



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 348 055**

51 Int. Cl.:

G01N 29/26 (2006.01)

G01N 29/04 (2006.01)

G01N 29/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05821723 .3**

96 Fecha de presentación : **09.12.2005**

97 Número de publicación de la solicitud: **1820012**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **22.08.2007**

54

Título: **Procedimiento para el examen no destructivo de una muestra por medio de ultrasonidos mediante almacenamiento y evaluación fuera de línea de las señales de eco detectadas con un sensor de matriz.**

30

Prioridad: **11.12.2004 DE 10 2004 059 856**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:
29.11.2010

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
29.11.2010

73

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

72

Inventor/es: **Hentschel, Dieter;**
Von Bernus, Ludwig;
Reddy, Krishna Moham;
Kroning, Michael y
Bulavinov, Andrey

74

Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 348 055 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

Campo técnico

La invención se refiere a un procedimiento para el examen no destructivo de una muestra por medio de ultrasonidos, en el que con un transductor ultrasónico o una pluralidad de ellos son acopladas ondas ultrasónicas en la muestra y las ondas ultrasónicas reflejadas dentro de la muestra son recibidas por una pluralidad de transductores ultrasónicos y transformadas en señales ultrasónicas que son la base del examen no destructivo.

10

Estado de la técnica

El modo de proceder en el examen no destructivo de una muestra por medio de ultrasonidos o en una verificación de material en cuanto a defectos en el mismo, como por ejemplo grietas, impurezas o otras faltas de homogeneidad del material, comprende el acoplamiento de ondas ultrasónicas en la muestra, la detección de las ondas ultrasónicas transmitidas a través de la muestra o reflejadas, combadas, dispersadas y/o rotas dentro de la muestra, así como la evaluación de las ondas ultrasónicas transformadas en señales ultrasónicas.

Con el método de examen anterior, conocido en sí, es posible detectar y evaluar las propiedades de transmisión o reflexión para ondas ultrasónicas de una muestra. Así, en estos procedimientos que proceden originalmente de la técnica médica (diagnóstico por ultrasonidos) los lugares de defecto que se encuentran dentro de una muestra, como por ejemplo grietas en el material, acumulaciones de materiales extraños o límites de material, se representan por la evaluación correspondiente de las señales ultrasónicas recibidas como zonas con propiedades de reflexión modificadas. La posición, forma y tamaño de los lugares de defecto pueden ser representados espacialmente de forma tridimensional con alta resolución.

Es obvio que los ámbitos de aplicación de este procedimiento son múltiples. Ejemplos de ello son la aplicación del procedimiento para la verificación y detección de propiedades de homogeneidad o resistencia de lugares de edificios (paredes de hormi-

gón, elementos de cubierta o pared, etc.) o para la verificación de grietas por ejemplo en ruedas de ferrocarriles o piezas de avión.

De forma ventajosa, para el acoplamiento, así como para la recepción y detección de ondas ultrasónicas son adecuados transductores ultrasónicos piezoeléctricos que pueden transformar energía eléctrica en energía mecánica elástica y viceversa. Los transductores ultrasónicos piezoeléctricos se caracterizan en particular por su comportamiento lineal en la transformación de energía mecánica elástica en energía eléctrica y viceversa. Además los transductores ultrasónicos piezoeléctricos dependiendo de la forma y tamaño disponen de una abertura, es decir una característica de radiación determinada que define el comportamiento de acoplamiento espacial para las ondas ultrasónicas en la muestra. Si se emplea una pluralidad de transductores ultrasónicos individuales, entonces las superficies de acoplamiento de los transductores ultrasónicos individuales sobre una muestra pueden ser agrupadas directamente colindantes una sobre otra, de manera que resulta una abertura completa que se obtiene por adición a partir de las aberturas de los transductores ultrasónicos individuales. Para por ejemplo acoplar ondas ultrasónicas con amplitudes en su mayor parte iguales en un semiespacio dentro del volumen de la muestra se pueden elegir transductores ultrasónicos con una característica de radiación con una forma lo más esférica posible. Si por el contrario se desea la penetración de ondas ultrasónicas en una muestra bajo un ángulo de propagación lo más pequeño posible, entonces se deben elegir transductores ultrasónicos con una “característica direccional” lo más alta posible.

