

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 719 793**

51 Int. Cl.:

**G01N 29/24** (2006.01)

**G01N 29/04** (2006.01)

**G01N 29/22** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.02.2014 PCT/JP2014/052974**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.08.2014 WO14126023**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.02.2014 E 14751550 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.04.2019 EP 2957906**

54 Título: **Sonda ultrasónica**

30 Prioridad:

**14.02.2013 JP 2013026712**

**28.10.2013 JP 2013223269**

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

**16.07.2019**

73 Titular/es:

**KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (KOBE STEEL, LTD.) (100.0%)  
2-4, Wakinohama-Kaigandori 2-chome, Chuo-ku  
Kobe-shi, Hyogo 651-8585, JP**

72 Inventor/es:

**WASA, YASUHIRO**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

ES 2 719 793 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

Sonda ultrasónica

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a una sonda ultrasónica para uso en una prueba ultrasónica.

10 **Antecedentes de la invención**

15 Una prueba ultrasónica es una técnica ampliamente conocida como un método de inspección no destructiva que detecta un defecto físico, tal como una fisura o un vacío, y un defecto estructural de metal (ambos defectos se denominan simplemente defectos) presente dentro de un objeto de inspección, tal como un componente mecánico o una estructura, sin destruir el objeto de inspección. Hay tres métodos de prueba ultrasónica, a saber, un método de transmisión, un método de eco de pulso, y un método de resonancia. De estos, el método de eco de pulso es un método que detecta un defecto dentro de un objeto de inspección detectando el eco de un pulso ultrasónico reflejado por el defecto dentro del objeto de inspección.

20 Como técnicas de realizar una prueba en un objeto de inspección con un método de eco de pulso, hay una pluralidad de métodos de prueba, por ejemplo, un método de haz vertical para realizar una prueba dentro de un objeto de inspección usando ultrasonido que avanza perpendicularmente a una superficie del objeto de inspección y un método de haz en ángulo para realizar una prueba dentro de un objeto de inspección o en una superficie del objeto de inspección usando ultrasonido que avanza oblicuamente a la superficie del objeto de inspección. Como una técnica de realizar una prueba cerca de una superficie de un objeto de inspección, hay un método de superficie usando ultrasonido de superficie que se propaga cerca de la superficie del objeto de inspección. En el método de superficie, el ultrasonido de superficie es transmitido desde una sonda ultrasónica, y el ultrasonido reflejado que es reflejado y devuelto por un defecto presente en una superficie de un objeto de inspección o debajo de la superficie es recibido por la sonda ultrasónica, por lo que se detectan un defecto superficial y un defecto subsuperficial del objeto de inspección.

30 Tal método de haz en ángulo y una sonda ultrasónica que utiliza el método de haz en ángulo se describen en el DP 1.

35 La sonda ultrasónica de DP 1 es una sonda ultrasónica para realizar una prueba en una superficie curvada, en que un vibrador ultrasónico está dispuesto en una superficie inclinada de un elemento cuña, y una superficie de contacto para tocar un cuerpo de prueba es de forma análoga a una superficie curvada. Esta sonda ultrasónica se caracteriza porque el vibrador ultrasónico tiene una forma análoga a una envuelta esférica de modo que el ultrasonido radiante es enfocado sobre la superficie de contacto.

40 DP 1 describe que tal sonda ultrasónica permite la detección de defectos al mismo tiempo que suprime el uso de superficie de contacto incluso cuando se forma un intervalo entre la sonda y el cuerpo de prueba.

Además, una sonda ultrasónica que realiza una prueba ultrasónica se describe en DP 2.

45 La sonda ultrasónica de DP 2 es una sonda ultrasónica para un comprobador ultrasónico incluyendo un elemento para transmitir ultrasonido, una lente acústica para propagar el ultrasonido a una superficie cóncava de un objeto de inspección, y un elemento para recibir el eco del ultrasonido del objeto de inspección mediante la lente acústica. En la sonda ultrasónica de DP 2, una superficie de la lente acústica orientada a la superficie cóncava es de una forma análoga a una superficie convexa que tiene un radio de curvatura dentro del rango de  $1/2$  a  $2/3$  de un radio de curvatura de la superficie cóncava. El elemento para transmitir el ultrasonido y el elemento para recibir el eco están formados como sensores en serie, y la dirección de disposición de elemento de los sensores de transmisión y recepción en serie se extiende a lo largo del eje central de una forma cilíndrica que forma la superficie convexa de la lente acústica de forma análoga a una parte de la forma cilíndrica. Además, la lente acústica está formada de un material tal que la velocidad del sonido de la onda longitudinal del ultrasonido es más baja que la velocidad del sonido de la onda longitudinal en el objeto de inspección y más alta que la velocidad del sonido de la onda longitudinal del ultrasonido en un medio intermedio entre la sonda ultrasónica y el objeto de inspección. Dentro de la lente acústica, una placa insonorizante para evitar la propagación del sonido está dispuesta en una posición para separar recorridos de propagación del ultrasonido transmitido y el eco recibido.

60 En la sonda ultrasónica de DP 2, como se ilustra en la figura 13 de DP 2, la forma de un vibrador y la forma de una cuña en la sonda son convexas al cuerpo de prueba en consideración de la refracción de ultrasonido en una interfaz con el cuerpo de prueba. DP 2 describe que, según la estructura de dicha sonda ultrasónica, es posible resolver el problema de la inestable dispersión de ultrasonido incidente resultante de la refracción producida por la diferencia entre la velocidad del sonido en la cuña de la sonda contactada y la velocidad del sonido en el cuerpo de prueba cuando la superficie del cuerpo de prueba tiene forma análoga a una superficie curvada, y permitir que el campo acústico sea enfocado dentro del cuerpo de prueba.

**Lista de citas**

Documento de Patente

5

DP 1: Solicitud de Patente japonesa no examinada publicada número 2-73151

DP 2: Patente japonesa número 4770386

10

JP 2006 349486 A describe una sonda ultrasónica constituida con el fin de permitir que el haz ultrasónico entre al interior de la superficie rebajada curvada del blanco de inspección, desde la superficie rebajada curvada del blanco de inspección, para realizar detección ultrasónica de defectos del interior de la superficie rebajada curvada.

15

JP 2007 010637 A y US 8 225 668 B2 describen un método de propagación de onda ultrasónica capaz de propagar ondas de placa entre una sonda y una pieza de prueba a pesar de las variaciones del grosor o el ángulo de superficie de una pieza de prueba, y un dispositivo de propagación ultrasónica y un dispositivo de prueba ultrasónica que utilizan este método.

20

**Resumen de la invención****Problema técnico**

25

Como se ha descrito anteriormente, aunque el vibrador ultrasónico en forma de concha esférica en la sonda ultrasónica aplica ultrasonido de modo que el ultrasonido sea enfocado sobre la superficie del cuerpo de prueba que sirve como un objeto de inspección en DP 1, el ultrasonido aplicado es una onda rastrera que se propaga en la superficie del objeto de inspección. Por esta razón, es difícil usar la sonda ultrasónica de DP 1 para detección de defectos presentes dentro del objeto de inspección.

30

Los defectos dentro del objeto de inspección tienen varias profundidades, y lo ideal es realizar una prueba de alta precisión en un amplio rango de profundidad. Sin embargo, generalmente es difícil, no solamente con respecto a la sonda ultrasónica de DP 1 sino también con respecto a las sondas ultrasónicas convencionales, realizar una prueba de alta precisión en un amplio rango de profundidad. En particular cuando la superficie del objeto de inspección es una superficie curvada, el ultrasonido aplicado es refractado en la superficie curvada y es difundido (o dispersado) en la dirección de la profundidad. Por lo tanto, es más difícil realizar una prueba de alta precisión en el amplio rango de profundidad.

35

40

Como una técnica de realizar una prueba en un objeto de inspección que tiene una superficie curvada, es ampliamente conocido un método por arreglo de fases usando una sonda ultrasónica en que los vibradores están dispuestos en una serie. Sin embargo, la sonda ultrasónica existente usando el método por arreglo de fases tiene generalmente una forma plana, y hay que llenar un espacio ancho entre los vibradores y la superficie curvada del objeto de inspección con un medio de contacto tal como agua. Por lo tanto, la operabilidad no es alta, y el mecanismo de la sonda ultrasónica es complicado. Además, el costo total de producción de incluir el aparato la sonda ultrasónica es alto, por ejemplo, a causa del mecanismo complicado de la sonda ultrasónica y el control molesto de los vibradores dispuestos en la serie.

45

50

El método de DP 2 puede enfocar el ultrasonido en una posición arbitraria dentro del cuerpo de prueba incluso cuando el cuerpo de prueba tiene una forma curvada. Sin embargo, hay que poner la sonda y la interfaz curvada del cuerpo de prueba en contacto exacto uno con otro. Si la sonda bascula o se forma un intervalo entre la sonda y el cuerpo de prueba durante la prueba, se perturba la condición de enfoque del ultrasonido. No solamente en exploración manual sino también en exploración mecánica, hay gran dificultad para explorar la sonda curvada de modo que la sonda siga exactamente el cuerpo de prueba curvado.

