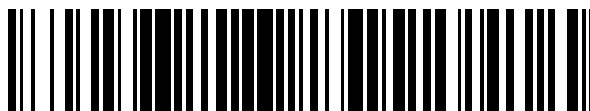


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 391 060**

51 Int. Cl.:  
**G01N 29/04** (2006.01)  
**B06B 1/04** (2006.01)  
**G01N 29/22** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **05821909 .8**  
96 Fecha de presentación: **21.12.2005**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1828764**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **05.09.2007**

54 Título: **Dispositivo para ensayos no destructivos de paredes ferromagnéticas de elementos de construcción**

30 Prioridad:  
**23.12.2004 DE 102004063482**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**21.11.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**21.11.2012**

73 Titular/es:  
**ROSEN SWISS AG (100.0%)**  
**OBERE SPICHERMATT 14**  
**6370 STANS, CH**

72 Inventor/es:  
**ALERS, GEORG, A.;**  
**ALERS, RONALD, B.;**  
**BOYLE, JOHN, J. y**  
**BEUKER, THOMAS**

74 Agente/Representante:  
**COBO DE LA TORRE, María Victoria**

ES 2 391 060 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).

**DESCRIPCION**

Dispositivo para ensayos no destructivos de paredes ferromagnéticas de elementos de construcción.

5 (0001) La presente invención se refiere a un dispositivo para ensayos no destructivos ó unas comprobaciones en paredes ferromagnéticas de elementos de construcción, conforme a lo indicado en el preámbulo de la reivindicación de patente 1). En los distintos elementos de construcción, sobre todo en los elementos que son empleados a la intemperie, no pueden ser eludidas unas comprobaciones periódicas por posibles defectos, con el fin de impedir el riesgo de un fallo en el sentido de una rotura ó deformación ó por la falta de estanqueidad. Las paredes de tubos, al igual que las paredes de receptáculos ó de otros elementos similares hechos de acero, son frecuentemente propensas a la corrosión. Estas paredes pueden sobre todo estar expuestas a una corrosión por tensofisuración, con las típicas grietas ó haces de grietas que penetran en el material desde su superficie. De la misma manera pueden tenerse en consideración las grietas ó fisuras originadas por otros motivos, como sobre todo por unos esfuerzos excesivos. Aparte de estas grietas, también son de interés otros defectos como, por ejemplo, unos puntos corrosivos.

(0002) Para los ensayos no destructivos pueden emplearse, por ejemplo, unos procedimientos de ultrasonido; a este efecto, la excitación de las ondas acústicas dentro de la pared y desde fuera de la misma puede ser realizada por medio de unos transformadores electromagnéticos y acústicos. Un llamado transformador "EMAT" (transformador electromagnético y acústico) permite excitar dentro de una pared de este tipo - sin contacto y sobre todo sin ningún medio de acoplamiento - unas ondas acústicas planas. En este caso, de una manera mucho más sencilla y también más variada que con una excitación mecánica mediante unos piezo-transmisores, aquí existe la posibilidad de efectuar la excitación de las ondas de Lamb, al igual que la excitación de ondas de cizallamiento que están polarizadas de forma paralela a la superficie de la pared. Las ondas de cizallamiento de este tipo se extienden entonces, en el sentido transversal a la polarización y a la inclinación de la oscilación, en dos direcciones opuestas entre sí, formando unas respectivas haces. Estas ondas de cizallamiento, que para una excitación útil han de ser inducidas dentro de una frecuencia apropiada y por medio de una bobina de inducción de alta frecuencia, la cual esté geoméricamente afinada, sobre todo con respecto a las distancias de los conductores - pudiendo unas apropiadas gamas de frecuencia y las distancias entre los conductores también variar con respecto al grosor de la pared - pueden producir, asimismo, unas distintas formas de oscilación en función de la profundidad de la pared. De este modo, resulta que una onda de cizallamiento de ordenación a cero oscila dentro de la pared, al igual que en la superficie opuesta, de una manera uniforme con la superficie de la pared, la cual está situada por arriba, mientras que una onda de cizallamiento de ordenación a uno forma un nudo de oscilación por el centro de la pared, y la misma oscila en el sentido opuesto en la superficie que está situada en frente. Las ondas de cizallamiento de una ordenación superior forman dentro de la pared varios nudos de oscilación. Estas formas de oscilación pueden ser de distinta utilidad para la detección de defectos. Además, tanto la iniciación de la oscilación como también la percepción de la misma, mediante unos transformadores de emisión de y de recepción, han de ser percibidas sin perturbaciones y de la manera más clara posible.

40 (0003) La Patente Núm. 5.537.876 de los Estados Unidos se refiere a la detección de soldaduras de electropercusión en placas de acero; en este caso, la bobina de emisión y la bobina de recepción se encuentran dentro de una misma trayectoria para la emisión y la reflexión de las señales, con el fin de poder detectar las uniones por soldadura que se extienden en el sentido transversal a esta trayectoria.

45 (0004) Por consiguiente, la presente invención tiene el objeto de perfeccionar un dispositivo para los ensayos no destructivos de los elementos de construcción ferromagnéticos, conforme a lo indicado en el preámbulo de la reivindicación de patente 1), y esto de tal modo que puedan ser bien detectados los defectos de una manera previamente determinada, especialmente las grietas ó unas haces de grietas originadas, por ejemplo, por una corrosión de tensofisuración, las que desde la superficie penetran en la pared y las que, por regla general, son de una alineación típica, y esto sin que para ello tengan que ser aumentados de una manera desproporcionada la inversión en la construcción del dispositivo, ni el consumo de energía del mismo.

55 (0005) De acuerdo con la presente invención, este objeto es conseguido por medio de un dispositivo según lo indicado en el preámbulo de la reivindicación de patente 1) y a través de las características distintivas de la misma.

