

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 653 618**

51 Int. Cl.:

**G01N 29/04** (2006.01)

**G01N 29/24** (2006.01)

**G01N 21/17** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.02.2012 PCT/EP2012/052481**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.08.2012 WO12110492**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.02.2012 E 12704074 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.11.2017 EP 2676130**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento de control no destructivo por ultrasonidos utilizando un láser**

30 Prioridad:

**14.02.2011 FR 1151183**

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

**08.02.2018**

73 Titular/es:

**AIRBUS (S.A.S.) (100.0%)  
2, Rond Point Emile Dewoitine  
31700 Blagnac, FR**

72 Inventor/es:

**VOILLAUME, HUBERT y  
CAMPAGNE, BENJAMIN**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 653 618 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

Dispositivo y procedimiento de control no destructivo por ultrasonidos utilizando un láser

La invención concierne a un dispositivo y a un procedimiento de control no destructivo por ultrasonidos utilizando un láser. La invención está adaptada de modo más particular al control de una pieza estructural constituida de un material compuesto con refuerzo fibroso, comprendiendo la citada pieza especialmente ensamblajes según diversas técnicas de pegado o de soldadura. A título de ejemplo, no limitativo, el dispositivo y el procedimiento de acuerdo con la invención permiten controlar piezas que comprendan paneles de material compuesto ensamblados en nido de abejas, o estructuras de material compuesto que reciban revestimientos, tales como placas de cerámica. Las aplicaciones de la invención están adaptadas principalmente, pero no exclusivamente, para el control de piezas estructurales de grandes dimensiones en el ámbito aeronáutico o aeroespacial.

Se conoce de la técnica anterior utilizar técnicas de control no destructivo basadas en el análisis de la propagación de ondas ultrasónicas en un medio que constituye una pieza. Los dispositivos de control de este tipo comprenden medios generadores de una onda ultrasónica, acoplados acústicamente a la pieza, para transmitirla una onda mecánica, y medios de detección para medir las características de propagación de esta onda. La presencia de discontinuidades en el medio de propagación crea ecos o atenuaciones de la onda, de esta manera estas discontinuidades pueden ser detectadas. Ejemplos de discontinuidades son agujeros, deslaminados, variaciones de densidad, etc. De esta manera, la regulación de la sensibilidad de detección permite detectar las discontinuidades susceptibles de reflejar defectos perjudiciales para la calidad de la pieza controlada. La frecuencia de la onda ultrasónica permite igualmente discriminar las discontinuidades según su naturaleza.

En el caso de una pieza que comprenda ensamblajes, existen discontinuidades debido a las interfaces entre los diferentes elementos que constituyen el ensamblaje. De esta manera, es difícil controlar en el transcurso de la misma operación, la presencia de defectos, o discontinuidades, en el interior de los elementos ensamblados y la cohesión de la interfaz de ensamblaje, los cuales no son revelados por las mismas frecuencias de onda. De esta manera, los defectos de cohesión en las interfaces influyen en las propagaciones de las grandes longitudes de onda, es decir de las bajas frecuencias, en la gama del kilohercio ( $10^3$  hercios o kHz) mientras que los defectos intrínsecos de las piezas influyen más bien las propagaciones de las longitudes de onda cortas, es decir de las altas frecuencias del orden del megahercio ( $10^6$  hercios o MHz). Hay correlación entre la dimensión media de los defectos detectados y la longitud de onda de la señal acústica que permite su detección.