En muchos casos de aplicación de la verificación no destructiva de materiales por medio de ultrasonidos se emplea una pluralidad de transductores ultrasónicos que para un mejor manejo son reunidos en un llamado palpador o transductor ultrasónico. Esencialmente se distinguen dos tipos de transductores. Se habla de un palpador impulso-eco cuando el transductor acopla un paquete de ondas ultrasónicas en los palpadores y recibe de nuevo las ondas ultrasónicas reflejadas en el palpador. Por el contrario, los palpadores con transductores ultrasónicos separados

para el acoplamiento y recepción de ondas ultrasónicas son designados como palpadores de emisión-recepción.

En todos los palpadores ultrasónicos conocidos hasta ahora los transductores ultrasónicos individuales están unidos, respectivamente, a un aparato de control que presenta para cada transductor ultrasónico una electrónica de control separada, es decir un canal de control eléctrico propio, de manera que los transductores ultrasónicos individuales pueden ser controlados de forma independiente uno de otro y, por ejemplo, sirven como emisores o receptores de ultrasonidos. En particular un control separado de este tipo de los transductores ultrasónicos individuales posibilita accionar los transductores ultrasónicos, respectivamente, con posición de fase y amplitud diferentes.

Para llevar a cabo una medición con la que debe ser examinado el comportamiento de transmisión de una muestra, el aparato de control excita al menos un transductor ultrasónico del transductor completo, pero la mayoría de las veces varios transductores, durante un intervalo de tiempo corto limitado para el acoplamiento de ondas ultrasónicas en la muestra.

Los paquetes de ondas ultrasónicas acopladas que se forman son reflejados por ejemplo en lugares de defecto dentro de la muestra y llegan de nuevo como ondas ultrasónicas reflejadas a los transductores ultrasónicos que trabajan ahora como receptores, son transformados por éstos en señales ultrasónicas y son dirigidas al aparato de control para su evaluación. El lapso de tiempo entre la emisión y la recepción de las señales ultrasónicas es denominado la mayoría de las veces periodo de medición. No en último lugar por motivos de una mejora en la determinación y evaluación de la señal se realiza una pluralidad de periodos de medición de este tipo sucesivamente uno tras otro para obtener una relación señal/ruido aceptable.

En muchos casos de aplicación se pueden determinar las propiedades de transmisión y reflexión de una muestra con resolución espacial fina dentro del volumen de la muestra. Para ello se realiza una pluralidad de periodos de medición, en los que las ondas ultrasónicas acopladas en la muestra son focalizadas a una zona de volumen limitada estrechamente (pixel volumétrico).

Por la focalización de la energía elástica de las ondas ultrasónicas en una zona de volumen determinada dentro de la muestra, la energía elástica reflejada desde esta zona de volumen en forma de ondas ultrasónicas reflejadas es significativamente mayor que en caso de radiación no focalizada. La focalización ayuda a mejorar la sensibilidad de medición.

Para la focalización de las ondas ultrasónicas en una zona de volumen determinada dentro de la muestra se emplea el llamado procedimiento de alineaciones en fase (Phased-array). En este procedimiento, transductores ultrasónicos dispuestos con forma de matriz sobre la superficie superior de la muestra son excitados desplazados en fase, es decir retardados en el tiempo para la emisión de ondas ultrasónicas. Por la selección correspondiente del retardo se consigue en una zona de volumen determinada una superposición constructiva de las ondas ultrasónicas acopladas según el principio de Huygens. Para conseguir una superposición constructiva lo más óptima posible de las ondas ultrasónicas en la zona de volumen, los transductores ultrasónicos individuales que trabajan como emisores ultrasónicos son excitados con formas de señal idénticas.

Además de la focalización de las ondas ultrasónicas sobre una zona de volumen determinada dentro de la muestra, igualmente por la selección correspondiente del desplazamiento de fase en la excitación de los transductores ultrasónicos dispuestos en forma matricial es posible predeterminar una dirección de radiación uniforme de las ondas ultrasónicas. Con ello pueden ser radiados campos ultrasónicos giratorios a discreción en una muestra.

La evaluación de la señal en el procedimiento de alineaciones en fase conocido se realiza de tal modo que las señales ultrasónicas reflejadas individuales recibidas en un periodo de medición sean sumadas teniendo en cuenta el desplazamiento de fase empleado en la radiación al principio del periodo de medición. Por tanto, después de cada periodo de medición individual se forma una señal suma. Por la observación de todas las señales suma pueden obtenerse conclusiones sobre las propiedades de

transmisión o reflexión en todo el volumen de la muestra accesible físicamente para el procedimiento de verificación de material.

