

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 396 363**

51 Int. Cl.:

G01N 29/26 (2006.01)

G01N 29/06 (2006.01)

G01N 29/44 (2006.01)

G01N 29/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.12.2008 E 08870425 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.08.2012 EP 2229586**

54 Título: **Procedimiento para el ensayo no destructivo de una probeta por medio de ultrasonido así como dispositivo para ello**

30 Prioridad:

04.01.2008 DE 102008003257

11.04.2008 DE 102008018648

18.04.2008 DE 102008019778

16.06.2008 DE 102008002445

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.02.2013

73 Titular/es:

**GE SENSING & INSPECTION TECHNOLOGIES
GMBH (100.0%)
ROBERT-BOSCH-STRASSE 3
50354 HÜRTH, DE**

72 Inventor/es:

**OBERDÖRFER, YORK y
KLEINERT, WOLF-DIETRICH**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 396 363 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 para el ensayo no destructivo de una probeta por medio de ultrasonido así como dispositivo para ello

Es objeto de la presente invención un procedimiento para el ensayo no destructivo de una probeta por medio de ultrasonido, en el que en el contexto del procedimiento se determina un tamaño del reflector equivalente para un defecto que se encuentra en el volumen de la probeta a partir de las señales de eco de ultrasonido que se registran en el contexto del procedimiento. Adicionalmente es objeto de la presente invención un dispositivo que es adecuado para la realización del procedimiento según la invención.

Por el estado de la técnica se conocen bien procedimientos genéricos. Por la publicación US 2006/0219013 se conoce un ensayo no destructivo por ultrasonido con una determinación de defectos a partir de las señales de eco para una multiplicidad de ángulos de sonorización y representación posterior del defecto como barrido por sectores. Un defecto detectado por medio de un procedimiento de impulso-eco, basado en la sonorización de ultrasonido pulsado en una probeta, en el volumen de la probeta, por ejemplo una cavidad, una inclusión o también una grieta, se caracteriza por la indicación de un valor para su tamaño del reflector equivalente ERG (en inglés ERS "equivalent reflector size"). El valor de este tamaño del reflector equivalente se determina mediante una comparación de la amplitud de las señales de eco que proceden del defecto examinado en el volumen de la probeta, con un defecto de referencia a modo de modelo de tamaño conocido. En el denominado procedimiento de bloque de referencia, el examinador compara las señales de eco de la probeta examinada con señales de eco que éste obtiene en un bloque de referencia equivalente a la probeta, en el que están introducidos uno o varios reflectores de referencia. Para ello pueden introducirse, por ejemplo, orificios cilíndricos con dimensiones conocidas en el bloque de referencia. Las señales de eco que se producen en una reflexión por ultrasonido en el orificio se comparan entonces con las señales de eco que se obtienen en una examinación de la probeta. En caso del procedimiento de bloque de referencia, el examinador realiza, por tanto, mediciones tanto en la probeta que va a examinarse como en el bloque de referencia preparado con un palpador adecuado, en caso del cual puede tratarse, por ejemplo, de un palpador angular adecuado.

Por el contrario, en caso del denominado procedimiento AVG se compara la amplitud de la señal de eco que resulta de un defecto en el volumen de la probeta con una señal de eco calculada teóricamente y/o determinada empíricamente de un defecto de referencia a modo de modelo, que por regla general se adopta como disco circular plano y que se encuentra a la misma profundidad en la probeta que el defecto detectado en el ensayo realizado de la probeta. Para ello se crea previamente un denominado diagrama AVG, para el palpador usado en el ensayo, que incluye las características del palpador. Las curvas contenidas en el diagrama AVG indican la altura del eco que generaría un defecto de referencia en una medición con el palpador usado. En caso de un objetivo de ensayo práctico, el examinador puede leer entonces el tamaño del reflector equivalente del defecto detectado en el volumen de la probeta realizando la corrección de atenuación acústica (atenuación acústica específica de material) y la corrección de transferencia (pérdidas de acoplamiento específicas de probeta) para la probeta directamente del diagrama AVG.

En caso de un procedimiento de ensayo clásico según el procedimiento AVG, el examinador varía la posición del palpador y la orientación con respecto al defecto detectado e intenta, mediante esto, maximizar la señal de eco resultante. Este proceso se designa, en caso del ensayo de material por medio de ultrasonido, también "crecimiento" de la señal de ultrasonido. La determinación real del tamaño del reflector equivalente del defecto detectado se realiza entonces para el eco de ultrasonido maximizado.

Otros detalles con respecto al procedimiento AVG resultan por ejemplo del documento de patente US 5.511.425 A que tiene su origen en el titular anterior de la parte solicitante. Adicionalmente se describe detalladamente el procedimiento AVG en el libro "Werkstoffprüfung mit Ultraschall", J. Krautkrämer y H. Krautkrämer, 5ª edición, Springer Verlag, ISBN 3-540-15754-9, capítulo 19.1, páginas 343-349. Los detalles técnicos dados a conocer en este caso con respecto al procedimiento AVG se añaden por esta referencia de manera completamente extensa al contenido declarativo de la presente solicitud.

Es desventajoso en el procedimiento AVG en su forma actualmente extendida el hecho de que para una caracterización representativa de un defecto en el volumen de una probeta deba realizarse una examinación con una multiplicidad de palpadores. Esto se basa en que para un defecto dado, una sonorización perpendicular en la probeta no proporciona forzosamente una amplitud de eco máxima. Más bien depende de la orientación del defecto en el volumen de la probeta, en qué ángulo de sonorización puede obtenerse una señal de eco máxima. Para obtener realmente un valor del tamaño del reflector equivalente del defecto detectado que está correlacionado de manera razonable con el tamaño real del defecto, se usan por tanto por regla general, en el contexto de los procedimientos de ensayo normalizados basados en el procedimiento AVG, distintos palpadores angulares que realizan distintos ángulos de sonorización. Este procedimiento significa en la práctica un alto esfuerzo de ensayo y documentación para el examinador, de modo que por regla general se somete a ensayo sólo en pocos ángulos de sonorización. Además, la variación del ángulo de sonorización requiere un cambio del palpador, lo que origina problemas adicionales debido a la calibración jamás unívoca al cien por cien así como a las propiedades de acoplamiento de los palpadores. También mediante esto se dificulta la interpretación de los valores de ERS detectados en un defecto.

Por tanto, es objetivo de la presente invención indicar un procedimiento para el ensayo no destructivo de una probeta por medio de ultrasonido, que facilite al examinador una representación novedosa de un defecto detectado en el volumen de la probeta. Adicionalmente debe facilitarse un dispositivo que sea adecuado para la realización del procedimiento según la invención.

- 5 Este objetivo se soluciona mediante un procedimiento con las características de la reivindicación 1 así como mediante un dispositivo con las características de la reivindicación 14.

El procedimiento según la invención según la reivindicación 1 está previsto para el ensayo no destructivo de una probeta por medio de ultrasonido.

- 10 En el contexto de las exámenes costosos ha resultado que el valor de ERS de un defecto con frecuencia presenta una fuerte dependencia de aquel ángulo con el que se sonoriza el defecto. Este ángulo está directamente correlacionado con el ángulo de sonorización β , ángulo con el que se acopla el ultrasonido sonorizado en la probeta según el procedimiento en ésta. A este respecto ha resultado que la dependencia angular observada del valor de ERS de un defecto permite sacar conclusiones sobre las propiedades esenciales de un defecto, tal como por ejemplo su geometría como plana o voluminosa, particularmente su simetría.

- 15 Particularmente ha resultado que una clasificación de un defecto detectado en el volumen de una probeta puede realizarse por medio de la dependencia angular de su señal de ERS. De manera correspondiente representa para el examinador una simplificación esencial, cuando éste dispone de una representación gráfica de un defecto que ha detectado en el volumen de la probeta, a partir de la que puede deducir la dependencia del valor de ERS del defecto del ángulo de sonorización β al menos cualitativamente.

- 20 En un perfeccionamiento ventajoso del procedimiento según la invención se detecta, durante la realización del procedimiento, una modificación de la posición del sitio de acoplamiento, en el que se sonorizan pulsos de ultrasonido usados para el ensayo en la probeta. Una detección de la posición de este tipo ofrece, particularmente, la ventaja de que puede usarse la información de posición para la generación de un barrido-B (eje X: posición en la superficie de la probeta, eje Y: profundidad en la probeta) o de un barrido-C de la probeta. Además, la detección de posición permite una medición especialmente eficaz de la dependencia angular del valor de ERS de un defecto.

- 25 En otra configuración preferente del procedimiento según la invención se compensa automáticamente, con el cálculo del valor de ERS del defecto, la influencia del ajuste electrónico del ángulo de sonorización sobre el valor de ERS que va a determinarse del defecto. Ciertos algoritmos correspondientes pueden integrarse sin más en una unidad de activación para un palpador de ultrasonido. Preferentemente, para la sonorización de los pulsos de ultrasonido dirigidos en la probeta se usa un palpador de emisión, cuyo emisor de ultrasonido comprende una multiplicidad de transformadores de ultrasonido independientemente activables. Para el ajuste electrónico del ángulo de sonorización β se activa entonces la multiplicidad de los transformadores de ultrasonido individualmente de manera precisa de fase, de modo que se varía el ángulo de emisión α del emisor de ultrasonidos. De esto resulta directamente una variación del ángulo de sonorización β en la probeta.

- 35 Preferentemente se prevé en el contexto del procedimiento según la invención que, con el cálculo del valor de ERS del defecto que se detectó en el volumen de la probeta a partir de las señales de eco que pueden asignarse al defecto, se compensa automáticamente de manera computacional la influencia del ajuste electrónico del ángulo de emisión α y con ello del ángulo de sonorización β sobre el valor de ERS determinado del defecto. El ángulo de emisión y el ángulo de sonorización β pueden considerarse como equivalentes en el contexto de la presente invención, dado que están enlazados físicamente entre sí de manera fija. Particularmente esto significa que en el contexto del procedimiento según la invención se realiza de manera automatizada al menos una de las siguientes correcciones, sin embargo preferentemente varias:

- 45
- compensación de la modificación del tamaño del transformador de ultrasonido virtual o la apertura del transformador de ultrasonido unida con ello con el ángulo de emisión α o ángulo de sonorización β que se modifica,
 - compensación de la modificación de la posición del punto de acoplamiento del ultrasonido emitido por el transformador de ultrasonido en la probeta con el ángulo de emisión α o ángulo de sonorización β que se modifica,
 - compensación de la modificación de la longitud de trayectoria de ondas acústicas en el cuerpo de propagación con el ángulo de emisión α que se modifica, y
 - compensación de la modificación de posición del foco en la probeta con el ángulo de emisión α o ángulo de sonorización β que se modifica,
- 50

- 55 Para el ajuste electrónico del ángulo de sonorización β , los palpadores de matriz en fase ya mencionados presentan ventajas especiales. Sin embargo esto no significa que en el contexto del procedimiento según la invención no pudieran usarse tampoco otros palpadores de ultrasonido con ángulo de sonorización variable con la condición previa de que el ángulo de sonorización pueda ajustarse electrónicamente y también pueda cuantificarse.

