

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 534 578**

51 Int. Cl.:

G01N 29/07 (2006.01)

G01N 29/22 (2006.01)

G01N 29/24 (2006.01)

G01N 29/26 (2006.01)

G01N 29/32 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.09.2009 E 09782719 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.03.2015 EP 2335064**

54 Título: **Método de reflexión de impulsos mediante sistema de transductores y compensación de temperatura**

30 Prioridad:

05.09.2008 DE 102008041835

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

24.04.2015

73 Titular/es:

**GE SENSING & INSPECTION TECHNOLOGIES
GMBH (100.0%)
Robert-Bosch-Str. 3
50354 Hürth, DE**

72 Inventor/es:

**OBERDOERFER, YORK;
BERKE, MICHAEL;
KLEINERT, WOLF-DIETRICH;
POIRIER, JEROME y
SCHIEKE, SASCHA**

74 Agente/Representante:

RIZZO, Sergio

ES 2 534 578 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

Método de reflexión de impulsos mediante sistema de transductores y compensación de temperatura.

5 **[0001]** La invención se refiere a un método de reflexión de impulsos para el ensayo de materiales por ultrasonido. Se trata de un procedimiento acústico para hallar defectos de material, para el cual se utilizan los ultrasonidos. El control por ultrasonido forma parte de los métodos de ensayo no destructivos. Por ello pueden comprobarse los componentes también en estado montado, p. ej., los elementos de soporte de un avión. El control por ultrasonido es un procedimiento de ensayo adecuado para materiales capaces de conducir el sonido (entre ellos se encuentran la mayoría de los metales) para descubrir defectos internos y externos, p. ej., en soldaduras, forjaduras, fundiciones, piezas brutas o tubos. En la ingeniería mecánica, el control de calidad de los componentes es una tarea importante para garantizar, por ejemplo, la seguridad de las instalaciones para el transporte de viajeros o de tuberías, por ejemplo para materiales peligrosos. Los raíles del ferrocarril se comprueban de forma rutinaria mediante trenes de prueba. Con ello se pretende aumentar la fiabilidad y precisión de este procedimiento.

15 **[0002]** Como todos los procedimientos de ensayo, el control por ultrasonido también está normalizado y se lleva a cabo conforme a las directivas, por ejemplo, conforme a la norma DIN EN 10228-3 1998-07 sobre ensayos no destructivos de piezas forjadas de acero - parte 3: ensayo por ultrasonido de piezas forjadas en acero ferrítico o martensítico que se incorpora aquí mediante referencia. Para este control no destructivo de una pieza de trabajo mediante ultrasonido, se conocen dispositivos de ensayo y procedimientos adecuados. Generalmente se remite al libro técnico de J. y H. Krautkrämer, *Werkstoffprüfung mit Ultraschall*, ISBN-13: 978-3-540-15754-0,5. Edición (1986), Springer (Berlín). En general, estos procedimientos se basan en la reflexión del sonido en las superficies de separación. Como fuente de sonido se utiliza generalmente un transductor de ultrasonido o cabeza de prueba, cuya radiación se encuentra en la gama de frecuencias entre 10 kHz y 100 MHz. En el método de reflexión de impulsos, el transductor de ultrasonido no emite una radiación continua, sino un breve impulso acústico cuya duración es 1 µs o inferior. El impulso emitido por el transmisor recorre, con la respectiva velocidad del sonido, la pieza de ensayo y se refleja casi completamente en la superficie de separación cuerpo sólido-aire. El transductor generalmente no solo puede emitir impulsos, sino también convertir los impulsos entrantes en señales de medición eléctricas, de modo que funciona también como receptor. El tiempo que necesita el impulso acústico para ir desde el transmisor a través de la pieza de trabajo y volver, se mide con un osciloscopio o una unidad de medición como unidad de evaluación. En caso de conocer la velocidad del sonido c en el material, de este modo se puede controlar, por ejemplo, el grosor de una pieza de trabajo. El núcleo de una cabeza de prueba de este tipo es al menos un transductor de ultrasonido en forma de, por ejemplo, un elemento piezoeléctrico. También se conoce, por ejemplo, del documento WO 2007/144271, el hecho de usar un sistema de transductores con varios transductores de ultrasonido, accionados por separado, que se encuentran en una relación de disposición fija para generar y recibir los impulsos ultrasónicos.

