

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 375 378**

51 Int. Cl.:
G01N 29/44 (2006.01)
G01N 29/26 (2006.01)
G01N 29/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **06841108 .1**
96 Fecha de presentación: **21.12.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **1979739**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **15.10.2008**

54 Título: **PROCEDIMIENTO DE EXAMEN NO DESTRUCTIVO DE UNA PROBETA QUE PRESENTA AL MENOS UNA ZONA MATERIAL ACÚSTICAMENTE ANISÓTROPA.**

30 Prioridad:
27.01.2006 DE 102006003978

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
29.02.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
29.02.2012

73 Titular/es:
**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V.
Hansastraße 27c
80686 München, DE**

72 Inventor/es:
**KRÖNING, Michael;
BULAVINOV, Andrey y
REDDY, Krishna, Mohhan**

74 Agente: **de Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 375 378 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

Procedimiento de examen no destructivo de una probeta que presenta al menos una zona de material acústicamente anisótropa.

Campo técnico

5 La invención se refiere a un procedimiento de examen no destructivo, por medio de ultrasonidos, de una probeta que presenta al menos una zona de material acústicamente anisótropa.

Estado de la técnica

Se conocen suficientemente procedimientos de ensayo no destructivo por ultrasonidos en probetas que consisten en materiales macizos acústicamente anisótropos y que se realizan para fines de comprobación de defectos, es decir, para la localización de fisuras, inhomogeneidades del material, etc. Condición previa para una utilización satisfactoria de tales procedimientos de ensayo es el requisito de una propagación lo más uniforme y rectilínea posible de ondas ultrasónicas acopladas dentro de una respectiva probeta. Para lograr esto, el material del que se compone una respectiva probeta deberá disponer de propiedades acústicamente constantes en todo el volumen a probar, y así, por ejemplo, deberá presentar una distribución de densidad isótropa y propiedades elásticas isótropas. En cumplimiento de esta condición previa, estos procedimientos de ensayo hacen posibles una detección fiable de defectos, una localización espacial exacta de los defectos y, en último término, también la realización de una imagen de los defectos por medio de procedimientos adecuados de evaluación de señales ultrasónicas, con cuya ayuda se pueden reconocer la forma y el tamaño del sitio defectuoso. En representación de un gran número de tales sistemas de ensayo por ultrasonidos cabe remitirse al documento DE 33 46 534 A1, del cual se desprende un dispositivo de representación de imágenes de ultrasonidos que prevé una cabeza de ensayo radiadora de ultrasonidos por grupos que comprende una matriz lineal de elementos transductores ultrasónicos individuales que se activan individualmente o por grupos bajo propagación en la dirección de exploración con una frecuencia de exploración prefijada. La calidad de la reconstrucción de imágenes de defectos, que determinan en último término también las manifestaciones cuantitativas respecto a clase del defecto, posición del defecto y tamaño del defecto, depende de un gran número de parámetros que determinan el acoplamiento de ultrasonidos con la probeta, la detección de ondas ultrasónicas y técnicas de reconstrucción que evalúan las señales ultrasónicas recibidas.

Los materiales accesibles a la técnica actual de ensayo por ultrasonidos, con velocidades de propagación de ondas acústicas que son independientes de su dirección de propagación, se denominan materiales acústicamente isótropos. Sin embargo, las velocidades del sonido de las ondas ultrasónicas acopladas con materiales dependen de sus respectivas direcciones de propagación, y así estos materiales se denominan anisótropos. Un material anisótropo natural conocido es, por ejemplo, la madera, la cual, si acaso, solo con restricciones puede ser inspeccionada en búsqueda de defectos del material por medio de técnicas corrientes de ensayo por ultrasonidos. Otros materiales anisótropos están representados, por ejemplo, por materiales compuestos fibrosos o materiales estratificados que se emplean preferiblemente en modernas estructuras de construcción ligera. El motivo de la insatisfactoria capacidad de ensayo de tales materiales anisótropos reside en la naturaleza estructuralmente dependiente de la propagación de ondas ultrasónicas con velocidades del sonido dependientes del lugar y dependientes de la densidad del material. A esto se añade que, a diferencia de lo que ocurre en materiales isótropos, en los que únicamente pueden presentarse dos clases de modos de vibración de ondas volumétricas, a saber, modos longitudinales y transversales, en los materiales anisótropos hay que contar con tres modos de propagación, sobre todo porque ya pueden existir dos modos transversales ortogonales. En materiales isótropos es siempre paralela la vibración del modo longitudinal, mientras que la del modo transversal se orienta siempre perpendicularmente a la dirección de propagación. Por el contrario, en materiales anisótropos existen las llamadas ondas cuasilongitudinales y cuasitransversales, cuyas desviaciones de polarización, incluso con pequeñas diferencias de velocidad del sonido, pueden ocasionar ya considerables efectos en la reconstrucción de la imagen de defectos.

