

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 750 601**

51 Int. Cl.:

G01N 29/07 (2006.01)

G01N 29/11 (2006.01)

G01N 29/24 (2006.01)

G01L 1/25 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.02.2014 PCT/EP2014/000457**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.09.2014 WO14131499**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.02.2014 E 14709875 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.08.2019 EP 2962096**

54 Título: **Procedimiento para detectar tensiones termomecánicas variables en el tiempo y/o gradientes de tensión a través del espesor de las paredes de cuerpos metálicos**

30 Prioridad:

28.02.2013 DE 102013003500

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

26.03.2020

73 Titular/es:

**FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. (50.0%)
Hansastraße 27c
80686 München, DE y
FRAMATOME GMBH (50.0%)**

72 Inventor/es:

**ALTPETER, IRIS;
TSCHUNKY, RALF;
HERRMANN, HANS-GEORG;
KURZ, JOCHEN;
DOBMAN, GERD;
HÜBSCHEN, GERHARD;
BERGHOLZ, STEFFEN y
RUDOLPH, JÜRGEN**

74 Agente/Representante:

DURAN-CORRETJER, S.L.P

ES 2 750 601 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 detectar tensiones termomecánicas variables en el tiempo y/o gradientes de tensión a través del espesor de las paredes de cuerpos metálicos

5

Ámbito técnico de aplicación

La presente invención se refiere a un procedimiento para detectar tensiones termomecánicas y/o gradientes de tensión, variables en el tiempo, a través del grosor de las paredes de cuerpos metálicos, en particular de tuberías, en el que se mide una temperatura de la superficie en al menos un punto de medición en una superficie exterior del cuerpo, desde el cual se mide un perfil de temperatura entre la superficie interna y la superficie exterior.

10

La detección de tensiones termomecánicas y/o gradientes de tensión, variables en el tiempo, es de gran importancia sobre todo en tuberías de centrales nucleares, convencionales y termosolares, de plantas químicas o también de centrales eólicas, ya que los estados de fatiga de los respectivos componentes se pueden inferir a partir de la variación temporal de las tensiones o gradientes de tensión, también conocidas como series temporales de tensiones. Las tensiones máximas, que son responsables del envejecimiento de los componentes, se producen normalmente en la superficie interior de las tuberías o de los componentes adyacentes, por ejemplo, debido a los rápidos cambios de temperatura del medio que fluye por la tubería, de modo que una medición directa no es técnicamente posible o solo es posible con un esfuerzo desproporcionado.

15

20

Estado del arte

Para la supervisión de tuberías u otros cuerpos en busca de signos de fatiga, se puede consultar, por ejemplo, de J. Rudolph et al., "AREVA Fatigue Concept - A Three Stage Approach to the Fatigue Assessment of Power Plant Components" in: "Nuclear Power Plants" editado por el Dr. Soon Heung Chang, Departamento de Ingeniería Nuclear y Cuántica de KAIST, Corea del Sur, Editorial: InTech, 21 de marzo de 2012, páginas 293 a 316, para deducir las series temporales de tensiones en los componentes sometidos a tensión midiendo la temperatura de la superficie en la superficie exterior de las tuberías. La tensión local se calcula a partir de la medición de la temperatura de la superficie utilizando un procedimiento de elementos finitos.

25

30

Sin embargo, con esta tecnología ya no se pueden detectar y, por lo tanto, no se pueden evaluar, determinadas secuencias rápidas de tensiones que pueden producirse, por ejemplo, debido a procedimientos transitorios de mezcla de flujos fríos y calientes en la tubería y que causan cambios de temperatura muy cíclicos en la superficie interior de la tubería. Sin embargo, estos procedimientos de mezcla de alta frecuencia también pueden provocar elevadas cargas de fatiga e incluso grietas que penetran en las paredes durante el funcionamiento debido a la frecuencia con la que se producen las bajas amplitudes de tensión.

35

A partir del documento WO 2011/138027 A1, se conoce un procedimiento para el examen de materiales no destructivos, con el cual las piezas de trabajo que están expuestas a altos esfuerzos mecánicos y térmicos, por ejemplo, las tuberías en plantas de energía, plantas químicas o refinerías pueden examinarse para detectar daños por fatiga debidos a las tensiones. En este procedimiento se utilizan dos transductores de ultrasonidos electromagnéticos en una disposición separada de transmisión-recepción para radiar ondas de ultrasonidos polarizadas en la pieza de trabajo y para medir los tiempos de propagación y las amplitudes de las ondas de ultrasonidos utilizando técnicas de pulso-eco y de transmisión de ultrasonidos. También se realizan mediciones de la impedancia de corrientes torbellino para comparar estas variables medidas con los datos de referencia correspondientes. En comparación con los datos de referencia, se pueden detectar posibles cambios en la microestructura de la pared de la pieza de trabajo. Sin embargo, el procedimiento allí descrito no permite la detección de los gradientes de tensión termomecánicos que varían con el tiempo a través del grosor de las paredes de las tuberías.

40

45

50

El documento WO 2004/109222 A2 describe un procedimiento para la adquisición de las características materiales de los cuerpos metálicos, en particular de los raíles ferroviarios, donde las mediciones se realizan con transductores de ultrasonidos electromagnéticos para determinar las características del material, en particular la tensión, la densidad o la rigidez del material. Además, se mide la temperatura en el punto de medición para corregir las mediciones de ultrasonidos debido a los posibles efectos de la temperatura.

55

El documento US 5,570,900 A describe un procedimiento para determinar las tensiones en una pieza de trabajo utilizando transductores de ultrasonidos electromagnéticos. Esta publicación trata principalmente del diseño mecánico del dispositivo de medición con el que se conecta el transductor de ultrasonidos a la pieza de trabajo.

60

La invención tiene por objeto especificar un procedimiento para detectar tensiones termomecánicas y/o gradientes de tensión, variables en el tiempo, a través del espesor de las paredes de cuerpos metálicos, en particular tuberías, con el que incluso los cambios rápidos en la tensión a través del grosor de la pared procedentes del interior del cuerpo se pueden detectar desde la superficie exterior por fuera.

65

Presentación de la invención

El objeto se resuelve con el procedimiento según la reivindicación de patente 1. Los modos de realización ventajosos del procedimiento son objeto de las reivindicaciones dependientes o se pueden encontrar en la siguiente descripción y en los modos de realización.

El procedimiento propuesto para la detección de las tensiones termomecánicas variables en el tiempo y/o los gradientes de tensión a través del espesor de la pared (a través de la sección transversal del cuerpo o a través del espesor de la pared de la tubería) de cuerpos metálicos combina dos procedimientos de medición diferentes. Por un lado, la temperatura de la superficie se mide en la superficie exterior del cuerpo, a partir de la cual se determina un perfil de temperatura entre la superficie interior y la superficie exterior. Por otra parte, además de esta medición, con transductores de ultrasonidos electromagnéticos se realizan mediciones en al menos un punto de medición en la superficie exterior para determinar la evolución temporal de las tensiones y/o los gradientes de tensión a través del espesor de la pared del cuerpo a partir de la temperatura medida y el perfil de temperatura determinado a partir de las mediciones adicionales. La información necesaria para determinar las tensiones y/o los gradientes de tensión se obtiene a partir de una combinación de la información obtenida de la medición de la temperatura y de los datos de medición obtenidos con los transductores de ultrasonidos electromagnéticos. Las tensiones y/o gradientes de tensión se determinan preferentemente evaluando el tiempo de tránsito de ultrasonidos, las amplitudes de ultrasonidos y/o la impedancia de corrientes torbellino en conjunto con las mediciones de temperatura.