Se conoce igualmente de la técnica anterior utilizar para la generación de la onda ultrasónica un pulso fotoelástico en la superficie de la pieza por medio de un haz láser, denominado de excitación. La figura 1, relativa a la técnica anterior, ilustra esquemáticamente este principio. El control ultrasónico de una pieza por este procedimiento consiste en producir una perturbación localizada (112) en la superficie (101) de una pieza (100) por efecto fotoelástico exponiendo una superficie pequeña de la pieza a la energía facilitada en forma de pulsos por un haz láser (110) de excitación generado por una fuente (100) adaptada, por ejemplo un láser de tipo TEA  $\text{CO}_2$ . Esta perturbación de la superficie (101) produce una onda mecánica (113) que se propaga de manera elástica en el interior de la pieza, a la velocidad del sonido en el medio que constituye la citada pieza. La excitación por pulsos de la superficie crea una sollicitación de la pieza según un amplio espectro de frecuencias. Un segundo haz láser, denominado de detección, ilumina la superficie en la zona objetivo, generalmente próxima o confundida con la zona de excitación, según una duración de pulsos dada. El haz es reflejado por la superficie y modificado por las vibraciones de ésta cuyas vibraciones pueden ser medidas por un interferómetro. En presencia de un defecto (130) en el interior de la pieza, una parte de la onda elástica (113) se reflejará sobre este defecto (130), onda reflejada que, al propagarse, llega de nuevo a la superficie (101) de emisión donde la misma puede ser detectada por el dispositivo de medición (120), lo mismo que este dispositivo de medición (120) detecta el eco de fondo, correspondiente a la reflexión de la onda elástica (113) sobre la superficie opuesta (102) de la pieza (100). La onda reflejada sobre el defecto (130) llega a la superficie de emisión (101) antes que el eco de fondo, de modo que la medición de una perturbación de la superficie (101) antes que el retorno del eco de fondo atestigua la presencia de una discontinuidad, y la medición del tiempo que separa la medición de esta deformación de superficie del instante del pulso inicial (112) permite determinar la profundidad de defecto (130) con respecto a la superficie de emisión (101). Las longitudes de onda acústica analizadas dependen del pulso del haz de detección y de la banda pasante del interferómetro.

Se conoce igualmente de la técnica anterior la utilización de un interferómetro fotorrefractivo de dos ondas, designado habitualmente por interferómetro TWM, como acrónimo de la expresión inglesa « Two Wave Mixing ». Este tipo de interferómetro utiliza un cristal fotorrefractivo cuyo cristal es excitado, o bombardeado, por un haz denominado de referencia. La reflexión del haz señal de detección en la superficie de la pieza es igualmente dirigida hacia el cristal fotorrefractivo en el que los dos haces se interfieren. A tal fin, una parte pequeña de la potencia del haz de detección es derivada para ser utilizada como bomba para el interferómetro TWM. La utilización de una parte del propio haz láser de detección como referencia permite disponer de una referencia siempre de acuerdo con el citado haz láser de detección. El interferómetro TWM presenta la ventaja de tener una sensibilidad sensiblemente constante en una amplia gama de frecuencias, del kHz al MHz. De esta manera, modulando las características, especialmente la intensidad, del haz señal de referencia es posible medir la respuesta de la pieza a la excitación producida por el haz de excitación para diferentes gamas de frecuencias y, por consiguiente, controlar piezas ensambladas tanto en cuanto a sus defectos intrínsecos, a alta frecuencia, como en cuanto a la cohesión de las

interfaces de ensamblaje a frecuencia más baja. En lo que sigue, se designarán tradicionalmente los defectos tales como deslaminados de fibras para una pieza constituida de un material compuesto, denominados defectos intrínsecos, porque estos se sitúan en el interior de una misma pieza y son detectados por el análisis de frecuencia en el ámbito del MHz, de acuerdo con una técnica habitual y expandida en el control no destructivo por ultrasonidos.

5 Se designa por cohesión de interfaz defectos que se producen especialmente en la interfaz entre dos medios o dos piezas diferentes cuyos defectos son detectados habitualmente por controles no destructivos a baja frecuencia, designados habitualmente por el término anglosajón de « Tap Testing ». Este control no destructivo consiste en solicitar la estructura por percusión con la ayuda de un martillo ligero, generalmente instrumentado, y en analizar la respuesta acústica, al oído, o bien por un analizador de espectro, comparando la respuesta de la estructura solicitada con la de una estructura de referencia. Este procedimiento permite detectar defectos de cohesión que afectan a la respuesta acústica de la estructura en su conjunto, es decir en una gama de frecuencias del orden del kHz.

