

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 677 594**

51 Int. Cl.:

F02M 55/02	(2006.01)	C22C 38/04	(2006.01)
B23K 26/00	(2014.01)	C22C 38/22	(2006.01)
C21D 7/06	(2006.01)	C22C 38/24	(2006.01)
C22C 38/00	(2006.01)	C22C 38/28	(2006.01)
C22C 38/38	(2006.01)	C22C 38/32	(2006.01)
C22C 38/58	(2006.01)	F02M 61/16	(2006.01)
B23K 20/00	(2006.01)	F02M 63/02	(2006.01)
B23K 103/04	(2006.01)		
C21D 7/00	(2006.01)		
C22C 38/02	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.11.2008 PCT/JP2008/070971**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **22.05.2009 WO09064013**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.11.2008 E 08849128 (7)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.06.2018 EP 2211050**

54 Título: **Método para producir conductos comunes y conductos comunes parcialmente reforzados**

30 Prioridad:

12.11.2007 JP 2007293334

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

03.08.2018

73 Titular/es:

**NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION (100.0%)
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku
Tokyo 100-8071, JP**

72 Inventor/es:

**SUGIHASHI, ATSUSHI;
HIRANO, KOJI y
HASEGAWA, YASUSHI**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 677 594 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

Método para producir conductos comunes y conductos comunes parcialmente reforzados

Campo de la invención

5 Esta invención se refiere a un método para producir un conducto común para un sistema de inyección de combustible con acumulador de motor diésel y se refiere a un conducto común localmente reforzado.

Descripción de la técnica relacionada

Un componente de máquina que tiene un paso de fluido es propenso a experimentar una concentración de tensión en los extremos del tubo transportador de fluido y las partes del tubo donde su diámetro cambia radicalmente de modo que la fractura por fatiga causada por la fluctuación de presión del fluido se convierte en un problema.

10 Un conducto común es un componente tubular utilizado en un sistema de inyección de combustible con acumulador de motor diésel. Está situado entre una bomba para bombear combustible diésel y los inyectores, y almacena combustible bajo presión.

La Figura 1 es una sección transversal esquemática de un conducto común 1. El orificio del conducto 5, que es el tubo principal del conducto común 1, funciona para almacenar combustible diésel presurizado. El conducto común 1 está formado por una serie de orificios de ramificación 6 que se extienden de manera normal hasta el orificio del conducto 5. El combustible diésel se bombea a través de los orificios de ramificación 6 a los inyectores asociados. El orificio del conducto 5 tiene un diámetro interno d_1 de aproximadamente 10 mm, y los orificios de ramificación 6 tienen un diámetro interno d_2 de aproximadamente 1 mm. Durante el funcionamiento del motor, el combustible diésel se bombea periódicamente y, por lo tanto, la presión del combustible diésel en el conducto común 1 varía periódicamente. En el transcurso de la variación de la presión periódica, el orificio del conducto 5 y los orificios de ramificación 6 mostrados de la Figura 1 experimentan una variación periódica de tensión de tracción circunferencial. La Figura 2 muestra una vista ampliada de la región periférica limítrofe entre la superficie interna de un orificio de ramificación 6, que es la región periférica de abertura del orificio de ramificación 6, y la superficie interna del orificio del conducto 5. Entre los diferentes sectores de la región periférica de abertura del orificio de ramificación 6, las zonas 7 cerca de los extremos opuestos del diámetro del orificio de ramificación 6 paralelo a la dirección longitudinal del orificio del conducto experimentan una mayor tensión de tracción que otras zonas porque son sitios donde se suman las tensiones de tracción de los dos orificios 5 y 6. Por lo tanto, estas zonas tienden a sufrir fracturas por fatiga debido a la variación de la presión interna. La mejora de la resistencia a la fatiga frente a la variación de la presión interna (resistencia a la fatiga por presión interna) permitiría la inyección de combustible a alta presión y, por lo tanto, es deseable desde el punto de vista de la limpieza del gas de escape y la eficiencia del combustible.

Hasta ahora, la mejora de la resistencia a la fatiga generalmente se ha abordado mediante el uso de acero de alta resistencia para aumentar la resistencia a la fatiga del conducto común. Sin embargo, este método degrada la formabilidad y la trabajabilidad debido a la alta resistencia del acero y aumenta el coste en proporción a la mejora del rendimiento del acero. En respuesta a estos problemas, la solicitud de patente japonesa publicada nº 2004-83979, por ejemplo, describe una invención que reemplaza el método convencional de producir un conducto común por forjado monolítico y procesamiento mecánico con un método para producir un conducto común soldado mediante unión por difusión en fase líquida. Además, la solicitud de patente japonesa publicada nº 2007-40244 describe una invención referida a un acero adecuado para la unión por difusión en fase líquida que no requiere un enfriamiento controlado durante la unión. Sin embargo, el acero descrito en esta referencia de patente tiene una resistencia a la tracción de aproximadamente 600 MPa y, como tal, es deficiente en resistencia para ser utilizado en conductos comunes a presiones de 1.500 atm o incluso de 2.000 atm y superiores, algo necesario para lograr la alta eficiencia de combustible que se ha intentado alcanzar en los últimos años. Aunque la resistencia del acero se puede mejorar notablemente mediante la selección de condiciones de tratamiento térmico y similares, este enfoque dificulta el procesamiento y aumenta enormemente el coste de producción. Además, en el caso donde el procesamiento expone óxidos y/o inclusiones tales como MnS, Al_2O_3 , CaO y similares en la superficie de las regiones de máxima tensión principal, los óxidos y/o inclusiones se convierten en puntos de inicio de fracturas por fatiga durante la aplicación de presión interna. Esto afecta seriamente la producción estable de conductos comunes de alta resistencia y es un problema que no se puede superar.

Además, los intentos no se han limitado al método normal de aumentar la resistencia del acero. Con respecto a la resistencia del conducto común, por ejemplo, las solicitudes de patente japonesa publicadas nºs 2004-20417 y 2004-27968 describen métodos para mitigar la concentración de tensión usando un tratamiento de pulido por fluido o acuñación para achaflanar los bordes de la región de abertura del orificio de ramificación. También se ha estudiado la mejora de la resistencia a la fatiga al impartir una tensión de compresión. Una tecnología que se ha desarrollado es el granallado por láser. Se proporciona un medio líquido u otro medio transparente sobre la superficie de un objeto metálico y un haz de láser pulsado de alta densidad de potencia máxima se dirige a la superficie metálica. La fuerza de reacción de expansión del plasma de ahí producido se utiliza para impartir una tensión de compresión residual cerca de la superficie del objeto metálico. Un método que utiliza esta tecnología se describe, por ejemplo, en la patente japonesa nº 3373638. Un haz de láser se puede transmitir incluso a regiones estrechas tales como la superficie interna

del orificio del conducto y las superficies internas de los orificios de ramificación del conducto común, de modo que el granallado por láser es actualmente el único método disponible para impartir una alta tensión de compresión en las proximidades de las aberturas de los orificios de ramificación del conducto común. Por lo tanto, como se puede observar a partir de la solicitud de patente japonesa publicada nº 2006-322446, se están explorando métodos eficaces para aplicar el granallado por láser a los conductos comunes.

Pese a que el método descrito por la solicitud de patente japonesa publicada nº 2006-322446 permite una mejora considerable de la resistencia a la fatiga del conducto común, tiene los siguientes inconvenientes originados a partir de los aspectos de sistema y efecto. Cuando el haz de láser se dirige a la superficie de la muestra durante el granallado por láser, la capa superficial en y alrededor del punto irradiado con láser se derrite y se vuelve a solidificar, de modo que la capa superficial cerca del punto irradiado con láser a menudo disminuye en la tensión de compresión. Una forma conocida de evitar este problema es proporcionar una capa de sacrificio para absorber el haz de láser. Sin embargo, se requiere un sistema complejo para establecer la capa de sacrificio en las regiones de abertura del orificio de ramificación del conducto común. Por lo tanto, es mejor evitar este procedimiento desde el punto de vista del coste y la productividad.

La patente japonesa nº 3373638 describe dos métodos para retirar regiones afectadas por el calor. En uno, se instala un electrodo orientado hacia la superficie expuesta al haz de láser y su entorno, y se produce una descarga eléctrica controlada del haz de láser entre el electrodo y la superficie. En el otro, se proporciona un líquido transparente en contacto con la superficie expuesta al haz de láser para su uso como un electrolito y se lleva a cabo un pulido electrolítico entre un electrodo instalado frente a la superficie expuesta al haz de láser y cerca de la superficie irradiada con el haz de láser. Sin embargo, el procesamiento preciso y estable a la forma deseada es difícil con estos métodos porque la influencia de la irradiación del haz de láser es grande. Por lo tanto, los métodos son inadecuados para la fabricación industrial de conductos comunes. Como se señala en la solicitud de patente japonesa publicada nº 2006-322446, el problema anteriormente mencionado de la disminución de la tensión de compresión se mitiga aumentando el área superpuesta de los puntos adyacentes del haz de láser pulsado. Sin embargo, con el fin de aumentar el efecto de mejorar la resistencia a la fatiga del conducto común a un nivel aún más alto, es necesario maximizar la tensión de compresión cerca de la capa superficial. Por lo tanto, se desea un enfoque diferente.

Compendio de la invención

El objeto de la presente invención es superar los problemas antes mencionados proporcionando un método para producir un conducto común excelente en resistencia a la fatiga a partir de un acero económico mediante la realización de granallado por láser con respecto a las zonas que están situadas cerca de las aberturas de orificios de ramificación del conducto común susceptibles de convertirse en puntos de inicio de fracturas por fatiga causadas por la concentración de tensión. Otro objeto de la invención es proporcionar un conducto común producido mediante el método.

A través de un estudio realizado para superar los problemas anteriormente mencionados, los autores de la presente invención descubrieron que un conducto común producido a partir de un acero económico se puede mejorar notablemente en resistencia a la fatiga mediante un método que comprende: producir unidades en bloque de forma fácilmente procesable un acero económico de alta resistencia que tenga una resistencia de 600 MPa o superior adecuado para la unión por difusión en fase líquida y que tenga una composición especificada excelente también en la resistencia de la unión; conformar el acero en la forma aproximada de un conducto común mediante unión por difusión en fase líquida; llevar a cabo el granallado por láser para impartir resistencia a la compresión a las zonas en las periferias de abertura del orificio de la ramificación del conducto donde la resistencia a la fatiga es una preocupación; y llevar a cabo un pulido electrolítico o similar para retirar acero de las regiones que incluyen las zonas granalladas por láser. La unión por difusión en fase líquida se utiliza para unir un soporte con el fin de sujetar un tubo hacia afuera de cada orificio de ramificación. Esto facilita el procesamiento del acero de alta resistencia, lo que reduce el coste de producción. Al mismo tiempo, la disminución de la resistencia a la fatiga, que se produce cuando las inclusiones y/o los óxidos están expuestos en las regiones de máxima tensión principal (regiones de abertura del orificio de ramificación) y que es fatal para un acero de alta resistencia, se compensa mediante granallado por láser regulado para el fortalecimiento del conducto común. Estas características de la presente invención permiten la producción a bajo coste de un conducto común resistente a las altas presiones no disponible hasta ahora, que se puede atribuir a la originalidad de la presente invención.

Se proporciona un método y un conducto común según se expone en las reivindicaciones independientes. Las reivindicaciones dependientes definen realizaciones.

Un primer aspecto de la presente invención proporciona un método para producir un conducto común que tiene un orificio de conducto formado en su región central y que tiene múltiples orificios de ramificación que se forman en una región de pared cilíndrica que rodea el orificio del conducto y se conecta al orificio del conducto, en donde el método comprende: utilizar como un material del conducto común un acero para unión por difusión en fase líquida de alta resistencia que tenga una buena tenacidad y resistencia a la fatiga que contenga, en % en masa, C: de 0,01 a 0,3%, Si: de 0,01 a 0,5%, Mn: de 0,01 a 3,0%, Cr: de 1,0 a 12,0% y Mo: de 0,1 a 2,0%, conteniendo adicionalmente, en % en masa, V: de 0,01 a 1,0%, B: de 0,0003 a 0,01%, Ti: de 0,01 a 0,05% y N: de 0,001 a 0,01%, opcionalmente uno o más de Ni: de 0,01 a 9,0%, Co: de 0,01 a 5,0%, Cu: de 0,01 a 5,0%, W: de 0,01 a 2,0%, Zr: de 0,001 a 0,05%, Nb: de

0,001 a 0,05%, Ta: de 0,001 a 0,2%, Hf: de 0,001 a 0,2%, elementos de control de forma de sulfuro seleccionados entre Ca: de 0,0005 a 0,005%, Mg: de 0,0005 a 0,005%, y Ba: de 0,0005 a 0,005%, y elementos de tierras raras seleccionados entre Y: de 0,001 a 0,05%, Ce: de 0,001 a 0,05%, y La: de 0,001 a 0,05%, con un contenido de P limitado a 0,03% o menos, un contenido de S de 0,01% o menos y un contenido de O de 0,01% o menos, teniendo además un contenido total de elementos de fragilidad segregados en el límite del grano As, Sn, Sb, Pb y Zn limitados a 0,015% o menos, y un equilibrio de impurezas inevitables y Fe; llevar a cabo la unión por difusión en fase líquida; propiciar que un líquido transparente esté presente en, y realizar un granallado por láser con un haz de láser pulsado con respecto a, una superficie interna de cada orificio de ramificación situada en una zona periférica de abertura del orificio de ramificación y una zona periférica en un límite entre el orificio de ramificación y una superficie interna del orificio del conducto; y retirar una capa superficial de acero de la zona periférica de la abertura, aumentando así la resistencia a la fatiga de la zona periférica de la abertura.