60 (0006) Como el ulterior desarrollo de la ya conocida tecnología de un ensayo no destructivo de los elementos de construcción ferromagnéticos por medio de unas ondas de cizallamiento ultrasónicas, inducidas de forma electromagnética, para unas aplicaciones especiales, sobre todo para detección de grietas que penetran tan sólo parcialmente en la profundidad de una pared, se ha mostrado como conveniente excitar las ondas de cizallamiento de una ordenación superior para de este modo poder poner de relieve sobre todo la zona situada más cerca de la superficie y detectarla de una manera especial. Incluso una onda de cizallamiento de una ordenación a uno está en condiciones de suprimir - en cuanto a la técnica de medición y por medio de unas amplitudes de oscilación que se reducen hacia dentro - durante el ensayo una parte central de la pared, la cual está situada más por dentro. Esto ha de ser aplicado de una manera reforzada para una onda de cizallamiento con ordenación a dos. Con las ondas de cizallamiento de una ordenación superior pueden ser observadas unas mayores sensibilidades en relación con los defectos, situados más cerca de la superficie; en este caso, por un aumento en la ordenación también es incrementada, sin embargo, la dispersión de los modos, lo cual puede conducir a un derretimiento de los paquetes de ondas. La onda de cizallamiento con una ordenación a dos representa una combinación - con frecuencia

especialmente acertada - entre la selección de la profundidad del ensayo, la cual interesa dentro de la pared, y una función fiable y controlable del transformador de emisión y una señal suficiente dentro de un respectivo transformador de recepción.

5 (0007) Para la inducción electromagnética de las ondas de ultrasonido tiene que ser prevista una imantación de aquella zona de la pared del elemento de construcción, la cual ha de ser sometida al ensayo; imantación ésta que normalmente puede ser conseguida con uno ó con varios imanes permanentes y, a este efecto, es cerrado un círculo magnético, dado el caso con una culata de imán y a través de la pared del elemento de construcción que debe ser sometido a ensayo. Aquí puede ser observado ahora que una alineación de la trayectoria de las ondas,  
10 inducidas de forma correspondiente a la dirección de imantación, hace disparar una multitud de componentes de oscilación, también unas ondas de Lamb, como consecuencia de las fuerzas de Lorentz, y que las ondas de cizallamiento de una superior ordenación y de una polarización horizontal, las que en el presente caso son de un interés especial y las cuales han de ser conseguidas por unos efectos magnetoestrictivos, pueden ser producidas y recibidas de una manera ventajosa si la alineación de la trayectoria se encuentra bajo un ángulo oblicuo con respecto a la dirección de imantación. Este ángulo entre la alineación de la trayectoria y la dirección de imantación ha de ser, de una manera conveniente de entre 10 y 60 grados, de forma óptima entre 20 y 50 grados.

(0008) A este efecto, un transformador de recepción está posicionado, de una manera conveniente, en el sentido lateral a la trayectoria y, por la zona de ensayo previamente determinada, el mismo se encuentra alineado dentro  
20 de la trayectoria, de tal modo que este transformador pueda, por un lado, recibir bien las señales dispersadas ó reflejadas por esta zona de ensayo y, por el otro lado, reciba tan sólo en una medida más reducida las señales que parten directamente del transformador de emisión y pueda percibir estas señales directas - gracias a su alineación con respecto a la zona de ensayo (y no en relación con el transformador de emisión) - ya a la vista de sus características de recepción solamente.

(0009) La alineación del transformador de recepción con respecto a una zona de ensayo previamente determinada y dentro de la trayectoria, la que sigue, a su vez, a la alineación del transformador de emisión, exige solamente una alineación angular entre el transformador de emisión y el transformador de recepción. Sin embargo, al presentarse unas grietas ú otros defectos similares de forma alargada como pueden ser, por ejemplo, las grietas por tensiones  
30 materiales ó las haces de las mismas, no debe partirse de una difusa dispersión de las incidentes ondas de cizallamiento, sino de una reflexión de las ondas bajo unas condiciones aproximadamente simétricas entre la onda entrante y la onda reflejada; en este caso, al ser conocida - ó sobre todo influenciada por el interés - la alineación de los defectos, el transformador de recepción ha de estar alineado en relación con el ángulo de reflexión resultante.

(0010) Con respecto a esta relaciones angulares ha de tenerse en cuenta que la dirección de la imantación no queda fijada en relación con la dirección principal de los defectos. La imantación de la pared del elemento de construcción, la que constituye la base para los efectos de la inducción del transformador de emisión y del transformador de recepción, puede ser previamente determinada, y esto incluso de forma divergente a la supuesta  
40 dirección principal de los defectos. Los requisitos de que, primero, la alineación de la trayectoria de las ondas de cizallamiento debe encontrarse bajo un ángulo oblicuo con respecto a la dirección de imantación y de que, segundo, el transformador de emisión y el transformador de recepción también han de cooperar entre si en base a unas reflexiones desde los defectos, estos requisitos pueden conducir, sin embargo, a una sencilla y conveniente determinación para que la dirección de imantación sea igual a la dirección principal de los defectos ó para que la primera esté dirigida en el sentido vertical a esta dirección principal.

(0011) Las condiciones geométricas no solamente han de ser tenidas en consideración en relación con una más efectiva iniciación ó excitación de las ondas de cizallamiento así como con una más sensible y más fiable comprobación de unas paredes ferromagnéticas por posibles defectos de las mismas, sino estas condiciones también repercuten en la realización constructiva de los dispositivos de esta clase. A los efectos de comprobar de una manera racional unas paredes de gran superficie como, por ejemplo, en los receptáculos, para un ensayo no destructivo han de ser previstos unos desplazables aparatos medidores, provistos de una multitud de dispositivos de este tipo, los cuales están estrechamente graduados entre si para con sus zonas de ensayo explorar la pared por tramos y sin dejar huecos. Más importante aún para los mismos es su zona de empleo en las tuberías, en las  
55 cuales toda la circunferencia de éstas ha de ser ensayada de forma no destructiva a través de la pasada de un dispositivo limpiador de tubos que mide al mismo tiempo. También aquí se presenta, con la circunferencia del tubo, una anchura de trabajo para el limpiador/medidor de tubos, la cual puede ser barrida solamente con una multitud de los dispositivos aquí tenidos en consideración, los cuales han de estar graduados entre si.

(0012) Algunos ejemplos para la realización pueden ser apreciados en la descripción, relacionada a continuación, así como en los planos adjuntos, en los cuales:

La Figura 1 muestra la vista oblicua de una pared de placas con unas flechas de dirección para las desviaciones en la superficie al presentarse una onda de cizallamiento;

Las Figuras 2, 3 y 4 indican, respectivamente, las vistas de sección transversal de una placa con las ondas de cizallamiento con una ordenación a cero, con una ordenación a uno y con una ordenación a dos;

Las Figuras 5 hasta 11 muestran las vistas esquematizadas de transformadores de emisión en relación con la dirección de imantación; mientras que

Las Figuras 12 hasta 17 indican unas formas de realización de bobinas de inducción para los transformadores de tipo EMAT.