5 En el contexto del procedimiento según la invención se usa ventajosamente al menos un diagrama AVG para la determinación del valor de ERS de un defecto en el volumen de la probeta a partir de señales de eco reflejadas por el defecto. A este respecto, este diagrama AVG puede ser específico para la fuente de los pulsos de ultrasonido, o sea particularmente específico para el palpador de emisión usado. Adicionalmente, el diagrama AVG puede ser específico para el material de la probeta. En una primera configuración, el diagrama AVG presenta adicionalmente una dependencia del ángulo de sonorización β del ultrasonido en la probeta o un tamaño de ángulo equivalente. En un planteamiento alternativo, el diagrama AVG no presenta ninguna dependencia del ángulo de sonorización β , más bien se compensa computacionalmente la influencia del ángulo de sonorización β sobre la amplitud acústica registrada o el valor de ERS del defecto en el contexto del procedimiento.

10 En el contexto del ensayo de la probeta se recorre adicionalmente de manera preferente al menos una etapa de calibración. En ésta se detecta la amplitud de un eco producido por un defecto de referencia. En caso del defecto de referencia se trata preferentemente de una pared trasera o un orificio de ensayo de una probeta, pudiéndose prescindir particularmente en el caso del eco de pared trasera también de una probeta separada y pudiéndose realizar la etapa de calibración directamente en la propia probeta. Preferentemente se realiza la etapa de calibración para una multiplicidad de ángulos de sonorización y/o defectos de referencia, sin embargo no siendo esto obligatorio.

15 El dispositivo adecuado para la realización del procedimiento según la invención, del que se ocupa a continuación aún de manera más precisa, ofrece a este respecto preferentemente la posibilidad para la realización de etapas de calibración normalizadas, en las que puede seleccionarse por ejemplo también con una multiplicidad de probetas ajustadas previamente normalizadas.

20 En una configuración preferente del procedimiento se representa en la representación gráfica generada al menos una de las siguientes características del defecto:

- a) aquel ángulo de sonorización β , con el que el valor de ERS del defecto es máximo,
- b) una información sobre si el valor de ERS del defecto es esencialmente constante por distintos ángulos de sonorización β , o si éste varía con distintos ángulos de sonorización.

25 Particularmente, en el barrido-B generado puede simbolizarse un defecto detectado por una barra, cuya extensión se correlaciona a lo largo de su eje longitudinal con el valor de ERS del defecto detectado. Ventajosamente se usan, a este respecto, las mismas escalas para la representación del valor de ERS y para la posición en X en la superficie de la probeta. Como barra debe entenderse en el contexto de la presente invención una figura geométrica arbitraria que es axialmente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales uno con respecto a otro, por ejemplo una línea, un rectángulo, una elipse etc. A este respecto se designa en relación con la presente invención uno de los dos ejes de simetría de la barra como su eje longitudinal.

30 Para elevar la capacidad de interpretación del barrido-B generado en el contexto del procedimiento según la invención, particularmente para mejorar la capacidad de detección intuitiva del barrido-B generado, ha resultado ventajoso cuando en el barrido-B generado se representa de manera adecuada al menos una de las siguientes características adicionales del defecto detectado:

- a) la amplitud relativa del eco de defecto,
- b) el ángulo de sonorización β , con el que el valor de ERS del defecto detectado es máximo, por ejemplo representándose el defecto como barra que es perpendicular a la dirección de sonorización con la que resulta el eco de defecto máximo,
- c) el tamaño de defecto relativo,
- d) información sobre la longitud de trayectoria de ondas acústicas del eco, por ejemplo la bifurcación a partir de la cual procede el eco de defecto, y
- e) una información sobre si el valor de ERS del defecto detectado es igual o distinto por todos los ángulos de sonorización β sometidos a examen en el contexto de los límites de defecto predeterminados.

35 La indicación de valores relativos puede referirse por ejemplo a valores de referencia medidos en relación con el ensayo de la probeta.

Para ello pueden usarse en el barrido-B ventajosamente uno o varios de los siguientes parámetros indicadores:

- a) el color de la barra,
- b) la dimensión de la barra transversalmente a su eje longitudinal (anchura de la barra B),
- c) el ángulo del eje longitudinal de la barra hacia la superficie de la probeta, y
- d) la forma básica geométrica de la barra.

A modo de ejemplo se explican en más detalle a continuación ahora algunas posibilidades de representación para diversas características de defecto.

55 En el contexto de la presente invención debe usarse, con amplitud relativa del eco de defecto, la información de si el eco de ultrasonido que procede del defecto en el volumen de la probeta, es decir la amplitud del eco, sobrepasa un

cierto umbral predeterminado. Un umbral de este tipo puede referirse, por ejemplo, a la amplitud de eco de defecto medida en comparación con la amplitud de un defecto de referencia. Particularmente, un umbral puede indicarse entonces en “milímetros de ERS”, por ejemplo el ERS debe ser mayor o igual a un límite registrado de 2 milímetros o 5 milímetros a modo de ejemplo.

5 Si en el contexto del procedimiento según la invención varía el ángulo de sonorización β y se determina aquel ángulo de sonorización β con el que el valor de ERS del defecto es máximo, entonces puede proporcionarse al examinador un punto de referencia para la orientación del defecto en el volumen de la probeta, representándose de manera inclinada el eje longitudinal de la barra que representa el defecto en el barrido-B, con respecto a la superficie de la probeta. Ventajosamente se representa en este caso la barra de modo que su eje longitudinal se encuentra perpendicular al eje acústico del ultrasonido sonorizado con aquel ángulo α para el que el valor de ERS del defecto es máximo.

10 Otra información relevante para el examinador y la documentación es si el valor de ERS del defecto detectado se encuentra por encima o por debajo de un límite registrado predeterminado. Así es posible por ejemplo, en el barrido-B generado, suprimir completamente las señales de defecto por debajo de un determinado umbral. Como alternativa, tales señales de defecto pueden codificarse también de manera coloreada o pueden representarse como barras transparentes, para indicar la distancia desde el límite registrado (por ejemplo en “mm de ERS” o dB). Particularmente, las dos últimas variantes de representación ofrecen la ventaja de que el examinador puede indicar que si bien en el sitio examinado está presente un defecto en el volumen de la probeta, sin embargo éste es pequeño con respecto a su valor de ERS, de modo que no necesita documentarse debido a las instrucciones de ensayo pertinentes.

15 Adicionalmente puede ser interesante para el examinador la información de a partir de qué longitud de trayectoria de ondas acústicas, o sea por ejemplo “bifurcación” de la radiación de ultrasonido sonorizada, resulta el eco de defecto. Esta información es interesante particularmente en caso de la realización de un ensayo en una probeta con superficies planoparalelas, dado que en este caso con frecuencia se produce la situación de que el defecto se detecta en primer lugar por la radiación de ultrasonido, después de lo cual se reflejó éste al menos de manera excepcional en la pared trasera de la probeta. Esta información puede determinarse a partir del tiempo de recorrido del eco de defecto y puede representarse gráficamente en el barrido-B, por ejemplo mediante codificación coloreada de la barra, para el examinador.

20 Adicionalmente es importante para el examinador la información de si el defecto detectado en el volumen de la probeta más bien ha de considerarse como defecto extendido en superficie o como defecto extendido tridimensionalmente. Los defectos extendidos tridimensionalmente serán por regla general cavidades o defectos que están condicionados por la fabricación y frecuentemente no representan ningún riesgo para las fracturas por fatiga. Por el contrario, los defectos extendidos en superficie están correlacionados por regla general con grietas en la probeta, que pueden ser síntomas de fatiga y tienen una fuerte tendencia a propagarse, lo que puede conducir a fracturas por fatiga. Un defecto extendido tridimensionalmente en el volumen de la probeta está caracterizado en el contexto del procedimiento según la invención porque el valor de ERS resultante del defecto es esencialmente independiente del ángulo de sonorización. Por el contrario, los defectos extendidos bidimensionalmente muestran una fuerte dependencia del ángulo de sonorización. En este caso puede codificarse, por tanto, en la barra representada la información de si se trata más bien de un defecto extendido en superficie o de un defecto tridimensional. Esto puede realizarse, por ejemplo, mediante la adaptación de longitud y anchura de la barra representada o también mediante la selección de una forma geométrica que representa la simetría del defecto. Sin embargo también se usan ventajosamente una codificación coloreada en este sitio.

25 Como alternativa a la generación descrita anteriormente de manera extensa de un barrido-B puede preverse según la invención también la generación de un barrido-C (eje X: posición en dirección x en la superficie de la probeta, eje Y: posición en dirección Y en la superficie de la probeta) o la generación de un barrido de sectores (también barrido-S, eje X: distancia desde el sitio de sonorización / profundidad en la probeta, eje Y: ángulo azimutal: ángulo de sonorización) y puede ser ventajoso en casos de uso especiales. Todas las realizaciones anteriores para la representación de las características de defecto determinadas en el barrido-B pueden transferirse directamente a los barridos C y S previstos adicionalmente.

30 El procedimiento según la invención permite realizar el procedimiento AVG notificado en muchas especificaciones de ensayo ahora con palpadores de ultrasonido modernos que permiten un ajuste electrónico del ángulo de sonorización en la probeta, por ejemplo usando la técnica de matriz en fase.

Un dispositivo según la invención según la reivindicación 14 está previsto para el ensayo no destructivo de una probeta por medio de ultrasonido.

35 Según la invención, el emisor de ultrasonidos del dispositivo presenta una multiplicidad de transformadores de ultrasonido independientemente activables. Adicionalmente, la unidad de activación y valoración está configurada para activar estos transformadores de ultrasonido individualmente de manera precisa de fase de modo que pueda ajustarse electrónicamente el ángulo de emisión α del emisor de ultrasonidos y con ello el ángulo de sonorización β en la probeta. Adicionalmente, la unidad de activación y valoración está configurada para determinar, a partir de las

señales de eco que pueden asignarse al defecto, el valor de ERS de un defecto en el volumen de la probeta para una multiplicidad de ángulos de sonorización. Finalmente, la unidad de activación y valoración está configurada para generar una representación gráfica del defecto mencionado anteriormente, a partir de la que puede leerse la dependencia del valor de ERS determinado del defecto del ángulo de sonorización β al menos cualitativamente.

5 Particularmente, la representación gráfica generada puede reproducir el valor de ERS del defecto en dependencia directa del ángulo de sonorización β . A partir de la dependencia angular del valor de ERS del defecto, el examinador (tal como se trató ya anteriormente de manera extensa) puede sacar conclusiones sobre propiedades esenciales del defecto. Según la invención, la representación gráfica generada del defecto es un barrido-B, un barrido-C o un barrido de sectores de la probeta, en el que el valor de ERS dependiente del ángulo del defecto está registrado de
10 manera adecuada.