40 **[0003]** El o los transductores se acoplan a la pieza de ensayo generalmente mediante interposición de una capa de adaptación conocida también como cuerpo de acoplamiento, por ejemplo cuneiforme, y por lo general hechos de un material termoplástico como polimetilmetacrilato (PMMA). En el cuerpo de acoplamiento existe una superficie de acoplamiento, a través de la cual el sonido producido por el o los transductores de ultrasonido puede acoplarse a la pieza de ensayo, donde la forma de cuña provoca una entrada de sonido oblicua en la pieza de trabajo. El cuerpo de acoplamiento y el o los elementos piezoeléctricos están dispuestos generalmente en una carcasa, que está cerrada por uno de sus lados y presenta en su otra parte una abertura de acoplamiento, por la cual puede salir el ultrasonido radiado por la superficie de acoplamiento de sonido.

50 **[0004]** Para el acoplamiento entre pieza de trabajo y cabeza de prueba, es decir, el cuerpo de acoplamiento, sobre la superficie de pieza de ensayo se aplica un medio de acoplamiento (p. ej., engrudo (solución), gel, agua o aceite). Por lo general, la superficie de ensayo se explora con la cabeza de prueba. Esto puede llevarse a cabo, por ejemplo, de forma manual, mecánica o automática (dentro de cadenas de fabricación). En el último caso, la pieza de ensayo a menudo se sumerge en un líquido apropiado para el propósito de la transmisión de la señal del sonido (ensayo por inmersión) o se humedece definidamente.

55 **[0005]** La velocidad del sonido es una de las principales variables, mediante las cuales se determina la localización exacta de defectos en una pieza de trabajo y/o sus dimensiones. La velocidad del sonido se da por supuesta en la mayoría de procedimientos por ultrasonido.

60 **[0006]** Sin embargo, se ha demostrado que la velocidad del sonido del material termoplástico empleado para el cuerpo de acoplamiento depende en gran parte de la temperatura, al menos en comparación con las piezas de ensayo, generalmente metálicas. Este problema ya se conoce del documento DE 3327526 A1. En este se determina el tiempo de ejecución en la compensación de temperatura en una cabeza de prueba transmisor-receptor mediante un reflector de prueba provisto en el cuerpo de acoplamiento y, con ello, la velocidad del sonido dependiente de la temperatura con el fin de compensar las variaciones de tiempo.

65 **[0007]** Una modificación de la velocidad del sonido en el cuerpo de acoplamiento debido a una variación de

temperatura puede conllevar, por ejemplo, en un cuerpo de acoplamiento cuneiforme, la modificación del ángulo de sonorización de la pieza de trabajo, por ejemplo, con respecto a la información del cuerpo de acoplamiento. Incluso en un ajuste electrónico del ángulo de sonorización, p. ej., mediante un sistema de transductores, puede ocasionar errores.

5

[0008] Del documento DE 3441894 A1 se conoce también el hecho de calcular las velocidades del sonido en una pieza de trabajo mediante el eco de la superficie límite.

10

[0009] A partir del documento DE 101 12 583 A1 se conoce un procedimiento de compensación de temperatura en un sensor de densidad ultrasónico. En este, la determinación de la velocidad del sonido se utiliza en un cuerpo de acoplamiento para compensar la dependencia de la temperatura en los ensayos por ultrasonido.

15

[0010] En estas circunstancias, los inventores de la presente invención se han propuesto la tarea de crear un método de reflexión de impulsos mejorado, en el que la dependencia de la temperatura de la velocidad del sonido se mida en comparación de forma sencilla y precisa en el cuerpo de acoplamiento y, dado el caso, en la evaluación del ensayo por ultrasonido. Este objeto se consigue mediante un procedimiento según la reivindicación 1. Las configuraciones ventajosas son objeto de las reivindicaciones dependientes.