15 De acuerdo con este procedimiento de la técnica anterior, se realiza un primer barrido de la pieza, por ejemplo, utilizando una detección a alta frecuencia, después, se modifican las características del haz de detección, de modo que se realice una detección a baja frecuencia, y se realiza un nuevo barrido de la pieza con estas nuevas condiciones.

20 El documento US 2008/0316498 describe un dispositivo y un procedimiento para el control no destructivo de una pieza, especialmente constituida de un material compuesto, cuyo procedimiento utiliza ultrasonidos generados por un pulso láser en la superficie de la pieza, y medios de generación de un haz láser de detección y un haz láser de referencia utilizando la misma fuente.

El documento US 2009/0168074 describe un procedimiento y un dispositivo aptos para realizar un control de tipo « tap test » a partir de una excitación por un pulso láser de la superficie.

25 Ninguno de estos procedimientos o dispositivos de la técnica anterior divulga un procedimiento o un dispositivo para la realización simultánea de los dos tipos de controles en el transcurso de una misma iluminación de la zona objeto de la prueba.

La invención consiste en un dispositivo para el control no destructivo de una pieza, especialmente constituida de un material compuesto con refuerzo fibroso, cuyo dispositivo comprende:

- a. un generador de un haz láser denominado de excitación y medios para producir una sollicitación fotoelástica de la superficie de la pieza, en una zona de excitación con la ayuda de este haz láser;
- 30 b. medios para generar un primer haz láser denominado de detección apto para iluminar la pieza en una zona objetivo,
- c. medios para generar un segundo haz láser de detección, denominado de referencia, y del cual puede ser regulada una característica independientemente de las características del haz láser de detección;
- 35 d. un detector fotorrefractivo de dos ondas que comprende un cristal fotorrefractivo bombardeado por el haz láser de referencia;
- e. medios para recoger el haz reflejado por la zona objetivo del primer láser de detección y conducirlo al detector fotorrefractivo;
- f. medios de generación que comprenden una fuente única de tipo láser monolítico a frecuencia única estabilizada de tipo Nd:YAG bombardeado por diodo y dos láseres amplificadores distintos para generar, a partir de esta fuente, el haz láser de detección (211) y el haz láser de referencia (221); y
- 40 g. medios para modificar, en el transcurso de un pulso del haz de detección, al menos una característica del haz láser de referencia de modo que se ajuste la banda pasante del detector fotorrefractivo entre una primera frecuencia de corte baja superior a 1 MHz y una segunda frecuencia de corte baja inferior o igual a 10 kHz.

45 De esta manera, el dispositivo objeto de la invención permite hacer variar las características del haz láser de referencia utilizado como bomba del detector TWM sin modificar las características del haz de detección, de modo que la detección a alta frecuencia y la detección a baja frecuencia pueden ser realizadas una después de la otra en un tiempo muy breve en el transcurso de la misma medición. Un solo barrido permite entonces controlar íntegramente la pieza ensamblada de modo que la productividad del dispositivo es al menos el doble de la de los dispositivos conocidos de la técnica anterior. El tipo de fuente permite facilitar una frecuencia muy estabilizada y de esta manera está particularmente bien adaptado como láser maestro para una amplificación monofrecuencia posterior, y en el caso del dispositivo objeto de la invención, para una doble amplificación. Este tipo de fuente está igualmente adaptado para una utilización en un interferómetro de tipo Fabry-Pérot confocal. De esta manera, se aprovechan ventajosamente estas características para generar los dos haces láser, de detección y de referencia, a partir de dos amplificadores distintos de la citada fuente. De esta manera, partiendo de una fuente láser única, el dispositivo objeto de la invención permite generar tres tipos de haces de detección que permiten utilizar, según las

circunstancias y el tipo de medición considerado, un interferómetro confocal o el interferómetro TWM y modificando si es necesario la banda pasante del interferómetro TWM y todo de manera automática.