En una configuración especialmente preferente del dispositivo según la invención, que es ventajosa particularmente en relación con la generación de un barrido-B, barrido-C o barrido de sectores de la probeta, el dispositivo comprende adicionalmente una unidad de detección de trayectoria que está configurada para detectar una modificación de la posición del palpador en la superficie de la probeta. Una unidad de detección de trayectoria de este tipo puede realizarse, por ejemplo, por medio de un sensor de trayecto mecánico que está dispuesto en el propio palpador. Sin embargo también pueden usarse sensores de trayecto que funcionan ópticamente según el principio del ratón óptico. Finalmente, en caso del uso de un emisor de ultrasonidos de matriz en fase pueden consultarse también las modificaciones de las señales de ultrasonido, que se producen en caso de una modificación de la posición del palpador en la superficie de la probeta, para una determinación de la posición. Ya se indicaron las correspondientes citas bibliográficas. El uso de una matriz lineal permite junto a la detección de una modificación de la posición del palpador en la superficie de la probeta en la dirección del eje longitudinal de la matriz además la realización de un barrido electrónico en esta dirección, activándose sucesivamente distintos subgrupos de transformadores. El uso de una matriz en fase bidimensional permite particularmente la detección de una modificación de la posición en dos direcciones espaciales, y además la detección de un giro del palpador en la
15 superficie de la probeta.
20
25

Con respecto a las posibilidades de reproducir propiedades del defecto esenciales en las representaciones gráficas generadas del defecto, se ocupó ya detalladamente en relación con el procedimiento según la invención. El dispositivo según la invención está configurado preferentemente para generar las representaciones del defecto explicadas en relación con el procedimiento.

30 Finalmente resultan ventajas especiales cuando la unidad de activación y valoración está configurada para compensar automáticamente, con el cálculo del valor de ERS del defecto, la influencia del ajuste electrónico del ángulo de sonorización β sobre el valor de ERS que va a determinarse del defecto.

Tal como se explicó ya en relación con el procedimiento según la invención, el valor de ERS de un defecto puede determinarse, por ejemplo, de manera automatizada mediante la comparación con una multiplicidad de valores de referencia almacenados, pudiéndose tratar en caso de estos valores de referencia, por ejemplo, de uno o varios diagramas AVG. En este contexto se indica que para la determinación de un valor de ERS de un defecto detectado por medio del procedimiento según la invención debe estar a disposición para cada ángulo, con el que se sonoriza el defecto, además de un diagrama AVG también un eco de referencia por ejemplo de una probeta.
35

En una configuración especialmente preferente, en la unidad de activación y valoración está almacenada una pluralidad de valores de referencia, por ejemplo en forma de diagramas AVG que están correlacionados por grupos con distintos ángulos de sonorización β . A este respecto, estos valores de referencia pueden ser específicos del palpador adicionalmente. Particularmente, puede tratarse por tanto de una cantidad de diagramas AVG específica del palpador con respecto a distintos ángulos de sonorización β . Preferentemente, el palpador está dotado adicionalmente de un identificador electrónico que permite a la unidad de activación identificar en caso de conexión del palpador de manera autónoma el tipo de palpador o incluso el palpador individual y seleccionar los valores de referencia específicos del (tipo de) palpador almacenados.
40
45

En todas las configuraciones, la determinación de un valor de ERS (específico del ángulo de sonorización) para un defecto detectado requiere sin embargo por regla general que exista un valor de referencia que se detectó, por ejemplo, en una probeta con el respectivo ángulo, o proceda sin embargo de una interpolación entre distintos ángulos medidos.
50

Ciertas ventajas especiales resultan cuando la unidad de activación y valoración está configurada para compensar automáticamente, con el cálculo del valor de ERS del defecto, la influencia del ajuste electrónico del ángulo de sonorización β sobre el valor de ERS que va a determinarse del defecto.

Así, en una configuración especialmente preferente del dispositivo según la invención está configurada su unidad de activación y valoración para convertir de manera automatizada desde el ángulo de emisión α del emisor de ultrasonidos en el ángulo de sonorización β resultante en la probeta, para compensar de manera automatizada la influencia del ajuste electrónico del ángulo de sonorización β sobre el valor de ERS que va a determinarse del defecto. Particularmente, esta compensación puede estar configurada de manera específica del palpador. Además
55

estará configurada prácticamente para tener en consideración las propiedades específicas de ultrasonido del material de la sección de propagación y de la probeta tales como por ejemplo la velocidad del sonido.

5 Otra mejora puede conseguirse cuando para la compensación automática de la influencia del ajuste electrónico del ángulo de sonorización β sobre el valor de ERS que va a determinarse del defecto, la unidad de activación y valoración del dispositivo según la invención está configurada para compensar de manera automatizada la variación del tamaño emisor de ultrasonido virtual que va acompañada de la variación electrónica del ángulo de sonorización β y con ello la apertura del palpador. El tamaño del emisor de ultrasonidos virtual resulta de una proyección de la dimensión geométrica real del emisor de ultrasonidos en una perpendicularmente a la dirección de emisión ajustada electrónicamente del emisor de ultrasonidos. Si el emisor de ultrasonidos emite en un ángulo de emisión α distinto de 0° , entonces esto tiene como consecuencia directamente una reducción del tamaño del emisor de ultrasonidos virtual. Dado que el tamaño del emisor de ultrasonidos se incluye eventualmente en el cálculo del valor de ERS de un defecto detectado, debe realizarse en este caso eventualmente una correspondiente compensación automática.

15 Otra mejora resulta cuando la unidad de activación y valoración está configurada para compensar automáticamente la influencia del desplazamiento del sitio de acoplamiento X_0 , que va acompañado de un ajuste del ángulo de emisión α o del ángulo de sonorización β , sobre el valor de ERS que va a determinarse del defecto.

Finalmente puede preverse aún una compensación automática de la modificación de la posición del foco en la probeta que resulta en caso de una variación del ángulo de emisión α debido a la modificación que resulta de ello de la longitud de trayectoria de ondas acústicas en el cuerpo de propagación.

20 Finalmente se indica que la compensación automática según la invención de la influencia del ajuste electrónico del ángulo de sonorización β sobre el ERS que va a determinarse del defecto puede realizarse a base de diagramas AVG almacenados de dos modos distintos. Por un lado, la unidad de activación y valoración puede estar configurada para normalizar los valores de medición reales (es decir señales de eco de tiempo resuelto) considerando la influencia del ajuste del ángulo de sonorización β , es decir para convertir por ejemplo los resultados de un palpador convencional con ángulo de sonorización β fijo. Estos se ajustan entonces con un diagrama AVG normalizado.

25 Por otro lado pueden considerarse ya en caso de la creación de los diagramas AVG dispuestos en la unidad de activación y valoración, las influencias específicas del palpador del ajuste angular electrónico sobre las señales de eco, es decir ya en los diagramas AVG almacenados se considera la compensación que va a realizarse. También esta implementación debe estar comprendida por el procedimiento según la invención así como el dispositivo según la invención.

30 Otras ventajas y características del dispositivo según la invención así como del procedimiento según la invención resultan de las reivindicaciones dependientes así como de los ejemplos de realización que se explican en más detalle a continuación por medio del dibujo.

En este muestran:

35 la figura 1: una representación esquemática de un dispositivo según la invención para el ensayo no destructivo de una probeta,

la figura 2a-2c: un barrido-A de la probeta, registrado en distintas posiciones de sonorización x así como con distintos ángulos de sonorización β así como el recorrido de la amplitud A_{\max} para un ángulo de sonorización β determinado dependiendo de la profundidad d en la probeta

40 la figura 3: una representación de la amplitud de eco máxima A_{\max} dependiendo del ángulo de sonorización β ,

la figura 4: un diagrama AVG específico del palpador de ángulo resuelto,

la figura 5: una representación esquemática de la geometría de la radiación en el palpador,

la figura 6: una representación que representa un barrido-B de la probeta, en la que se representa un defecto mediante un valor de ERS respectivo, y

45 la figura 7: una representación correspondientemente a la figura 6 de la probeta con una multiplicidad de defectos que presentan distintas propiedades de reflexión,

la figura 8: una representación esquemática de un procedimiento para la detección de la dependencia angular del valor de ERS de un defecto en el volumen de la probeta, y

50 la figura 9a, 9b: representaciones esquemáticas del valor de ERS dependiente del ángulo de dos defectos distintos en el volumen de la probeta.

La figura 1 muestra un ejemplo de realización de un dispositivo 1 según la invención para el ensayo no destructivo de una probeta 100 por medio de ultrasonido. El dispositivo 1 comprende un palpador de emisión 10 que por su parte comprende una sección de propagación 16 y un emisor de ultrasonidos 12 dispuesto en la misma. A este respecto, el emisor de ultrasonidos 12 está dispuesto en la sección de propagación 16 de modo que en caso de una excitación del emisor de ultrasonidos 12 para la emisión de pulsos de ultrasonido éstos se acoplan esencialmente en la sección de propagación 16. La sección de propagación 16 puede formarse, a este respecto, por ejemplo por un cuerpo de Plexiglas®, tal como se conoce esto básicamente por el estado de la técnica. Preferentemente, los elementos del palpador de emisión 10 están integrados en una carcasa común que no está mostrada en la figura por motivos de disposición clara. En caso del palpador de emisión 10 representado se trata de un palpador angular que está previsto para acoplar en la probeta 100 los pulsos de ultrasonido emitidos por el emisor de ultrasonido 12 con un ángulo de sonorización β que se mide hacia la normal de superficie de la superficie de entrada de la probeta 100. El uso de palpadores angulares es opcional y no obligatorio, pudiéndose usar también, según en cada caso el caso de uso, palpadores para una sonorización perpendicular (es decir $\beta = 0^\circ$).

En caso del emisor de ultrasonidos 12 usado en el palpador de emisión 10 se trata de un emisor de ultrasonidos del tipo de matriz en fase, es decir el emisor de ultrasonidos 12 comprende una multiplicidad de transformadores de ultrasonido 14 que al menos forman una disposición lineal y pueden activarse individualmente. El eje longitudinal de la matriz al menos lineal de los transformadores de ultrasonido 14 está orientada, a este respecto, en la dirección marcada con X. Mediante el ajuste dirigido de la posición de fases entre los transformadores de ultrasonido 14 individuales es posible influir dinámicamente en amplios límites en el ángulo de emisión α , es decir la dirección de la radiación.

