de las mismas, en base a la medida del efecto de la separación que el recubrimiento y el material compuesto ofrecen en corrientes inducidas frente a la chapa de material conductor.

2. Método de medida para determinar el espesor de un recubrimiento sobre un material compuesto según la reivindicación 1 **caracterizado** porque el espesor del recubrimiento va desde 20 a 300 μm .

3. Método de medida para determinar el espesor de un recubrimiento sobre un material compuesto según la reivindicación 1 **caracterizado** porque el material compuesto es fibra de carbono.

4. Método de medida para determinar el espesor de un recubrimiento sobre un material compuesto según la reivindicación 1 **caracterizado** porque el material conductor tiene un espesor constante mayor o igual de 2 mm.

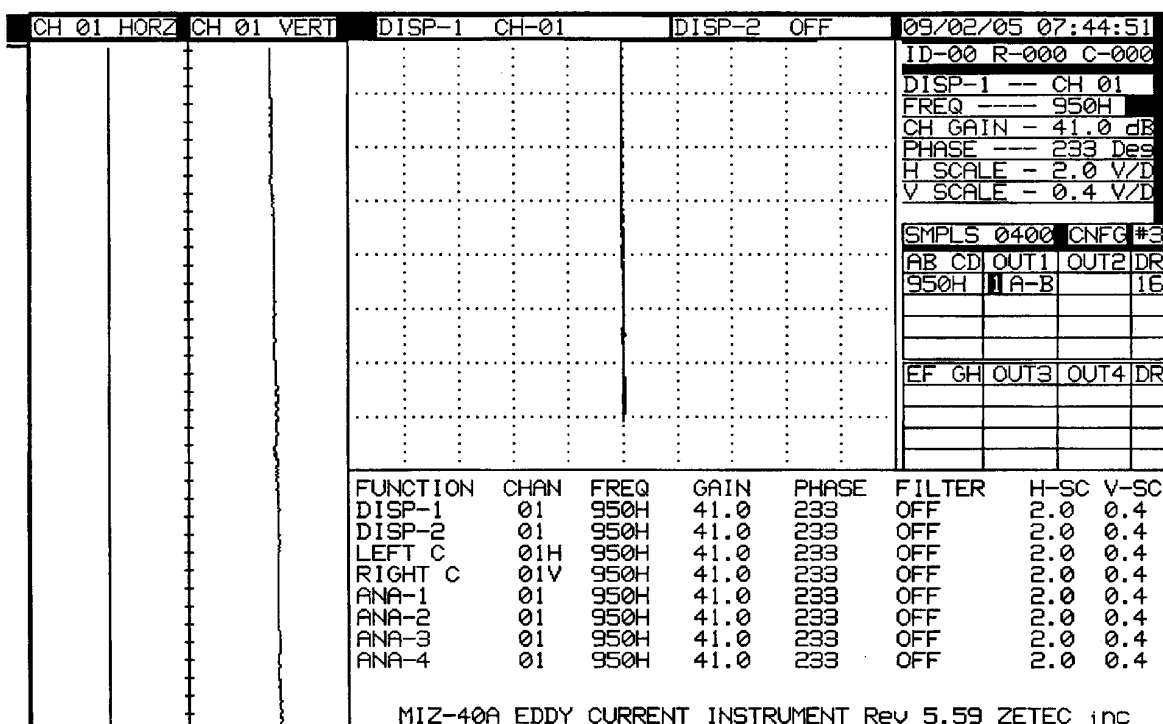


FIGURA 1

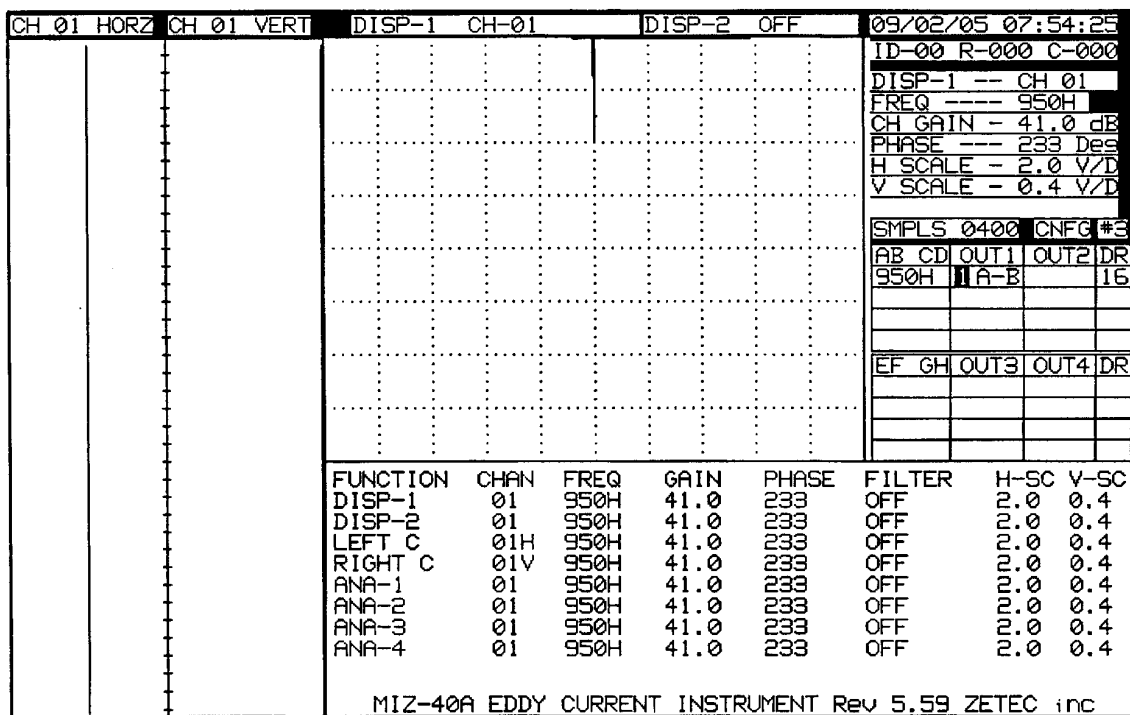


FIGURA 2

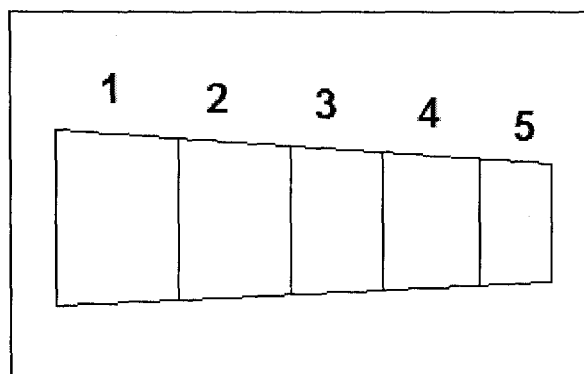


FIGURA 3

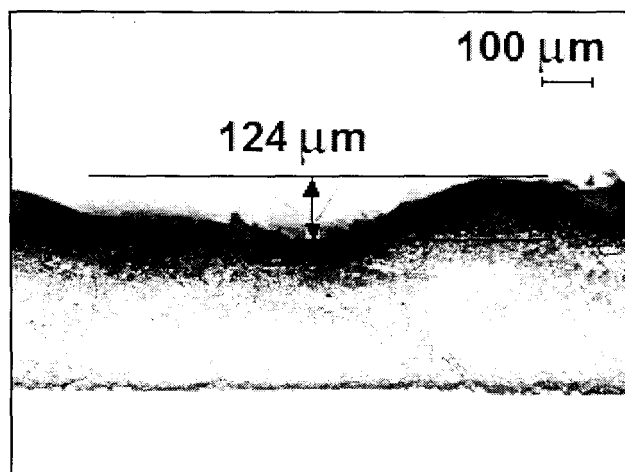


FIGURA 4

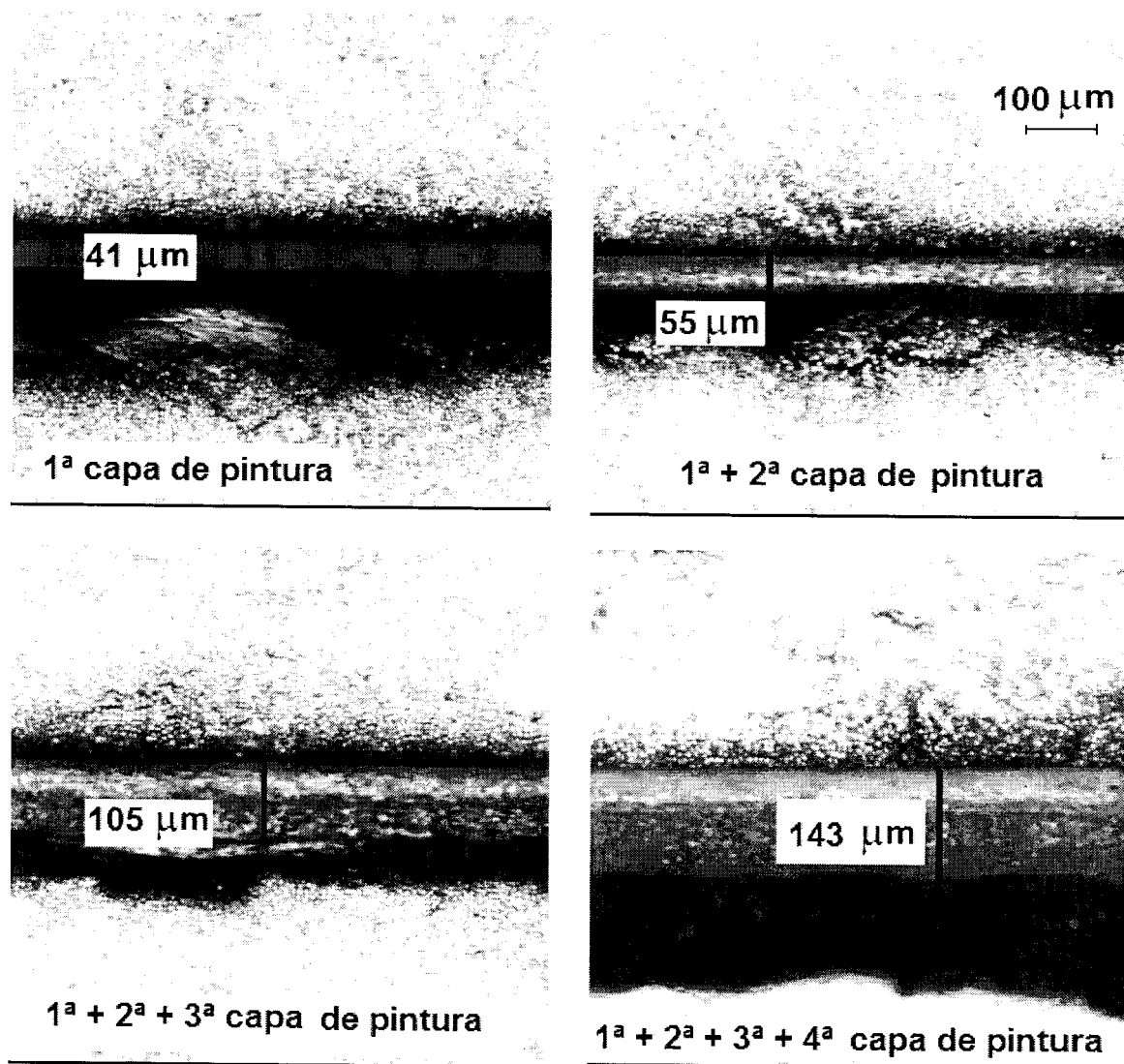


FIGURA 5

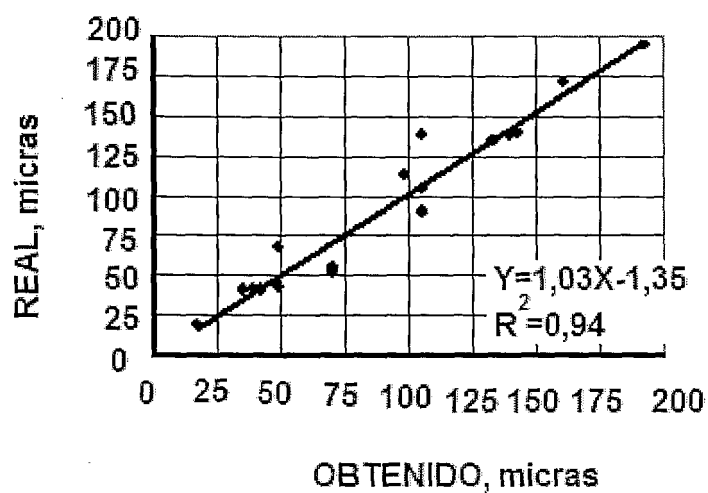


FIGURA 6

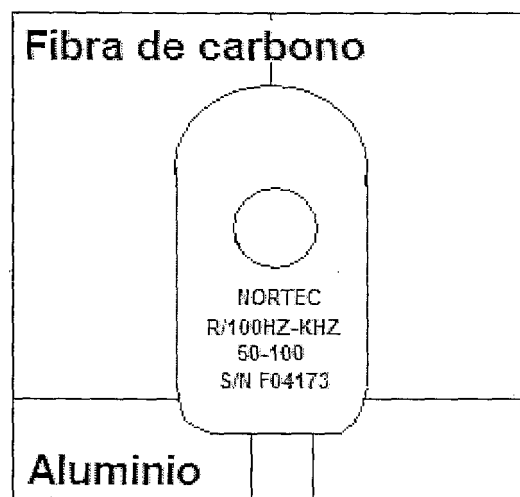


FIGURA 7



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 200950015

②② Fecha de presentación de la solicitud: 29.09.2006