Sin embargo, el examen de probetas que consisten en diferentes materiales acústicamente isótropos, por ejemplo probetas ensambladas en forma de capas, no es tampoco capaz, con los procedimientos de ensayo actualmente conocidos, de garantizar una localización espacial exacta del defecto dentro de la probeta, sobre todo porque las ondas ultrasónicas se refractan a lo largo de su dirección de propagación en las superficies límites de capas de material aplicadas una a otra. Ya en el ensayo por ultrasonidos según la técnica de inmersión se presentan en principio tales efectos de refracción provocados en superficies límite entre, por ejemplo, agua y acero, con lo que se restringe considerablemente en parte la localización de defectos anteriormente descrita, sobre todo porque los propios fenómenos de refracción o de difracción en capas límite entre dos materiales por lo demás isótropos hace casi imposible una localización de defectos. Motivos de ello son la falta de conocimiento del camino de propagación del sonido, que ya no puede suponerse como rectilíneo, y, por tanto, también la falta de conocimiento de la velocidad efectiva del sonido. La propia detección de defectos puede ser deficiente empleando un número limitado de ángulos de incidencia del sonido, sobre todo porque el sonido no puede alcanzar el lugar del defecto debido a efectos de difracción. Por este motivo, los materiales estructurales relevantes para la seguridad se ensayan con un

número lo más grande posible de ángulos de incidencia del sonido, utilizándose para ello la llamada técnica de radiadores por grupos tal como ésta puede deducirse del documento DE 33 46 534 A1 anteriormente citado.

Para obtener una impresión cuantitativa de la influencia de materiales acústicamente anisótropos sobre la relación real de propagación de ondas ultrasónicas cabe remitirse al resultado de ensayo representado en la figura 1a, que ha sido obtenido por medio de una cabeza de ensayo US radiadora de ultrasonidos por grupos en una probeta PK constituida por un material compuesto de fibras de carbono, según la situación de ensayo esbozada en la figura 3. La probeta PK examinada por medio de la cabeza de ensayo US radiadora de ondas ultrasónicas por grupos consiste en una probeta PK que dispone de una superficie plana PKO y está constituida por un material compuesto de fibras de carbono, con una orientación de las fibras inclinada en 15° con respecto a la superficie PKO de la probeta. La velocidad del sonido en la dirección de las fibras es aproximadamente tres veces mayor que la velocidad en la dirección de propagación perpendicular a ésta. Asimismo, dentro de la probeta PK se ha producido un sitio defectuoso FS incorporado como reflector modelo que se encuentra inmediatamente debajo del radiador US de ondas ultrasónicas por grupos que descansa sobre la superficie PK de la probeta.

En la figura 1a se representa una imagen sectorial bidimensional de un radiador US de ultrasonidos por grupos hecho funcionar de manera convencional, es decir que los transductores ultrasónicos sirven conjuntamente como emisores de ondas ultrasónicas y son capaces de detectar las ondas ultrasónicas reflejadas dentro de la probeta. Con ayuda de la imagen sectorial representada en la figura 1a se puede deducir que el lugar de acoplamiento del sonido, es decir el lugar de ubicación de la cabeza de ensayo radiadora de ultrasonidos por grupos, está dispuesto en el centro del eje de abscisas del sistema de coordenadas representado. Las señales de recepción que se presentan en la zona del acoplamiento del sonido provienen de efectos de acoplamiento cercanos a la superficie de la probeta, pero no representan ellos mismos ningún defecto dentro de la probeta. Las señales de reflexión distanciadas del sitio de acoplamiento y dispuestas en forma de semicírculo representan eventos de reflexión en la pared posterior de la probeta que aparecen bajo casi todos los ángulos de incidencia del sonido. Gracias a la situación de medida prefijada por la probeta respecto de la posición del sitio de defecto artificialmente incorporado en la probeta, se tiene que, en el caso de una probeta consistente en un material isotrópico, el lugar del reflector tendría que estar situado exactamente por debajo del punto reconocible de entrada del sonido. Sin embargo, en la imagen sectorial según la figura 1a no se obtiene ninguna indicación bajo 0°, sino que, más bien, se obtiene un evento de reflector R bajo ángulos en torno a los 45°. Este resultado de ensayo pone claramente de manifiesto que el material anisótropo de la probeta conduce a una información de posición falseada de un sitio defectuoso existente realmente en la probeta.

Un acoplamiento de las ondas ultrasónicas en la dirección de la estructura fibrosa no conduce tampoco a ningún otro resultado de evaluación satisfactorio.

En la figura 2a se representa para ello una imagen sectorial de un radiador por grupos hecho funcionar de manera convencional con dirección de radiación a lo largo de la dirección de la estructura fibrosa, de la cual puede deducirse que, debido a fenómenos de difracción, el reflector de ensayo incorporado artificialmente en la probeta puede verse casi en todos los ángulos de incidencia del sonido. Este reflector se representa en la imagen sectorial según la figura 2a como un semicírculo de radio más pequeño. Puede apreciarse que es ciertamente posible la detección básica de la presencia de sitios defectuosos, pero no son posibles una localización de sitios defectuosos ni tampoco una caracterización respecto de tamaño y clase del sitio defectuoso.

Se desprende del documento US 5,465,722 A un procedimiento de ecografía para el examen médico de un tejido en búsqueda de falta de homogeneidad, en el que se determina la velocidad del sonido en el tejido en función de la dirección. A este fin, se solicita el objeto a examinar con energía acústica en una primera pluralidad de lugares por medio de una matriz de transductores ultrasónicos, se captan las reflexiones en una segunda pluralidad de lugares y se realiza un llamado análisis de punto de profundidad común (CDP).

