

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 712 069**

51 Int. Cl.:

G01N 27/82 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.03.2012 E 12161913 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.12.2018 EP 2506003**

54 Título: **Procedimientos y aparatos para la inspección de placas y paredes de tuberías**

30 Prioridad:

29.03.2011 GB 201105193

28.06.2011 GB 201110889

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

09.05.2019

73 Titular/es:

EDDYFI UK LIMITED (100.0%)

**3 Clos Llyn Cwm, Swansea Enterprise Park
Swansea SA6 8QY, GB**

72 Inventor/es:

**PEARSON, NEIL RANDAL;
PACKER, SIMON ANDREW HORSFALL y
PRIEWALD, ROBIN HARALD**

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 712 069 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

Procedimientos y aparatos para la inspección de placas y paredes de tuberías

5 Esta invención se refiere a procedimientos y aparatos para inspeccionar placas o paredes de tuberías de material magnetizable, y en particular a procedimientos y aparatos para usar la reluctancia magnética para obtener datos sobre la placa o pared de tuberías que se esté inspeccionando. Las placas que se vayan a inspeccionar pueden formar parte de una pared o suelo de un depósito de almacenamiento o usarse para otros fines.

10 Se sabe que, si los polos de un medio de magnetización tal como un imán de herradura o su equivalente, siendo opuestas sus polaridades (por ejemplo, teniendo uno de los imanes su polo norte en contacto con el yugo y el otro su polo sur en contacto con el yugo) se colocan en contacto con o muy cerca de una pieza de material magnetizable, por ejemplo, una placa de acero, o pared de tubería, o una placa o pared de tubería de material ferroso, diamagnético o paramagnético, un campo magnético fluirá a través del imán de herradura, de la placa y de vuelta al
 15 imán de herradura, un llamado circuito magnético. Un equivalente a un imán de herradura puede estar comprendido de, por ejemplo, un yugo de material magnetizable al que estén unidos uno o más imanes y, opcionalmente, una o más piezas polares de material magnetizable. Más típicamente, el imán o los imanes están en contacto con el yugo y las piezas polares, cuando estén presentes, en contacto con la cara del imán alejado del yugo.

20 El circuito magnético puede generarse de forma alternativa mediante el uso de uno o más imanes permanentes o uno o más electroimanes. La resistencia de los materiales en ese circuito al flujo del campo magnético se conoce como reluctancia magnética. La reluctancia magnética de un circuito magnético puede medirse con un sensor de flujo magnético, un transductor o medios de medición conocidos similares.

25 La reluctancia magnética en un circuito magnético está influenciada por la geometría de los diversos elementos de los materiales a través de los que el circuito pasa y la permeabilidad magnética de esos materiales.

30 Cuando se habla de imanes de herradura y de imanes equivalentes, en general lo más conveniente es describirlos en dos dimensiones. Se apreciará que en realidad los objetos son tridimensionales, pero que, para dichos imanes, la situación bidimensional en la mayoría de las posiciones a lo largo de la tercera dimensión es constante a menos que se describa lo contrario.

Una aplicación del uso de reluctancia magnética en la inspección de placas o tuberías se describe en el documento US5293117A (HWANG) en el que se describe un aparato y un procedimiento para la inspección de las paredes de una tubería que comprende las etapas de (a) crear un circuito magnético a través de una unidad de magnetización, la pared de tubería y dos espacios de aire entre la placa y la pared de tubería; (b) medir la reluctancia magnética en al menos un espacio de aire; (c) incorporar la reluctancia magnética medida en un algoritmo; y (d) registrar o
 35 visualizar cada reluctancia magnética medida en asociación con la posición en la que se midió.

40 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un aparato para inspeccionar placas o paredes de tubería de material magnetizable como se divulga en la reivindicación independiente 1.

Se sabe que, en su forma más simple, un circuito magnético que incorpore un imán de herradura o su equivalente, una placa o pared de tubería de material magnetizable y un espacio de aire entre los polos del imán y la placa o pared de tubería pueden considerarse como un yugo, polo 1 y polo 2, la muestra que se vaya a inspeccionar, y un
 45 espacio de aire 1 entre el polo 1 y la muestra y un espacio de aire 2 entre el polo 2 y la muestra. La reluctancia magnética del circuito se puede describir mediante el siguiente algoritmo, donde hay dos espacios de aire

$$R_{\text{circuito}} = R_{\text{yugo}} + R_{\text{polo1}} + R_{\text{polo2}} + R_{\text{espacio de aire 1}} + R_{\text{espacio de aire 2}} + R_{\text{muestra}}$$

50 Donde

R = reluctancia magnética

R_{circuito} = la reluctancia total del circuito magnético

55 La reluctancia magnética para todo el espacio de aire se puede aproximar tomando una o más mediciones de reluctancia en el espacio de aire y extrapolando a partir de esas medidas. Un factor importante en esas extrapolaciones será el área sobre la que el sensor o cada sensor mida la reluctancia magnética.

60 La reluctancia magnética del yugo, el polo 1 y el polo 2 pueden medirse o calcularse mediante técnicas conocidas antes, durante o después de la fabricación de un artículo del aparato de prueba. Si se sabe qué grosor tendrán los espacios de aire 1 y 2, la reluctancia magnética de esos espacios de aire se puede calcular de manera similar mediante técnicas conocidas. De forma alternativa, la reluctancia magnética del $R_{\text{espacio de aire 1}}$ y del $R_{\text{espacio de aire 2}}$ se puede medir aplicando el circuito magnético a una muestra calibrada. Una vez que el $R_{\text{espacio de aire 1}}$ y el $R_{\text{espacio de aire 2}}$
 65 se conocen en condiciones controladas, se puede usar un aparato de inspección usado para realizar el procedimiento en las placas o paredes de tuberías que se vayan a inspeccionar.