20

[0011] En el procedimiento de ensayo por ultrasonido no destructivo se emite al menos un impulso ultrasónico a través de un emisor ultrasónico a una pieza de ensayo. La invención no está limitada con respecto a la pieza de trabajo, generalmente consta de un material que conduce el sonido. El impulso ultrasónico se refleja en las superficies límite, por ejemplo en su parte posterior, y en las discontinuidades de la pieza de trabajo. Los ultrasonidos reflejados se reciben mediante al menos un receptor de ultrasonidos y se analizan las señales correspondientes. Las señales registradas se muestran, por ejemplo, en una representación que depende del tiempo o del lugar, por ejemplo, mediante osciloscopio o un programa informático que se ejecuta en un ordenador con pantalla. La representación que depende del lugar está relacionada, por ejemplo, mediante la velocidad del sonido con la representación que depende del tiempo. Los ultrasonidos, en su propagación desde el emisor hacia la pieza de trabajo y en el camino de vuelta desde la pieza de trabajo al receptor, atraviesan, por ejemplo, un cuerpo de acoplamiento cuneiforme que está dispuesto entre la pieza de trabajo o el emisor o el receptor.

30

35

[0012] El procedimiento se caracteriza porque se prevé al menos un paso previo, intermedio o secundario del ensayo mencionado anteriormente para determinar la velocidad del sonido en el cuerpo de acoplamiento, en el cual mediante un sistema de transductores controlados selectivamente, respectivamente al menos un primer transductor opera como emisor de al menos un impulso ultrasónico y al menos un segundo transductor como receptor del impulso ultrasónico y la velocidad del sonido se determina al menos mediante la trayectoria del sonido más corta calculada del ultrasonido entre los transductores en cuestión. Además de la distancia más corta de los transductores, también se puede emplear su distancia medida y perpendicular a la superficie de acoplamiento desde esta hacia la pieza de trabajo para calcular la trayectoria del sonido.

40

45

[0013] Mediante el uso de un sistema de transductores con transductores controlados selectivamente se pueden solucionar varios problemas de forma sencilla. Por una parte, mediante el uso selectivo de transductores situados lo más lejos el uno del otro en calidad de emisores o receptores, se puede emplear una trayectoria del sonido relativamente larga por ejemplo esencialmente en la dirección longitudinal del cuerpo de acoplamiento generalmente estrecho para determinar la velocidad del sonido de prueba; mediante una trayectoria del sonido lo más larga posible aumenta la precisión de la determinación de la velocidad del sonido. Para obtener una trayectoria del sonido lo más larga posible y para aumentar la precisión, en el paso para la determinación de la velocidad del sonido se utilizan ventajosamente los transductores más exteriores del sistema de transductores.

50

55

[0014] Por otra parte, el uso de un sistema de transductores permite la posibilidad de adecuar la emisión del sonido ligeramente a la geometría y/o amortiguamiento del cuerpo de acoplamiento mediante la elección del lugar y/o el número de transductores controlados selectivamente, de modo que el impulso ultrasónico emitido llegue efectivamente a un receptor. Por ello, el sistema de antes comprende ventajosamente más de tres transductores controlados selectivamente. Se puede prescindir, además, de un reflector de prueba que perturbe realmente los ensayos por ultrasonido. La medida de la velocidad del sonido dependiente de la temperatura puede servir, en un caso sencillo, para detectar un sobrecalentamiento de la cuña de acoplamiento.

60

65

[0015] En el paso para determinar la velocidad del sonido se utiliza preferentemente la velocidad del sonido determinada del cuerpo de acoplamiento en el análisis de la señal en los ensayos por ultrasonido de la pieza de trabajo. Como se ha descrito en el inicio, la representación que depende del lugar está relacionada, mediante la velocidad del sonido que varía con la temperatura, con la representación que depende del tiempo. Por tanto, una determinación precisa, casi simultánea, de la velocidad del sonido sirve para aumentar la precisión del ensayo por ultrasonido de la pieza de trabajo, por ejemplo, en cuanto a su medida o la situación de las discontinuidades que presenta. El experto debe tener claro que mediante la repetición del paso, la inversión de la propagación del sonido y/o mediante el uso de otros transductores, es decir, trayectorias del sonido, puede aumentar la precisión de la determinación de la velocidad del sonido en el cuerpo de acoplamiento.