La invención puede ser puesta en práctica según los modos de realización ventajosos expuestos en lo que sigue, los cuales pueden ser considerados individualmente o según cualquier combinación técnicamente operativa.

- 5 Ventajosamente, el dispositivo objeto de la invención comprende medios para desplazar el haz láser de excitación y el primer haz láser de detección en la superficie de la pieza de modo que se realice un barrido de la superficie de la misma. Hay que destacar que el dispositivo objeto de la invención no modifica la parte que realiza el barrido de la superficie de la pieza de modo que el dispositivo objeto de la invención puede ser adaptado fácilmente a un dispositivo de control de la técnica anterior añadiéndole medios para generar y gobernar el haz láser de referencia de modo que se controle el bombardeo del cristal fotorrefractivo. Estos medios son fijos y no modifican la cabeza de barrido de una instalación que comprenda tradicionalmente un láser de excitación y un láser de detección.

Ventajosamente, los medios de modificación del haz láser de referencia actúan sobre la intensidad del citado haz. De esta manera, la modificación de las condiciones de medición es realizada de manera simple gobernando la amplificación del haz láser de referencia.

- 15 De acuerdo con un modo de realización ventajoso, el dispositivo objeto de la invención comprende además un interferómetro de tipo Fabry-Pérot confocal. Este tipo de interferómetro no presenta una gama tan amplia de frecuencias de medición como el interferómetro TWM, en cambio, es más preciso y más sensible que éste y permite especialmente realizar mediciones relativas a la presencia de defectos intrínsecos.

20 La invención concierne igualmente a un procedimiento de control no destructivo para el control de una pieza, especialmente constituida de un material compuesto con refuerzo fibroso, utilizando el dispositivo objeto de la invención según uno cualquiera de sus modos de realización expuestos anteriormente y que comprende las etapas consistentes en:

- a. producir una excitación fotoelástica de la superficie de la pieza con la ayuda del láser de excitación;
- 25 b. medir la respuesta a esta excitación en la zona objetivo iluminada por el haz láser de detección bombardeando el interferómetro fotorrefractivo con una señal de referencia tal que la medición sea realizada con una primera frecuencia de corte baja superior a 1 MHz.
- c. modificar el haz de referencia de modo que se realice una medición interferométrica con la ayuda del interferómetro fotorrefractivo con una segunda frecuencia de corte inferior a la primera frecuencia de corte;
- 30 siendo la iluminación (311) de la zona objetivo por el haz láser de detección continua durante las etapas a/ a c/.

De esta manera, la combinación del dispositivo y del procedimiento objeto de la invención permite realizar en un punto de medición diferentes tipos de control, optimizando la frecuencia de corte para detectar defectos particulares, siendo realizadas estas mediciones en una misma secuencia de iluminación de la zona objetivo por el láser de detección. De esta manera, siendo la medición rápida, el procedimiento objeto de la invención permite conseguir una productividad elevada para el control de una pieza susceptible de hacer aparecer los dos tipos de defectos previstos.

35 La segunda frecuencia de corte es inferior o igual a 10 kHz. De esta manera, es posible combinar un control por ultrasonidos de los defectos intrínsecos y un control de la cohesión de interfaz en un mismo punto de medición y esto de manera automatizada.