Preferentemente, las mediciones repetidas de la reluctancia magnética (R_{circuito} R) del circuito magnético se toman a medida que el aparato de inspección se mueve a través de la superficie de una placa o pared de tubería que se vaya a inspeccionar, los valores medidos para el R_{circuito} promediados y el valor para R_{muestra} calculado. Una vez conocido el R_{muestra} , uso del algoritmo

$$R_{\text{muestra}} = \frac{l}{\mu_0 \mu_r A}$$

Donde

R_{muestra} = reluctancia magnética calculada

l = la longitud del circuito en la muestra;

μ_0 = la permeabilidad magnética del espacio libre;

μ_r = la permeabilidad magnética relativa del material;

A = el área en sección transversal del circuito permite calcular el área en sección transversal promedio y, por lo tanto, el grosor promedio de la muestra si se conoce la distancia entre los polos de la unidad de magnetización y las suposiciones sobre el ancho del circuito magnético dentro del circuito hecho.

El conocimiento del grosor de la placa o pared de tubería que se esté inspeccionando puede ser útil en sí mismo. En un procedimiento particularmente preferido, esto se combina con un procedimiento de inspección de la dispersión del flujo magnético (MFL) (también conocida como exclusión del flujo magnético (MFE), pero a continuación se denomina simplemente dispersión de flujo magnético) para inspeccionar una placa o pared de tubería de material magnetizable. En dicho modo de realización, el grosor calculado de una placa o pared de tubería se puede usar para calibrar el aparato usado para la inspección de dispersión de flujo magnético o, más preferentemente, los datos generados por la inspección de dispersión de flujo magnético. La calibración puede estar en línea, es decir, a medida que avanza la inspección, o fuera de línea, que se aplica a los datos de dispersión de flujo magnético antes, después o antes y después de que se haya recopilado. La medición de la reluctancia magnética puede producirse simultáneamente con la inspección de dispersión de flujo magnético utilizando el mismo circuito magnético. Se apreciará que el promedio de varias mediciones de reluctancia magnética servirá para cancelar, o minimizar, en un grado aceptable, cualquier efecto que pueda causar la presencia de discontinuidades en la placa o pared de la tubería que se esté inspeccionando.

Se conocen técnicas de inspección de dispersión de flujo magnético que usan una unidad de magnetización, uno o más sensores para detectar la dispersión de flujo magnético causada por discontinuidades en la placa o pared de la tubería de material magnetizable que se esté inspeccionando y medios de análisis de datos para analizar los datos de los sensores y no se analizarán en cualquier detalle en el presente documento. Sin embargo, el procedimiento puede realizarse usando esencialmente el mismo aparato que el usado para la dispersión de flujo magnético conocida. Esto es ventajoso porque el aparato conocido de inspección de dispersión de flujo magnético puede adaptarse fácilmente para su uso en el procedimiento.

Preferentemente, la reluctancia magnética del R_{circuito} se mide repetidamente y cada medición se compara con las mediciones anteriores y posteriores. Debido a que la relativa permeabilidad magnética del aire en los espacios de aire es muy pequeña en relación con los otros materiales a través de los que pasa el circuito magnético, cualquier cambio en el grosor del espacio de aire tiene un efecto significativo y medible sobre la resistencia magnética del circuito R_{circuito} . Esto tiene el efecto de que un aumento de la reluctancia magnética del circuito R_{circuito} de circuito con respecto a una medición anterior puede correlacionarse con uno o ambos de los espacios de aire que aumenten de grosor. Es muy probable que dicho aumento de grosor se deba a la presencia de un pozo o discontinuidad en la superficie de la placa o pared de tubería que se esté inspeccionando y que esté adyacente al aparato de inspección. Un pozo o discontinuidad en la superficie de la placa o pared de tubería que se esté inspeccionando y que esté adyacente al aparato de inspección se conoce como discontinuidad de superficie superior. La ubicación de dichas discontinuidades de superficie superior se registra junto con la información de posición.

Se prefiere particularmente que los resultados de este procedimiento preferido se combinen con los resultados de una inspección de dispersión de flujo magnético para que las discontinuidades identificadas en la inspección de dispersión de flujo magnético puedan identificarse como discontinuidades de superficie superior o inferior. Esto es posible porque se sabe que los procedimientos de inspección de dispersión de flujo magnético pueden identificar tanto discontinuidades de superficie superior como discontinuidades en la superficie de la placa o pared de tubería alejadas del aparato de prueba, conocidas como discontinuidades de superficie inferior. Sin embargo, los

procedimientos de inspección de dispersión de flujo magnético no son buenos para distinguir las discontinuidades de superficie superior e inferior entre sí. Hasta la fecha, para lograr esto, se requieren inspecciones manuales u otras tecnologías independientes, tales como pruebas de ultrasonidos (UT) o sondas de corrientes de Foucault (EC). También necesitan componentes electrónicos y componentes de sistema adicionales además de los usados en los aparatos de inspección de dispersión de flujo magnético y, por lo tanto, el aparato combinado tiene mayor complejidad y coste. De acuerdo con la presente invención, el aparato está comprendido de:

- (i) una unidad de magnetización adecuada para la creación de un circuito magnético a través de la unidad de magnetización y de la placa o pared de tubería;
- (ii) medios de medición para medir la reluctancia magnética en el circuito magnético;
- (iii) medios de procesamiento de datos; y
- (iv) medios de almacenamiento de datos y/o de visualización, se caracteriza por la característica establecida en la reivindicación principal.

El aparato puede comprender un bastidor que soporte los medios de magnetización, estando configurado el bastidor para que los medios de magnetización se mantengan a una distancia predeterminada de la superficie de la placa o pared de tubería que se vaya a inspeccionar. Más preferentemente, el bastidor está provisto de uno o más rodillos de ruedas o medios similares para permitir que el bastidor se mueva suavemente a través de la superficie de la placa o pared de tubería que se vaya a inspeccionar.

