

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 745 122**

51 Int. Cl.:

G01N 29/04 (2006.01)

G01N 29/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.07.2012** **E 12176468 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.08.2019** **EP 2546641**

54 Título: **Detector de defectos ultrasónico y método de detección ultrasónica de defectos para objetos que tienen una forma superficial compleja**

30 Prioridad:

15.07.2011 JP 2011157056

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

27.02.2020

73 Titular/es:

KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA (100.0%)
1-1, Shibaura 1-Chome, Minato-Ku
Tokyo 105-8001, JP

72 Inventor/es:

YAMAMOTO, SETSU;
MIURA, TAKAHIRO;
SEBOSHI, JUN;
OCHIAI, MAKOTO;
NAGAI, SATOSHI;
WATANABE, KAZUMI;
MITSUHASHI, TADAHIRO;
ADACHI, HIROYUKI;
YAMAMOTO, SATOSHI;
TAKABAYASHI, JUNICHI y
OTSUKA, MASARU

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 745 122 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

Detector de defectos ultrasónico y método de detección ultrasónica de defectos para objetos que tienen una forma superficial compleja

Antecedentes de la invención**Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un detector de defectos ultrasónico y a un método de detección ultrasónica de defectos.

Descripción de la técnica relacionada

El ensayo de detección de defectos ultrasónico es una tecnología no destructiva que permite verificar la solidez de la superficie y del interior de un material de construcción, y es una tecnología de ensayo indispensable en diversos campos. Especialmente, en los últimos años, existe una demanda de ensayos de una construcción que tiene una forma superficial compleja, tal como una superficie curva, y la demanda tecnológica con respecto a la detección ultrasónica de defectos es cada vez mayor.

En el caso de que un objeto a inspeccionar tenga una forma superficial compleja, existe el problema de que una onda ultrasónica no puede emitirse adecuadamente sobre el objeto. Por ejemplo, en una línea de soldadura y su zona afectada por el calor, una porción que está diseñada para ser plana se convierte en no plana accidentalmente debido a un esfuerzo o deformación tipo chevron causada por el aporte de calor de soldadura o en una forma convexa formada después de verter el metal fundido.

Además, diversas estructuras de tuberías tipificadas por un adaptador de boquilla, por ejemplo, de una planta de energía nuclear o de una planta de energía térmica, o una región de plataforma de una pala de turbina están diseñadas para tener una forma compleja, e incluso si se construyen como se diseñan, su ensayo es difícil. Si dicho objeto se toma como objeto del ensayo de detección de defectos ultrasónico, no puede emitirse una onda ultrasónica sobre el objeto o, aunque la onda ultrasónica se emita, no puede obtenerse un ángulo de refracción deseado.

En contraste, una matriz en fases (PA, por sus siglas en inglés phased array) es una tecnología para formar una forma de onda dada disponiendo pequeños sensores ultrasónicos y variando la sincronización de los sensores (tiempo de retardo) y emitiendo ondas ultrasónicas. En comparación con una sonda monolítica que solo puede emitir ondas ultrasónicas en un ángulo predeterminado, la matriz en fases posiblemente puede hacer frente a una forma compleja.

Sin embargo, con la tecnología de matriz en fases, el tiempo de retardo que refleja la forma debe calcularse para cada objetivo. Además, el valor de la forma que se reflejará debe incluir no solo los valores en un dibujo, sino también los valores según ejecución (un dibujo creado en función de las condiciones existentes y de los datos de análisis). En consecuencia, para llevar a cabo la detección ultrasónica de defectos en una región de forma compleja, se necesita una tecnología para medir la forma superficial de un objetivo con alta precisión, así como una tecnología para controlar las ondas ultrasónicas (calcular el tiempo de retardo) de acuerdo con la curvatura.

Para resolver las cuestiones anteriores, se propone convencionalmente un método que mide la forma superficial de un objeto mediante una sonda ultrasónica, optimiza el tiempo de retardo de transmisión de la PA de acuerdo con la forma medida y realiza ensayos (por ejemplo, la patente japonesa abierta a inspección pública N.º 2007-170877: Documento de patente 1).

Sin embargo, el Documento de patente 1 solo describe la optimización de las condiciones de tiempo de retardo de acuerdo con la forma superficial de un objeto. Por lo tanto, cuando se usa una exploración electrónica, que, tipificada por una exploración lineal, mueve secuencialmente los elementos a usar, los elementos a usar se fijan con respecto a un punto focal y, por lo tanto, surge el problema de que una onda ultrasónica entra desde un punto de incidencia no esperado. También se proporciona un problema de una onda ultrasónica que no alcanza una porción de ensayo debido al uso de un elemento en un ángulo ciego.

Por otro lado, la emisión de una onda ultrasónica de acuerdo con la forma superficial permite hacer frente al problema del ángulo de incidencia del cambio de la onda ultrasónica. Sin embargo, en el momento de visualizar un resultado de detección de defectos, se visualiza un eco de indicación de defectos en una porción diferente de la posición de detección real en un resultado de detección de defectos que se visualiza en el caso de que el análisis se haya desarrollado sin tener en cuenta la influencia de la forma superficial.

La posición de un eco de indicación no puede identificarse con precisión a menos que el resultado de detección de defectos se corrija por separado teniendo en cuenta la influencia de la forma superficial, y se produzca un error en la

posición de detección. Es decir, la precisión de detección de defectos se reduce considerablemente. También es concebible que un eco de indicación se extienda y se visualice con una forma diferente del defecto real. Esto puede superarse si un inspector corrige el error de posición de detección mediante el cálculo manual mientras tiene en cuenta la influencia de la forma superficial. Pero esto aumentará la presión sobre el inspector. Además, si la forma superficial es compleja, la corrección requerirá mucha habilidad.

Además, en "An adaptive system for advanced NDT applications using phased arrays", de S. Mahaut et al., Ultrasonics 36 (1998) 127 - 131, XP 004119500 se divulga un sistema adaptativo para el examen no destructivo. En este documento, se suministran leyes de retardo y amplitud para formar un haz ultrasónico.

Además, en el documento JP 2006 047328 A se divulga un método de detección ultrasónica de defectos para detectar defectos finos.

Sumario de la invención

La presente invención se ha realizado en vista de las circunstancias anteriores, y un objetivo de la misma es proporcionar un detector de defectos ultrasónico y un método del mismo, que sean capaces de lograr una alta precisión de detección independientemente de la forma superficial de un objeto.

En la reivindicación 1 se define una realización del detector de defectos ultrasónico de la presente invención proporcionado para resolver los problemas descritos anteriormente.

Además, en la reivindicación 7 se define una realización del método de detección ultrasónica de defectos de la presente invención proporcionado para resolver los problemas descritos anteriormente.

Con la detección ultrasónica de defectos y el método de la misma de acuerdo con las realizaciones de la presente invención, puede lograrse una alta precisión de detección independientemente de la forma superficial de un objeto a inspeccionar.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama de bloques funcional que muestra una configuración de una realización de un detector de defectos ultrasónico de acuerdo con la presente invención;

la figura 2 es un diagrama explicativo que muestra un ejemplo de detección general de defectos;

la figura 3 es un diagrama explicativo que muestra un ejemplo de reconstrucción general de un resultado de detección de defectos;

la figura 4 es un diagrama de flujo que muestra un método general de detección de defectos;

la figura 5 es un diagrama explicativo de ensayos de detección de defectos en los que se forma una superficie curva en la superficie de una tubería;

la figura 6 es un diagrama explicativo de una trayectoria de propagación de ondas ultrasónicas en la que se realiza la detección de defectos sin tener en cuenta la forma superficial de una tubería;

la figura 7 es un diagrama explicativo de una trayectoria de propagación de ondas ultrasónicas en la que se realiza la detección de defectos teniendo en cuenta la forma superficial de una tubería;

la figura 8 es un diagrama explicativo que muestra una trayectoria de propagación de ondas ultrasónicas en la que la detección de defectos se realiza mediante un detector de defectos ultrasónico de acuerdo con la presente realización;

la figura 9 es un diagrama de flujo que describe un concepto de un método de detección de defectos del detector de defectos ultrasónico de la presente realización;

la figura 10 es un diagrama de flujo que describe un proceso de establecimiento de la condición de detección de defectos realizado por el detector de defectos ultrasónico de la presente realización;

la figura 11 es un diagrama explicativo que muestra un estado de propagación de una onda ultrasónica en una tubería;

la figura 12 es un diagrama explicativo de un caso del detector de defectos ultrasónico que obtiene las coordenadas centrales E_c de elementos accionados simultáneamente y similares;

la figura 13 es un diagrama explicativo que muestra un ejemplo de una forma de onda de fase coincidente $U_j(t)$ obtenida por el detector de defectos ultrasónico de acuerdo con la presente realización;

la figura 14 es un diagrama explicativo de un caso en el que una sonda ultrasónica desarrolla la exploración;

la figura 15 es un diagrama explicativo de un caso de obtención de una inclinación θ_j de una superficie de tubería;

la figura 16 es otro diagrama explicativo de un caso de obtención de una inclinación θ_j de una superficie de tubería;

la figura 17 es un diagrama explicativo de un método para medir una función de forma superficial que usa un método de tiempo de vuelo;

la figura 18 es un diagrama explicativo de un método para medir una función de forma superficial que usa síntesis de apertura;

la figura 19 es un gráfico que muestra la comparación entre las funciones de forma superficial obtenidas por los

métodos de las figuras 17 y 18 y un valor verdadero;

la figura 20 es un diagrama que muestra el resultado de una simulación desarrollada bajo condiciones predeterminadas para la intensidad de una onda ultrasónica suponiendo que la forma superficial es plana;

la figura 21 es un diagrama que muestra el resultado de una simulación desarrollada bajo condiciones predeterminadas para la intensidad de una onda ultrasónica suponiendo que la forma superficial es curva;

la figura 22 es un diagrama que muestra el resultado de desarrollar una reconstrucción sin tener en cuenta la forma superficial de un objeto.

la figura 23 es un diagrama que muestra el resultado de desarrollar una reconstrucción teniendo en cuenta la forma superficial de un objeto;

la figura 24 es un diagrama explicativo de un caso en el que surge una diferencia de sensibilidad debido a una diferencia entre las formas superficiales de una tubería;

la figura 25 es un diagrama explicativo de un caso en el que la ganancia de una onda ultrasónica U se ajusta de acuerdo con la forma superficial de una tubería;

la figura 26 es un diagrama explicativo de un caso en el que el número de elementos accionados simultáneamente se ajusta de acuerdo con la forma superficial de una tubería;

la figura 27 es un diagrama explicativo de un caso en el que se aplica una exploración sectorial para la detección ultrasónica de defectos sin tener en cuenta la forma superficial de una tubería; y

la figura 28 es un diagrama explicativo de un caso en el que se aplica una exploración sectorial para la detección ultrasónica de defectos teniendo en cuenta la forma superficial de una tubería.

Descripción de las realizaciones preferidas

A continuación se describirá una realización de un detector de defectos ultrasónico de acuerdo con la presente invención y un método del mismo con referencia a los dibujos adjuntos.

La figura 1 es un diagrama de bloques funcional que ilustra una configuración de una realización del detector de defectos ultrasónico de acuerdo con la presente invención. De acuerdo con la presente realización, un objeto a detectar es una tubería 2, y se describirá un ejemplo con referencia a un caso en el que la detección de defectos usando ondas ultrasónicas se dirige a una porción de defecto de la tubería 2. La línea punteada en la figura 1 indica el centro de la tubería.

El detector de defectos ultrasónico del presente ejemplo está provisto básicamente de una sonda ultrasónica y, en asociación con la sonda ultrasónica, un transmisor/receptor ultrasónico y una unidad de control de elementos de accionamiento para controlar un elemento de accionamiento, y una unidad de cálculo para calcular la información de control del elemento de accionamiento.

Más específicamente, un detector de defectos ultrasónico 1 generalmente está compuesto por una sonda ultrasónica 11 y, en asociación con la sonda ultrasónica, un transmisor/receptor ultrasónico 12 para transmitir/recibir ondas ultrasónicas y una unidad de control de elementos de accionamiento 13 para controlar un elemento de accionamiento, y una unidad de cálculo 18 para calcular información para la unidad de control de elementos de accionamiento 13 para controlar un elemento de accionamiento. Además, como se describe más adelante, el detector de defectos ultrasónico 1 conectado a la unidad de control de elementos de accionamiento 13 está provisto de una unidad de grabación de señales 14, una unidad de análisis 15, una unidad de visualización 16 y una base de datos de diseño 17.

La sonda ultrasónica 11 es una sonda ultrasónica bien conocida que transmite/recibe ondas ultrasónicas U. La sonda ultrasónica 11 emite una onda ultrasónica U en la tubería 2 a través del medio de acoplamiento acústico 3 accionando una pluralidad de elementos ultrasónicos, y recibe una onda ultrasónica reflejada de la tubería 2. El medio de acoplamiento acústico 3 es un medio que es capaz de propagar una onda ultrasónica, como agua, glicerina, aceite para máquinas, gel acrílico o gel de poliestireno, por ejemplo. Además, en la presente realización, a veces puede omitirse la ilustración del medio de acoplamiento acústico 3.