Exposición de la invención

La invención se basa en el problema de indicar un procedimiento de examen no destructivo, por medio de ultrasonidos, de una probeta que presenta al menos una zona de material acústicamente anisótropa, de tal manera que se haga posible una detección fiable de sitios defectuosos con una indicación exacta de la posición espacialmente exacta, la clase y el tamaño del sitio defectuoso situado dentro de la zona de material acústicamente anisótropa.

La solución del problema que sirve de base a la invención se encuentra indicada en la reivindicación 1. Ciertas medidas que perfeccionan ventajosamente la idea de la invención son objeto de las reivindicaciones subordinadas y pueden deducirse de la descripción restante, especialmente con referencia a los ejemplos de realización.

Según la solución de la invención, un procedimiento de examen no destructivo, por medio de ultrasonidos, de una probeta que presenta al menos una zona de material acústicamente anisótropa se caracteriza por la secuencia de pasos de procedimiento siguientes: En primer lugar, se trata de determinar las propiedades de propagación del sonido específicas de la dirección que describen la zona del material acústicamente anisótropa o proporcionar de

- manera correspondiente dichas propiedades recurriendo a un inventario de datos ya existentes a este respecto. Dado que el comportamiento de propagación del sonido dentro de probetas que presentan zonas de material anisótropas puede ser entendido y descrito con detalle, por ejemplo, en base a criterios elastodinámicos, es posible obtener conocimientos detallados en este aspecto, preferiblemente en el marco de exámenes experimentales, sobre las propiedades acústicas de casi cualquier probeta anisótropa y hacer que éstas estén disponibles para aplicaciones adicionales por medio de representaciones matemáticas adecuadas, tal como, por ejemplo, en el marco de las llamadas matrices de rigidez. En particular, se pueden deducir de tales matrices de rigidez las velocidades de propagación del sonido específicas de la dirección dentro de respectivas probetas a examinar.
- Con ayuda de estos conocimientos que describen las propiedades sonoacústicas de una probeta a examinar es posible que, mediante un acoplamiento de ondas ultrasónicas con la zona de material acústicamente anisótropa de la probeta y una recepción correspondiente de ondas ultrasónicas reflejadas en el interior de la probeta, se evalúen con un gran número de transductores ultrasónicos, de una manera selectiva en dirección, las señales ultrasónicas detectadas por éstos sobre la base de las propiedades de propagación del sonido específicas de la dirección.
- En la evaluación de señales ultrasónicas selectiva en dirección según la solución de la invención se captan las relaciones de fase de ondas elementales individuales originadas bajo diferentes direcciones de detección por eventos de reflexión correspondientes dentro de la probeta. La recepción de las ondas ultrasónicas se efectúa, por así decirlo, tras la emisión y acoplamiento de ondas ultrasónicas con la probeta por medio de una cabeza de ensayo radiadora de ondas ultrasónicas por grupos, efectuándose la evaluación de ondas ultrasónicas selectiva en dirección mediante el empleo de un procedimiento de evaluación de señales que se explica más adelante. Teniendo en cuenta la anisotropía sonoacústica de las zonas de material existentes dentro de la probeta se efectúa finalmente una adaptación del campo de ondas ultrasónicas detectado a evaluar de tal manera que se cree una situación de ensayo casi estándar, como la que se realiza también para la evaluación de señales ultrasónicas que provienen de probetas acústicamente isotropas.
- A este fin, se calculan los tiempos de tránsito del sonido que necesita una respectiva onda ultrasónica desde el lugar de su producción, que corresponde al lugar de acoplamiento con la superficie de la probeta y en el que está previsto un elemento transductor ultrasónico que sirve de emisor, hasta un punto espacial situado dentro de una zona de probeta a reconstruir, y vuelta al lugar de ubicación de un receptor, teniendo en cuenta las propiedades anisótropas del material o las constantes elásticas del material.
- Para poder realizar una evaluación selectiva en dirección de las ondas ultrasónicas reflejadas dentro de la probeta con el requisito de una captación de volumen ampliamente completa de la probeta se asienta una cabeza de ensayo radiadora de ultrasonidos por grupos, que presenta un número n de transductores ultrasónicos, sobre una superficie de la probeta a través de la cual se acoplan las ondas ultrasónicas con la probeta y también se desacoplan éstas de la probeta para detectar ondas ultrasónicas reflejadas correspondientes.
- Los transductores ultrasónicos se aplican a la superficie de la probeta preferiblemente de forma directa o bien con ayuda de medios de acoplamiento adecuados. En este caso, los transductores ultrasónicos pueden colocarse en la superficie de la probeta de manera desordenada o bien ordenada en forma de matrices unidimensionales (a lo largo de una fila), matrices bidimensionales (en forma de campo) o matrices tridimensionales (en función de la superficie tridimensional de la probeta).
- Los n transductores ultrasónicos son adecuados ventajosamente cada uno de ellos para acoplar ondas ultrasónicas con la probeta y también para recibir ondas ultrasónicas, es decir que se utilizan o activas como emisores de ultrasonidos y como receptores de ultrasonidos. La utilización de emisores de ultrasonidos y receptores de ultrasonido exclusivos es también imaginable, pero esto conduce, con una misma resolución espacial de los resultados de medida, a un mayor número de transductores ultrasónicos a aplicar.
- Preferiblemente, como transductores ultrasónicos son adecuados los transductores piezoeléctricos, pero también es posible la utilización de transductores que se basan en principios operativos electromecánicos, ópticos o mecánicos.
- De manera ventajosa, los n transductores ultrasónicos están agrupados en una cabeza de ensayo por ultrasonidos manualmente manejable que permite una sencilla utilización y aplicación a la superficie de la probeta. En función de la forma y el tamaño de la probeta y del respectivo problema de examen planteado se obtienen otras aplicaciones de los transductores ultrasónicos, por ejemplo a superficies opuestas de la probeta. Se ha visto que con el procedimiento según la solución de la invención se puede lograr una resolución espacial óptima de los resultados de medida cuando el número de transductores ultrasónicos a prever se elige igual o mayor que 16.
- En un segundo paso se selecciona dentro del número total de n transductores ultrasónicos un primer grupo de transductores ultrasónicos, debiéndose ser el número i de transductores ultrasónicos correspondientes al grupo más pequeño que el número total n de todos los transductores ultrasónicos.
- La fijación del número i de emisores de ultrasonidos determina la energía elástica acoplada con la probeta por cada activación de los emisores de ultrasonidos, a condición de que los i emisores de ultrasonidos sean activados al