55

Además, si se forma un intervalo entre la sonda y el cuerpo de prueba en transmisión de ultrasonido, el intervalo hace multirreflexión, y la onda transmitida varía en los términos de tiempo. Como resultado, la presión sonora del pulso transmitido disminuye o tiene lugar un eco de superficie durante un tiempo largo. Esto amplía la zona muerta cerca de la superficie del cuerpo de prueba.

60

La presente invención se ha realizado en vista de los problemas antes descritos, y un objeto de la invención es proporcionar una sonda ultrasónica en que, incluso cuando una superficie de un artículo a inspeccionar es una superficie curvada, la influencia de la refracción en la superficie curvada de ultrasonido aplicada a la superficie curvada puede reducirse y se puede suprimir el eco superficial en la superficie curvada.

**Solución del problema**

65

Para lograr el objeto anterior, la presente invención adopta una sonda ultrasónica como la definida en la reivindicación 1. Se definen realizaciones preferidas en las reivindicaciones dependientes.

Una sonda ultrasónica según la presente invención detecta un defecto dentro de un artículo inspeccionado que tiene una ranura formada por una superficie curvada transmitiendo ultrasonido al artículo inspeccionado y recibiendo ultrasonido reflejado dentro del artículo inspeccionado. La sonda ultrasónica incluye una parte transmisora que tiene un vibrador de transmisión que transmite ultrasonido hacia la superficie curvada de la ranura, y una parte receptora que tiene un vibrador receptor que recibe ultrasonido reflejado dentro del artículo inspeccionado y propagado a la superficie curvada. El vibrador transmisor forma un punto focal del ultrasonido transmitido en una posición correspondiente a la superficie curvada de la ranura o dentro del artículo inspeccionado directamente debajo de la superficie curvada en una sección transversal ortogonal a una dirección de extensión de la ranura, y la parte transmisora y la parte receptora están dispuestas adyacentes una a otra en la dirección de extensión de la ranura.

Aquí, el vibrador transmisor y el vibrador receptor están dispuestos preferiblemente estando al mismo tiempo inclinados con respecto a la superficie curvada de modo que un ángulo de cara formado por una superficie transmisora incluida en el vibrador transmisor de la parte transmisora y una superficie receptora incluida en el vibrador receptor de la parte receptora es un ángulo obtuso.

Además, la superficie receptora del vibrador receptor forma preferiblemente un punto focal del ultrasonido recibido en una posición correspondiente a la superficie curvada de la ranura en la sección transversal ortogonal a la dirección de extensión de la ranura.

Además, la superficie receptora del vibrador receptor forma un punto focal del ultrasonido recibido dentro del artículo inspeccionado debajo de la superficie curvada de la ranura en la sección transversal ortogonal a la dirección de extensión de la ranura.

Aquí, preferiblemente, la superficie receptora del vibrador receptor es convexa a una superficie de prueba para tocar el artículo inspeccionado, y la superficie de prueba se ha formado de un material tal que la velocidad de propagación del ultrasonido en la superficie de prueba es más baja que la velocidad de propagación de ultrasonido en el artículo inspeccionado.

### **Efectos ventajosos de la invención**

Según la sonda ultrasónica de la presente invención, incluso cuando la superficie del artículo inspeccionado es una superficie curvada, la influencia de la refracción en la superficie curvada de ultrasonido aplicada a la superficie curvada puede reducirse, y se puede suprimir el eco superficial en la superficie curvada.

### **Breve descripción de los dibujos**

La figura 1 es una vista en perspectiva esquemática que ilustra un estado en que una sonda ultrasónica según una realización de la presente invención toca una ranura de un artículo inspeccionado.

Las figuras 2(a) y 2(b) son vistas esquemáticas que ilustran la estructura de la sonda ultrasónica según la realización de la presente invención, la figura 2(a) ilustra un estado en que la sonda ultrasónica toca el artículo inspeccionado, según se ve desde un lado de la flecha A en la figura 1 a lo largo de una dirección de extensión de la ranura, y la figura 2(b) ilustra el estado de la figura 2(a), según se ve desde un lado de la flecha B de la figura 1 ortogonal a la dirección de extensión de la ranura (flecha A).

Las figuras 3(a), (b) y (c) ilustran las diferencias de una posición de intersección de un eje de transmisión y un eje de recepción cuando el ángulo de cara se pone a tres ángulos, e ilustran respectivamente estados en que la sonda ultrasónica incluyendo un vibrador transmisor y un vibrador receptor está dispuesta en los diferentes ángulos de cara.

Las figuras 4(a), 4(b) y 4(c) explican la propiedad de sensibilidad de la sonda ultrasónica de la realización, la figura 4(a) representa la propiedad de sensibilidad de prueba del enfoque de superficie en que se forma una línea focal en una superficie de prueba por un solo vibrador, la figura 4(b) representa la propiedad de sensibilidad de prueba de la estructura de una sonda de cristal doble, y la figura 4(c) representa la propiedad de sensibilidad de prueba de una combinación de la estructura de enfoque de superficie de la figura 4(a) y la estructura de la sonda de cristal doble de la figura 4(b).

La figura 5 es un gráfico de resultados experimentales cuando la prueba de detección se realizó en partes inferiores planas de diferentes profundidades con sondas ultrasónicas que tienen diferentes ángulos de techo (ángulos de cara).

Las figuras 6(a) y 6(b) son vistas esquemáticas que ilustran la estructura de una sonda ultrasónica según una segunda realización de la presente invención, la figura 6(a) es una vista esquemática que ilustra la posición y la estructura de la sonda ultrasónica en una sección transversal en un lado (lado de transmisión), y la figura 6(b) es

una vista esquemática que ilustra la posición y la estructura de la sonda ultrasónica en una sección transversal en el otro lado (lado receptor).

5 La figura 7 es una vista conceptual que explica la estructura de una parte receptora en una sonda ultrasónica según un ejemplo que es útil para la comprensión de la invención.

10 Las figuras 8(a) y 8(b) son vistas esquemáticas que ilustran la estructura de la sonda ultrasónica de un ejemplo que es útil para la comprensión de la invención, la figura 8(a) es una vista esquemática que ilustra la posición y la estructura de la sonda ultrasónica en una sección transversal en un lado (lado de transmisión), y la figura 8(b) es una vista esquemática que ilustra la posición y la estructura de la sonda ultrasónica en una sección transversal en el otro lado (lado receptor).

### Descripción de realizaciones

15 Realizaciones de la presente invención se describirán a continuación con referencia a los dibujos.

Las realizaciones descritas más adelante son realizaciones específicas de la presente invención, y las realizaciones específicas no limitan las características de la presente invención. Por lo tanto, el alcance técnico de la presente invención no se limita solamente al contenido descrito de las realizaciones.

#### 20 [Primera realización]

Una sonda ultrasónica 1 según esta realización se describirá con referencia a las figuras 1 y 2.

25 La figura 1 es una vista en perspectiva esquemática que ilustra un estado en que la sonda ultrasónica 1 según esta realización de la presente invención toca una ranura G, tal como un filete, formada en un artículo inspeccionado W. La figura 2 incluye vistas esquemáticas que ilustran una estructura en que la sonda ultrasónica 1 está colocada sobre una superficie curvada de la ranura G en el artículo inspeccionado W. La figura 2(a) es una vista esquemática que ilustra la posición y la estructura de la sonda ultrasónica 1 en una sección transversal ortogonal a una dirección longitudinal (también denominada una dirección de extensión) de la ranura G. La figura 2(b) es una vista esquemática que ilustra la posición y la estructura de la sonda ultrasónica 1 en una sección transversal a lo largo de la dirección longitudinal (dirección de extensión) de la ranura G. Es decir, la figura 2(a) es una vista desde un lado de la flecha A (vista sobre la flecha A) en la figura 1, y la figura 2(b) es una vista desde un lado de la flecha B (vista sobre la flecha B) de la figura 1.

35 La sonda ultrasónica 1 está conectada a un comprobador ultrasónico (no ilustrado) que hace que un vibrador transmisor 2 transmita ultrasonido y un dispositivo de registro/procesamiento de señal (no ilustrado) a describir más adelante, y transmite ultrasonido a una superficie de un artículo inspeccionado W tal como un componente mecánico o una estructura. Además, la sonda ultrasónica 1 detecta un defecto que está presente en la dirección de la profundidad dentro del artículo inspeccionado W (un defecto físico, tal como una fisura, y un defecto estructural de metal) con alta exactitud recibiendo ultrasonido reflejado por el defecto dentro del artículo inspeccionado W. En particular, la sonda ultrasónica 1 de esta realización es adecuada en especial para la detección de un defecto presente en la dirección de la profundidad debajo de una superficie de un artículo inspeccionado W, tal como un componente mecánico o una estructura, en que una ranura cóncava, tal como un filete, está formada por una superficie curvada.

40 Como se ilustra en las figuras 2(a) y 2(b), la sonda ultrasónica 1 incluye una parte transmisora que tiene un vibrador transmisor 2 que transmite ultrasonido hacia la superficie curvada de la ranura G, y una parte receptora que tiene un vibrador receptor 3 que recibe ultrasonido reflejado dentro del artículo inspeccionado W y propagado a la superficie curvada. El vibrador transmisor 2 está dispuesto para formar un punto focal F del ultrasonido transmitido en una posición correspondiente a la superficie curvada de la ranura G en una sección transversal (vista sobre la flecha A de la figura 1) ortogonal a la dirección longitudinal de la ranura G. La parte transmisora y la parte receptora están dispuestas adyacentes una a otra en la dirección longitudinal de la ranura G.