40 Ventajosamente, las etapas a/ a c/ del procedimiento objeto de la invención son repetidas para un segundo punto en la superficie de la pieza. De esta manera, además del hecho de automatizar la medición, esta cooperación entre el dispositivo y el procedimiento permite resolver una de las principales insuficiencias de la técnica anterior concerniente al control por la respuesta acústica global, a saber que este modo de control es ante todo considerado como cualitativo porque no permite calificar la amplitud de los defectos de cohesión detectados y su localización. La toma de medición con un análisis según múltiples gamas de frecuencia y en numerosos puntos de la pieza, de manera automatizada, abre la posibilidad, por un tratamiento informatizado de la señal, de levantar una cartografía completa tanto de los defectos intrínsecos como de la cohesión de interfaz.

45 De acuerdo con un modo de realización ventajoso, el procedimiento de la invención comprende una etapa consistente en medir la respuesta de la pieza en la zona objetivo con el interferómetro de tipo Fabry-Pérot con una frecuencia de corte baja superior o igual a 1 MHz.

50 La invención se describe en lo que sigue de acuerdo con sus modos de realización preferidos, en modo alguno limitativos y refiriéndose a las figuras 1 a 5 en las cuales:

- la figura 1 relativa a la técnica anterior representa esquemáticamente de frente y en corte el principio de un dispositivo de control no destructivo por ultrasonidos de una pieza utilizando un pulso fotoelástico para la excitación

en la superficie de la citada pieza y un láser de detección apuntado sobre esta misma superficie para medir su respuesta;

- la figura 2 es un esquema sinóptico de un modo de realización del dispositivo objeto de la invención;

5 - la figura 3, representa los cronogramas de funcionamiento del láser de detección y del láser de referencia utilizado para bombardear el cristal fotorrefractivo del detector TWM;

- la figura 4 muestra un ejemplo de realización en perspectiva del dispositivo objeto de la invención utilizado para el control de una superficie aeronáutica ensamblada,

- y la figura 5 representa un organigrama del procedimiento objeto de la invención.

10 Figura 2, de acuerdo con un ejemplo de realización, el dispositivo de detección objeto de la invención comprende un oscilador (200) monolítico a frecuencia única o MISER acrónimo anglosajón de « Monolithic Isolated Single-mode End-pumped Ring » conocido de la técnica anterior. Típicamente este oscilador utiliza un cristal Nd:YAG bombardeado por diodo de una longitud de onda de  $1,064 \mu\text{m}$  ( $1,064 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ ). Esta fuente muy estable, de una potencia del orden de 200 mW, es utilizada como láser maestro y es dirigida hacia dos amplificadores láser (210, 220) distintos. El primer amplificador es preferentemente un sistema por lámpara flash en una barra Nd:YAG. Este recibe más del 95% de la potencia (201) del láser maestro y facilita después de amplificación el haz láser de detección (211). El citado haz láser de detección (211) facilita pulsos de  $30 \cdot 10^{-6}$  segundos a  $300 \cdot 10^{-6}$  segundos para una energía del orden de  $50 \cdot 10^{-3} \text{ J}$  por pulso. Este haz láser de detección (211) ilumina la zona objetivo en la superficie de la pieza según una mancha de un diámetro del orden de 5 mm, éste es dirigido hacia los medios de barrido (250) donde el mismo sigue al haz láser de excitación. La reflexión (212) del haz láser de detección (211) por la superficie de la pieza es recogida y dirigida hacia el interferómetro TWM (230).

El segundo amplificador es preferentemente un amplificador de fibra bombardeado por diodo láser en una fibra óptica dopada Yb:YAG. Este recibe menos del 5% de la potencia (202) inicial del láser maestro. El haz láser (221) que resulta de esta manera es utilizado como haz láser de referencia, dirigido hacia el interferómetro TWM (230).

25 Alternativamente la reflexión (213) del láser de detección en la superficie de la pieza puede ser recogida y dirigida hacia un interferómetro de tipo Fabry-Pérot confocal (240).

