

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 388 877**

51 Int. Cl.:
G01N 29/24 (2006.01)
G01N 29/07 (2006.01)
G01N 27/83 (2006.01)
G01N 27/87 (2006.01)
G01N 27/90 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **06818682 .4**
96 Fecha de presentación: **21.11.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **1960767**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **27.08.2008**

54 Título: **Procedimiento y sistema para el ensayo electromagnético no destructivo por ultrasonidos de una pieza metálica**

30 Prioridad:
17.12.2005 DE 102005060582

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
19.10.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
19.10.2012

73 Titular/es:
**NDT Systems & Services GmbH & Co. KG
Friedrich-List-Strasse 1
76297 Stutensee, DE y
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V.**

72 Inventor/es:
**YASHAN, Andre;
WILLEMS, Herbert y
NIESE, Frank**

74 Agente/Representante:
Carpintero López, Mario

ES 2 388 877 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 y sistema para el ensayo electromagnético no destructivo por ultrasonidos de una pieza metálica

La invención se refiere a un procedimiento para el ensayo no destructivo de una pieza metálica mediante un cabezal de ensayo que comprende un convertidor ultrasónico electromagnético con una fuente de un campo magnético y un sensor de un campo magnético. La invención se refiere además a un procedimiento de evaluación para evaluar datos de medida que se determinaron con un cabezal de ensayo de esta clase, y a un sistema de ensayo.

Un ensayo no destructivo es de gran importancia especialmente para tuberías, por ejemplo conducciones de gas natural o de petróleo. De acuerdo con el estado de la técnica se emplean para esto diablos con cabezales palpadores que comprenden un convertidor ultrasónico mediante el cual se general ondas ultrasónicas y se pueden detectar ecos ultrasónicos. Mediante la evaluación de los ecos ultrasónicos se puede determinar una información relativa al tiempo de recorrido de la onda ultrasónica, calculando a partir de ahí el espesor de pared. De este modo se pueden reconocer los puntos de corrosión y otros defectos que den lugar a una reducción del espesor de pared.

Además de los convertidores ultrasónicos electromagnéticos en los que se generan ondas ultrasónicas directamente en la pieza que se trata de ensayar, se conocen en el estado de la técnica convertidores ultrasónicos piezoeléctricos, en los que se generan las ondas ultrasónicas fuera de la pieza y se acoplan a la pieza empleando un medio de acoplamiento.

Los convertidores ultrasónicos piezoeléctricos tiene la ventaja de que durante el acoplamiento de la onda ultrasónica en la pieza que se trata de ensayar se produce un eco de entrada mediante el cual se puede determinar la distancia entre el cabezal palpador y la pieza. Cuando se emplea un convertidor ultrasónico electromagnético no se forma tal eco de entrada, de modo que mediante la evaluación del tiempo de recorrido solamente se puede determinar el espesor de la pieza pero no su distancia al cabezal palpador.

En el caso de tuberías llenas de líquido, por ejemplo tuberías de petróleo, el líquido existente está disponible como medio de acoplamiento por lo que el empleo de convertidores ultrasónicos piezoeléctricos puede realizarse relativamente sin problemas. En el caso de tuberías llenas de gas, por ejemplo tuberías de gas natural, no es posible realizar el acoplamiento de las ondas ultrasónicas y por lo tanto no es posible emplear convertidores ultrasónicos piezoeléctricos o solamente lo es con un gasto muy grande. Por eso se ha propuesto en el documento EP 0 775 910 E1 emplear para esta clase de aplicaciones convertidores ultrasónicos electromagnéticos.

En el empleo de los convertidores ultrasónicos electromagnéticos no se puede distinguir entre defectos interiores o exteriores de una tubería, ya que no se produce ningún eco de entrada y como consecuencia tampoco se puede obtener información alguna sobre la distancia del cabezal palpador a la superficie de la pieza que se trata de ensayar mediante la evaluación de los ecos ultrasónicos. Otro problema que surge al emplear convertidores ultrasónicos electromagnéticos consiste en que la relación señal-ruido empeora drásticamente según aumenta la distancia del cabezal palpador a la pieza, por lo que la evaluación del tiempo de recorrido por lo general solo es posible cuando la distancia del cabezal palpador a la pieza es inferior a aproximadamente 1 mm. Si debido a corrosión interna se han producido depresiones en una tubería, la distancia del cabezal palpador ultrasónico a la pared que se trata de medir puede llegar a ser tan grande que ya no sea posible obtener una información fiable relativa al espesor de pared.

Para muchas aplicaciones, especialmente para la comprobación de tuberías, es deseable poder distinguir entre defectos interiores y exteriores. Por lo tanto existe una demanda de un cabezal palpador mediante el cual se pueda determinar no solo una información relativa al espesor de pared, sino además una información relativa a la distancia del cabezal palpador a la pared, ya que en una zona con defectos interiores aumenta la distancia del cabezal palpador a la pared en la profundidad del punto defectuoso.

Para resolver este problema se propone en el documento EP 0677742 A1 realizar durante unas pausas de medición del convertidor ultrasónico, como complemento una medición de corrientes de Foucault. En un ensayo por corrientes de Foucault se genera mediante una bobina emisora un campo electromagnético alterno que está influenciado por la conductividad eléctrica, la permeabilidad magnética y la geometría de la pieza que se trata de ensayar. Mediante un sensor del campo magnético que está dispuesto junto a la bobina emisora, se puede medir este campo alterno y determinar la distancia respecto a la pieza que se trata de ensayar. Si debido a un defecto interior esta distancia es demasiado grande para poder efectuar una evaluación por eco ultrasónico, se puede determinar el espesor de pared como diferencia entre el espesor de pared de una zona que no ha sufrido daños y la distancia adicional del cabezal palpador respecto a la pared dañada.