La retirada de la capa superficial de acero de la zona periférica de la abertura se realiza mediante pulido electrolítico o pulido por fluido.

La energía de pulso del haz de láser pulsado es de 1 mJ a 10 J.

La zona granallada por láser y la zona cuya capa superficial se retira, incluyen una zona en la superficie interna del orificio del conducto que cumple la Fórmula (1) y el espesor de la capa superficial retirada es de 0,01 mm a 0,3 mm en la zona que cumple la Fórmula (1):

Distancia desde el centro del orificio de ramificación \leq Diámetro del orificio de ramificación x 0,6

Ángulo entre el segmento de línea dibujado al centro del orificio de ramificación y dirección longitudinal del orificio del conducto $\leq 10^\circ$

... Fórmula (1).

La retirada de la capa superficial de acero de la zona periférica provoca un radio de curvatura de una línea de forma en la zona periférica de abertura del orificio de ramificación visto en una sección transversal que se extiende en una dirección longitudinal del orificio del conducto e incluye una línea central del orificio de ramificación para que sea de 15 μ m o más en puntos de una región que cumple la Fórmula (2):

Diámetro del orificio de ramificación x 0,5 \leq Distancia desde el centro del orificio de ramificación \leq Diámetro del orificio de ramificación x 0.6

... Fórmula (2)

Un segundo aspecto de la presente invención proporciona un método para producir un conducto común de acuerdo con el primer aspecto de la invención, en donde la zona periférica de la abertura está achafanada antes de realizar el granallado por láser.

Un tercer aspecto de la presente invención proporciona un método para producir un conducto común de acuerdo con el segundo aspecto de la invención, en donde la zona achafanada incluye la zona que cumple la Fórmula (1).

Un cuarto aspecto de la presente invención proporciona un método para producir un conducto común de acuerdo con cualquiera de los aspectos primero a tercero de la invención, en donde el líquido transparente usado en el granallado por láser es alcohol o agua que contiene un inhibidor de óxido.

Un quinto aspecto de la presente invención proporciona un conducto común excelente en cuanto a la propiedad de resistencia a la fatiga producido por el método de acuerdo con cualquiera de los aspectos primero a cuarto, que tiene un orificio de conducto formado en su región central y que tiene múltiples orificios de ramificación que se forman en una región de pared cilíndrica que encierra el orificio del conducto y se conecta al orificio del conducto, en donde el conducto común comprende como su material un acero para la unión por difusión en fase líquida de alta resistencia que tiene una buena tenacidad y resistencia a la fatiga, que contiene, en % masa, C: de 0,01 a 0,3%, Si: de 0,01 a 0,5%, Mn: de 0,01 a 3,0%, Cr: de 1,0 a 12,0% y Mo: de 0,1 a 2,0%, que contiene adicionalmente, en % en masa, V: de 0,01 a 1,0%, B: de 0,0003 a 0,01%, Ti: de 0,01 a 0,05% y N: de 0,001 a 0,01%, opcionalmente uno o más de Ni: de 0,01 a 9,0%, Co: de 0,01 a 5,0%, Cu: de 0,01 a 5,0%, W: de 0,01 a 2,0%, Zr: de 0,001 a 0,05%, Nb: de 0,001 a 0,05%, Ta: de 0,001 a 0,2%, Hf: de 0,001 a 0,2%, elementos de control de forma de sulfuro seleccionados entre Ca: de 0,0005 a 0,005%, Mg: de 0,0005 a 0,005%, y Ba: de 0,0005 a 0,005%, y elementos de tierras raras seleccionados entre Y: de 0,001 a 0,05%, Ce: de 0,001 a 0,05%, y La: de 0,001 a 0,05%, con un contenido de P limitado a 0,03% o menos, un contenido de S a 0,01% o menos y un contenido de O a 0,01% o menos, teniendo además un contenido total de elementos de fragilidad segregados en el límite del grano As, Sn, Sb, Pb y Zn limitados a 0,015% o menos, y un equilibrio de impurezas inevitables y Fe; se conforma una región periférica de abertura de cada orificio de ramificación para que tenga un radio de curvatura de una línea de forma en la zona periférica de abertura del orificio de ramificación visto en una sección transversal que se extiende en una dirección longitudinal del orificio del conducto e incluye una línea central del orificio de ramificación que es de 15 μ m o más en puntos de una región que cumple la

Fórmula (2); y el valor de tensión de compresión normal con respecto a la dirección longitudinal del orificio del conducto en la sección transversal es de -200 MPa o mayor.

Breve descripción de los dibujos

- 5 La Figura 1 es una vista en sección transversal de un conducto común en la dirección longitudinal del orificio del conducto.
- La Figura 2 es una vista en planta de la zona periférica de una abertura de orificio de ramificación de conducto común.
- La Figura 3 es una vista en perspectiva que muestra un procedimiento de producción de un conducto común.
- La Figura 4 es una vista en sección transversal de la zona periférica de una abertura de orificio de ramificación de conducto común.
- 10 La Figura 5 es un gráfico que muestra cómo la resistencia a la tracción a temperatura ambiente de una unión unida por difusión en fase líquida varía con el valor de HTL.
- La Figura 6 es un gráfico que muestra cómo la tenacidad de una unión unida por difusión en fase líquida varía con el valor de HTL.
- La Figura 7 es un gráfico que muestra la tensión residual de una pieza de ensayo granallada por láser.
- 15 La Figura 8 es una vista en planta que muestra un aparato de irradiación por haz de láser.
- La Figura 9 es una vista frontal del aparato mostrado en la Figura 8.
- La Figura 10 es una vista en planta que muestra un método de irradiación por haz de láser.
- La Figura 11 es una vista en perspectiva que muestra la parte de una zona periférica de la abertura de orificio de ramificación a tratar con haz de láser.
- 20 La Figura 12 es una vista en sección transversal que muestra el estado de una zona periférica de la abertura de orificio de ramificación antes y después de la retirada de la capa superficial de acero.
- La Figura 13 es una vista en sección transversal que muestra una zona periférica de la abertura de orificio de ramificación después de la retirada de la capa superficial de acero en el caso en que la zona periférica esté achaflanada.
- 25 La Figura 14 es un diagrama explicativo que muestra el intervalo de ángulo de una región irradiada con haz de láser de una zona periférica de la abertura de orificio de ramificación.
- La Figura 15 es un diagrama explicativo que muestra un método de irradiación con haz de láser para irradiar una zona periférica de la abertura de orificio de ramificación.
- 30 La Figura 16 es un diagrama explicativo que muestra otro método de irradiación con haz de láser para irradiar una zona periférica de la abertura de orificio de ramificación.
- La Figura 17 es un conjunto de vistas en planta que muestra una pieza de ensayo.
- La Figura 18 es una vista en sección transversal que muestra el procesamiento de chaflán aplicado a una zona periférica de la abertura de orificio de ramificación.
- 35 La Figura 19 es una vista en perspectiva que muestra la parte de una zona periférica de la abertura de orificio de ramificación a tratar con haz de láser.
- La Figura 20 es una vista en sección transversal que muestra el pulido electrolítico aplicado a una zona periférica de la abertura de orificio de ramificación.
- La Figura 21 muestra la forma en sección transversal de una zona periférica de la abertura de orificio de ramificación.
- 40 La Figura 22 es una vista en sección transversal que muestra la unidad de cabezal de irradiación de un sistema de procesamiento por haz de láser.

Descripción detallada de la invención

- 45 Las realizaciones preferidas del método para producir un conducto común y el conducto común de acuerdo con la presente invención se explican a continuación con referencia a los dibujos anexos. Con el fin de evitar explicaciones redundantes, se asignan números de referencia iguales a los elementos que tienen sustancialmente la misma función a lo largo de la especificación y los dibujos.

La Figura 1 es una vista en sección transversal esquemática de un conducto común 1. Un orificio de conducto 5 formado dentro de una unidad de pared cilíndrica 2 es el tubo principal del conducto común 1 y es responsable de almacenar el combustible diésel presurizado. Se forman múltiples orificios de ramificación 6 que se extienden de forma normal al orificio del conducto 5.

5 Con el fin de proporcionar un método económico para producir un conducto común, la presente invención realiza la unión y el ensamble mediante unión por difusión en fase líquida. Como se muestra en la Figura 3, se interpone una lámina de metal de aleación amorfa 15 para la unión por difusión en fase líquida entre las caras de la unión en forma de anillo formadas por un cuerpo de conducto común 11 que tiene un conducto de tubo 13 que pasa a lo largo de la dirección longitudinal del cuerpo de conducto y un soporte con forma cilíndrica 12. Después de juntar, se realiza un calentamiento a una temperatura de 1.100°C o superior y se aplica una tensión de 5 MPa o superior a la región de unión a una carga igual o mayor que la tensión de fluencia del acero a la temperatura de unión, llevándose a cabo de este modo la unión por difusión en fase líquida que suelda con recaldo por fusión la lámina metálica de aleación 15, el cuerpo de conducto común 11 y el soporte 12, formando así inicialmente una unión. En interés de la simplicidad del dibujo, en la Figura 3 sólo se muestra un tubo de ramificación 14. En realidad, se proporciona normalmente una serie de tubos de ramificación 14 que corresponde con el número de toberas de inyección instaladas en las cámaras de combustión del motor. Con el fin de conectar los tubos de ramificación 14 y los tubos para bombear combustible a las toberas de inyección de las cámaras de combustión del motor, se proporciona un número de soportes 12 correspondientes al número de tubos de ramificación 14 del cuerpo del conducto común 11. En el conducto común así formado, el conducto del tubo 13 en la Figura 3 corresponde al orificio de conducto 5 en la Figura 1, y los interiores de los tubos de ramificación 14 en la Figura 3 corresponden a los orificios de ramificación 6 en la Figura 1.

En la presente invención, se selecciona previamente un acero en el estado de diseño que tenga una estructura de transformación adecuada a baja temperatura incluso sin necesidad de enfriamiento controlado después de la unión por difusión en fase líquida, es decir, un acero que tenga una alta templabilidad que haga posible inducir una transformación de bainita o martensita en todo o en las regiones requeridas del acero. Por lo tanto, se usa un acero cuya composición de aleación sea capaz de lograr una estructura adecuadamente uniforme incluso en la región de las uniones isotérmicamente solidificadas formadas por la unión por difusión en fase líquida. Se explicarán los motivos para definir la composición química del acero de unión por difusión en fase líquida utilizado en la invención. A menos que se indique lo contrario, el símbolo % usado con respecto a los componentes del acero en los siguientes elementos significa % en masa.

30 El C es el elemento más básico para controlar la templabilidad y la resistencia del acero. La resistencia requerida no se puede lograr con un contenido de C de menos del 0,01%. Cuando el contenido excede 0,3%, la resistencia mejora pero no se puede obtener la tenacidad requerida de la unión. Por lo tanto, el contenido de C se define como de 0,01 a 0,3%. Cuando el contenido de C se encuentra en este intervalo, es posible el control estructural del acero en el estado "posterior a la unión" del acero. Desde el punto de vista de permitir que los efectos de la adición de carbono se realicen de forma estable en la fabricación industrial, el contenido de los mismos debería ser del 0,05 al 0,3%.

El Si es un desoxidante de acero que se añade generalmente junto con el Mn con el fin de reducir la concentración de oxígeno del acero. El Si también es necesario para el fortalecimiento intragranular y un contenido deficiente disminuye la resistencia. En la presente invención, también, se añade Si con la finalidad de desoxidación y fortalecimiento intragranular. Estos efectos se hacen evidentes a partir de un contenido de 0,01% o mayor. Con un contenido que exceda el 0,5%, a veces se produce fragilidad del acero. El intervalo de adición de Si se define por lo tanto como de 0,01 a 0,5%. En algunos casos, existe el riesgo de que se formen óxidos complejos por difusión en fase líquida que contengan SiO₂, tales como SiO₂-MnO y SiO₂-FeO, en las uniones por difusión en fase líquida. En tales casos, el intervalo de adición se define como de 0,01 a 0,3%.

El Mn, al igual que el Si, es eficaz para la desoxidación. Cuando está presente en el acero, mejora la templabilidad del acero y contribuye a la mejora de la resistencia. Este efecto aparece a partir de un contenido de 0,01%. Pero cuando el contenido excede el 3,0%, la tenacidad puede disminuir debido a la cristalización de un gran número de óxidos de tipo MnO. El intervalo de adición de Mn se define por lo tanto como de 0,01 a 3,0%. El intervalo de adición de Mn se define más preferiblemente como de 0,01 a 2,0%, en vista de la necesidad de inhibir la formación de SiO₂-MnO, de manera similar a lo que se explicó anteriormente con respecto al Si.