Figura 3, la observación de la variación de intensidad (320, 320') del haz láser de detección (311), figura 3A, y del haz láser de referencia (321, 322), figura 3B, en función del tiempo (310), muestra el gobierno sincronizado de los dos láseres en el transcurso de un pulso del láser maestro. En el transcurso de tal pulso y según ese ejemplo de realización, el láser de detección ilumina la pieza en la zona objetivo según la intensidad (320) sensiblemente constante, de esta manera la cantidad de luz reflejada por la superficie es siempre suficiente para asegurar la medición. Por el contrario, la intensidad del láser de referencia, utilizado como bomba del cristal fotorrefractivo del detector TWM, es gobernada y, por ejemplo, utilizada a su intensidad máxima (321) durante la primera parte del pulso del láser de detección, después a una intensidad más pequeña (322) durante otra porción del pulso (311) del láser de detección. De esta manera, durante la citada primera parte (321), el interferómetro TWM presentará una frecuencia de corte baja elevada, del orden del MHz y será utilizada para la revelación de los defectos intrínsecos de la pieza controlada, después, en el transcurso de la citada segunda porción (322) la frecuencia de corte baja del interferómetro es reducida, en la gama del kHz, y de esta manera permite revelar los defectos de cohesión del ensamblaje controlado según un método que se parece al tap testing. Durante todo este pulso (311), la intensidad de iluminación de la zona objetivo es continua. De acuerdo con un modo de realización preferente, la intensidad de iluminación de la zona objetivo es sensiblemente constante, pero pueden ser utilizados otros perfiles de intensidad de iluminación.

Figura 4, de acuerdo con un ejemplo de realización, el dispositivo objeto de la invención está adaptado para el control no destructivo según los dos métodos simultáneos de piezas de gran dimensión especialmente de piezas que constituyen la estructura de una aeronave (401). De acuerdo con este ejemplo de realización, un portaefector (460) recibe una primera cabeza láser (410) de tipo TEA CO<sub>2</sub>, denominada de excitación, para generar un pulso fotoelástico en la superficie de la pieza (401) objeto de control. El láser CO<sub>2</sub> es producido por un generador (400) y transportado hasta la cabeza (410) por medios (480) conocidos de la técnica anterior.

El portaefector (460) soporta igualmente la cabeza láser (411), denominada de detección, para la medición en interferometría de las deformaciones de la superficie.

50 El porta-efector (460) es soportado por un brazo (450) robotizado que permite realizar el barrido de la superficie que haya que controlar. Un dispositivo informático (470) permite gobernar el desplazamiento del brazo robotizado, gobernar el amplificador del láser de referencia, y realizar el tratamiento y la adquisición de las mediciones. El gobierno del brazo robotizado es realizado a partir de un archivo de descripción digital de la superficie de la pieza controlada (401) habitualmente a partir de la maqueta digital de la citada pieza.

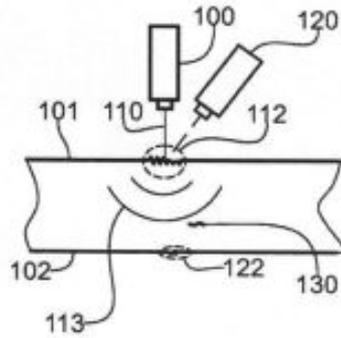
55 Figura 5, de acuerdo con un modo de realización del procedimiento objeto de la invención, el mismo comprende una primera etapa (510) consistente en producir una excitación fotoelástica de la superficie de la pieza que haya que

5 controlar con la ayuda del láser de excitación. La respuesta de la pieza a esta excitación es medida con la ayuda del láser de detección. De acuerdo con una primera etapa de medición (520) el láser de referencia es regulado (521) en un primer nivel de intensidad de modo que se realice una medición (511) interferométrica con una banda pasante que presenta una frecuencia de corte baja del orden del MHz. De acuerdo con una segunda etapa de medición (530) el láser de referencia es regulado (522) en un segundo nivel de intensidad, inferior al primero en este ejemplo de realización, de modo que se realice una segunda medición (512) interferométrica con una banda pasante que presenta una frecuencia de corte baja inferior a la primera. Los haces láser son entonces desplazados (550) a otro punto de medición y el ciclo de excitación-medición (510 a 530) se repite de nuevo.