Es preferente que los medios de magnetización estén comprendidos por un yugo de material magnetizable y dos polos que estén unidos al yugo, comprendiendo cada polo al menos un imán, que sea un imán permanente, preferentemente un imán de tierras raras, o un electroimán, y que tenga una cara polar en el extremo opuesto del polo a la interfaz entre el polo y el yugo. El aparato está construido preferentemente para que, cuando el bastidor se coloque sobre la superficie de una placa o pared de tubería que se vaya a inspeccionar, cada cara polar esté adyacente a la superficie de placa o pared de tubería que se vaya a inspeccionar y separada de la misma por un espacio de aire.

Los medios de medición para medir la reluctancia magnética del circuito magnético se encuentran dentro de al menos uno de los espacios de aire. Es particularmente preferente que la o cada cara polar defina un rebaje dentro del que se pueda ubicar al menos un medio de medición de reluctancia magnética. Los medios de medición de reluctancia magnética pueden ser cualquier medio adecuado que incluya medios de medición indirectos, tales como los medios de medición más preferentes que sean sensores de densidad de flujo que den resultados que puedan usarse para calcular la reluctancia magnética. El beneficio particular de ubicar los medios de medición de reluctancia magnética dentro del rebaje es que la cara polar protegerá a cada uno de los medios de medición de reluctancia magnética del daño debido al contacto involuntario con la superficie de la placa o pared de tubería que se vaya a inspeccionar o al material ubicado en la superficie de la placa o pared de tubería. El tamaño y la forma del rebaje se eligen más preferentemente como uno que tendrá un efecto mínimo en el flujo magnético que pasa entre el polo y la placa o pared de tubería. Lo más preferente es que el rebaje sea una reducción de esquina, un chaflán o una forma similar.

Como alternativa, la unidad de magnetización incluye al menos un polo que está comprendido al menos de una pieza polar y la cara polar de ese polo está comprendida de al menos dos porciones de cara polar, estando una porción de cara polar más alejada de la interfaz entre el polo y el yugo que las otras porciones de cara polar. Cuando el polo está comprendido de un imán y una pieza polar, el imán está entre el yugo y la pieza polar.

Preferentemente, la pieza polar es un elemento único, hay dos porciones de la cara polar unidas por una cara lateral, y, en la unión de la cara lateral y la porción de la cara polar más cercana a la interfaz entre el polo y el yugo, hay una ranura que se extiende hacia la interfaz entre el polo y el yugo. En esta construcción, las dos porciones de cara polar son preferentemente sustancialmente planas y sustancialmente paralelas entre sí, la pared lateral que une las porciones de cara polar es sustancialmente perpendicular a las dos porciones de cara polar, y los medios para medir la reluctancia magnética están fijos a la porción de cara polar más cercana a la interfaz entre el polo y el yugo.

Cuando la pieza polar está comprendida de unos primer y segundo elementos polares, los primer y segundo elementos polares están separados por un espacio que se extiende desde la interfaz entre el polo y el yugo o la interfaz entre la pieza polar y el imán a las caras polares, los extremos de los primer y segundo elementos polares forman las porciones de cara polar y los medios para medir la reluctancia magnética están fijos a la porción de cara polar más cercana a la interfaz entre el polo y el yugo.

Los medios de medición para medir la reluctancia magnética del circuito magnético están ubicados dentro de al menos uno de los espacios de aire, y el o cada polo que está asociado con un medio de medición está configurado para que cause que el flujo del flujo magnético entre el polo y la placa o pared de tubería pase a través de al menos

dos campos magnéticos discretos. Los medios de medición se ubican a fin de medir la reluctancia magnética en uno de esos campos. Más preferentemente, la configuración del polo es de modo que la fuerza de al menos uno de los campos magnéticos discretos es significativamente menor que los otros campos magnéticos discretos, y los medios de medición miden la reluctancia magnética en el o uno de los campos magnéticos de fuerza menor.

5 Para lograr los campos magnéticos discretos, se prefiere que el o cada polo que esté asociado con un medio de medición defina una reducción de esquina que incluya una muesca o ranura entre las dos caras que definan la reducción. La ranura tiene el efecto físico de que el polo tiene dos caras polares que se enfrentan a la placa o pared de tubería, una de las cuales está más alejada de la placa o pared de tubería que la otra. La ranura puede tener
10 forma de "U" o "V" y tiene una dimensión (medida en la dirección de la línea más corta que va entre el yugo y la placa o pared de tubería y pasa a través de la ranura, la "dirección de la placa de yugo") mayor que cero, y preferentemente igual o mayor que 2 mm. El ancho de la ranura en una dirección perpendicular a la dirección de la placa del yugo y el eje longitudinal de la ranura está preferentemente entre 1 y 10 mm y lo más preferentemente entre 4 y 6 mm.

15 De forma alternativa, los campos magnéticos discretos se pueden lograr formando el polo a partir de un par de elementos del polo que están separados entre sí por un espacio de aire. Preferentemente, el espacio de aire está entre 1 y 10 mm de ancho, y lo más preferentemente entre 4 y 6 mm de ancho. Las piezas polares pueden ser de diferentes dimensiones, afectando esas dimensiones cómo de grande es el espacio de aire que hay entre las caras polares y la placa o la pared de tubería, y/o el área de la cara polar que tiene cada elemento polar. Se pueden adoptar otros procedimientos para canalizar el campo magnético dentro del polo y entre las caras polares y la placa o pared de tubería para lograr el mismo efecto. Dichos medios pueden incluir el uso de polos comprendidos de más de un material, teniendo cada material diferentes propiedades magnéticas.

20 Una ventaja de los modos de realización de la presente invención que incluyen la creación de campos magnéticos discretos, cada uno con su propia fuerza, es que uno de los campos magnéticos discretos puede diseñarse a fin de ser de una fuerza adecuada para ser óptimo para el funcionamiento de los medios de medición.