55 La sonda ultrasónica 1 incluye el vibrador transmisor 2, el vibrador receptor 3, y una cuña (elemento cuña) 4. El vibrador transmisor 2 y el vibrador receptor 3 son sujetados por la cuña 4. Esta sonda ultrasónica 1 está conectada al comprobador ultrasónico y el dispositivo de registro/procesamiento de señal, y toca el artículo inspeccionado W para transmitir ultrasonido desde el vibrador transmisor 2 a una superficie del artículo inspeccionado W y para recibir ultrasonido reflejado de un defecto o análogos dentro del artículo inspeccionado W por el vibrador receptor 3 bajo el control del comprobador ultrasónico. El dispositivo de registro/procesamiento de señal conectado a la sonda ultrasónica 1 proporciona información acerca de la presencia o ausencia y la posición de un defecto o análogos dentro del artículo inspeccionado W en base al ultrasonido reflejado recibido por el vibrador receptor 3.

65 El vibrador transmisor 2, el vibrador receptor 3, y la cuña 4 que constituyen la sonda ultrasónica 1 se describirán en detalle con referencia a las figuras 2(a) y 2(b).

Por ejemplo, el vibrador transmisor 2 de la sonda ultrasónica 1 está configurado por un vibrador compuesto que está formado por un elemento piezoeléctrico que tiene una pluralidad de fuentes puntuales para ondas esféricas. Cuando se aplica un voltaje de pulso predeterminado, el vibrador transmisor 2 genera ondas esféricas con una frecuencia correspondiente al voltaje de pulso aplicado desde las fuentes puntuales. Dado que una pluralidad de ondas esféricas generadas en el mismo tiempo a partir del vibrador transmisor 2 son combinadas en una sola onda, el vibrador transmisor 2 transmite ultrasonido hacia la parte delantera de una superficie donde las fuentes puntuales están dispuestas.

Como se ilustra en la figura 2(a), en el vibrador transmisor 2 formado por el vibrador compuesto, una superficie transmisora 5 que genera ultrasonido está curvada en forma sustancialmente arqueada de modo que sea cóncava a la superficie del artículo inspeccionado W, y tiene una forma similar a una canaleta o un medio cilindro. Además, la superficie transmisora 5 del vibrador transmisor 2 es una superficie cóncava que tiene una curvatura tal que el ultrasonido transmitido desde la superficie transmisora 5 sea enfocado a una posición a que el ultrasonido avanza una distancia predeterminada.

Es decir, el ultrasonido transmitido desde la superficie transmisora 5 del vibrador transmisor 2 de forma análoga a una canaleta o un medio cilindro es enfocado en una línea focal sustancialmente recta L que está a una distancia predeterminada de la superficie transmisora 5 y que se extiende en la dirección longitudinal del vibrador transmisor 2 perpendicular a una dirección de formación del arco de la superficie transmisora 5. En otros términos, como se ilustra en la figura 2(a), el ultrasonido transmitido desde la superficie transmisora 5 del vibrador transmisor 2 es aplicado para formar un punto focal F en la superficie del filete (en la superficie curvada de la ranura G), y entonces se propaga en el lado interior de la ranura G.

Aquí, también se puede considerar que la línea focal L corresponde a un eje central de un cilindro, una columna o un cono (cono truncado) que tiene una superficie lateral cuya parte está formada por la superficie transmisora 5 del vibrador transmisor 2 de forma análoga a una canaleta o un medio cilindro y que el punto focal F corresponde a un punto en el eje central.

Por ejemplo, el vibrador receptor 3 está formado por un vibrador compuesto que tiene una estructura similar a la del vibrador transmisor 2, y está curvado de forma sustancialmente arqueada de modo que una superficie receptora 6 para recibir ultrasonido sea una superficie cóncava. El vibrador receptor 3 genera un voltaje correspondiente a la intensidad y la frecuencia de ultrasonido recibido por la superficie receptora 6.

Aunque el vibrador receptor 3 puede estar formado por un vibrador compuesto de forma análoga a una superficie cóncava de forma similar al vibrador transmisor 2, como se ha descrito anteriormente, se puede formar, no por el vibrador compuesto, conformando un elemento piezoeléctrico plano a una superficie cóncava de forma similar al vibrador transmisor 2.

En general, cuando el vibrador receptor 3 tiene una estructura similar a la del vibrador transmisor 2, es posible obtener alta sensibilidad y una alta relación S/R a la recepción de ultrasonido reflejado por el defecto dentro del artículo inspeccionado W. Sin embargo, el vibrador receptor 3 se puede formar por un elemento piezoeléctrico de forma cóncava conformado según el material y la forma del artículo inspeccionado W y la sensibilidad de recepción y relación S/R deseadas.

Por ejemplo, la cuña 4 es un alojamiento hueco formado de resina o vidrio y de forma análoga a un paralelepípedo sustancialmente rectangular, y tiene, en una superficie de pared del alojamiento, una superficie de prueba 7 para tocar el artículo inspeccionado W. La cuña 4 constituye la sonda ultrasónica 1 sujetando el vibrador transmisor 2 y el vibrador receptor 3 adyacentes uno a otro en una posición opuesta a la superficie de prueba 7.

Como se ilustra en la figura 2(b), el vibrador transmisor 2 y el vibrador receptor 3 son sujetos mediante la cuña 4 formada de resina, tal como resina acrílica, con la superficie transmisora 5 y la superficie receptora 6 mirando hacia la superficie de prueba 7. Un espacio entre la superficie de prueba 7 y el vibrador transmisor 2 y el vibrador receptor 3 está separado por la superficie de pared que forma el alojamiento, y se ha dispuesto una pared de aislamiento acústico 8 para dividir (partir) este espacio en una parte de cuña transmisora en el lado del vibrador transmisor 2 y una parte de cuña receptora en el lado del vibrador receptor 3. La pared de aislamiento acústico 8 está dispuesta de forma sustancialmente perpendicular a la superficie de prueba 7, y realiza blindaje de modo que el ultrasonido en un espacio no se propaga al otro espacio. Esta pared de aislamiento acústico 8 evita que el vibrador receptor 3 quede afectado por el vibrador transmisor 2 que transmite ultrasonido.

El espacio entre la superficie de prueba 7, y el vibrador transmisor 2 y el vibrador receptor 3 (espacio transmisor y espacio receptor) está lleno de un medio de contacto que sirve como una sustancia que transfiere ultrasonido, por ejemplo, agua, pasta de glicerina, o aceite. Aquí, la superficie de prueba 7 de la cuña 4 es una cara curvada que tiene una curvatura sustancialmente igual o ligeramente menor que la curvatura de la ranura G formada por la superficie curvada, y tiene una forma de cara cilíndrica que es convexa al exterior de la cuña 4.

La sonda ultrasónica 1 toca el artículo inspeccionado W de modo que la forma convexa de la cara curvada de la superficie de prueba 7 corresponda a la forma cóncava de la superficie curvada de la ranura G. Es decir, la sonda ultrasónica 1 toca la ranura G del artículo inspeccionado W de modo que una dirección ortogonal a la dirección radial de la forma de cara cilíndrica de la superficie de prueba 7 se extiende en la dirección de extensión de la ranura G.

5 Con referencia a la figura 2(a), el vibrador transmisor 2 se mantiene en una posición tal que la línea focal L en que el ultrasonido transmitido desde la superficie transmisora 5 es enfocado, está dispuesta en la superficie de prueba 7. Así, en la figura 2(a) que sirve como una vista en sección transversal ortogonal a la dirección de extensión de la ranura G, se transmite ultrasonido desde la superficie transmisora 5 del vibrador transmisor 2 para formar el punto (punto focal F), en que el ultrasonido es enfocado, en la superficie curvada de la ranura G en contacto con la superficie de prueba 7.

15 Cuando el ultrasonido transmitido es enfocado en la superficie curvada de la ranura G, como se ilustra en la figura 2(a), es posible suprimir la difusión no uniforme (o dispersión) en la dirección de la profundidad del ultrasonido debido a la refracción del ultrasonido aplicado en la superficie curvada de la ranura G. Según la figura 2(a), el ultrasonido propagado desde la superficie curvada de la ranura G al artículo inspeccionado W se propaga hacia una parte inferior plana H de un agujero inferior plano (FBH) formado como un defecto, usando al mismo tiempo el punto focal F como una fuente de sonido puntual.

20 Aquí, la disposición del vibrador transmisor 2 y el vibrador receptor 3 se describirá con más detalle con referencia a la figura 2(b). La figura 2(b) ilustra la estructura de la sonda ultrasónica 1 en el estado de la figura 2(a) en contacto con el artículo inspeccionado W, según se ve desde un lado perpendicular a la dirección de extensión de la ranura G.

25 Como se ha descrito anteriormente, el vibrador transmisor 2 y el vibrador receptor 3 están dispuestos con la pared de aislamiento acústico 8 dispuesta entremedio mientras que la superficie transmisora 5 y la superficie receptora 6 miran hacia la superficie de prueba 7 de la cuña 4. Además, el vibrador transmisor 2 está inclinado de modo que la superficie transmisora 5 mira hacia una porción desde la superficie de prueba 7 a la pared de aislamiento acústico 8, y el vibrador receptor 3 también está inclinado de modo que la superficie receptora 6 mira hacia una porción desde la superficie de prueba 7 a la pared de aislamiento acústico 8.