[0016] En el paso de determinación de la velocidad del sonido en el cuerpo de acoplamiento tiene lugar preferentemente la detección de la velocidad del sonido mediante al menos un eco de la superficie límite del cuerpo de acoplamiento. Mediante esto se alcanza, por una parte, una larga trayectoria del sonido y, por otra parte, se alcanza de tal modo que la propagación del sonido derivada se produce mediante ondas longitudinales y no mediante ondas superficiales, cuyas velocidades del sonido son diferentes.

[0017] Generalmente, el cuerpo de acoplamiento puede presentar una forma opcional. La trayectoria del sonido más corta puede calcularse según la forma del cuerpo de acoplamiento geoméricamente o mediante simulación numérica ("ray-tracing"). Por ejemplo, se mide la separación de los, al menos, dos transductores que actúan en calidad de receptor o emisor y se utilizan para el cálculo. Preferentemente, el cuerpo de acoplamiento es cuneiforme o presenta dos superficies planas y paralelas. Por ello, en la determinación de la velocidad del sonido, la trayectoria más corta del ultrasonido se determina mediante cálculos geoméricos sencillos.

[0018] El procedimiento es especialmente adecuado en un cuerpo de acoplamiento de un material termoplástico, particularmente de un copolímero de poliestireno reticulado, por ejemplo Rexolite[®], puesto que este material presenta una dependencia especialmente marcada de la velocidad del sonido a la temperatura, por ejemplo, en comparación con los metales.

[0019] Conforme a otra configuración preferente, en el paso en que se determina la velocidad del sonido en el cuerpo de acoplamiento, este es desacoplado. Desacoplado en el sentido de la invención debe entenderse como que no está acoplado a la pieza de ensayo. Por ejemplo está acoplado al aire. Por ello no se produce ninguna influencia de la propagación del sonido en el cuerpo de acoplamiento mediante la pieza de trabajo acoplada. Particularmente, al utilizar un eco de la superficie límite, aumenta el grado de reflexión mediante un acoplamiento al aire debido al gran cambio de la impedancia acústica en la transición del cuerpo de acoplamiento al aire circundante y, con ello, la precisión del paso que determina la velocidad del sonido. Por este motivo principalmente se debe entender estado desacoplado por la contigüidad de la superficie de acoplamiento en cualquier tipo de medio, en el que últimamente presente una impedancia acústica significativamente diferente frente al material del cuerpo de acoplamiento, de modo que la reflexión total acústica interna del sonido de prueba se produce preferentemente en el cuerpo de acoplamiento.

[0020] El procedimiento comprende, además, al menos un paso, en el que se determina el tiempo de ejecución del eco de la superficie límite de la superficie de acoplamiento del cuerpo de acoplamiento, contigua o que limita con la pieza de trabajo, para al menos uno de los transductores que actúa como emisor y receptor. Es decir, además se determina el tiempo de ejecución del ultrasonido que es emitido por al menos un transductor que actúa como emisor o receptor en el paso previamente descrito, se refleja en la pared posterior, es decir, la superficie de acoplamiento, y es recibido por el mismo transductor. Por ello se puede descargar una medición manual de esta distancia. Además, puede llevarse a cabo una determinación tan precisa y actual, puesto que las dimensiones del cuerpo de acoplamiento están sujetas regularmente a modificaciones por el desgaste. Por ejemplo, en un cuerpo de acoplamiento cuneiforme, la trayectoria del sonido más corta entre los transductores puede ser determinada con mucha precisión basándose en la distancia del transductor y dos mediciones de tiempo del eco de la superficie límite, en las que el transductor en cuestión funciona como emisor y receptor.