25 En al menos los modos de realización de la presente invención que incluyan la creación de campos magnéticos discretos, cada uno con su propia fuerza, se prefiere que los medios de medición para medir la reluctancia magnética del circuito magnético estén ubicados tan cerca de la superficie de la placa o pared de tubería como sea posible. Lo más preferente es que, cuando el aparato de la presente invención se coloque para su uso en relación con una placa o pared de tubería, la parte del medio de medición más cercano a la superficie de la placa o pared de tubería esté sustancialmente a la misma distancia de la placa o pared de tubería como la parte del polo que esté
30 más cerca de la placa o pared de tubería.

35 Diferentes distancias de los medios de medición desde la placa o pared de tubería son posibles en otros modos de realización, calculándose la distancia a fin de alcanzar el rango más alto de las señales que se generan por el rango de medición (el rango de pico a pico). Además, se prefiere que los medios de medición se coloquen en el centro de la cara polar con la que esté o estén asociado(s). Esto minimiza la interferencia en las lecturas por los medios de medición por cualquier efecto de borde del campo magnético dentro del cual están situados los medios de medición y forman el campo magnético adyacente desde la otra cara polar. En algunos modos de realización de la presente invención, se prefiere tener el campo nulo del componente X del campo magnético en el que los medios de medición se ponen a cero (es decir, las líneas de flujo magnético se desplazan perpendicularmente entre la superficie de la pieza polar y la superficie de la placa o pared de tubería que se esté inspeccionando cuando no haya defectos en la superficie superior), por lo que hay un desplazamiento mínimo de los sensores cuando se encuentran en un ángulo de 90 grados, esto hace que la resistencia del campo sea menos importante.

40 De acuerdo con la presente invención, el o cada medio de medición de reluctancia del imán o cada uno de ellos está orientado a fin de que mida sólo una porción o vector del flujo magnético en los espacios de aire. Este enfoque tiene ventajas particulares en que es posible usar medios de medición disponibles comercialmente en campos de flujo magnético que, si los medios de medición estuvieran orientados para medir la totalidad del flujo magnético directamente, saturarían los medios de medición a fin de hacerlos inoperantes. También es ventajoso porque, si solo se mide una porción o un vector del flujo magnético, cualquier cambio en el flujo magnético causado por los medios de medición que pasan sobre una discontinuidad en la placa o pared de tubería es una proporción mayor del flujo magnético medido que si se estaba midiendo la totalidad del flujo magnético.

45 Preferentemente, el o cada uno de los medios de medición de reluctancia magnética está orientado a fin de medir un vector de flujo magnético en un ángulo con respecto al eje z en el rango de 45 ° a 90 ° y lo más preferentemente de 60 80 ° a 85 ° con respecto al eje z. La orientación de cada uno de los medios de medición de reluctancia magnética a los ejes x e y puede elegirse para proporcionar las mediciones óptimas.

50 El aparato de la presente invención comprenderá más preferentemente además medios de medición de dispersión de flujo magnético. Esos medios de medición de dispersión de flujo magnético se ubican preferentemente en una posición donde se pueden obtener las mediciones óptimas de dispersión de flujo magnético. Más preferentemente,
55

los medios de medición de dispersión de flujo magnético están ubicados entre dos de los polos de una manera conocida.

5 En el aparato de acuerdo con la presente invención, los medios de medición de reluctancia magnética pueden establecerse en una matriz lineal orientada en una dirección perpendicular a la dirección de desplazamiento esperada del aparato a través de la superficie de la placa o pared de tubería que se vaya a inspeccionar, y en cualquier posición dada a lo largo de la longitud del bastidor, perpendicular a la línea normal a la superficie de la placa o pared de tubería que se vaya a inspeccionar en esa posición.

10 El aparato de inspección de acuerdo con la presente invención se describirá y explicará además a modo de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la Figura 1 muestra una vista superior esquemática de un ejemplo de un primer aparato de inspección de acuerdo con la presente invención;

15 la Figura 2 muestra una vista ampliada de la unidad de magnetización de la Figura 1;

la Figura 3 muestra una vista ampliada de un ejemplo de una segunda unidad de magnetización de acuerdo con la presente invención;

20 la Figura 4 muestra un detalle de la unidad de magnetización de la Figura 3; y

la Figura 5 muestra una vista ampliada de un ejemplo de una tercera unidad de magnetización de acuerdo con la presente invención.

25 Con referencia a la Figura 1, un aparato de inspección (2) para inspeccionar placas o paredes de tubería de material magnetizable está comprendido por un bastidor (4) con un mango (5) en el que se monta una unidad de magnetización (6). El bastidor (4) se soporta en la superficie de una placa (8) que se vaya a inspeccionar a través de las ruedas (10).

30 Con referencia a la Figura 2, la unidad de magnetización (6) está comprendida por un yugo (12), dos imanes permanentes (14, 16) y dos piezas de polo (18, 20) que están asociadas con los imanes permanentes (14, 16). Los imanes permanentes son imanes de tierras raras y el yugo (12) y los polos (18, 20) están hechos de acero. Los polos (18, 20) están presentes para proteger los imanes (14, 16) de impactar con o raspar en la superficie de la placa (8). La unidad de magnetización (6) se mantiene en el bastidor (4) (por medios no mostrados) en una posición de manera que las caras polares (22, 24) de los polos (18, 20) están separadas de la superficie de la placa (8) por un pequeño espacio de aire. Típicamente, este espacio de aire será de alrededor de 4 mm de grosor.

35 El polo (18) incluye una reducción de esquina (26) que tiene dimensiones adecuadas para permitir que uno o más medios de medición de reluctancia magnética (28) se monten en la reducción. El montaje de los medios de medición de reluctancia magnética (28) en la reducción (26) es deseable porque el cuerpo del polo (18) protege los medios de medición de reluctancia magnética (28) de impactar con o raspar en la superficie de la placa (8). En otros modos de realización de la presente invención, la reducción (26) se puede ubicar en otra parte en la cara polar (22) y adicionalmente, o de forma alternativa, puede haber una reducción de la cara polar (24) en la que se monten medios de medición de reluctancia magnética (28) adicionales o alternativos.