35 Como se ilustra en la figura 2(b), el vibrador transmisor 2 y el vibrador receptor 3 están dispuestos de manera inclinada con respecto a la superficie curvada de la ranura G y la superficie de prueba 7 de la sonda ultrasónica 1 de modo que un ángulo de cara  $\alpha$  formado por la superficie transmisora 5 del vibrador transmisor 2 y la superficie receptora 6 del vibrador receptor 3 es un ángulo obtuso. Aquí, el ángulo de cara  $\alpha$  se define de la siguiente manera.

40 En primer lugar, por ejemplo, se supone un eje de transmisión 9 que penetra perpendicularmente la posición central de la superficie transmisora 5 del vibrador transmisor 2 en la dirección de formación de arco hacia la línea focal L. Igualmente, se supone un eje de recepción 10 que penetra perpendicularmente la posición central de la superficie receptora 6 del vibrador receptor 3 en la dirección de formación de arco hacia la línea focal L correspondiente a la superficie receptora 6. El ángulo formado por el eje de transmisión 9 y el eje de recepción 10 se designa como un ángulo de techo  $\beta$ . Cuando el vibrador receptor 3 tiene forma análoga a una chapa plana, se supone un eje de recepción 10 que penetra perpendicularmente en la posición central de la superficie receptora 6 de forma análoga a la chapa plana en la dirección a lo ancho y la dirección longitudinal, y el ángulo formado por el eje de transmisión 9 y el eje de recepción 10 se designa ángulo de techo  $\beta$ .

45 Cuando el ángulo de techo  $\beta$  se determina de esta forma, el ángulo de cara  $\alpha$  formado por la superficie transmisora 5 del vibrador transmisor 2 y la superficie receptora 6 del vibrador receptor 3 es un valor obtenido restando el ángulo de techo  $\beta$  de  $180^\circ$  (ángulo de cara  $\alpha = 180^\circ - \text{ángulo de techo } \beta$ ).

50 Entonces, en la figura 2(b), el vibrador transmisor 2 y el vibrador receptor 3 están dispuestos en posiciones correspondientes a un techo cuando la cuña 4 se considera como un edificio, y están inclinados. El vibrador transmisor 2 y el vibrador receptor 3 están dispuestos preferiblemente en un ángulo de inclinación tal que el ángulo de techo  $\beta$  es menos de  $90^\circ$ . Poniendo el ángulo de techo  $\beta$  a menos de  $90^\circ$  y poniendo el ángulo de cara  $\alpha$  en un ángulo obtuso, es posible realizar una sonda ultrasónica 1 que puede detectar defectos presentes a varias profundidades debajo de la superficie del artículo inspeccionado W.

55 Entonces, el vibrador transmisor 2 y el vibrador receptor 3 están inclinados en el mismo ángulo con respecto a la pared de aislamiento acústico 8 de modo que las extensiones del eje de transmisión 9 y el eje de recepción 10 intersecan en un punto (punto de intersección de eje). Disponiendo el vibrador transmisor 2 y el vibrador receptor 3 de esta forma, como se ilustra en la figura 2(b), el eje de transmisión 9 y el eje de recepción 10 intersecan en un punto a una cierta profundidad dentro del artículo inspeccionado W incluso en consideración de la refracción en la superficie del artículo inspeccionado W.

60 El ángulo de cara  $\alpha$  y el ángulo de techo  $\beta$  descritos anteriormente pueden ponerse arbitrariamente según la forma y el material del artículo inspeccionado W. Dado que la posición del punto de intersección del eje de transmisión 9 y el

eje de recepción 10 se cambia cambiando el ángulo de cara  $\alpha$  y el ángulo de techo  $\beta$ , la posición donde el eje de transmisión 9 y el eje de recepción 10 intersecan dentro del artículo inspeccionado W se puede poner a varias profundidades.

5 Disponiendo así el vibrador transmisor 2 y el vibrador receptor 3 de modo que el eje de transmisión 9 y el eje de recepción 10 intersequen, la sonda ultrasónica 1 puede estar configurada de tal manera que la sensibilidad sea alta en particular cerca del punto de intersección axial del eje de transmisión 9 y el eje de recepción 10. Por lo tanto, la sonda ultrasónica 1 que tiene alta sensibilidad a una profundidad deseada puede configurarse poniendo la posición de intersección del eje de transmisión 9 y el eje de recepción 10 a varias profundidades.

10 Las figuras 3(a), 3(b), y 3(c) ilustran diferencias en la posición donde el eje de transmisión 9 y el eje de recepción 10 intersecan cuando el ángulo de cara  $\alpha$  y el ángulo de techo  $\beta$  se ponen de tres formas. Las figuras 3(a) a 3(c) ilustran los estados en que la sonda ultrasónica 1 está dispuesta en la misma posición en la ranura G del artículo inspeccionado W cuando el vibrador transmisor 2 y el vibrador receptor 3 están dispuestos en diferentes ángulos de cara  $\alpha$  y diferentes ángulos de techo  $\beta$ . La profundidad de la superficie del artículo inspeccionado W y la posición de una parte inferior plana H de un agujero inferior plano (FBH) formado como un defecto dentro del artículo inspeccionado W directamente debajo de la sonda ultrasónica 1 son los mismos en las figuras 3(a) a 3(c).

15 La figura 3(a) ilustra un estado en que el vibrador transmisor 2 y el vibrador receptor 3 están dispuestos en un ángulo de techo  $\beta$  grande (o un ángulo de cara  $\alpha$  pequeño). Cuando el ángulo de techo  $\beta$  es grande (o cuando el ángulo de cara  $\alpha$  es pequeño), el eje de transmisión 9 y el eje de recepción 10 intersecan en una posición relativamente poco profunda dentro del artículo inspeccionado W. Entonces, dado que el eje de transmisión 9 y el eje de recepción 10 intersecan en una posición menos profunda que la parte inferior plana H del agujero inferior plano, la profundidad donde la sensibilidad es más alta es menos profunda que la posición del defecto presente en la parte inferior plana H. Por lo tanto, es difícil afirmar que el ángulo de cara  $\alpha$  y el ángulo de techo  $\beta$  en la figura 3(a) son adecuados para detectar el defecto presente en la posición de la parte inferior plana H.

20 La figura 3(b) ilustra un estado en que el vibrador transmisor 2 y el vibrador receptor 3 están dispuestos en un ángulo de techo  $\beta$  menor que en la figura 3(a) (o en un ángulo de cara  $\alpha$  mayor que en la figura 3(a)). En el ángulo de cara  $\alpha$  y el ángulo de techo  $\beta$  en la figura 3(b), el eje de transmisión 9 y el eje de recepción 10 intersecan justo en la posición en la parte inferior plana H del agujero inferior plano. Por lo tanto, el ángulo de cara  $\alpha$  y el ángulo de techo  $\beta$  en la figura 3(b) son tales que la sensibilidad es más alta en la posición del defecto presente en la posición de la parte inferior plana H y tales que la posición y la forma del defecto pueden ser detectadas con exactitud.

25 La figura 3(c) ilustra un estado en que el vibrador transmisor 2 y el vibrador receptor 3 están dispuestos en un ángulo de techo  $\beta$  aún menor (o un ángulo de cara  $\alpha$  aún mayor) que en las figuras 3(a) y 3(b). En el ángulo de cara  $\alpha$  y el ángulo de techo  $\beta$  de la figura 3(c), el eje de transmisión 9 y el eje de recepción 10 intersecan en una posición más profunda que la posición de la parte inferior plana H del agujero inferior plano, y la profundidad donde la sensibilidad es más alta es más profunda que la posición del defecto presente en la posición de la parte inferior plana H. Por lo tanto, el ángulo de cara  $\alpha$  y el ángulo de techo  $\beta$  en la figura 3(c) permiten la detección de la presencia del defecto, pero es desventajoso para la detección exacta de la posición y la forma del defecto.

30 La sonda ultrasónica antes descrita 1 de esta realización se caracteriza porque tiene la estructura de la denominada sonda de cristal doble que realiza una prueba con dos vibradores, es decir, el vibrador transmisor 2 para transmisión solamente y el vibrador receptor 3 para recepción solamente. Además, la sonda ultrasónica 1 de esta realización se caracteriza porque tiene la estructura en que el vibrador transmisor 2 transmite ultrasonido para formar la línea focal L en la superficie de prueba 7. Según la sonda ultrasónica 1 de esta realización, además de estas características, el eco superficial del ultrasonido puede ser suprimido bien y la sensibilidad en la dirección de la profundidad del artículo inspeccionado W puede ajustarse adecuadamente a una profundidad deseada poniendo adecuadamente el ángulo de cara  $\alpha$  y el ángulo de techo  $\beta$  del vibrador transmisor 2 y el vibrador receptor 3.

35 En la sonda ultrasónica 1, cuando se ponen el ángulo de cara  $\alpha$  y el ángulo de techo  $\beta$ , la distancia desde el vibrador transmisor 2 y el vibrador receptor 3 a la superficie de prueba 7 es diferente entre el lado de la pared de aislamiento acústico 8 y el lado opuesto a la pared de aislamiento acústico 8. La forma y la curvatura de la cara curvada del vibrador transmisor 2 se cambian preferiblemente en la dirección longitudinal del vibrador transmisor 2 de modo que el vibrador transmisor 2 puede formar la línea focal L en la superficie de prueba 7 incluso cuando el ángulo de cara  $\alpha$  y el ángulo de techo  $\beta$  se ponen de este modo.