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **G01B7/06** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	US 6793865 B2 (KAPTEYN KELVIN L et al.) 21.09.2004, párrafos [9],[16-20],[24]; reivindicación 1; figuras.	1-4
X	US 4695797 A (DEUTSCH PRUEF MESSGERAETE) 22.09.1987, reivindicaciones 11,14.	1-4
X	US 4745809 A (GRUMMAN AEROSPACE CORP) 24.05.1988, columna 2, líneas 43-61; figura 1; reivindicación 1.	1-4
A	WO 9009584 A1 (BELL HELICOPTER TEXTRON INC) 23.08.1990, resumen; figuras.	1-4

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
14.09.2011

Examinador
E. P. Pina Martínez

Página
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01B

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 14.09.2011

Declaración**Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)**

Reivindicaciones 1-4
Reivindicaciones

SI
NO

Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)

Reivindicaciones
Reivindicaciones 1-4

SI
NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	US 6793865 B2 (KAPTEYN KELVIN L et al.)	21.09.2004

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

Se considera D01 el documento del estado de la técnica anterior más próximo al objeto de la solicitud entre todos los documentos recuperados en la búsqueda realizada. Este documento afecta a la actividad inventiva de todas las reivindicaciones, tal y como se explicará a continuación.

Reivindicación 1

El documento D01 describe el siguiente método (las referencias entre paréntesis se refieren a D01):

Método de medida para determinar el espesor de un material compuesto que comprende las siguientes etapas:

- disponer el material compuesto (12) en una configuración plana tal que tenga espesor constante en las áreas de medida (ver figura 1)
- disponer la cara del material compuesto sin recubrimiento sobre una chapa de material conductor (14) de espesor constante;
- generar corrientes inducidas sobre el material conductor;
- escoger un sensor o palpador de baja frecuencia (párr.16) ;
- realizar una calibración de referencia midiendo con el sensor una material compuesto calibrado (párr. 24);
- realizar la medida del material compuesto con el sensor;
- determinar el espesor del recubrimiento del material compuesto teniendo en cuenta el efecto de la disminución de la intensidad de las corrientes inducidas al atravesar el material compuesto cuando dichas corrientes se alejan del equipo generador de las mismas, en base a la medida del efecto de la separación que el material compuesto ofrece en corrientes inducidas frente a la chapa de material conductor (párr. 18).