Un inconveniente importante del procedimiento conocido por el documento EP 0677742 A1 consiste sin embargo en que debido a las mediciones por corrientes de Foucault realizadas entre las mediciones ultrasónicas, aproximadamente se duplica el tiempo necesario para ensayar una pieza. A esto hay que añadir un aparato considerablemente complejo.

Por el documento DE 31 53 252 C2 y el documento DE 31 28 825 C2 se conoce además la posibilidad de combinar mediciones ultrasónicas con mediciones por corrientes dispersas para ensayar materiales ferromagnéticos. Para

- 5 esto se emplea un campo magnético que se genera por un imán que gira alrededor del cuerpo que se trata de ensayar, y que rodea a este con dos zapatas polares. Una instalación de medida en la que se combina mediciones por flujo disperso y mediciones ultrasónicas se conoce también por el documento GB 2 120 789 A. También en esta instalación de medida se sitúa la pieza que se trata de investigar entre las zapatas polares de un imán permanente, y para medir el flujo disperso se emplea un detector de flujo disperso y para medir la señal ultrasónica una bobina debidamente adaptada.
- 10 Por el documento EP 0 717 842 B1 se conoce un dispositivo para detectar grietas mediante un método de difusión de fenómenos transitorios electromagnéticos, en el que se miden magnitudes magnéticas. Se emplean sondas independientes para la medición de flujo disperso para la medición de las corrientes de Foucault, pero no se realiza ninguna medición ultrasónica.
- 15 Por el documento EP 0 276 299 B1 se conoce el sistema de comprobar materiales compuestos mediante una aplicación combinada de un impulso de corriente de Foucault y un ultrasonido de generación piezoeléctrica, empleándose sondas independientes para la medición de las corrientes de Foucault y del ultrasonido.
- El documento EP 0 200 183 A2 da a conocer un sistema para el ensayo no destructivo de una pieza metálica, que comprende un convertidor ultrasónico electromagnético con una fuente de un campo magnético, y un sensor del campo magnético, una memoria y una unidad de evaluación.
- 20 El objetivo de la invención es por lo tanto mostrar una vía entre la cual se puede comprobar una tubería llena de gas con un gasto reducido, y donde al hacerlo se puedan distinguir los defectos interiores de los defectos exteriores.
- Este objetivo se resuelve mediante un procedimiento para el ensayo no destructivo de una pieza metálica, que presenta las características de la reivindicación 1. Otras realizaciones constituyen el objeto de las reivindicaciones subordinadas.
- 25 En el procedimiento conforme a la invención se puede distinguir a partir de una única señal de respuesta que es generada por un único impulso de excitación, mediante la evaluación de diferentes aportaciones de la señal, entre defectos interiores y defectos exteriores de una tubería. Una ventaja esencial del procedimiento conforme a la invención consiste en que mediante la evaluación mejorada de la señal en comparación con las mediciones ultrasónicas convencionales con convertidores ultrasónicos electromagnéticos, no se requiere ningún tiempo de medición adicional para determinar la información relativa al espesor de pared. Por este motivo, con un solo cabezal palpador se puede comprobar una tubería esencialmente en el mismo tiempo en que el que de acuerdo con el estado de la técnica ya se requería para realizar una medición ultrasónica del espesor de pared, si bien de acuerdo con la invención se puede distinguir entre defectos interiores y exteriores, debido a una información adicional.
- 30 Mientras que de acuerdo con el estado de la técnica solamente se evalúa la aportación del eco ultrasónico de una señal de respuesta y se determina a partir de ahí una información relativa al espesor de pared, en el procedimiento conforme a la invención se evalúa adicionalmente una aportación del campo magnético en la señal de respuesta y a partir de ahí se determina otra información para distinguir entre defectos interiores y exteriores. Y es que dentro del marco de la invención se ha comprobado que la señal de respuesta obtenida durante una medición del eco ultrasónico con un convertidor ultrasónico electromagnético, contiene no solo la aportación del eco ultrasónico sino también una aportación del campo disperso y una aportación del campo alterno como aportaciones del campo magnético mediante cuya evaluación y en combinación con la evaluación de la aportación del eco ultrasónico se puede obtener una información relativa a la distancia y/o una información del espesor de pared.
- 35 La aportación del campo disperso se basa en el campo disperso del campo magnético generado por la fuente del campo magnético. Para obtener una señal máxima del flujo disperso se emplea preferentemente un cabezal palpador en el que el sensor del campo magnético está situado entre un polo norte magnético y un polo sur magnético, de la fuente del campo magnético, en una cara frontal del cabezal palpador mediante la cual el cabezal palpador está orientado hacia la pieza al realizar el procedimiento. El polo norte magnético y el polo sur magnético de la fuente del campo magnético provocan de este modo una magnetización de la pieza en dirección longitudinal. En la zona de las reducciones de espesor de pared llegan a formarse campos dispersos que pueden ser captados por el sensor del campo magnético del cabezal palpador. Si al desaparecer la aportación ultrasónica se comprueba la existencia de una aportación mayor del campo disperso, esto es indicio de un defecto interior. Si aparece una aportación mayor del campo disperso junto con una aportación ultrasónica dispersa, es que hay un defecto exterior.
- 40 Si el cabezal palpador está en reposo con relación a la pieza entonces el campo disperso es constante en el tiempo. Solo al mover el cabezal palpador con relación a la pieza llega a producirse una dependencia del campo disperso respecto al tiempo. Incluso si se desplaza de forma relativamente rápida a través de una tubería con cabezal palpador, la frecuencia del campo disperso medido es considerablemente menor que la frecuencia de la señal ultrasónica contenida en la señal de respuesta. Por ese motivo, la aportación del campo disperso en la señal de respuesta solamente se puede determinar mediante una filtración de frecuencias y se ha de evaluar de modo independiente para obtener una información relativa al espesor de pared que sea independiente de la medición ultrasónica.
- 55