La sonda ultrasónica 11 tiene elementos ultrasónicos que están dispuestos unidimensionalmente y generalmente se conoce como un sensor de matriz lineal.

La sonda ultrasónica 11 incluye, por ejemplo, un mecanismo para generar una onda ultrasónica, un material de amortiguación para amortiguar una onda ultrasónica y una placa frontal unida a un plano de oscilación de una onda ultrasónica. El mecanismo para generar una onda ultrasónica es, por ejemplo, cerámica o materiales compuestos de cerámica, o un elemento piezoeléctrico que genera una onda ultrasónica por efecto piezoeléctrico, o un elemento piezoeléctrico formado por una película de polímero.

Además, la sonda ultrasónica puede ser un sensor de matriz de 1,5 dimensiones en el que los elementos se dividen de manera desigual en la dirección de profundidad de un sensor de matriz lineal, un sensor de matriz matricial en el que los elementos están dispuestos en dos dimensiones, o un sensor de matriz en anillo en el que los elementos en forma de anillo están dispuestos concéntricamente. La sonda ultrasónica también puede ser un sensor de matriz en anillo dividida en el que los elementos de un sensor de matriz en anillo se dividen en la dirección circunferencial, un

sensor de matriz aleatoria en el que los elementos están dispuestos aleatoriamente, un sensor de matriz en arco en el que los elementos están dispuestos en posiciones en la dirección circunferencial de un arco, un sensor de matriz esférica en el que los elementos están dispuestos en la superficie de una esfera, o cualquier otro sensor de matriz.

5 A continuación, se explicará la función de cada uno de los elementos estructurales descritos anteriormente. El transmisor/receptor ultrasónico 12 está conectado a la sonda ultrasónica 11, y maneja la transmisión/recepción de una onda ultrasónica. La unidad de control de elementos de accionamiento 13 controla un elemento ultrasónico que debe accionar realmente al transmisor/receptor ultrasónico 12 en respuesta a la información de control de accionamiento para un elemento ultrasónico calculado por la unidad de cálculo 18. La unidad de control de elementos de accionamiento 13 incluye una unidad de ajuste de sensibilidad de transmisión/recepción 21, y una
10 unidad de control de retardo 22, en la que la unidad de ajuste de sensibilidad de transmisión/recepción 21 ajusta la sensibilidad de transmisión/recepción para una onda ultrasónica del transmisor/receptor ultrasónico 12. Por otro lado, la unidad de control de retardo 22 controla la oscilación de cada uno de una pluralidad de elementos ultrasónicos de acuerdo con un tiempo dado.

15 Además, la unidad de grabación de señales 14 almacena una señal recibida (señal ultrasónica) recibida por la unidad de control de elementos de accionamiento 13.

20 La unidad de análisis 15 analiza la señal recibida almacenada en la unidad de grabación de señales 14 y calcula un resultado de detección de defectos. Específicamente, la unidad de análisis 15 calcula el resultado de detección de defectos basándose en la trayectoria de propagación de una onda ultrasónica obtenida en función de la información de la superficie de la tubería 2 sobre la que se emite la onda ultrasónica. Es decir, la unidad de análisis 15 obtiene la trayectoria de propagación de la onda ultrasónica usando un ángulo relativo entre la superficie de la tubería 2, en una posición en la que se emite la onda ultrasónica y la sonda ultrasónica 11.

25 La unidad de visualización 16 visualiza el resultado de detección de defectos obtenido por la unidad de análisis 15. La base de datos de diseño 17 que está conectada a la unidad de análisis 15 almacena por adelantado datos sobre la forma superficial de la tubería 2 en la fase de diseño.

30 Además, el detector de defectos ultrasónico 1 no está limitado a la configuración mencionada anteriormente, siempre que añada un tiempo de retardo a la sonda ultrasónica compuesta por una pluralidad de elementos piezoeléctricos y controle la transmisión/recepción de ondas ultrasónicas. Además, se conoce bien un método de detección de defectos para desarrollar el control de retardo de transmisión/recepción de ondas ultrasónicas usando una pluralidad de elementos piezoeléctricos, tales como una matriz en fases, y por lo tanto, se omite una explicación
35 detallada del mismo.

Al instalar la sonda ultrasónica 11, puede usarse una cuña para usar un ángulo con un alto grado de directividad. La cuña es un material isotrópico que permite la propagación de una onda ultrasónica y en el que se capta la impedancia acústica. La cuña está formada por acrílico, poliimida, gel o cualquier otro material polimérico, por
40 ejemplo. Además, para evitar la influencia de una onda reflejada de forma múltiple dentro de la cuña en un resultado de detección de defectos, pueden disponerse materiales de amortiguación dentro y fuera de la cuña, puede proporcionarse una forma de absorción de ondas en forma de montaña o un mecanismo para la reducción de la reflexión múltiple.

45 A continuación, se describirá un método de detección de defectos que usa una matriz en fases (PA) básica.

La figura 2 es un diagrama explicativo que muestra un ejemplo de detección básica de defectos, y la figura 3 es un diagrama explicativo que muestra un ejemplo de reconstrucción básica de un resultado de detección de defectos.

50 Con referencia a las figuras 2 y 3, para emitir ondas ultrasónicas U en la tubería 2 en un ángulo de refracción β dado y en posiciones focales dadas, una pluralidad de elementos ultrasónicos (elementos piezoeléctricos) proporcionados a la sonda ultrasónica 11 de la PA se administran con el tiempo de retardo apropiado y luego se oscilan. La dirección y las posiciones focales de las ondas ultrasónicas se controlan de este modo.

55 Si hay un reflector como un defecto dentro de la tubería 2, una onda ultrasónica U emitida en la tubería 2 se refleja y se dispersa. Un elemento ultrasónico de la sonda ultrasónica 11 recibe la onda ultrasónica reflejada. La forma de onda de la onda ultrasónica se representa gráficamente en la dirección de la exploración electrónica de acuerdo con un ángulo de incidencia α y con el ángulo de refracción β de la onda ultrasónica que se han establecido.

60 Esta representación gráfica generalmente se conoce como B-scan o S-scan. Como se muestra en la figura 3, se reconstruye una imagen basándose en el ángulo de incidencia α y en el ángulo de refracción β que están de acuerdo con las condiciones de detección de defectos en el momento de la detección de defectos. En la siguiente explicación, se usará el B-scan.

65 En el presente documento, se describirá un método básico de detección de defectos usando el diagrama de flujo de la figura 4.

Primero, se calcula el tiempo de retardo de acuerdo con las condiciones de detección de defectos, como el ángulo de refracción β y la posición focal en la tubería 2 (etapa S1). Posteriormente, se instala la sonda ultrasónica 11 sobre la tubería 2 y se inicia la exploración (etapa S2).

La detección de defectos se realiza en la tubería 2 de acuerdo con la exploración (etapa S3), y se reconstruyen los datos sobre la forma de onda de la onda ultrasónica obtenida de acuerdo con las condiciones de detección de defectos, como el ángulo de refracción β , y se prepara un B-scan (etapa S4). Posteriormente, se cambia la posición de exploración de la tubería 2, y se repiten las etapas desde la etapa de instalación/operación S2 hasta la etapa de reconstrucción S4.

Aquí, si la etapa de detección de defectos S3 y la etapa de reconstrucción S4 se desarrollan bajo condiciones de detección de defectos suponiendo una condición de planaridad en un caso en el que haya una superficie curva tal como una ondulación (una curva parcial) debido a un exceso de metal de soldadura o de rectificado (figura 5) o en un caso en el que la tubería 2 no sea plana desde el principio, una onda ultrasónica no entra en un ángulo esperado. Además, se produce un error en el resultado de la detección.

La figura 5 es un diagrama explicativo del ensayo de detección de defectos en el que se forma una superficie curva 2a en la superficie de la tubería 2.

En el caso de que el cálculo se desarrolle bajo las condiciones de detección de defectos suponiendo una condición de planaridad como se muestra en la figura 2, la detección de defectos se realiza con el ángulo de incidencia α desde cualquier posición de la sonda ultrasónica 11. Por lo tanto, si se emite una onda ultrasónica en la superficie de la tubería 2 que tiene una superficie curva 2a tal como una ondulación, el ángulo de refracción β no es fijo debido a la ley de Snell, y la trayectoria de propagación de una onda ultrasónica varía según la posición de incidencia.

El proceso anterior evita no solo la detección de defectos con una onda ultrasónica esperada, sino también, en función del ángulo de incidencia α , la emisión de una onda ultrasónica en la tubería 2. Además, en el caso de evaluar una señal ultrasónica recibida, si la reconstrucción se realiza bajo condición de planaridad sin tener en cuenta la forma superficial de la tubería 2, se producirá una desviación de la trayectoria de propagación real de una onda ultrasónica.

Este punto se describirá con mayor detalle a continuación.

La figura 6 es un diagrama explicativo de una trayectoria de propagación de ondas ultrasónicas en el que la detección de defectos se realiza sin tener en cuenta la forma superficial de la tubería 2. La figura 7 es un diagrama explicativo de una trayectoria de propagación de ondas ultrasónicas en el que la detección de defectos se realiza teniendo en cuenta la forma superficial de la tubería 2.

Como se muestra en la figura 6, las ondas ultrasónicas U se transmiten bajo una condición suponiendo que la superficie de la tubería 2 es una superficie plana. En este caso, los ángulos incidentes α son uniformes, pero los ángulos de refracción β se vuelven no uniformes bajo la influencia de la forma superficial y las ondas ultrasónicas incidentes seguirán trayectorias diferentes de la trayectoria esperada. Una posición de defecto obtenida por la reconstrucción incluirá un error con respecto a la posición real de un defecto existente en la tubería 2, lo que dará lugar a un error o se pasará por alto en la evaluación de un resultado de detección de defectos.

En la figura 7, se tiene en cuenta la forma superficial de la tubería 2, y el tiempo de retardo se controla de manera que una onda ultrasónica entre en un punto focal F de la tubería 2. Con una exploración lineal general, la combinación de elementos ultrasónicos que se usan simultáneamente (elementos accionados simultáneamente) se decide de antemano. Estos elementos accionados simultáneamente se mueven secuencialmente. Las constantes en las condiciones para la detección de defectos son la posición central Ec de los elementos accionados simultáneamente, que son los puntos de partida de las ondas ultrasónicas y los puntos focales F dentro de la tubería 2, que son los puntos objetivo, y los parámetros son puntos incidentes S.

Es decir, también en este caso, los ángulos de refracción β no son necesariamente uniformes, y no se cumple un requisito general para el ensayo ultrasónico adoptado por las normas (como JIS) de que "el ensayo de detección de defectos se realiza con ángulos de refracción β uniformes". Además, dependiendo de la forma superficial de la tubería 2, posiblemente se use de manera inevitable un elemento que puede no emitir adecuadamente una onda ultrasónica, y puede no emitirse una onda ultrasónica de intensidad suficiente.

En contraste con la tecnología de detección ultrasónica de defectos como se ha descrito anteriormente, el detector de defectos ultrasónico 1 de la presente realización, en consideración de la forma superficial de la tubería 2, puede emitir adecuadamente ondas ultrasónicas en la tubería 2 y también hacer que los ángulos de refracción β sean uniformes.

Se describirá una trayectoria de propagación de ondas ultrasónicas en un caso de realizar la detección de defectos

mediante el detector de defectos ultrasónico 1 de la presente realización, con referencia a la figura 8.

Con referencia a la figura 8, el detector de defectos ultrasónico 1 realiza la detección de defectos calculando la información de control con respecto a un elemento ultrasónico mediante la unidad de cálculo 18, y accionando el elemento ultrasónico mediante la unidad de control de elementos de accionamiento 13 basándose en la información de control. Específicamente, los puntos incidentes S y los puntos focales F se fijan como constantes en función de la forma superficial conocida de la tubería 2 y de los ángulos de refracción β deseados, y los elementos ultrasónicos óptimos se calculan de nuevo con la posición central Ec de los elementos accionados simultáneamente como parámetro. El detector de defectos ultrasónico 1 usa los elementos ultrasónicos obtenidos y desarrolla la detección de defectos controlando el tiempo de retardo de los elementos ultrasónicos. El detector de defectos ultrasónico 1 puede mantener siempre ángulos de refracción β uniformes.

A continuación, se describirá un método de detección de defectos del detector de defectos ultrasónico 1 de la presente realización.

La figura 9 es un diagrama de flujo que describe una visión general de un método de detección de defectos del detector de defectos ultrasónico 1 de la presente realización.

