

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 027 641**

51 Int. Cl.:

G01N 29/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.09.2014** **PCT/EP2014/068882**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.04.2015** **WO15043912**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.09.2014** **E 14761978 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.03.2025** **EP 3052930**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de control no destructivo de una soldadura de una pieza de reactor nuclear**

30 Prioridad:

30.09.2013 FR 1359452

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

16.06.2025

73 Titular/es:

**FRAMATOME (100.00%)
1 Place Jean Millier, Tour Areva
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**JAMBON, MICHEL y
CRAULAND, JEAN MARC**

74 Agente/Representante:

PONTI & PARTNERS, S.L.P.

ES 3 027 641 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo de control no destructivo de una soldadura de una pieza de reactor nuclear

5 CAMPO DE LA TÉCNICA

[0001] La presente invención se refiere a un procedimiento y un dispositivo de control no destructivo por ultrasonidos de una soldadura realizada en una pieza de reactor nuclear, por ejemplo, en un generador de vapor, en una cuba o en un presurizador de reactor nuclear. La presente invención puede aplicarse en el control no destructivo de las soldaduras de espesores fuertes, es decir, soldaduras de un espesor superior o igual a 80 mm.

ESTADO DE LA TÉCNICA ANTERIOR

[0002] Los reactores nucleares constan de numerosas piezas realizadas mediante el ensamblaje de varios tramos soldados entre sí. Así, la cuba principal de un reactor nuclear comprende una pared constituida por forjas de acero ferrítico ensambladas por soldadura, juntas circulares a tope ferríticas de fuertes espesores. Asimismo, los generadores de vapor o incluso los presurizadores para reactores nucleares se realizan a partir de chapas o forjados ensamblados por soldaduras circulares de fuerte espesor. Aunque la fabricación de tales piezas es objeto de todas las precauciones, las soldaduras pueden tener defectos que es necesario detectar.

[0003] Para ello, la técnica anterior propone una técnica de control no destructivo de las soldaduras que combina la radiografía y un procedimiento de control manual por ultrasonidos de la soldadura. Sin embargo, tal técnica es larga, requiere muchos puntos de medición, muchos ajustes manuales y, además, requiere tener acceso al interior y al exterior de las piezas a controlar, lo que no siempre es fácil.

[0004] El documento US 2007/00328 A1 describe la inspección por ultrasonidos de una soldadura en una pieza para reactor nuclear, utilizando un sensor TOFD multielemento en técnica "phased-array" para sondear varias zonas de la soldadura; dicho sensor comprende un emisor multielemento y un receptor multielemento, alineados según un eje perpendicular al eje a lo largo del cual se extiende la soldadura.

EXPOSICIÓN DE LA INVENCION

[0005] La invención pretende remediar los inconvenientes del estado de la técnica proponiendo un procedimiento y un dispositivo de control no destructivo de las soldaduras de piezas para reactor nuclear que sea más rápido que los de la técnica anterior, más simple y que no necesite tener acceso al interior de las piezas.

[0006] Otro objeto de la invención es proponer un procedimiento y un dispositivo de control volumétrico de las soldaduras que sea más fiable que los de la técnica anterior y que no requiera más que un número limitado de adquisiciones.

[0007] Para ello, la invención propone realizar el control no destructivo de las soldaduras de piezas para reactor nuclear mediante una combinación de la técnica TOFD (*Time of Flight Diffraction*), también llamada "medición del tiempo de vuelo" y de la técnica phased-array, también llamada "multielemento", de manera que se realice un control automatizado de la soldadura que pueda efectuarse durante una sola adquisición de datos.

[0008] Más precisamente, la invención propone un procedimiento de control según la reivindicación 1.

[0009] Se denomina "sensor TOFD monoelemento" a un sensor que implementa la técnica TOFD convencional. Dicho sensor incluye un emisor monoelemento y un receptor monoelemento.

[0010] Se denomina "sensor TOFD multielemento" a un sensor que implementa la técnica TOFD multielemento. Dicho sensor incluye un transmisor TOFD multielemento y un receptor multielemento.