(0013) En la Figura 1 está representada con la referencia 1 una placa (ó un correspondiente sector de una pared), en la que las cambiantes flechas de dirección 2 indican, en un determinado momento de la observación, las desviaciones del material como consecuencia de una onda de cizallamiento que está fija ó se está disminuyendo. Por medio de un transformador electro- magnético/acústico (EMAT), una onda de cizallamiento de esta clase puede ser inducida, sin ningún contacto, en la placa 1, aproximadamente a la altura de la doble flecha 3 que indica también la propagación de la onda con el comienzo de la excitación en las dos direcciones de esta flecha doble 3.

(0014) Las Figuras 2, 3 y 4 indican ahora que las ondas de cizallamiento no tienen porque propagarse de una manera uniforme hacia la parte interior de la placa. Esto ocurre solamente con la onda de cizallamiento de la ordenación a cero SH0, según lo indicado en la Figura 2. Una onda de cizallamiento de la ordenación a uno SH1 según la Figura 3 más bien oscila en una superficie de la placa en el sentido opuesto a la otra superficie y la misma forma unos nudos de oscilación dentro del plano central de la placa. Simplemente por ello, resulta que por la parte interior de la placa se presenta una participación del material a la oscilación, la cual es más reducida en comparación con la participación en la superficie de la placa.

(0015) De una manera mas pronunciada aún limita la onda de cizallamiento horizontal de la ordenación a dos SH2, con dos nudos de oscilación, su participación en la onda de cizallamiento en la cercanía de la superficie, sobre todo a la vista de que las oscilaciones por la superficie son decisivas para las señales de recepción que de manera inductiva pueden ser recogidas desde fuera. Esto es de un interés especial para las grietas y otros defectos similares que desde fuera pueden penetrar en la placa ó en la pared a causa de, por ejemplo, una corrosión por tensofisuración. Durante una comprobación son de un interés especial los defectos con una limitada profundidad de penetración, los cuales son detectados mucho mejor por las horizontales ondas de cizallamiento de una superior ordenación que por una onda de cizallamiento horizontal y de una ordenación a cero. Por "ondas de cizallamiento de una superior ordenación" han de ser entendidas aquí, por consiguiente, las ondas de cizallamiento con una ordenación que sea superior a la ordenación a cero (SH0).

(0016) Para la iniciación de tales ondas de cizallamiento ha de ser efectuada, por regla general, una imantación de la pared ferromagnética que normalmente dispone de un circuito de imán permanente como la imantación estática; a este efecto, el flujo magnético de uno ó de varios imanes permanentes fuertes es introducido - dado el caso, también a través de jugos de imán y de zapatas polares - en la pared por dos puntos entre si opuestos, y este flujo se hace pasar por la misma. Esto está indicado en la Figura 5 mediante la flecha B para la inducción magnética que representa una uniforme imantación, en el mismo sentido, en una placa sobre la cual está dispuesto un transformador de emisión 4 que dentro de la placa ha de iniciar una onda de cizallamiento de ordenación dos SH2 que se propaga en dirección de la flecha 5 y en la dirección contraria.

(0017) Una eficiente excitación supone la existencia de una apropiada configuración geométrica de una bobina de inducción 8 - que, por lo general, tiene la forma de meandros - con una óptima distancia entre los conductores y, además, con una señal de inducción que sobre todo ha de estar ajustada a la frecuencia; en este caso, la frecuencia es una alta frecuencia que puede estar dentro de la gama de 10 kilo-hertzios hasta 5 mega-hertzios y la misma, concretamente, se presenta en función de la ordenación de la onda de cizallamiento, que ha de ser iniciada, así como del grosor de la pared.

(0018) Se ha puesto de manifiesto, además, que la dirección de la reflexión de la onda de cizallamiento según lo indicado por la flecha 5 es de gran importancia, sobre todo en cuanto a la efectividad de la excitación, pero también para la supresión de otras ondas que durante la comprobación pueden perturbar a causa de interferencias. En este caso, un ángulo oblicuo  $\alpha$ , tal como el mismo puede ser apreciado entre la flecha 5 y la flecha B, ofrece bastantes ventajas. Mientras que una radiación del transformador de emisión 4 en dirección de la imantación tiene, según indica la flecha 8, una elevada parte proporcional de otras ondas, sobre todo de las ondas de Lamb, resulta que se presenta la máxima posibilidad para la reflexión de unas ondas de cizallamiento horizontales SH2 dentro de una gama de ángulos oblicuos de 20 hasta 50 grados así como para una reflexión un poco más reducida - pero todavía conveniente - dentro de una gama de ángulos oblicuos de entre 10 y 60 grados.

(0019) En la Figura 6 puede ser observado ahora, en su conjunto, que la dirección de imantación se extiende, con la flecha B, a través de un campo magnético estático, entre un magnético polo Norte N y un magnético polo Sur S, y que un transformador de emisión 4 emite unas ondas de cizallamiento horizontales en dirección de la flecha 5. En la situación aquí representada es así que estas ondas inciden en una grieta 7 que parte de la superficie, y la misma se extiende principalmente en el sentido, sin embargo, esto tan sólo con una profundidad de penetración que está limitada a una parte fraccional del grosor de la pared del elemento de construcción, la cual ha de ser comprobada. Como onda de cizallamiento de una ordenación superior - que tiene una correspondiente preferencia en la exploración de aquella zona de la pared a comprobar, la cual está situada cerca de la superficie - esta onda experimenta una significativa reflexión en dirección de la flecha 8. La onda reflejada es recibida por un transformador de recepción 9 - que, como principio, puede ser de la misma estructura como el transformador de

emisión 4 - para ser traspasada a unos correspondientes aparatos, tanto de medición como de registro. Por consiguiente, son recibidas unas señales que transcriben la grieta por medio de unas señales de recepción dentro del transformador de recepción 9. Para esta finalidad, el transformador de recepción 9 está orientado en el sentido vertical a la flecha 8, que indica la dirección de la reflexión de la onda de cizallamiento; en este caso, las direcciones de propagación según las flechas 5 y 8 se extienden - de forma correspondiente a las condiciones básicas para la reflexión de ondas - de manera simétrica a la línea normal y dentro de la alineación principal de la grieta 7.

(0020) Aquí se supone que la grieta 7 esté situada aproximadamente de forma paralela a la dirección de imantación según la flecha B, de tal modo que la onda reflejada se extienda, según la flecha 8, con un correspondiente ángulo oblicuo  $\alpha$  con respecto a la imantación según la flecha B. En relación con ello, también se presentan unas convenientes condiciones físicas de recepción para el transformador de recepción 9.