El uso de transductores de ultrasonidos electromagnéticos tiene la ventaja de que las tuberías también se pueden medir en condiciones de funcionamiento, por ejemplo, a temperaturas superiores a 200 °C, bajo cargas de radiación o a altas presiones de funcionamiento dentro de los cuerpos. En particular, los transductores de ultrasonidos electromagnéticos ofrecen la posibilidad de detectar cambios rápidos de tensión, por ejemplo, causados por cambios repentinos de temperatura dentro del cuerpo, a través de la adquisición rápida de datos de medición.

Esto permite identificar y evaluar, en principio, los espectros de tensiones de fatiga a alto ciclo (HCF, "High Cycle Fatigue"). Las mediciones del tiempo de tránsito de ultrasonidos y de amplitudes de ultrasonidos y/o las mediciones de impedancia de corrientes torbellino llevadas a cabo según la invención tienen la ventaja de que también pueden ser utilizadas para detectar directamente tensiones inaccesibles en la superficie interna de los cuerpos. La medición del tiempo de tránsito de ultrasonidos y de las amplitudes de ultrasonidos puede llevarse a cabo con una disposición separada de emisor-receptor o con tecnología de pulso-eco o con una combinación de ambas técnicas. Además, la amplitud de transmisión y recepción también se puede detectar y utilizar como parámetro adicional para la evaluación.

Con este procedimiento, mediante la medición adicional con transductores de ultrasonidos electromagnéticos y con las mediciones realizadas con respecto al tiempo de tránsito de ultrasonidos, amplitudes de ultrasonidos y/o impedancia de corrientes torbellino se satisface la carencia existente con respecto a cambios de tensión más rápidos en los actuales procedimientos de monitorización de tuberías puramente basados en la temperatura. En combinación con el control de la temperatura, estos procedimientos de ensayo de ultrasonidos electromagnéticos amplían el valor informativo de los sistemas de control de la fatiga conocidos. También es posible detectar funciones de tiempo de fatiga de alta frecuencia (series temporales de tensiones) que no se habían detectado anteriormente. Esto permite sacar conclusiones sobre las tensiones relevantes para la fatiga y, por lo tanto, sobre el curso temporal de la condición de fatiga del cuerpo o la tubería correspondiente. Mediante el uso de transductores de ultrasonidos electromagnéticos, las mediciones de tiempo de tránsito de ultrasonidos, amplitudes de ultrasonidos e impedancia de corrientes torbellino pueden combinarse en un solo sensor o sonda.

El procedimiento propuesto se basa en el hecho de que los datos obtenidos de la medición de la temperatura, en particular el perfil de temperatura y tensión sobre el espesor de pared del cuerpo que puede deducirse de ella, pueden utilizarse para determinar las tensiones o los gradientes de tensión sobre el espesor de pared del cuerpo a partir de los datos de medición de las mediciones de ultrasonidos o de corrientes torbellino, en particular en el caso de cambios de tensión de alta frecuencia. Sin la información adicional de la medición de temperatura esto no sería posible con la precisión disponible, ya que la influencia de la temperatura en los datos de medición de la impedancia de ultrasonidos y corrientes torbellino debe ser compensada para obtener la precisión.

A continuación, se explica el procedimiento y su diseño a partir de la medición y seguimiento de las tuberías. Sin embargo, estas explicaciones pueden aplicarse fácilmente a otros cuerpos.

Según la invención, se utiliza un modelo de capas para determinar las tensiones o gradientes de tensión. Con este modelo de capas, se determinan de forma iterativa y numérica las tensiones o gradientes de tensión sobre el espesor de la pared de la tubería. El modelo se calibra con antelación utilizando los datos de medición de temperatura y la información obtenida a partir de ellos, midiendo las tensiones realistas conocidas definidas con todo el sistema de medición y detectando y archivando los datos obtenidos. En detalle, los perfiles de temperatura y tensión determinadas numéricamente a partir de la medición de la temperatura a lo largo del espesor de pared de la tubería, que se aproximan constantemente de forma fragmentada en las distintas capas, así como los tiempos de tránsito de ultrasonidos corregidos por temperatura, las amplitudes de ultrasonidos y las impedancias de las

corrientes torbellino, se utilizan como variables de entrada del modelo.

El modelo de capas proporciona como magnitudes de salida tanto los perfiles de tensión específicos de las capas como los tiempos de tránsito de ultrasonidos específicos de las capas, las amplitudes de ultrasonidos y las impedancias de las corrientes torbellino, que se compensan con la temperatura. Para poder determinar rápidamente el perfil de tensión en la pared de la tubería en caso de aplicación, la tensión respectiva se infiere a partir de los tiempos de tránsito de ultrasonidos medidos, las amplitudes de ultrasonidos y las impedancias de las corrientes torbellino en las distintas capas. Para determinar esta relación entre las tensiones de las capas y los tiempos de tránsito de ultrasonidos específicos de las capas, los valores de amplitudes de ultrasonidos y de impedancia de las corrientes torbellino, se requiere una optimización iterativa del modelo de capas. Se pueden utilizar dos enfoques diferentes para la optimización.

El primer enfoque ejemplar se basa en un enfoque de reconocimiento de patrones, que permite sacar conclusiones sobre las tensiones en las distintas capas con la ayuda de consideraciones de similitud. Los perfiles de tensión por capas están vinculadas a los valores de tiempo de tránsito de ultrasonidos por capas, amplitudes de ultrasonidos e impedancia de corrientes torbellino mediante algoritmos que relacionan los datos por capas entre sí y, por lo tanto, abarcan un espacio variable de prueba a partir de los valores por capas. Este espacio variable de prueba multidimensional se extiende iterativamente en la fase de optimización o durante la calibración y luego se utiliza para evaluar las mediciones reales con respecto a su similitud en las dimensiones espaciales.

El segundo enfoque es un enfoque físico. Esto requiere el conocimiento o la determinación de las constantes acústico-elásticas del material de la tubería a diferentes temperaturas de funcionamiento y conductividades eléctricas y permite determinar el estado de tensión de cada capa mediante la adaptación iterativa del modelo calculando los tiempos de tránsito de ultrasonidos compensados por temperatura con las constantes acústico-elásticas, que también están compensadas en temperatura y, si es necesario, utilizando también las amplitudes de ultrasonidos y las impedancias de las corrientes torbellino.

La ventaja de la optimización iterativa del modelo de capas basado en leyes físicas o en un enfoque de reconocimiento de patrones es la mayor velocidad de medición y la disponibilidad inmediata de información sobre todo el espesor de la pared de la tubería. Además, la optimización iterativa permite el uso de datos de medición temporalmente anteriores (historial de las mediciones) y datos de medición en el momento de la evaluación (cantidades de ultrasonidos y corrientes torbellino, así como la temperatura instantánea en la pared exterior) para aumentar la precisión del modelo. En particular, las tensiones o gradientes de tensión en la pared interior de la tubería correspondientes a la capa más interna del modelo de capas se obtienen utilizando este modelo de capas.