Primero, se instala la sonda ultrasónica 11 sobre la tubería 2 y se inicia la exploración (etapa S11), y se mide la forma superficial de la tubería 2 usando un dispositivo de medición de forma (etapa S12). La forma superficial puede obtenerse midiendo la forma según ejecución, o importando los datos de medición almacenados en la base de datos de diseño 17. Los detalles de la etapa de adquisición de forma S12 se describirán más adelante.

A continuación, en la etapa S13, la unidad de control de retardo 22 calcula el tiempo de retardo óptimo para un elemento ultrasónico con respecto a la forma superficial, la sonda ultrasónica 11 realiza la detección de defectos en la tubería 2 (etapa S14), se reconstruyen los datos ultrasónicos de acuerdo con la forma superficial y se genera un B-scan (etapa S15).

Además, para generar un área de reconstrucción del resultado de detección de defectos M, existe un método concebible para calcular la posición en un resultado de detección de defectos M a partir de una señal ultrasónica Uj, y un método para calcular la posición de una señal ultrasónica Uj correspondiente a las coordenadas a partir de los puntos de coordenadas en el resultado de detección de defectos M.

Posteriormente, la etapa de instalación S11 a la etapa de reconstrucción S15 se repiten hasta que se completa la detección de defectos.

A continuación, se describirá un proceso para obtener coordenadas centrales (la posición central Ec en la figura 8) de elementos accionados simultáneamente usados para la detección de defectos.

La figura 10 es un diagrama de flujo que describe un proceso de establecimiento de la condición de detección de defectos realizado por el detector de defectos ultrasónico 1 de la presente realización. La figura 11 es un diagrama explicativo que muestra un estado de propagación de una onda ultrasónica en la tubería 2. La figura 12 es un diagrama explicativo de un caso del detector de defectos ultrasónico 1 que obtiene coordenadas centrales Ec de elementos accionados simultáneamente y similares.

En la presente realización, se dará una explicación tomando una sonda de matriz lineal como un ejemplo representativo y, por lo tanto, la información de coordenadas se expresará en dos dimensiones (x, z). Si se usa una sonda con elementos piezoeléctricos dispuestos en dos dimensiones, como una matriz matricial, se establecerá en tres dimensiones (x, y, z).

Cuando las coordenadas de cada elemento son $E_i(x, z)$ ($i=1, 2, \dots, N$), y el número de elementos accionados simultáneamente es n ($1 \leq n \leq N$), para la detección de defectos se usarán los elementos de las coordenadas del elemento E_i a las coordenadas del elemento E_{i+n} . Las coordenadas centrales de los elementos de todos los elementos accionados simultáneamente son $E_c(x, z)$. Aquí, las coordenadas de la forma superficial de la tubería 2 están dadas por una función de forma superficial $S(x, z)$. Se desarrolla hasta "m" veces una secuencia j (patrón) de la detección de defectos en la función de forma superficial S, y como $F_j(x, z)$ se toma un punto focal en el que convergen las ondas ultrasónicas.

El punto focal F_j es un punto focal de una onda ultrasónica que ha entrado en un plano supuesto desde las coordenadas centrales Ec de los elementos accionados simultáneamente en el ángulo de incidencia α y se ha refractado en el ángulo de refracción β que converge a una profundidad establecida. Las coordenadas de la forma superficial en las que una línea recta con el ángulo de refracción β que pasa por el punto focal F_j interseca con la función de forma superficial S se toma como S_j (punto de incidencia S_j). La inclinación de la superficie de la tubería 2 en las coordenadas de forma superficial S_j (el ángulo relativo entre la sonda ultrasónica 11 y la superficie de la tubería 2) se toma como θ_j .

A continuación, se describirá un proceso de establecimiento de la condición de detección de defectos realizado por el detector de defectos ultrasónico 1 de la presente realización, con referencia al diagrama de flujo de la figura 10.

En el proceso de establecimiento de la condición de detección de defectos, en primer lugar, el detector de defectos ultrasónico 1 establece coordenadas en la superficie de la tubería (etapa S21). Específicamente, el detector de defectos ultrasónico 1 determina las coordenadas del elemento E_i de la sonda ultrasónica 11, y determina una función de forma superficial S en función del resultado de la medición o de los datos de diseño de la forma superficial de la tubería 2.

A continuación, el detector de defectos ultrasónico 1 calcula el punto focal F_j de la onda ultrasónica transmitida a partir de los elementos accionados simultáneamente con las coordenadas centrales E_c , usando las condiciones de detección de defectos usadas en la exploración lineal (exploración lineal normal) que se realiza cuando se supone que la forma superficial de la tubería 2 es plana (etapa S22). Más específicamente, el detector de defectos ultrasónico 1 transmite una onda ultrasónica desde las coordenadas centrales E_c en un ángulo de incidencia α , provoca la propagación dentro de la tubería 2 en un ángulo de refracción β obtenido cuando se supone que la onda ultrasónica ha entrado al tubo 2 con una forma plana, y supone como punto focal F_j un punto alcanzado a una profundidad de convergencia deseada de la onda ultrasónica.

Además, el detector de defectos ultrasónico 1 calcula un punto de incidencia S_j que está de acuerdo con la forma superficial real, usando el ángulo de refracción β y el punto focal F_j (etapa S23). Específicamente, el detector de defectos ultrasónico 1 dibuja una línea recta del ángulo de refracción β que pasa por el punto focal F_j , y toma el punto de intersección de la línea recta y la función de forma superficial S como el punto de incidencia S_j . El detector de defectos ultrasónico 1 calcula además una inclinación θ_j en el punto de incidencia S_j (etapa S24). El método de cálculo de la inclinación θ_j se describirá en detalle más adelante.

El detector de defectos ultrasónico 1 calcula el ángulo de incidencia α_j real (el ángulo de incidencia teniendo en cuenta la forma superficial) usando la ley de Snell y el punto focal F_j , el ángulo de refracción β , el punto de incidencia S_j y la inclinación θ_j que se han calculado y valores de velocidad del sonido conocidos en el medio de acoplamiento acústico 3 y en la tubería 2 (etapa S25). El ángulo de incidencia α_j real es un parámetro del método de detección ultrasónica de defectos de la presente realización.

El detector de defectos ultrasónico 1 calcula las coordenadas centrales E_{cj} reales (las coordenadas centrales de elementos accionados simultáneamente teniendo en cuenta la forma superficial) usando el punto de incidencia S_j y el ángulo de incidencia α_j (etapa S26). Específicamente, el detector de defectos ultrasónico 1 dibuja una línea recta desde el punto de incidencia S_j con una inclinación del ángulo α_j , y supone como E_{cj} las coordenadas centrales E_c más cercanas a la línea recta.

Posteriormente, el detector de defectos ultrasónico 1 calcula mediante cálculo numérico, para cada uno de los elementos "n" que tienen las coordenadas centrales E_{cj} como centro, la distancia más corta entre las coordenadas del elemento E_i y el punto focal F_j mediante la función de forma superficial S . El detector de defectos ultrasónico 1 obtiene el tiempo de propagación de cada onda ultrasónica a partir de una velocidad del sonido conocida, y calcula la diferencia del valor mínimo como el tiempo de retardo de cada elemento (etapa S27).

A continuación, el detector de defectos ultrasónico 1 realiza la detección de defectos usando el tiempo de retardo calculado y suma las formas de onda recibidas por los elementos al tiempo que refleja el tiempo de retardo. El detector de defectos ultrasónico 1 obtiene de este modo una forma de onda $U_j(t)$ de fase coincidente (etapa S28).

Se dará una explicación con referencia a un diagrama explicativo de la figura 13 que muestra un ejemplo de la forma de onda $U_j(t)$ de fase coincidente obtenida por el detector de defectos ultrasónico 1 de acuerdo con la presente realización. El detector de defectos ultrasónico 1 asocia la forma de onda $U_j(t)$ de fase coincidente y la información de posición con respecto a la tubería 2 usando las coordenadas centrales E_{cj} , el punto de incidencia S_j , el punto focal F_j , el ángulo de refracción β , el ángulo de incidencia α_j y las velocidades del sonido del medio de acoplamiento acústico 3 y de la tubería 2 (condiciones de detección de defectos) (etapa S29).

Específicamente, el detector de defectos ultrasónico 1 calcula el tiempo de propagación de ondas ultrasónicas usando las condiciones de detección de defectos descritas anteriormente, y obtiene la intensidad de la forma de onda $U_m(t)$ de fase coincidente correspondiente a un área de reconstrucción $M(x, z)$ del resultado de detección de defectos. El detector de defectos ultrasónico 1 puede obtener un resultado de detección de defectos que se ha reconstruido trazando la intensidad de una forma de onda U_m correspondiente a las coordenadas M .

El detector de defectos ultrasónico 1 explora la sonda ultrasónica 11 y la instala en la siguiente posición de detección de defectos, repite la etapa de establecimiento de coordenadas S21 a la etapa de asociación S29 y obtiene un resultado de detección de defectos similar en la siguiente posición de detección de defectos.

La figura 14 es un diagrama explicativo de un caso en el que la sonda ultrasónica 11 desarrolla la exploración.

Cuando se adopta una matriz lineal como la sonda ultrasónica 11, el detector de defectos ultrasónico 1 explora la sonda ultrasónica 11 en una dirección ortogonal a la dirección de las matrices alineadas. El detector de defectos ultrasónico 1 puede por lo tanto obtener un resultado de detección de defectos tridimensional. También puede obtenerse un resultado similar realizando la exploración en una dirección dada en el caso de que se adopten otras sondas, como una sonda matricial y una sonda de matriz en anillo.

En el presente documento, se describirá un método para obtener la inclinación θ_j de la superficie de la tubería 2 en las coordenadas de forma superficial S_j , en el que la inclinación θ_j es un ángulo relativo entre la sonda ultrasónica 11 y la superficie de la tubería 2.

Con referencia a la figura 15, se dará una explicación para un caso de obtención de la inclinación θ_j de la superficie de la tubería 2.

La inclinación θ_j en el punto de incidencia S_j de una onda ultrasónica se calcula a partir de las coordenadas de forma superficial S_{j-1} y S_{j+1} adyacentes al punto de incidencia S_j . La inclinación θ_j también puede calcularse usando las coordenadas de forma superficial S_{j-a} y S_{j+a} que están separadas del punto de incidencia S_j por "a". La inclinación θ_j también puede calcularse usando cada punto a partir de las coordenadas de forma superficial S_{j-a} a S_{j+a} y desarrollando una aproximación lineal mediante un método como el método de mínimos cuadrados para pasar por cada punto.

La figura 16 es otro diagrama explicativo de un caso de obtención de la inclinación θ_j de la superficie de la tubería 2.

Como a veces se produce ruido en el resultado de la medición de la forma, si se usan todas las piezas de datos, puede calcularse θ_j' con un error con respecto a la inclinación real θ_j . Por esta razón, la inclinación θ_j puede calcularse después de eliminar puntos de datos que están muy desviados entre una pluralidad de puntos de las coordenadas de forma superficial S_{j-a} a S_{j+a} .

Además, cuando se identifica el punto de incidencia S_j a partir de las coordenadas centrales E_{cj} , ciertas coordenadas de forma superficial S_k y el punto focal F_j , la inclinación θ_j en cada posición de la función de forma superficial S puede calcularse primero. En este caso, el cálculo se desarrolla con respecto a las coordenadas centrales E_{cj} , las ciertas coordenadas de forma superficial S_k y el punto focal F_j a partir de las coordenadas S_1 a las coordenadas S_n , de acuerdo con la ley de Snell. Un valor con un valor mínimo absoluto del resultado de la medición puede tomarse como el punto de incidencia S_j en la relación posicional de las coordenadas centrales E_{cj} , las ciertas coordenadas de forma superficial S_k y el punto focal F_j .

A continuación, se dará una explicación sobre el método de medición de la función de forma superficial S de la tubería 2 con referencia a las figuras 17 y 18. La figura 17 es un diagrama explicativo de un método para medir la función de forma superficial que usa un método de tiempo de vuelo. La figura 18 es un diagrama explicativo de un método para medir la función de forma superficial que usa la síntesis de apertura.

El método de tiempo de vuelo es un método para recibir una onda ultrasónica U transmitida desde un elemento ultrasónico (coordenadas del elemento E_i) por el mismo elemento ultrasónico y para reconstruir la forma de la superficie de la tubería 2 a partir del tiempo de propagación del eco recibido.

Por otro lado, con el método de síntesis de apertura, se desarrolla un proceso de transmisión de una onda ultrasónica U desde un elemento ultrasónico (coordenadas del elemento E_i) y la recepción de la onda reflejada por todos los elementos en las coordenadas del elemento E_1 a E_N . Un elemento usado para la transmisión se cambia secuencialmente desde las coordenadas del elemento E_1 a E_N , y la forma superficial se mide usando los datos de medición. En este momento, no todas las piezas de datos de la forma de onda tienen que usarse para el proceso de síntesis de apertura, y pueden seleccionarse datos arbitrarios y usarse para el proceso.