mismo tiempo. Cuanto mayor se elija el número de todos los emisores simultáneamente activos, tanto mayor será energía elástica acoplada con la probeta. Asimismo, la fijación de i transductores ultrasónicos como emisores se efectúa ventajosamente de tal manera que i transductores ultrasónicos dispuesto directamente al lado uno de otro se seleccionen, a ser posible, como una matriz plana coherente de emisores de ultrasonidos. A condición de que todos los emisores emitan al mismo tiempo, el número i de emisores de ultrasonidos y la composición concreta del grupo de emisores, en particular su disposición sobre la superficie de la probeta, determinan, además, la característica de irradiación total (apertura) del grupo de emisores y, además, la sensibilidad y el poder de resolución de las mediciones.

Además, se activan todos los i transductores ultrasónicos pertenecientes al primer grupo para emitir ondas ultrasónicas que se acoplen con la probeta, realizándose en forma modulada la activación de los i transductores ultrasónicos correspondientes a un grupo, es decir que cada transductor ultrasónico individual es activado con una modulación diferenciable, de modo que las ondas ultrasónicas acopladas con la probeta sean detectadas específicamente según los emisores. En sitios de perturbación dentro de la probeta o en superficies de la probeta opuestas a las respectivas zonas de acoplamiento se reflejan las ondas ultrasónicas y éstas retornan nuevamente a la zona de la superficie de los n transductores ultrasónicos aplicados sobre la superficie de la probeta, de los que todos los n o solo una parte limitada m reciben las ondas ultrasónicas, debiendo ser siempre el número m mayor que el número i de transductores ultrasónicos implicados en la emisión de ultrasonidos.

Después de cada ciclo de medida individual, las ondas ultrasónicas recibidas por los transductores ultrasónicos que sirven de receptores de ultrasonidos o recibidas como máximo por todos los n transductores ultrasónicos son convertidas en señales ultrasónicas y almacenadas, es decir que son alimentadas a una unidad de memoria correspondiente y almacenadas allí.

Como alternativa a una actuación simultánea de i transductores ultrasónicos seleccionados, pertenecientes a un grupo y que sirven de emisores de ultrasonidos, es imaginable que los emisores de ultrasonidos sean excitados de forma desplazada en fase, es decir, con un decalaje de tiempo parcial o completo. Como se ha descrito anteriormente en combinación con el principio de matriz en fase, se puede establecer así la dirección de incidencia del sonido o establecer el enfoque de la energía elástica de las ondas ultrasónicas sobre una zona volumétrica determinada dentro de la probeta. Por tanto, se puede ajustar así de manera optimizada, entre otras cosas, la apertura de los i emisores de ultrasonidos adaptándola a direcciones de incidencia del sonido o enfoques determinados.

Después de realizar uno o varios ciclos de medida se efectúa una selección modificada de emisores de ultrasonidos generadores de ondas ultrasónicas. Por motivos de una mejor sensibilidad de medida, se ofrece la realización de varios ciclos de medida con una constelación constante de emisores de ultrasonidos para obtener una relación señal/ruido mejorada por medio de una evolución estadística de las señales. Hay que formar nuevamente un grupo de transductores ultrasónicos, cuyo número i sea ciertamente idéntico, pero cuya composición se deberá diferenciar de la composición anteriormente elegida, al menos en un transductor ultrasónico.

De esta manera, se logra sonorizar la probeta con ondas ultrasónicas desde zonas de acoplamiento diferentes. Por así decirlo, en el primer ciclo de medida o en el segundo ciclo de medida, que se compone de varios primeros ciclos de medida, se reciben también con la nueva constelación de emisores de ultrasonidos las sondas ultrasónicas reflejadas con todos los n transductores ultrasónicos o con una parte m de los transductores ultrasónicos y se convierten estas ondas en señales ultrasónicas que, en último término, se almacena también. Todos los n o m transductores ultrasónicos que sirven para recibir ondas ultrasónicas permanecen inalterados a pesar de constelaciones alteradas de emisores de ultrasonidos para permitir posteriormente una evaluación de señales de medida lo más sencilla posible, tal como podrá apreciarse todavía más adelante.