Para las mediciones con los transductores de ultrasonidos electromagnéticos se pueden realizar diferentes disposiciones y diseños de los transductores. En principio, pueden utilizarse diferentes transductores de combinación como transductores de ultrasonidos electromagnéticos, por ejemplo, constituidos por al menos una bobina de alta frecuencia y un electroimán o uno o más imanes permanentes, por lo que la bobina de alta frecuencia puede utilizarse tanto para la transmisión y/o recepción del ultrasonido excitado electromagnéticamente como para la medición de la impedancia de la corriente parásita. Además, también pueden utilizarse transductores combinados compuestos de al menos dos bobinas de alta frecuencia y un electroimán o dos bobinas de alta frecuencia y uno o más imanes permanentes. Una bobina de alta frecuencia se utiliza para transmitir y/o recibir el ultrasonido excitado electromagnéticamente y la otra bobina de alta frecuencia se utiliza como una bobina separada de corriente inducida. La excitación por corrientes torbellino puede realizarse con el mismo impulso que la generación de la onda de ultrasonidos o también a través de un generador de corrientes torbellino separado. El experto conoce los transductores de ultrasonidos adecuados a partir del estado actual de la técnica.

En cada punto de medición se utilizan al menos dos transductores de ultrasonidos electromagnéticos, que funcionan con diferentes direcciones de polarización en modo pulso-eco, lo que supone una ventaja particular. Con estos transductores, la bobina de alta frecuencia sirve tanto como bobina transmisora como receptora. Los transductores están diseñados o dispuestos de tal manera que irradian ondas transversales linealmente polarizadas perpendiculares entre sí en el tubo. Preferentemente, la onda transversal de un transductor de ultrasonidos está polarizada en la dirección axial del tubo y la otra en la dirección circunferencial del tubo. De esta manera, las diferentes tensiones generadas en estas direcciones se pueden detectar de forma óptima.

Preferentemente, se utilizan dos pares de transductores de ultrasonidos electromagnéticos adicionales en un transceptor separado en el punto de medición respectivo. En estos pares, un transductor sirve como transmisor y el otro como receptor. Estos transductores pueden operar con dos tipos de ondas diferentes en transmisión directa, tanto ondas transversales de Rayleigh como ondas transversales con polarización horizontal. Estos dos pares de transductores de ultrasonidos electromagnéticos adicionales se utilizan para medir la tensión en la pared del tubo con dos polarizaciones orientadas a 90° entre sí, preferentemente en la dirección axial y en la dirección circunferencial del tubo. Para ello se disponen de forma transversal.

También es posible irradiar ondas de ultrasonido con diferente polarización en la pared del tubo. Por ejemplo, en el caso de espesores de pared más pequeños, en lugar de la onda de Rayleigh o la onda polarizada horizontalmente,

también se puede utilizar una onda de placa (onda de placa SH/Lamb) Para la irradiación perpendicular, también es posible utilizar ondas polarizadas radialmente.

5 Los transductores de ultrasonidos, en lo sucesivo también denominados sondas, se montan preferentemente a modo de banda sobre la circunferencia del tubo. Cuanto más cerca se coloque este conjunto de sonda en el tubo a lo largo de la circunferencia, mayor será la resolución lateral para la determinación de la tensión a lo largo de la circunferencia del tubo.

10 También se pueden utilizar simultáneamente varias bandas de prueba con transductores combinados para redundancias adicionales. Una variación de los tipos de sonda y transductor para cada banda también proporciona redundancia adicional. Se puede obtener información adicional utilizando los datos de diferentes tipos de sonda, diferentes tipos de onda y/o diferentes frecuencias de medición.

15 En otra configuración, que puede utilizarse con material ferromagnético de la tubería, se utilizan transductores combinados con electroimanes, con los que se controla la histéresis para poder medir la permeabilidad de superposición (evaluación de la permeabilidad en puntos de funcionamiento definidos o campos magnéticos) y/o la magnetostricción dinámica (evaluación de la amplitud de ultrasonidos en puntos de funcionamiento definidos o campos magnéticos) como cantidad adicional cerca de la superficie.

20 Breve descripción de los dibujos

El procedimiento propuesto se explica más detalladamente a continuación utilizando un ejemplo junto con los dibujos. Se muestra:

- 25 Fig. 1: dos ejemplos de la disposición de las sondas de ultrasonidos en un punto de medición según el diseño del procedimiento propuesto;
 Fig. 2: ejemplos para la distribución de sondas o puntos de medición sobre la circunferencia de un tubo;
 Fig. 3: una representación esquemática de la determinación de tensiones o gradientes de tensión utilizando un modelo de capas de una tubería;
 30 Fig. 4: ejemplo de configuración de una de las sondas para generar una onda transversal perpendicularmente incidente con polarización lineal;
 Fig. 5: otro ejemplo del diseño de una sonda para generar una onda transversal perpendicularmente incidente con polarización lineal;
 Fig. 6: un ejemplo del diseño de una sonda para generar una onda de Rayleigh; y
 35 Fig. 7: ejemplo de diseño de una sonda para generar una onda transversal con polarización horizontal.

Formas de realizar la invención

40 En el procedimiento propuesto, la medición de la temperatura conocida para el control de la fatiga en una tubería se combina con la medición de los tiempos de tránsito de ultrasonidos, amplitudes de ultrasonidos y/o de impedancias de corrientes torbellino en la pared de la tubería, que se realiza con transductores de ultrasonidos electromagnéticos. Los puntos de medición en el exterior de la tubería se seleccionan según sea necesario. La figura 1 muestra una representación esquemática de una sección de un tubo 1, cuyo exterior muestra una disposición de sonda para realizar mediciones de tiempo de tránsito de ultrasonidos, amplitudes de ultrasonidos e impedancia de corrientes torbellino. Las figuras 1a y 1b muestran dos opciones de disposición diferentes en el punto de medición correspondiente. La sonda de temperatura 2 utilizada para medir simultáneamente la temperatura de la superficie exterior en este punto de medición también se indica esquemáticamente en la figura. Este sensor de temperatura, por ejemplo, en forma de termopares, también se puede integrar en las sondas. Además, en cada punto de medición pueden estar presentes varios sensores de temperatura 2. Naturalmente, la temperatura también se puede medir
 50 inmediatamente antes o después de la medición con las sondas de ultrasonidos.