La figura 19 es un gráfico que muestra la comparación entre las funciones de forma superficial obtenidas por los métodos de las figuras 17 y 18 y un valor verdadero.

La forma superficial de la tubería 2, que es el valor verdadero, se midió con un medidor de desplazamiento láser. La medición se desarrolló con alta precisión mediante el método de síntesis de apertura, pero se descubrió que el error es grande en la porción de curvatura de acuerdo con el método de tiempo de vuelo. Esto se debe a que, con el método de tiempo de vuelo, se recoge un eco cuya trayectoria de propagación no es el rayo de sonido L esperado sino una distancia más corta L' . En consecuencia, el método del tiempo de vuelo no es adecuado para medir una forma superficial compleja.

Sin embargo, dado que, en comparación con el método de síntesis de apertura, la cantidad de datos y el tiempo de procesamiento de la señal pueden reducirse considerablemente, el método del tiempo de vuelo es efectivo con un objeto con una curvatura pequeña o cuando se capta la posición relativa de la sonda ultrasónica y del objeto, por ejemplo.

Para medir la función de forma superficial, también pueden adoptarse otros métodos de medición de la forma superficial usando la sonda ultrasónica 11, como un método para adoptar un tiempo de retardo de acuerdo con el que el punto focal se encuentra en la superficie del objeto y medir la forma de la superficie a partir del tiempo de retardo, y un método para trazar concéntricamente los ecos obtenidos por el método del tiempo de vuelo para cada elemento y conectar las tangentes.

Se dará una explicación sobre el resultado de simular la trayectoria de propagación de ondas ultrasónicas en un caso en el que se usa el detector de defectos ultrasónico 1 de la presente realización.

La figura 20 es un diagrama que muestra el resultado de la simulación desarrollada bajo condiciones predeterminadas para la intensidad de una onda ultrasónica suponiendo que la forma superficial es plana. La figura 21 es un diagrama que muestra el resultado de la simulación desarrollada en condiciones predeterminadas para la intensidad de una onda ultrasónica suponiendo que la forma superficial es curva.

Las condiciones de retardo de transmisión para la sonda ultrasónica 11 son el ángulo de refracción β de 45 grados y la posición de formación del punto focal de $3/4t$ con respecto al espesor t de la tubería 2. En las figuras 20 y 21, la intensidad de una onda ultrasónica se muestra en función de la simulación del campo de sonido para un caso en el que la onda ultrasónica se emite sobre la superficie de la tubería 2 que tiene una superficie curva.

Como se muestra en la figura 20, aunque la onda ultrasónica entra al tubo 2 desde una parte de una superficie plana 2b de la superficie de la tubería 2, no entra suficientemente desde una superficie curva 2a. Por otro lado, como se muestra en la figura 21, en el caso de emitir la onda ultrasónica bajo las condiciones de retardo de transmisión de acuerdo con la superficie curva 2a, la onda ultrasónica entra en la tubería 2 también desde la superficie curva 2a.

El detector de defectos ultrasónico 1 puede mantener las condiciones constantes de detección de defectos dentro de la tubería 2 controlando, de acuerdo con la forma superficial de la tubería 2, el ángulo de incidencia en cada punto de incidencia de tal manera que las condiciones de detección de defectos dentro de la tubería 2 sean las mismas. Además, el detector de defectos ultrasónico 1 puede emitir la onda ultrasónica sobre la superficie curva 2a donde la detección de defectos no era posible en la figura 20.

A continuación, se describe el resultado de tomar como objeto un objeto de ensayo que simula una ondulación de una porción de soldadura y tiene un defecto, y realizar la detección de defectos mediante el detector de defectos ultrasónico 1 de la presente realización, y reconstruir la señal ultrasónica obtenida.

La figura 22 es un diagrama que muestra el resultado de desarrollar la reconstrucción sin tener en cuenta la forma superficial del objeto. La figura 23 es un diagrama que muestra el resultado de desarrollar la reconstrucción, teniendo en cuenta la forma superficial del objeto.

En estos ejemplos, la detección de defectos se realiza bajo la condición de que una onda ultrasónica se transmita desde una superficie curva (una ondulación) 33a en una superficie de detección de defectos 33 del objeto a un defecto 33b dado al objeto.

Como se muestra en la figura 22, todo el defecto 33b es la posición en la que se ejerce la influencia de la superficie curva 33a, pero una indicación de un eco de esquina 34 que es un eco de una abertura del defecto 33b que se produce en una superficie posterior 33c opuesta a la superficie de detección de defectos 33 del objeto se extiende en forma de arco. Además, también puede verse que un pico que muestra el eco de esquina 34 se coloca en un lado interno a la superficie de la superficie posterior 33c. Además, un eco de punta 35 que es un eco de una punta del defecto 33b en el interior del objeto no muestra un pico distinto. Por otro lado, en la figura 22, hay una región que muestra un eco en una posición en la que no existe el defecto 33b (en el lado izquierdo del diagrama).

Por otro parte, en la figura 23, la posición del eco de esquina 34 es más clara en comparación con la figura 22. Además, la posición del pico es distinta tanto para el eco de esquina 34 como para el eco de punta 35, y el error en la posición se reduce mucho.

Como se ha descrito, con la reconstrucción que no tiene en cuenta la forma superficial, las indicaciones del eco de esquina 34 y del eco de punta 35 del defecto 33b dado al interior del objeto que recibe la influencia de la superficie curva 33a no son claras, y además, la posición de indicación del defecto 33b incluye un error con respecto a la posición real del defecto 33b.

Por el contrario, con la reconstrucción que tiene en cuenta la forma superficial, las indicaciones del eco de esquina 34 y del eco de punta 35 del defecto 33b se muestran claramente, y además, la posición de indicación del defecto 33b es precisa.

Como se ha descrito, el detector de defectos ultrasónico 1 de la presente realización y el método de detección de defectos son capaces de realizar una detección ultrasónica de defectos precisa realizando la detección de defectos de acuerdo con la forma superficial de un objeto y reconstruyendo el resultado de la detección de defectos de

acuerdo con la forma superficial. El detector de defectos ultrasónico 1 y el método de detección de defectos pueden realizar la detección ultrasónica de defectos con alta precisión de detección en la superficie de un objeto que tiene una forma compleja.

Además, en la detección ultrasónica de defectos, puede producirse una diferencia de sensibilidad dependiendo de la forma superficial del objeto debido al ángulo de divergencia del haz de la onda ultrasónica, la transmitancia obtenida en función de la relación entre la inclinación θ_j y el ángulo de incidencia α_j , y similares. Esto significa que la precisión de detección de defectos varía según la influencia de la forma superficial del objeto y puede llevar a un error de medición significativo.

Por lo tanto, el detector de defectos ultrasónico 1 y el método de detección de defectos de la presente realización pueden desarrollar cálculos basados en la forma superficial del objeto y en el ángulo de divergencia del haz de la onda ultrasónica y pueden mantener constante la intensidad de las ondas incidentes que convergen en el punto focal.

La figura 24 es un diagrama explicativo que representa un caso en el que surge una diferencia de sensibilidad debido a una diferencia entre las formas superficiales de la tubería 2.

En las ilustraciones de las figuras 24 y 25, la diferencia en la intensidad de una onda ultrasónica U se expresa mediante el grosor de la línea (línea de puntos) que representa la onda ultrasónica U.

La intensidad de una onda ultrasónica U que entra a la superficie plana 2b de la tubería 2 es mayor que la de una onda ultrasónica U que entra a la superficie curva 2a, y la diferencia en los puntos incidentes en la superficie curva 2a y en la superficie plana 2b da como resultado la diferencia en la precisión de detección de defectos.

En consecuencia, por ejemplo, la ganancia de una onda ultrasónica oscilada desde un elemento ultrasónico que se usa se incrementa de antemano para una forma superficial con la sensibilidad más baja, o teniendo en cuenta la forma superficial con la sensibilidad más baja, la ganancia de una onda ultrasónica que entra en una forma superficial en la que la sensibilidad no se reduce fácilmente se reduce de antemano.

La figura 25 es un diagrama explicativo de un caso en el que la ganancia de la onda ultrasónica U se ajusta de acuerdo con la forma superficial de la tubería 2.

De acuerdo con la forma superficial de la tubería 2, el detector de defectos ultrasónico 1 reduce, por adelantado, la ganancia de una onda ultrasónica U que tiene un punto de incidencia en la superficie plana 2b con una alta sensibilidad. La intensidad de la onda ultrasónica U dentro de la tubería 2 se vuelve casi igual para la superficie curva 2a y para la superficie plana 2b.

Además, el número de elementos ultrasónicos que se accionan simultáneamente aumenta más que en un caso normal con respecto a una forma superficial con una sensibilidad más baja.

La figura 26 es un diagrama explicativo de un caso en el que el número de elementos accionados simultáneamente se ajusta de acuerdo con la forma superficial de la tubería 2.

El detector de defectos ultrasónico 1 ha aumentado el número "n1" de los elementos ultrasónicos que oscilan las ondas ultrasónicas que se emiten en la superficie curva 2a que el número "n2" de los elementos ultrasónicos que oscilan las ondas ultrasónicas cuyos puntos incidentes están en la superficie plana 2b. La intensidad de la onda ultrasónica U dentro de la tubería 2 se vuelve casi igual para la superficie curva 2a y para la superficie plana 2b.

El método para estimar la intensidad ultrasónica en un punto focal F puede incluir un método general de trazado de rayos u otros métodos de análisis numérico como un método de diferencia, un método de elementos finitos, un método FDTD y un método CIP.

Anteriormente, aunque se han descrito diversas realizaciones de la presente invención, estas realizaciones se presentan como ejemplos y no pretenden limitar el alcance de la invención.

Por ejemplo, el detector de defectos ultrasónico 1 y el método de detección de defectos pueden adoptarse con otros métodos de detección de defectos, como la exploración sectorial, que explora el ángulo de refracción en forma de abanico, y el enfoque dinámico de profundidad (DDF, por sus siglas en inglés, dynamic depth focusing), que cambia la profundidad del punto focal de acuerdo con un área a medir.

La figura 27 es un diagrama explicativo de un caso en el que la exploración sectorial se aplica a la detección ultrasónica de defectos sin tener en cuenta la forma superficial de la tubería 2. La figura 28 es un diagrama explicativo de un caso en el que la exploración sectorial se aplica a la detección ultrasónica de defectos, teniendo en cuenta la forma superficial de la tubería 2.

En el caso de que la forma superficial de la tubería 2 sea plana, las ondas ultrasónicas idealmente entran a la tubería 2 como las ondas ultrasónicas U1 mostradas con líneas de puntos en la figura 27. Sin embargo, si la forma superficial de la tubería 2 es curva, las ondas ultrasónicas no entran desde las posiciones previstas, y las ondas ultrasónicas entran a la tubería 2 como las ondas ultrasónicas U2 mostradas con líneas continuas en la figura 27.

5 Como resultado, el intervalo de detección de defectos no tendrá una forma de abanico ideal, y por lo tanto, la detección de defectos no puede realizarse con precisión.

Por el contrario, el detector de defectos ultrasónico de la presente realización y su método tienen en cuenta la forma superficial de la tubería 2 y desarrollan el cálculo retroactivo de los elementos accionados simultáneamente a partir del intervalo de detección de defectos con forma de abanico ideal de las ondas ultrasónicas U1 mostradas en la figura 27. Por lo tanto, es posible, como se muestra en la figura 28, realizar la detección de defectos ideal incluso si la forma superficial es curva, como en el caso en que la forma superficial es plana.

10

Además, la unidad de análisis 15 y la unidad de cálculo 18 pueden materializarse, en cada realización, mediante una unidad de procesamiento, una memoria, un programa para hacer que estas funcionen, y similares. En consecuencia, aunque la unidad de análisis 15 y la unidad de cálculo 18 se han descrito como elementos estructurales separados, también pueden integrarse en una pieza de hardware.