50 Tanto el Cr como el Mo son importantes para garantizar una buena resistencia/tenacidad al mejorar la templabilidad del acero. El Cr no proporciona una templabilidad adecuada con un contenido de menos de 1,0%. Cuando el contenido de Cr excede el 12,0%, la formación de ferrita δ puede perjudicar la formación de una estructura de transformación a baja temperatura, por lo que la resistencia/tenacidad puede disminuir en lugar de aumentar. El intervalo de adición de Cr se define, por lo tanto, como de 1,0 a 12,0%. Sin embargo, cuando la lámina utilizada en la unión por difusión en fase líquida contiene P, el Cr forma fácilmente el fosfuro de Cr Cr₂P y el límite superior de su intervalo de adición debe, por lo tanto, reducirse, preferiblemente a un intervalo de 1,0 a 9,5%. El Mo mejora adecuadamente la templabilidad cuando se agrega con un contenido de menos de 0,1% y cuando se agrega en exceso de 2,0%, puede degradar la tenacidad de la unión al formar un boruro y fosfuro con B y P, que están presentes en la unión por difusión en fase líquida como átomos de difusión. El intervalo de adición de Mo se define, por lo tanto, como de 0,1 a 2,0%. Pero cuando el contenido de B de la unión por difusión en fase líquida es alto, no siempre se puede descartar por completo la posibilidad de que se forme boruro de Mo. Idealmente, la cantidad de adición de Mo debería controlarse en función

del contenido de B de la lámina. Sin embargo, la cantidad de adición de B es un factor que determina el fenómeno de unión por difusión en fase líquida, de modo que el intervalo preferible es de 0,1 a 1,1% como uno para ser controlado industrialmente.

5 El V aumenta la resistencia del acero al precipitar carburos finos. Este efecto es bajo con un contenido de menos de 0,01%. Con un contenido que excede el 1,0%, los carburos se agrandan para reducir la tenacidad. El límite superior del contenido de V se define, por lo tanto, como 1,0%. Aunque la adición de V es eficaz para mejorar la resistencia, es costosa. Por lo tanto, el contenido de V se define preferiblemente como de 0,01 a 0,5%.

10 El B es muy eficaz para aumentar la templabilidad del acero con un contenido pequeño, pero sólo tiene un ligero efecto de mejora de la templabilidad con un contenido de menos del 0,0003%. Por otra parte, cuando se agrega B con un contenido superior a 0,01%, forma borocarburos que tienen el efecto contrario de disminuir la templabilidad. Por lo tanto, el intervalo de adición de B se define como de 0,0003 a 0,01%. En otro aspecto, la segregación del límite del grano de B es pronunciada, y dependiendo de las condiciones de enfriamiento posteriores a la unión, puede causar fragilidad solamente en los límites del grano. La cantidad añadida es, por lo tanto, preferiblemente de 0,0003 a 0,005%.

15 La afinidad de Ti por combinarse con N es más fuerte que la de B, por lo que Ti se combina con N más preferiblemente que con B. Por lo tanto, el Ti es un elemento importante para asegurar el soluto B, que es eficaz para establecer la templabilidad. Este efecto es pequeño con un contenido de menos de 0,01%. Cuando se agrega Ti con un contenido que excede el 0,05%, no sólo se satura su efecto, sino que la tenacidad disminuye debido a la abundante precipitación de carbonitruros gruesos de tipo Ti. Por lo tanto, el contenido de Ti se debe de limitar a un intervalo de 0,01 a 0,05%. Además, dado que el Ti también forma boruros, a ser posible, es mejor mantener bajo el límite superior del contenido de Ti. El intervalo de adición preferible es, por lo tanto, de 0,01 a 0,03%.

20 El N se precipita formando TiN y otros nitruros. Por lo tanto, es eficaz para aumentar la tenacidad del acero mediante el refinamiento del grano cristalino. Este efecto es pequeño con un contenido de menos de 0,001%. Cuando el contenido excede el 0,01%, el coste aumenta debido a que se debe agregar una gran cantidad de Ti para fijar el N. Por lo tanto, el contenido de N se define como de 0,001 a 0,01%. En la fabricación de acero habitual, la adición constante de 0,008% o más de N aumenta el coste desde el aspecto del procedimiento de producción. El intervalo preferido de adición es por lo tanto de 0,001 a 0,008%.

25 El aumento de la tenacidad de un acero de alta resistencia como el de la presente invención requiere que se evite, en la mayor medida posible, la concentración de impurezas en los límites del grano. Con esto en mente, los contenidos de P y S están limitados a 0,03% o menos y a 0,01% o menos, respectivamente. Además, para lograr un acero limpio con alta tenacidad, el contenido de O debe limitarse a 0,01% o menos. Asimismo, el logro fiable de la mejora de la tenacidad requiere que el contenido total de los elementos de fragilidad segregados en el límite del grano As, Sn, Sb, Pb y Zn se limite a 0,015% o menos.

30 Con el fin de lograr la resistencia a la fatiga repetida a alta presión requerida de un acero de conducto común, es altamente eficaz no sólo controlar el acero a la composición química básica descrita anteriormente, sino también usar un acero cuyo índice de HTL de endurecimiento de unión específico para una unión realizada por difusión en fase líquida como se define en la Fórmula (3) a continuación sea de 8 o mayor, garantizando así una resistencia del acero de 600 MPa o más, una tenacidad excelente y una buena durabilidad frente a la fatiga.

35

$$40 \quad \text{HTL} = 3,1 \times (\% \text{ de Cr}) + 1,2 (\% \text{ de Ni} + \% \text{ de Co} + \% \text{ de Mn}) + 2 \times (\% \text{ de Mo} + \% \text{ de W}) + 0,8 \times (\% \text{ de Nb} + \% \text{ de Zr} + \% \text{ de V} + \% \text{ de Ti} + \% \text{ de Ta} + \% \text{ de Hf}) + 2,7 \times (\% \text{ de C} + \% \text{ de N}) + 1.500 \times (\% \text{ de B})$$

...Fórmula (3).

45 Al decidir los coeficientes y el esquema de combinación de la Fórmula (3), se hizo referencia a los coeficientes de la fórmula del valor DI de templabilidad generalmente aplicados a un acero que tiene la composición química establecida en el primer aspecto de la invención (obtenidos multiplicando el % de los respectivos elementos por coeficientes experimentales y multiplicando las combinaciones lineales de los mismos por la raíz cuadrada del contenido de carbono para obtener una fórmula que calcule el diámetro ideal de endurecimiento crítico, es decir, la distancia desde la superficie de una pieza de ensayo en forma de barra redonda que se convierte en una estructura de martensita cuando el acero se enfría a una velocidad de enfriamiento dada), y además, con el fin de comparar e incorporar relativamente los grados de mejora en la dureza del acero en el momento del enfriamiento individual de elementos, también se hizo referencia simultáneamente a la ecuación de equivalencia de Cr, los coeficientes fueron redondeados hasta un decimal, y el valor de HTL se determinó aproximadamente adoptando 3,1 como el coeficiente para el elemento estabilizador de ferrita Cr, 1,2 para los elementos estabilizadores de austenita Ni, Co y Mn, 2,0 para los elementos estabilizadores austeníticos Mo y W, 0,8 para los elementos estabilizadores de temperatura sin recristalización Nb, Zr, V, Ti, Ta, Hf y similares, 2,7 para los elementos de solutos intersticiales C y N que son elementos de solutos intersticiales presentes en la red de acero y provocan el sobreenfriamiento constitucional durante la transformación de $\gamma \rightarrow \alpha$, y para B, ya que aumenta la templabilidad al inhibir marcadamente la aparición de núcleos de los límites del grano, el valor relativamente grande de 1.500 obtenido en función de la ecuación de equivalencia de carbono del metal soldado y la regresión experimental. Por lo tanto, estos coeficientes se determinan por primera vez

en el curso de la regresión experimental del efecto de mejora de la resistencia de diversos elementos de mejora de la templabilidad llevados a cabo independientemente por los autores de la presente invención al referirse al estado de la técnica y, como tales, no se copian simplemente de las tecnologías existentes sino que son factores importantes que definen el método de evaluación único de la presente invención.

- 5 El valor de HTL determinado de la manera anterior es un valor aplicable únicamente en la presente invención. Por lo tanto, se llevó a cabo el siguiente experimento y análisis para determinar qué nivel de valor de HTL permite alcanzar la resistencia del acero, particularmente la resistencia de una unión formada por uniones mediante difusión en fase líquida, de 600 MPa o más.

10 Utilizando un equipo de producción de placas de acero práctico o por fusión al vacío a escala de laboratorio, se produjeron aceros de composiciones químicas que se sitúan en los intervalos de los aspectos primero a cuarto de la presente invención en cantidades de 100 kg, 300 kg, 2 toneladas, 10 toneladas, 100 toneladas y 300 toneladas por fusión al vacío o por procedimientos ordinarios: alto horno-convertidor-afino secundario-desgasificación/adición de elemento traza-moldeo por colada continua-laminado en caliente. Las muestras tomadas en una dirección paralela a la dirección de laminación de los aceros producidos se procesaron en piezas de ensayo pequeñas y sencillas que
15 medían 10 mm de diámetro y 50 mm de longitud. Una cara final de cada pieza de ensayo se esmeriló a $R_{max} < 100 \mu\text{m}$ (longitud de medición: 9 mm) y se desengrasó. Los extremos así procesados de dos piezas de ensayo se pusieron en contacto para formar una pieza de ensayo de unión. En una máquina de ensayo de compresión a tensión provista de una unidad de calentamiento por inducción de alta frecuencia de 150 kW, una lámina amorfa de 20 a 50 μm de espesor, al menos 50% en volumen, era amorfa y capaz de lograr una unión por difusión en fase líquida en el intervalo
20 de 1.000 a 1.300°C se interpuso entre las caras de unión. Como lámina se usó una base de Ni que contenía B (véanse las solicitudes de patente japonesa publicadas n^{os} H2-151377 y 2008-119744), una base de Fe que contenía B (véase la solicitud de patente japonesa publicada n^o 2008-119744), una base de Ni que contenía P (véase la publicación de patente japonesa n^o H7-276066), una base de Fe que contenía P (véase la solicitud de patente japonesa publicada n^o H9-323175), o una base de Ni o base de Fe que contenía P y B (véase la solicitud de patente japonesa publicada n^o 2004-114157). La pieza de ensayo completa se calentó a la temperatura de unión requerida y se unió por difusión en fase líquida bajo tensión de 2 a 20 MPa durante 1 a 60 minutos, seguido de enfriamiento espontáneo. La velocidad de enfriamiento dependió del equipo y de la forma de la pieza de ensayo, y varió entre 0,01°C/s y 10°C/s.

De cada una de las piezas de ensayo unidas en forma de barra redonda se tomó una pieza de ensayo de tracción de barra redonda de 6 mm de diámetro en la parte paralela y de cada pieza de ensayo unida en forma de barra cuadrada
30 obtenida se tomó una pieza de ensayo de impacto JIS N^o4 en forma de cuadrado de 10 mm. La región unida de la pieza de ensayo de barra redonda estaba situada en el centro de la parte paralela y extendida paralelamente hacia la dirección de tracción. La pieza de ensayo Charpy se tomó de modo que se situara una muesca en V de 2 mm en el centro de la región unida. A continuación, se midió la resistencia a la tracción del acero mediante el método de JIS Z2241 y se investigó su relación con el valor de HTL antes mencionado. Los resultados se muestran en la Figura 5. La resistencia a la tracción de la unión unida por difusión en fase líquida no excedió los 600 MPa a menos que el valor de HTL fuera de 8 o superior. Los sitios de fractura en este caso estaban todos en el material base cuando el valor de HTL fue de 8 o más, y estaban todos en la región de la unión cuando el HTL fue inferior a 8. La relación entre la energía absorbida de las uniones determinada por el ensayo Charpy de acuerdo con el método JIS Z2201 y el valor de HTL se muestra en la Figura 6. Con el fin de mantener una buena tenacidad (47 J o mayor, a 0°C), el valor de HTL debe ser nuevamente de 8 o mayor. En otras palabras, se determinó que una unión unida por difusión en fase líquida con excelente resistencia y tenacidad se puede formar cuando el valor de HTL definido por la invención es de 8 o mayor. Aunque la unión unida por difusión en fase líquida de acuerdo con la invención puede alcanzar simultáneamente una resistencia y una tenacidad igual o mayor que los valores deseados cuando el valor de HTL es de 8 o mayor, es preferible un valor de HTL de 10 o mayor, considerando que la mayor resistencia y la tenacidad
45 posible son deseables y esa varianza surge durante la producción industrial.