40 La propiedad de sensibilidad de la sonda ultrasónica 1 de esta realización se describirá con referencia a las figuras 4(a), 4(b) y 4(c).

45 La figura 4(a) representa la propiedad de sensibilidad de prueba de solamente una estructura para transmitir ultrasonido para formar una línea focal L en la superficie de prueba 7 con un vibrador que realiza tanto transmisión como recepción del ultrasonido (enfoque de superficie), y la figura 4(b) representa la propiedad de sensibilidad de prueba de una estructura de una sonda de cristal doble. La figura 4(c) representa la propiedad de sensibilidad de prueba de la sonda ultrasónica 1 de esta realización en que el ángulo de cara  $\alpha$  y el ángulo de techo  $\beta$  del vibrador



transmisor 2 y el vibrador receptor 3 se ponen adecuadamente y la estructura de enfoque de superficie en la figura 4(a) y la estructura de la sonda de cristal doble en la figura 4(b) se combinan.

Como se ilustra en la figura 4(a), la propiedad de sensibilidad de prueba de enfoque de superficie exhibe una buena propiedad de sensibilidad en un rango directamente debajo de la superficie del artículo inspeccionado W representado como un rango efectivo, pero la sensibilidad de prueba disminuye en gran medida a una cierta profundidad (profundidad).

A continuación, como se ilustra en la figura 4(b), la propiedad de sensibilidad de prueba de la estructura de la sonda de cristal doble exhibe una buena propiedad de sensibilidad en un rango cerca de la posición del punto de intersección axial a una cierta profundidad representada como un rango efectivo, pero es difícil obtener una sensibilidad de prueba suficiente, por ejemplo, directamente debajo de la superficie del artículo inspeccionado W.

Consiguientemente, con referencia a la figura 4(c), la sonda ultrasónica 1 de esta realización exhibe una buena propiedad de sensibilidad en un rango de una posición directamente debajo de la superficie del artículo inspeccionado W a una posición cerca de un punto de intersección axial a una cierta profundidad, como muestra un rango efectivo. Por lo tanto, la sonda ultrasónica 1 puede obtener una sensibilidad de prueba suficiente en un amplio rango en la dirección de la profundidad del artículo inspeccionado W.

Las ventajas de la sonda ultrasónica 1 de esta realización se describirán específicamente con referencia a la figura 5. La figura 5 es un gráfico que representa el resultado de un experimento cuando se realizó una prueba en las partes inferiores planas H de los agujeros inferiores planos de diferentes profundidades con una sonda ultrasónica 1 que tenía un ángulo de techo de  $10^\circ$  (ángulo de cara de  $170^\circ$ ) y una sonda ultrasónica 1 que tenía un ángulo de techo de  $12^\circ$  (ángulo de cara de  $168^\circ$ ).

El experimento se realizó en el procedimiento siguiente. En primer lugar, se prepararon cinco artículos inspeccionados W cuyas partes inferiores planas H de un diámetro de 0,5 mm ( $\Phi 0,5$ ) se formaron a profundidades de 5 mm, 10 mm, 20 mm, 35 mm y 50 mm, respectivamente. A continuación, se realizó una prueba en las partes inferiores planas H de los agujeros inferiores planos del artículo inspeccionados W con la sonda ultrasónica 1 que tenía el ángulo de techo de  $10^\circ$  y la sonda ultrasónica 1 que tenía el ángulo de techo de  $12^\circ$ , y se hallaron las relaciones de ecos obtenidos a ruido (relaciones S/R).

Según el gráfico de la figura 5, la relación S/R disminuye cuando la profundidad de la parte inferior plana H del agujero inferior plano aumenta. Tanto la sonda ultrasónica 1 que tiene el ángulo de techo de  $10^\circ$  como la sonda ultrasónica 1 que tiene el ángulo de techo de  $12^\circ$  logran una relación S/R suficiente que supera 18 dB en el rango de profundidad de la parte inferior plana H de 5 a 10 mm, y obtienen una relación S/R de 2 dB o más que puede detectar el defecto incluso cuando la profundidad excede de 40 mm.

Por lo tanto, según la sonda ultrasónica 1 de esta realización, es posible realizar la prueba en un amplio rango en la dirección de la profundidad del artículo inspeccionado W desde una parte inferior plana poco profunda H que tiene una profundidad de aproximadamente 5 mm a una parte inferior plana profunda H que tiene una profundidad superior a 40 mm. Esto corresponde a la propiedad de sensibilidad de prueba representada en la figura 4(c). Además, la sonda ultrasónica 1 que tiene el ángulo de techo de  $10^\circ$  obtiene una relación S/R, con respecto a una parte inferior plana profunda H que tiene una profundidad superior a 30 mm, más alta que la sonda ultrasónica 1 que tiene el ángulo de techo de  $12^\circ$ . Esto muestra la característica de la sonda ultrasónica 1 de esta realización en la que se obtiene alta sensibilidad a una profundidad deseada poniendo adecuadamente el ángulo de techo  $\beta$  y el ángulo de cara  $\alpha$ , y corresponde a la descripción con referencia a las figuras 3(a), 3(b) y 3(c).

#### [Segunda realización]

Una segunda realización de la presente invención se describirá con referencia a la figura 1 y las figuras 6(a) y 6(b).

Las figuras 6(a) y 6(b) son vistas esquemáticas que ilustran una estructura en que una sonda ultrasónica 1a según esta realización está dispuesta en una superficie curvada de una ranura G en un artículo inspeccionado W. La figura 6(a) es similar a la figura 2(a), y es una vista esquemática que ilustra la posición y la estructura de la sonda ultrasónica 1a en una sección transversal lateral ortogonal a una dirección longitudinal (también denominada una dirección de extensión) de la ranura G. La figura 6(b) es una vista esquemática que ilustra la posición y la estructura de la sonda ultrasónica 1a en otra sección transversal lateral (el otro lado) ortogonal a la dirección longitudinal (dirección de extensión) de la ranura G. Es decir, la figura 6(a) es una vista desde el lado de la flecha A (lado de parte transmisora) en la figura 1, y la figura 6(b) es una vista desde un lado (lado de parte receptora) opuesto a la flecha A de la figura 1.

Aunque la sonda ultrasónica 1a de esta realización tiene una estructura sustancialmente similar a la de la sonda ultrasónica 1 de la primera realización e incluye una parte transmisora, una parte receptora y una cuña 4, se caracteriza por la estructura de la parte receptora en contraposición a la sonda ultrasónica 1 de la primera

realización. La estructura de la parte receptora en la sonda ultrasónica 1a de esta realización se describirá a continuación.

5 La parte receptora de la sonda ultrasónica 1a incluye un vibrador receptor 3a que recibe ultrasonido reflejado dentro del artículo inspeccionado W y propagado a la superficie curvada.

10 Como se ilustra en la figura 6(b), una superficie receptora 6a del vibrador receptor 3a para recibir ultrasonido está curvada en una forma sustancialmente arqueada que es cóncava a una superficie del artículo inspeccionado W, de forma similar al vibrador transmisor 2 de la sonda ultrasónica 1 de la primera realización. La curva de la superficie receptora 6a se ha dispuesto formando un punto F' (punto focal F'), donde el ultrasonido recibido es enfocado, en una posición correspondiente a la superficie curvada (superficie delantera curvada) de la ranura G en la sección transversal (vista sobre la flecha A en la figura 1) ortogonal a la dirección de extensión de la ranura G. En otros términos, el vibrador receptor 3a está dispuesto en la sonda ultrasónica 1 de modo que el punto F' (punto focal F') que sirve como el punto focal determinado en correspondencia con la forma sustancialmente arqueada de la superficie receptora 6a se forma en una posición correspondiente a la superficie curvada (superficie delantera curvada) de la ranura G, es decir, en una superficie de prueba 7 de la cuña 4.

20 El vibrador receptor 3a que así forma el punto focal F', forma una línea focal L' en la superficie de prueba 7 en correspondencia con el punto focal F', de forma similar a una línea focal L formada en la superficie de prueba 7 por un vibrador transmisor 2 en correspondencia con un punto focal F. Específicamente, el vibrador receptor 3a forma, en la superficie de prueba 7 a una distancia predeterminada de la superficie receptora 6a, una línea focal sustancialmente recta L' (punto focal F') a lo largo de la dirección longitudinal del vibrador receptor 3a perpendicular a la dirección de formación del arco de la superficie receptora 6a. El ultrasonido reflejado dentro del artículo inspeccionado W y que pasa a través de la línea focal L' (punto focal F'), del ultrasonido transmitido desde una superficie transmisora 5 del vibrador transmisor 2, es recibido por la superficie receptora 6a del vibrador receptor 3a.

25 Aquí, también se puede considerar que la línea focal L' corresponde a un eje central de un cilindro, una columna o un cono (cono truncado) que tiene una superficie lateral cuya parte está formada por la superficie receptora 6a del vibrador receptor 3a de forma análoga a una canaleta o un medio cilindro y que el punto focal F' corresponde a un punto en el eje central.