15

REIVINDICACIONES

1. Un detector de defectos ultrasónico (1) que comprende:

- 5 una sonda ultrasónica (11) que comprende una pluralidad de elementos ultrasónicos y configurada para emitir una onda ultrasónica (U) sobre un objeto (2) a inspeccionar y para recibir una onda ultrasónica reflejada desde el objeto (2);
 una unidad de control de elementos de accionamiento (13) configurada para controlar la pluralidad de elementos ultrasónicos para emitir la onda ultrasónica (U) sobre el objeto (2) y para controlar una onda ultrasónica reflejada desde el objeto (2);
 10 una unidad de control de retardo (22) configurada para controlar una oscilación de cada uno de la pluralidad de elementos ultrasónicos con un tiempo de retardo apropiado; y
 una unidad de análisis (15) configurada para analizar la señal recibida de la onda ultrasónica reflejada y para calcular un resultado de detección de defectos,
 15 una unidad de cálculo (18) configurada para obtener un ángulo de incidencia (α) de la onda ultrasónica (U) que entra en una posición de incidencia (S) usando un ángulo de refracción (β) de la onda ultrasónica (U) incidente en el objeto (2), la posición de incidencia (S) de la onda ultrasónica (U) sobre una superficie del objeto (2) y una forma superficial de una superficie del objeto (2) en la posición de incidencia (S), y para calcular retroactivamente la posición central (E_c) de una pluralidad de elementos ultrasónicos accionados simultáneamente, en función de la posición de incidencia (S) y del ángulo de incidencia (α), manteniendo ángulos de refracción (β) uniformes y fijando los puntos incidentes (S) y los puntos focales (F) del objeto como constantes, en donde
 20 la unidad de cálculo (18) está configurada además para calcular y obtener la posición de incidencia (S) en función del ángulo de refracción (β) y de un punto focal (F) de la onda ultrasónica (U), en el caso de accionar el elemento ultrasónico bajo condiciones de detección de defectos, que se usarán para el objeto (2) que tiene una forma superficial plana.
 25

2. El detector de defectos ultrasónico (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la forma superficial es una inclinación de la superficie del objeto (2) con respecto a la sonda ultrasónica (11).

- 30 3. El detector de defectos ultrasónico (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la unidad de control de elementos de accionamiento (13) incluye una sección de control de elementos para controlar una ganancia de una onda ultrasónica (U) transmitida desde el elemento ultrasónico de acuerdo con la forma superficial.

- 35 4. El detector de defectos ultrasónico (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la unidad de control de elementos de accionamiento (13) incluye una sección de control de elementos para controlar el número de elementos ultrasónicos accionados simultáneamente de acuerdo con la forma superficial.

- 40 5. El detector de defectos ultrasónico (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la unidad de control de elementos de accionamiento (13) presenta una sección de control de elementos para controlar la ganancia de una onda ultrasónica (U) transmitida desde el elemento ultrasónico, de acuerdo con la forma superficial, y una sección de control de elementos para controlar el número de elementos ultrasónicos accionados simultáneamente de acuerdo con la forma superficial.

- 45 6. El detector de defectos ultrasónico (1) de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además una unidad de medición configurada para medir la forma superficial del objeto (2) en función de la onda ultrasónica (U) emitida y de la onda ultrasónica reflejada.

7. Un método de detección ultrasónica de defectos que comprende:

- 50 emitir una onda ultrasónica (U) sobre un objeto (2) a inspeccionar accionando una pluralidad de elementos ultrasónicos y recibiendo una onda ultrasónica reflejada desde el objeto (2);
 controlar una oscilación de cada uno de la pluralidad de elementos ultrasónicos con un tiempo de retardo apropiado;
 analizar la señal recibida de la onda ultrasónica reflejada y calcular un resultado de detección de defectos,
 55 determinar un ángulo de refracción (β) de la onda ultrasónica (U) incidente en el objeto (2) y una posición de incidencia (S) de la onda ultrasónica (U) en una superficie del objeto (2);
 registrar una forma superficial de una superficie del objeto (2) en la posición de incidencia (S);
 obtener un ángulo de incidencia (α) de la onda ultrasónica (U) que entra en la posición de incidencia (S), en función del ángulo de refracción (β), la posición de incidencia (S) y la forma superficial; y
 60 calcular retroactivamente la posición central (E_c) de una pluralidad de elementos ultrasónicos accionados simultáneamente en función de la posición de incidencia (S) y del ángulo de incidencia (α), manteniendo ángulos de refracción (β) uniformes y fijando los puntos incidentes (S) y los puntos focales (F) en el objeto como constantes, en donde
 la posición de incidencia (S) se calcula y se obtiene en función del ángulo de refracción (β) y de un punto focal (F) de la onda ultrasónica (U), en el caso de accionar el elemento ultrasónico bajo condiciones de detección de defectos, que se usarán para el objeto (2) que tiene una forma superficial plana.
 65