En el método para producir un conducto común de esta invención, un cuerpo de conducto común fabricado de un acero que tenga la composición antes explicada y los soportes cilíndricos se sueldan entre sí mediante unión por difusión en fase líquida, se realiza un granallado para impartir tensión de compresión a zonas en las periferias de las aberturas de orificio de ramificación del cuerpo del conducto común donde la resistencia a la fatiga es una preocupación, y se lleva a cabo adicionalmente un pulido electrolítico o similar para retirar el acero de las periferias de la abertura.
50

La Figura 4 es una vista en sección transversal ampliada de la zona periférica de la abertura de un orificio de ramificación 6 del conducto común 1 donde se requiere refuerzo. En la primera realización de la invención, se ha formado un método de refuerzo local, después del orificio de ramificación 6, y con la esquina egf en la Figura 4 aun sustancialmente en ángulo recto, la región proximal designada por el segmento de línea g₁g₃ en el dibujo se somete a granallado por láser para retirar el acero presente cerca de la zona periférica de abertura, aumentando, por lo tanto, la resistencia a la fatiga. En esta memoria descriptiva, la expresión "zona periférica de la abertura del orificio de ramificación" abarca la región de la superficie interna 22 del orificio del conducto dentro de una distancia 5 veces el diámetro del orificio de ramificación desde el centro del orificio de ramificación, la región del orificio de la superficie interna del orificio de ramificación 21 dentro de una distancia 0,3 veces el diámetro de la superficie interna del orificio del conducto, y la superficie de conexión 23 entre los dos que conecta el orificio de ramificación y el orificio del conducto.
60

En primer lugar, se explicará el método de granallado por láser. El granallado por láser requiere (i) un haz de láser de alta densidad de potencia máxima y (ii) el suministro de un medio transparente tal como agua en las proximidades de la superficie irradiada. Con respecto a (i), la densidad de potencia máxima en la superficie irradiada se define como de 1 a 100 TW/m². Esta densidad de potencia máxima se obtiene mediante el uso de un sistema de láser que emite intermitentemente un pulso de láser de una duración de pulso de aproximadamente 10 ps a 100 ns y una energía de pulso de aproximadamente 0,1 mJ a 100 J. Como tal, se puede citar un sistema de láser Nd: YAG, aunque se puede utilizar cualquier sistema de láser que cumpla la condición (i) antes mencionada. Cuando se cumplen las condiciones (1) y (ii), el plasma generado por irradiación con el haz de láser pulsado que tiene alta densidad de potencia máxima tiene su expansión restringida por el agua u otro medio transparente presente en las proximidades de la superficie irradiada, de modo que aumenta la presión del plasma. Dado que la fuerza de reacción del plasma elevado a una alta presión deforma plásticamente las proximidades del punto de irradiación, se puede impartir una tensión de compresión residual.

Con el fin de explicar más claramente el motivo de la mejora de la resistencia a la fatiga mediante el método de producción de la invención, se analizarán las características de la introducción de tensiones mediante láser. La Figura 7 muestra los resultados obtenidos cuando se sometió a granallado por láser una pieza de ensayo similar a una placa plana elaborada a partir de acero con una resistencia a la tracción de 1.000 MPa y se midió la distribución de la tensión residual en la dirección de la profundidad con un analizador de tensión de rayos X. La medición de la distribución de la tensión en la dirección de la profundidad se realizó mientras se retiraba progresivamente el acero mediante pulido electrolítico. El granallado por láser se realizó usando el aparato mostrado en la Figura 8 (vista en planta) y en la Figura 9 (vista frontal). Un haz de láser 32 procedente de un generador de haz de láser 31 se dirigió a una pieza de ensayo 37 sumergida en agua recogida en un depósito de agua 35. La segunda onda armónica de un láser Nd: YAG (longitud de onda: 532 nm) se seleccionó como el haz de láser debido a su buen poder de penetración en el agua. El haz de láser 32 se enfocó con una lente de enfoque 33 que era una lente convexa de 100 mm de distancia focal y se dirigió a la pieza de ensayo 37 a través de una ventana óptica 34. El punto del haz formado en la pieza de ensayo 37 era circular y tenía un diámetro de 0,8 mm. La energía del pulso del láser se ajustó a 200 mJ y la densidad de potencia máxima a 40 TW/m². La duración del pulso fue de 10 ns y la frecuencia de repetición del pulso fue de 30 Hz. La parte posterior de la pieza de ensayo 37 se fijó a través de los soportes 38, 39 a una guía 40 deslizable verticalmente (en la dirección de la flecha b) según se muestra en la Figura 9. Como se muestra en la Figura 8, la guía 40 se conectó a un soporte 41 unido a una guía 42 deslizable en la dirección horizontal (en la dirección de la flecha a). La pieza de ensayo 37 se instaló para moverse a lo largo de las guías 40 y 42 en las direcciones a y b bajo el control de un escáner 43. La Figura 10 muestra un método para el barrido superpuesto del punto del haz de láser pulsado. La región procesada era un rectángulo de 5 mm x 10 mm (en la Figura 10, $j_{1j_2} = 5 \text{ mm}$, $j_{2j_3} = 10 \text{ mm}$). El número promedio de veces que se irradió un punto determinado con el haz de láser pulsado se controló en 25 y se llevó a cabo el procesamiento para hacer que el intervalo entre puntos del haz adyacentes en una región de barrido dada L_i y la distancia entre los centros de regiones de barrido adyacentes (p. Ej. , L_1 y L_2 en la Figura 10) fueran iguales entre sí. Las regiones de barrido se formaron continuamente, en la manera de " $L_1 \rightarrow L_2 \rightarrow L_3 \rightarrow \dots$ " en la Figura 10. Un examen de los resultados de medición en la Figura 7 muestra que la tensión de compresión se introdujo a una profundidad de aproximadamente 0,6 mm. Además, debido al uso del método de barrido superpuesto que se muestra en la Figura 10, se fortaleció selectivamente la tensión de compresión en la dirección Y en la Figura 10.

Como se muestra en la Figura 7, la tensión residual en la dirección Y fue de -783 MPa a una profundidad de 30 μm , donde la tensión de compresión residual fue máxima. Sin embargo, la tensión residual en la superficie del acero procesado (profundidad: 0 mm) alcanzó sólo -656 MPa. Por lo tanto, el fortalecimiento de la tensión residual superficial no fue del todo adecuado. Esto se debió a que cuando el haz de láser se dirigió a la superficie de la muestra, la capa superficial en y alrededor del punto de láser se derritió y resolidificó.

En el método de producción de la invención, el granallado por láser anteriormente explicado es seguido por la retirada de acero de una región que incluye la superficie granallada por láser. La retirada de acero mediante el pulido mecánico tiene un efecto adverso sobre las propiedades de fatiga porque deja una tensión de tracción residual en la superficie después de la retirada. Por lo tanto, el pulido electrolítico o el pulido fluido se elige preferiblemente como el método de retirada. En el pulido electrolítico, se aplica una disolución de aguafuerte a la periferia de la abertura y, en la mayoría de los casos, el pulido se realiza mediante la aplicación de corriente eléctrica a través de una proyección esférica presionada sobre el sitio que se está puliendo. En el pulido por fluido, el pulido se realiza al hacer pasar un líquido que contiene un abrasivo a través del orificio del conducto 5 y los orificios de ramificación 6. En ambos métodos, el pulido avanza concéntricamente con el eje de cada orificio de ramificación 6 en el centro. Este procedimiento de retirada permite la retirada de la capa superficial cuya tensión se desplazó hacia el lado de tracción mediante fusión y resolidificación debido al granallado por láser. Dado que también relaja el factor de concentración de tensión al cambiar la forma de la periferia de la abertura, se reduce la tensión a carga máxima durante el uso real. Los autores de la presente invención descubrieron que estos efectos actúan sinérgicamente para mejorar grandemente la resistencia a la fatiga.

La energía del pulso del haz de láser pulsado se controla en el intervalo de 1 mJ a 10 J. El motivo de esto es el siguiente: en el método de la invención, el granallado por láser es seguido por la retirada de acero de la superficie. Si la profundidad a la que se introduce la tensión de compresión mediante el granallado por láser es pequeña, la tensión de compresión residual en la nueva superficie expuesta por la retirada es probable que sea pequeña. La profundidad de la introducción de la tensión de compresión es menor en la medida en que la energía del pulso sea menor. Esto se

debe a que la dispersión tridimensional de la energía del pulso del láser introducida desde la superficie de la pieza de trabajo es mayor en proporción a la energía del pulso que es más pequeña. En vista de esta limitación, el procesamiento se realiza preferiblemente a una energía de pulso de 1 mJ o mayor en el método de esta invención. Teniendo en cuenta el área en sección transversal de un haz de láser que se puede hacer pasar a través del tubo del conducto y el umbral de daño óptico de los elementos ópticos, el límite superior de la energía de pulso se define preferiblemente como de 10 J o menos.

Las regiones que requieren granallado por láser y retirada de acero dependen de factores de diseño de componentes tales como la distribución de la tensión de tracción de la zona periférica de la abertura del orificio de ramificación durante la carga de presión interna fluctuante y el grado al que se debe relajar la concentración de la tensión. La distribución de la tensión de tracción depende de factores generales como la resistencia del acero, la presión de funcionamiento, el diámetro del orificio del conducto d_1 , y el diámetro del orificio de ramificación d_2 . Si bien la distribución se puede estimar basándose en el análisis de elementos finitos o similares, a continuación se proporcionará una guía general de región procesada.

Después del procesamiento por haz de láser y el subsiguiente procedimiento de retirada, la tensión de tracción máxima de la zona periférica de la abertura del orificio de ramificación bajo carga de presión interna fluctuante durante el uso real tiene lugar en las proximidades de una región de la sección transversal longitudinal del orificio del conducto 5 que incluye los orificios de ramificación 6 que están cerca de la región de conexión entre la superficie interna del orificio de ramificación y la superficie sometida al procedimiento de retirada, y la dirección principal de tensión del mismo es la dirección periférica del orificio del conducto 5. Con el fin de mejorar la resistencia a la fatiga, se introduce preferiblemente una alta tensión de compresión con respecto a la región representada por la Fórmula (1) a continuación, que incluye el punto donde la tensión de tracción asume el valor máximo.

$$\text{Distancia desde el centro del orificio de ramificación} \leq \text{Diámetro del orificio de ramificación} \times 0,6$$

$$\text{Ángulo entre segmento de línea dibujado hacia el centro del orificio de ramificación y la dirección longitudinal del orificio del conducto} \leq 10^\circ$$

... Fórmula (1).

Por lo tanto, la región de procesamiento por haz de láser de la superficie interna 22 del orificio del conducto 5 incluye preferiblemente la región representada por la Fórmula (1).

Además, para maximizar la resistencia a la fatiga, se debe maximizar la tensión de compresión en la dirección circunferencial del orificio del conducto 5, que es la principal dirección de tensión de la parte donde la tensión de carga repetida es mayor durante el uso. Un método de superposición de puntos por haz de láser eficaz para este fin se muestra en la Figura 15. Por consiguiente, el punto del haz es barrido dentro de un plano que incluye el eje central del orificio de ramificación 6, y el barrido del punto del haz se realiza varias veces mientras se desplaza su posición en la dirección circunferencial del orificio de ramificación 6. Este método hace uso del hecho de que, si el procesamiento se lleva a cabo mediante el método mostrado en la Figura 10, la tensión se refuerza selectivamente en la dirección Y de la Figura 10, como se muestra en la Figura 7. Vale la pena señalar que la dirección de barrido no necesita limitarse dentro de un plano que incluye el eje del orificio de ramificación 6. Por ejemplo, se puede obtener el mismo efecto, como se muestra en la Figura 16, mediante barrido dentro de un plano que incluye la dirección longitudinal del orificio del conducto 5 y la dirección longitudinal del orificio de ramificación 6 y barrer el punto del haz varias veces mientras se desplaza el barrido en la dirección circunferencial del orificio del conducto 5.

Además, cuando se elimina acero con el fin de retirar la capa superficial en la que la tensión se desplazó hacia el lado de tracción mediante fusión y resolidificación debido a la irradiación del haz de láser, también es preferible en este caso incluir la región representada por la Fórmula (1).

A continuación, se analizará el espesor de la capa retirada de acero en el procedimiento de retirada de capa. Como se establece a continuación, la invención define el espesor de la capa retirada con respecto a los puntos en la superficie después de la retirada de capa. Para definir el espesor de la capa retirada para un punto determinado en la superficie después de la retirada de capa, se encuentra el punto en la superficie antes de la retirada cuya distancia desde el punto dado en la superficie después de la retirada sea menor y esa distancia se define como el espesor de retirada. La explicación se realizará tomando la vista en sección transversal del orificio de ramificación de la Figura 12 como un ejemplo. En el dibujo, la curva de línea discontinua e1f es la línea antes de la retirada, y la curva desde k_1 y k_2 a f es la línea después de la retirada. Por la definición anterior, el espesor de la capa retirada en el punto k_1 de la línea después de la retirada se indica como t_1 , y el espesor de la capa retirada en el punto k_2 se indica como t_2 . Aunque la explicación se realizó usando una sección transversal bidimensional como ejemplo, el espesor real de la capa retirada se define observando las líneas antes/después de la retirada consideradas en la Figura 12 como planos en el espacio tridimensional.

Es eficaz controlar el espesor de la capa retirada dentro de la región granallada por láser para que se sitúe dentro del siguiente intervalo. En primer lugar, con el fin de retirar la capa superficial cuya tensión se desplazó hacia el lado de la tracción por fusión y resolidificación debido a la irradiación del haz de láser, el espesor de la capa retirada en puntos

de la superficie después de la retirada se controla en 0,01 mm o superior. Por otro lado, como se muestra en la Figura 7, la tensión de compresión introducida por el granallado por láser tiende a disminuir al aumentar la profundidad desde la superficie. Por ejemplo, a partir de la distribución de profundidad de la tensión en la dirección Y en la Figura 7, se puede esperar que al retirar el acero a una profundidad desde la superficie de aproximadamente 0,1 mm o en realidad

5 dará lugar a que la tensión de la superficie después de la retirada sea más pequeña que antes de la retirada. La atenuación de la tensión de compresión en la dirección de la profundidad se puede mitigar aumentando la energía del pulso. (Los resultados de la figura 7 se obtuvieron a una energía de pulso de 200 J). Aunque se puede lograr un gran espesor de capa retirada aumentando la energía del pulso, es eficaz mantener el espesor de la capa retirada en aproximadamente 0,3 mm o menos.