Desfavorable en el empleo del procedimiento de alineaciones en fase para el examen no destructivo de materiales en una muestra es, no obstante, el gasto de tiempo y el despliegue de técnica de medición hasta que una muestra es examinada lo más completamente posible, hay que obtener a ser posible desde todas las zonas de volumen señales de medición suficientemente seguras para una evaluación de señal completa. Por tanto, en un periodo de medición o una pluralidad de periodos de medición individuales con el mismo control de fase de los transductores ultrasónicos se puede obtener únicamente una información sobre las propiedades de reflexión en sólo una zona de volumen de la muestra. Para un examen del volumen de la muestra completo es, por tanto, necesario un número muy alto de mediciones con controles de fase diferentes en cada caso, lo que conduce a un gasto de tiempo considerable para toda la verificación del material.

Otro inconveniente es que un ángulo de incidencia predeterminedo fija la abertura del palpador, es decir, la abertura no puede ser elegida de forma óptima para todos los ángulos de incidencia, lo que empeora la resolución de las mediciones.

Es desfavorable en el procedimiento de alineaciones en fase que además hay que prever para cada transductor ultrasónico un canal de emisión y recepción propio con una electrónica de control correspondiente que se una al transductor ultrasónico respectivo por medio de conexiones eléctricas separadas. Puesto que los palpadores ultrasónicos empleados hoy comprenden en la mayoría de los casos 16 o más transductores ultrasónicos, la unión entre el palpador y el aparato de control requiere la mayoría de las veces un haz de cables grueso y no flexible, y por tanto, manipulable con dificultad.

Del documento US 2004/0093949 se desprende un procedimiento de examen ultrasónico para la verificación de vías en el que se ha colocado en la periferia de su perfil una pluralidad de transductores ultrasónicos individuales. La penetración de las ondas ultrasónicas se lleva a cabo con la realización de los llamados modos de ondas acústicas guiados en el tramo de carril.

El documento US 5465722 describe un procedimiento que sirve para la captación ultrasónica de zonas intercorporales y se basa en una selección determinada de transductores ultrasónicos que sirven como emisores y separados de ellos otra selección de transductores ultrasónicos que sirven como receptores, realizándose varias series de tomas para la formación de una imagen con, respectivamente, diferentes emisores y diferentes receptores.

El documento US 5186177 de a conocer un palpador ultrasónico en forma de catéter que puede ser emplazado dentro del cuerpo en el lado distal respecto al catéter para el examen a través de vasos correspondientes y en cuyo extremo distal están previstos transductores ultrasónicos distribuidos con forma anular.

En el documento US 5951479 se describe un sistema de formación de imágenes con transductores ultrasónicos, en el que las ondas ultrasónicas individuales son previamente focalizadas antes de la entrada en la muestra que se va a verificar y para la evaluación de la señal es aprovechado el principio de técnica de focalización de abertura sintética (SAFT).

En el folleto de Deutsch, Platte, Vogt "3.4.3.6 Rechnergestützte Fehlerbeschreibung" in *Ultraschallprüfung: Grundlagen und industrielle Anwendungen*, 1997, páginas 133-141, XP002278716 Springer Verlag, Berlín, se pueden consultar indicaciones generales para la técnica de focalización de abertura sintética (SAFT) empleando un palpador que conduce dinámicamente a través de una sonda.

Descripción de la Invención

El objeto de la presente invención consiste en indicar un procedimiento barato para el examen no destructivo de material de una muestra por medio de ultrasonidos, con el que el volumen de la muestra es examinado lo más completamente posible y así es optimizada la resolución espacial y la sensibilidad de la medición respecto al estado de la técnica. Además se puede de reducir el gasto de tiempo necesario para la comprobación de material, así como el despliegue de la técnica de aparatos.

El objeto se lleva a cabo con el procedimiento según la reivindicación 1 que describe un procedimiento para el examen ultrasónico no destructivo de una muestra por medio de ultrasonidos, en el que con un transductor ultrasónico o una pluralidad de ellos las ondas ultrasónicas acopladas en la muestra y reflejadas dentro de la muestra son recibidas por una pluralidad de transductores ultrasónicos y transformadas en señales ultrasónicas que finalmente son tomadas como base para el examen no destructivo.