La evaluación de la aportación del campo disperso también puede realizarse en cabezales palpadores que tengan solo una única bobina, que se emplea tanto como bobina de excitación para generar el impulso de excitación como también como sensor del campo magnético para determinar la señal de respuesta. El cabezal palpador empleado para la invención tiene sin embargo además del sensor del campo magnético también una bobina de excitación mediante la cual se genera el impulso de excitación y que está situada junto al sensor del campo magnético entre el polo norte N y el polo sur S de la fuente del campo magnético.

La aportación del campo magnético en la señal de respuesta contiene además una aportación del campo alterno de un campo alterno generado por el impulso de excitación por la bobina de excitación. Y es que para generar el impulso de excitación pasa a través de la bobina de excitación una corriente alterna, de modo que se genera un campo alterno magnético que provoca una aportación del campo alterno a la aportación del campo magnético de la señal de respuesta. La aportación del campo alterno aparece prácticamente al mismo tiempo que el impulso de excitación, por lo que la aportación del campo alterno se puede separar de la aportación del eco ultrasónico de la señal de respuesta mediante la elección adecuada del intervalo de tiempo de evaluación. Por ese motivo, para la evaluación de la señal de respuesta se evalúan preferentemente un primer intervalo de tiempo y un segundo intervalo de tiempo independientes, donde mediante la evaluación del primer intervalo de tiempo se determina la aportación del campo alterno y mediante la evaluación del segundo intervalo de tiempo, la aportación de eco ultrasónico.

Para evaluar la aportación del campo alterno se puede recurrir a los principios del ensayo de corrientes de Foucault. En el ensayo de corrientes de Foucault fluye una corriente eléctrica de intensidad I y de frecuencia $\omega=2\pi f$ por una bobina emisora (cuya función es asumida en este caso por la bobina de excitación) y genera de este modo un campo electromagnético alterno en el entorno, es decir también en el lugar de un sensor del campo magnético y en un cuerpo que se trata de ensayar. Este campo alterno está influenciado por la conductividad eléctrica σ , por la permeabilidad magnética μ y por la geometría del cuerpo que se ensaya, en particular por la distancia entre el cuerpo objeto de ensayo y el sensor. Mediante la evaluación de la aportación del campo alterno y si hay un calibrado adecuado se puede determinar la distancia del cabezal palpador respecto a la pieza y/u otros parámetros de la pieza.

Por principio es posible también efectuar la evaluación de la aportación del campo alterno en cabezales palpadores que tengan una sola bobina, que se emplea tanto como bobina de excitación para generar el impulso de excitación para la medición ultrasónica y la medición por corrientes de Foucault, como también como sensor del campo magnético. Y es que la impedancia de la bobina de excitación depende de la distancia entre el cabezal palpador y la pieza, de modo que mediante una medición de la impedancia de la bobina de excitación se puede determinar también la excitación del campo alterno. Sin embargo se emplea preferentemente un cabezal palpador que además de la bobina de excitación presente un sensor del campo magnético.

Preferentemente se evalúan no solo la aportación del campo disperso sino también la aportación del campo alterno de la señal de respuesta. La contemplación conjunta de los resultados de la evaluación de la aportación del campo disperso, de la aportación del campo alterno y de la aportación del eco ultrasónico permite obtener una información especialmente completa relativa al estado de la pieza que se trata de ensayar.

Las ventajas de la invención descrita se consiguen esencialmente también mediante una nueva forma de evaluación de las señales de respuesta medidas con un cabezal palpador. Por ese motivo la invención se refiere también a la utilización de un procedimiento conforme a la invención explicada anteriormente, para el ensayo no destructivo de una pieza metálica con el fin de evaluar datos de medida con las características de la reivindicación 6.

Dado que para la evaluación de las señales de respuesta se requieren cálculos voluminosos, se recomienda el empleo de una instalación electrónica de tratamiento de datos. Por este motivo la invención se refiere también a un producto de programa informático que se puede cargar directamente en la memoria de un ordenador digital y que comprenda unos tramos de software mediante los cuales se puedan llevar a cabo los pasos de un procedimiento de evaluación de esta clase, cuando el producto se desarrolla en un ordenador. La invención se refiere además a un medio de memoria adecuado para la informática, por ejemplo un CD, DVD o un disco duro sobre el cual esté registrado un producto de programa informático de esta clase.

El objetivo citado inicialmente se resuelve además por un sistema que presenta las características de la reivindicación 9.

Otros detalles y ventajas de la invención se explican sirviéndose de un ejemplo de realización y haciendo referencia a los dibujos adjuntos. Las características que ahí se describen pueden emplearse de forma individual o en combinación para crear realizaciones preferentes de la invención. Las figuras muestran:

la fig. 1 una representación esquemática de un sistema de ensayo conforme a la invención;

la fig. 2 un cabezal palpador del sistema representado en la fig. 1 incluido el trazado de las líneas de campo al ensayar un tramo de pared intacto;

la fig. 3 un cabezal palpador según la fig. 2, al ensayar un tramo de pared con un defecto interior; y

la fig. 4 el cabezal palpador según la fig. 2 al ensayar un tramo de pared con un defecto exterior.