30 Como se ha descrito anteriormente, el vibrador receptor 3a de la sonda ultrasónica 1a se ha formado de modo que la superficie receptora 6a para recibir ultrasonido esté curvada en forma cóncava en forma sustancialmente arqueada para formar el punto focal F', donde el ultrasonido recibido es enfocado, en la posición correspondiente a la superficie curvada de la ranura G. Aquí, la línea focal L' correspondiente al punto focal F' formado por la superficie receptora 6a del vibrador receptor 3a coincide preferiblemente con una extensión de la línea focal L del vibrador transmisor 2. Cuando la línea focal L' coincide con la extensión de la línea focal L, la sensibilidad de recepción puede incrementarse en la sonda ultrasónica 1a en que se ponen el ángulo de cara  $\alpha$  y el ángulo de techo  $\beta$ , como se ilustra en la figura 2(b) de la primera realización.

35 El vibrador receptor 3a está formado por un vibrador compuesto similar al vibrador transmisor 2 en la parte transmisora, y genera un voltaje correspondiente a la intensidad y la frecuencia del ultrasonido recibido por la superficie receptora 6a. Aunque el vibrador receptor 3a puede estar formado por el vibrador compuesto de forma análoga a la superficie cóncava similar al vibrador transmisor 2, como se ha descrito anteriormente, puede conformarse curvando un elemento piezoeléctrico plano a forma de superficie cóncava sin ser formado por el vibrador compuesto.

40 Estructurando así la parte receptora de la sonda ultrasónica 1a para lograr enfoque en la superficie curvada de la ranura G, de forma similar a la parte transmisora, el ultrasonido reflejado que ha pasado a través del punto F', del ultrasonido reflejado por un defecto dentro del artículo inspeccionado W, puede ser recibido de forma considerablemente clara. Así, es posible obtener la sonda ultrasónica 1a que tiene alta sensibilidad cerca de la superficie del artículo inspeccionado W.

#### 55 [Ejemplo]

Un ejemplo de la presente invención se describirá con referencia a las figuras 1, 7, 8(a) y 8(b).

60 La figura 7 es una vista conceptual que explica la estructura de una parte receptora en una sonda ultrasónica 1b según este ejemplo. Las figuras 8(a) y 8(b) son vistas esquemáticas que ilustran la estructura cuando la sonda ultrasónica 1b de este ejemplo está dispuesta en una superficie curvada de una ranura G en un artículo inspeccionado W. La figura 8(a) es similar a las figuras 2(a) y 6(a), y es una vista esquemática que ilustra la posición y la estructura de la sonda ultrasónica 1b en una sección transversal lateral ortogonal a una dirección longitudinal (también denominada una dirección de extensión) de la ranura G. La figura 8(b) es una vista esquemática que ilustra la posición y la estructura de la sonda ultrasónica 1b en sección transversal de otro lado (el otro lado) ortogonal a la dirección longitudinal (dirección de extensión) de la ranura G. Es decir, la figura 8(a) es una vista desde un lado de la

flecha A en la figura 1 (lado de parte transmisora), y la figura 8(b) es una vista desde un lado (lado de parte receptora) enfrente de la flecha A en la figura 1.

5 Aunque la sonda ultrasónica 1b de este ejemplo tiene una estructura sustancialmente similar a las de la sonda ultrasónica 1 de la primera realización y la sonda ultrasónica 1a de la segunda realización e incluye una parte transmisora, una parte receptora y una cuña 4, se caracteriza por la estructura de la parte receptora en contraposición a la sonda ultrasónica 1 y la sonda ultrasónica 1a. La estructura de la parte receptora en la sonda ultrasónica 1b de este ejemplo se describirá a continuación.

10 La parte receptora de la sonda ultrasónica 1b incluye un vibrador receptor 3b que recibe ultrasonido reflejado dentro del artículo inspeccionado W y propagado a la superficie curvada.

15 El concepto de la estructura del vibrador receptor 3b en la parte receptora se describirá con referencia a la figura 7. Aunque la superficie receptora 6a del vibrador receptor 3a en la segunda realización está curvada en la forma sustancialmente arqueada que es cóncava a la superficie del artículo inspeccionado W, el vibrador receptor 3b de la parte receptora en la sonda ultrasónica 1b de este ejemplo tiene una superficie receptora 6b curvada de una forma sustancialmente arqueada que es convexa a la superficie del artículo inspeccionado W. Es decir, la superficie receptora 6b del vibrador receptor 3b está curvada en forma sustancialmente arqueada en una dirección opuesta a la superficie receptora 6a del vibrador receptor 3a en la segunda realización con respecto a la superficie del artículo inspeccionado W.

20 El vibrador receptor 3b está formado por un vibrador compuesto similar a un vibrador transmisor 2 en la parte transmisora, y genera un voltaje correspondiente a la intensidad y frecuencia de ultrasonido recibido por la superficie receptora 6b. Aunque el vibrador receptor 3b puede estar formado por un vibrador compuesto que es de forma análoga a la superficie cóncava de forma similar al vibrador transmisor 2, como se ha descrito anteriormente, puede conformarse curvando un elemento piezoeléctrico plano a la forma de una superficie cóncava sin ser formado por el vibrador compuesto.

25 Aunque no se ilustra en la figura 7, se considerará un caso en que la cuña 4 para sujetar el vibrador receptor 3b está formada de resina acrílica como un tipo de resina y el artículo inspeccionado W está formado por un material de acero. En este caso, el ultrasonido que se propaga desde la superficie receptora 6b del vibrador receptor 3b al material de acero que sirve como el artículo inspeccionado W mediante una superficie de prueba 7 de la cuña 4 es refractado por una interfaz entre la superficie de prueba 7 y el material de acero y es enfocado en un punto focal FI en la figura 7. Sin embargo, dado que la superficie receptora 6b del vibrador receptor 3b no transmite ultrasonido, pero recibe ultrasonido, recibe el ultrasonido reflejado que es reflejado dentro del material de acero que sirve como el artículo inspeccionado W, pasa a través del punto focal FI, y avanza hacia atrás a través del recorrido de propagación antes descrito de la superficie receptora 6b al interior del material de acero.

30 De esta forma, en el vibrador receptor 3b de este ejemplo, la superficie receptora 6b está curvada en forma sustancialmente arqueada que es convexa a la superficie del artículo inspeccionado W para formar el punto focal FI donde el recorrido de propagación de ultrasonido a recibirse es enfocado dentro del artículo inspeccionado W, y está dispuesto en la parte receptora de la sonda ultrasónica 1b. El ultrasonido es refractado en la interfaz entre el artículo inspeccionado W y la cuña 4 por la diferencia entre una velocidad (velocidad del sonido) V1 (2730 m/s) a que una onda longitudinal del ultrasonido se propaga en la resina acrílica (cuña 4) y una velocidad (velocidad del sonido) V2 (5900 m/s) a que la onda longitudinal del ultrasonido se propaga en el material de acero (artículo inspeccionado W). El punto focal FI representa que el ultrasonido es enfocado en esta posición debido a este efecto de refracción. Es decir, para realizar el punto focal FI dentro del artículo inspeccionado W, hay que lograr la refracción ilustrada del ultrasonido en la interfaz. Para dicha finalidad, en la cuña (elemento cuña) 4 provista del vibrador receptor 3b, al menos la superficie de prueba 7 que tocará el artículo inspeccionado W tiene que formarse de un material que tenga una velocidad del sonido inferior a la velocidad del sonido (V2: 5900 m/s) del artículo inspeccionado W, por ejemplo, resina acrílica (V1: 2730 m/s).

35 Entonces, la posición y la profundidad del punto focal FI dentro del artículo inspeccionado W puede cambiarse cambiando el tamaño de la curva del vibrador receptor 3b y la distancia entre el vibrador receptor 3b y la superficie de prueba 7. Dado que el vibrador receptor 3b puede recibir claramente ultrasonido reflejado del punto focal FI y su entorno, la forma y la posición del vibrador receptor 3b son determinadas preferiblemente según la profundidad del punto focal FI que es predeterminado según la profundidad de un defecto a detectar.

40 Con referencia a las figuras 8(a) y 8(b) se describirá la estructura de la sonda ultrasónica 1b incluyendo el vibrador receptor 3b en base al concepto antes descrito.

45 Como se ilustra en la figura 8(b), la superficie receptora 6b del vibrador receptor 3b para recibir ultrasonido está curvada en una forma sustancialmente arqueada que es convexa a la curva (superficie de prueba) de la ranura G en la superficie del artículo inspeccionado W. La curva de la superficie receptora 6b está formada de modo que el punto focal FI que sirve como el punto donde el ultrasonido recibido es enfocado, se forma dentro del artículo

60

65

inspeccionado W directamente debajo de la superficie curvada (superficie delantera curvada) de la ranura G en una sección transversal (vista sobre la flecha A de la figura 1) ortogonal a la dirección de extensión de la ranura G.

5 En otros términos, el vibrador receptor 3b está dispuesto en la sonda ultrasónica 1 sujetándose al mismo tiempo por la cuña (elemento cuña) 4 hecho de resina, tal como resina acrílica, de modo que el punto focal FI que sirve como el punto focal determinado en correspondencia con la forma sustancialmente arqueada de la superficie receptora 6b se forme dentro del artículo inspeccionado W debajo de la superficie curvada de la ranura G.