[0021] Preferentemente, el sistema de transductores comprende al menos un emisor de ultrasonido que emite, al menos, un impulso ultrasónico a la pieza de ensayo para el examen por ultrasonido no destructivo y, al menos, un receptor de ultrasonido que recibe los impulsos ultrasónicos. Expresado de otro modo, el sistema de transductores se utiliza tanto para determinar la velocidad del sonido en el cuerpo de acoplamiento como para el propio examen por ultrasonido de la pieza de trabajo. Esto simplifica el procedimiento según la invención.

[0022] Durante la valoración en el paso de determinación de la velocidad del sonido en el cuerpo de acoplamiento, la señal del transductor receptor del sistema de transductores puede activarse en el flanco ascendente o un pasaje por cero del eco del impulso, para determinar el tiempo de ejecución. Sin embargo, sorprendentemente se ha demostrado que en una activación en el tope de impulso del eco de impulso recibido, puede aumentar la precisión, por lo que preferentemente se utiliza este procedimiento. Por tanto, la valoración, p. ej., puede efectuarse mediante una unidad de accionamiento diseñada de forma separada de la cabeza de prueba (no representado). Con ello, la electrónica de control digital y analógica necesaria para controlar el sistema de transductores y la emisión de pulsos ultrasónicos, pueden agruparse en una unidad de control y evaluación.

[0023] En otra configuración ventajosa del procedimiento según la invención se emplea un sistema de transductores para la generación de pulsos ultrasónicos para el control de materias. Este se controla de modo que el ángulo de sonorización se ajuste de forma controlada a la pieza de trabajo. Para ello, en el contexto del procedimiento según la invención, la velocidad del sonido c calculada se tiene en cuenta en el cuerpo de acoplamiento durante el ajuste electrónico. Esta gestión del procedimiento puede implementarse particularmente en la unidad de control y de valoración anteriormente mencionada.

[0024] Cabe señalar que de la velocidad del sonido c determinada con el procedimiento según la invención en el

cuerpo de acoplamiento del contexto tabulado temperatura-velocidad del sonido se deduce la temperatura del cuerpo de acoplamiento y, con ello, indirectamente la temperatura de la pieza de trabajo. De aquí, dado el caso, se puede determinar también una corrección de la velocidad del sonido condicionada por la temperatura en la pieza de trabajo, lo cual podría influir, p. ej., sobre el ángulo de sonorización resultante en la pieza de trabajo durante la sonorización. Esto puede ser ventajoso, p. ej., en conjunto con el conocido método DAT. Como modelo para este contexto se hace referencia a las solicitudes de patente DE 10 2008 037 173, DE 10 2008 002 445 así como DE 10 2008 002 450 de la misma solicitante que están relacionadas con la generalización del método DAT en equipos de prueba con ángulo de sonorización regulable electrónicamente. Con esta referencia, las solicitudes de patente mencionadas se añaden en su totalidad al contenido divulgativo de la presente solicitud. También aquí los pasos adecuados de dicho procedimiento de corrección representan un perfeccionamiento preferente del procedimiento según la invención y pueden estar integrados particularmente en una unidad de control y de valoración del dispositivo según la invención.

[0025] Además, se describe un dispositivo para la ejecución del procedimiento en al menos una de las configuraciones ventajosas descritas anteriormente. El dispositivo comprende al menos un emisor de ultrasonidos para la emisión de al menos un impulso ultrasónico en una pieza de ensayo, reflejándose dichos impulsos ultrasónicos en la superficie de separación de la pieza de trabajo. Además, están previstos al menos un receptor de ultrasonidos para la recepción del ultrasonido reflejado, una unidad de valoración para valorar las señales correspondientes y un cuerpo de acoplamiento que está dispuesto entre la pieza de trabajo y el emisor, de modo que los ultrasonidos lo atraviesan. El dispositivo se caracteriza porque el dispositivo comprende un sistema de transductores con transductores controlados selectivamente para ejecutar los pasos para determinar la velocidad del sonido en el cuerpo de acoplamiento, en el cual respectivamente al menos un primer transductor del sistema de transductores actúa como emisor de al menos un impulso ultrasónico y al menos un segundo transductor del sistema de transductores actúa como receptor del impulso ultrasónico, y la velocidad del sonido se determina al menos mediante medición de tiempo del ultrasonido a lo largo de la trayectoria del sonido más corta del ultrasonido entre los transductores distanciados en cuestión.