10 La retirada de acero no sólo es eficaz para eliminar la capa superficial cuya tensión se desplazó hacia el lado de la tracción por fusión y resolidificación debido a la irradiación del haz de láser, sino que también es eficaz para relajar el factor de concentración de la tensión al cambiar la forma de la periferia de la abertura. Para mejorar la resistencia a la fatiga, la superficie después de la retirada debe ser lisa con el fin de evitar la concentración de tensión en la parte donde la tensión de tracción de la zona periférica de la abertura del orificio de ramificación se hace mayor bajo una

15 carga de presión interna fluctuante durante el uso. Desde este punto de vista, el radio de curvatura de la línea de forma en la zona periférica de abertura del orificio de ramificación visto en una sección transversal que se extiende en la dirección longitudinal del orificio del conducto e incluye la línea central del orificio de ramificación es de 15 µm o superior en puntos de la región que cumplen la Fórmula (2):

$$20 \quad \text{Diámetro del orificio de ramificación} \times 0,5 \leq \text{Distancia desde el centro del orificio de ramificación} \leq \text{Diámetro del orificio de ramificación} \times 0,6$$

...Fórmula (2).

Esta definición de curvatura se ilustra en la Figura 21.

En exposición anterior, se explicó un método en el que la irradiación con haz de láser se realiza únicamente desde la superficie interna 22 del orificio del conducto 5 en la Figura 4. Sin embargo, también es eficaz para aumentar la resistencia a la fatiga para llevar a cabo la irradiación con haz de láser tanto desde la pared interna 21 del orificio de ramificación 6 (diámetro: d_2) como desde la superficie interna 22 del orificio del conducto 5. A continuación, se explicará el motivo de esto. Como se muestra en la Figura 7, el valor absoluto de la tensión de compresión impartida mediante granallado por láser disminuye con el aumento de la profundidad. Por lo tanto, cuando sólo se aplica granallado por láser a la superficie interna 22 del orificio del conducto 5, el valor absoluto de la tensión de compresión en partes más alejadas de la superficie interna 22 del orificio del conducto 5, por ejemplo, punto g_2 en la Figura 4, a veces se vuelve más pequeño que en la capa superficial. Por otro lado, después de retirar acero de la zona periférica de la abertura, la tensión de carga repetida durante el uso real suele ser mayor en las proximidades de este punto g_2 . Cuando el granallado por láser se lleva a cabo tanto desde la pared interna 21 del orificio de ramificación 6 como desde la superficie interna 22 del orificio del conducto 5, la tensión total de compresión introducida es la suma de la que se introduce desde las paredes individuales. Por lo tanto, la tensión de compresión absoluta en el punto g_2 se puede elevar para lograr una mayor resistencia a la fatiga.

40 Cuando la pared interna 21 del orificio de ramificación 6 también se somete a granallado por láser, la profundidad h del intervalo de procesamiento es adecuada si se fija a aproximadamente 20% del diámetro del orificio del conducto d_1 , donde la altura se mide con referencia al círculo formado por la intersección de la superficie interna del orificio del conducto 22 y la pared interna del orificio de ramificación 21. Con la finalidad de procesar partes profundas de la pared interna del orificio de ramificación 21, el ángulo de incidencia del haz de láser sobre la pared interna del orificio de ramificación 21 debe ser grande. Para un haz de láser de cualquier potencia máxima dada, la densidad de potencia máxima en el punto de irradiación disminuye al aumentar el ángulo de incidencia. Como resultado, cuando el diámetro d_2 es pequeño, la profundidad h generalmente se rige por el límite al que es posible la irradiación a una densidad de potencia máxima adecuada.

Por otro lado, el método de conducir la irradiación del haz de láser únicamente desde la superficie interna 22 del orificio del conducto 5 tiene la ventaja de permitir el uso de un equipo sencillo porque no se requiere un mecanismo de inclinación del espejo para procesar la pared interna 21 del orificio de ramificación 6.

50 En otra realización de la presente invención, después de que se han formado los orificios de ramificación 6, la zona periférica de abertura de cada uno está achaflanada en un grado predeterminado mediante pulido o mecanizado. La zona periférica de abertura se granalla luego con láser y el acero se retira de la zona periférica de abertura granallada por láser para obtener un conducto común con una mayor resistencia de la zona periférica de abertura. Esto es principalmente con el fin de mitigar el factor de concentración de tensión y es particularmente eficaz en el caso en que el diseño del producto requiera una considerable retirada de espesor entre el momento en que se forma el orificio de ramificación 6 y el momento en que alcanza su forma procesada final. La Figura 13 es un diagrama esquemático que ilustra un ejemplo de implementación de esta realización. La esquina efg indicada por la línea punteada en el dibujo indica la forma de la sección transversal en el momento de la formación del orificio, la línea de la cadena indica la forma transversal después del achaflanado, y la línea sólida que va desde e a través de k_3 y k_4 hasta f indica la forma de la sección transversal procesada final obtenida después de llevar a cabo el granallado por láser y la retirada de

acero. Se abordará un caso en el que los espesores de retirada entre el momento de la formación del orificio y el momento en que se alcanza la forma procesada final, como se ejemplifica mediante los espesores t_1 y t_2 que se muestran en el dibujo, superan los 0,3 mm. Cuando se aplica la primera realización mencionada, el granallado por láser se realiza desde la superficie de la esquina egf, indicada por la línea punteada en el dibujo, y se obtiene después la forma procesada final (curva ek_3k_4f en la Figura 13) por la retirada de acero. Dado que el espesor de retirada de acero excede los 0,3 mm en este caso, la tensión de compresión residual en la superficie de la forma procesada final obtenida después de la retirada de acero se vuelve pequeña, como se señaló anteriormente. Por el contrario, cuando se utiliza la segunda realización, el granallado por láser se realiza después del achaflanado de la forma de la sección transversal indicada por la línea de cadena en la Figura 13. Como resultado, el espesor de retirada de acero es pequeño después del granallado por láser. Esto tiene la ventaja de permitir que se obtenga una gran tensión de compresión en la superficie de la forma procesada final (curva ek_3k_4f en la Figura 13).

El achaflanado realizado antes del granallado por láser se realiza con el fin de mitigar el factor de concentración de tensión de tracción que actúa sobre la zona periférica de abertura del orificio de ramificación durante la fluctuación de la carga de presión interna durante el uso real. Por lo tanto, es eficaz realizar el achaflanado para incluir la región cercana a donde esta tensión es máxima, es decir, la región representada por la antes mencionada Fórmula (1). Aunque el achaflanado mitiga la concentración de tensiones en la zona periférica de abertura del orificio de ramificación 6, el valor máximo de la distribución de tensiones permanece en las proximidades de una región de la sección transversal longitudinal del orificio del conducto 5 que incluye el eje central del orificio de ramificación 6 que está cerca de la región de conexión entre la superficie interna del orificio de ramificación y la superficie sujeta al procedimiento de retirada de acero. Por lo tanto, la región donde la periferia de abertura del orificio de ramificación se somete a granallado por láser y la región desde la cual se retira acero con el fin de eliminar la capa superficial donde la tensión se desplazó hacia el lado de tensión por fusión y resolidificación debido a la irradiación del haz de láser también se seleccionan preferiblemente para incluir la región representada por la Fórmula (1).

El espesor retirado en la región granallado por láser se controla preferiblemente entre 0,01 mm y 0,3 mm. Desde el punto de vista de minimizar la reducción de la tensión de compresión de la superficie a partir de la cual se retiró el acero, es ventajoso realizar el achaflanado antes del granallado por láser cerca de la forma procesada final porque esto permite mantener el espesor de retirada después del granallado por láser en un valor pequeño de 0,1 mm o menos, que es el intervalo particularmente preferible.

Los conductos comunes se fabrican generalmente a partir de acero de alta resistencia. El líquido transparente proporcionado en la superficie irradiada con haz de láser es, por lo tanto, preferiblemente uno que no provoque la oxidación, tal como alcohol (alcohol metílico o etílico) o similar. Alternativamente, la invención se puede implementar preferiblemente sin oxidación del conducto común mediante un líquido preparado añadiendo alcohol metílico y alcohol etílico al agua en proporciones deseadas o añadiendo un inhibidor de óxido a agua pura, agua del grifo o agua mineral. Se puede usar un inhibidor de óxido comercialmente disponible. Si se usa un inhibidor de color, la densidad del inhibidor debe ajustarse al intervalo donde el haz de láser pueda penetrar en el agua coloreada por el inhibidor. Por lo tanto, los ensambles de acero con resistencia de calidad 600 MPa se ensamblan utilizando el procedimiento de unión por difusión en fase líquida de bajo coste y el ensamble se somete a un granallado por láser alrededor de los orificios de ramificación donde se aplica la tensión principal máxima bajo carga de presión interna, eliminando así por completo la fractura por fatiga que se origina de inclusiones que son inevitables en un acero de alta resistencia. Como resultado, ha sido posible por primera vez proporcionar un conducto común de bajo coste capaz de resistir presiones ultra altas de 2.000 atm o más con capacidad de sobra. Esta es la característica más destacada de la presente invención.

En la presente invención, el acero de acuerdo con el primer aspecto puede, como se establece con respecto a los aspectos segundo a cuarto, contener uno o más de Ni: de 0,01 a 9,0%, Co: de 0,01 a 5,0%, Cu: de 0,01 a 5,0%, y W: de 0,01 a 2,0%, uno o más de Zr: de 0,001 a 0,05%, Nb: de 0,001 a 0,05%, Ta: de 0,001 a 0,2%, y Hf: de 0,001 a 0,2%, y uno o más elementos de control de forma de sulfuro seleccionados entre Ca: de 0,0005 a 0,005%, Mg: de 0,0005 a 0,005%, Ba: de 0,0005 a 0,005% y similares, y elementos de tierras raras seleccionados entre Y: de 0,001 a 0,05%, Ce: de 0,001 a 0,05%, La: de 0,001 a 0,05% y similares.

Los intervalos de adición de estos componentes aleantes están limitados por los siguientes motivos. Ni, Co y Cu son todos elementos estabilizadores de γ y son elementos que mejoran la templabilidad al disminuir el punto de transformación del acero γ , por lo tanto, provocar la transformación a baja temperatura. Son elementos útiles para mejorar el valor de HTL y cada uno muestra su efecto cuando se agrega a un contenido de 0,01% o superior. La adición de un exceso de Ni del 9,0% o cualquiera de Co y Cu con un exceso del 5,0% aumenta la γ residual, lo que afecta la tenacidad del acero. Por lo tanto, los intervalos de adición se definen como de 0,01 a 9,0% para Ni y de 0,01 a 5,0% para cada uno de Co y Cu. Puesto que los tres elementos son caros, sus contenidos se controlan preferiblemente en Ni: de 0,01 a 5,0%, Co y Cu: de 0,01 a 1,0% desde el punto de vista de la producción industrial.

W es un compuesto estabilizante α , pero este efecto se observa con un contenido de 0,01% o superior. Cuando se agrega un exceso de W del 2%, se degrada la tenacidad de la unión al formarse boruro y fosfuro con B y P, que son elementos de difusión de unión por difusión en fase líquida. El límite superior de adición se define, por lo tanto, como de 2,0%. Sin embargo, teniendo en cuenta la segregación de límite del grano, el límite superior de adición se define preferiblemente como de 1,0%.

Zr, Nb, Ta y Hf se precipitan finamente para formar carburos, aumentando así la resistencia del acero. Cada uno muestra este efecto con un contenido de 0,001% o superior. Cuando se añade Zr o Nb con un contenido de 0,05% o se añade Ta o Hf con un contenido de 0,2%, el endurecimiento del carburo degrada la tenacidad. Por lo tanto, estos valores se definen como los límites superiores de la adición. Cuando la formación de boruro o fosfuro en los límites del grano es especialmente objetable, los límites superiores de adición del elemento son preferiblemente del 0,035% para Nb y Zr y del 0,1% para Ta y Hf.

Además, todos los elementos de control de forma de sulfuro Ca, Mg, Ba y otros, y Y, Ce, La y otros elementos de tierras raras tienen una alta afinidad por S presente en el acero como impureza. Como tales, son eficaces para inhibir la formación de MnS, que afecta la tenacidad del acero. Por lo tanto, estos elementos deben añadirse en las concentraciones a las que exhiben su efecto, es decir, con un contenido de 0,0005% en el caso de Ca, Mg y Ba, mientras que Y, Ce y La deben añadirse con un contenido de 0,001 % debido a sus grandes pesos atómicos. Cuando se añade un exceso de Ca, Mg y Ba del 0,005%, se forman óxidos gruesos que reducen la tenacidad, y cuando se añaden Y, Ce y La con un contenido de 0,05%, también se forman óxidos gruesos. El límite superior de adición de estos elementos se define como del 0,05%.

Los elementos de los grupos se pueden combinar apropiadamente y agregarse conjuntamente o agregarse independientemente para impartir diversas propiedades al acero sin perjudicar los efectos de la presente invención.