La fig. 1 muestra un dibujo esquemático de un sistema para el ensayo no destructivo de una pieza metálica. El sistema comprende un cabezal palpador, que contiene un convertidor ultrasónico 1 con una fuente de campo magnético 2, un sensor del campo magnético 3 en forma de una bobina y una bobina de excitación 4. El sensor del campo magnético 3 y la bobina de excitación 4 están situados entre un polo norte magnético N y un polo sur magnético S de la fuente del campo magnético 2 en una cara frontal del cabezal palpador, que el cabezal palpador tiene orientada durante el funcionamiento hacia una pieza 11 que se trata de ensayar.

En el ejemplo de realización representado la fuente del campo magnético 2 está realizada como un imán permanente con una pieza polar en forma de U. De este modo se magnetiza la pieza que se trata de ensayar en dirección longitudinal, de modo que resulta un trazado de las líneas de campo que transcurre esencialmente paralelo a la superficie de la pieza 11. Para generar un trazado de las líneas de campo de esta clase se puede emplear por ejemplo también una fuente de campo magnético a base de dos imanes permanentes en forma de barra entre los cuales se sitúan el sensor del campo magnético 3 y la bobina de excitación 4, estando situado uno de estos imanes permanentes con su polo norte N y el otro imán con su polo sur S en la cara frontal del cabezal palpador.

Como fuente del campo magnético se puede emplear también un electroimán. Como sensor del campo magnético 3 se emplea preferentemente una bobina, si bien también pueden ser adecuados otros sensores de campo magnético.

Para generar una onda ultrasónica se transmite un impulso de excitación a la pieza por medio del convertidor ultrasónico electromagnético 1. Para este fin, la bobina de excitación 4 está conectada a un sistema electrónico de excitación 5 mediante el cual se genera el impulso de excitación y se transmite a la bobina de excitación 4. La frecuencia del impulso de excitación se corresponde con la frecuencia de la onda ultrasónica que se trata de generar y se encuentra por lo general aproximadamente entre 0,5 MHz y 10 MHz. La duración del impulso de excitación es de unos pocos ciclos de oscilación. Por ejemplo para ensayar una tubería se puede emplear un impulso de excitación con una frecuencia de 2 MHz y una duración de 1 μ s a 10 μ s, preferentemente de 2 μ s a 6 μ s. Para que la onda ultrasónica generada por el impulso de excitación tenga intensidad suficiente que permita identificar en una señal de respuesta los ecos ultrasónicos con una relación ventajosa de señal – ruido, se emplea para el impulso de excitación una tensión mínima de 0,5 kV, preferentemente de 1 kV a 5 kV, muy preferentemente de 2 kV a 4 kV. El sistema electrónico de excitación 5 se alimenta preferentemente desde una batería, de modo que el cabezal palpador se pueda emplear en un diablo para el ensayo de tuberías.

El impulso de excitación es transmitido por la bobina de excitación a la pieza que se trata de ensayar como campo alterno de alta frecuencia. En el caso de piezas ferromagnéticas, tales como se emplean usualmente, como acero para tuberías, este campo alterno magnético provoca una excitación magneto-estrictiva de una onda ultrasónica. El campo magnético generado por la fuente del campo magnético sirve para ajustar un punto de trabajo magneto-estrictivo conveniente. Alrededor de este punto de trabajo se modula el campo magnético generado por la fuente del campo magnético 2 con el impulso de excitación de la bobina de excitación 4.

En aquellas piezas metálicas que no sean ferromagnéticas el campo magnético de la bobina de excitación 4 provoca la generación de ultrasonido debido a la fuerza de Lorentz, que actúa sobre las corrientes de Foucault inducidas por el impulso de excitación. La excitación ultrasónica por las fuerzas de Lorentz tienen lugar por principio también en el caso de piezas ferromagnéticas, si bien el mecanismo de excitación magneto-estrictivo es considerablemente más eficaz, por lo que en los materiales ferromagnéticos, la excitación por medio de las fuerzas de Lorentz en la práctica más bien no tiene importancia alguna. Dado que la excitación ultrasónica por medio de las fuerzas de Lorentz es menos eficaz que la excitación ultrasónica magneto-estrictiva, se requieren en los materiales no-ferromagnéticos unas tensiones mayores para el impulso de excitación generado por el sistema electrónico de excitación 5.

A continuación de transmitirse el impulso de excitación a la pieza, se mide mediante el sensor del campo magnético 3 una señal de respuesta. El sensor del campo magnético 3 está conectado a un sistema electrónico de evaluación 6 mediante el cual se procede a una evaluación previa de la señal de respuesta. El sistema electrónico de evaluación 6 comprende un preamplificador 7, un filtro de paso alto 8 y un filtro de paso bajo 9. La señal de respuesta se amplifica primeramente mediante el preamplificador 7 y a continuación se conduce a las entradas conectadas en paralelo del filtro de paso alto 8 y del filtro de paso bajo 9. El filtro de paso alto tiene una frecuencia límite entre 10 kHz y 500 kHz, preferentemente entre 100 kHz y 200 kHz, de modo que a la salida del filtro de paso alto solamente lleguen aquellas partes de la señal de respuesta cuya frecuencia sea superior a la frecuencia límite del filtro de paso alto y que como consecuencia contienen la aportación del eco ultrasónico. La frecuencia límite del filtro de paso bajo está preferentemente entre 5 kHz y 500 kHz, preferentemente entre 5 kHz y 100 kHz, en particular entre 10 kHz y 50 kHz, de modo que a la salida del filtro de paso bajo solamente llegan los componentes de la señal de respuesta cuya frecuencia sea menor que la frecuencia límite del filtro de paso bajo 9, y que por lo tanto contienen la aportación del campo disperso.