10 Realizaciones ventajosas que son objeto de las reivindicaciones subordinadas, se desprenden de la descripción, en particular del ejemplo de realización. El procedimiento según la invención se caracteriza por las siguientes etapas de procedimiento:

En una primera etapa se dispone una pluralidad de n (mayor o igual que 16) transductores ultrasónicos sobre una superficie superior de una muestra. Las transductores ultrasónicos son aplicados a la superficie superior de la muestra, preferentemente de forma directa o a través de medios de acoplamiento adecuados. Así los transductores ultrasónicos son dispuestos en forma de matrices bidimensionales (configuración de campo), es decir son colocados en filas y columnas en la superficie superior de la muestra.

Ventajosamente los n transductores ultrasónicos son adecuados, respectivamente, para acoplar las ondas ultrasónicas en la muestra, así como para recibir las ondas ultrasónicas, es decir son empleados o controlados como emisores de ultrasonidos y como receptores de ultrasonidos. El empleo de emisores de ultrasonidos y receptores de ultrasonidos exclusivamente es igualmente concebible, pero esto con la misma resolución espacial de los resultados de medición conlleva un número mayor de transductores ultrasónicos a ser aplicados.

Preferentemente como transductores ultrasónicos son adecuados transductores piezoeléctricos, pero también es posible el empleo de transductores que se basen en principios de acción electromagnética, óptica o mecánica.

De forma ventajosa los n transductores ultrasónicos son reunidos en uno, lo que permite un uso y aplicación sencillos en la

superficie superior de la muestra. Otras aplicaciones del transductor ultrasónico, por ejemplo en superficies superiores opuestas de la muestra se obtienen dependiendo de la forma y tamaño de la muestra, así como del trabajo de inspección propuesto en cada caso. Se ha mostrado que con el procedimiento según la invención puede conseguirse una resolución espacial óptima de los resultados de medición, cuando el número de transductores que se prevén es mayor o igual a 16.

En una segunda etapa, a partir del número total de los n transductores ultrasónicos se selecciona un primer transductor ultrasónico o un primer grupo de transductores ultrasónicos, debiendo ser en caso de selección de un grupo de transductores ultrasónicos el número i de transductores pertenecientes al grupo menor que el número total n de todos los transductores ultrasónicos.

La fijación del número i de emisores ultrasónicos determina la energía elástica acoplada en la muestra por activación de los emisores ultrasónicos, con la condición previa de que los i emisores ultrasónicos sean activados simultáneamente. Cuanto mayor sea el número de todos los emisores activos a la vez, mayor será la energía elástica acoplada en la muestra. Además la fijación de i transductores ultrasónicos como emisores se realiza de forma ventajosa seleccionando i transductores ultrasónicos dispuestos directamente colindantes, a ser posible como matriz de emisores ultrasónicos dispuestos en un plano. Con la condición previa de que todos los emisores emitan simultáneamente, el número i de emisores ultrasónicos y la composición concreta del grupo emisor, en particular su disposición sobre una superficie superior de la muestra, determina además la característica de radiación completa (abertura) del grupo emisor y también la sensibilidad y la capacidad de resolución de las mediciones.

Además el primer transductor ultrasónico, es decir $i=1$, o todos los i transductores ultrasónicos pertenecientes al primer grupo son activados para la emisión de ondas ultrasónicas que se acoplan en la muestra. La activación de todos los i transductores ultrasónicos pertenecientes a un grupo se realiza simultáneamente, es decir sin desplazamiento de fase y de modo que la activa-

ción de todos los i transductores ultrasónicos de un grupo se realice simultáneamente, es decir, sin desplazamiento de fase. En los lugares de defecto dentro de la muestra o en las superficies superiores de la muestra opuestas a las zonas de acoplamiento respectivas, las ondas ultrasónicas son reflejadas y vuelven de nuevo a la zona de la superficie superior de los n transductores ultrasónicos aplicados sobre la superficie superior de la muestra, recibiendo ondas ultrasónicas todos los n transductores ultrasónicos.

Tras cada periodo de medición individual las señales ultrasónicas recibidas por todos los transductores ultrasónicos son transformadas en señales ultrasónicas y almacenadas, es decir conducidas a una unidad de almacenamiento correspondiente y allí almacenadas.

Esencialmente no es necesario modular el transductor ultrasónico que sirve como emisor específicamente para el emisor, es decir todos los emisores de ultrasonidos son activados de forma idéntica. Por motivos de una evaluación simplificada lo más posible o especial de las señales de medición podría ser ventajoso asignar las señales de medición recibidas a los emisores de ultrasonidos respectivos. Para ello los i transductores ultrasónicos perteneciente a un grupo son activados modulados, es decir, cada transductor individual es activado con una modulación diferenciable, de manera que las ondas ultrasónicas acopladas en la muestra puedan ser detectadas con especificidad del emisor.