Los pasos de procedimientos anteriormente descritos para la activación repetida de un grupo de transductores ultrasónicos con una composición alterada de transductores ultrasónicos y para la recepción y almacenamiento de las señales de medida obtenidas se repiten con una frecuencia prefijable para determinar de esta manera el poder de penetración acústica o de reflexión de la probeta a partir de un gran número de posiciones de incidencia del sonido y preferiblemente a partir de todas estas posiciones posibles.

Durante la activación de un grupo constituido por i transductores ultrasónicos se pueden realizar como máximo todas las i permutaciones de n transductores ultrasónicos existentes.

Como resultado de la realización de los pasos de procedimiento anteriores se obtiene una pluralidad de m de señales de medida almacenadas por cada ciclo de medida o periodo de medida, las cuales tienen que analizarse seguidamente de conformidad con un examen de la probeta que conduzca al objetivo deseado. Un aspecto especial incumbe a la posibilidad de evaluación ulterior de las señales de medida almacenadas después de la realización de la medición propiamente dicha de la probeta. La evaluación de las señales ultrasónicas se efectúa, por así decirlo, fuera de línea con un algoritmo de reconstrucción que se elige de conformidad con un ángulo de incidencia del sonido virtualmente prefijable y/o un enfoque virtual de las ondas ultrasónicas acopladas con la probeta, y que se aplica a las señales ultrasónicas almacenadas. Con ayuda de tales algoritmos de reconstrucción se pueden calcular

5 sintéticamente, a partir de las señales ultrasónicas almacenadas, imágenes tridimensionales de las propiedades de
travesía acústica o de reflexión de la probeta, sin que se requieran otras mediciones de ultrasonidos adicionales.
Este principio de reconstrucción se basa en la aplicación de la técnica de enfoque de apertura sintética (SAFT), que
consiste en que todas las señales ultrasónicas recibidas son proyectadas en lo posible sobre un eje de tiempo
común. En este caso, todas las señales ultrasónicas reflejadas por un reflector determinado o por un sitio defectuoso
determinado se sumarán en igualdad de fase teniendo en cuenta las propiedades anisótropas de propagación del
sonido del material de la probeta y una adaptación de fase ligada a éstas. Una reconstrucción posterior de
cualesquiera ángulos de incidencia del sonido es el resultado de una adición desfasada de las señales de recepción
de diferentes receptores de ultrasonidos. Gracias a la evaluación fuera de línea se está en condiciones de
10 reconstruir sintéticamente casi cualquier ángulo de incidencia del sonido y realizar así un barrido (“sweep”) de
ultrasonidos a través del juego de datos.

15 Con ayuda de la técnica de ensayo por ultrasonidos anteriormente descrita empleando un llamado sistema radiador
por grupos sincronizado y una evaluación de señales propuesta según la solución de la invención teniendo en
cuenta propiedades sonoacústicamente anisótropas y propias del material de la probeta, se puede lograr una serie
de ventajas conforme al principio de la llamada adaptación de fase inversa:

Así, la técnica del radiador por grupos sincronizado con adaptación de fase inversa posibilita una detección de
defectos y una reconstrucción de imágenes de defectos para materiales anisótropos con una calidad y fiabilidad que
corresponden al examen por técnicas de ultrasonidos realizado de manera convencional en materiales isótropos.

20 Según la elección del número de transductores ultrasónicos emisores, la distancia y la disposición del sistema
sensor, se pueden realizar optimizaciones en función de los parámetros de anisotropía de la probeta a examinar.

25 Un ensayo por ultrasonidos según la técnica de inmersión es posible también con ayuda del procedimiento conforme
a la solución de la invención para examinar materiales heterogéneos o sonoacústicamente anisótropos. Gracias al
acoplamiento sonoacústico a través de una capa de líquido entre la cabeza radiadora por grupos y la superficie de la
probeta a examinar son accesibles también al procedimiento geometrías de probeta con geometrías superficiales de
configuraciones complicadas. Esta posibilidad facilita la fabricación y la utilización del sistema de ensayo con
pequeños costes y pequeña inversión técnica en sensores.

Breve descripción de la invención

A continuación, se describe la invención a título de ejemplo, sin limitación de la idea inventiva general, ayudándose
de ejemplos de realización y haciendo referencia a los dibujos. Muestran:

30 Las figuras 1a, b, representaciones de imágenes sectoriales obtenidas a través de una probeta anisótropa,

Las figuras 2a, b, representaciones de imágenes sectoriales obtenidas a través de una probeta anisótropa y

La figura 3, una representación esquemática de la situación de ensayo experimental.

Modos de realización de la invención, aplicabilidad industrial

35 Como ya se ha mencionado anteriormente, partiendo de la imagen sectorial según la figura 1a no se puede efectuar
una localización de un sitio defectuoso dentro de una probeta anisótropa; la existencia de un sitio defectuoso se
puede reconocer solamente por medio de la señal de retrodispersión FS. Por el contrario, si se utiliza el
procedimiento según la solución de la invención como se ha descrito al principio y se evalúan las ondas ultrasónicas
detectadas de todas las zonas volumétricas de conformidad con sus velocidades de propagación de ondas acústicas
específicas según la dirección, se pueden representar entonces exactamente, incluso en el caso de una constitución
40 anisótropa del material de la probeta PK a examinar, la posición, la forma y el tamaño de un sitio defectuoso FS. En
la figura 1b se muestra directamente, en sentido vertical, debajo del lugar de acoplamiento de las ondas acústicas la
posición espacial del sitio defectuoso FS, tal como ocurre también en la situación de ensayo representada en la
figura 3.