El sistema electrónico de evaluación 6 está conectado a una unidad de evaluación 10 mediante la cual se determina una información de espesor de pared relativo al espesor de la pieza y una información de distancia relativa a la distancia del cabezal palpador respecto a la pieza. El sistema electrónico de evaluación 8 puede estar también conectado a una memoria a la cual pueda acceder la unidad de evaluación 10. De este modo se tiene la posibilidad

de situar la unidad de evaluación 10 también fuera del cabezal palpador, realizándola por ejemplo como PC. Los datos de medida obtenidos con el cabezal palpador se pueden facilitar a la unidad de evaluación 10 y se pueden evaluar en un momento cualquiera después de realizada la medición.

5 Al efectuar la evaluación de la señal de respuesta se transmite mediante la aportación del eco ultrasónico una información de espesor de pared relativa al espesor de la pieza. Como complemento y mediante una aportación del campo magnético de la señal de respuesta se determina una segunda información independiente relativa al espesor de pared y una información de distancia relativa a la distancia del cabezal palpador respecto a la pieza.

10 La aportación del campo magnético de la señal de respuesta empleada para determinar las restantes informaciones contiene una contribución del campo disperso basado en el flujo disperso del campo magnético generado por la fuente del campo magnético emitido por la pieza 11. Esta aportación del campo disperso se determina mediante el filtro de paso bajo 9 mediante un filtrado de la frecuencia de la señal de respuesta. Si el cabezal palpador está en reposo con relación a la pieza, entonces la parte de campo disperso de la señal de respuesta es constante en el tiempo. Si se mueve el cabezal palpador, la parte de campo dispersa depende del tiempo, pero su frecuencia es inferior a 10 kHz, incluso si el cabezal palpador se mueve con rapidez.

15 El principio de la medición del campo disperso se explica a continuación sirviéndose de las fig. 2 a 4, que muestran un convertidor ultrasónico 1 al generar en una pieza 11 una onda ultrasónica 14. Al ensayar un tramo de pared intacta del tubo se obtiene el trazado de las líneas de campo presentado en la fig. 1, donde las líneas de campo transcurren esencialmente por el interior de la pieza 11 y prácticamente no aparece flujo disperso alguno. Si el espesor de la pieza 11 está reducido debido a un defecto 12, 13, entonces las líneas de campo son forzadas en el lugar correspondiente o fuera de la pieza 11, de modo que aparece un campo disperso que puede ser captado por el sensor del campo magnético 3. Si el cabezal palpador 1 está situado sobre un diablo, entonces en el caso de un defecto exterior de la tubería que se trata de ensayar se obtiene el trazado de las líneas de campo representado en la fig. 3. En el caso de un defecto interior 13 se obtiene de modo correspondiente el trazado de las líneas de campo representado en la fig. 4.

25 Mientras que el defecto exterior 12 representado en la figura 3 se puede reconocer mediante la evaluación de la aportación del eco ultrasónico de la señal de respuesta debido al espesor de pared reducido, esto no es posible en el caso del defecto interior 13 representado en la figura 4. Y es que debido al defecto 13 existe entre la bobina de excitación 4 y la superficie de la pieza 11 que se trata de ensayar una mayor separación que impide la transmisión del impulso de excitación a la pieza 11.

30 Al evaluar tanto la aportación del eco ultrasónico como también la aportación del campo disperso de la señal de respuesta, se puede obtener una información más precisa y completa relativa al estado de la pieza investigada. A este respecto es importante que para esta clase de mediciones se puede emplear un cabezal palpador simplificado en el que la bobina de excitación 4 se emplea al mismo tiempo también como sensor del campo magnético 3. Sin embargo se prefiere un cabezal palpador de la clase representada en la figura 1, donde existe una bobina de excitación 4 y además un sensor del campo magnético 3 en forma de otra bobina.

35 Una información de distancia relativa a la distancia del cabezal palpador respecto a la pieza 11 se puede determinar por medio de una medición de corrientes de Foucault. Para ello es necesario que junto a la bobina de excitación 4 esté situado un sensor del campo magnético 3. En el procedimiento que se describe a continuación se emplea el impulso de excitación tanto para la medición del eco ultrasónico como también para la medición de las corrientes de Foucault. La señal de respuesta medida mediante el sensor del campo magnético 3 contiene además de la aportación del eco ultrasónico, una aportación del campo magnético, que contiene una aportación del campo alterno condicionado por las corrientes de Foucault de un campo alterno generado por el impulso de excitación de la bobina de excitación 4.

40 La intensidad de la aportación del campo alterno en el lugar del sensor del campo magnético 3 depende por una parte de unos parámetros independientes de la pieza (por ejemplo de la intensidad de corriente del impulso de excitación, de la geometría y del número de espiras de la bobina de excitación), y por otra parte de parámetros que dependen de la pieza. Entre los parámetros que dependen de la pieza se encuentra además de la conductividad eléctrica y de la permeabilidad magnética especialmente la distancia entre la pieza y el convertidor ultrasónico 1. Mediante la evaluación de la aportación del campo alterno de la señal de respuesta se puede obtener por lo tanto información relativa a la distancia.