40 Montados entre los polos (18, 20) (por medios no mostrados) hay uno o más sensores de densidad de flujo magnético tales como los sensores de efecto Hall (30) configurados a fin de poder detectar cualquier dispersión de flujo magnético desde la porción del circuito magnético que pasa a través de la placa (8) adyacente a los sensores de densidad de flujo magnético (30). En modos de realización alternativos de la presente invención, otras formas de medios de medición, tales como los aparatos de prueba ultrasónica, o una o más sondas de corrientes de Foucault pueden ubicarse entre los polos (18, 20).

45 En uso, el aparato de inspección (2) se mueve preferentemente a través de la superficie de la placa (8) causando que el circuito magnético creado por la unidad de magnetización y que pasa a través de la porción de placa (8) debajo y entre los polos (18, 20) se mueva a través de la placa (8) al mismo tiempo, y las mediciones de reluctancia magnética del circuito magnético se toman repetidamente por los medios de medición de reluctancia magnética (28). Al mismo tiempo, se mide la salida de los sensores de densidad de flujo magnético (30).

50 Cuando la cara polar (22) pasa sobre una discontinuidad representativa (32) en la superficie de la placa (8) adyacente al aparato de inspección (2), el grosor del espacio de aire entre la cara polar (22) y la superficie de la placa (8) aumenta y la reluctancia magnética del circuito magnético aumenta. Esto lleva a un aumento del valor medido por los medios de medición de reluctancia magnética (28). Cuando los sensores de densidad de flujo magnético (30) pasan sobre la discontinuidad (32), los sensores de densidad de flujo magnético (30) detectan una dispersión de flujo magnético desde la placa (8). En contraste, cuando la cara polar (22) pasa sobre una discontinuidad representativa (34) en la superficie de la placa (8) distante del aparato de inspección (2), el grosor del

espacio de aire entre la cara polar (22) y de la superficie de la placa (8) no cambia y la reluctancia magnética del circuito magnético no cambia sustancialmente. Esto lleva a un aumento pequeño o nulo en el valor medido por los medios de medición de reluctancia magnética (28). Cuando los sensores de densidad de flujo magnético (30) pasan sobre la discontinuidad (34), los sensores de densidad de flujo magnético (30) detectan una fuga o pérdida de flujo magnético de la placa (8). Debido a esta diferencia, la comparación de las salidas obtenidas de los medios de medición de reluctancia magnética (28) y los sensores de densidad de flujo magnético (30) para una posición particular permite determinar la superficie sobre la que se encuentre una discontinuidad.

Con referencia a la Figura 3, y usando los mismos números de referencia cuando sea apropiado, un segundo ejemplo de una unidad de magnetización (6) está comprendido de un yugo (12), dos imanes permanentes (14, 16) y dos piezas polares (18, 20) que están asociadas con los imanes permanentes (14, 16). Los imanes permanentes son imanes de tierras raras y el yugo (12) y las piezas polares (18, 20) están hechos de acero. Las piezas polares (18, 20) están presentes para proteger los imanes (14, 16) de impactar con o raspar en la superficie de la placa (8). La unidad de magnetización (6) se mantiene en el bastidor (4) (por medios no mostrados) en una posición de manera que las caras polares (22, 24) de las piezas polares (18, 20) están separadas de la superficie de la placa (8) por un pequeño espacio de aire. Típicamente, este espacio de aire será de alrededor de 4 mm de grosor.

La pieza polar (18) incluye una reducción de esquina (26) que tiene dimensiones adecuadas para permitir que uno o más medios de medición de reluctancia magnética (28) se monten en la reducción. Entre las caras que definen la reducción (40, 42) hay una ranura (44). La ranura (44) tiene el efecto de dividir el flujo magnético que fluye a través de la pieza polar (18) para que una porción fluya a través de la cara (40) en la reducción y de una porción a través de la cara (22). En la Figura 4, los campos magnéticos que son el resultado del flujo del flujo magnético entre la pieza polar (18) y la placa o pared de tubería (8) están representados por las líneas de campo (46) y (48) respectivamente. El aire en el espacio de aire entre las caras (40) y (22) tiene una reluctancia magnética significativamente más alta que el material del que está hecha la pieza polar (18) y, en consecuencia, la mayoría del flujo magnético fluirá a través del campo magnético polar (48). Una pequeña cantidad de flujo fluirá a través del campo magnético (46) haciendo que el tamaño o la fuerza del campo magnético (46) sea más adecuado para la medición por los medios de medición de reluctancia magnética (28).

El montaje de los medios de medición de reluctancia magnética (28) en la reducción (26) es deseable porque el cuerpo del polo (18) protege los medios de medición de reluctancia magnética (28) de impactar con o raspar en la superficie de la placa (8).

Con referencia a la Figura 5, y usando los mismos números de referencia cuando sea apropiado, un tercer ejemplo de una unidad de magnetización (6) está comprendido de un yugo (12), dos imanes permanentes (14, 16) y tres piezas polares (18a, 18b, 20) que están asociadas con los imanes permanentes (14, 16). Los imanes permanentes son imanes de tierras raras y el yugo (12) y las piezas polares (18a, 18b, 20) están hechos de acero. Las piezas polares (18a, 18b, 20) están presentes para proteger los imanes (14, 16) de impactar con o raspar en la superficie de la placa (8). La unidad de magnetización (6) se mantiene en el bastidor (4) (por medios no mostrados) en una posición de manera que las caras polares (22, 24) de las piezas polares (18a, 20) están separadas de la superficie de la placa (8) por un pequeño espacio de aire. Típicamente, este espacio de aire será de alrededor de 4 mm de grosor.

Las piezas polares (18a, 18b) se extienden a diferentes distancias desde el imán (14) hacia la placa (8) con la pieza polar (18b) que se extiende menos distancia que la pieza polar (18a). Las piezas polares (18a) y (18b) están separadas por un espacio lleno de aire (50). En modos de realización alternativos de la presente invención, el espacio (50) puede llenarse por un material alternativo con una alta resistencia magnética.