El palpador de emisión 10 comprende en el ejemplo de realización mostrado un detector de trayectoria mecánico 18 que muestrea mecánicamente el movimiento del palpador de emisión 10 en la superficie de la probeta 100 y facilita una información de posición correspondiente, por ejemplo en una unidad de activación 50 unida con el palpador de emisión 10. Como alternativa, el detector de trayectoria 18 puede funcionar también separadamente, por ejemplo según el principio del ratón óptico. El detector de trayectoria 18 puede detectar (independientemente de su forma estructural) preferentemente el movimiento del palpador de emisión 10 en dos direcciones independientes entre sí en la superficie de la probeta 100. Ciertas ventajas especiales resultan cuando pueden detectarse también movimientos giratorios del palpador de emisión 10 en la superficie de la probeta. En base a la tecnología que se da a conocer en el documento de patente US 7.324.910 B2, así como su perfeccionamiento que se da a conocer en la solicitud de patente alemana número de referencia 10 2007 028 876.1 del 26 de junio de 2007, puede prescindirse completamente de un detector de trayectoria configurado de manera separada, dado que toda la información de posición puede obtenerse a partir de las señales del propio emisor de ultrasonidos 12.

Con el palpador de emisión 10 está unida una unidad de activación 50 que está configurada para activar los transformadores de ultrasonido 14 dispuestos en el emisor de ultrasonido 12 del palpador de emisión 10 individualmente de manera precisa de fase. Adicionalmente, la unidad de activación 50 está configurada para unirse con un receptor de ultrasonido 40 para recibir señales de eco reflejadas hacia atrás por una probeta 10, que resultan de los pulsos de ultrasonido sonorizados por el emisor de ultrasonidos 12. En el presente ejemplo de realización mostrado, el emisor de ultrasonidos 12 dispuesto en el palpador de emisión 10 sirve también como receptor de ultrasonidos 40. Para ello se interconectan los transformadores de ultrasonido 14 contenidos en el emisor de ultrasonidos 12, configurados de manera separada y activables individualmente tras la emisión de un pulso de emisión, eléctricamente a un emisor de ultrasonido 12 con una gran superficie que entonces actúa como receptor de ultrasonidos 40. Sin embargo, lógicamente también es posible usar un receptor de ultrasonidos 40 configurado de manera separada que puede disponerse, por ejemplo, en un palpador de recepción configurado de manera separada. Un palpador de recepción separado de este tipo comprendería en el presente ejemplo de realización además igualmente una sección de propagación, correspondientemente a la sección de propagación 16 del palpador de emisión 10.

Para el ensayo no destructivo de una probeta 100 para determinar defectos 102 ocultos, por ejemplo, en el volumen de la probeta 100 se une el palpador de emisión 10 con la unidad de control 50 y se coloca en la superficie de la probeta 100. El acoplamiento acústico del palpador de emisión 10 a la probeta 100 se realiza por regla general usando un medio de acoplamiento adecuado, en caso del cual puede tratarse, por ejemplo, de agua, aceite o también de un gel a base de agua.

En caso de la probeta 100 se trata preferentemente de una herramienta o pieza mecánica, sin embargo puede tratarse también de una muestra biológica.

Ahora el examinador mueve el palpador de emisión 10 a lo largo de la dirección marcada con X en la figura 1 en la superficie de la probeta 100 de una parte a otra. Al mismo tiempo éste observa la indicación en un dispositivo indicador 52 asignado a la unidad de activación 50, que está integrado en el ejemplo de realización mostrado como visualizador en la unidad de activación 50. En el dispositivo indicador 52 se representa en el ejemplo de realización mostrado una imagen A, en la que la amplitud de los pulsos de ultrasonido reflejados hacia atrás para el sitio de sonorización X dado está representada como función del tiempo. Si la radiación acústica emitida por el palpador acústico 10 tropieza con un defecto 102 en el volumen de la probeta 100, es decir con una estructura que refleja ultrasonido tal como un defecto, una cavidad o una grieta, entonces se refleja hacia atrás una parte de la radiación

acústica sonorizada y vuelve en la misma trayectoria al emisor de ultrasonidos 12 del palpador de emisión. Tal como se mencionó, éste actúa al mismo tiempo como receptor de ultrasonidos 40 que transforma la señal acústica reflejada hacia atrás en una señal eléctrica que entonces se amplifica eventualmente de manera adecuada y se emite a la unidad de activación 50. En la unidad de activación 50, la señal de eco recibida que se encuentra por regla general como señal eléctrica, podrá transmitirse desde el palpador de emisión 10 eventualmente sin embargo por ejemplo también en forma de una señal óptica, procesada de manera adecuada, pudiéndose realizar esto, por ejemplo, mediante conversión analógica-digital altamente de tiempo resuelto y procesamiento de señales. A continuación se representa la señal en forma del barrido-A descrito anteriormente en el dispositivo indicador 52. Si la radiación de ultrasonido sonorizada tropieza con un defecto 102, entonces resultan de esto señales de eco que son visibles directamente en el barrido-A. El modo de procedimiento descrito anteriormente se realiza a este respecto de manera ventajosa con el ángulo de sonorización β fijo.

Si el examinador ha detectado un defecto 102 en el modo de procedimiento descrito anteriormente, entonces éste intenta maximizar la amplitud de la señal de defecto resultante mediante la variación de la posición X del palpador de emisión 10 en la superficie de la probeta 100, es decir intenta hacer crecer la señal. También este crecimiento de la señal se realiza para un ángulo de sonorización β 1 fijo. El barrido-A que resulta con el crecimiento de la señal de eco en distintos sitios de sonorización X1, X2 y X3 están representados en la figura 2a. Se aclara que debido a la modificación del trayecto en la probeta 100, la señal de eco se produce en distintos tiempos, además sin embargo varía también en su amplitud máxima. Esto se debe a que con el desplazamiento del palpador de emisión 10 en la superficie de la probeta 100, el centro del cono acústico, en el que impera la presión acústica más alta, se desplaza sobre el defecto 102. Por regla general resulta la amplitud máxima en la señal de eco cuando la radiación acústica tropieza centralmente con el defecto 102. Si se determina la amplitud de todas las señales de eco para un ángulo de sonorización β 1 fijo en caso de una variación del sitio de sonorización X, entonces se obtiene una representación de la amplitud de eco como función del tiempo de recorrido o de la profundidad del defecto 102 en la probeta 100, tal como está esto representado gráficamente en el diagrama derecho de la figura 2a. A partir de este diagrama puede determinarse la amplitud de eco máxima $A_{\max}(\beta 1)$, que resulta para el ángulo de sonorización β 1 seleccionado.

Después, el examinador puede variar el ángulo de sonorización β , de modo que éste realiza otra vez la misma examinación para un ángulo de sonorización β 2 modificado. Como alternativa es posible también una modificación del ángulo automática en el contexto de un procedimiento de ensayo parcialmente automatizado. También de esto resulta un diagrama para el desarrollo de la amplitud como función del tiempo o de la profundidad del defecto 102 en la probeta 100. Un diagrama de este tipo está representado a la derecha en la figura 2b. La amplitud de eco máxima que resulta de esto con el ángulo de sonorización β 2 no ha de corresponder obligatoriamente a la amplitud de eco con el ángulo de sonorización β 1 elegido en primer lugar, por regla general existirá en este caso incluso una desviación, siempre que no se trate de un defecto formado regularmente.

Si se compensan los distintos tiempos de ejecución, que resultan por los distintos ángulos de sonorización β 1 y β 2, entonces los picos en la representación mencionada de las amplitudes $A_{\max}(\beta)$ se encuentran esencialmente en el mismo lugar D_0 . Si se prescinde sin embargo de una compensación del tiempo de recorrido de este tipo, entonces los picos llegan a encontrarse en distintos sitios lugares.

A modo de ejemplo está representado en la figura 2c el resultado del mismo procedimiento para un ángulo de sonorización β 3 modificado otra vez.

El ángulo de sonorización β se ajusta electrónicamente con el modo de procedimiento descrito anteriormente usando las propiedades de emisión ventajosas de un emisor de ultrasonidos 12 del tipo de matriz en fase.

En una configuración alternativa, la unidad de activación 50 está configurada para optimizar automáticamente, para un sitio de sonorización X dado, una señal de eco eventualmente resultante mediante la variación del ángulo de sonorización β .

Si se aplican las amplitudes máximas A_{\max} que resultan para distintos ángulos de sonorización β sobre el correspondiente ángulo de sonorización β , entonces se obtiene un diagrama tal como es evidente a partir de la figura 3. A partir de este diagrama o los datos de eco subyacentes puede determinarse ahora aquel ángulo de sonorización β para el que el defecto 102 examinado muestra la amplitud de eco máxima A_{\max} . También puede ilustrarse y analizarse a partir de esto de manera sencilla la dependencia angular de la reflectividad de ultrasonido del defecto 102. De las posibles interpretaciones del comportamiento obtenido con respecto al tipo del defecto 102 ya se ocupó anteriormente.

Antes del ensayo práctico explicado anteriormente de la probeta se determinan (tal como se conoce por el estado de la técnica para palpadores con ángulo de sonorización β fijo) los denominados diagramas AVG. A este respecto, un diagrama AVG muestra la amplitud de eco de reflectores de disco circular de distintos diámetros y también de un reflector plano extendido (eco de pared trasera) como función de la distancia, es decir como función de la profundidad d en la probeta. A diferencia de los diagramas AVG conocidos previamente por el estado de la técnica y dispositivos para la medición por ultrasonido, en los que están depositados diagramas AVG específicos del palpador por ejemplo de forma digital, se registran o se generan, en el contexto de la presente invención, los diagramas AVG

además con ángulo resuelto y eventualmente se depositan en la unidad de activación 50. La Figura 4 muestra a modo de ejemplo un diagrama AVG de este tipo para un diámetro predeterminado de un reflector de disco circular como función de la distancia d y como función del ángulo β .

5 Para la determinación del valor de ERS de un defecto con ayuda de un palpador de matriz en fase que permite una variación electrónica del ángulo de sonorización β en la probeta 100, puede ser necesaria una adaptación del diagrama AVG general conocido por el estado de la técnica (véase el documento US 5.511.425 A) que se basa en consideraciones teóricas, en distintos aspectos. Por un lado se requiere una calibración del diagrama AVG específico del palpador por orden, para tener en consideración las propiedades del ultrasonido del material de la probeta y compensar los efectos específicos del palpador como un cambio de los transformadores de ultrasonido o un acoplamiento modificado del palpador de emisión en la probeta. Para ello, antes de la realización de un ensayo real de una probeta 100 en la mayor parte de las especificaciones de ensayo se exige la realización de una etapa de calibración para calibrar el diagrama AVG general que puede estar depositado ya en el dispositivo 1.