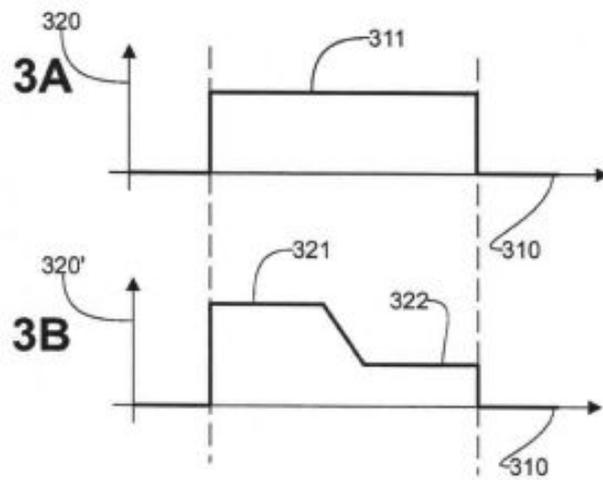
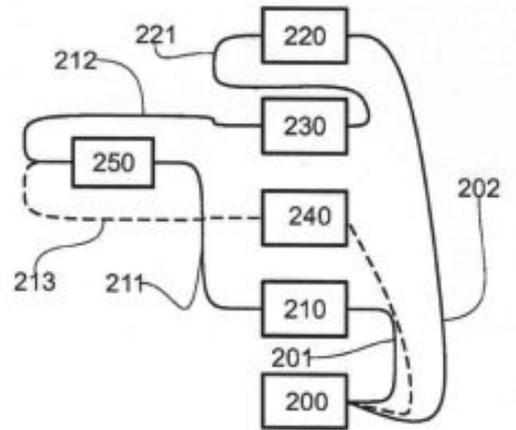
10 La descripción anterior muestra claramente que la invención logra los objetivos previstos, en particular la misma permite realizar de manera automática una cartografía completa de una pieza ensamblada combinando mediciones por ultrasonidos relativas a la salud del material, o defectos intrínsecos, y a la cohesión de las interfaces de ensamblaje, de acuerdo con un método similar en su principio al tap testing pero que aporta a este procedimiento de control la capacidad de localización y de cartografía de los defectos de cohesión.