Las diferentes dimensiones de las piezas polares (18a) y (18b) causan la creación de una reducción efectiva (26) en la que se montan uno o más medios de medición de reluctancia magnética (28). La disposición de las piezas polares (18a) y (18b) y del espacio de aire (50) entre ellas tiene el efecto de dividir el flujo magnético que fluye alrededor del circuito magnético (que pasa a través del imán (16), del yugo (12), del imán (14), de las piezas polares (18a) y (18b), de la placa (8) y del polo (20)), para que una porción fluya a través de la pieza polar (18a) y de una porción a través de la pieza polar (18b). Esto tiene el mismo efecto que se ilustra en la Figura 4 analizada anteriormente.

El montaje de los medios de medición de reluctancia magnética (28) en la pieza polar (18b) también es deseable porque el cuerpo de la pieza polar (18a) protege los medios de medición de reluctancia magnética (28) de impactar con o raspar en la superficie de la placa (8).

REIVINDICACIONES

1. Aparato para inspeccionar placas o paredes de tubería (8) de material magnetizable en el que el aparato está comprendido de:

5 (i) una unidad de magnetización (6) adecuada para la creación de un circuito magnético a través de la unidad de magnetización (6) y al menos un espacio de aire entre la unidad de magnetización (6) y la placa o pared de tubería (8);

10 (ii) medios de medición (28) para medir la reluctancia magnética en al menos un espacio de aire;

(iii) medios de procesamiento de datos;

15 (iv) medios de almacenamiento y/o de visualización de datos;

en el que la unidad de magnetización (6) está comprendida de un yugo (12) de material magnetizable y dos o más polos (14, 18 y 16, 20) que están unidos al yugo (12), comprendiendo al menos un polo (14, 18, o 16, 20) o el yugo (12) al menos un imán (14 o 16), y teniendo ambos polos (14, 18 y 16, 20) una cara polar (22, 24) en el extremo opuesto del polo (14, 18 y 16, 20) a la interfaz entre el polo (14, 18 y 16, 20) y el yugo (12), y en el que el aparato está construido de manera que el yugo (12) se soporta en un bastidor (4) para que, cuando el bastidor (4) se coloque sobre la superficie de una placa o pared de tubería (8) que se vaya a inspeccionar, cada cara polar (22, 24) esté adyacente a la superficie de la placa o pared de tubería (8) que se vaya a inspeccionar y separada de la misma por un espacio de aire, y al menos una de las caras polares (22, 24) define al menos parcialmente un rebaje (26) adecuadamente dimensionado para permitir que uno o más medios de medición de reluctancia magnética (28) estén fijos dentro del rebaje (26), y **caracterizado por que** los medios para medir la reluctancia magnética (28) están en el espacio de aire y están orientados en un ángulo con respecto al eje z para medir sólo una porción o un vector de la densidad de flujo magnético, el eje z es paralelo a la orientación esperada de las líneas de flujo magnético que pasan por el espacio de aire suponiendo que no hay discontinuidad en la placa o en la pared de tubería, el eje x es perpendicular al eje z y paralelo a la orientación esperada de las líneas de flujo magnético que pasan a través de la placa o pared de tubería entre los polos de la unidad de magnetización, y el eje y es perpendicular a los ejes x y z.

2. Aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el ángulo con respecto al eje z está en el intervalo de 45 ° a 90 °.

35 3. Aparato de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el ángulo con respecto al eje z está en el intervalo de 80 ° a 85 °.

40 4. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el aparato comprende además un medio de medición de dispersión de flujo magnético (30), un aparato de prueba ultrasónica o una o más sondas de corrientes de Foucault.