Tras la realización de uno o varios periodos de medición se realiza una selección modificada de emisores de ultrasonidos que generan las ondas ultrasónicas. Con el fin de mejorar la sensibilidad de medición se pueden realizar varios periodos de medición con una constelación de emisores de ultrasonidos que permanezca igual para en el curso de la evaluación estadística de la señal obtener una relación señal/ruido mejor. En caso de, respectivamente, un único transductor ultrasónico que sirva como emisor de ultrasonidos se selecciona otro transductor ultrasónico para la emisión de ondas ultrasónicas. Preferentemente se elige un transductor ultrasónico que esté situado directamente colindante a aquel transductor ultrasónico que haya sido activado en último lugar. En caso de varios transductores ultrasónicos reunidos en

un grupo se puede de nuevo formar un grupo de transductores ultrasónicos, cuyo número i sea idéntico, aunque su composición se diferencie de la elegida previamente, al menos en un transductor ultrasónico.

5 De esta forma la muestra puede ser radiada con ondas ultrasónicas desde diferentes zonas de acoplamiento. Igual que el primer periodo de medición o el primer ciclo de medición, que se compone de varios primeros periodos de medición, con la nueva constelación de emisores de ultrasonidos son recibidas las ondas
10 ultrasónicas reflejadas con todos los n transductores ultrasónicos y transformadas en señales ultrasónicas que finalmente son asimismo almacenadas. Todos los n transductores ultrasónicos que sirven para la recepción de ondas ultrasónicas permanecen invariables a pesar de las constelaciones de emisores de ultrasonidos
15 modificadas para posibilitar posteriormente una evaluación de la señal de medición lo más sencilla posible, como se va a explicar a continuación.

Las etapas de procedimiento descritas anteriormente de la activación repetida de otro transductor ultrasónico o de un grupo
20 de transductores ultrasónicos con una composición modificada en cuanto a transductores ultrasónicos, así como de la recepción y almacenamiento de la señales de medición obtenidas son a menudo repetidas de forma predeterminable para de esta forma determinar la capacidad de transmisión o reflexión de la muestra a partir
25 de una pluralidad de posiciones de penetración posibles, preferentemente de todas.

Si por ejemplo es activado como transductor ultrasónico únicamente un transductor ultrasónico, es decir $i=1$, entonces pueden ser realizados como máximo n periodos de medición o n
30 ciclos de medición, consistiendo cada uno en un número seleccionable de periodos de medición. En caso de la activación de un grupo formado por i transductores ultrasónicos pueden ser realizadas como máximo todas las permutaciones de i transductores de los n transductores ultrasónicos existentes.

35 Como resultado de la realización de las etapas de procedimiento anteriores se obtiene una pluralidad de n señales de medición almacenadas por periodo de medición o ciclo de medición,

que se puede analizar a continuación con la condición de un examen de la muestra conforme a un objetivo. Un aspecto particular viene de la posibilidad de la evaluación posterior de las señales de medición almacenadas tras la realización de la propia medición del palpador. La evaluación de las señales ultrasónicas se realiza, por así decirlo, fuera de línea con un algoritmo de reconstrucción que es seleccionado con la provisión de un ángulo de incidencia predeterminable de forma virtual y/o de una focalización virtual de las ondas ultrasónicas acopladas en la muestra y aplicada a las señales ultrasónicas almacenadas. Con ayuda de los algoritmos de reconstrucción de este tipo a partir de las señales ultrasónicas almacenadas pueden ser calculadas representaciones tridimensionales sintéticas de las propiedades de transmisión o reflexión de la muestra, sin que sean necesarias otras mediciones ultrasónicas. Este principio de reconstrucción se basa en la aplicación de la técnica de focalización de abertura sintética (SAFT) que consiste en que todas las señales ultrasónicas recibidas son proyectadas sobre un eje temporal común. Así, todas las señales ultrasónicas reflejadas por un reflector determinado son sumadas con igual fase. Una reconstrucción posterior del ángulo de incidencia discrecional resulta por una adición con desplazamiento de fase de las señales de recepción desde diferentes receptores ultrasónicos. Por la evaluación fuera de línea se puede casi reconstruir sintéticamente cada ángulo de incidencia y con ello realizar un giro de ultrasonidos (“barrido”) a través del conjunto de datos.