[0026] Como se ha mencionado ya anteriormente, mediante el uso de un sistema de transductores con transductores controlados selectivamente, se pueden solucionar varios problemas de forma sencilla. Por una parte, mediante el uso selectivo de transductores situados lo más lejos posible el uno del otro en calidad de emisores o receptores, se puede emplear una trayectoria del sonido relativamente larga (por ejemplo esencialmente en dirección longitudinal del cuerpo de acoplamiento generalmente estrecho) para determinar la velocidad del sonido de prueba en el cuerpo de acoplamiento; mediante una trayectoria del sonido lo más larga posible aumenta la precisión de la velocidad del sonido. Por otra parte, el uso de un sistema de transductores permite la posibilidad de adecuar la emisión del sonido ligeramente a la geometría y/o amortiguamiento del cuerpo de acoplamiento mediante la elección del lugar y/o el número de transductores controlados selectivamente, de modo que el impulso emitido llegue efectivamente a un receptor. Por ello, el sistema de antes comprende ventajosamente más de dos transductores controlados selectivamente. Se puede prescindir, además, de un reflector de prueba que perturbe realmente los ensayos por ultrasonido.

[0027] A continuación se detalla la invención por medio de una representación esquemática, así como el cálculo geométrico correspondiente y una forma de realización ventajosa, sin limitar la invención a los datos mostrados y descritos.

[0028] En la forma de realización preferente del procedimiento según la invención, mediante la cabeza de prueba mostrada en la figura 1 se propone un examen por ultrasonido mediante eco de impulso en una pieza de trabajo no representada en la figura 1. Para ello, en esta forma de realización se utiliza el sistema de transductores 1 de la cabeza de prueba, que también se emplea para determinar la velocidad del sonido en el cuerpo de acoplamiento 4 de la cabeza de prueba, como se detallará más adelante. El sistema de transductores 1 comprende varios (aquí 22), transductores (2, 3) controlados selectivamente. En el examen por ultrasonido se pueden activar conjuntamente y en concordancia de fases, conjuntamente pero desfasados entre sí, de forma selectiva en grupos, etc. La invención no está limitada con respecto al modo de proceder en el examen por ultrasonido, y es competencia del experto la elección del control adecuado. El ultrasonido producido por los transductores 2, 3 del sistema de transductores 1 atraviesa una cuña de acoplamiento 4 de material termoplástico para penetrar en la pieza de trabajo, que está dispuesta en la superficie de acoplamiento 5 del cuerpo de acoplamiento cuneiforme 4, en adelante denominado también cuña de acoplamiento. Como se ha descrito anteriormente, la velocidad del sonido en la cuña de acoplamiento 4 generalmente presenta, con respecto a la pieza de trabajo, una fuerte dependencia de la temperatura. Generalmente, se puede prescindir de llevar a cabo una medición de temperatura en el cuerpo de acoplamiento 4 de forma separada, puesto que la velocidad del sonido c en el cuerpo de acoplamiento se obtiene directamente como resultado del procedimiento según la invención. En caso de que, por determinadas circunstancias, fuera ventajoso conocer, además de la velocidad del sonido c , también el valor absoluto T de la temperatura del cuerpo de acoplamiento, dicha temperatura del cuerpo de acoplamiento se puede deducir de las tablas para el material del cuerpo de acoplamiento de la velocidad del sonido c medida.

[0029] Para aumentar en lo posible la precisión del examen por ultrasonido de todas las temperaturas, se propone un paso según la invención para determinar la velocidad del sonido en el cuerpo de acoplamiento 4.

Este paso puede llevarse a cabo antes, después o durante el examen por ultrasonido descrito anteriormente y, en caso necesario, ser repetido en varias ocasiones.