45 En el caso de un ajuste de ondas ultrasónicas en la dirección de la estructura de las fibras, es posible también con el
procedimiento según la solución de la invención captar y representar la posición exacta del sitio defectuoso FS con
arreglo a la representación de la imagen sectorial de la figura 2b, lo cual contrasta completamente con la aplicación
de técnicas de ensayo por ultrasonidos conocidas hasta ahora, que conducen a una representación de imagen
sectorial según la figura 2a que se ha explicado detalladamente en la introducción de la descripción.

Lista de símbolos de referencia

50 FS Sitio defectuoso
US Cabeza radiadora de ultrasonidos por grupos

PK Probeta

PKO Superficie de la probeta

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de examen no destructivo, por medio de ultrasonidos, de una probeta que presenta al menos una zona de material acústicamente anisótropa, con los pasos de procedimientos siguientes:
- 5 - determinación o habilitación de propiedades de propagación del sonido que describen en la zona del material acústicamente anisótropa y que son específicas de la dirección mediante el cálculo de al menos una matriz de rigidez que describe la zona de material acústicamente anisótropa o por medio de una medición experimental de la velocidad del sonido en función de su dirección,
- 10 - acoplamiento de ondas ultrasónicas con la zona del material acústicamente anisótropa de la probeta y recepción de ondas ultrasónicas reflejadas en el interior de la probeta con un gran número de transductores ultrasónicos, de la manera siguiente:
- a) previsión de n transductores ultrasónicos en una superficie de la probeta,
- b) selección y activación de un primer grupo de i transductores ultrasónicos de los n transductores ultrasónicos para emitir ondas ultrasónicas hacia la probeta, con $i < n$, en donde la activación de los i transductores ultrasónicos pertenecientes a un grupo se realiza en forma modulada, es decir que cada transductor ultrasónico individual es
- 15 activado con una modulación diferenciable, de modo que se detectan específicamente según el emisor las ondas ultrasónicas acopladas con la probeta,
- c) recepción de las ondas ultrasónicas reflejadas en el interior de la probeta con m transductores ultrasónicos, con $i < m \leq n$, y generación de m señales ultrasónicas,
- d) almacenamiento de las m señales ultrasónicas,
- 20 e) selección y activación de otro grupo de i transductores ultrasónicos que se diferencia del primer grupo por al menos un transductor ultrasónico, para emitir ondas ultrasónicas, y realizar los pasos c) y d) del procedimiento,
- f) realización repetida del paso e) del procedimiento con la respectiva selección de un grupo adicional de i transductores ultrasónicos, a condición de que el grupo adicional de i transductores ultrasónicos se diferencie de un grupo ya seleccionado de i transductores ultrasónicos, y
- 25 - evaluación de señales ultrasónicas generadas por medio de la pluralidad de transductores ultrasónicos de tal manera que la evaluación se efectúe selectivamente según la dirección en base a las propiedades de propagación del sonido específicas según su dirección para que la evaluación de las señales ultrasónicas se realice con un algoritmo de reconstrucción después de la travesía acústica de la probeta con ultrasonidos, y para que el algoritmo de reconstrucción se seleccione con la condición de un ángulo de incidencia de sonido y/o un corte y/o una zona 3D
- 30 virtualmente prefijables con un enfoque virtual de las ondas ultrasónicas acopladas con la probeta y dicho algoritmo se aplique a las señales ultrasónicas almacenadas.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque la previsión de n transductores ultrasónicos se efectúa en una disposición de forma de matriz unidimensional, bidimensional o tridimensional.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** porque la activación de todos los i transductores
- 35 ultrasónicos pertenecientes a un grupo se efectúa al mismo tiempo, es decir, sin desplazamiento de fase.
4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** porque la selección de los i transductores ultrasónicos pertenecientes a un grupo se realiza de tal manera que los transductores ultrasónicos directamente contiguos sean seleccionados según una matriz lineal o una matriz superficial.
5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque se elige $n \geq 16$.
- 40 6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque se utilizan transductores ultrasónicos que se basan en un principio operativo electromagnético, óptico y/o mecánico, basándose especialmente en el principio del transductor piezoeléctrico.
7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado** porque la evaluación de las señales ultrasónicas se realiza por medio de una adaptación de fase de las ondas ultrasónicas recibidas por los m
- 45 transductores ultrasónicos de tal manera que los tiempos de propagación de los ultrasonidos desde cada transductor ultrasónico que sirve de emisor hasta cualquier punto del espacio de una zona de la probeta a reconstruir y de retorno a cualquier transductor ultrasónico que sirve de receptor se determinen por vía analítica teniendo en cuenta las propiedades anisótropas del material o las constantes elásticas de dicho material.
8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado** porque la generación y
- 50 almacenamiento de cada una de las m señales ultrasónicas se efectúa por medio de una conversión analógica-

digital, en la que las señales ultrasónicas analógicas de los m transductores ultrasónicos son convertidas en señales digitales y almacenadas en forma serie.

5 9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado** porque la recepción de las ondas ultrasónicas reflejadas en el interior de la probeta se realiza con todos los transductores ultrasónicos previstos en la superficie de la probeta, es decir que $m = n$.