[0011] Así, la invención propone combinar la técnica TOFD monoelemento, que es la técnica TOFD convencional, para sondear la zona cercana a la superficie exterior de la pieza, con la técnica TOFD multielemento para sondear la zona de la soldadura que está más alejada de la superficie exterior. Así, con ayuda de un número limitado de sensores, se puede sondear una soldadura de fuerte espesor de manera precisa. De hecho, el procedimiento está especialmente destinado a soldaduras de espesor comprendido entre 100 y 300 mm, y preferentemente comprendido entre 100 y 250 mm.

[0012] El procedimiento según la invención también puede, además de las características de la reivindicación 1, presentar una o varias de las siguientes características, tomadas independientemente o en todas las combinaciones técnicamente posibles.

[0013] Ventajosamente, la primera zona presenta un espesor estrictamente inferior al de la segunda zona, lo

que permite sondear con precisión la zona cercana a la superficie exterior de la soldadura.

[0014] La zona próxima a la superficie exterior de la pieza, denominada "primera zona", se sitúa preferentemente a una profundidad comprendida entre 0 y 10 mm con respecto a la superficie exterior de la pieza. La primera zona se encuentra preferiblemente justo debajo de la superficie exterior de la habitación.

[0015] La técnica TOFD monoelemento en la primera zona se implementa preferentemente con una primera frecuencia, preferentemente igual a 7,5 MHz.

[0016] La segunda zona está situada preferentemente a una profundidad superior a 30 mm, preferentemente superior a 35 mm. La segunda zona presenta preferentemente un espesor comprendido entre 100 y 300 mm. De este modo, el conjunto de la segunda zona, que presenta un espesor importante, se controla con la ayuda de un solo sensor, lo que permite un ahorro de tiempo.

[0017] La segunda zona está situada preferentemente a una profundidad comprendida entre 30 y 250 mm, más preferentemente entre 35 y 250 mm.

[0018] La técnica TOFD multielemento en la segunda zona se implementa preferentemente con una segunda frecuencia, preferentemente igual a 2 MHz

[0019] Ventajosamente, la soldadura comprende además una tercera zona situada entre la primera zona y la segunda zona, utilizando el procedimiento un segundo sensor TOFD monoelemento para sondear la tercera zona de la soldadura.

[0020] La tercera zona está situada preferentemente a una profundidad comprendida entre 5 y 40 mm, preferentemente entre 6 y 36 mm. La tercera zona presenta preferentemente un espesor comprendido entre 10 y 40 mm, preferentemente entre 10 y 30 mm.

[0021] Cada sensor TOFD consta preferentemente de un transmisor y un receptor situados a ambos lados de la soldadura.

[0022] El emisor y el receptor del primer sensor TOFD monoelemento están preferentemente separados por una primera distancia D1.

[0023] El emisor y el receptor del sensor TOFD multielemento están preferentemente separados por una segunda distancia D3.

[0024] El emisor y el receptor del segundo sensor TOFD monoelemento están preferentemente separados por una tercera distancia D3.

[0025] El emisor y el receptor de la primera sonda multielemento están alineados preferentemente según un eje paralelo al eje de la soldadura.

[0026] La primera sonda multielemento emite un haz según un ángulo de desorientación comprendido entre -15° y +15° para optimizar la superficie reflectante de la soldadura.

[0027] Ventajosamente, el procedimiento utiliza además una segunda sonda multielemento que permite buscar defectos transversales.

[0028] Otro aspecto de la invención se refiere también a un dispositivo de control según la reivindicación 6.

[0029] Ventajosamente, el dispositivo incluye además un segundo sensor TOFD monoelemento para sondear una tercera zona de la soldadura.

[0030] El dispositivo también comprende una primera sonda multielemento.

[0031] El dispositivo también comprende preferentemente una segunda sonda multielemento.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

[0032] Otras características y ventajas de la invención se desprenden de la descripción detallada que figura a continuación, con referencia a las figuras adjuntas, que ilustran:

- La figura 1, una vista superior de una pieza controlada por un procedimiento según una realización de la invención;
- La figura 2, una vista en sección transversal de una pieza controlada por un procedimiento según una realización de

la invención;

- La figura 3, una vista en sección transversal de una pieza controlada por un procedimiento según una realización de la invención;

5 - La figura 4, una vista lateral de una sonda multielemento utilizada por un procedimiento según una realización de la invención;

- La figura 5, una vista en perspectiva de la sonda de la figura 4;

- Las figuras 6 y 7, vistas desde arriba de la sonda de la figura 4;

- La figura 8, una vista superior de una pieza controlada por un procedimiento de control según una realización de la invención;

10 - La figura 9, una vista en sección transversal de una pieza controlada por un procedimiento según una realización de la invención.