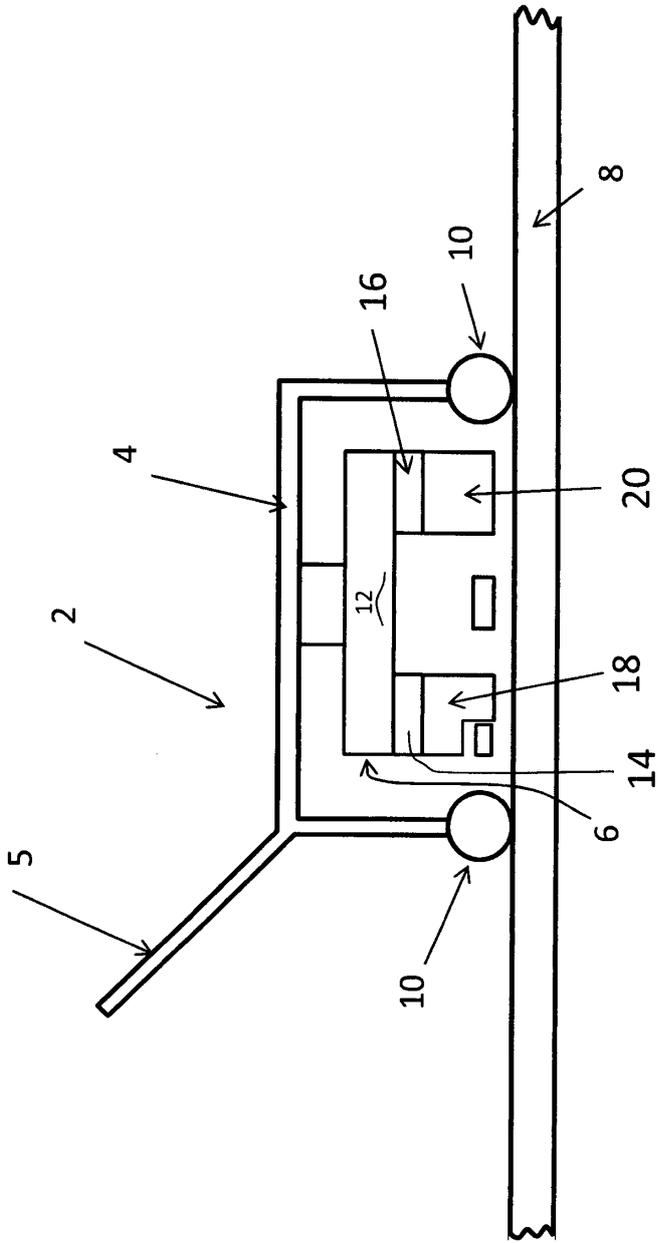


Fig 1

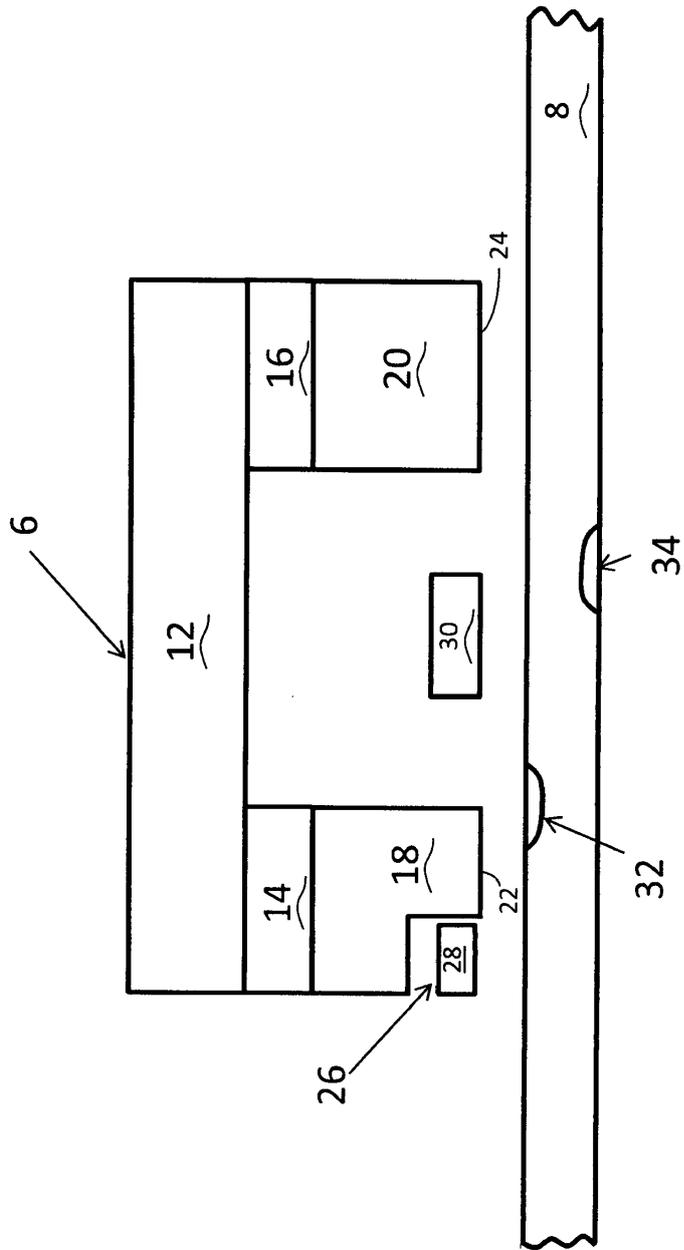


Fig 2

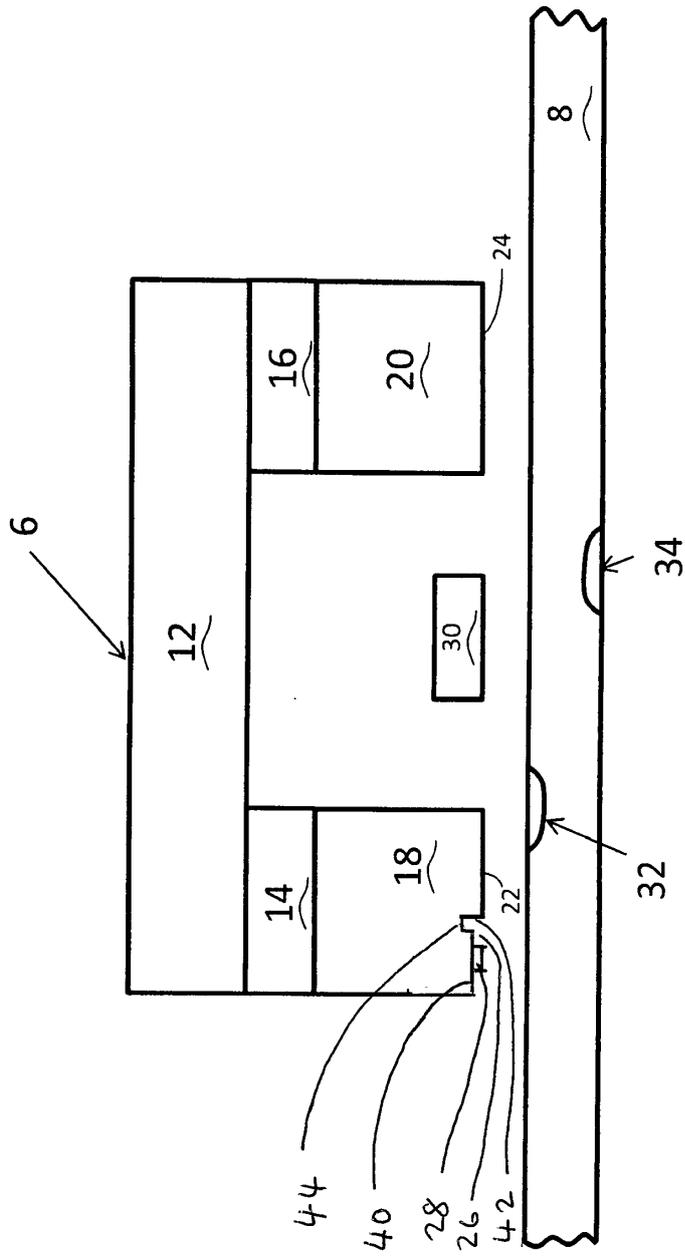