La figura 1 muestra claramente que se pueden utilizar diferentes transductores o sondas de ultrasonidos para mediciones de ultrasonidos y/o corrientes torbellino. Se trata de disposiciones separadas de transmisión y recepción con transductores de transmisión y recepción 3a, 3b, 4a, 4b y disposiciones integradas de transmisión y recepción 5, 6 que funcionan en modo pulso-eco. Los transductores de transmisión y recepción 3a, 3b o 4a, 4b pueden utilizarse para generar ondas de Rayleigh u ondas transversales con polarización horizontal en la dirección axial de la pared del tubo. Estas sondas trabajan en la transmisión, donde las ondas de ultrasonidos son emitidas por el transmisor 3a, 4a, y después de la propagación en la pared de la tubería son recibidas de nuevo por el respectivo receptor de ultrasonidos 3b, 4b en la dirección axial de la tubería. Para medir la tensión en la pared del tubo, se deben utilizar dos pares de transductores transmisores 3a, 4a y receptores 3b, 4b con polarizaciones orientadas a 90° entre sí, a lo largo del eje del tubo y en la dirección circunferencial del tubo. Los dos pares de sondas están dispuestos en cruz, como se muestra en las figuras 1a y 1b. Los otros dos transductores de ultrasonidos 5, 6 son transductores de transmisión y recepción integrados que irradian ondas transversales linealmente polarizadas con diferentes direcciones de polarización (mutuamente perpendiculares) verticalmente en el tubo. Con estos transductores, la bobina de alta frecuencia sirve tanto para transmitir las señales de ultrasonidos como para recibir las señales de ultrasonidos reflejadas en la pared interior del tubo. Un transductor 5 genera ondas transversales polarizadas
 65

linealmente en la dirección circunferencial del tubo, el otro transductor 6 genera ondas transversales polarizadas linealmente en la dirección axial del tubo. La medición de la impedancia de las corrientes torbellino se puede realizar de forma muy conocida a través de las bobinas de alta frecuencia integradas. Por supuesto, los transductores combinados también se pueden utilizar cuando se suministra una bobina de alta frecuencia adicional para la medición de la impedancia de corrientes torbellino. Las figuras 1a y 1b muestran diferentes orientaciones y disposiciones de las sondas utilizadas, como pueden utilizarse en este procedimiento. La figura 1c muestra otro ejemplo de una sección a través de la tubería con las sondas correspondientes montadas. Las sondas se utilizan preferentemente a modo de banda en diferentes puntos de medición de la pared exterior del tubo, como se indica esquemáticamente con la flecha de la figura 1c.

La figura 2 muestra las posibles distribuciones de las posiciones de los puntos de medición o las posiciones de las disposiciones de las sondas 7 mostradas en la figura 1 sobre la circunferencia de una tubería 1. Cuanto más densa sea la disposición de las sondas 7 en forma de cruz a lo largo de la circunferencia del tubo, mayor será la resolución lateral a lo largo de la circunferencia del tubo. La figura 2 muestra un ejemplo de cuatro distribuciones diferentes de la disposición de las sondas 7 o puntos de medición en un tubo 1, que se designan como a) a d), en la ilustración parcial izquierda. Una mayor densidad de los puntos de medición o de la disposición de las sondas 7 conduce a una mayor resolución. En la parte derecha de la figura, tal disposición se muestra de nuevo en la sección a través de la tubería 1. También es posible aplicar las sondas solo a la mitad o incluso solo a un cuarto de la tubería si esta está sometida a una carga simétrica. En caso de carga asimétrica, las sondas deben estar distribuidas por toda la circunferencia de la tubería, como se indica en la figura 2. Si es de esperar que se produzcan tensiones no homogéneas a lo largo del eje de la tubería, estas tensiones no homogéneas también se detectarán utilizando varias bandas de sonda a lo largo del eje de la tubería.

Cuando proceda, la disposición cruciforme de las unidades de búsqueda mostrada en la figura 1 puede también simplificarse omitiendo la disposición separada de los transeptores con las unidades de búsqueda 3a, 3b, 4a, 4b. En este caso, sin embargo, no se puede obtener información sobre las tensiones locales a lo largo del eje de la tubería. Sin embargo, es posible, por supuesto, detectar los cambios relativos en la tensión sobre el espesor de la pared de la tubería.

La figura 3 muestra esquemáticamente el procedimiento para determinar las tensiones o gradientes de tensión en el interior de la tubería sobre la base de un modelo de capas. En este modelo esquemático de capas 9, la pared de la tubería se divide en diferentes capas, como se indica en la figura. Los tamaños de entrada del modelo 8 son las impedancias de corrientes torbellino medidas, los tiempos de tránsito de ultrasonidos medidos, las amplitudes de ultrasonidos, el perfil de temperatura determinada a partir de la medición de temperatura y el perfil de tensión determinada a partir de la medición de temperatura. El modelo de capas 9 suministra como magnitudes de salida 10 impedancias de corrientes torbellino relacionadas con la capa, tiempos de tránsito de ultrasonidos relacionados con la capa, amplitudes de ultrasonidos y un perfil de tensión relacionada con la capa, por lo que el perfil de tensión en la capa más interna del modelo de capa corresponde a los tensiones o gradientes de tensión en el interior del tubo.

Las figuras 4 a 7 muestran ejemplos de transductores o sondas de ultrasonido que pueden utilizarse en el procedimiento propuesto. Las figuras muestran que se pueden utilizar diferentes tipos de transductores para medir el tiempo de tránsito de ultrasonidos, la amplitud de ultrasonidos y la impedancia de las corrientes torbellino. La figura 4 muestra un ejemplo de un transductor de ultrasonidos vertical que genera ondas transversales linealmente polarizadas. El transductor tiene un imán 11 sobre una bobina de alta frecuencia 12. El imán puede ser un imán permanente - como se muestra en la figura - o un electroimán. El imán genera un campo magnético estático B_0 en la pared de la tubería, como se indica en la figura. Una onda de ultrasonidos es excitada en la pared de la tubería por la tensión alterna en la bobina de alta frecuencia 12 visible en la sección transversal mostrada, la dirección de oscilación o polarización 14 y la dirección de propagación 15 también se indican en la figura. Como se puede ver en la parte derecha de la figura, se puede utilizar un concentrador adicional 13 entre la bobina de alta frecuencia 12 y el imán 11 para amplificar el campo magnético estático.

La figura 5 muestra un diseño alternativo de un transductor de ultrasonidos de este tipo para la exploración vertical de una onda transversal linealmente polarizada. En este ejemplo, dos imanes 11 se utilizan por encima de la bobina de alta frecuencia 12.

La figura 6 muestra un ejemplo de un transductor electromagnético de ultrasonidos usado para generar ondas de Rayleigh. Este transductor utiliza una bobina de alta frecuencia 11 en forma de meandro, que se puede ver en la parte derecha de la figura en vista en planta. La dirección de propagación 15 de la onda de ultrasonidos y la dirección de oscilación 14 de la onda de ultrasonidos también se indican en la figura.

La figura 7 muestra un ejemplo de un transductor de ultrasonidos para generar una onda transversal con polarización horizontal. Este transductor de ultrasonidos utiliza imanes permanentes 11 con polaridad alterna en disposición periódica, como puede verse en la figura. A continuación, se genera una onda de ultrasonidos a través de la bobina de alta frecuencia 12, cuya dirección de propagación 15 a lo largo de la superficie de la tubería se muestra esquemáticamente en la figura.

Los transductores de las figuras 4 a 7 son conocidos por el estado de la técnica, por lo que en este punto no entraremos en detalles sobre su construcción y funcionalidad.

5 Con cada uno de los transductores de ultrasonidos mostrados, se puede realizar una medición de la impedancia de corrientes torbellino a diferentes frecuencias y, por lo tanto, a diferentes profundidades de penetración en la tubería. La medición de la impedancia de corrientes torbellino se puede realizar con la bobina de alta frecuencia del transductor, que también se utiliza para la generación de ultrasonidos. Por supuesto, también es posible, sin embargo, disponer una bobina de alta frecuencia separada para una medición de corrientes torbellino de este tipo en el transductor.