5 **[0030]** En este paso se utiliza igualmente el sistema de transductores 1 para la emisión de ultrasonidos. Además, la cuña de acoplamiento 4 con su superficie de acoplamiento 5 no está acoplada a una pieza de trabajo, es decir, está desacoplada, por ejemplo, se mide en relación con el aire. En esta configuración, esta fase comprende tres pasos individuales. En los dos pasos secundarios, el respectivo eco de la superficie límite del haz de sonido de gran divergencia, creado por el transductor más exterior 2 y 3, es recibido por este y calcula el tiempo t_1 y t_2 correspondiente mediante el respectivo eco de la superficie límite. Estos pasos secundarios pueden estar
10 desfasados en el tiempo, pero también pueden llevarse a cabo simultáneamente. Cabe señalar que las trayectorias del sonido más cortas del ultrasonido son la d_1 y la d_2 , respectivamente se corresponden con la distancia perpendicular de los transductores 2, 3 de la superficie de acoplamiento 5. En un tercer paso secundario, se mide el tiempo t del ultrasonido desde el transductor 3 como emisor al transductor 2 como receptor (o viceversa) mediante formación de un eco de la superficie límite. La trayectoria del sonido más corta
15 e_1+e_2 del ultrasonido se caracteriza porque el ángulo de incidencia β se corresponde con el ángulo de salida β de la pared posterior del cuerpo de acoplamiento 4 (superficie de acoplamiento 5).

20 **[0031]** En el caso de un cuerpo de acoplamiento más grueso, p. ej., cuneiforme, puede ser ventajoso si el registro del eco de la superficie límite en el cuerpo de acoplamiento desacoplado no se lleva a cabo mediante el haz de sonido de un único transductor del sistema de transductores, sino que se agrupan varios transductores (adyacentes) del sistema de transductores, p. ej., tanto en el borde derecho como en el izquierdo, para crear haces de sonido con una menor divergencia. Una gestión del procedimiento modificada similar también debe estar prevista en el procedimiento según la invención.

25 **[0032]** De los tres tiempos de ejecución t , t_1 , t_2 y de la distancia más corta conocida o previamente determinada del transductor w se determina la velocidad del sonido c en la cuña de acoplamiento 4 como sigue:

$$c = \frac{w}{\sqrt{t^2 - t_1 t_2}} = w (t^2 - t_1 t_2)^{-\frac{1}{2}}$$

[0033] La fórmula se basa en los cálculos geométricos siguientes: las distancias d_1 y d_2 pueden calcularse como sigue:

30 (1)
$$d_1 = \frac{c t_1}{2} \quad d_2 = \frac{c t_2}{2}$$

[0034] Mediante el triángulo ΔABC y ΔBCD se pueden determinar e_1 y e_2 :

(2)
$$e_1 = \frac{d_1}{\sin \beta} \quad e_2 = \frac{d_2}{\sin \beta}$$

[0035] Para la suma de e_1 y e_2 se aplica:

(3)
$$e_1 + e_2 = c t$$

35 **[0036]** Con las ecuaciones anteriores para e_1 y e_2 esto se corresponde:

(4)
$$c t \sin \beta = d_1 + d_2$$

[0037] En la transformación mediante el uso de las ecuaciones (1) para d_1 y d_2 se obtiene:

$$(5) \quad \sin \beta = \frac{t_1 + t_2}{2t}$$

[0038] Mediante el coseno del triángulo ΔBDE se obtiene:

$$(6) \quad w^2 = e_1^2 + e_2^2 - 2e_1e_2 \cos(180^\circ - 2\beta)$$

5

[0039] Con:

$$(7) \quad \cos(180^\circ - 2\beta) = 2 \sin^2(\beta) - 1$$

se obtiene mediante el uso de las ecuaciones (2) y (6):

$$(8) \quad w^2 \sin^2(\beta) = d_1^2 + d_2^2 - 2d_1d_2 (2 \sin^2(\beta) - 1)$$

10 [0040] Con las ecuaciones (1), (5) y (8) se obtiene:

$$(9) \quad w^2 \left(\frac{t_1 + t_2}{2t} \right)^2 = c^2 \left\{ \frac{t_1^2}{4} + \frac{t_2^2}{4} - \frac{t_1 t_2}{2} \left(2 \left(\frac{t_1 + t_2}{2t} \right)^2 - 1 \right) \right\}$$