Fig 3

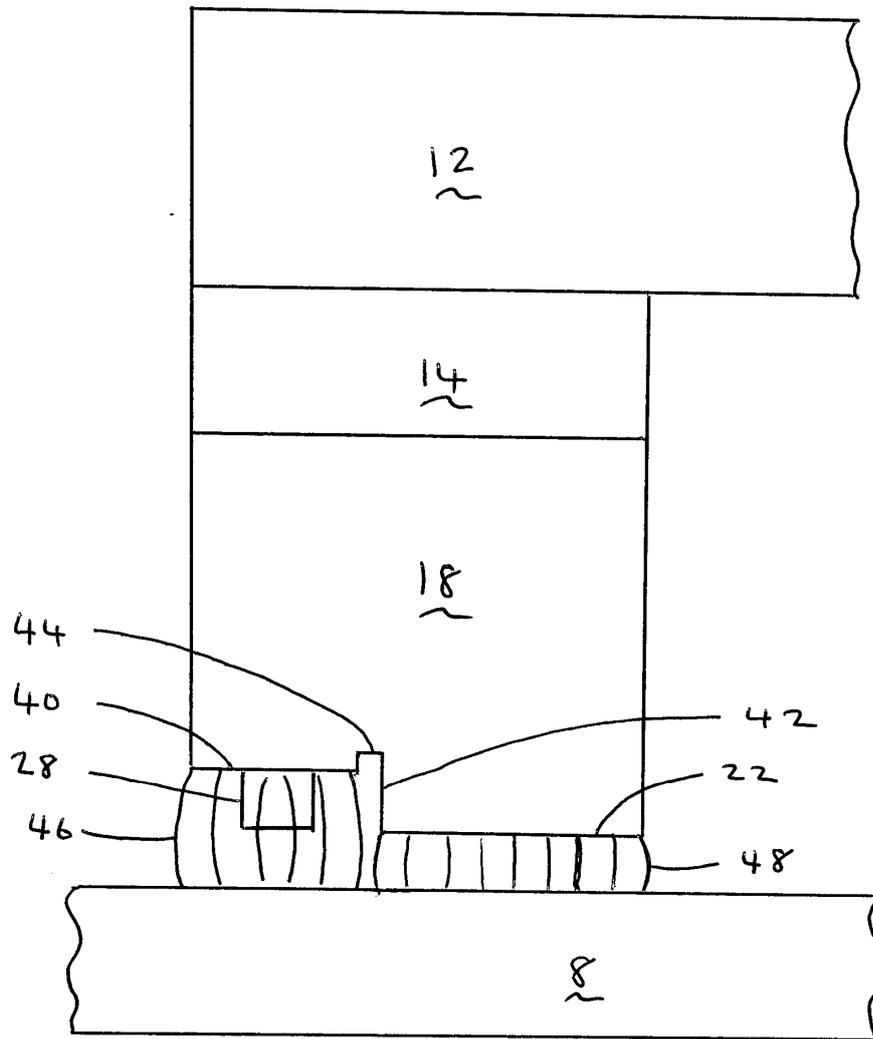


Fig 4

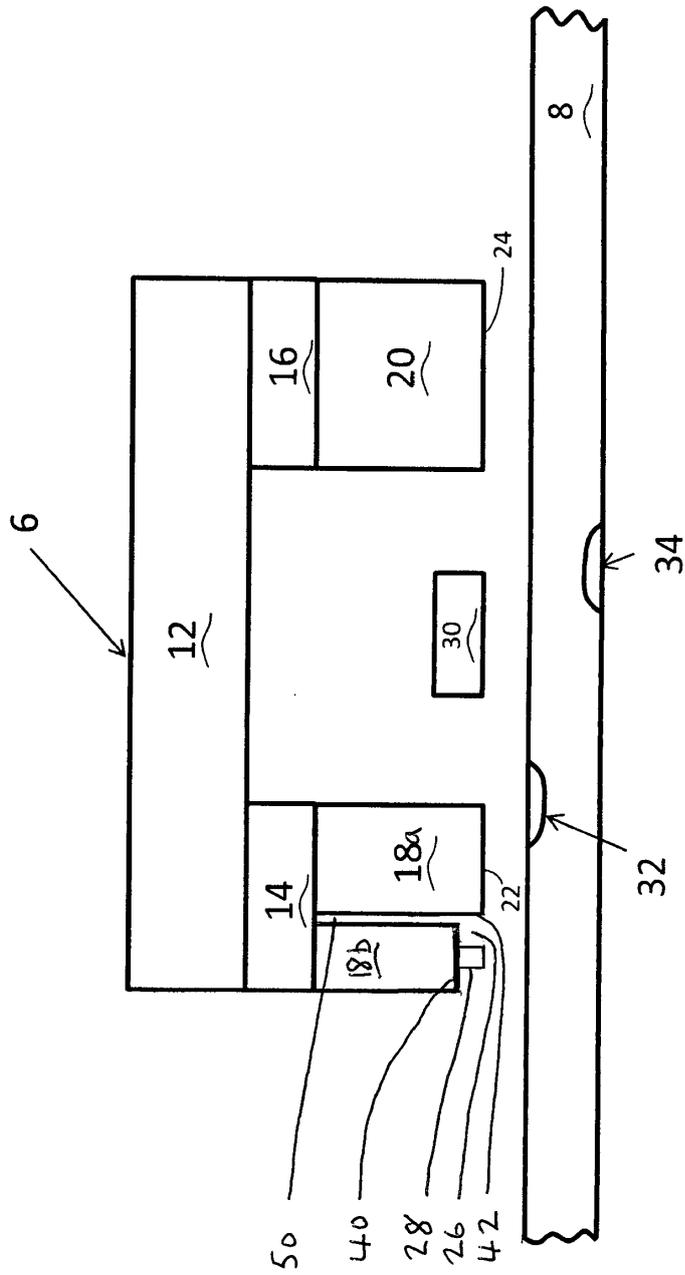


Fig 5