15 Además ha de tenerse en consideración en caso de una variación electrónica del ángulo de sonorización β con ayuda de un palpador de matriz en fase, que se modifican directamente las propiedades de ultrasonido del palpador mediante la propia modificación del ángulo. Por este motivo debe convertirse el diagrama AVG general, que se determinó para un determinado ángulo de sonorización, en otro ángulo de sonorización (ajustado electrónicamente) β . Particularmente es posible realizar esta conversión en el propio dispositivo, de modo que no es necesario un depósito de una pluralidad de diagramas AVG específicos del palpador para distintos ángulos de sonorización β . En un planteamiento alternativo es posible lógicamente también depositar en el dispositivo 1 una pluralidad de por ejemplo específicos de palpador que se refieren a una multiplicidad de ángulos de sonorización β . También en este caso pueden determinarse empíricamente o calcularse teóricamente los diagramas AVG.

25 Tal como se explicó ya anteriormente, con el uso de un dispositivo según la invención puede ajustarse electrónicamente el ángulo de sonorización β . Tal como es evidente a partir de la figura 5, se modifica por ejemplo en caso de un palpador angular con una sección de propagación con un ajuste electrónico del ángulo de sonorización β tanto el punto de acoplamiento de la radiación acústica en la probeta en ΔX como el diámetro de la radiación acústica en su paso por la sección de propagación en la probeta. Esto puede interpretarse también como una modificación virtual de las dimensiones del emisor de ultrasonidos 12 (D D'), que igualmente deben tenerse en cuenta en el registro de los diagramas AVG mencionados anteriormente. Por medio de consideraciones geométricas sencillas así como la ley de refracción acústica es posible calcular de manera sencilla la influencia de la modificación electrónica del ángulo de sonorización β sobre la modificación del punto de acoplamiento y el tamaño del emisor de ultrasonidos (12) virtual.

35 Para determinar ahora un tamaño del reflector equivalente ERS para el defecto detectado en el volumen de la probeta, el examinador puede representar (como con los dispositivos conocidos anteriormente por el estado de técnica con palpadores con ángulo de sonorización β fijo) aquella curva AVG en el dispositivo indicador 52 de la unidad de activación 50 que corresponde al ángulo de sonorización β ajustado electrónicamente, con el que se ha obtenido la señal de eco máxima $A_{m\acute{a}x}$. La curva AVG se calibró, a este respecto, antes de la medición real en defectos de referencia que pueden introducirse, por ejemplo, en la probeta. En caso de la "calibración" se trata de una calibración de la sensibilidad del palpador usado. Por regla general se obtiene el eco de referencia necesario para ello del eco de pared trasera en las denominadas probetas "K1" o "K2" normalizadas (según en cada caso la frecuencia del palpador usado). Dado que en estos casos no se trata de una pared trasera plana, debe realizarse aún una corrección de arco circular (indicada por regla general por el fabricante del palpador). Por el contrario, los reflectores de referencia del componente son mas bien escasos.

45 La curva AVG mostrada en la pantalla corresponde a un tamaño del reflector equivalente predeterminado que por regla general corresponde al límite registrado predeterminado por la especificación de ensayo. Si se detecta un defecto, cuyo eco sobrepasa la curva AVG representada en la pantalla, se indica por ejemplo automáticamente por la unidad de activación 50 (o bien en dB mediante el límite registrado o bien directamente en milímetros) el tamaño del reflector equivalente ERS obtenido. En la curva AVG, el examinador puede leer por tanto directamente el tamaño del reflector equivalente ERS con la disminución del tiempo de recorrido del pulso hacia el defecto detectado.

50 En una rutina de ensayo extensamente automatizada, el examinador realiza un barrido de la superficie de la probeta 100 en el modo de procedimiento descrito anteriormente, hasta que detecta señales de eco que desde su punto de vista disminuyen en un defecto 102 en el volumen de la probeta 100. Eventualmente, éste realiza en este caso manualmente una cierta optimización de la señal de defecto, antes de que éste cambie la unidad de activación y valoración 50 del dispositivo 1 según la invención a un modo de medición automático. En éste, la unidad de activación 50 activa el emisor de ultrasonidos 12 de modo que se desplaza el punto de acoplamiento de la radiación acústica en la probeta en la dirección X en la superficie de la probeta 100. Al mismo tiempo, la unidad de activación 50 detecta la amplitud del eco de defecto resultante como función del punto de acoplamiento y determina la amplitud de eco máxima. A este respecto se mantiene constante el ángulo de sonorización β .

En una siguiente etapa de procedimiento, la unidad de activación 50 varía el ángulo de sonorización, de modo que el defecto 102 que va a medirse en el volumen de la probeta 100 se sonoriza con otro ángulo β 2. También en este

caso, la unidad de activación 50 varía el punto de acoplamiento de la radiación acústica emitida en la probeta mediante la activación adecuada del emisor de ultrasonidos 12, detectándose al mismo tiempo la amplitud de eco resultante. También en este caso se determina la amplitud de eco máxima A_{\max} (β 2) con el ángulo de sonorización β 2 ajustado, es decir el examinador “hace crecer” la señal de eco.

- 5 Mediante la comparación con uno o varios diagramas AVG específicos del palpador así como del ángulo, la unidad de activación 50 del dispositivo según la invención determina entonces automáticamente el valor de ERS del defecto 102 medido. Para ello, la unidad de activación 50 compensa automáticamente la influencia de la variación electrónica del ángulo de emisión α del emisor de ultrasonidos 12 sobre el punto de acoplamiento de la radiación de ultrasonido en la probeta y con ello sobre el tiempo de recorrido de los pulsos de ultrasonido desde el emisor de ultrasonido 12 hasta el defecto 102. Adicionalmente, la unidad de activación 50 compensa igualmente de manera automática la influencia de la variación electrónica del ángulo de emisión α del emisor de ultrasonidos 12 sobre el tamaño del emisor virtual, tal como se describió anteriormente. La unidad de activación 50 también compensa automáticamente la modificación de la posición del foco en la probeta mediante la longitud de trayectoria de ondas acústicas modificada en el cuerpo de propagación. Finalmente, la unidad de activación 50 convierte de manera automatizada desde el ángulo de emisión α en el ángulo de sonorización β , teniéndose en consideración eventualmente también las propiedades de materiales de la probeta.

En el resultado se obtiene, tanto a partir del procedimiento de ensayo realizado manualmente como de manera automatizada, un valor de ERS del defecto 102 detectado en el volumen de la probeta 100 así aquel ángulo de sonorización β , con el que se obtiene la señal de defecto máxima A_{\max} . Entonces, estos datos pueden reproducirse.

- 20 Si adicionalmente existe información de la posición con respecto al palpador, entonces puede representarse el resultado de ensayo además en un barrido-B, tal como está reproducido éste a modo de ejemplo en la figura 6, o también en un barrido-C o barrido-S de manera y modo gráficos. Así puede representarse una barra de longitud L en el barrido-B, cuya posición X en la superficie de la probeta corresponde a aquella posición X_0 en la que se encuentra computacionalmente el defecto. En la dirección Y está dispuesta la barra en la profundidad D_0 que corresponde a la profundidad computacional del defecto en el volumen de la probeta 100. Adicionalmente, la longitud L de la barra que representa el defecto 102 medido está vinculado directamente con el tamaño del reflector equivalente ERS del defecto determinado en el contexto del procedimiento de ensayo según la invención. Ventajosamente, la orientación de la barra está correlacionada además directamente con aquel ángulo de sonorización β , en el que se obtiene la señal de eco máxima A_{\max} . Para ello puede representarse de manera inclinada el eje longitudinal de la barra con respecto al eje X, de manera que la barra esté orientada perpendicularmente a la dirección de propagación del sonido que corresponde a aquel ángulo de sonorización β , con el que se obtiene la señal de eco máxima. La orientación de la barra en el barrido-B representado en la figura 6 proporciona al examinador con ello directamente una información sobre la orientación del defecto medido en la probeta, que igualmente puede reproducirse y almacenarse. A este respecto se representa el barrido-B representado esquemáticamente en la figura 6 al examinador preferentemente de igual manera en el dispositivo indicador 52 que está conectado con la unidad de activación 50. Preferentemente, la unidad de activación 50 está configurada para transmitir los datos almacenados en un PC, donde puedan someterse a una valoración adicional.

La figura 7 muestra finalmente otro barrido-B de una probeta 100, a partir de cual son evidentes tres defectos 102 en el volumen de la probeta 100. Los defectos se encuentran, a este respecto, en las posiciones X_1 , X_2 así como X_3 . Los defectos 102 detectados en las posiciones X_1 y X_3 muestran, a este respecto, una fuerte dependencia de las señales de eco del ángulo de sonorización, es decir la variación de la amplitud de eco de defecto máxima A_{\max} que resulta en caso de una modificación del ángulo de sonorización β sobrepasa un determinado valor umbral. De esto puede concluirse que se trata de defectos 102 extendidos más bien en superficie, representándose de manera correspondiente estos defectos en el barrido-B de la figura 7 como símbolos esencialmente monodimensionales.

- 45 Por el contrario, el defecto 102 detectado en la posición X_2 muestra una amplitud de eco esencialmente independiente del ángulo de sonorización β , es decir la variación que resulta de la amplitud de eco permanece por debajo de un umbral predeterminado. De esto puede concluirse en una extensión del defecto 102 tridimensional mas bien uniforme, que se representa en el barrido-B de la figura 7 mediante un símbolo de defecto bidimensional (por ejemplo un disco circular tal como se muestra) cuyo diámetro está correlacionado con el tamaño del reflector equivalente ERS de este defecto.

- Por medio de la figura 8 se ilustra ahora aún un procedimiento novedoso que está implementado igualmente en el dispositivo 1 según la invención. En una primera etapa de procedimiento se activa el palpador de emisión 10 por el dispositivo 1 de manera que éste sonoriza pulsos de ultrasonido con un ángulo de sonorización β fijo en la probeta 100. Si el examinador ha detectado un defecto 102 en el volumen de la probeta 100, entonces éste hace crecer la señal de defecto hasta que la amplitud de señal se vuelva máxima. En una siguiente etapa se activa la función de “barrido”, en la que se activa el palpador 10 por el dispositivo 1 de manera que el ángulo de sonorización β en la probeta 100 se varía electrónicamente dentro de un intervalo predeterminado. El dispositivo 100 está configurado adicionalmente para determinar entonces, a partir de los ecos de defecto recibidos con los distintos ángulos de sonorización β , el defecto de eco máximo y el correspondiente ángulo de sonorización β Máx. Si se modifica la posición del palpador de emisión 10 en la superficie de la probeta 100, entonces resulta un ángulo de sonorización

modificado β , con el que el eco de señal es máximo, dado que se obtiene entonces un eco de defecto máximo por regla general cuando el defecto se detecta centralmente por la radiación de ultrasonido. Si se realiza, tal como se describió anteriormente, un barrido angular electrónico, entonces el dispositivo 1 puede detectar de manera completamente automática aquel ángulo de sonorización β modificado, para el que el eco de defecto se vuelve máximo. Mediante una variación de la posición del palpador de emisión 10 en la superficie de la probeta 100 puede determinarse por medio del procedimiento descrito anteriormente de manera automatizada el eco de defecto máximo para distintos ángulos de sonorización β . A este respecto puede realizarse la posición del palpador de emisión 10 en la superficie de la probeta 100 por un lado mediante un movimiento mecánico del palpador de emisión 10, sin embargo puede variarse también virtualmente mediante la realización de un barrido lineal dentro de la pluralidad de transformadores de ultrasonido 14 individuales en el emisor de ultrasonido 12 (denominado "barrido lineal electrónico").