(0021) La Figura 7 muestra un dispositivo, en el cual la imantación estática queda meramente reflejada por la flecha B, y este dispositivo se encuentra ampliado, conforme a la presente invención, por otro transformador de emisión más, concretamente por un transformador de referencia 10 que está realizado de manera análoga al transformador de recepción 9; sin embargo, este transformador de referencia se encuentra posicionado y alineado con respecto al transformador de emisión 4, en dirección de la flecha 5 y de forma opuesta al mismo, aunque con la misma distancia de propagación como la del transformador de emisión 4, y esto de tal modo que este transformador de referencia pueda recibir unas ondas de cizallamiento que pasan completamente por el mismo ó solo en parte. Por lo tanto, la señal que de ello resulta proporciona una señal de referencia para el transformador de recepción 9 por medio de la cual puede ser establecida como norma la señal de recepción, emitida por la ausencia de una reflexión - es decir, dentro de una zona de la pared, la cual no tiene defectos - y con la que, al presentarse una señal de reflexión dentro del transformador de recepción 9, puede ser sacada una conclusión acerca de la intensidad de la señal de reflexión. De este modo, se produce - con independencia de la eficiencia de recepción del transformador de recepción 9 y de la calidad de un acoplamiento de las ondas de cizallamiento por el transformador de emisión 4, la cual es fluctuante y la que, dado el caso, también puede estar en función del material a ensayar - una variable de referencia para la evaluación geométrica del defecto detectado.

(0022) En la Figura 8 está representado un complemento para el anteriormente descrito dispositivo de medición de la Figura 7, complemento éste que por si solo también puede ser empleado como alternativa para la detección de una grietas que se extienden en el sentido transversal. En este caso, se trata de unos defectos que se extienden aproximadamente en el sentido transversal a la dirección de imantación (flecha de inducción B). Una grieta 11 de este tipo puede ser detectada en la segunda dirección de propagación de la inducida onda de cizallamiento, en el sentido contrario a la flecha 5 y en dirección de la flecha 12, con el fin de poder conseguir entonces una reflexión en dirección de la flecha 13. Esta reflexión puede ser recibida por un transformador de recepción 14, que se encuentra en una posición apropiada así como en alineación con la reflexión procedente de la dirección de la flecha 13. También aquí se presenta un conveniente ángulo de recepción  $\alpha$  en relación con la imantación.

(0023) Por su acción de conjunto con varios transformadores de emisión, el transformador de recepción 14 (y, de forma análoga, también cualquier otro transformador de recepción) puede recibir las ondas de cizallamiento que entran de dos direcciones opuestas, tal como esto está indicado por la flecha 15. Con ello se tienen en consideración las formas de construcción que en un diseño más apretado comprenden una multitud de transformadores de emisión y de transformadores de recepción que mediante un frente ancho y cerrado comprueban con una sola pasada una franja en una pared plana ó la sección transversal de un tubo

(0024) En las Figuras 7 y 8 puede ser observado, además, que por medio de la alineación de los transformadores entre si y del posicionamiento de los mismos pueden ser detectadas tanto las grietas que se extienden en dirección del campo magnético, como asimismo unas grietas que se extienden principalmente en el sentido transversal a esta dirección. Por consiguiente, al tener que ser detectadas, por ejemplo, unas grietas longitudinales en una tubería, asimismo puede ser empleada para ello una imantación en la dirección transversal (dirección circunferencial), la que, en este caso, también puede facilitar, naturalmente, la detección de unas grietas longitudinales, aunque con una distinta asignación de transformadores.

(0025) En las Figuras 9 hasta 11 puede ser apreciado que a través de una combinación entre los dispositivos según la presente invención puede ser efectuada la comprobación de una pared ferromagnética de un elemento de construcción, sobre todo de una pared de tubo, y esto sin dejar ningún hueco. En la Figura 9 está representado el dispositivo de medición, ya comentado en relación con la Figura 8, por medio del cual queda proporcionado un homogéneo campo magnético entre el polo Norte N y el polo S en la pared de un elemento de construcción, y entre estos polos magnéticos están dispuestos, dentro de la zona del campo magnético, un transformador de emisión 4 y un transformador de recepción 9. Ambos transformadores están enfocados a una zona de ensayo 16 dentro de la cual han de ser detectados posibles defectos. Para esta finalidad, del transformador de emisión 4 parten unas inducidas ondas de cizallamiento en una dirección (que es aprovechada); en este caso, dentro de la zona de la trayectoria 17 puede ser detectada una aprovechable energía de ondas previamente determinada, la cual se extiende con una clara formación de haces - si bien con cierto ensanchamiento - desde el transformador de emisión 4 hasta la zona de ensayo 16, e incluso hasta más allá de ésta última.

(0026) Para el transformador de recepción 9 y por el lado de la zona de ensayo 16 también puede ser observada

una zona un tanto alineada y en la forma de haces - la que aquí está representada solamente por la pequeña zona 18 - desde la cual pueden ser recibidas, con la suficiente claridad, las ondas de cizallamiento que, dado el caso, pueden incidir aquí en forma de una reflexión. Por consiguiente, las características de alineación de los dos transformadores EMAT se distinguen por una formación de haces que es considerada como "trayectoria". En este caso, existe un interés en elegir la trayectoria de las ondas acústicas de la forma más corta posible, con el fin de poder reducir al mínimo las pérdidas de una propagación geométrica.

(0027) Según una forma de realización, indicada en la Figura 10, resulta que ahora están dispuestos dentro del estático campo magnético, entre el indicado polo Norte N y el polo Sur S, dos transformadores de emisión, 20 y 21, así como dos transformadores de recepción, 22 y 23, de tal manera que los mismos puedan actuar en la forma de parejas con respecto a unas líneas de reacción, 24 y 25, que están previamente determinadas y que se cruzan entre si, y esto, concretamente, en relación con dos zonas de ensayo, 26 y 27, que con una muy pequeña solapadura se complementan de tal modo entre si que pueda estar cubierta la anchura completa de los polos magnéticos. Por lo tanto, un desplazamiento del correspondiente dispositivo en dirección hacia el campo magnético conduce a la cobertura de la anchura completa con las zonas de ensayo, 26 y 26. En este caso, la imantación, que es proporcionada por los polos magnéticos, es aprovechada para los dos dispositivos de ensayo que trabajan de manera cruzada entre si.