45 La aportación del campo alterno de la señal de respuesta condicionado por las corrientes de Foucault tiene igual que la contribución del eco ultrasónico de la señal de respuesta, la frecuencia del impulso de excitación y por lo tanto está aplicada también a la salida del filtro de paso alto 8. A diferencia de la aportación del eco ultrasónico, aparece sin embargo la aportación del campo alterno casi simultáneamente con el impulso de excitación. Mediante una elección adecuada de las ventanas de evaluación en el tiempo se puede separar por lo tanto con facilidad la aportación del campo alterno de la señal de respuesta de la aportación del eco ultrasónico, que solamente aparece con una demora de tiempo condicionada por el tiempo de recorrido, que depende del espesor de pared.

5 Para la evaluación de la señal de respuesta se evalúan preferentemente por separado a un primer intervalo de tiempo y un segundo intervalo de tiempo, donde mediante la evaluación del primer intervalo de tiempo se determina la aportación del campo alterno y mediante la evaluación del segundo intervalo de tiempo, la aportación del eco ultrasónico. Para el primer intervalo de tiempo basta por lo general un tiempo inferior a 3 μ s, medido a partir del comienzo del impulso de excitación. Para el primer intervalo de tiempo se pueden elegir también periodos de tiempo más largos, pero siendo preciso tener en cuenta que en el primer intervalo de tiempo no están contenidas aportaciones del eco ultrasónico, es decir que la duración del primer intervalo de tiempo medido a partir del impulso de excitación es menor que el tiempo hasta que aparece el primer eco ultrasónico.

10 La subdivisión de la señal de respuesta en una aportación del eco ultrasónico y una aportación del campo alterno condicionado por las corrientes de Foucault la realiza la unidad de evaluación 10. Mediante la aplicación del procedimiento de evaluación descrito se subdivide la señal de respuesta en una aportación de eco ultrasónico A y una aportación del campo magnético que contiene una aportación del campo alterno B y una aportación del campo disperso C. Mediante la evaluación de las distintas aportaciones se determina no solo una información relativa al espesor de pared respecto al espesor de la pieza sino también una información de distancia relativa a la distancia del cabezal palpador a la pieza.

15

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el ensayo no destructivo de una pieza metálica (11) mediante un cabezal palpador que contiene un convertidor ultrasónico electromagnético (1) con una fuente de campo magnético (2) y un sensor de campo magnético (3),
- 5 comprendiendo el procedimiento los pasos siguientes:
- Para generar una onda ultrasónica se transmite a la pieza (11) mediante el convertidor ultrasónico (1) un impulso de excitación, mediante el sensor del campo magnético (3) se mide una señal de respuesta, mediante una aportación del eco ultrasónico de la señal de respuesta medida por el sensor del campo magnético (3) se determina una información de ensayo, preferentemente una información relativa al tiempo de recorrido de la onda ultrasónica, y a partir de ahí se determina una información de espesor de pared relativa al espesor de la pieza (11), y
- 10 mediante una aportación del campo magnético de la señal de respuesta medida por el sensor del campo magnético (3) se determina mediante una evaluación complementaria una información relativa al espesor de pared y una información de distancia relativa a la distancia del cabezal palpador a la pieza (11), y
- 15 presentando el cabezal palpador empleado una bobina de excitación (4) mediante la cual se genera el impulso de excitación, conteniendo la aportación de campo magnético empleada para determinar la información de distancia una aportación de campo alterno de un campo alterno generado por la bobina de excitación, y para determinar la información relativa a la distancia se evalúa la aportación del campo alterno.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** para evaluar la señal de respuesta medida por el sensor del campo magnético (3) se evalúa por separado un primer intervalo de tiempo y un segundo intervalo de tiempo,
- 20 donde por medio de la evaluación del primer intervalo de tiempo se determina la aportación del campo alterno, y mediante la evaluación del segundo intervalo de tiempo se determina la aportación del eco ultrasónico.
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el sensor del campo magnético (3) está situado en una cara frontal del cabezal palpador, entre un polo norte (N) magnético y un polo sur (S) magnético de la fuente del campo magnético (2), dispuesto en una cara frontal del cabezal palpador, mediante la cual el cabezal palpador está orientado hacia la pieza (11) al realizar el procedimiento.
- 25 4. Procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado porque** la aportación del campo magnético de la señal de evaluación empleada para determinar la información relativa al espesor de pared y la información relativa a la distancia contiene una aportación del flujo disperso que se basa en el flujo disperso emitido por la pieza (11) del campo magnético generado por la fuente de campo magnético (2), evaluándose la aportación del flujo disperso para determinar una información relativa al espesor de pared.
- 30 5. Procedimiento según la reivindicación 4, **caracterizado porque** la aportación del campo magnético de la señal de respuesta basada en el flujo disperso se determina mediante el filtrado de la frecuencia de la señal de respuesta.
- 35 6. Producto de programa informático que se puede cargar directamente en la memoria de un ordenador digital y que comprende tramos de software mediante los cuales se realizan los pasos del procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, cuando el producto se desarrolla en un ordenador.
7. Medio de memoria adecuado para ordenador con un producto de programa informático según la reivindicación 6.
8. Sistema para el ensayo no destructivo de una pieza metálica mediante un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, comprendiendo un cabezal palpador que presenta un convertidor ultrasónico electromagnético (1) con una fuente de campo magnético (2) y un sensor del campo magnético (3),
- 40 una memoria para almacenar una señal de respuesta que se midió mediante el sensor del campo magnético (3) a continuación de generar un impulso de excitación ejercido sobre la pieza, mediante el convertidor ultrasónico, y una unidad de evaluación (10),
- 45 **caracterizado porque**
- la unidad de evaluación está preparada para evaluar la señal de respuesta mediante la aplicación de un procedimiento en el cual se determinaron para el ensayo no destructivo de una pieza metálica (11) mediante un cabezal palpador para la evaluación de datos de medida que se determinaron mediante un cabezal palpador para el ensayo no destructivo de una pieza metálica, donde
- 50 el cabezal palpador empleado presenta un convertidor ultrasónico electromagnético (1) con una fuente de campo magnético (2) y un sensor del campo magnético (3), y