Si en el aparato está depositado al menos un diagrama AVG por ejemplo según la figura 4, que por ejemplo puede haberse calculado teóricamente o puede haberse determinado por medio de mediciones prácticas, entonces puede determinarse, a partir del diagrama de la amplitud de eco de defecto máxima determinada para un determinado ángulo de sonorización β , el valor de ERS del defecto para este ángulo. Eventualmente puede ser necesario calibrar el/los diagrama/diagramas depositados en el aparato de manera específica del palpador o de material por medio de un eco de referencia obtenido en una probeta, que eventualmente se registra con distintos ángulos de sonorización, antes de que se realiza la prueba real de la probeta 100. El procedimiento AVG permite con ello particularmente la compensación automática de las longitudes de trayectoria de ondas acústicas que resultan para los distintos ángulos de sonorización en la probeta.

Como alternativa, el dispositivo 1 puede recurrir, en caso de la determinación del valor de ERS dependiente del ángulo de un defecto 102 en el volumen de la probeta 100, también a la información de posición que se proporciona por la unidad de detección de trayectoria 18. Tal como se describió anteriormente se busca en una primera etapa para un ángulo de sonorización β fijo aquella posición del palpador de emisión 10 en la superficie de la probeta 100 para la que la amplitud del eco de defecto es máxima. A continuación se activa por el examinador una función de "trazado" en el dispositivo 1. Si ésta se activa, el dispositivo 1 está configurado para ajustar, en una posición que se modificada del palpador de emisión 10 por medio de cálculos geométricos adecuados, aquel ángulo de sonorización β en el palpador de emisión 10, con el que se detecta el defecto 102 en la probeta centralmente por la radiación de ultrasonido también en caso de una posición del palpador de emisión modificada. En caso de un desplazamiento del palpador de emisión 10 en la superficie de la probeta 100 se detecta siempre centralmente por la radiación de ultrasonido el defecto 102 detectado entonces con la ayuda de la función de trazado mencionada, de modo que puede considerarse el eco de defecto obtenido como eco de defecto máximo para el ángulo de sonorización ajustado β . Por tanto puede registrarse directamente, mediante la variación de la posición del palpador de emisión 10 en la superficie de la probeta 100, el eco de defecto máximo como función del ángulo de sonorización β y a partir de esto puede determinarse el valor de ERS dependiente del ángulo del defecto 102 como función del ángulo β .

Las figuras 9a y 9b muestran finalmente a modo de ejemplo el desarrollo dependiente del ángulo del valor de ERS de dos defectos 102 distintos en el volumen de la probeta 100. A este respecto, la figura 9a muestra un defecto 102, cuyo valor de ERS varía sólo débilmente con el ángulo de sonorización β . Por tanto se trata aparentemente de un defecto 102 cuya reflectividad de ultrasonido prácticamente no depende de aquel ángulo, con el que la radiación de ultrasonido encuentra el defecto. Por consiguiente puede partirse de que el defecto es ampliamente isótropo al menos con respecto a aquella dirección espacial, en la que se varió la posición del palpador de emisión 10 en la examinación mencionada anteriormente.

La figura 9b muestra, por el contrario, un defecto cuyo valor de ERS depende muy fuertemente del ángulo de sonorización β . Es decir, la reflectividad de ultrasonido del defecto 102 depende fuertemente de aquel ángulo, con el que se detecta el defecto 102 por la radiación de ultrasonido. Al menos con respecto a aquella dirección espacial, en la que se movió el palpador de emisión para la detección de la dependencia del ángulo del valor de ERS, puede considerarse el defecto 102 que va a clasificarse como fuertemente anisótropo. Por tanto puede tratarse, por ejemplo, de una grieta que es de registro obligatorio con alta probabilidad, y por tanto debe destacarse gráficamente de manera adecuada por ejemplo en un barrido-B, barrido-C o barrido de sectores generado por el dispositivo 1, tal como se explicó esto ya anteriormente.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el ensayo no destructivo de una probeta (100) por medio de ultrasonido, que comprende las siguientes etapas de procedimiento:
 - 5 a. sonorizar pulsos de ultrasonido dirigidos en la probeta (100) con un ángulo de sonorización β , ajustándose electrónicamente el ángulo de sonorización β ,
 - b. registrar señales de eco que resultan de los pulsos de ultrasonido sonorizados en la probeta (100),
 - c. determinar el valor de ERS ("*equivalent reflector size*" = tamaño del reflector equivalente) de un defecto (102) en el volumen de la probeta a partir de señales de eco que pueden asignarse al defecto (102), para una multiplicidad de ángulos de sonorización β , mediante la comparación de la amplitud de las señales de eco del defecto con señales de eco de un defecto de referencia a modo de modelo y
 - 10 d. generar un barrido-B, un barrido-C o un barrido de sectores como representación gráfica del defecto (102), incluyendo ésta una representación al menos cualitativa de la dependencia de los valores de ERS determinados del defecto del ángulo de sonorización β .
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** se detecta una modificación de la posición del sitio de acoplamiento en el que se sonorizan los pulsos de ultrasonido en la probeta.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** con el cálculo del valor de ERS del defecto (102) se compensa automáticamente la influencia del ajuste electrónico del ángulo de sonorización β sobre el valor de ERS que va a determinarse del defecto (102).
4. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque**
 - 20 a. para la sonorización de los pulsos de ultrasonido dirigidos se usa un palpador de emisión (10), cuyo emisor de ultrasonidos (12) comprende una multiplicidad de transformadores de ultrasonido independientemente activables (14), y
 - b. para el ajuste electrónico del ángulo de sonorización β se activa la multiplicidad de transformadores de ultrasonido (14) individualmente de manera precisa de fase, de manera que se varía el ángulo de emisión α del emisor de ultrasonidos (12).
5. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** para la determinación del valor de ERS del defecto a partir de las señales de eco se usa al menos un diagrama AVG (AVG = distancia, amplificación, tamaño (del defecto)).
6. Procedimiento según la reivindicación 5, **caracterizado porque** el diagrama AVG es específico para la fuente de los pulsos de ultrasonido.
7. Procedimiento según la reivindicación 5, **caracterizado porque** el diagrama AVG presenta una dependencia del ángulo de sonorización β .
8. Procedimiento según la reivindicación 5, **caracterizado porque** el diagrama AVG es independiente del ángulo de sonorización β y se compensa computacionalmente la influencia del ángulo de sonorización β sobre la amplitud de eco registrada.
9. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** en el contexto del ensayo de la probeta (100) se recorre, al menos una vez, una etapa de calibración, en la que se detecta la amplitud de un eco producido por un defecto de referencia.
10. Procedimiento según la reivindicación 9, **caracterizado porque** en caso del defecto de referencia se trata de una pared trasera o de un orificio de ensayo de una probeta.
11. Procedimiento según la reivindicación 9, **caracterizado porque** la etapa de calibración se realiza para una multiplicidad de ángulos de sonorización β .
12. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** en la representación gráfica generada del defecto (102) se representa al menos una de las siguientes características del defecto (102):
 - 45 a. ángulo de sonorización β , con el que el valor de ERS del defecto (102) es máximo,
 - b. información sobre si el valor de ERS del defecto (102) es esencialmente constante por los distintos ángulos de sonorización β .
13. Procedimiento según la reivindicación 12, **caracterizado porque**
 - 50 a. el defecto (102) en la representación generada se representa como barra, y
 - b. al menos uno de los siguientes parámetros indicadores se usa para la codificación de las características del defecto que van a representarse:

- i. color,
- ii. ángulo del eje longitudinal de la barra frente a la superficie de la probeta (100),
- iii. forma básica geométrica de la barra.

14. Dispositivo (1) para el ensayo no destructivo de una probeta (100) por medio de ultrasonido, con

- 5 a. un palpador de emisión (10) con un emisor de ultrasonidos (12) que está configurado para sonorizar pulsos de ultrasonido dirigidos con un ángulo de sonorización β en la probeta (100),
- b. un receptor de ultrasonidos (40) que está configurado para registrar señales de eco de los pulsos de ultrasonido sonorizados en la probeta (100),
- c. una unidad de activación y valoración (50), que está configurada para
 - 10 i. activar el emisor de ultrasonidos (12) del palpador de emisión (10) de modo que el emisor de ultrasonidos (12) se excita para la emisión de pulsos de ultrasonido,
 - ii. procesar las señales de eco registradas por el receptor de ultrasonidos (40), y
 - iii. determinar a partir de señales de eco, que pueden asignarse a un defecto (102) en el volumen de la probeta (100), un valor de ERS ("equivalent reflector size" = tamaño del reflector equivalente) del defecto (102), en el que
 - 15 d. el emisor de ultrasonidos (12) comprende una multiplicidad de transformadores de ultrasonido independientemente activables (14), y
 - e. la unidad de activación y valoración (50) está configurada para:
 - 20 i. activar la multiplicidad de transformadores de ultrasonido (14) individualmente de manera precisa de fase, de modo que puede ajustarse electrónicamente el ángulo de emisión α del emisor de ultrasonidos (12) y con ello el ángulo de sonorización β en la probeta (100),
 - ii. determinar a partir de señales de eco, que pueden asignarse al defecto (102), el valor de ERS de un defecto (102) en el volumen de la probeta para una multiplicidad de ángulos de sonorización β mediante la comparación de la amplitud de las señales de eco del defecto con señales de eco de un defecto de referencia a modo de modelo, y
 - 25 generar un barrido-B, barrido-C o un barrido de sectores como representación gráfica del defecto (102), incluyendo ésta una representación al menos cualitativa de la dependencia de los valores de ERS determinados del defecto del ángulo de sonorización β .

30 15. Dispositivo (1) según la reivindicación 14, **caracterizado porque** la unidad de activación y valoración (50) está configurada para compensar automáticamente, con el cálculo del valor de ERS del defecto (102), la influencia del ajuste electrónico del ángulo de sonorización β sobre el valor de ERS que va a determinarse del defecto (102).

16. Dispositivo (1) según la reivindicación 14, **caracterizado porque** el dispositivo comprende adicionalmente una unidad de detección de trayectoria (18) que está configurada para detectar una modificación de la posición del palpador (10) en la superficie de la probeta (100).