[0033] Para mayor claridad, los elementos idénticos o similares se identifican con signos de referencias idénticos en todas las figuras.

15

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE AL MENOS UN MODO DE REALIZACIÓN

[0034] La figura 1 representa una vista superior de una pieza cuya soldadura 1 se quiere controlar con un dispositivo y un procedimiento de control según una realización de la invención.

20

[0035] El dispositivo de control 2 utilizado se muestra en la figura 1. Este dispositivo de control 2 cuenta con una placa 3 donde están fijados:

- un primer sensor TOFD monoelemento 4 que permite sondear una primera zona z1 de la soldadura;

25 - un sensor TOFD multielemento 5 que permite sondear una segunda zona z2 de la soldadura;

- un segundo sensor TOFD monoelemento 6 que permite sondear una tercera zona z3 de la soldadura.

[0036] El primer sensor TOFD monoelemento 4 incluye un transmisor TOFD monoelemento 7 y un receptor TOFD monoelemento 8. El emisor 7 y el receptor 8 están alineados a lo largo de un eje 11 perpendicular al eje a lo largo del cual se extiende la soldadura 1. La distancia D1 entre el transmisor 7 y el receptor 8 se elige de manera que el primer sensor 4 permita controlar la zona z1 de la soldadura que está situada directamente debajo de la superficie exterior 10 de la pieza a controlar. La zona z1 se sitúa preferentemente a una profundidad p1 comprendida entre 1,5 y 9,5 mm con respecto a la superficie exterior de la pieza.

30

[0037] El segundo sensor TOFD monoelemento 6 comprende un emisor TOFD monoelemento 12 y un receptor TOFD monoelemento 13. El transmisor 12 y el receptor 13 están alineados a lo largo de un eje 14 perpendicular al eje a lo largo del cual se extiende la soldadura 1. La distancia D3 entre el transmisor 12 y el receptor 13 se elige de manera que el segundo sensor 6 permita controlar la zona z3 de la soldadura que se encuentra debajo de la zona z1. La zona z3 se sitúa preferentemente a una profundidad p3 comprendida entre 6 y 36 mm con respecto a la superficie exterior de la pieza.

40

[0038] El sensor TOFD multielemento 5 comprende un transmisor TOFD multielemento 15 y un receptor TOFD multielemento 16. El transmisor 15 y el receptor 16 están alineados a lo largo de un eje 17 perpendicular al eje a lo largo del cual se extiende la soldadura 1. La distancia D2 entre el transmisor 15 y el receptor 16 se elige de manera que el sensor TOFD multielemento permita controlar la zona z2 de la soldadura que se encuentra debajo de la zona z3. La zona z2 de la soldadura se sitúa preferentemente a una profundidad p2 comprendida entre 35 y 250 mm con respecto a la superficie exterior de la pieza. El emisor TOFD multielemento 15 puede, por ejemplo, constar de dieciséis elementos, cada uno de los cuales implementa la técnica TOFD. Cada elemento del emisor TOFD multielemento puede controlarse independientemente de los demás elementos para emitir un haz ultrasónico que permita sondear una parte de la zona z2 de la soldadura. Para ello, se insertan parámetros de control en una calculadora y se definen leyes de retraso en el impulso sobre los elementos. Cada elemento tiene una función en ángulo y profundidad de detección. La técnica TOFD se implementa así sobre la base de una combinación de sensores convencionales para las zonas z1, z2 cercanas a la superficie y multielemento para la zona z2 más alejada de la superficie exterior. El espesor a inspeccionar se divide en varias zonas. Cada zona es inspeccionada por una configuración TOFD dedicada. Las zonas z1, z2, z3 se han definido sobre la base de simulaciones y pruebas prácticas en bloques con muescas. Así se pueden controlar espesores comprendidos entre 35 y 250 mm con la técnica TOFD, lo que no era el caso en la técnica anterior. Las adquisiciones así realizadas son explotables según dos procedimientos: en barrido paralelo a la soldadura y no paralelo a la soldadura.