donde el procedimiento empleado comprende los pasos siguientes:

- 5 Para generar una onda ultrasónica se transmite a la pieza (11) mediante el convertidor ultrasónico (1) un impulso de excitación, mediante el sensor del campo magnético (3) se mide una señal de respuesta, mediante una aportación del eco ultrasónico de la señal de respuesta medida por el sensor del campo magnético (3) se determina una información de ensayo, preferentemente una información relativa al tiempo de recorrido de la onda ultrasónica, y de ahí una información relativa al espesor de pared respecto al sensor de la pieza (11), y
- 10 mediante una aportación del campo magnético de la señal de respuesta medida por el sensor del campo magnético (3) se determina mediante una evaluación complementaria una información relativa al espesor de pared y una información de distancia relativa a la distancia del cabezal palpador a la pieza (11),
- 15 presentando el cabezal palpador empleado una bobina de excitación (4) mediante la cual se genera el impulso de excitación, conteniendo la aportación de campo magnético empleada para la determinación de la información de distancia una aportación del campo alterno de un campo alterno generado por la bobina de excitación, y que se evalúa para determinar la información de distancia de la aportación del campo alterno.

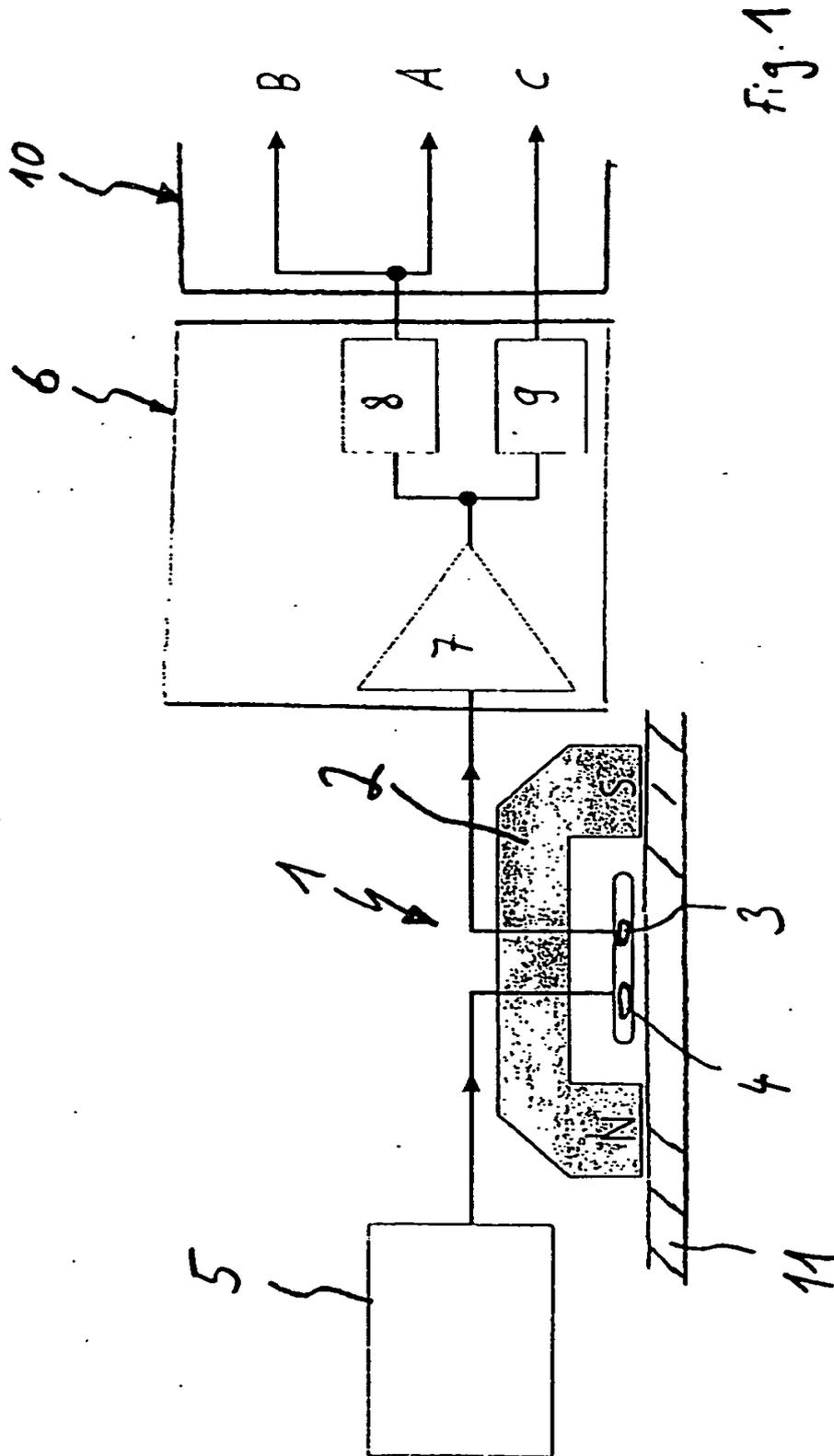


Fig. 1

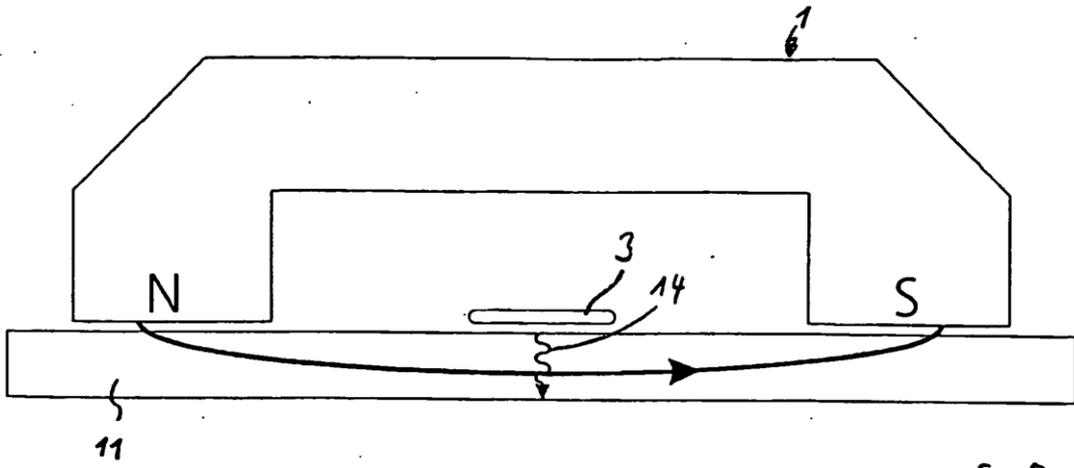


Fig. 2

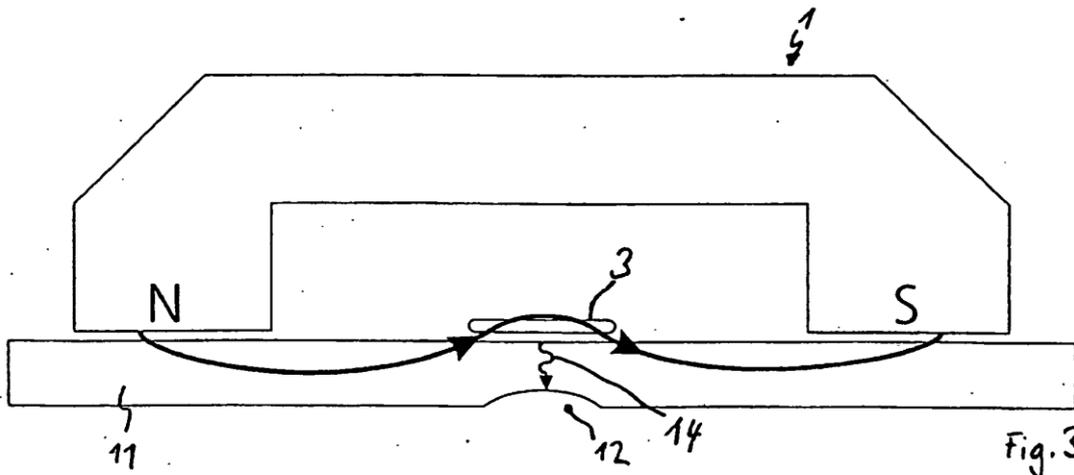


Fig. 3

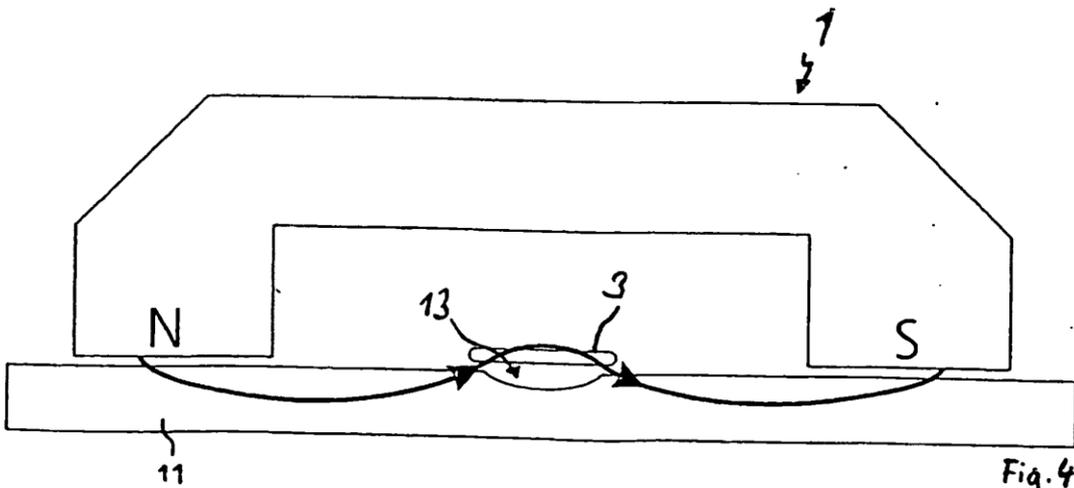


Fig. 4