10

Lista de referencia

- 1 Tubería
- 2 Sensor de temperatura
- 15 3a Transductor de ultrasonidos (transmisor)
- 3b Transductor de ultrasonidos (receptor)
- 4a Transductor de ultrasonidos (transmisor)
- 4b Transductor de ultrasonidos (receptor)
- 20 5 Transductores de ultrasonidos (transmisor/receptor)
- 6 Transductores de ultrasonidos (transmisor/receptor)
- 7 Disposición de sondas
- 8 Variables de entrada de modelo
- 9 Modelo de capas
- 25 10 Variables de salida de modelo
- 11 Imán
- 12 Bobina de alta frecuencia
- 13 Concentrador
- 14 Dirección de la vibración/polarización
- 30 15 Dirección de propagación de las ondas de ultrasonidos

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para detectar tensiones termomecánicas y/o gradientes de tensión, variables en el tiempo, a través del espesor de las paredes de cuerpos metálicos (1), en particular de tuberías, en el que se mide la temperatura en al menos un punto de medición en una superficie exterior del cuerpo (1) y, además, las mediciones del tiempo de tránsito de ultrasonidos, de las amplitudes de ultrasonidos y/o de la impedancia de las corrientes torbellino se llevan a cabo con transductores de ultrasonidos electromagnéticos (3-6) en la región del punto de medición con el fin de determinar las tensiones y/o los gradientes de tensión a través del grosor de la pared de los cuerpos (1) por medio de la temperatura medida a partir de las mediciones adicionales,
- tal que a partir de la temperatura medida, se determina un perfil de temperatura entre una superficie interna y la superficie exterior, y la determinación de las tensiones y/o gradientes de tensión se efectúa en base a un modelo de capas (9) de la pared del cuerpo (1), que utiliza como variables de entrada (8) el perfil de temperatura determinado y un perfil de tensión derivado del mismo, así como las mediciones, medidas y corregidas en función de la temperatura, de los tiempos de tránsito de ultrasonidos, de las amplitudes de ultrasonidos y de las impedancias de corrientes torbellino y ofrece como variables de salida (10) los tiempos de tránsito de ultrasonidos, las amplitudes de ultrasonidos y las impedancias de corrientes torbellino y perfiles de tensión por capa, tal que los perfiles de tensión por capa se determinan a partir de los tiempos de tránsito de ultrasonidos, las amplitudes de ultrasonidos y las impedancias de corrientes torbellino mediante una optimización iterativa del modelo de capas.
2. Procedimiento según la reivindicación 1,
caracterizado porque
con cada uno de los transductores de ultrasonidos electromagnéticos (5, 6) se irradian dos ondas transversales perpendiculares entre sí y linealmente polarizadas perpendicularmente en la pared del cuerpo (1), con el fin de medir los tiempos de tránsito de ultrasonidos y las amplitudes de ultrasonidos en el modo de pulso-eco.
3. Procedimiento según la reivindicación 2,
caracterizado porque
cuando se mide en un tubo como cuerpo (1), una de las ondas transversales se polariza en la dirección axial del tubo y la otra se polariza linealmente en la dirección circunferencial del tubo.
4. Procedimiento según la reivindicación 2 o 3,
caracterizado porque
además, se utilizan dos pares de transductores de ultrasonidos electromagnéticos (3-4) en un transceptor separado que generan ondas de Rayleigh u ondas transversales horizontalmente polarizadas, estando los dos pares dispuestos formando un ángulo de 90° entre sí en el punto de medición.
5. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4,
caracterizado porque
los transductores de ultrasonidos electromagnéticos (3-6) se utilizan en diversos puntos de medición distribuidos por la superficie exterior.