45

50

55

60

[0039] El primer y el segundo sensor TOFD monoelemento funcionan preferentemente a una frecuencia de 7,5 MHz. El sensor TOFD multielemento funciona preferentemente a una frecuencia de 2 MHz.

[0040] La placa 3 comprende también una primera sonda multielemento 18 que comprende un emisor multielemento 19 y un receptor multielemento 20. Esta primera sonda multielemento 18 permite variar el ángulo de apertura de 45° a 70° y el ángulo de skew, preferentemente de -15 a + 15°, como se representa en las figuras 5 y 6.

65

El transmisor multielemento 19 y el receptor multielemento 20 están dispuestos en un mismo lado de la soldadura. El transmisor multielemento 19 se representa más precisamente en las figuras 4 a 5. El transmisor multielemento 19 tiene una matriz de 56 elementos individuales 21 que se pueden controlar de forma independiente. Estos elementos individuales 21 están conectados a una electrónica de pilotaje adaptada que permite transmitir y recibir de forma independiente y simultánea en cada una de las vías. Estos electrónicos también deben poder aplicar a la emisión y a la recepción retrasos electrónicos diferentes para cada vía. Se sustituye el barrido mecánico tradicional por un barrido electrónico mucho más rápido, lo que permite detectar defectos longitudinales y transversales. La focalización electrónica permite utilizar un único sensor para trabajar a diferentes profundidades. La desviación electrónica permite la variación de los ángulos de incidencia con un solo sensor.

[0041] La sonda multielemento 18 permite generar ondas transversales con ángulos refractados de 45° a 70° y una desorientación de -15° a +15°, llamada "skew" en inglés.

[0042] La placa 3 comprende también una segunda sonda multielemento 22.

[0043] Como se representa en la figura 8, la placa 3 así formada se mueve con respecto a la soldadura según el camino 24, según un eje x y según un eje y. La adquisición de los datos ultrasónicos se realiza mediante un barrido "ráster". La resolución del eje x define los puntos de adquisición espaciales en el sentido de la orientación del haz de los sensores que apuntan a la soldadura perpendicularmente. La resolución del eje define los puntos de adquisición espaciales en el sentido de la orientación del haz de los sensores que apuntan paralelamente a la soldadura.

[0044] En referencia a la figura 9, los sensores multielemento se colocan para obtener una amplitud de barrido optimizada para un ángulo de 60°.

[0045] Por lo tanto, la placa según la invención permite mover todos los sensores al mismo tiempo y con la misma amplitud con respecto a la soldadura. Permite además controlar soldaduras espesas únicamente por la superficie exterior de la pieza a controlar.