10 El vibrador receptor 3b que forma el punto focal FI forma de esta manera una línea focal LI dentro del artículo inspeccionado W en correspondencia con el punto focal FI, de forma similar a una línea focal L formada en la superficie de prueba 7 por el vibrador transmisor 2 en correspondencia con un punto focal F. Específicamente, el vibrador receptor 3b forma la línea focal LI sustancialmente paralela a la línea focal L dentro del artículo inspeccionado W en correspondencia con el punto focal FI donde el ultrasonido a recibirse es enfocado y pasa. El ultrasonido reflejado dentro del artículo inspeccionado W y pasado a través de la línea focal LI (punto focal FI), del ultrasonido transmitido desde la superficie transmisora 5 del vibrador transmisor 2, es recibido por la superficie receptora 6b del vibrador receptor 3b.

20 Aquí, de forma similar a la primera realización ilustrada en la figura 2(b), se pone un eje de recepción 10 para el vibrador receptor 3b de este ejemplo. Entonces, el punto focal FI se forma preferiblemente en un punto de intersección de un eje de transmisión 9 del vibrador transmisor 2 y el eje de recepción 10 que se determina poniendo los ángulos de cara y techo  $\alpha$  y  $\beta$ . Es decir, la línea focal LI pasa preferiblemente a través del punto de intersección del eje de transmisión 9 y el eje de recepción 10.

25 Como se ilustra en la figura 8(b) descrita anteriormente, en la sonda ultrasónica 1b de este ejemplo, la sensibilidad en una posición más profunda que la posición cerca de la superficie del artículo inspeccionado W puede mejorarse formando la línea focal LI (punto focal FI) dentro del artículo inspeccionado W debajo de la superficie curvada de la ranura G en la sección transversal ortogonal a la dirección de extensión de la ranura G. Así, la sonda ultrasónica 1 de este ejemplo puede recibir claramente ultrasonido reflejado pasado a través de la línea focal LI (punto focal FI) del ultrasonido reflejado por un defecto dentro del artículo inspeccionado W. Además, cuando el punto focal FI se forma en el punto de intersección del eje de transmisión 9 del vibrador transmisor 2 y el eje de recepción 10 del vibrador receptor 3b y la línea focal LI pasa a través del punto focal FI, se puede lograr alta sensibilidad en un rango considerablemente amplio en la dirección de la profundidad del artículo inspeccionado W, además de la mejora de sensibilidad antes descrita.

35 Deberá considerarse que las realizaciones y el ejemplo aquí descritos son ilustrativos en todos los aspectos, pero no son restrictivos. En particular, en las realizaciones y el ejemplo aquí descrito, las materias que no se describen expresamente, por ejemplo, una condición de funcionamiento, una condición operativa, varios parámetros, dimensiones, pesos y volúmenes de los componentes no se apartan del alcance que normalmente ponen los expertos en la técnica, y emplean valores que los expertos en la técnica pueden concebir de forma normal y fácil.

40 Por ejemplo, dado que se supone que se usan las sondas ultrasónicas 1, 1a, y 1b descritas en unión con las realizaciones anteriores y el ejemplo para la superficie curvada, tal como un filete, dispuesta en el artículo inspeccionado W, adoptan la superficie de prueba 7 curvada con una curvatura tal que siga la superficie curvada del artículo inspeccionado W. Sin embargo, es claro que se puede obtener ventajas similares a las ventajas antes descritas incluso cuando las sondas ultrasónicas 1, 1a y 1b de las realizaciones antes descritas y el ejemplo adoptan una superficie de prueba plana a usar para una superficie plana del artículo inspeccionado W.

50 La presente solicitud se basa en la Solicitud de Patente japonesa (número 2013-026712) presentada el 14 de febrero de 2013 y la Solicitud de Patente japonesa (número 2013-223269) presentada el 28 de octubre de 2013.

#### Lista de signos de referencia

55 1, 1a, 1b: sonda ultrasónica; 2: vibrador transmisor; 3, 3a, 3b: vibrador receptor; 4: cuña (elemento cuña); 5: superficie de transmisión; 6, 6a, 6b: superficie de recepción; 7: superficie de prueba; 8: pared de aislamiento acústico; 9: eje de transmisión; 10: eje de recepción.

G: ranura

60 H: parte inferior plana

W: artículo inspeccionado

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Una sonda ultrasónica (1; 1a) para detectar un defecto dentro de un artículo inspeccionado (W) que tiene una ranura (G) formada por una superficie curvada transmitiendo ultrasonido al artículo inspeccionado (W) y recibiendo ultrasonido reflejado dentro del artículo inspeccionado (W), incluyendo la sonda ultrasónica (1; 1a) una parte transmisora que tiene un vibrador transmisor (2) configurado para transmitir ultrasonido hacia la superficie curvada de la ranura (G), una parte receptora que tiene un vibrador receptor (3; 3a) configurado para recibir ultrasonido reflejado dentro del artículo inspeccionado (W) y propagado a la superficie curvada y una cuña (4) configurada para sujetar el vibrador transmisor (2) y el vibrador receptor (3; 3a),
- 10 donde el vibrador transmisor (2) tiene una superficie transmisora (5) para generar ultrasonido que está curvada de forma arqueada de manera que sea cóncava a la superficie del artículo inspeccionado (W), donde la curvatura de la superficie transmisora cóncava (5) es tal que un punto focal del ultrasonido transmitido se forma en una posición correspondiente a la superficie curvada de la ranura (G) en una sección transversal ortogonal a una dirección de extensión de la ranura (G), y
- 15 donde la parte transmisora y la parte receptora están adyacentes una a otra en la dirección de extensión de la ranura (G), y donde la cuña (4) tiene una superficie de prueba (7) que tiene una forma de cara cilíndrica que es convexa hacia el exterior de la cuña (4).
- 20 2. La sonda ultrasónica (1; 1a) según la reivindicación 1, incluyendo además una pared de aislamiento acústico (8) configurada para dividir un espacio entre la superficie de prueba (7), y el vibrador transmisor (2) y el vibrador receptor (3; 3a),
- 25 donde la pared de aislamiento acústico (8) está dispuesta entre el vibrador transmisor (2) y el vibrador receptor (3; 3a),
- 30 donde el vibrador transmisor (2) y el vibrador receptor (3; 3a) están dispuestos estando al mismo tiempo inclinados con respecto a la superficie curvada de la ranura (G) de modo que un ángulo de cara formado por la superficie transmisora (5) incluida en el vibrador transmisor (2) de la parte transmisora y una superficie receptora (6; 6a) incluida en el vibrador receptor (3; 3a) de la parte receptora es un ángulo obtuso, y
- 35 el vibrador transmisor (2) y el vibrador receptor (3; 3a) están dispuestos inclinados en el mismo ángulo con respecto a la pared de aislamiento acústico (8) de modo que las extensiones de un eje de transmisión (9) y un eje de recepción (10) intersecan en un punto.
- 40 3. La sonda ultrasónica (1; 1a) según la reivindicación 2, donde la curvatura de la superficie receptora (6; 6a) del vibrador receptor (3; 3a) es tal que un punto focal del ultrasonido recibido se forma en una posición correspondiente a la superficie curvada de la ranura (G) en la sección transversal ortogonal a la dirección de extensión de la ranura (G).