El procedimiento para producir el acero de la invención no se limita al procedimiento de fabricación de acero integrado normal por la ruta de alto horno-convertidor y es posible en cambio aplicar el método del horno eléctrico usando una fuente de hierro frío o el método de producción del convertidor. Además, la producción no necesita pasar por la ruta del procedimiento de colada continua, sino que puede realizarse a través de la ruta de procedimiento de fundición y forjado ordinario. Es suficiente para cumplir los intervalos de componentes químicos y las fórmulas establecidas en las reivindicaciones y es posible aplicar un intervalo expandido de métodos de producción con respecto a la tecnología de la invención. La forma del acero producido es arbitraria y se pueden implementar las tecnologías de moldeo necesarias para dar forma a los ensambles adoptados. En otras palabras, es posible aplicar el efecto de la tecnología de la invención ampliamente a placas de acero, tubos de acero, barras de acero, varillas de alambre, formas de acero y similares. Además, dado que el acero de esta invención es excelente en soldabilidad y adecuado para la unión por difusión en fase líquida, se puede aplicar sin pérdida de los efectos de la invención para fabricar una estructura que incluye una unión unida por difusión en fase líquida y está parcialmente soldada o utilizada en combinación con una estructura soldada.

30 Ejemplo

A continuación, se realiza una explicación con respecto a la creación de prototipos de un conducto común para verificar los efectos de la invención y a los resultados de los ensayos de fatiga por presión interna realizados.

Los conductos comunes como el ilustrado en la Figura 17 fueron fabricados cada uno de la siguiente manera. Primero, se fabricó un cuerpo de conducto común 51 que medía 230 mm de longitud, 40 mm de ancho y 30 mm de espesor y soportes 52 que medían 25 mm de altura, 24 mm de diámetro exterior y 4 mm de espesor. Utilizando un equipo de producción de placa de acero práctico o fusión al vacío a escala de laboratorio, se produjo un acero de una composición química que se situó en el intervalo de uno de los aspectos primero a cuarto en una cantidad de 100 kg a 300 toneladas por fusión al vacío o procedimiento normal de alto horno-convertidor-afino secundario-desgasificación/adición de elemento traza-colada continua-laminación en caliente. El acero se procesó y conformó en la forma mostrada en la Figura 17. A continuación, el cuerpo del conducto se conformó con 1) un tubo de conducto de 10 mm de diámetro que se extendía por el centro del cuerpo del conducto en la dirección longitudinal, 2) ranuras guía de 4 mm de profundidad y 7 mm de anchura para definir los sitios de unión de soporte, y 3) orificios de ramificación de 1 mm de diámetro 6 ($d_2 = 1,0$ mm) dirigidos hacia el tubo del conducto en sitios de unión del soporte de modo que se sitúen a lo largo de las extensiones de los ejes de soporte. Los soportes se formaron en sus paredes internas con cordones de 2 mm de altura para sujetar las líneas de ramificación para la distribución de combustible. A continuación, se esmerilaron las caras frontales de las regiones de unión del cuerpo del conducto y cada soporte a $R_{max} < 100 \mu\text{m}$ (longitud de medición: 9 mm) y se desengrasaron. Los pares de caras terminales se juntaron para formar una pieza de ensayo de unión. En una máquina de ensayo de tensión-compresión provista de una unidad de calentamiento por inducción de alta frecuencia de salida de 150 kW, una lámina amorfa de 25 μm de espesor compuesta de, en % masa, Ni: 47,0%, B: 14,0%, C, 2,0% y el resto de Fe e impurezas inevitables, al menos 50% en volumen de la cual era amorfa, se interpuso entre cada par de caras de unión. Toda la pieza de ensayo se calentó a una temperatura de unión de 1.080°C y se unió por difusión en fase líquida bajo tensión de 2 MPa durante 10 minutos, seguido de enfriamiento espontáneo.

En algunos casos, el granallado por láser explicado a continuación fue precedido por achaflanado de los bordes de los extremos laterales del tubo de conducto de los orificios de ramificación 6 del cuerpo del conducto 51. El achaflanado se realizó aplicando corriente eléctrica a través de una proyección esférica operada bajo presión para pulir en una forma concéntrica centrada en el eje del orificio de ramificación 6. El diámetro de la proyección y el tiempo de pulido electrolítico se variaron para variar el ancho p_1 y la profundidad p_2 de la región achaflanada como se muestra en la Figura 18.

El granallado por láser se realizó con respecto a la zona periférica de abertura del orificio de ramificación 6 en el lado del tubo de conducto. La Figura 22 muestra una unidad de cabezal de irradiación 61, que es el aparato de procesamiento de haz de láser utilizado para el granallado por láser, y la manera en que la unidad se insertó en el orificio del conducto 5. La unidad de cabezal de irradiación 61 está provista de una lente de enfoque 63 y un espejo 64 montado en un tubo 52. En la configuración mostrada en la Figura 22, el espejo 64 es un espejo de varilla que tiene la forma de un cilindro cortado diagonalmente. Se adhiere a un asiento de espejo 65. Un haz de láser 57 dirigido hacia el orificio del conducto 5 del conducto común 1 es doblado por la lente de enfoque 63, reflejado por el espejo 64, y avanza hasta un punto enfocado 66. Dado que el agua está presente en ambos lados de la lente del condensador 63, el material de la lente es preferiblemente uno que tiene un alto índice de refracción para asegurar una flexión adecuada del haz. El material también debe ser duradero frente a un haz de láser que tenga una alta densidad de potencia máxima. Sapphire se usa en este ejemplo. Con el fin de evitar que el espejo 64 se contamine por partículas metálicas y plasma que emana del punto de irradiación del haz de láser, el tubo 62 se conforma con un par de cortes 68, 69, y se proporciona un elemento de sellado en forma de anillo 70 que rodea la tubería 62. Esta disposición funciona para proteger la superficie del espejo 64 al establecer dentro de la tubería 62 una corriente de agua que pasa de un corte 68 al otro corte 69. Cuando se seleccionó el haz de láser, la segunda onda armónica de un láser Nd: YAG (longitud de onda: 532 nm) o la segunda onda armónica de un láser Nd: YVO₄ (longitud de onda: 532 nm), porque estos haces tienen buena capacidad de penetración en el agua. Las duraciones de los pulsos de los haces de láser fueron de 10 ns y 1 ns, respectivamente. El procesamiento por haz de láser se realizó al variar la energía del pulso y el diámetro del punto. El láser Nd: YAG se usó para el procesamiento realizado a una energía de pulso de 10 mJ o más y el láser Nd: YVO₄ se usó para el procesamiento realizado a una energía de pulso de menos de 10 mJ. El sitio en el punto de irradiación era sustancialmente circular y la densidad de potencia máxima se controló a 50 TW/m².

Para aumentar la tensión de compresión en la dirección circunferencial del orificio del conducto, el punto del haz, como se muestra en la Figura 15, se barrió dentro de un plano que incluía el eje del orificio de ramificación 6 y se realizaron múltiples barridos mientras se desplazaba el punto del haz barrido en la dirección periférica del orificio de ramificación 6. La región procesada por haz de láser fue la región representada por la Fórmula (3) y el procesamiento se realizó mientras se cambiaba p₃ y p₄. Las definiciones de p₃ y p₄, y la región procesada, están indicadas por las líneas inclinadas en la Figura 19,

$$\text{Distancia desde el centro del orificio de ramificación} \leq \text{Diámetro del orificio de ramificación} \\ (d_2) \times p_3$$

$$\text{Ángulo entre el segmento de línea dibujado en el centro del orificio de ramificación y la} \\ \text{dirección longitudinal del orificio del conducto} \leq p_4^\circ$$

...Fórmula (3).

La cantidad promedio de veces que se irradió un punto determinado con el haz de láser pulsado se controló en 6,9. En la Figura 19, la región procesada en el lado de "a" que se muestra en la figura sólo se indica por simplicidad. En el procesamiento real, el lado de "b" en la figura también se procesó de la misma manera que el lado "a".

Después del granallado por láser, se retiró acero mediante pulido electrolítico. Se aplicó corriente eléctrica a través de una proyección esférica operada bajo presión para pulir en una forma concéntrica centrada en el eje del orificio de ramificación 6. El diámetro de la proyección y el tiempo de pulido electrolítico se variaron para variar la anchura p₅, como se muestra en la Figura 20, y la profundidad de retirada p₆ de la región pulida electrolíticamente. La profundidad de retirada se definió como se estableció anteriormente. Se evaluó el radio máximo de curvatura R_m de la línea de forma de orificio de ramificación en la región que cumplía la Fórmula (2) anterior en la sección transversal longitudinal del orificio del conducto que incluía el eje del orificio de ramificación (d₂ = 1,0 mm). Los parámetros (p₁, p₂, p₅, p₆) relacionados con la forma de la región de abertura después del pulido electrolítico en la realización antes explicada se midieron cortando conductos comunes no sometidos a ensayo de fatiga para obtener la sección transversal que incluía la dirección longitudinal del orificio del conducto y el eje del orificio de ramificación, se pulieron las superficies cortadas, y se observaron sus formas con un microscopio óptico.

Cada conducto común fabricado con el método antes mencionado se instaló en un comprobador de fatiga por presión interna por medio de un soporte de sujeción fabricado adicional unido al comprobador. El ensayo de presión interna se realizó a una presión de inyección máxima de 300 MPa, 15 Hz y 10 millones de ciclos. En el ensayo, se seleccionaron tornillos para bloquear los extremos abiertos de los soportes que se acoplaron con las formas de los cordones formados en las paredes internas de los soportes y se utilizaron con un par de torsión máximo de 3 toneladas para simular el entorno de uso de un real motor. La Tabla 1 muestra los resultados del ensayo de fatiga. Los números que indican las condiciones de composición del acero corresponden a las condiciones expuestas en la Tabla 2. La tensión residual medida σ_A en la dirección circunferencial del orificio del conducto en el punto m₁ en la Figura 19 se muestra en la Tabla 1. Para la medición de la tensión residual σ_A, se cortó una parte 24 que incluía un orificio de ramificación de cada conducto común no sometido al ensayo de fatiga, como se muestra en la Figura 17, y el análisis se realizó utilizando un analizador de tensión residual de rayos X. Con el fin de extraer la muestra sin cambiar la tensión residual introducida por el granallado por láser, el corte se realizó en sitios distintos de la abertura lateral del orificio del conducto del orificio de ramificación. La longitud del corte fue de 40 mm en la dirección longitudinal del

orificio del conducto y el corte se realizó también en un plano perpendicular al eje del orificio de ramificación e incluía el eje del orificio del conducto. El diámetro del haz de medición de tensión por rayos X fue de 0,1 mm.

El conjunto de condiciones 126 es un ejemplo de la técnica anterior en el que se realizó el granallado con láser, pero a continuación no se realizó pulido. Los conjuntos de condiciones 106, 108, 111, 114, 116 y 119 son ejemplos comparativos en los que el pulido se realizó después del granallado por láser, pero no se observó un efecto significativo sobre el ejemplo de la técnica anterior debido a que las condiciones eran inadecuadas. Los conjuntos restantes de condiciones son ejemplos de la invención. En cada conjunto de condiciones de la invención, se observó una mejora en la resistencia a la fatiga con respecto al ejemplo de la técnica anterior.

El conjunto de condiciones 106 es un ejemplo en el que el efecto de mejora de la resistencia a la fatiga fue pequeño porque la energía del pulso fue deficiente, de modo que la profundidad de la tensión de compresión por el granallado láser fue baja y σ_A después del pulido electrolítico fue por lo tanto pequeña. Por otro lado, los conjuntos de condiciones 101 a 105, en los cuales la energía del pulso fue de 1 mJ o mayor, todos produjeron mejoras en la resistencia a la fatiga.

Los conjuntos de condiciones 108 y 111 son ejemplos en los que el efecto de mejora de la resistencia a la fatiga fue pequeño porque la región de procesamiento del haz de láser era demasiado pequeña, de modo que el efecto de reducir la tensión de tracción en la región de carga elevada durante el ensayo de fatiga por presión interna fue insuficiente. Por otro lado, los conjuntos de condiciones 107, 109 y 110, cuyas condiciones de energía de pulso láser fueron las mismas que las de los conjuntos de condiciones 108 y 111 y en los que $p_3 \geq 0,6$ y $p_4 \geq 10^\circ$, mostraron todos ellos un efecto de mejora de la resistencia a la fatiga.

El conjunto de condiciones 114 es un ejemplo en el que el efecto de mejora de la resistencia a la fatiga fue pequeño debido a que el pulido electrolítico fue demasiado pequeño, por lo que el efecto de reducir el factor de concentración de tensión en la región de carga elevada durante el ensayo de fatiga por presión interna fue insuficiente. Se observa que aunque se realizó un pulido electrolítico, R_m no fue muy diferente al del conjunto de condiciones 126, un ejemplo de la técnica anterior. Por otro lado, los conjuntos de condiciones 103, 112 y 113, cuyas condiciones de energía del pulso del láser fueron las mismas que las del conjunto de condiciones 114 y en los que $p_5 \geq 0,6$, mostraron todos ellos un efecto de mejora de la resistencia a la fatiga.

El conjunto de condiciones 116 es un ejemplo en el que el efecto de mejora de la resistencia a la fatiga fue pequeño porque el espesor del pulido electrolítico fue, a 0,4 mm, demasiado grande para retirar la profundidad a la que se introdujo la tensión de compresión mediante granallado por láser y la σ_A después del pulido electrolítico fue por lo tanto pequeña.