(0028) La forma de disposición, indicada en la Figura 11 para varios imanes permanentes de este tipo, y con las respectivas parejas de dispositivos de ensayo según la Figura 10, pone de manifiesto que también se puede producir una comunicación entre los transformadores de recepción y los transformadores de emisión que no se encuentran asignados entre si en el sentido de una reflexión. Esto es bastante revelador bajo el aspecto técnico de la comprobación como, por ejemplo, al ser recibidas unas señales, que parten del transformador de emisión 20, por un transformador de recepción 23 que en realidad está previsto para las ondas de reflexión, procedentes del transformador de emisión 21. De la misma manera, por un transformador de recepción 28 pueden ser recibidas unas señales de largo recorrido, las cuales son emitidas por el transformador de emisión 20. Este tipo de señales de recepción - cuyos recorridos están indicados por las flechas, 29 y 30, mediante unas líneas de trazo - han de ser graduadas en función del tiempo de recorrido y de su amortiguación. En las placas ó tubos revestidos es sobre todo esta amortiguación de la onda la que informa acerca del estado del revestimiento ó recubrimiento. La ausencia de una capa, ó unos revestimientos que a causa de la corrosión ó de una subinfiltración se han separado de la superficie de la pared ferromagnética, conducen a una considerablemente más reducida amortiguación de la onda de cizallamiento en relación con la longitud del recorrido de la misma y reflejan, por lo tanto, un revestimiento defectuoso.

(0029) La excitación electromagnética y acústica de las ondas de cizallamiento parte de los transformadores de emisión que, como es sabido, tienen la configuración indicada en las Figuras 5 hasta 11, es decir, los mismos consisten en una sucesión de bucles en forma de meandros. La conformación ha de estar adaptada a las pretendidas ondas de cizallamiento. En este caso, los tramos conductores, largos y entre si paralelos, de los bucles en forma de meandros determinan la dirección principal que es al mismo tiempo la dirección de propagación de las ondas de cizallamiento. En las Figuras 12 hasta 17 están representadas distintas variantes para las correspondientes bobinas de inducción. Es, además, de gran importancia poder conseguir un buen aprovechamiento del espacio dentro del campo magnético, con unos cortos recorridos para las ondas sonoras y para las reflexiones de las mismas.

(0030) Como consecuencia, las formas de realización de las bobinas de inducción, las cuales están indicadas en las Figuras 12 hasta 14, han de estar ubicadas sobre una superficie en forma de un triángulo rectángulo. Esto permite colocar el transformador de emisión y el transformador de recepción, en una manera que ayuda ahorrar espacio, dentro de las zonas de esquina del espacio que está disponible entre el polo Norte N y el polo Sur S, aproximadamente al estilo indicado en la Figura 6, y determinar - bajo un bastante favorable ángulo oblicuo de 45 grados, aproximadamente, con respecto a la dirección de imantación - una trayectoria para la propagación de las ondas de cizallamiento así como para las reflexiones de las mismas. Unos desvíos redondeados en los conductores 32, tal como están indicados en la Figura 12, evitan unas radiaciones secundarias en cualquier otra dirección, mientras que unos tramos de desvío de forma rectilínea 33, tal como los indicados en la Figura 13, producen unas radiaciones secundarias en la dirección transversal a estos tramos conductores 33, las cuales pueden ser aprovechadas, dado el caso, para unas mediciones auxiliares. De este modo, a través de la pasada de comprobación de un dispositivo limpiador por un tubo, unas ondas ultrasónicas planas pueden ser inducidas en la dirección longitudinal del tubo, y las reflexiones de las ondas pueden señalar sobre todo los cordones de soldadura dentro del tubo con el fin de determinar así una posición para la comprobación.

(0031) Un bucle conductor 34 según la Figura 14, el cual está provisto de unas vueltas más anchas, genera unas más pequeñas densidades de la corriente en las partes anchas, las que en este lugar conducen también a unas más reducidas fuerzas de excitación electromecánica y, por consiguiente, las mismas suprimen - al igual que las vueltas redondeadas 31 de los bucles - unas radiaciones secundarias.

(0032) En las Figuras 15 hasta 17 se indican, en una forma de disposición principalmente de forma rectangular, unas bobinas EMAT en la configuración de bucles. Según una forma para la realización de la geometría de bobina 36 de la Figura 15 es así que una compresión de impulsos puede ser conseguida por el hecho de que las distancias entre los conductores - y, por consiguiente, la longitud de las ondas - pueden ser variadas de una

manera monótona (Chirping), teniendo en cuenta que la velocidad de las ondas de cizallamiento de una ordenación superior está en función de la longitud de onda. Con una suficiente anchura de banda de la excitación puede ser generado un paquete de ondas en el que, debido a la dispersión, las ondas se unen entre si, consiguiendo con ello un incremento en las amplitudes. Sobre todo en el procedimiento del eco de impulsos puede ser esto útil para la determinación del tiempo de recorrido como la medida para la distancia entre un defecto reflejado y los transformadores, tanto de emisión como de recepción.

(0033) Una curvatura - similar a la curvatura de un espejo cóncavo - de los conductores 36 dentro de una bobina de inducción según la Figura 16 conduce a una reducción en el ángulo de apertura de la haz de ondas acústicas. Debido a ello, queda reducida la zona para la comprobación y resulta más precisa la localización al ser la dirección de la propagación observada en dirección hacia arriba, tal como indicado en la Figura 16. En la dirección opuesta de la propagación se produce un desenfoque que permite ampliar la zona de comprobación ó ensayo.

(0034) Una bobina de inducción se compone, según lo indicado en la Figura 17, de una multitud de bucles conductores independientes, 38 y 39, que han de ser impulsados individualmente a través de la distancia entre los mismos, la cual ha de ser determinada. Por medio de un desplazamiento de fases entre las excitaciones individuales existe la posibilidad de controlar las características de la radiación (phased array ó disposición por fases), mientras que una modulación de las amplitudes puede ser empleada para optimizar la configuración de la onda acústica como una señal (apodisation, shading ó matizado).

(0035) Las bobinas de inducción de esta clase pueden ser excitadas, por ejemplo, a una frecuencia de 500 kilohertzios y para una sucesión de 15 impulsos, de forma correspondiente a esta frecuencia también pueden ser excitadas - y dentro del material a ensayar - las ondas de ultrasonido, sobre todo las aquí contempladas ondas de cizallamiento de una ordenación superior. Unas cortas sucesiones de impulsos dentro de esta gama de frecuencia permiten trabajar con una cadencia de algunos cientos de hertzios, sin que a causa de ello se pueda producir una interferencia en la interacción de muchos dispositivos de ensayo, dispuestos de forma colindante entre si. Gracias a ello, incluso para unos dispositivos de medición como, por ejemplo, los limpiadores/ medidores para tubos, existe la posibilidad de efectuar, a una velocidad de desplazamiento de varios metros por segundo, unas mediciones repetitivas con una sucesión tan estrecha entre las mismas que tampoco en la dirección del desplazamiento de un tal limpiador/medidor se pueda producir ningún hueco en la comprobación.