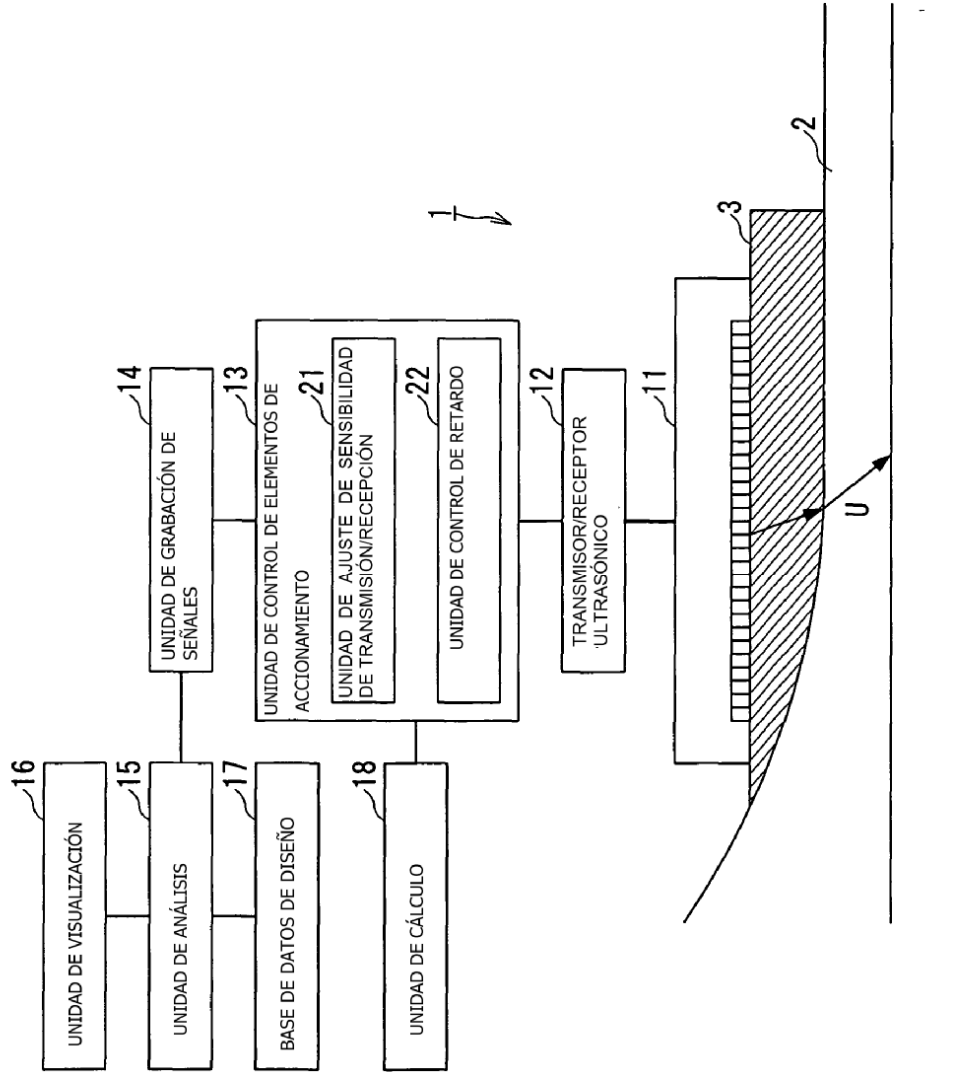


FIG. 1

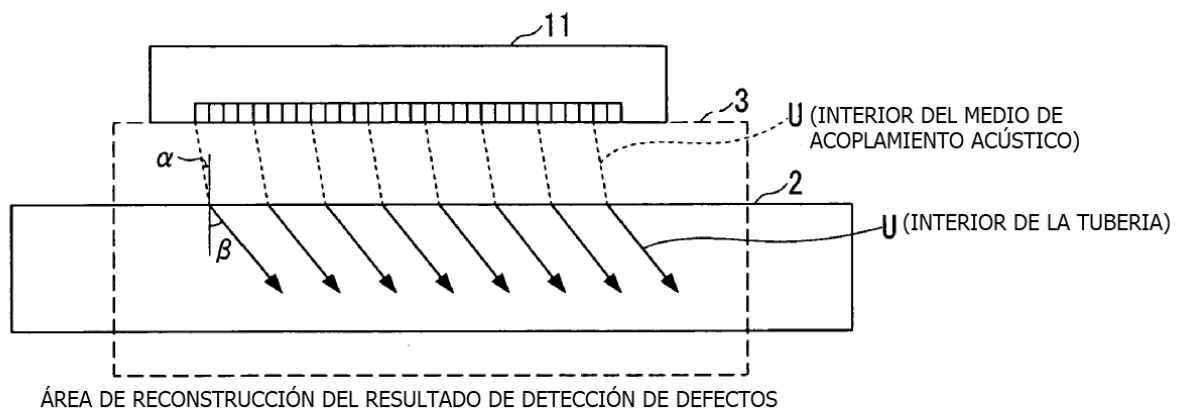


FIG. 2

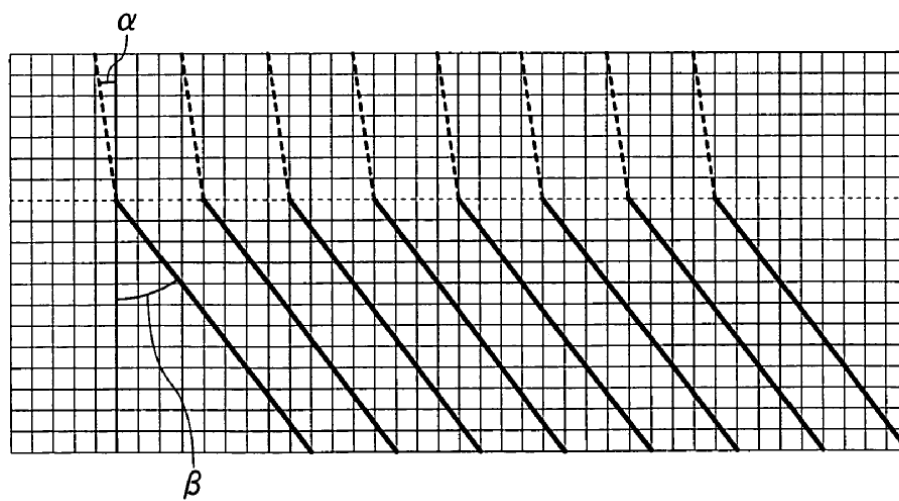


FIG. 3

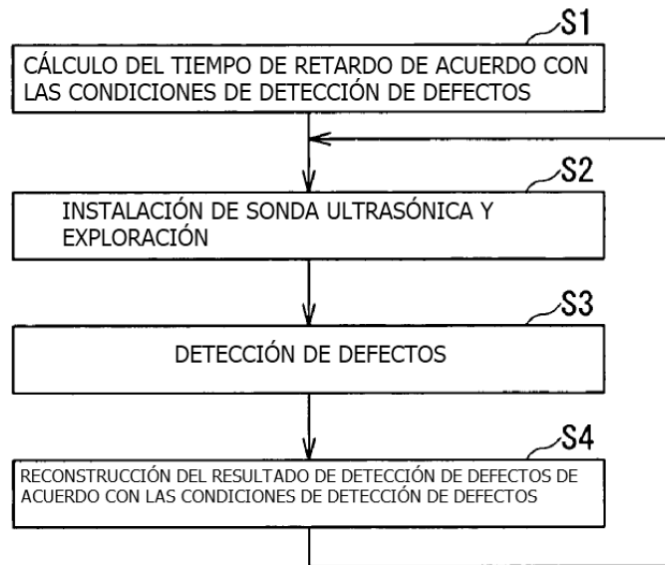


FIG. 4

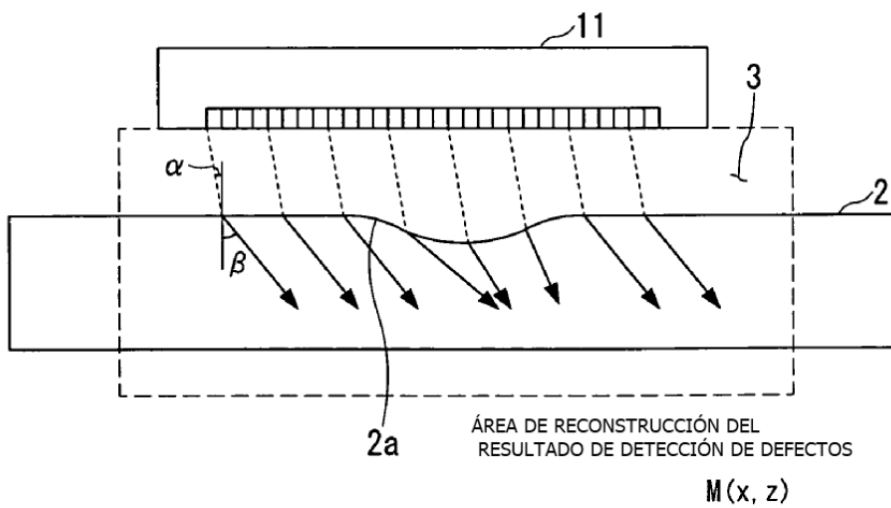


FIG. 5

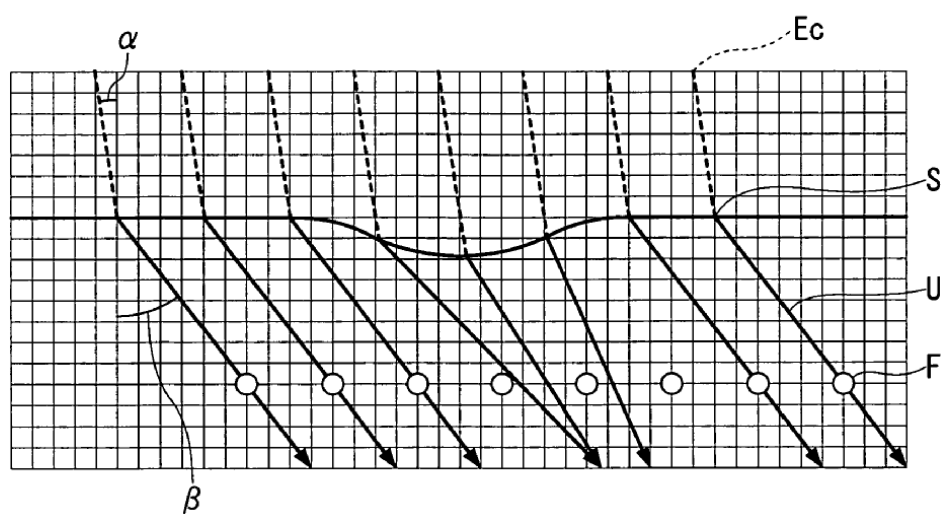


FIG. 6

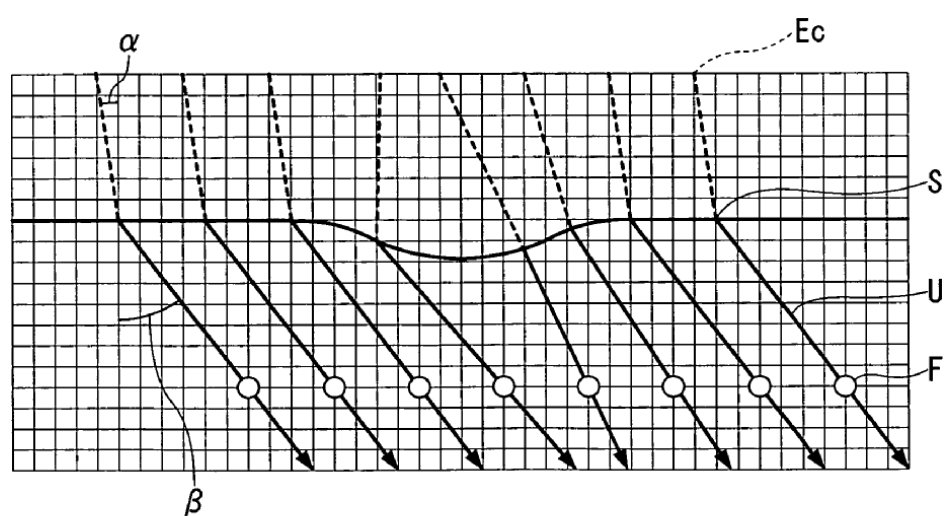


FIG. 7

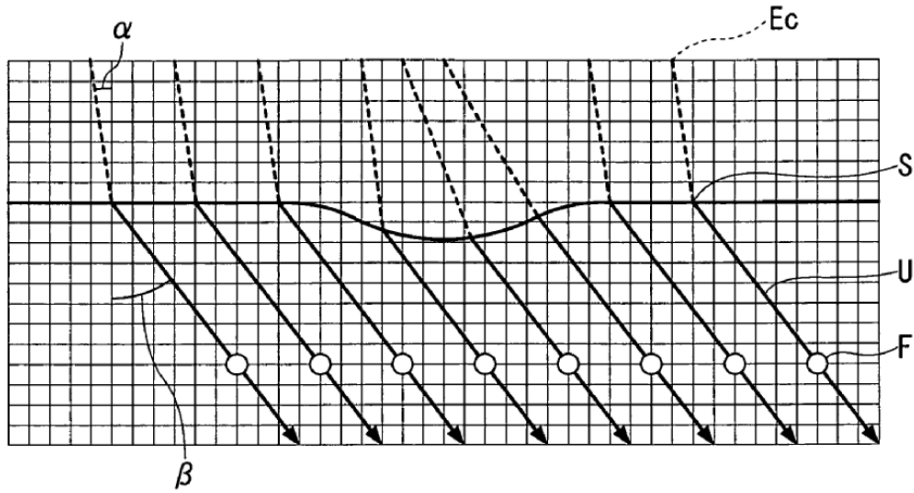


FIG. 8

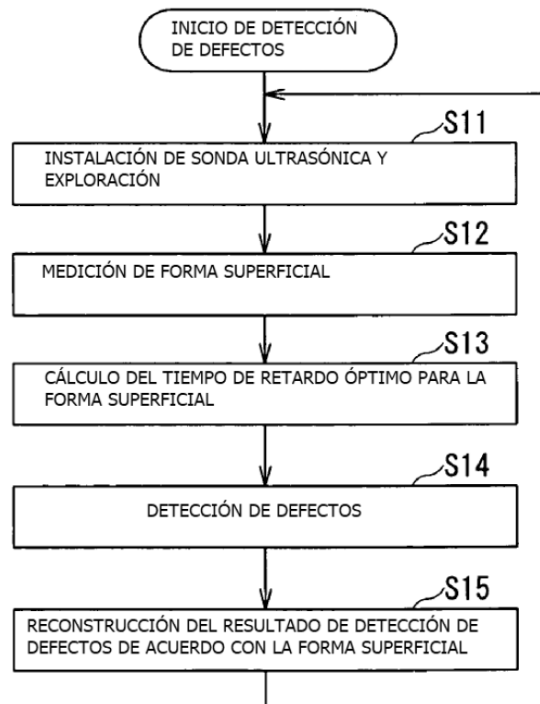


FIG. 9



FIG. 10