El procedimiento según la invención posibilita en comparación con el estado de la técnica un procedimiento que puede ser llevado a cabo barato y rápidamente, y que permite una evaluación y valoración flexibles de los datos de medición detectados fuera de línea.

Un perfeccionamiento ventajoso del procedimiento según la invención prevé una conversión analógico-digital en la que las señales ultrasónicas analógicas de los n receptores ultrasónicos son convertidas en señales digitales y conducidas en forma digital en serie a una unidad de almacenamiento.

En otra realización ventajosa el control eléctrico o activación de todos los n transductores ultrasónicos previstos se realiza

en forma de una transferencia de datos digitales entre la unidad de control necesaria para el control y los transductores ultrasónicos. Se propone prever en el entorno inmediato a cada transductor ultrasónico convertidores AD y DA correspondientes. Estos componentes electrónicos pueden estar alojados directamente en los transductores ultrasónicos o en un palpador ultrasónico correspondiente, con lo que se consigue una reducción considerable del número y tamaño de los cables de conexión analógica entre el palpador y la unidad de control. Además se posibilita con ello una realización del procedimiento menor y más compacta de acuerdo con la técnica de aparatos.

Breve Descripción de la invención

La invención se describirá a continuación en virtud de ejemplos de realización con referencia a los dibujos que no limitan la idea general de la invención. Muestran:

Fig. 1a, una matriz de 4 x 4 transductores ultrasónicos,

Fig. 1b, una sección transversal a través de una muestra, así como una representación esquemática del procedimiento para $i=1$, $n=m=4$, y

Fig. 2, una estructura esquemática para la realización del procedimiento según la invención.

Formas de realización de la invención, aplicabilidad industrial

La figura 1 muestra una vista en planta desde arriba esquemática de una disposición 1 de matriz 4 x 4 de transductores con, respectivamente, dieciséis ($n=16$) transductores ultrasónicos A_{pq} , indicando los subíndices p y q la posición del transductor ultrasónico A_{pq} respectivo en la fila p y la columna q de la matriz 1. La matriz 1 de transductores está colocada en la superficie superior de una muestra 2. En este ejemplo de realización se elige para todos los periodos de medición que se realicen el número i del emisor igual a 1 ($i=1$) y el número m del receptor igual a 16 ($m=n=16$).

La figura 1b muestra una sección transversal a través de una muestra 2, de manera que la superficie de sección transversal esté orientada transversal a la superficie superior de la muestra y a través de la primera fila de la matriz 1 de transductores ultrasónicos colocada sobre la superficie superior 3. En la superficie superior 3 de la muestra 2 están dispuestos, por tanto, los cuatro transductores ultrasónicos A_{11} , A_{12} , A_{13} , A_{14} de la matriz 1. Se supone que dentro de la muestra 2 existe un lugar de defecto 4.

En un primer periodo de medición es activado el transductor ultrasónico A_{11} como emisor. A_{11} emite ondas ultrasónicas que según la trayectoria de penetración 5 inciden o iluminan el lugar de defecto 4, se reflejan en éste y según las trayectorias de reflexión 6 representadas inciden en todos los transductores ultrasónicos representados y no representados de la matriz 1 y son recibidas por éstos.

En un primer periodo de medición ($k=1$) en cada transductor ultrasónico A_{pq} ($p=1, \dots, 4$ y $q=1, \dots, 4$) se genera una señal ultrasónica $U_{k=1,pq}$. Estas $4 \times 4 = 16$ señales ultrasónicas son almacenadas individualmente en serie en una unidad de almacenamiento. En el siguiente periodo de medición ($k=2$, no representado) el transductor ultrasónico A_{12} acopla las ondas ultrasónicas en la muestra 2. Debido a la posición de penetración modificada, varía el ángulo de incidencia o “ángulo de iluminación” del lugar de defecto 4 y con ello varía la geometría de reflexión dentro de la muestra 2. En todos los 16 transductores ultrasónicos A_{pq} en un segundo periodo de medición son recibidas señales ultrasónicas $U_{k=2,pq}$ modificadas y a continuación son almacenadas en la unidad de almacenamiento. Se supone que son realizados como mucho 16 periodos de medición con constelación de emisores diferentes en cada caso. Con la realización de todos los 16 periodos de medición se obtiene un conjunto de datos U_{kpq} que comprende $16 \times 4 \times 4 = 256$ señales ultrasónicas individuales.