10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado** porque la probeta consiste completamente en un material acústicamente anisótropo.

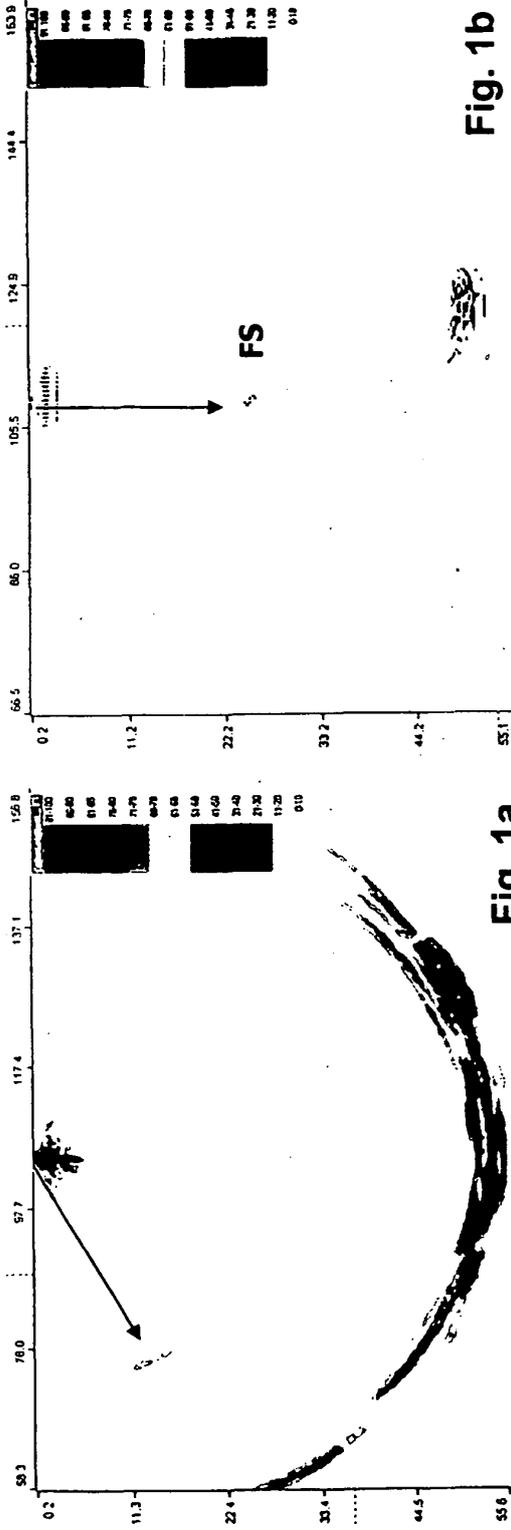


Fig. 1a