**REIVINDICACIONES**

- 1ª.- Dispositivo para ensayos no destructivos ó comprobaciones en las paredes ferromagnéticas de unos elementos de construcción, como son las paredes de tubos ó las paredes de placas, por grietas ó fisuras (7, 11), ú otros defectos de forma alargada, por medio de unas ondas de ultrasonido, sobre todo de ondas de cizallamiento, que dentro de una zona de la pared, la cual está imantada en una dirección de imantación (B) previamente determinada, son excitadas a través de una bobina de inducción de alta frecuencia (4, 20, 21) para propagarse por una trayectoria (17), que puede ser alineada por la bobina de inducción como el transformador de emisión (4, 20, 21), para luego, a una determinada distancia del transformador de emisión (4, 20, 21), ser recibidas por al menos una bobina de inducción como el transformador de recepción (9, 10, 14, 22, 23, 28); en este caso, la alineación de la trayectoria (17) tiene lugar bajo un ángulo oblicuo  $\alpha$  con respecto a la dirección de imantación (8) y el transformador de recepción (9, 22, 23) está situado lateralmente de la trayectoria (17), y el mismo se encuentra alineado con una zona de comprobación (16, 26, 27) previamente determinada dentro de la trayectoria (17); dispositivo éste que está caracterizado porque la forma de realización de los transformadores (4, 9, 10, 14, 20, 21, 22, 23, 28) y el dimensionamiento de la alta frecuencia, el cual debe estar adaptado al grosor de la pared, han de estar previstos en función de la excitación de unas ondas de cizallamiento con una ordenación superior; así como caracterizado porque dentro de la trayectoria (17) está dispuesto, por detrás de la zona de comprobación (16), otro transformador de recepción como transformador de referencia (10) que se encuentra alineado con el transformador de emisión (4).
- 2ª.- Dispositivo conforme a la reivindicación 1) y caracterizado porque el ángulo oblicuo  $\alpha$  está entre 20 y 60 grados.
- 3ª.- Dispositivo conforme a la reivindicación 2) y caracterizado porque el ángulo oblicuo  $\alpha$  se encuentra dentro de la gama de 30 hasta 50 grados.
- 4ª.- Dispositivo conforme a una de las reivindicaciones 1) hasta 3) y caracterizado porque el transformador de emisión (4, 20, 21) y el transformador de recepción (9, 22, 23) están alineados en relación con una dirección principal que es determinada para los defectos y con respecto al ángulo de incidencia y ángulo de reflexión.
- 5ª.- Dispositivo conforme a la reivindicación 4), previsto para su aplicación en tubos y caracterizado porque la pared del tubo está imantada de forma paralela al eje; así como caracterizado porque la alineación del transformador de emisión (4, 20, 21) y del transformador de recepción (9, 22, 23) está efectuada bajo un mismo ángulo en el sentido opuesto y con respecto a la dirección axial.
- 6ª.- Dispositivo conforme a la reivindicación 4), previsto para su aplicación en tubos y caracterizado porque la pared del tubo está imantada en la dirección circunferencial; así como caracterizado porque la alineación del transformador de emisión y del transformador de recepción está efectuada bajo un mismo ángulo en el sentido opuesto y con respecto a la dirección circunferencial.
- 7ª.- Dispositivo conforme a una de las reivindicaciones 1) hasta 6) y caracterizado porque la trayectoria (17) es empleada - por ambos lados del transformador de emisión (4) - para la comprobación de defectos; así como caracterizado porque un segundo transformador de recepción (14) se encuentra alineado con una segunda zona de comprobación, situada lateralmente de la trayectoria (17).
- 8ª.- Dispositivo conforme a una de las reivindicaciones 1) hasta 7) y caracterizado porque el transformador de emisión constituye una dirección de radiación secundaria con unos tramos conductores (33) que se extienden en esta misma dirección.
- 9ª.- Dispositivo conforme a una de las reivindicaciones 1) hasta 8) y caracterizado porque el transformador de emisión (20, 21) y el transformador de recepción (22, 23) constituyen por parejas y con unas trayectorias, cruzadas de forma opuesta entre si, unas zonas de ensayo (26, 27) que están dispuestas juntas entre si sin dejar ningún hueco.
- 10ª.- Dispositivo conforme a una de las reivindicaciones 1) hasta 9) y caracterizado porque los transformadores de emisión (20) están unidos con los transformadores de recepción (23, 28) a efectos de la medición de los tiempos de recorrido y de las amortiguaciones.
- 11ª.- Dispositivo conforme a una de las reivindicaciones 1) hasta 10) y caracterizado porque el mismo se encuentra unido con otros dispositivos de la misma clase para constituir un sistema de zonas de comprobación (26, 27) que se complementan entre si sin dejar ningún hueco.
- 12ª.- Dispositivo conforme a la reivindicación 11) y caracterizado porque el mismo está dispuesto por la circunferencia de un dispositivo limpiador para efectuar un ensayo no destructivo en las paredes de tubos.
- 13ª.- Dispositivo conforme a una de las reivindicaciones 1) hasta 12) y caracterizado porque la bobina de inducción está realizada, como el transformador de emisión ó el transformador de recepción, sobre una superficie de base de forma triangular.



## ES 2 391 060 T3

- 5 14<sup>a</sup>.- Dispositivo conforme a una de las reivindicaciones 1) hasta 13) y caracterizado porque los conductores de la bobina de inducción están dispuestos en la forma de meandros y con una multitud de tramos conductores largos y paralelos (32).
- 15<sup>a</sup>.- Dispositivo conforme a la reivindicación 14) y caracterizado porque los largos y paralelos tramos conductores se encuentran unidos entre si mediante unos tramos en forma de arco (31).
- 10 16<sup>a</sup>.- Dispositivo conforme a la reivindicación 14) y caracterizado porque los largos y paralelos tramos conductores se encuentran unidos entre si mediante unos cortos tramos conductores (33) con una alineación coincidente.
- 17<sup>a</sup>.- Dispositivo conforme a la reivindicación 14) y caracterizado porque los largos y paralelos tramos conductores se encuentran unidos entre si mediante unos tramos conductores de mayor anchura (35).
- 15 18<sup>a</sup>.- Dispositivo conforme a la reivindicación 14) y caracterizado porque los largos y paralelos tramos conductores de la bobina de inducción (36) guardan entre si unas distintas distancias que en su sucesión se modifican de forma monótona.
- 20 19<sup>a</sup>.- Dispositivo conforme a la reivindicación 14) y caracterizado porque los largos y paralelos tramos conductores de la bobina de inducción (37) están doblados en el mismo sentido.
- 20<sup>a</sup>.- Dispositivo conforme a la reivindicación 14) y caracterizado porque los largos y paralelos tramos conductores constituyen varios bucles conductores (38, 39) que han de ser impulsados de forma separada.