Con los algoritmos de reconstrucción pueden ser reproducidos sintéticamente a partir de estos datos fuera de línea todas las focalizaciones y los ángulos de incidencia posibles físicamente y a partir de ello ser determinadas las propiedades de transmisión y

reflexión dentro de la muestra 2, sin tener que realizar otras mediciones.

La Fig. 2 muestra la realización con la técnica de aparatos de un perfeccionamiento ventajoso del procedimiento según la invención. En ella están previstos una unidad e control 7 y un palpador 8 (reborde con línea discontinua), realizándose la comunicación de datos y control entre la unidad de control 7 y el palpador 8 por medio de cables eléctricos 9 en forma digital. En este ejemplo de realización un generador de señal 10, un multiplexador 11 y la electrónica necesaria para la conversión AD/DA están alojados en el palpador 8. El generador de señal 10 genera un pulso de emisión sobre una señal de disparo de la unidad de control 7, que es dirigida a través del multiplexador 11 a otro o varios transductores ultrasónicos A_{pq} en el palpador 8 y ésta o éstas ondas ultrasónicas son acopladas en el palpador 2. Las señales ultrasónicas recibidas tras la reflexión en la muestra 2 por los transductores ultrasónicos A_{pq} son en primer lugar amplificadas y a continuación digitalizadas por preamplificadores 12 y convertidores AD 13 previstos por cada transductor ultrasónico A_{pq} . Además los datos digitales de los transductores ultrasónicos A_{pq} individuales que en principio son paralelos son transformados en forma serie, antes de que sean enviados por la conducción de datos 9 a la unidad de control 7 para su almacenamiento.

Lista de símbolos de referencia

	1	Matriz, Matriz de transductores ultrasónicos
	2	Palpadores
5	3	Superficie superior, superficie superior de la muestra
	4	Lugar de defecto
	5	Trayectoria de penetración
	6	Trayectoria de reflexión
	7	Unidad de control
10	8	Palpador
	9	Cables eléctricos
	10	Generador de señal
	11	Multiplexador
	12	Preamplificador
15	13	Convertidor AD

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el examen no destructivo de una muestra (2) por medio de ultrasonidos, en el que las ondas ultrasónicas son acopladas en la muestra (2) usando una pluralidad de transductores ultrasónicos y las ondas ultrasónicas reflejadas dentro de la muestra (2) son recibidas por una pluralidad de transductores ultrasónicos y convertidas en señales ultrasónicas que son la base del examen no destructivo, en el que:
- 5 a) n transductores ultrasónicos son dispuestos en una superficie superior (3) de la muestra (2),
 - b) un primer transductor ultrasónico o un primer grupo de i transductores ultrasónicos de los n transductores ultrasónicos es seleccionado y activado para emitir ondas ultrasónicas dentro de la muestra, con $i < n$,
 - 15 c) las ondas ultrasónicas reflejadas en el interior de la muestra (2) son recibidas usando m transductores ultrasónicos, con $i < m \leq n$, y son generadas m señales ultrasónicas, que son
 - d) almacenadas, y
 - 20 e) otro transductor ultrasónico u otro grupo de i transductores ultrasónicos que difiera en al menos un transductor ultrasónico del primer grupo, es elegido y activado para emitir ondas ultrasónicas y son realizadas las etapas de procedimiento c) y d),
 - f) la etapa de procedimiento e) es ejecutada, repetidamente, con la selección de otro transductor ultrasónico u otro grupo de i transductores ultrasónicos en cada caso, con la condición de que el otro transductor ultrasónico o el otro grupo de i transductores ultrasónicos difiera del transductor ultrasónico ya seleccionado o grupo ya seleccionado de i transductores ultrasónicos,
 - 30 y en el que está previsto que los $n \geq 16$ transductores ultrasónicos dispuestos en una configuración con forma de matriz bidimensional, es decir situados en filas y columnas, sean colocados sobre la superficie de la muestra, de manera que la recepción de las ondas ultrasónicas reflejadas en el interior de la muestra se realice por todos los transductores ultrasónicos previstos en la superficie (3) de la muestra (2), es decir $m=n$, y que las señales
 - 35

ultrasónicas sean evaluadas fuera de línea usando un algoritmo de reconstrucción, es decir tras la realización de la transmisión de ultrasonidos a través de la muestra (2), siendo aplicado el algoritmo de reconstrucción con la provisión de un ángulo de incidencia predefinible virtualmente de las ondas ultrasónicas acopladas en la muestra, y que la activación de todos los i transductores ultrasónicos pertenecientes a un grupo se produzca simultáneamente, es decir sin desplazamiento de fase.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la activación de los i transductores ultrasónicos pertenecientes a un grupo se realiza de forma modulada, es decir, cada transductor ultrasónico individual es activado usando una modulación diferenciable, de manera que las ondas ultrasónicas acopladas dentro de la muestra son detectadas de forma específica para el transductor.