Fig. 1

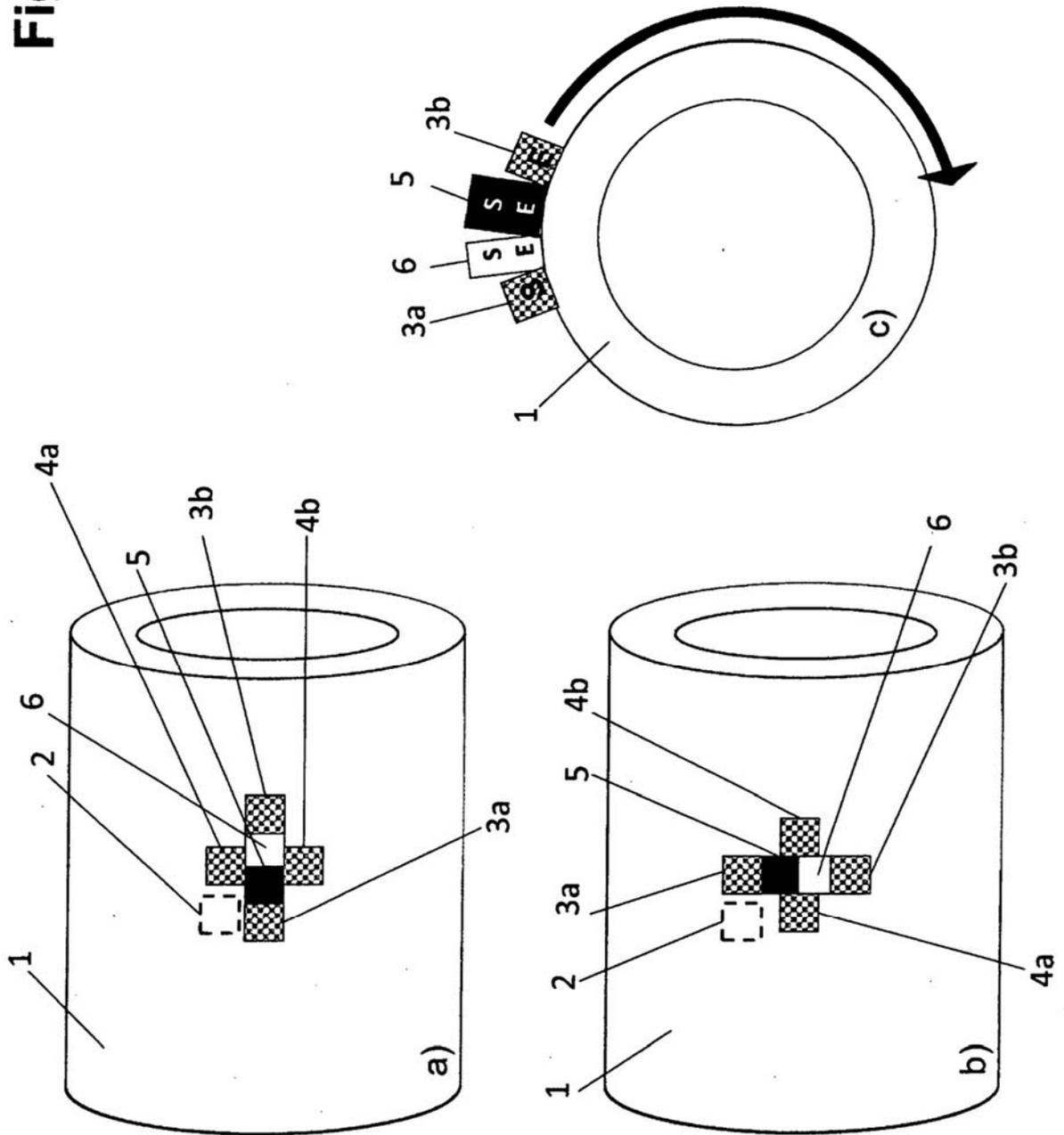


Fig. 2

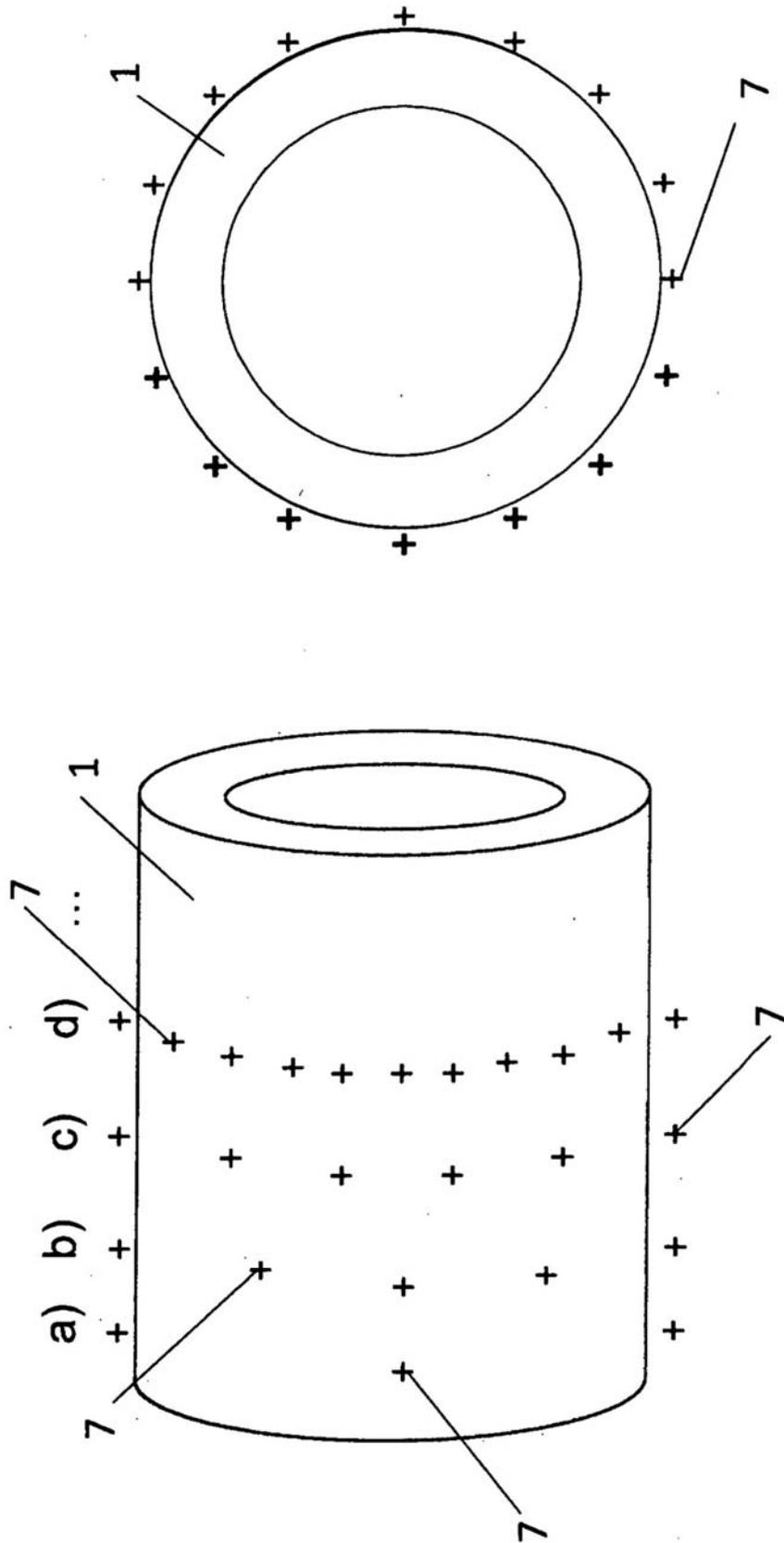


Fig. 3

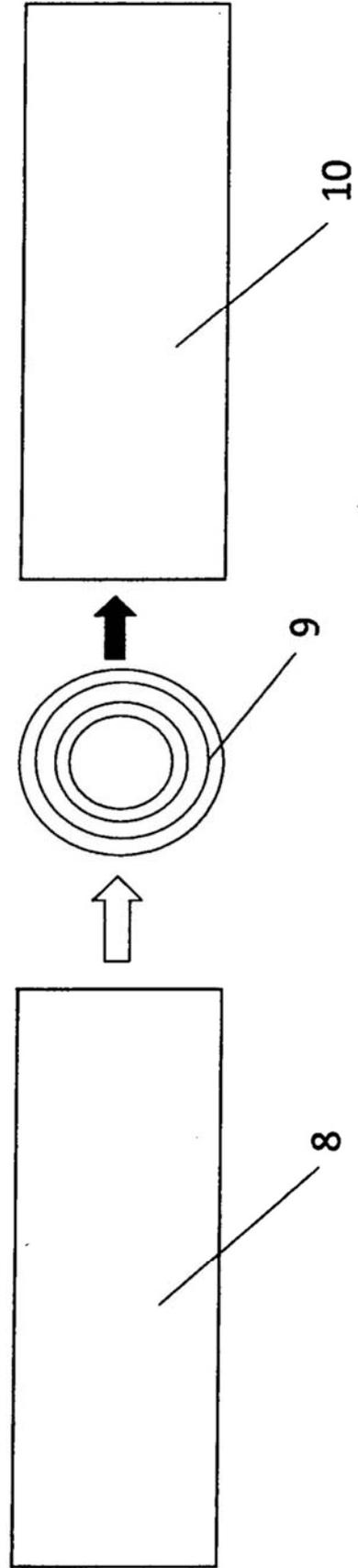


Fig. 4

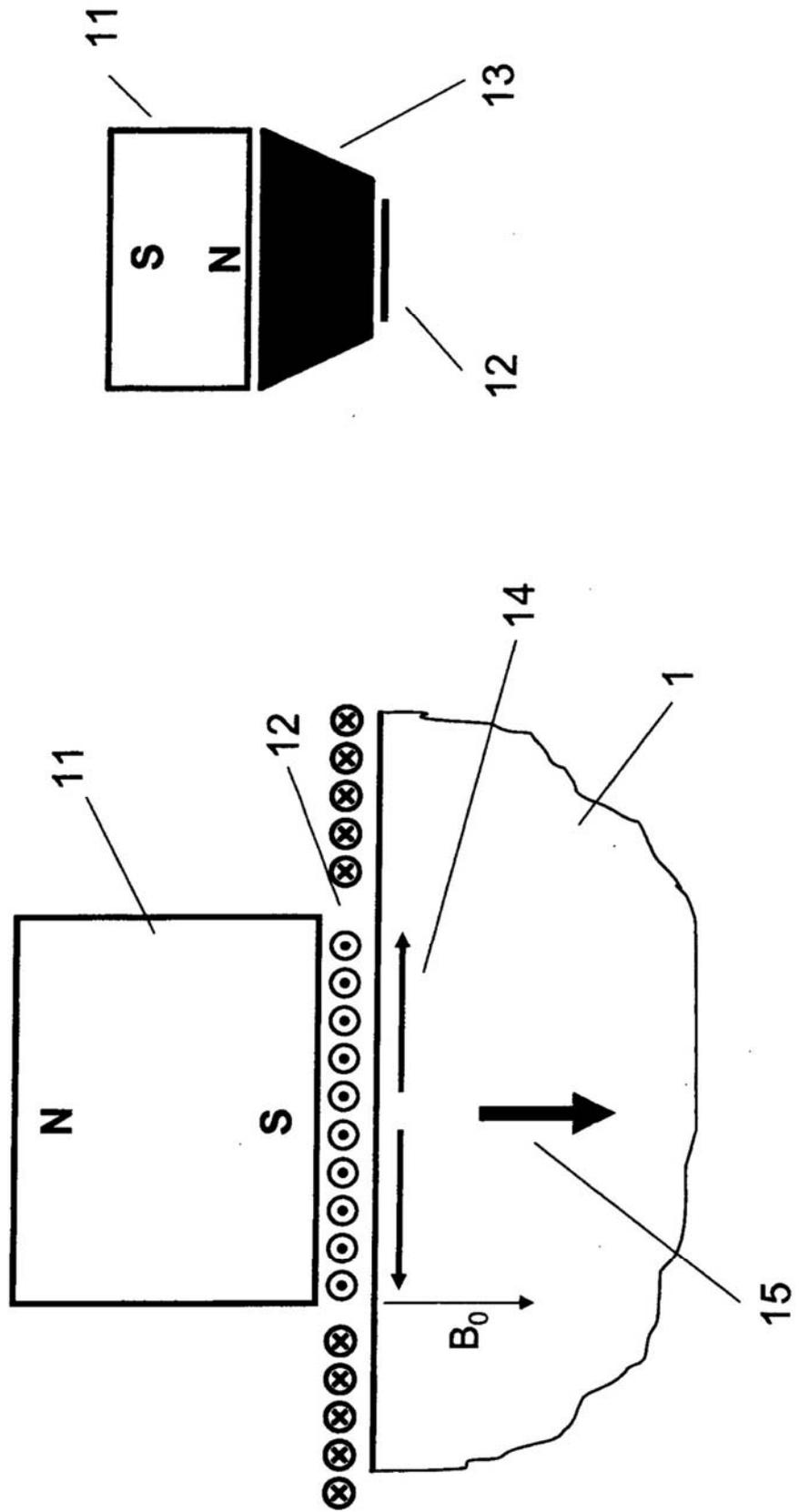


Fig. 5

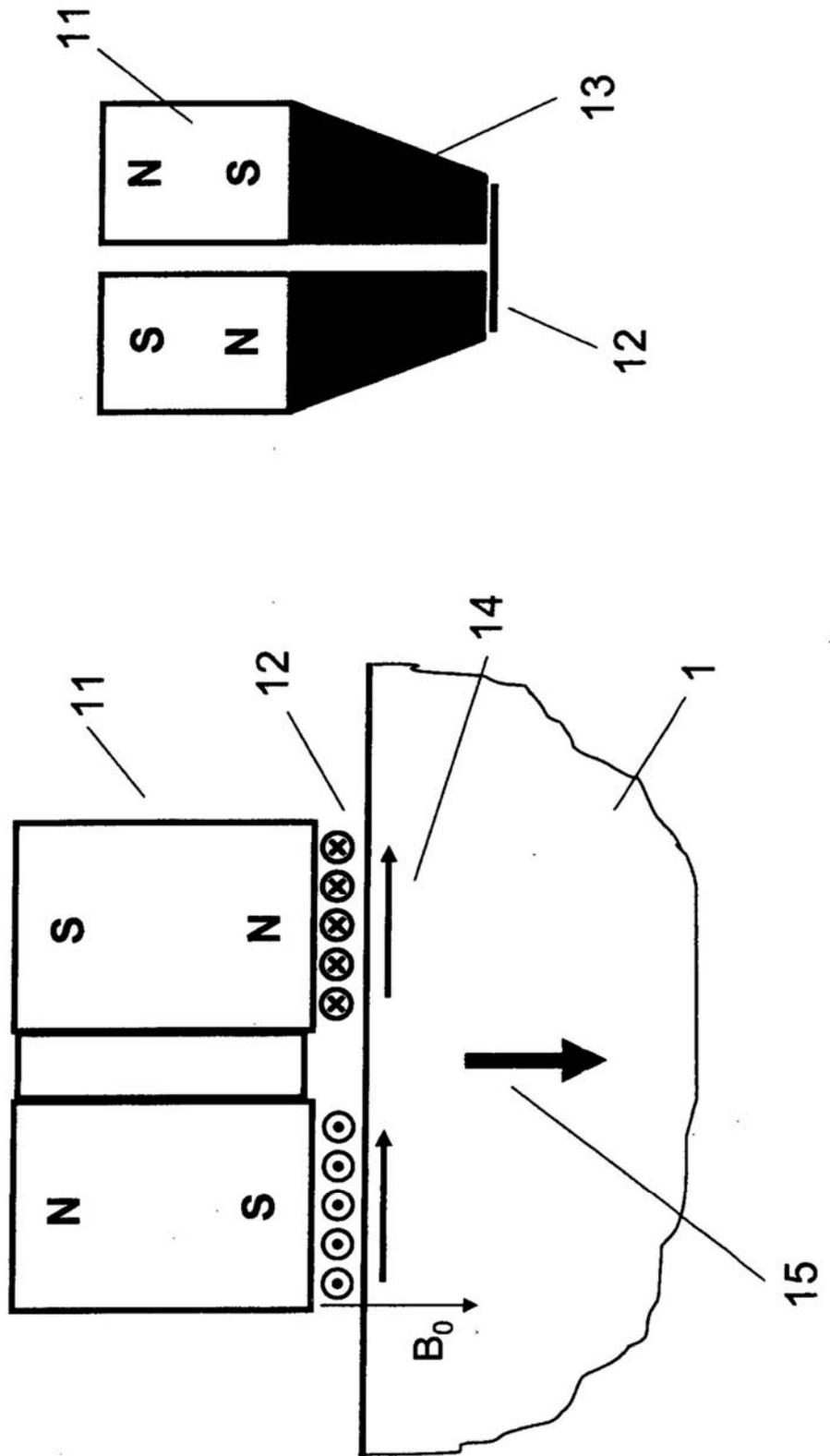


Fig. 6

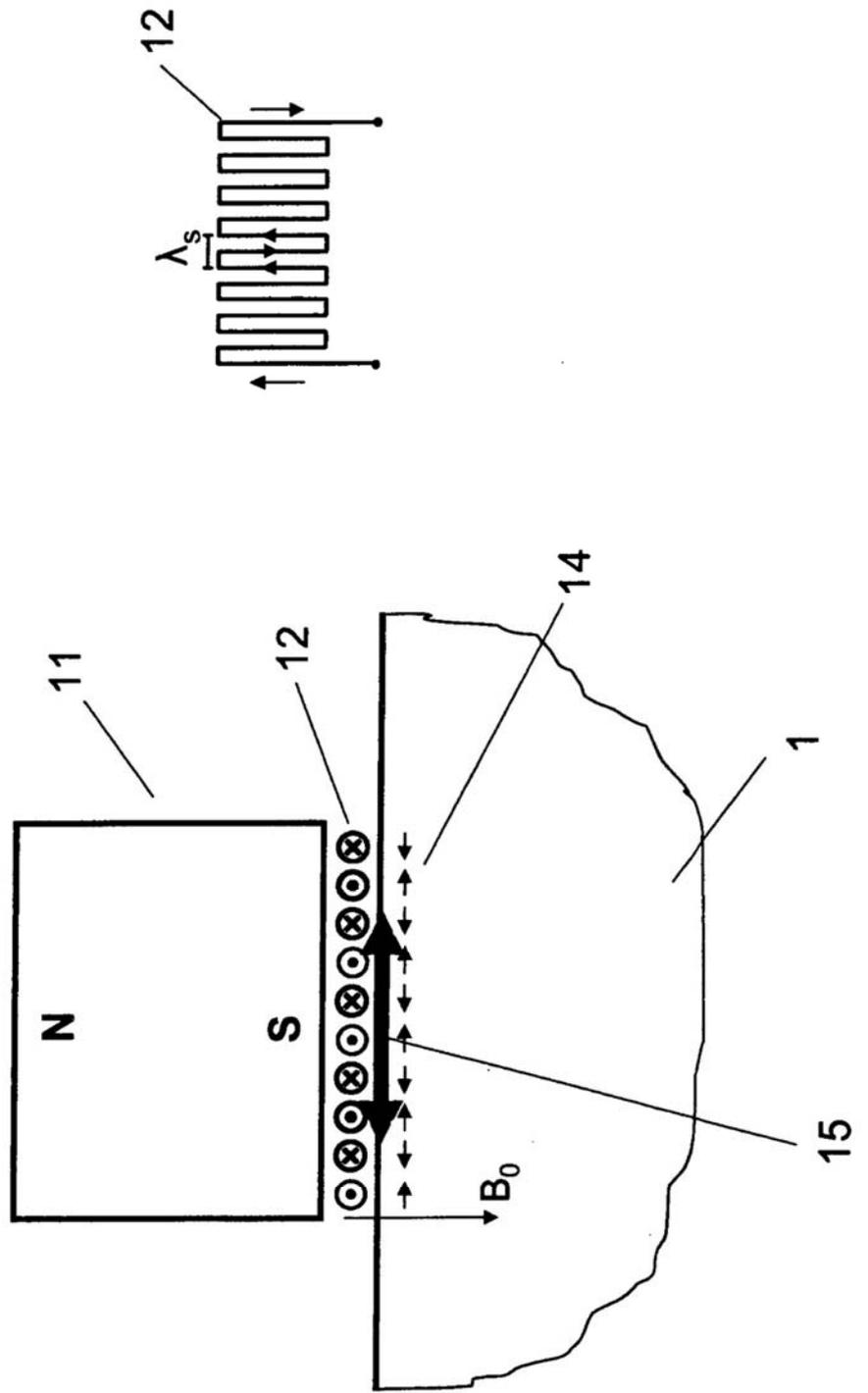
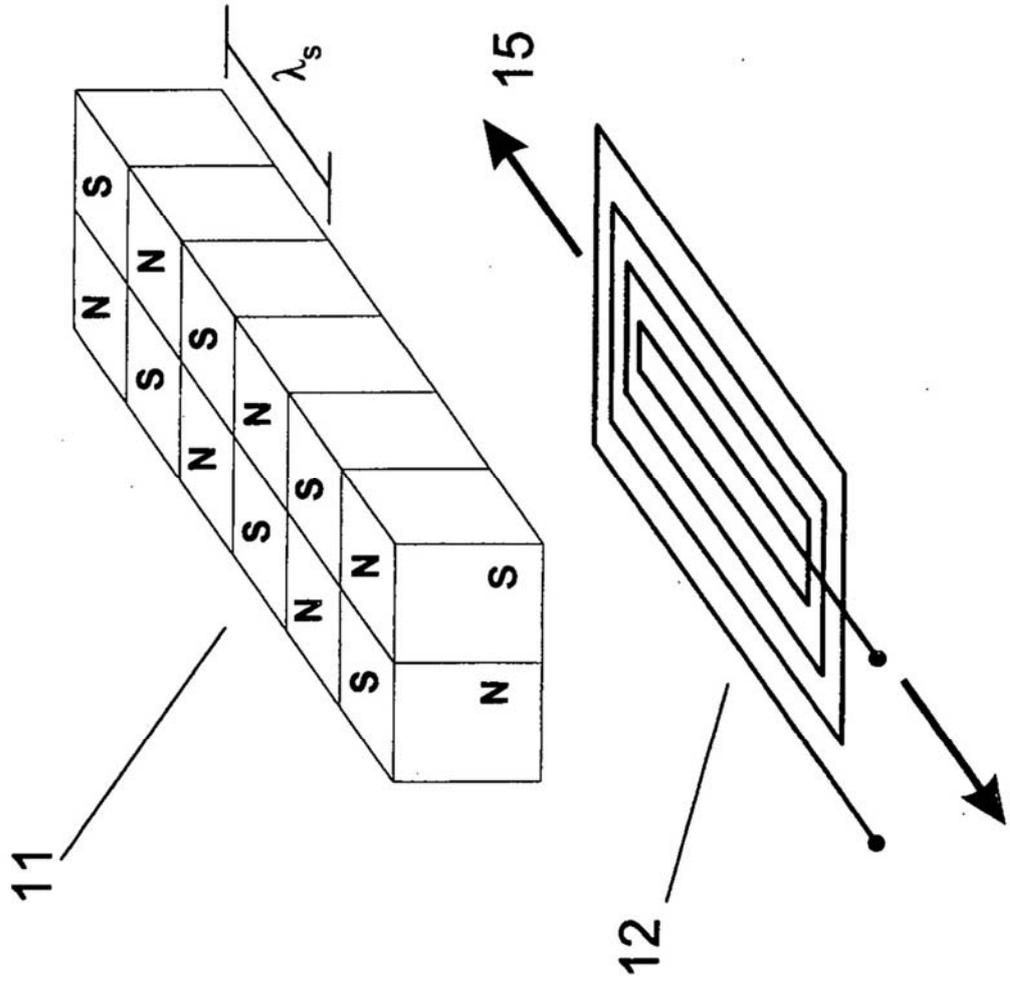


Fig. 7



REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

5 *Esta lista de referencias citada por el solicitante es únicamente para mayor comodidad del lector. No forman parte del documento de la Patente Europea. Incluso teniendo en cuenta que la compilación de las referencias se ha efectuado con gran cuidado, los errores u omisiones no pueden descartarse; la EPO se exime de toda responsabilidad al respecto.*

Documentos de patentes citados en la descripción

- WO 20111138027 A1
- WO 2004109222 A2
- US 5570900 A

10

Literatura no patente citada en la descripción

- AREVA Fatigue Concept - A Three Stage Approach to the Fatigue Assessment of Power Plant Components.
J. RUDOLPH et al. Nuclear Power Plants.
KAIST Department of Nuclear & Quantum Engineering,
21. Marz 2012, 293-316