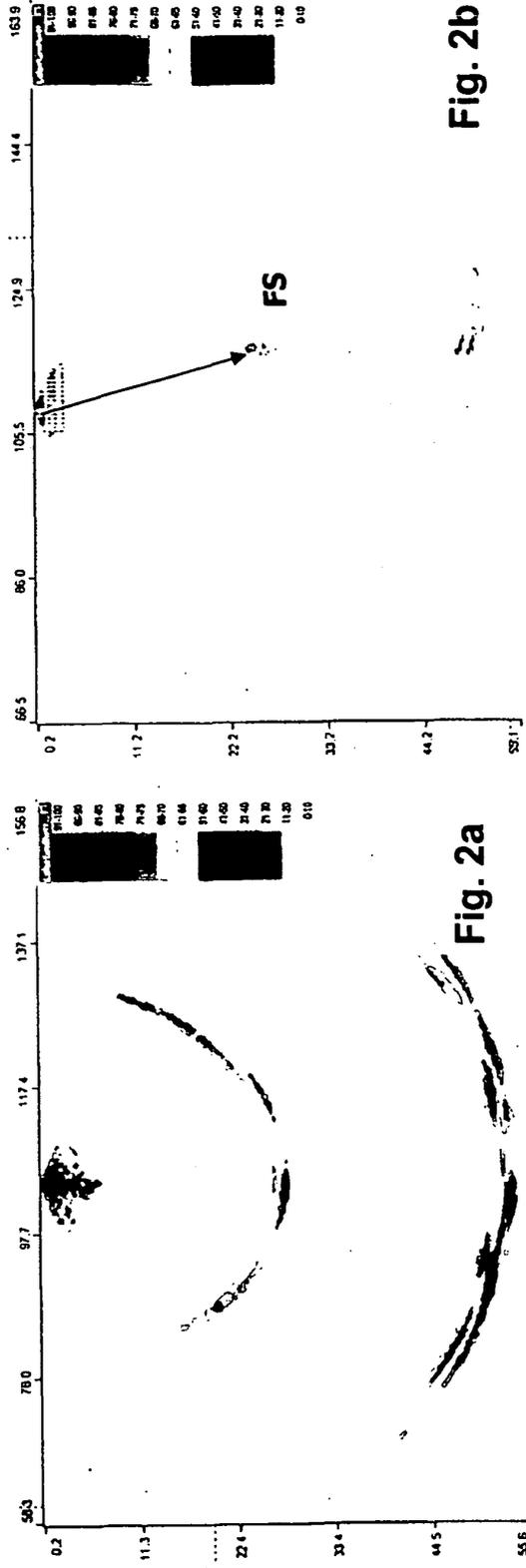


Fig. 2a

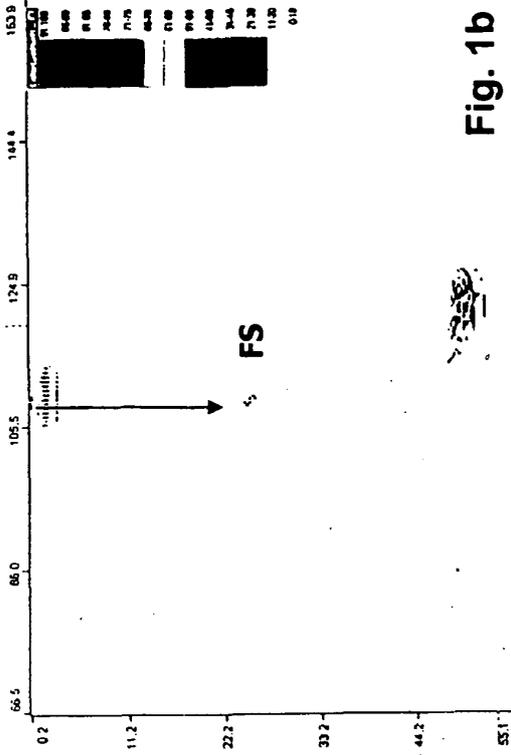


Fig. 1b

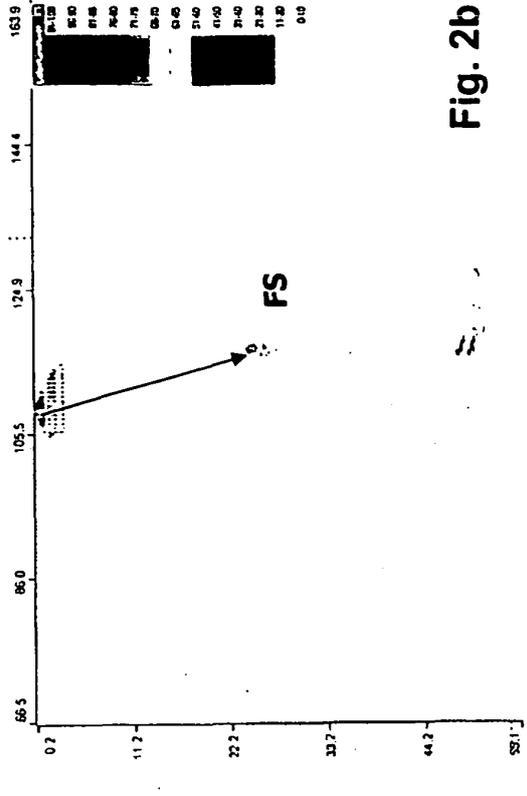


Fig. 2b

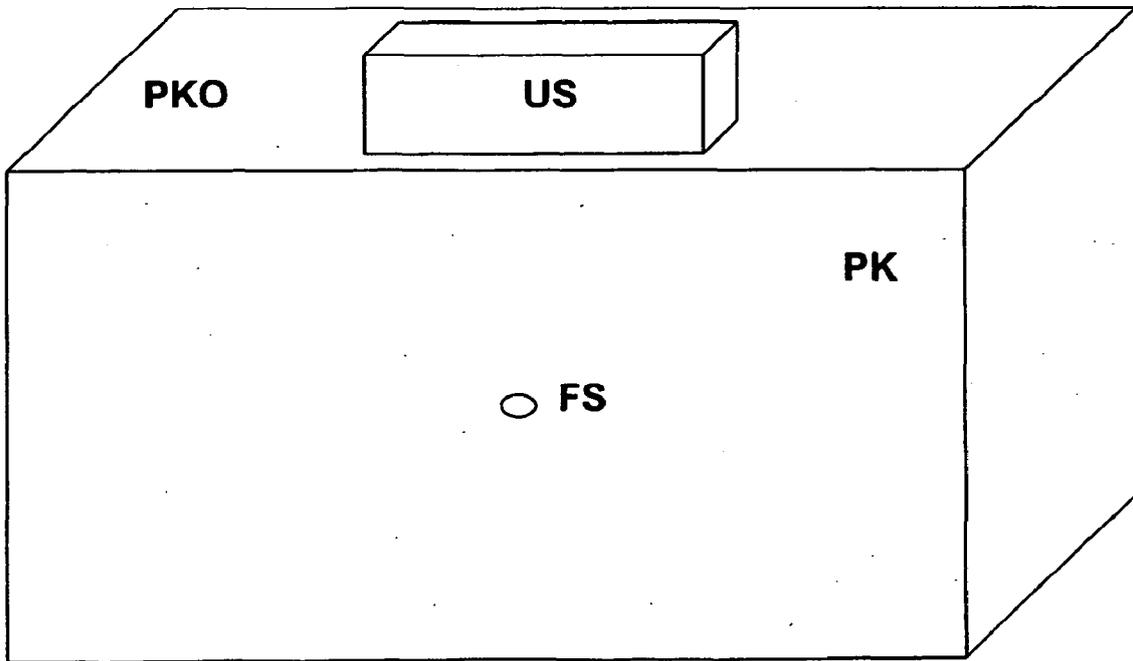


Fig. 3