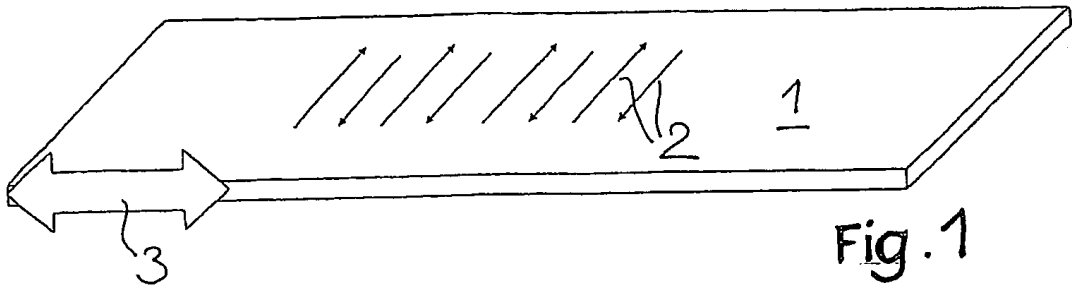


Fig. 1

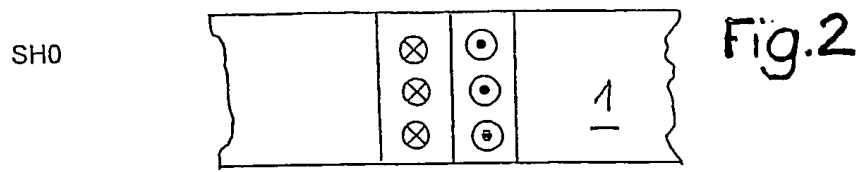


Fig. 2

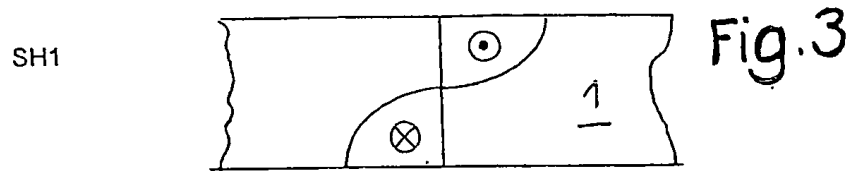


Fig. 3

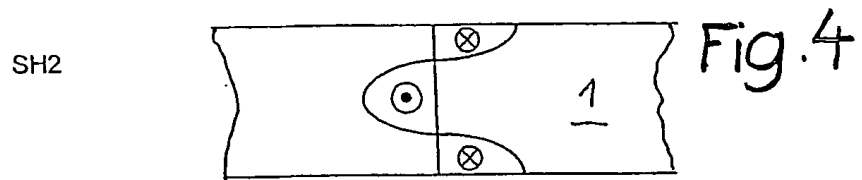


Fig. 4

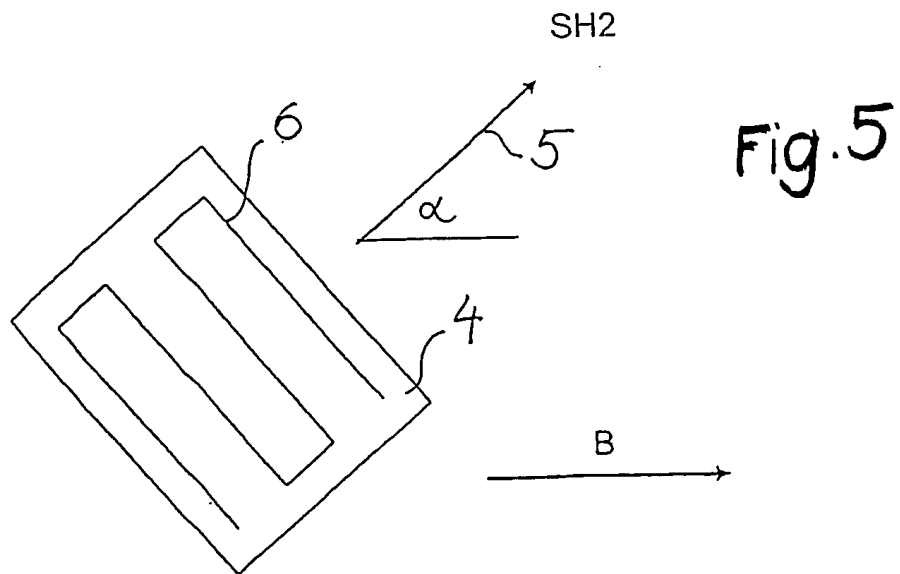


Fig. 5

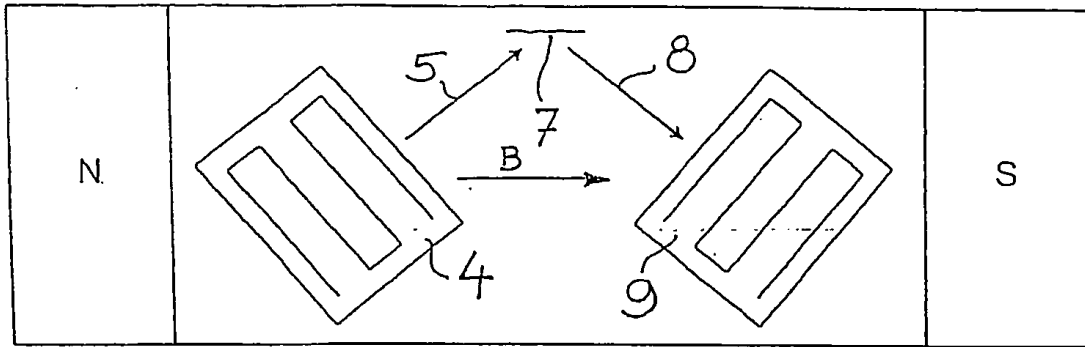