El conjunto de condiciones 119 es un ejemplo en el que el efecto de mejora de la resistencia a la fatiga fue pequeño porque el espesor del pulido electrolítico fue, a 0,005 mm, demasiado pequeño de modo que el efecto de eliminar la capa superficial donde la tensión se desplazó hacia el lado de tracción por fusión y resolidificación debido a la irradiación del haz de láser fue insuficiente y, además, la relajación de la concentración de tensión mediante el pulido electrolítico fue también insuficiente, de modo que ni R_m ni σ_A difirieron sustancialmente de los del conjunto de condiciones 126, un ejemplo de la técnica anterior.

La presente invención permite una mejora importante en la resistencia a la fatiga con respecto a la técnica anterior al lograr un efecto de aumento de la tensión de compresión superficial junto con un efecto complementario sinérgico de relajación del factor de concentración de tensión producido por la modificación de la forma. Como se puede observar a partir de los resultados de los ensayos, es eficaz para realizar los efectos de la invención para establecer condiciones de valor absoluto de $\sigma_A \geq 200$ MPa y $R_m \geq 15$ μm .

La Tabla 3 muestra ejemplos en los que el acero en sí o la unión unida por difusión en fase líquida no logró alcanzar la resistencia a la fatiga por presión interna debido a que el acero se desvió de las composiciones químicas de acuerdo con el primero a cuarto aspectos de la invención, de manera que la propiedad de unión por difusión en fase líquida del acero no se logró en primer lugar, lo que hace que el granallado por láser no tenga sentido. El granallado por láser se realizó en todos los casos de acuerdo con las condiciones del n° 122 de la Tabla 1. El acero n° 51 es un ejemplo en el que no se pudo asegurar una buena tenacidad de la unión por difusión en fase líquida porque el contenido de C fue excesivo (las propiedades de fatiga de la unión fueron inferiores a las de la región de la abertura del orificio de ramificación granallada por láser). Los aceros n°s 52 y 53 son ejemplos en los que las propiedades de fatiga de la unión fueron inferiores a los de las regiones de la abertura del orificio de ramificación granalladas por láser porque el contenido de Si del acero n° 52 y el contenido de Mn de acero n° 53 fueron excesivos, de modo que la tenacidad de la unión se redujo por la formación de abundante óxido complejo MnO-SiO_2 en la unión por difusión en fase líquida. El acero n° 54 es un ejemplo en el que el contenido excesivo de Cr produjo una abundante aparición de ferrita δ en la estructura del acero de manera que la resistencia del acero disminuyó e hizo que tanto la resistencia de la unión y las propiedades de fatiga de la región de la abertura del orificio de ramificación granallada por láser fueran inferiores. El acero n° 55 es un ejemplo en el que las propiedades de fatiga de la unión fueron inferiores a las de las regiones de la abertura del orificio de ramificación granalladas por láser porque el contenido excesivo de Mo degradó la tenacidad de la unión al producirse abundante boruro en la unión por difusión en fase líquida. El acero n° 56 es un ejemplo en el que las propiedades de fatiga de la unión fueron inferiores a las de la región de abertura del orificio de ramificación

granallada por láser debido a que el contenido excesivo de V degradó la tenacidad al producirse la aparición de carburos de V gruesos en la unión. El acero nº 57 es un ejemplo en el que las propiedades de fatiga de la unión fueron inferiores a las de la región de la abertura del orificio de ramificación granallada por láser porque la adición excesiva de Ti degradó la tenacidad de la unión al provocar la presencia de abundante carbonitruro que contenía Ti en la unión.

5 El acero nº 58 es un ejemplo en el que las propiedades de fatiga de la unión fueron inferiores a las de la región de la abertura del orificio de ramificación granallada por láser porque la excesiva adición de B degradó la tenacidad al provocar la aparición de carburos y boruros que contenían B en la unión. El acero nº 59, el acero nº 60 y el acero nº 61 son ejemplos que tuvieron una adición excesiva de Ni, Co y Cu, respectivamente, de modo que las propiedades de fatiga de la unión fueron inferiores a las de la región de la abertura del orificio de ramificación granallada por láser

10 debido a la abundante presencia de γ residual que degradó la tenacidad de la unión. El acero nº 62 es un ejemplo en el que las propiedades de fatiga de la unión fueron inferiores a las de la región de la abertura del orificio de ramificación granallada por láser debido a que la adición excesiva de W degradó la tenacidad al provocar la presencia de boruro abundante en la unión. Los aceros nºs 63 a 66 son ejemplos que tuvieron un contenido excesivo de Zr, Nb, Ta y Hf, respectivamente, de modo que las propiedades de fatiga de la unión fueron inferiores a las de la región de la abertura del orificio de ramificación granallada por láser debido a la degradación de la tenacidad por la abundante presencia de los carburos correspondientes en las uniones. Los aceros nºs 67 a 69 son ejemplos que tuvieron una adición excesiva de Ca, Mg y Ba, respectivamente, de modo que las propiedades de fatiga de la unión fueron inferiores a las de la región de la abertura del orificio de ramificación granallada por láser debido a la degradación de la tenacidad de la unión por la aparición de los óxidos correspondientes. Los aceros nºs 70 a 72 son ejemplos que tuvieron una adición excesiva de Y, Ce y La, respectivamente, de modo que las propiedades de fatiga de la unión fueron inferiores a las de la región de la abertura del orificio de ramificación granallada por láser debido a la degradación de la tenacidad de la unión por la presencia de los óxidos correspondientes. El acero nº 73 es un ejemplo en el que la adición total de As + Sn + Sb + Pb + Zn excedió el 0,015% de modo que las propiedades de fatiga de la unión fueron inferiores a las de la región de la abertura del orificio de ramificación granallada por láser debido a la degradación de la tenacidad de la unión por fragilidad en el límite del grano. El acero nº 74 es un ejemplo en el que la composición química de acero estuvo dentro del intervalo de la presente invención pero el valor de HTL fue inferior a 8, de modo que las propiedades de fatiga de la unión fueron inferiores a las de la región de la abertura del orificio de ramificación granallada por láser debido a la degradación tanto de la resistencia como de la tenacidad de la unión.

Tabla 1

Condiciones	Nº de acero	Condiciones del chafán		Condiciones de procesamiento por láser						Condiciones de pulido electrolítico		Rm (μm)	σ_A (N/mm ²)	Limite de fatiga (MPa)
		p1	p2 (mm)	Energía del pulso (mJ)	Diámetro del haz (mm)	p3	p4 (°)	p5	p6 (mm)					
101	6	Sin chafán		1	0,05	0,7	30	0,7	0,05	22	-389	233		
102	12	Sin chafán		9	0,16	0,75	30	0,8	0,06	25	-569	244		
103	22	Sin chafán		30	0,3	1	30	1,0	0,05	32	-612	245		
104	11	Sin chafán		100	0,6	1,5	30	1,6	0,06	41	-842	251		
105	25	Sin chafán		500	1,3	2	30	1,6	0,07	42	-856	249		
106	14	Sin chafán		0,2	0,03	0,65	30	0,7	0,05	22	-186	213		
107	7	Sin chafán		1	0,05	0,6	30	0,7	0,05	24	-412	228		
108	6	Sin chafán		1	0,05	0,55	30	0,7	0,05	20	-176	220		
109	21	Sin chafán		1	0,05	0,7	20	0,7	0,05	26	-379	233		
110	25	Sin chafán		1	0,05	0,7	10	0,7	0,05	23	-356	227		
111	11	Sin chafán		1	0,05	0,7	5	0,7	0,05	21	-189	219		
112	13	Sin chafán		30	0,3	1	30	0,7	0,05	24	-588	236		
113	12	Sin chafán		30	0,3	1	30	0,6	0,05	16	-621	227		
114	14	Sin chafán		30	0,3	1	30	0,58	0,05	12	-625	224		
115	22	Sin chafán		30	0,3	1	30	1,0	0,20	74	-311	228		
116	25	Sin chafán		30	0,3	1	30	1,0	0,40	132	-178	220		
117	12	Sin chafán		100	0,6	1,5	30	1,5	0,02	29	-874	250		
118	6	Sin chafán		100	0,6	1,5	30	1,5	0,01	22	-657	246		
119	13	Sin chafán		100	0,6	1,5	30	1,5	0,005	13	-454	224		
120	14	Sin chafán		100	0,6	1,5	30	1,3	0,30	116	-296	226		
121	21	Sin chafán		100	0,6	1,5	30	0,7	0,05	23	-831	249		
122	11	1,300	0,300	100	0,6	1,5	30	1,2	0,05	106	-846	269		
123	13	0,700	0,200	100	0,6	1,5	30	0,9	0,05	95	-851	265		
124	7	0,630	0,150	100	0,6	1,5	30	0,8	0,05	74	-844	258		
125	25	0,580	0,050	100	0,6	1,5	30	0,7	0,05	26	-828	250		
126	13	Sin chafán		100	0,6	1,5	30	Sin pulido		9	-414	221		

Tabla 2

O R O	Aceros de alta resistencia % en masa																HTL	TS (N/mm ²)	CH (J)											
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Ti	N	B	O	N	Co	Cu	W				Zr	Nb	Ta	Hf	Ca	Mg	Ba	Y	Ce	La	As+Sn+Sb +Pb+Zn
1	0,05	0,10	1,26	0,0110	0,0021	1,54	0,55	0,023	0,035	0,0075	0,012	0,0037															0,0125	10,7	622	321
2	0,03	0,32	1,36	0,0251	0,0020	4,01	0,83	0,135	0,021	0,0038	0,032	0,0015															0,0141	21,0	711	353
3	0,091	0,215	0,90	0,0120	0,0014	1,25	0,45	0,136	0,044	0,0026	0,012	0,0024															0,0116	8,1	613	388
4	0,191	0,174	0,40	0,0039	0,0007	2,53	1,55	0,436	0,014	0,0030	0,048	0,0038															0,0071	19,4	899	264
5	0,074	0,032	0,26	0,0103	0,0009	4,54	1,17	0,075	0,024	0,0068	0,031	0,0072															0,0088	21,6	913	282
6	0,011	0,037	0,89	0,0071	0,0005	6,93	1,14	0,335	0,029	0,0020	0,050	0,0059															0,0066	32,7	988	255
7	0,042	0,204	0,79	0,0047	0,0052	9,96	1,01	0,243	0,033	0,0046	0,050	0,0036															0,0079	41,7	1,030	196
8	0,192	0,146	2,26	0,0145	0,0088	4,21	0,14	0,228	0,030	0,0027	0,037	0,0015															0,0081	22,3	886	286
9	0,236	0,088	0,89	0,0142	0,0012	5,73	0,94	0,565	0,020	0,0023	0,040	0,0030															0,0044	27,9	871	244
10	0,144	0,108	0,60	0,0066	0,0018	3,67	0,65	0,553	0,025	0,0028	0,026	0,0009															0,0099	18,2	732	293
11	0,132	0,261	1,44	0,0061	0,0018	9,79	1,53	0,507	0,030	0,0076	0,049	0,0056															0,0036	43,3	1,040	166
12	0,070	0,109	1,99	0,0087	0,0088	5,74	1,30	0,606	0,021	0,0011	0,043	0,0065	0,20		4,25												0,0121	30,2	988	154
13	0,087	0,361	0,77	0,0145	0,0048	8,10	1,56	0,699	0,025	0,0056	0,013	0,0023	1,25														0,0116	33,4	1,020	288
14	0,199	0,136	1,52	0,0115	0,0007	6,51	0,88	0,201	0,033	0,0066	0,049	0,0033			0,35		0,016										0,0113	31,8	964	332
15	0,225	0,287	1,73	0,0046	0,0013	2,64	1,02	0,314	0,017	0,0067	0,025	0,0027			0,41												0,0098	17,7	763	312
16	0,114	0,246	0,37	0,0035	0,0009	4,39	1,14	0,484	0,031	0,0027	0,031	0,0066	0,03		0,05	0,16											0,0094	22,1	804	366
17	0,090	0,394	0,91	0,0092	0,0009	5,98	1,15	0,553	0,039	0,0069	0,009	0,0033					0,003										0,0071	23,9	853	306
18	0,213	0,105	1,39	0,0080	0,0050	9,62	1,18	0,506	0,021	0,0056	0,013	0,0051					0,016										0,0075	36,9	842	307
19	0,167	0,160	1,13	0,0164	0,0022	6,64	0,74	0,275	0,020	0,0073	0,043	0,0065	4,20			1,15	0,024		0,120								0,0069	36,8	924	256
20	0,086	0,220	1,36	0,0113	0,0006	6,93	0,57	0,429	0,017	0,0062	0,023	0,0010			0,07												0,0049	28,3	866	285
21	0,118	0,317	1,98	0,0048	0,0021	9,15	0,28	0,251	0,036	0,0065	0,034	0,0015						0,032									0,0081	36,9	943	361
22	0,232	0,312	1,26	0,0172	0,0002	7,63	1,35	0,678	0,023	0,0030	0,024	0,0054	5,30			0,89											0,0099	40,8	1,050	155
23	0,163	0,281	0,07	0,0238	0,0000	5,72	1,56	0,483	0,023	0,0039	0,017	0,0004			0,04												0,0098	24,5	821	386
24	0,048	0,198	2,03	0,0113	0,0041	1,94	1,11	0,360	0,010	0,0028	0,022	0,0012															0,0096	14,5	779	332
25	0,077	0,175	1,85	0,0218	0,0002	5,07	0,55	0,666	0,024	0,0077	0,044	0,0048	6,80			0,76	0,041	0,035									0,0091	36,2	969	156
26	0,128	0,090	1,71	0,0254	0,0009	4,34	0,86	0,093	0,011	0,0072	0,028	0,0069						0,036	0,007								0,0055	21,9	684	303
27	0,015	0,098	0,54	0,0108	0,0000	9,30	1,28	0,245	0,021	0,0028	0,006	0,0030	0,05														0,0144	33,3	853	246