FIG. 1

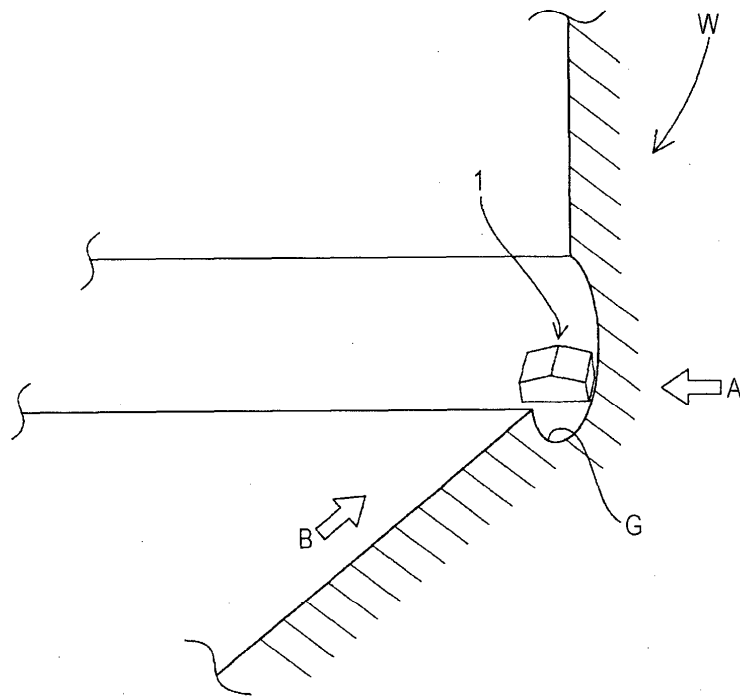


FIG. 2

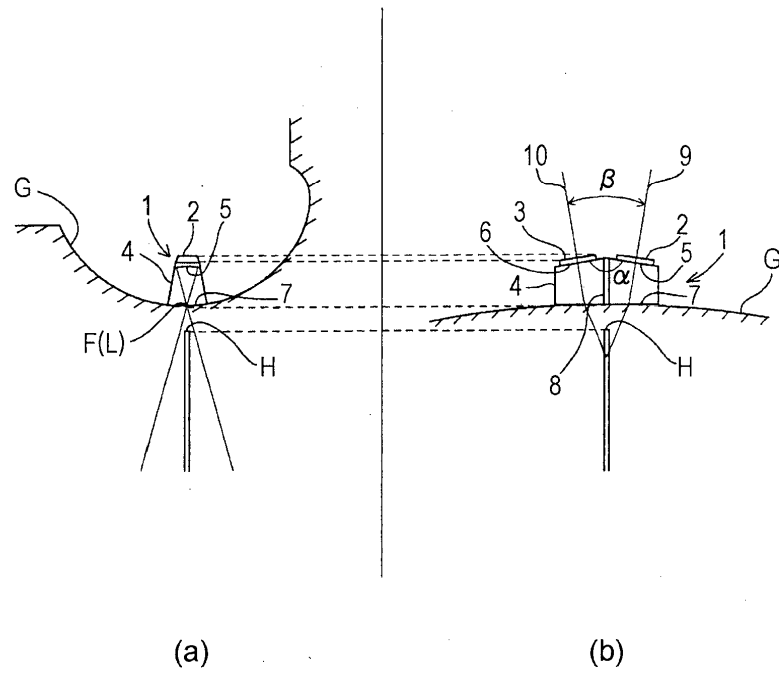


FIG. 3

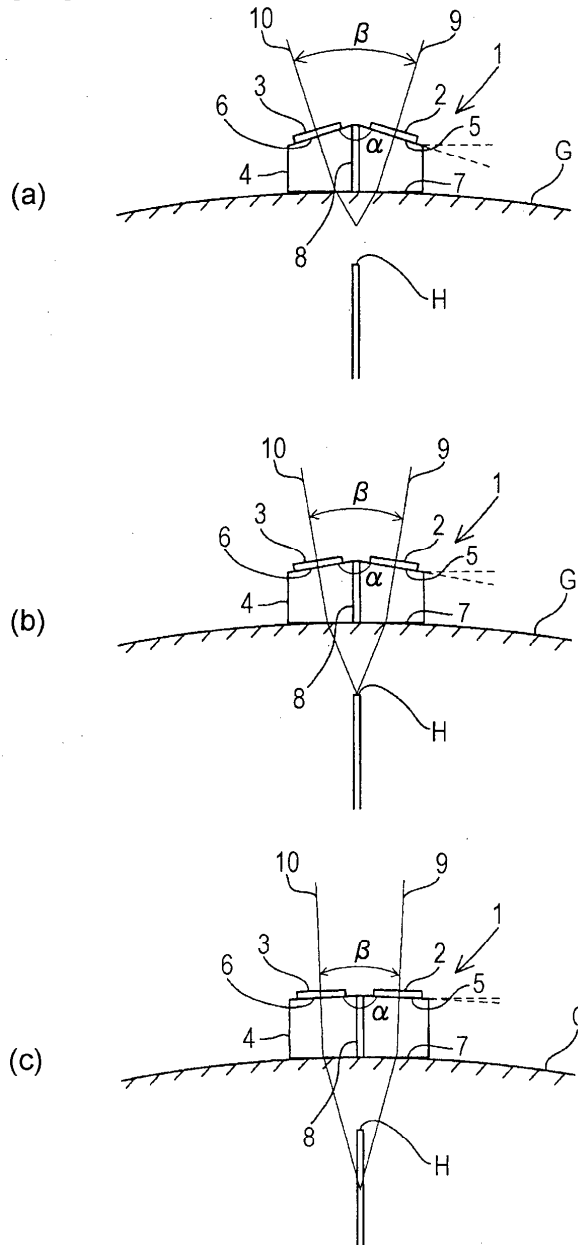
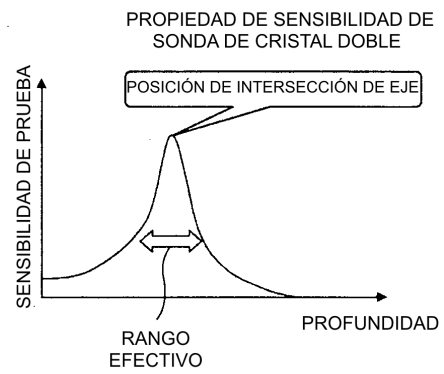




FIG. 4

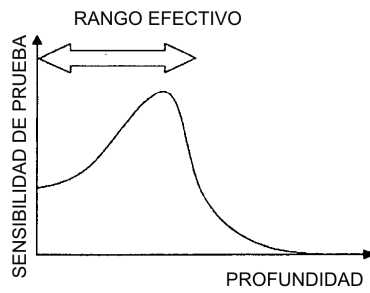


(a)



(b)

PROPIEDAD DE SENSIBILIDAD DE LA REALIZACIÓN



(c)

FIG. 5

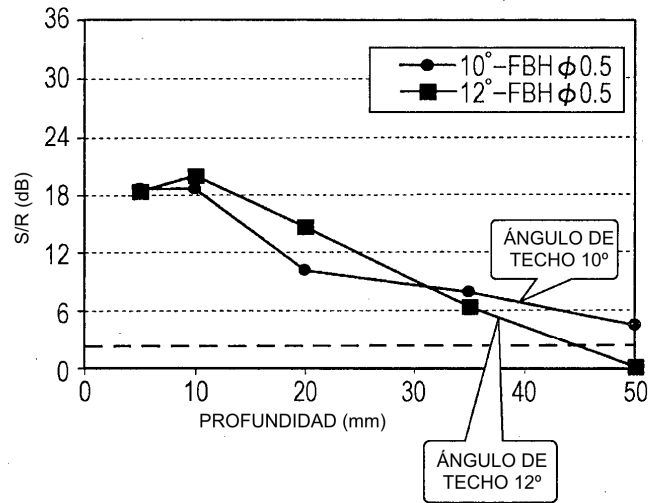


FIG. 6

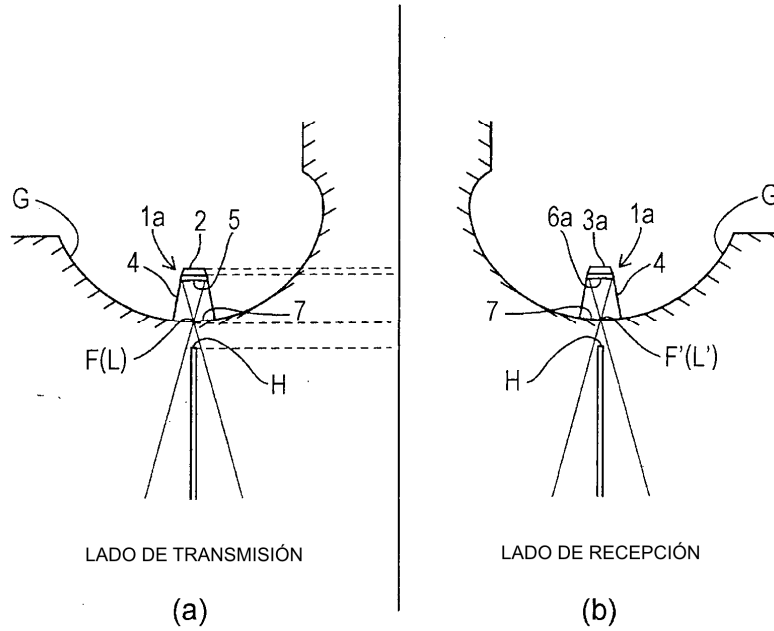


FIG. 7

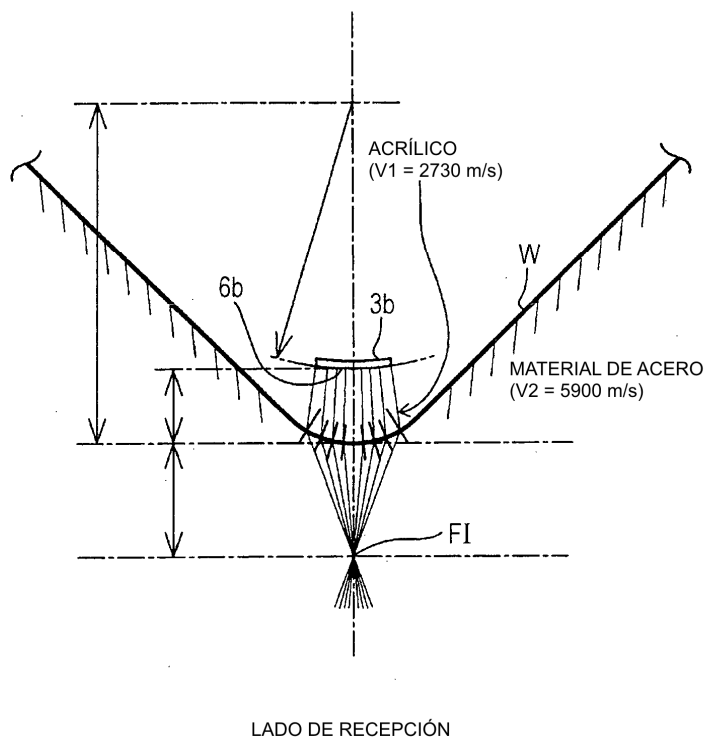


FIG. 8