[0046] Naturalmente, la invención no se limita a las realizaciones descritas con referencia a las figuras y se pueden considerar variantes sin abandonar el marco de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de ensayo no destructivo de una soldadura (1) en una pieza para reactor nuclear, combinando el control la técnica por medida del tiempo de vuelo y la técnica phased-array, comprendiendo la pieza una superficie exterior (10), comprendiendo la soldadura (1) una primera zona (z1) próxima a la superficie exterior (10) y una segunda zona (z2) más alejada de la superficie exterior (10), utilizando el procedimiento un dispositivo de control (2) que comprende una placa (3) sobre la cual se fijan:
 - un primer sensor TOFD monoelemento (4) para sondear la primera zona (z1) de la soldadura (1), comprendiendo el primer sensor TOFD monoelemento (4) un emisor monoelemento (7) y un receptor monoelemento (8), estando el emisor monoelemento (7) y el receptor monoelemento (8) alineados según un eje (11) perpendicular al eje a lo largo del cual se extiende la soldadura (1), y
 - un sensor TOFD multielemento (5) para sondear la segunda zona (z2) de la soldadura (1), comprendiendo el sensor TOFD multielemento (5) un emisor multielemento (15) y un receptor multielemento (16), siendo cada elemento del emisor multielemento controlable independientemente de los otros elementos de manera que emita un haz ultrasónico que permita sondear una parte de la segunda zona (z2), estando los parámetros de control insertados en un calculador y estando definidas las leyes de retraso al impulso sobre los elementos del emisor multielemento, quedando definido el emisor estando alineados el receptor multielemento (15) y el receptor multielemento (16) según un eje (17) perpendicular al eje según el cual se extiende la soldadura (1), incluyendo la placa (3) una primera sonda multielemento (18), emitiendo la primera sonda multielemento (18) haces de ondas transversales, siendo la primera sonda multielemento (18) capaz de generar ondas transversales con ángulos refractados de 45° a 70° y una desorientación de -15° a + 15°, incluyendo la primera sonda multielemento (18) un emisor multielemento (19) y un receptor multielemento (20), estando el emisor multielemento (19) y el receptor multielemento (20) dispuestos en un mismo lado de la soldadura.
2. Procedimiento según la reivindicación anterior, donde la primera zona (z1) está situada a una profundidad (p1) comprendida entre 0 y 10 mm.
3. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la segunda zona (z2) está situada a una profundidad (p2) comprendida entre 30 y 300 mm.
4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la soldadura (1) comprende además una tercera zona (z3) situada entre la primera zona (z1) y la segunda zona (z2), utilizando el procedimiento un segundo sensor TOFD monoelemento (6) para sondear la tercera zona (z3) de la soldadura (1).
5. Procedimiento según la reivindicación anterior, donde la tercera zona (z3) está situada a una profundidad comprendida entre 5 y 40 mm.
6. Dispositivo de control no destructivo que combina la técnica de medición del tiempo de vuelo y la técnica phased-array de una soldadura en una pieza para reactor nuclear, comprendiendo el dispositivo una placa (3) sobre la que se fijan:
 - un primer sensor TOFD monoelemento (4) para sondear una primera zona (z1) de la soldadura (1), comprendiendo el primer sensor TOFD monoelemento (4) un emisor monoelemento y un receptor monoelemento, estando el emisor monoelemento (7) y el receptor monoelemento (8) adaptados para estar alineados según un eje (11) perpendicular al eje según el cual se extiende la soldadura (1); y
 - un sensor TOFD multielemento(5) para sondear una segunda zona (z2) de la soldadura (1) más alejada de una superficie exterior (10) de la pieza a controlar que la primera zona (z1), comprendiendo el sensor TOFD multielemento (5) un emisor multielemento y un receptor multielemento, estando el emisor multielemento (15) y el receptor multielemento (16) alineados según un eje (17) perpendicular al eje según el cual se extiende la soldadura (1), siendo cada elemento del emisor multielemento controlable independientemente de los otros elementos de manera que emite un haz ultrasónico que permite sondear una parte de la segunda zona (z2), y comprendiendo la placa (3) además una primera sonda multielemento (18), siendo la primera sonda multielemento (18) capaz de generar ondas transversales con ángulos refractados de 45° a 70° y una desorientación de -15° a + 15°, comprendiendo la primera sonda multielemento (18) un emisor multielemento (19) y un receptor multielemento (20), siendo el emisor multielemento (19) y el receptor multielemento (20) aptos a estar dispuestos en un mismo lado de la soldadura.
7. Dispositivo de control según la reivindicación anterior, que comprende además un segundo sensor TOFD monoelemento (6) apto para sondear una tercera zona (z3) de la soldadura (1).