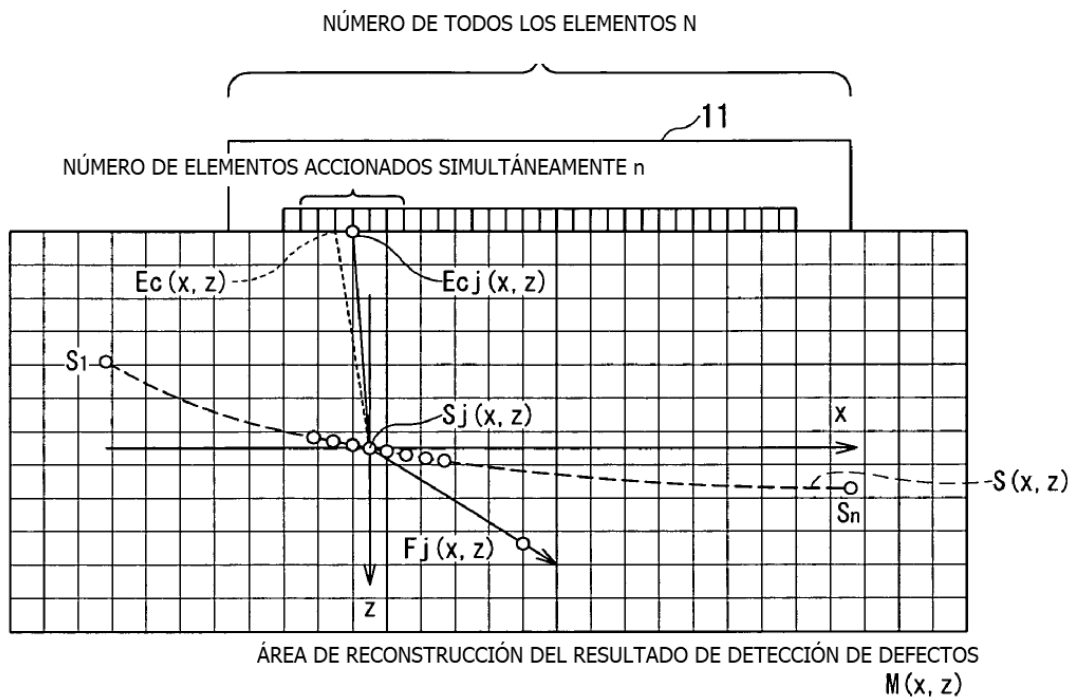


FIG. 11

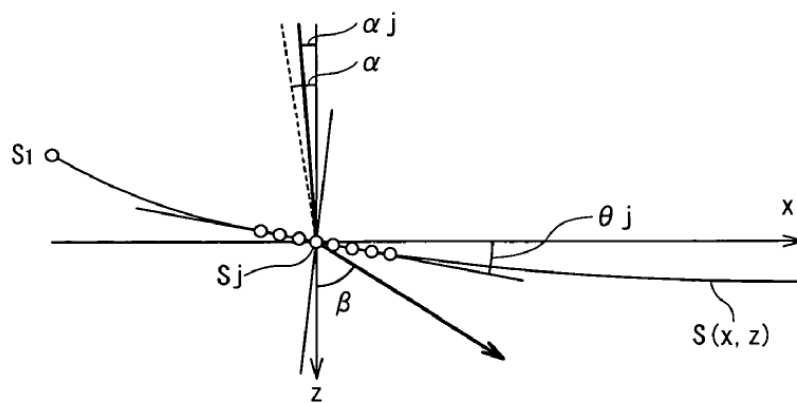


FIG. 12

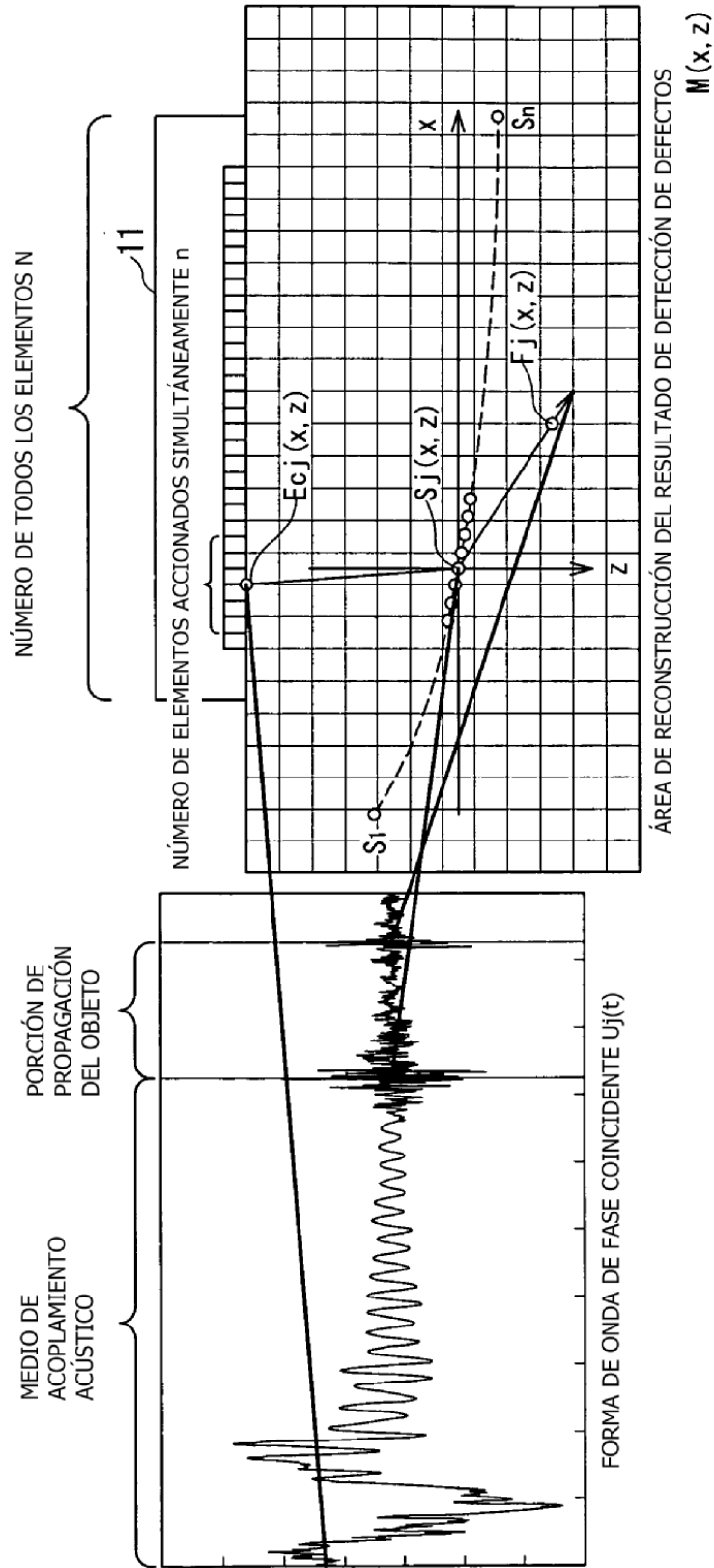


FIG. 13

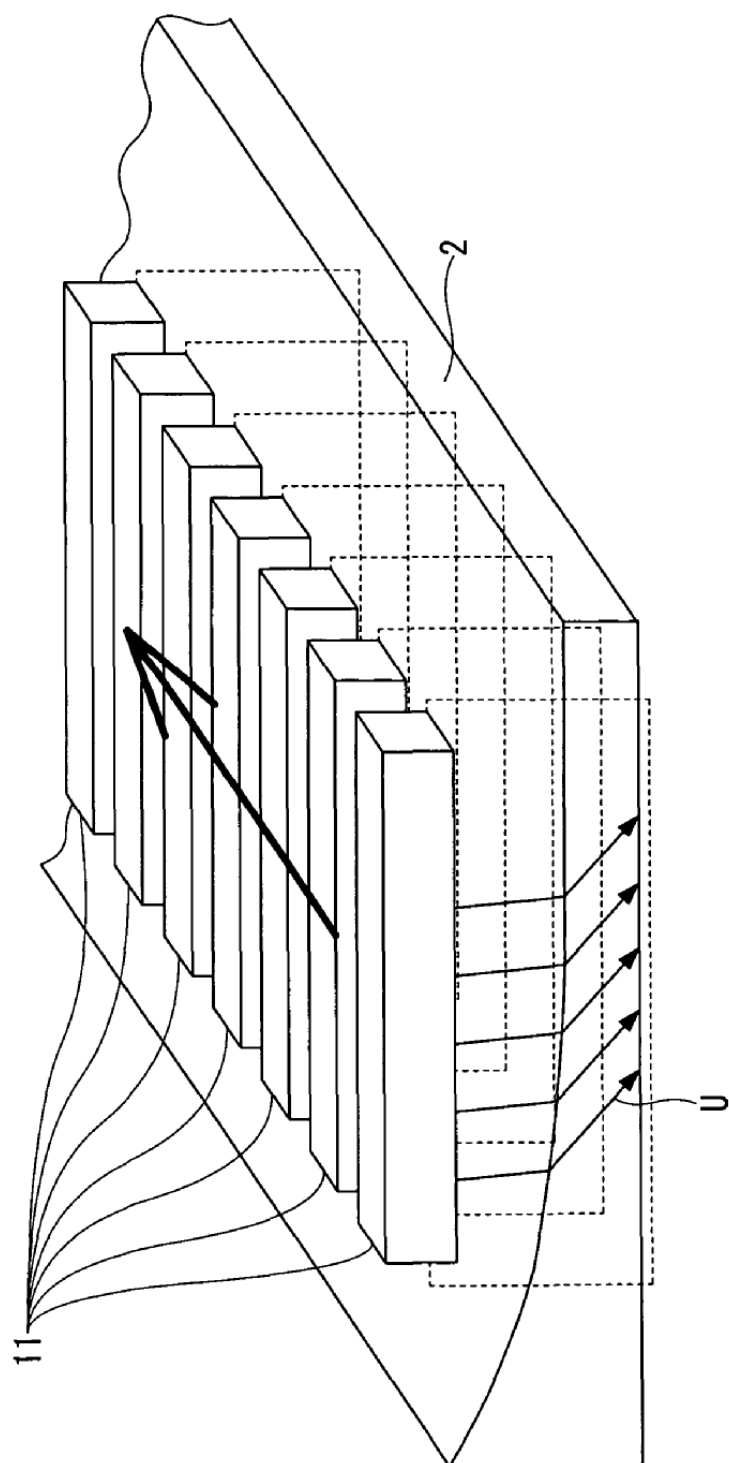


FIG. 14

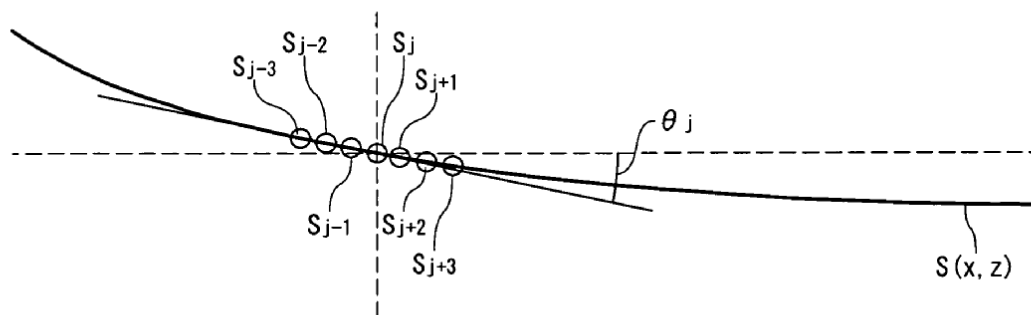


FIG. 15

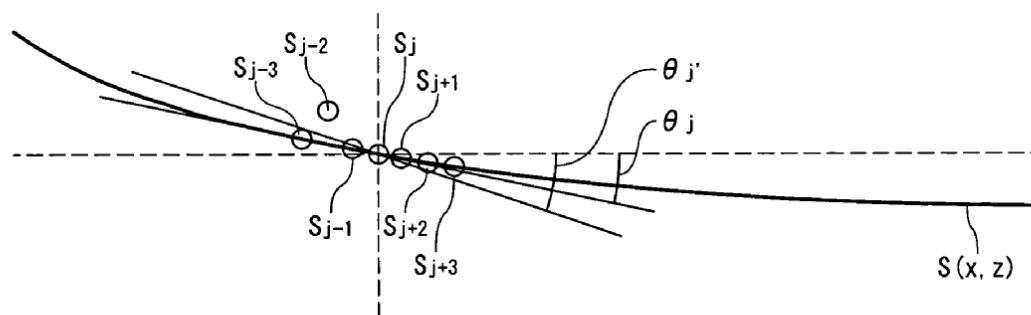


FIG. 16

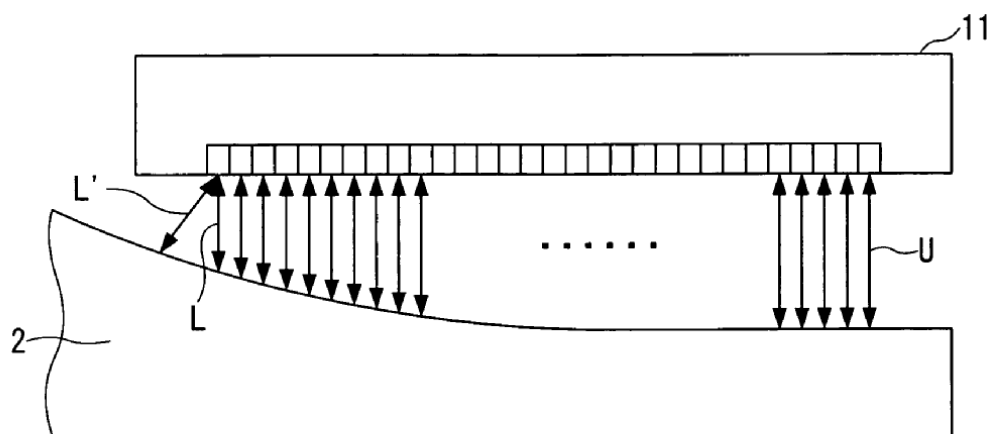


FIG. 17

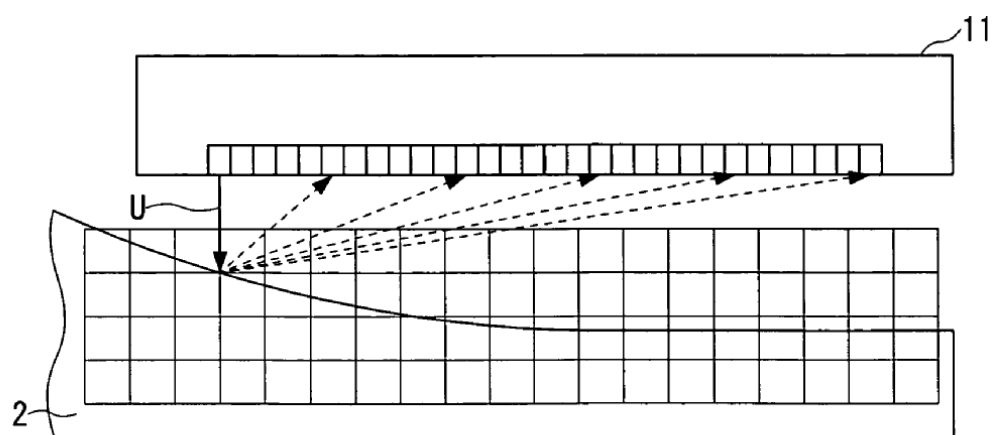


FIG. 18

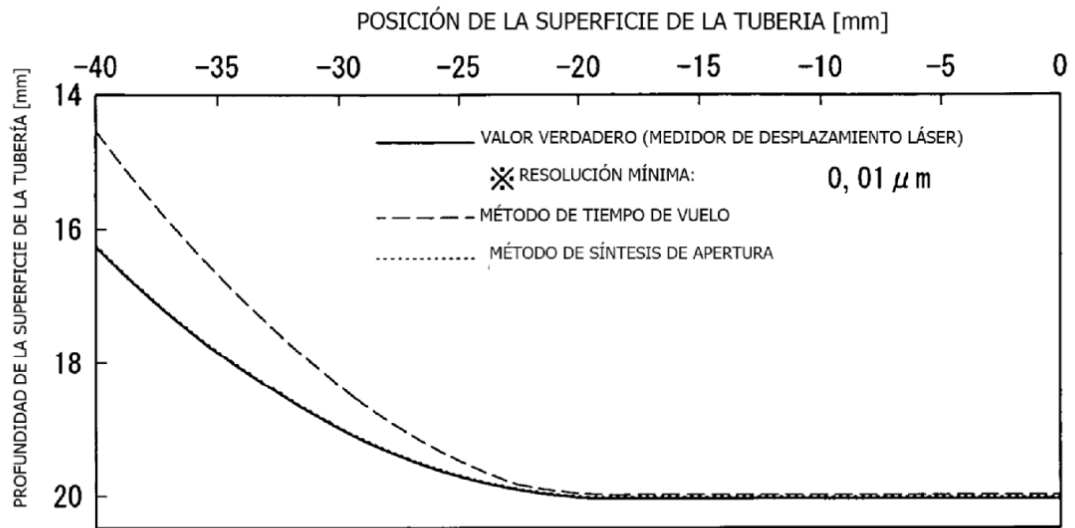


FIG. 19