3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque la selección de los i transductores ultrasónicos pertenecientes a un grupo se realiza de tal modo que los transductores ultrasónicos directamente adyacentes son seleccionados según una matriz plana.

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque son usados transductores ultrasónicos basados en un principio de acción electromagnético, óptico, y/o mecánico, en particular basados en el principio de transductor piezoeléctrico.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque la generación y almacenamiento de n señales ultrasónicas se realiza, respectivamente, en el curso de una conversión analógico/digital durante la cual las señales ultrasónicas analógicas de los n transductores analógicos son convertidas en señales digitales y almacenadas en forma de serie.

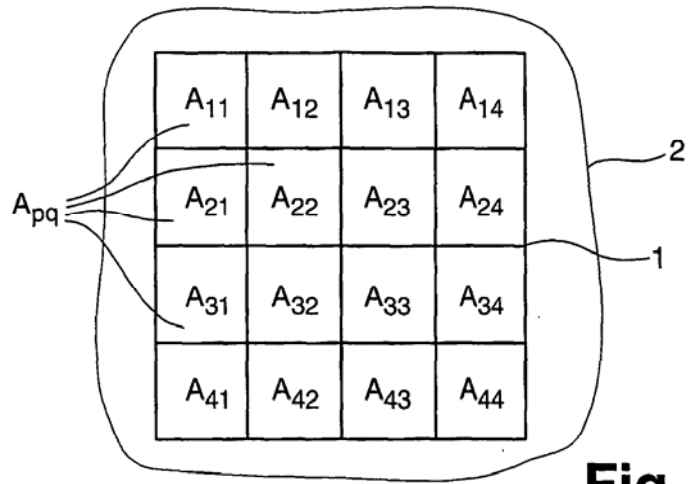


Fig. 1a

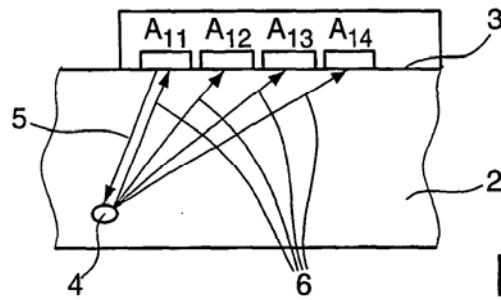


Fig. 1b

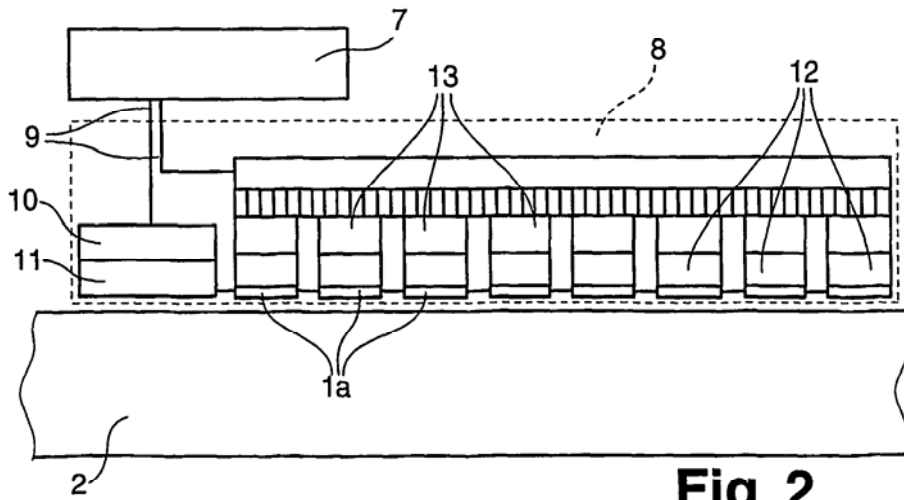


Fig. 2