Fig. 6

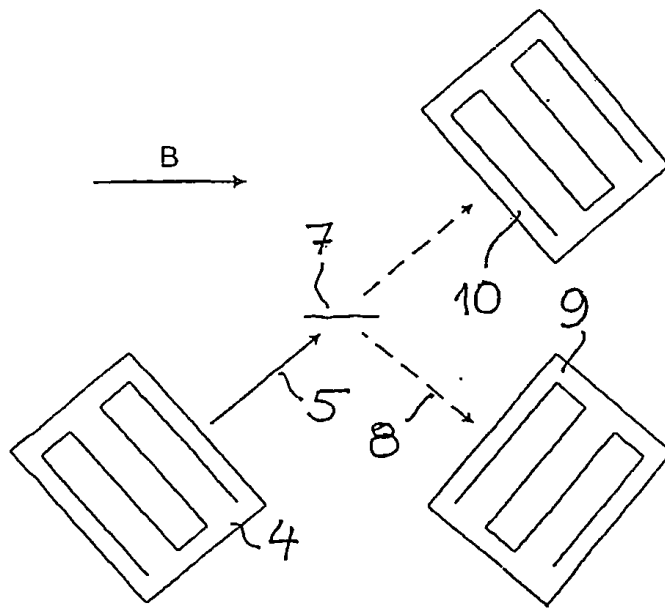


Fig. 7

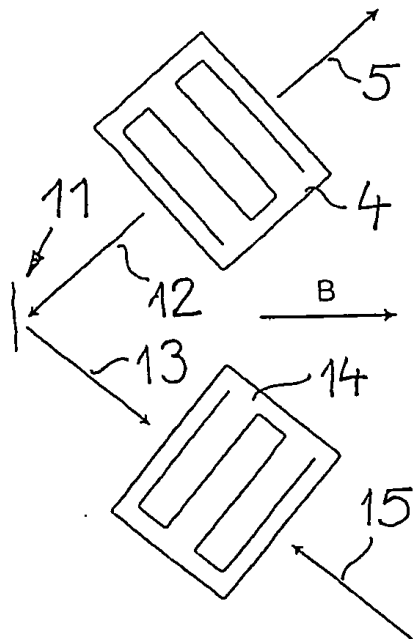


Fig. 8

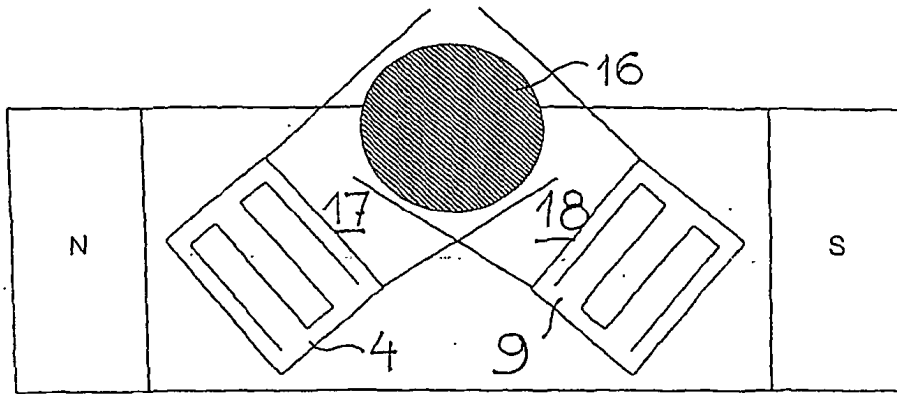


Fig. 9

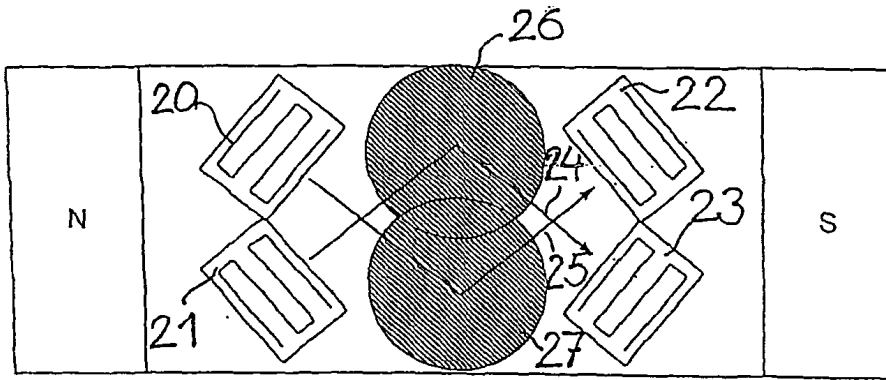


Fig. 10

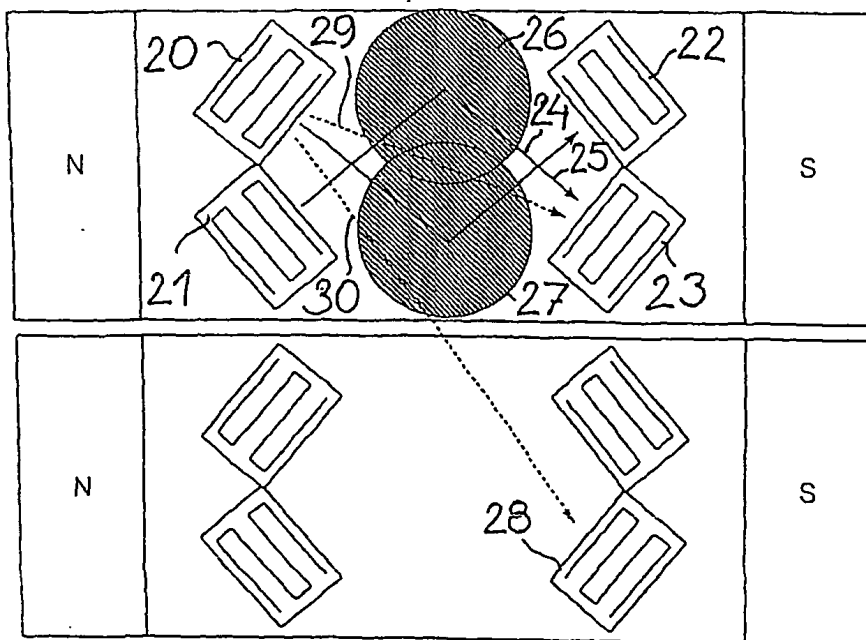


Fig. 11