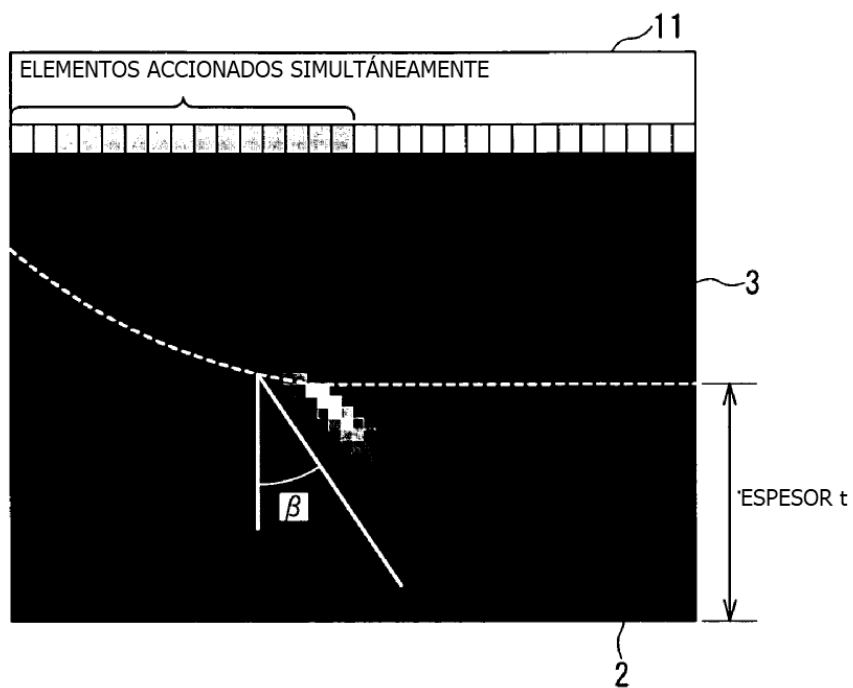


FIG. 20

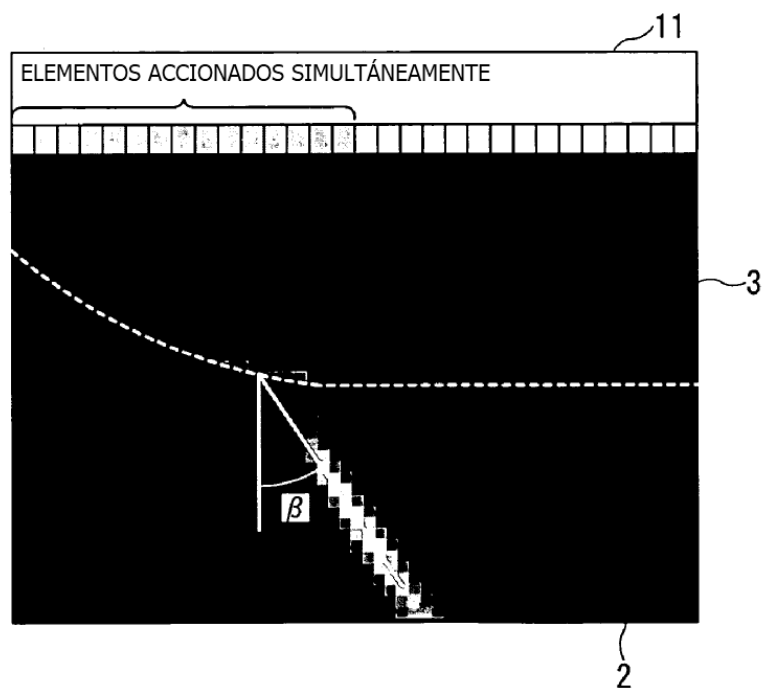


FIG. 21

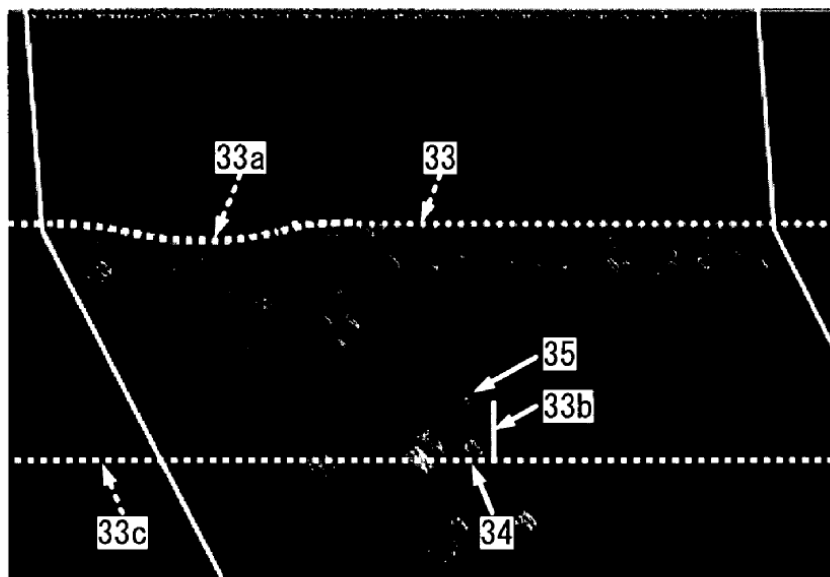


FIG. 22

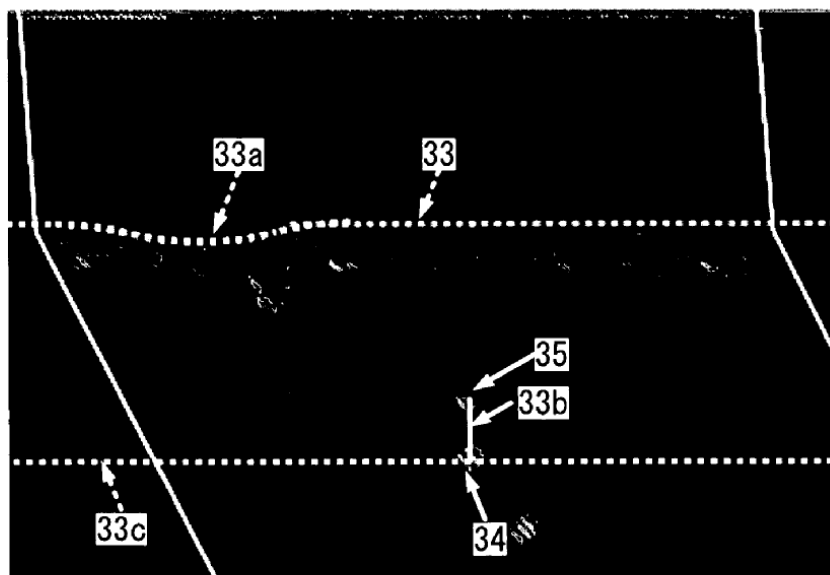


FIG. 23

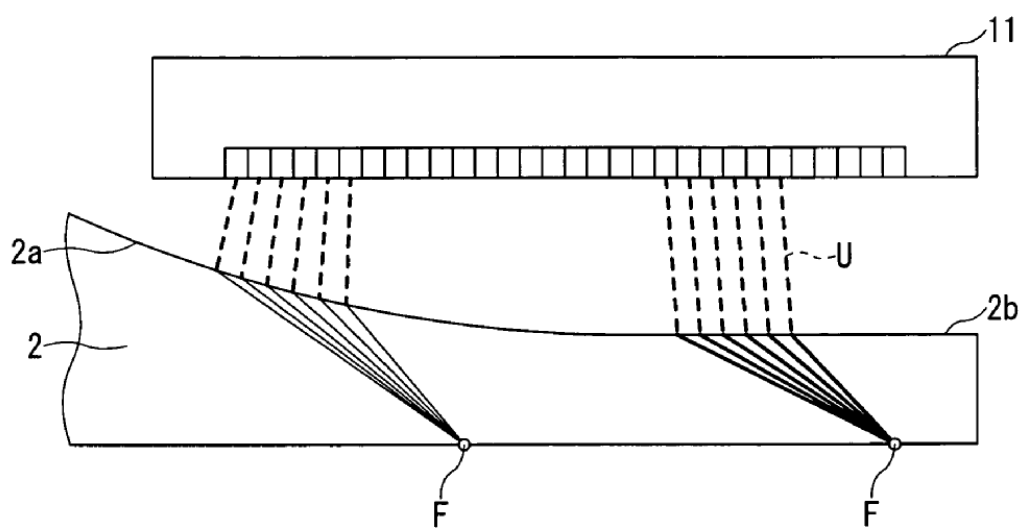


FIG. 24

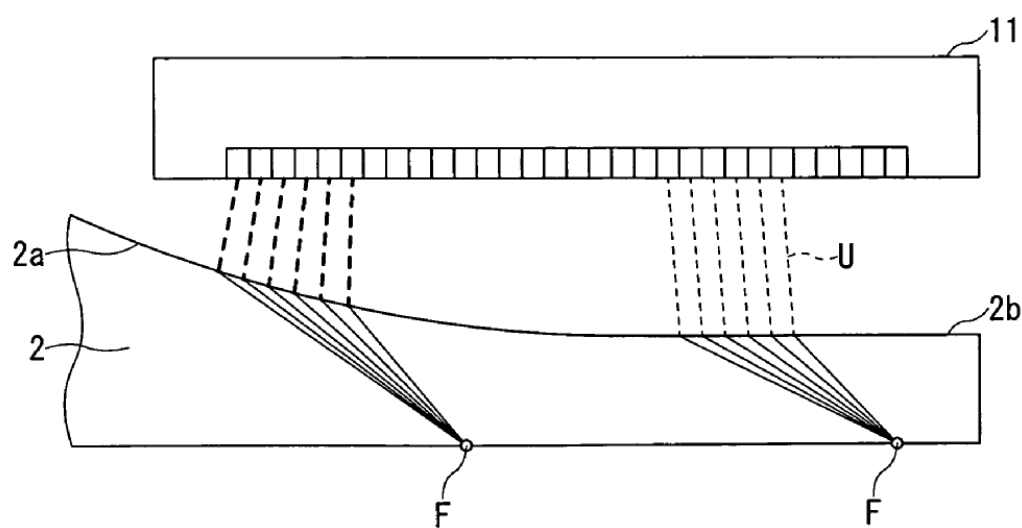


FIG. 25

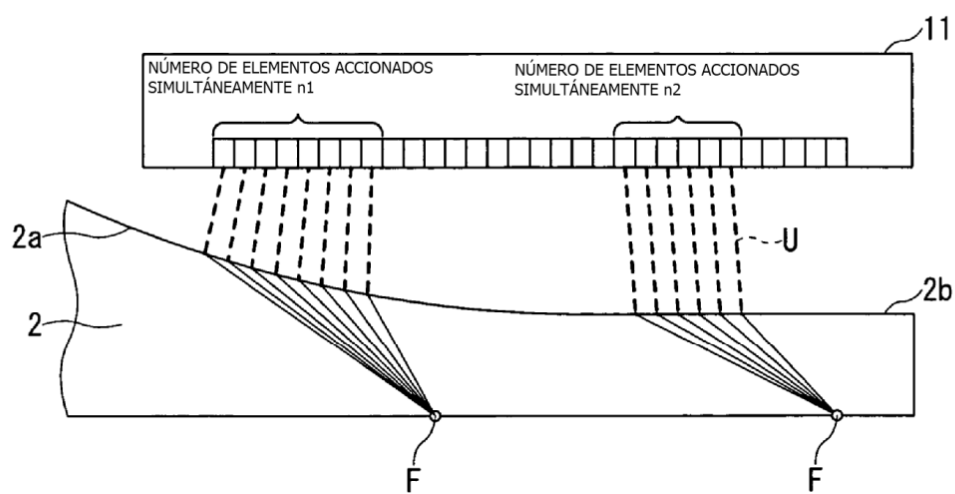


FIG. 26

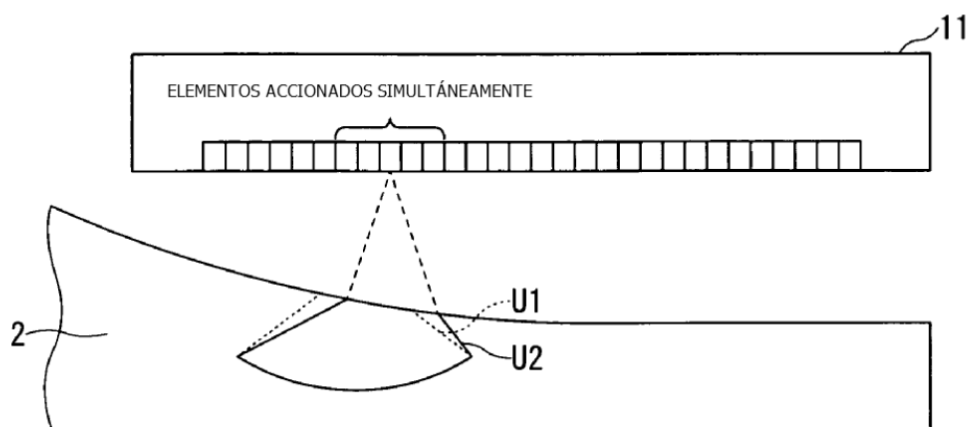


FIG. 27

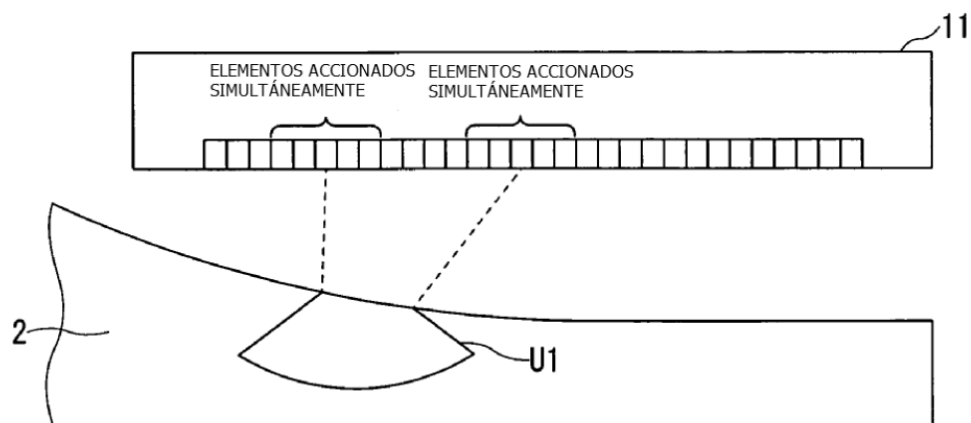


FIG. 28