o correspondientemente:

$$c = \frac{w}{\sqrt{t^2 - t_1 t_2}} = w (t^2 - t_1 t_2)^{-\frac{1}{2}}$$

15 [0041] Por ello, en el cuerpo de acoplamiento cuneiforme 4 de la cabeza de prueba mostrado se puede determinar la velocidad del sonido c presente en el cuerpo de acoplamiento mediante la medición de los tiempos t , t_1 , t_2 . Esta velocidad del sonido calculada de forma tan exacta y realmente presente en el cuerpo de acoplamiento se basa en la valoración sensible a la ubicación del verdadero examen por ultrasonido de la pieza de trabajo (p. ej., en la determinación del ángulo de sonorización y en la pieza de trabajo) aumentando, por tanto, su precisión en la detección.

20

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para el examen por ultrasonido no destructivo, donde se emite al menos un impulso ultrasónico mediante al menos un emisor de ultrasonidos (3) a una pieza de ensayo y se refleja el impulso ultrasónico en las superficies de separación de la pieza de trabajo; el ultrasonido reflejado es recibido mediante al menos un receptor de ultrasonidos (2) y las señales correspondientes se valoran y, de este modo, el ultrasonido penetra en un cuerpo de acoplamiento (4) dispuesto entre la pieza de trabajo y el emisor o receptor, donde el procedimiento comprende al menos un paso para determinar la velocidad del sonido en el cuerpo de acoplamiento (4) mediante un sistema de transductores (1) con transductores (2, 3) controlados selectivamente, en el que respectivamente al menos un primer transductor (3) del sistema de transductores (1) actúa en calidad de emisor de, al menos, un impulso ultrasónico y, al menos, un segundo transductor (2) del sistema de transductores (1) actúa en calidad de receptor del impulso ultrasónico y se calcula la velocidad del sonido en el cuerpo de acoplamiento (4) al menos mediante medición de tiempo del ultrasonido a lo largo de la trayectoria más corta (e1, e2) del ultrasonido entre dichos transductores (2, 3) distanciados, y donde la velocidad del sonido en el cuerpo de acoplamiento (4), determinada en el paso para determinar la velocidad del sonido, se utiliza en la valoración de las señales del examen por ultrasonido de la pieza de trabajo y donde, en el paso para determinar la velocidad del sonido, se emplean los transductores (2, 3) del sistema de transductores (1) que estén espacialmente los más alejados posible el uno del otro.
- 20 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** en el paso de determinación de la velocidad del sonido en el cuerpo de acoplamiento (4) se calcula la velocidad del sonido mediante al menos un eco de la superficie límite (e1, e2) del cuerpo de acoplamiento (4).
- 25 3. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** la trayectoria del sonido más corta (e1, e2) se calcula de forma geométrica o mediante simulación numérica.
- 30 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el cuerpo de acoplamiento (4) es cuneiforme o presenta dos superficies planas y paralelas.
- 35 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el cuerpo de acoplamiento (4) está formado por un material termoplástico, preferentemente por un copolímero de poliestireno reticulado.
- 40 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** en el paso de determinación de la velocidad del sonido en el cuerpo de acoplamiento (4), este se encuentra desacoplado.
- 45 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el procedimiento comprende al menos otro paso, en el que se determina el tiempo de ejecución del eco de la superficie límite de la superficie de acoplamiento (5) del cuerpo de acoplamiento (4), contigua o que limita con la pieza de trabajo para, al menos, uno de los transductores (2, 3) del sistema de transductores (1) que actúa como emisor y receptor.
- 50 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el sistema de transductores (1) comprende al menos un emisor de ultrasonido (2, 3) que emite, al menos, un impulso ultrasónico en la pieza de ensayo para el examen por ultrasonido no destructivo y, al menos, un receptor de ultrasonido (2, 3) que recibe los impulsos ultrasónicos.
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el sistema de transductores (1) comprende más de dos transductores (2, 3) controlados selectivamente.
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** en el paso de determinación de la velocidad del sonido tiene lugar la valoración mediante una activación de un tope de impulso del eco de impulso recibido.

Fig. 1