La diferencia entre este método y el reivindicado en la solicitud reside en los aspectos referentes al tipo de material con recubrimiento sobre el que se aplica el método reivindicado, lo que deriva en una etapa de calibración a cero sobre una zona del material libre de recubrimiento no descrita en D01.

No obstante, se considera que el método descrito en D01 sería igualmente aplicable a dicho tipo de materiales, y que un experto en la materia incluiría en el método descrito una etapa de calibración a cero sobre una zona sin recubrimiento, como la definida en la reivindicación 1, lo que haría sin el ejercicio de un esfuerzo inventivo ya que este tipo de proceder se encuentra dentro de las técnicas estándar de calibración utilizadas en los sectores de la técnica relacionados.

Por consiguiente, a la vista del estado de la técnica anterior, se considera que la reivindicación 1 carece del requisito de actividad inventiva, según lo establecido en el Art. 8.1 de la Ley de Patentes 11/86.

Reivindicaciones 2-4

Las reivindicaciones dependientes no comprenden etapas del método novedosas ni alternativas que les confieran el requisito de actividad inventiva frente al estado de la técnica anterior.

En conclusión, a la vista del estado de la técnica anterior la solicitud no satisface los requisitos de patentabilidad que se establecen en el Art. 4.1 de la Ley de Patentes 11/86.