**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo para el control no destructivo de una pieza, constituida especialmente de un material compuesto con refuerzo fibroso, que comprende:
- 5 a - un generador (400) de un haz láser denominado de excitación y medios (410) para producir una sollicitación fotoelástica de la superficie de la pieza (401), en una zona de excitación con la ayuda de este haz láser;
- b - medios (200, 210) para generar un primer haz láser (211) denominado de detección apto para iluminar la pieza (401) en una zona objetivo,
- 10 c - medios (200, 220) para generar un segundo haz láser de detección, denominado de referencia (221), y del cual puede ser regulada una característica independientemente de las características del haz láser de detección (211);
- d - un interferómetro fotorrefractivo de dos ondas (230) que comprende un cristal fotorrefractivo bombardeado por el haz láser de referencia (221);
- e - medios para recoger el haz reflejado por la zona objetivo del primer láser de detección y conducirlo al interferómetro fotorrefractivo (230);
- 15 f - medios de generación que comprenden una fuente única constituida de un oscilador monolítico a frecuencia única estabilizada de tipo Nd:YAG bombardeado por diodo y dos láseres amplificadores (210, 220) distintos para generar, a partir de esta fuente (200), el haz láser de detección (211) y el haz láser de referencia (221), y
- 20 g - medios para modificar, en el transcurso de un pulso del haz de detección, al menos una característica del haz láser de referencia (221) con el fin de ajustar la banda pasante del interferómetro fotorrefractivo (230) entre una primera frecuencia de corte baja superior o igual a 1 MHz y una segunda frecuencia de corte baja inferior o igual a 10 kHz.
2. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que el mismo comprende medios de barrido (250, 450) para desplazar el haz láser de excitación y el primer haz láser de detección (211) en la superficie de la pieza (401) de modo que se realice un barrido de la superficie de la misma.
- 25 3. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que los medios de modificación del haz láser de referencia actúan sobre la intensidad del citado haz.
4. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que el mismo comprende además un interferómetro de tipo Fabry-Pérot confocal (230).
- 30 5. Procedimiento de control de una pieza, constituida especialmente de un material compuesto con refuerzo fibroso, que utiliza un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende las etapas consistentes en:
- a. producir (510) una excitación fotoelástica de la superficie de la pieza con la ayuda del láser de excitación;
- b. medir (520) la respuesta a esta excitación en la zona objetivo iluminada por el haz láser (211) de detección bombardeando el interferómetro fotorrefractivo con una señal de referencia tal que la medición sea realizada con una primera frecuencia de corte baja superior a 1 MHz,
- 35 c. modificar (521) el haz de referencia de modo que se realice una medición interferométrica (530) con la ayuda del interferómetro fotorrefractivo con una segunda frecuencia de corte inferior a la primera frecuencia de corte;
- siendo la iluminación (311) de la zona objetivo por el haz láser de detección continua durante las etapas a/ a c/.
- 40 6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, caracterizado por que la intensidad (311) de iluminación de la zona objetivo es constante durante las etapas a/ a c/.
7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, que utiliza un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado por que las etapas a/ a c/ son repetidas para un segundo punto en la superficie de la pieza.
- 45 8. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, que utiliza un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado por que el mismo comprende una etapa consistente en medir la respuesta de la pieza en la zona objetivo con el interferómetro de tipo Fabry-Pérot (230) con una frecuencia de corte baja superior o igual a 1 MHz.

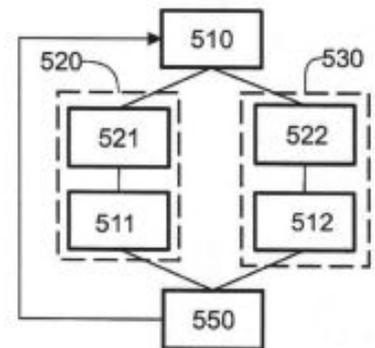


**Fig. 1 (técnica anterior)**

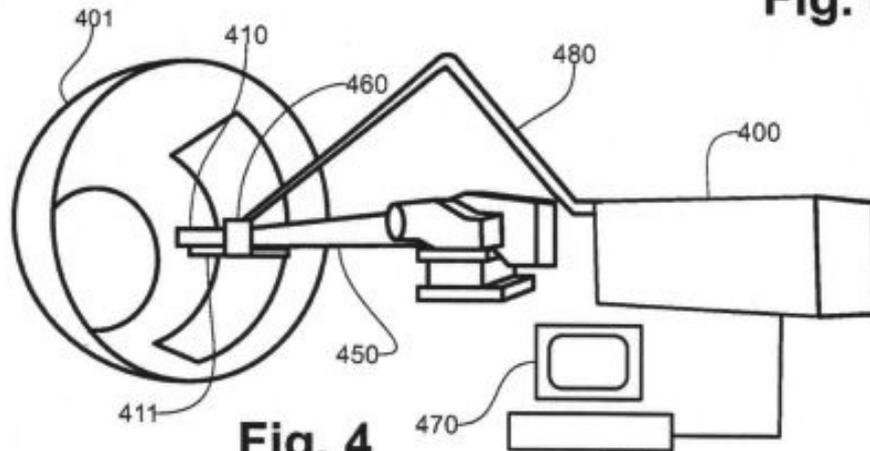


**Fig. 3**

**Fig. 2**



**Fig. 5**



**Fig. 4**