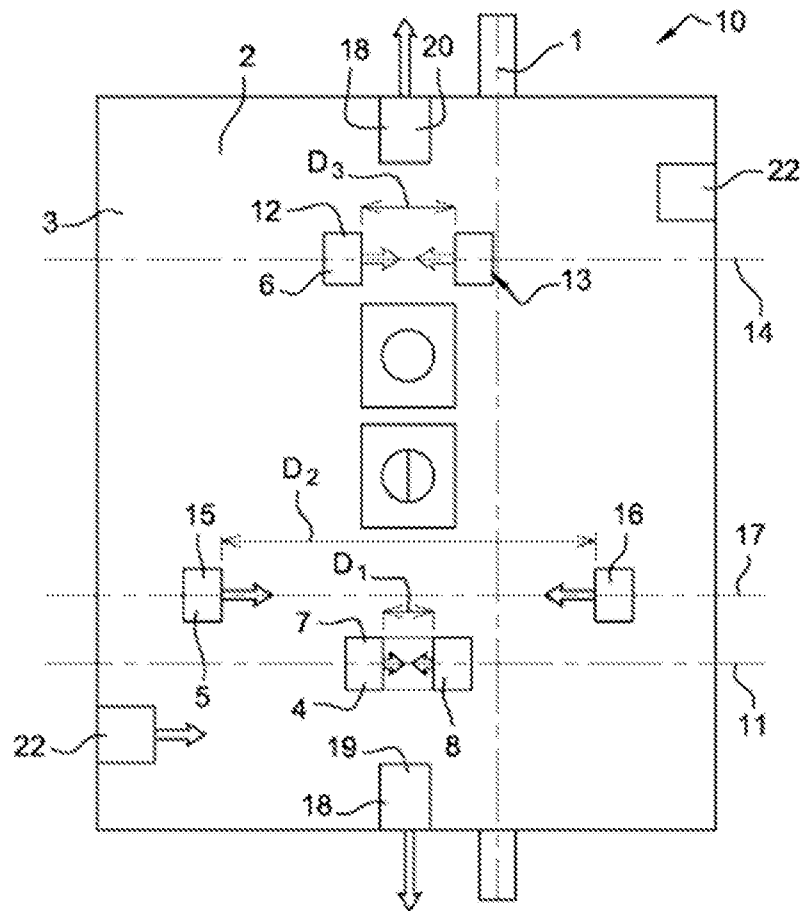


Fig. 1

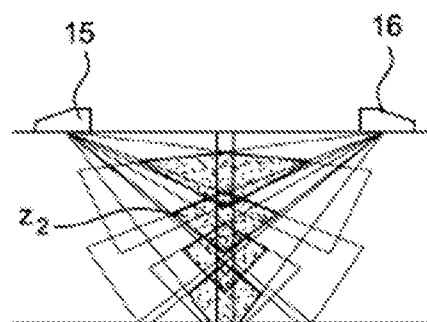


Fig. 2

Fig. 3

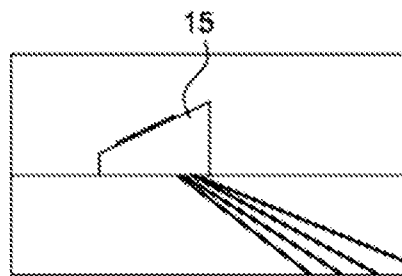
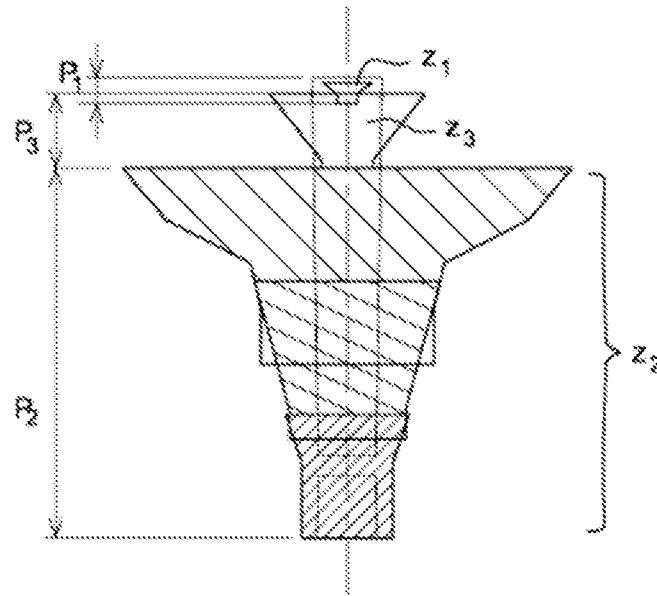


Fig. 4

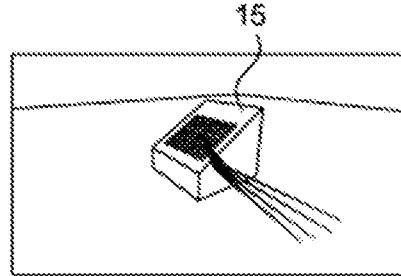


Fig. 5

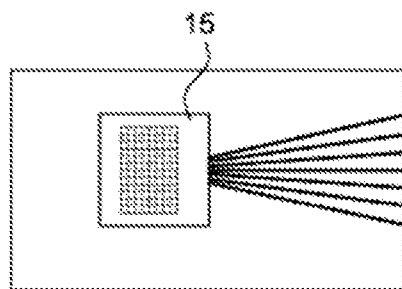


Fig. 6

19

21

50	51	52	53	54	55	56
43	44	45	46	47	48	49
36	37	38	39	40	41	42
29	30	31	32	33	34	35
22	23	24	25	26	27	28
15	16	17	18	19	20	21
8	9	10	11	12	13	14
1	2	3	4	5	6	7