35 17. Dispositivo (1) según la reivindicación 14, **caracterizado porque** en el barrido generado se simboliza un defecto (102) por una barra, cuya extensión se correlaciona a lo largo de su eje longitudinal con el valor de ERS del defecto (102).

18. Dispositivo (1) según la reivindicación 14, **caracterizado porque** en el barrido generado se representa al menos una de las siguientes características adicionales de un defecto (102):

- 40 a. amplitud relativa del eco de defecto,
- b. ángulo de sonorización β , con el que el valor de ERS del defecto (102) es máximo,
- c. tamaño de defecto relativo,
- d. bifurcación, a partir de la cual procede el eco de defecto, e
- 45 e. información sobre si el valor de ERS del defecto (102) es esencialmente constante por distintos ángulos de sonorización β .

19. Dispositivo (1) según la reivindicación 18, **caracterizado porque** al menos uno de los siguientes parámetros indicadores se usa para la codificación de las características de defecto adicionales que van a representarse:

- a. color,
- b. dimensión de la barra transversalmente a su eje longitudinal,
- 50 c. ángulo del eje longitudinal de la barra hacia la superficie de la probeta,
- d. forma básica geométrica de la barra.

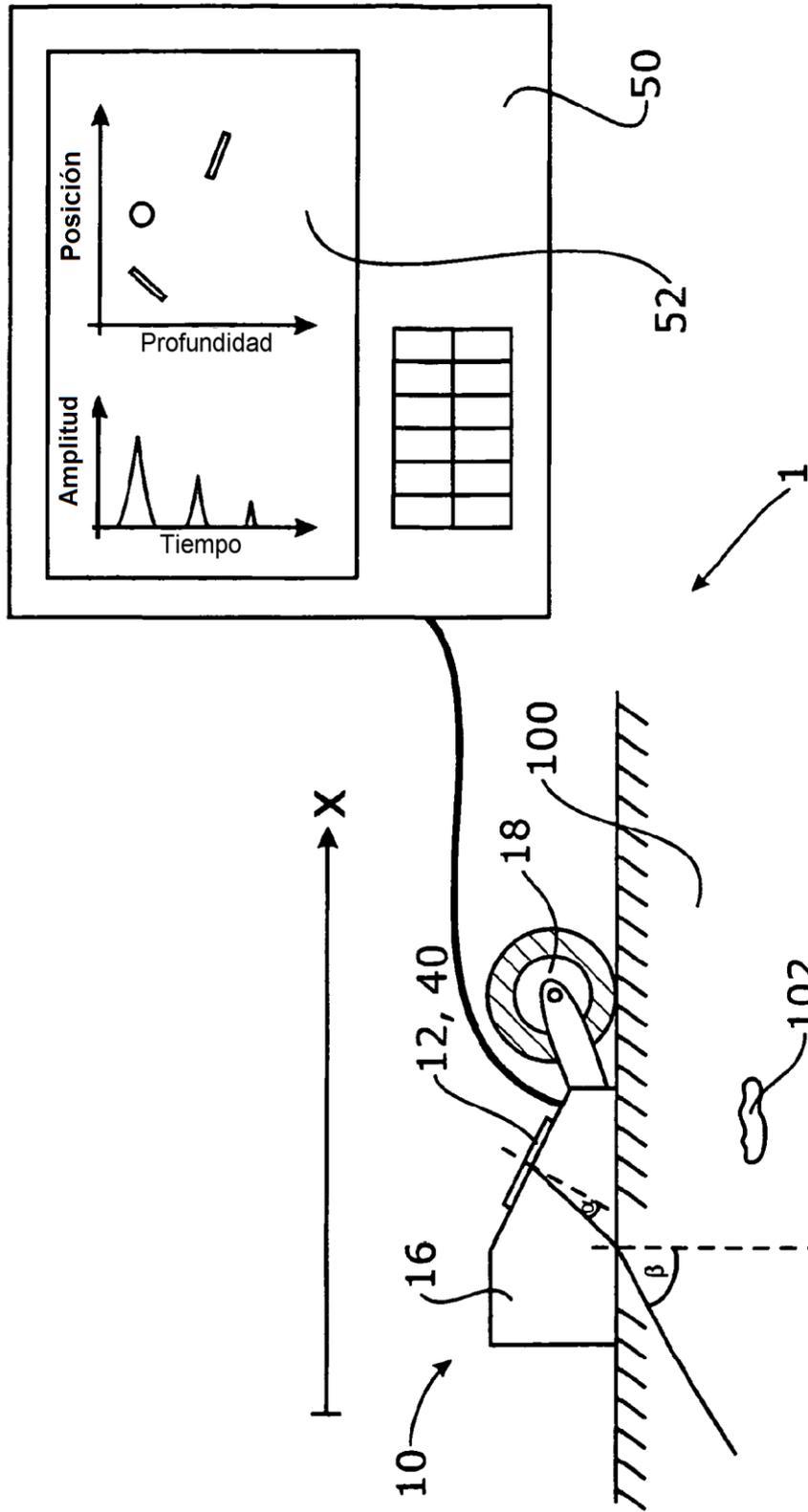
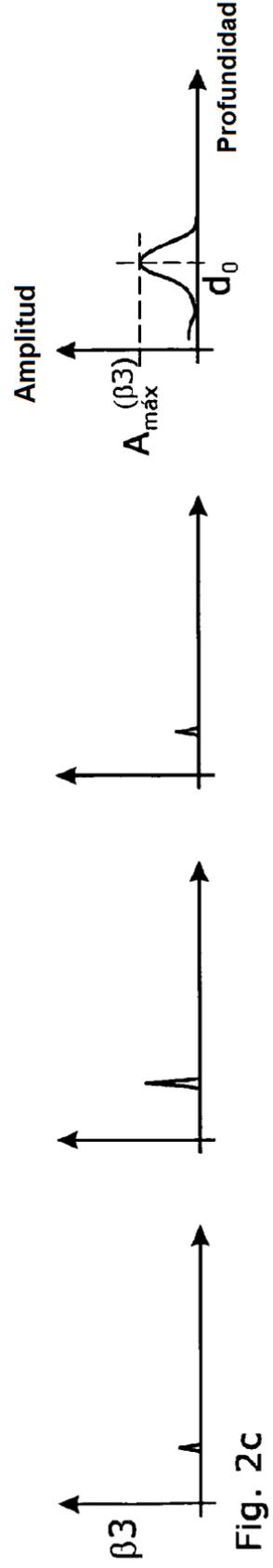
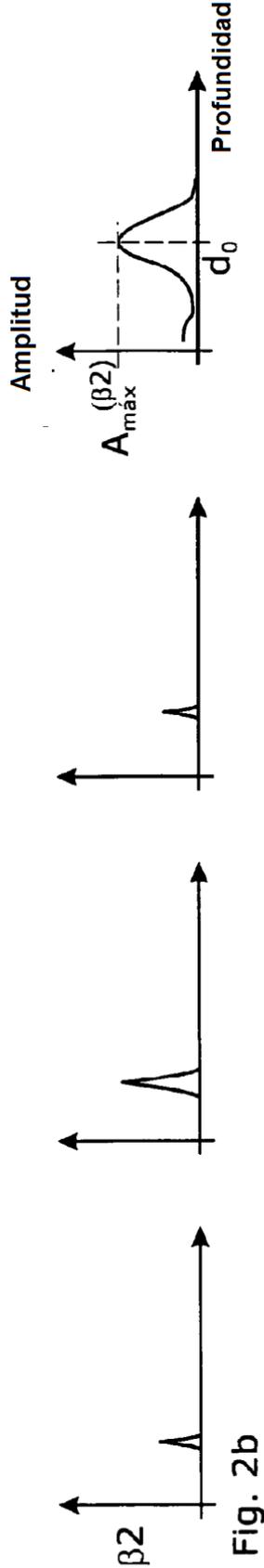
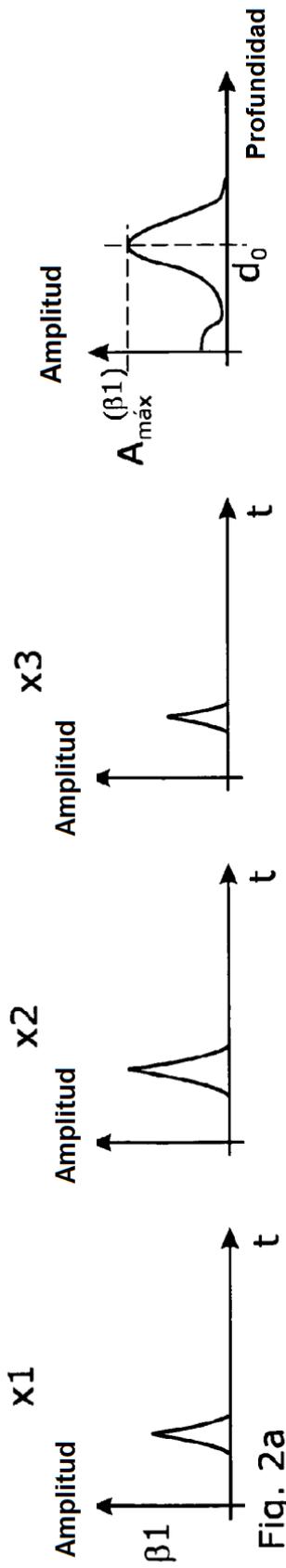