Fig. 7

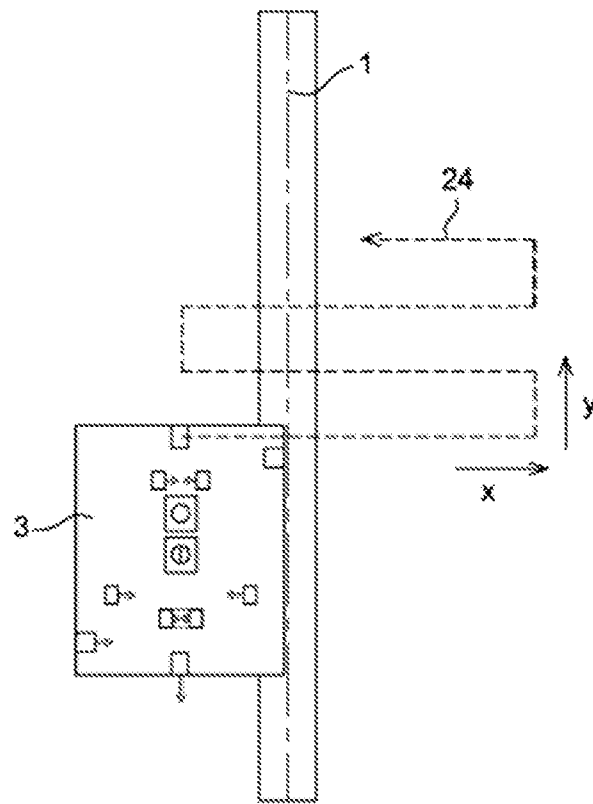


Fig. 8

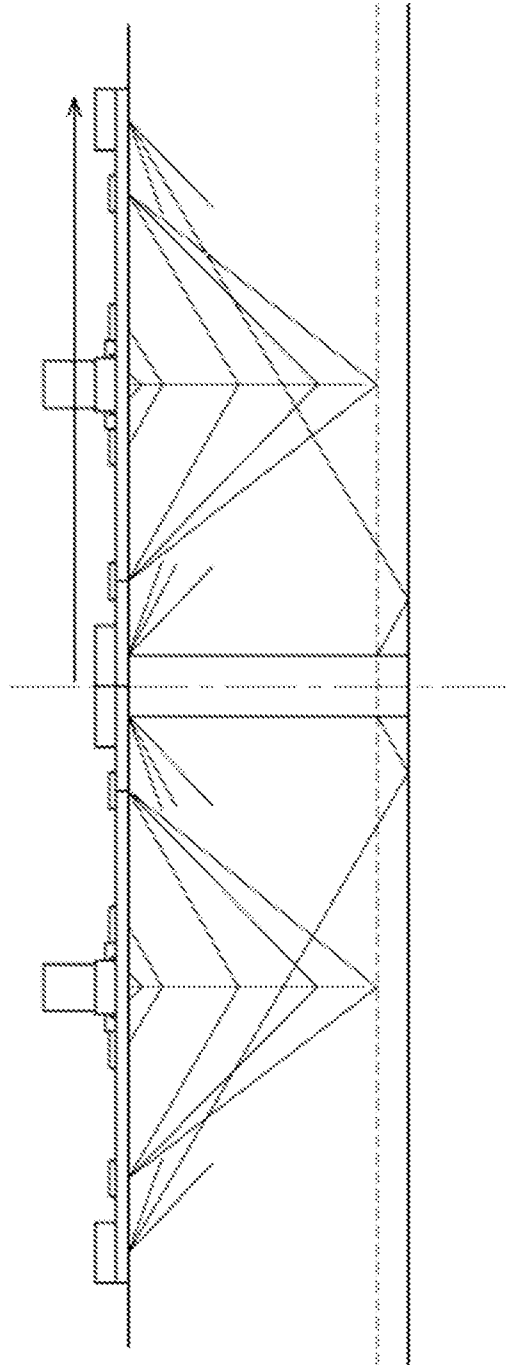


Fig. 9