Fig. 1



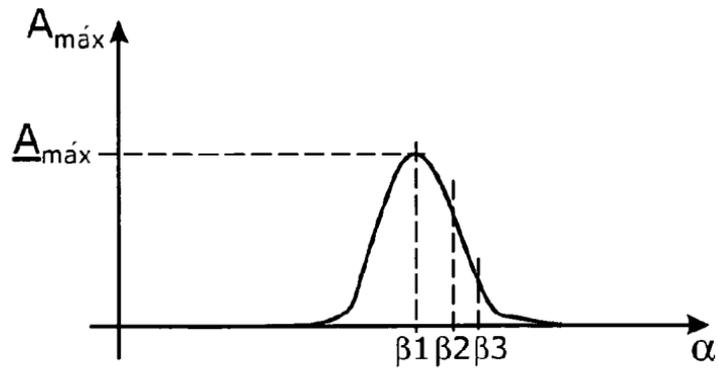
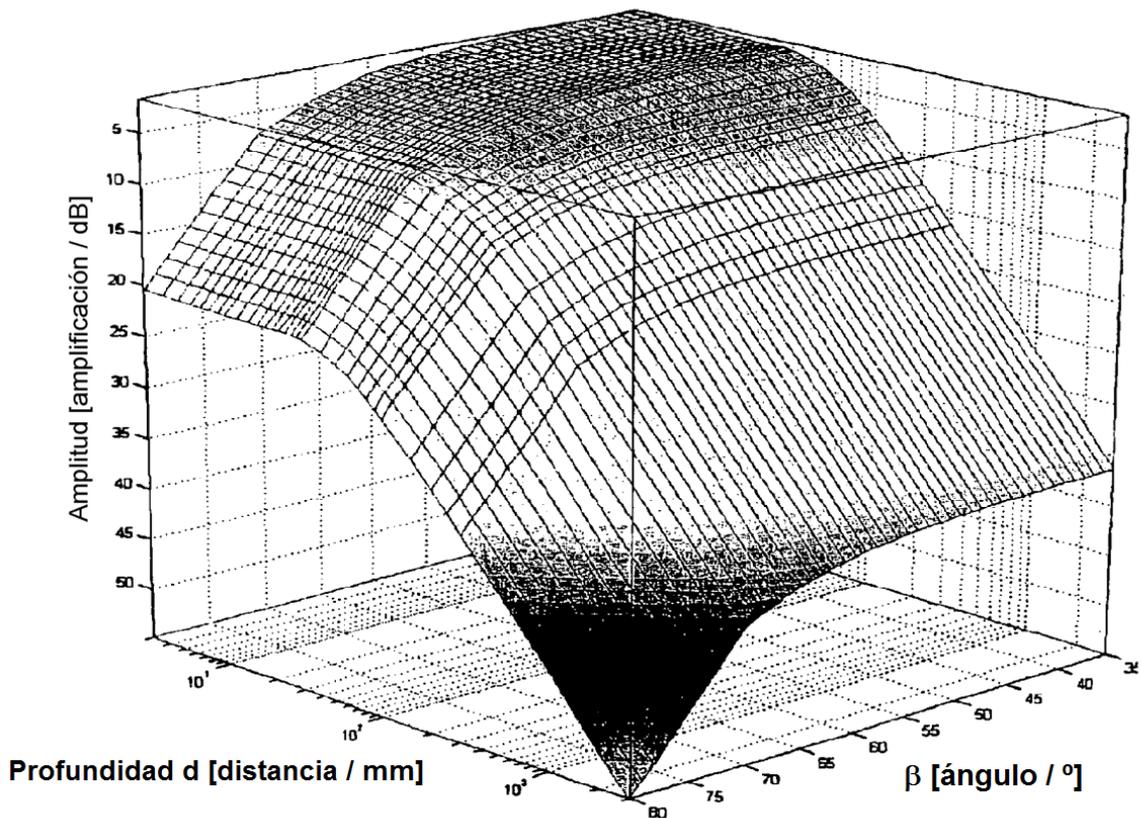
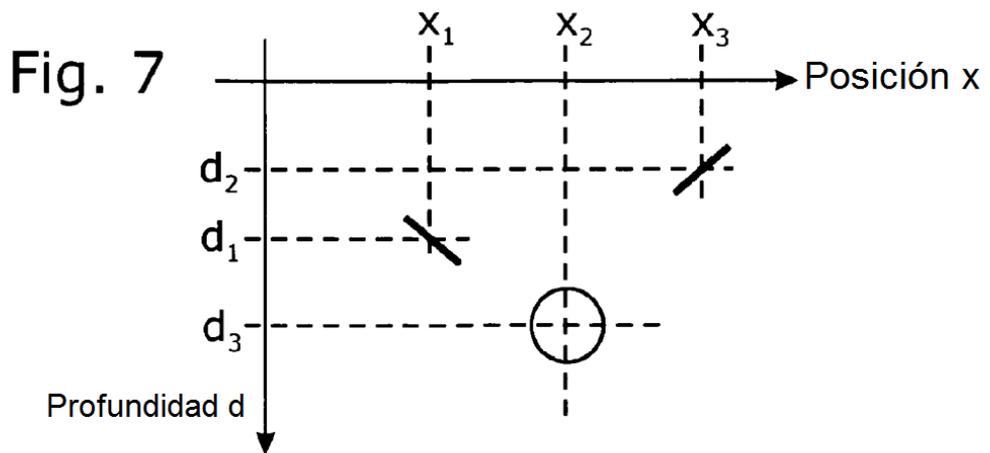
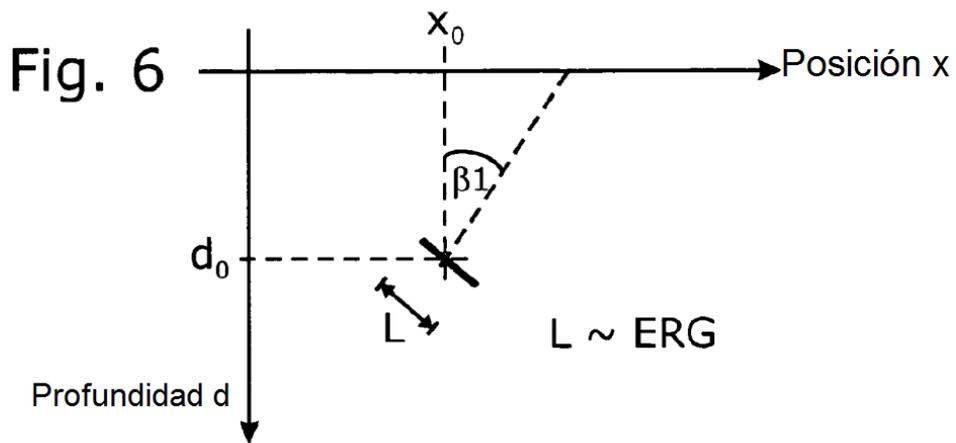
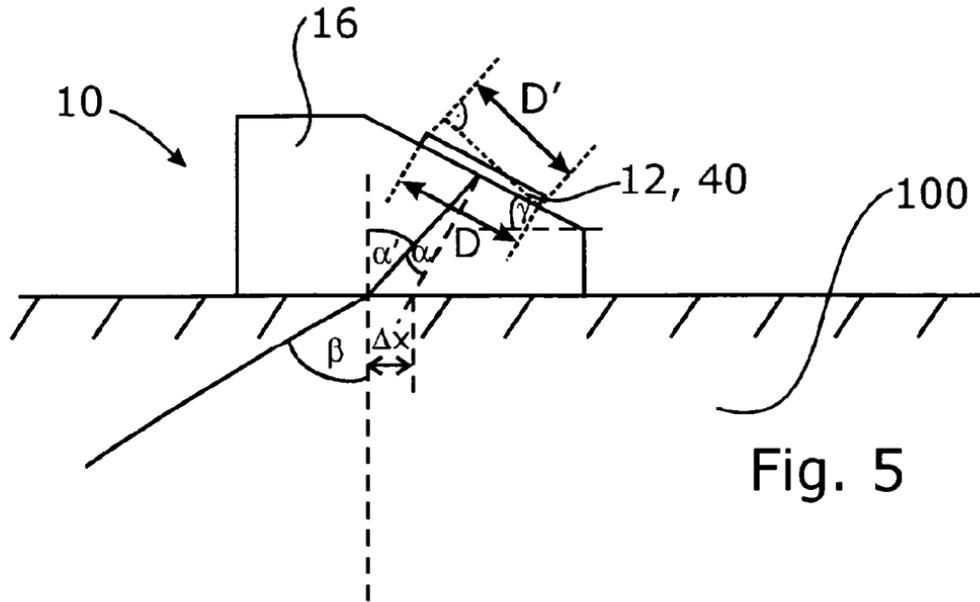


Fig. 3

Fig. 4





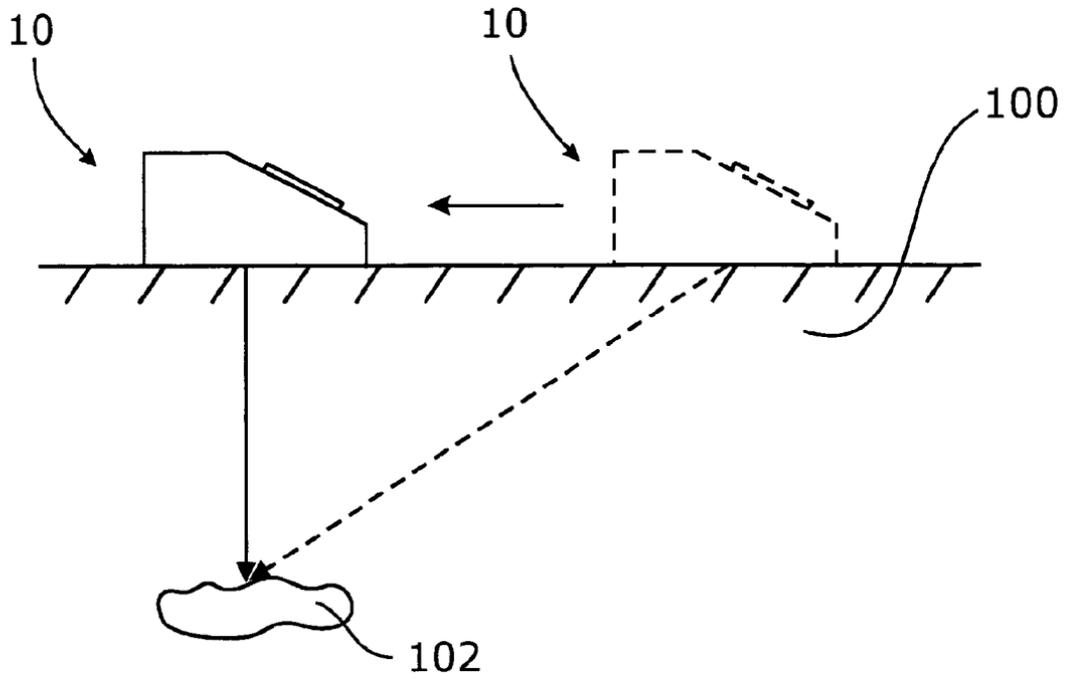


Fig. 8

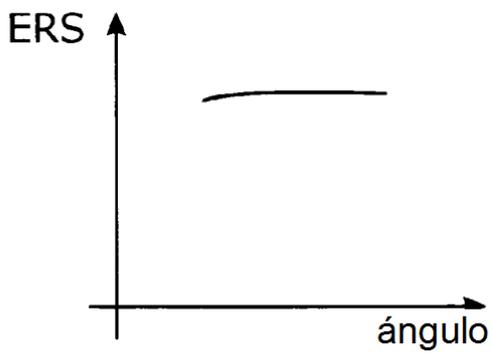


Fig. 9a

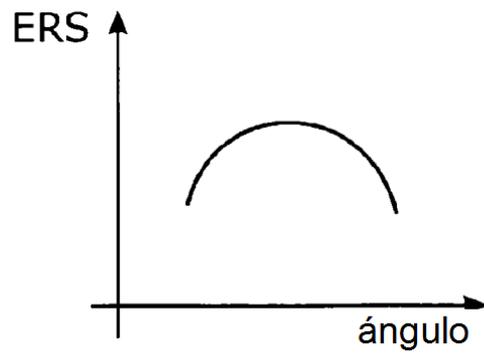


Fig. 9b