HTL $3,1(Cr\%) + 1,2(Ni\% + Co\% + Mn\%) + 2,0(Mo\% + W\%) + 0,8(Nb\% + Zr\% + V\% + Ti\% + Ta\% + Hf\%) + 2,7(C\% + N\%) + 1,500(B\%)$

TS Resistencia a la tracción (N/mm²) de la unión por difusión en fase líquida a 25°C

CH Energía absorbida (J) de la unión por difusión en fase líquida a 0°C en el ensayo Charpy

Tabla 3

Nº Acero	Aceros comerciales (V en masa)																			HTL (N/mm²)	TS (N/mm²)	CH (J)								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Ti	N	B	O	N	Co	Cu	W	Zr	Nb	Ta				Hf	Cs	Mg	Ba	Y	Co	La	Al+Si+Sn+Pb+Zn
51	0.30	0.10	0.46	0.026	0.0021	5.14	1.52	0.624	0.025	0.0049	0.0029	0.0060															0.081	25.4	622	25
52	0.176	0.20	2.06	0.043	0.0044	1.11	0.60	0.619	0.02	0.0078	0.0039	0.0060															0.018	14.0	711	16
53	0.173	0.315	3.3	0.064	0.0013	7.75	0.83	0.538	0.032	0.0075	0.0037	0.0031															0.014	31.6	775	11
54	0.118	0.314	0.44	0.0214	0.0007	10.50	1.26	0.527	0.027	0.0042	0.0042	0.0021															0.0007	56.1	319	24
55	0.208	0.241	0.41	0.032	0.0011	9.52	3.50	0.366	0.013	0.0023	0.0015	0.0011															0.0042	40.1	913	26
56	0.180	0.208	0.68	0.090	0.0041	4.28	0.62	1.460	0.025	0.0024	0.0044	0.0031															0.0016	23.6	988	3
57	0.196	0.205	1.94	0.099	0.0004	3.61	1.23	0.185	0.060	0.0002	0.0019	0.0026															0.0136	19.6	1030	3
58	0.122	0.281	0.64	0.078	0.0023	5.46	1.27	0.274	0.013	0.0029	0.0040	0.0031															0.0036	44.8	501	24
59	0.148	0.133	0.93	0.073	0.0034	4.37	1.10	0.348	0.035	0.0073	0.0047	0.0029	11.30														0.0090	38.3	732	25
60	0.108	0.366	1.00	0.019	0.0024	8.01	0.60	0.221	0.036	0.0043	0.0011	0.0065															0.0075	37.0	1040	16
61	0.171	0.288	1.37	0.0212	0.0023	1.31	1.38	0.623	0.017	0.0044	0.0051	0.0051	0.20														0.0068	17.4	988	17
62	0.096	0.088	0.62	0.0212	0.0031	2.95	0.75	0.194	0.025	0.0011	0.0015	0.0033	1.25														0.0057	20.8	1020	24
63	0.140	0.358	0.07	0.073	0.0004	9.91	0.10	0.343	0.023	0.0060	0.0022	0.0039															0.0147	35.0	964	16
64	0.229	0.032	2.24	0.068	0.0019	5.92	0.26	0.685	0.039	0.0010	0.0026	0.0013															0.0078	27.5	763	10
65	0.028	0.341	2.25	0.009	0.0041	3.07	1.52	0.566	0.019	0.0042	0.0022	0.0045															0.0126	19.8	804	3
66	0.111	0.049	0.22	0.022	0.0013	3.30	1.23	0.364	0.011	0.0025	0.0023	0.0043															0.0066	17.1	853	16
67	0.153	0.204	2.48	0.040	0.0018	5.61	0.25	0.232	0.039	0.0056	0.0031	0.0068															0.0105	26.9	842	21
68	0.179	0.177	2.19	0.022	0.0025	8.32	0.65	0.255	0.031	0.0013	0.0044	0.0049	4.20														0.0101	44.6	924	22
69	0.243	0.348	0.91	0.041	0.0023	7.97	1.06	0.525	0.034	0.0071	0.0011	0.0024															0.0065	30.6	866	25
70	0.137	0.307	0.28	0.088	0.0025	5.57	1.24	0.496	0.015	0.0051	0.0035	0.0054															0.0070	21.8	943	44
71	0.044	0.106	0.37	0.075	0.0018	8.07	1.01	0.448	0.024	0.0066	0.0039	0.0064	5.30														0.0023	42.1	1050	43
72	0.157	0.064	0.65	0.010	0.0044	1.06	0.19	0.514	0.033	0.0072	0.0031	0.0030															0.0060	9.9	821	16
73	0.169	0.015	0.93	0.037	0.0018	5.03	1.35	0.482	0.039	0.0049	0.0046	0.0069															0.0183	27.2	729	3
74	0.002	0.006	0.02	0.033	0.0020	1.11	0.16	0.031	0.014	0.0026	0.0008	0.0064															0.0034	5.9	425	24

HTL 3: $(Cr\%) + 1,2(Ni\% + Co\% + Mn\%) + 2,0(Mo\% + W\%) + 0,8(Nb\% + Zr\% + V\% + Ti\% + Ta\% + Hf\%) + 2,7(C\% + N\%) + 1,500(B\%)$

TS Resistencia a la tracción (N/mm²) de la unión por difusión en fase líquida a 25°C

CH Energía absorbida (J) de la unión por difusión en fase líquida a 0°C en el ensayo Charpy

Aplicabilidad industrial

5 La presente invención utiliza la unión por difusión para producir conductos comunes que tienen acero de alta resistencia de calidad 600 MPa y superior. La unión por difusión permite producir los conductos comunes a partir de unidades de bloques que tienen formas fáciles de procesar y, por lo tanto, permite la reducción del coste de producción. Además, en las periferias de la abertura de los orificios de ramificación en el lado del orificio del conducto común, que son regiones donde la resistencia a la fatiga se convierte en un problema, se puede introducir una alta tensión de compresión desde la superficie al tiempo que se mitiga la concentración de tensión al mejorar la forma de las regiones de la abertura del orificio de ramificación, mejorando así notablemente la resistencia a la fatiga. Como resultado, es posible construir un sistema de conducto común capaz de inyectar combustible a alta presión utilizando un acero de bajo coste, lo que permite obtener emisiones de escape más ecológicas y una mayor eficiencia del combustible. Además, la invención también se puede aplicar a métodos de producción para mejorar la resistencia a la fatiga de los componentes de máquina que tienen un paso de fluido que puede experimentar una concentración de tensión en los extremos del tubo transportador de fluido y en las regiones del tubo donde su diámetro cambia radicalmente. La invención tiene, por lo tanto, una gran utilidad industrial.

10

15

REIVINDICACIONES

1. Un método para producir un conducto común (1) que tiene un orificio del conducto (5) formado en su región central y que tiene múltiples orificios de ramificación (6) que se forman en una región de pared cilíndrica que rodea el orificio del conducto (5) y que se conectan al orificio del conducto, en donde el método comprende:

5 utilizar como un material del conducto común un acero para unión por fusión de fase líquida de alta resistencia que tiene buena tenacidad y resistencia a la fatiga que contiene, en % en masa, C: de 0,01 a 0,3%, Si: de 0,01 a 0,5%, Mn: de 0,01 a 3,0%, Cr: de 1,0 a 12,0% y Mo: de 0,1 a 2,0%, que además contiene, en % en masa, V: de 0,01 a 1,0%, B: de 0,0003 a 0,01%, Ti: de 0,01 a 0,05% y N: de 0,001 a 0,01%, opcionalmente uno o más de Ni: de 0,01 a 9,0%, Co: de 0,01 a 5,0%, Cu: de 0,01 a 5,0%, W: de 0,01 a 2,0%, Zr: de 0,001 a 0,05%, Nb: de 0,001 a 0,05%, Ta: de 0,001 a 0,2%, Hf: de 0,001 a 0,2%, elementos de control de forma de sulfuro seleccionados entre Ca: de 0,0005 a 0,005%, Mg: de 0,0005 a 0,005%, y Ba: de 0,0005 a 0,005%, y elementos de tierras raras seleccionados entre Y: de 0,001 a 0,05%, Ce: de 0,001 a 0,05%, y La: de 0,001 a 0,05%,

10 con un contenido de P limitado a 0,03% o menos, un contenido de S a 0,01% o menos y contenido de O a 0,01% o menos, teniendo además un contenido total de elementos de fragilidad segregados en el límite del grano tales como, Sn, Sb, Pb y Zn limitados a 0,015% o menos, y un equilibrio de impurezas inevitables y Fe;

realizar la unión por difusión en fase líquida;

20 hacer que un líquido transparente esté presente en, y realizar un granallado por láser con un haz de láser pulsado con respecto a, una superficie interna (21) de cada orificio de ramificación (6) situado en una zona periférica de la abertura del orificio de ramificación (6) y una zona periférica en un límite entre el orificio de ramificación y la superficie interior del orificio del conducto (5); y

retirar una capa superficial de acero de la zona periférica de abertura, aumentando así la resistencia a la fatiga de la zona periférica de la abertura, en donde

la eliminación de la capa superficial de acero de la zona periférica de la abertura se realiza mediante pulido electrolítico o pulido por fluido;

25 la energía del pulso del haz de láser pulsado es de 1 mJ a 10 J;

tanto la zona granallada por láser como la zona cuya capa superficial es eliminada, incluyen una zona en la superficie interna (22) del orificio del conducto (5)

que cumple la Fórmula (1) y el espesor de la capa superficial eliminada es de 0,01 mm a 0,3 mm en la zona que cumple la Fórmula (1):

30 Distancia desde el centro del orificio de ramificación \leq Diámetro del orificio de ramificación x 0,6

Ángulo entre el segmento de línea dibujado al centro del orificio de ramificación y dirección longitudinal del orificio del conducto $\leq 10^\circ$

... Fórmula (1).

35 La retirada de la capa superficial de acero de la zona periférica provoca un radio de curvatura de una línea de forma en la zona periférica de la abertura del orificio de ramificación visto en una sección transversal que se extiende en una dirección longitudinal del orificio del conducto e incluye una línea central del orificio de ramificación para que sea de 15 μm o más en puntos de una región que cumple la Fórmula (2):

40 Diámetro del orificio de ramificación x 0,5 \leq Distancia desde el centro del orificio de ramificación \leq Diámetro del orificio de ramificación x 0,6

... Fórmula (2)

2. Un método para producir un conducto común (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la zona periférica de la abertura está achaflanada antes de realizar el granallado por láser.

45 3. Un método para producir un conducto común (1) de acuerdo con la reivindicación 2, en donde la zona achaflanada incluye la zona que cumple la Fórmula (1).

4. Un método para producir un conducto común (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el líquido transparente utilizado en el granallado por láser es alcohol o agua que contiene un inhibidor de óxido.

5. Un conducto común (1) excelente en propiedad de resistencia a la fatiga producido por el método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que tiene un orificio de conducto (5) formado en su región central y que tiene múltiples orificios de ramificación (6) que se forman en una región de pared cilíndrica que rodea el orificio del conducto (5) y se conecta al orificio del conducto (5), en donde el conducto común (1) comprende como su material un acero para la unión por difusión en fase líquida de alta resistencia que tiene una buena tenacidad y resistencia a la fatiga, que contiene, en % masa, C: de 0,01 a 0,3%, Si: de 0,01 a 0,5%, Mn: de 0,01 a 3,0%, Cr: de 1,0 a 12,0% y Mo: de 0,1 a 2,0%, que contiene adicionalmente, en % en masa, V: de 0,01 a 1,0%, B: de 0,0003 a 0,01%, Ti: de 0,01 a 0,05% y N: de 0,001 a 0,01%, opcionalmente uno o más de Ni: de 0,01 a 9,0%, Co: de 0,01 a 5,0%, Cu: de 0,01 a 5,0%, W: de 0,01 a 2,0%, Zr: de 0,001 a 0,05%, Nb: de 0,001 a 0,05%, Ta: de 0,001 a 0,2%, Hf: de 0,001 a 0,2%, elementos de control de forma de sulfuro seleccionados entre Ca: de 0,0005 a 0,005%, Mg: de 0,0005 a 0,005%, y Ba: de 0,0005 a 0,005%, y elementos de tierras raras seleccionados entre Y: de 0,001 a 0,05%, Ce: de 0,001 a 0,05%, y La: de 0,001 a 0,05%, con un contenido de P limitado a 0,03% o menos, un contenido de S a 0,01% o menos y un contenido de O a 0,01% o menos, que tiene además un contenido total de elementos de fragilidad segregados en el límite del grano As, Sn, Sb, Pb y Zn limitados a 0,015% o menos, y un equilibrio de impurezas inevitables y Fe;
- 15 Se conforma una región periférica de abertura de cada orificio de ramificación (6) para que tenga un radio de curvatura de una línea de forma en la zona periférica de la abertura del orificio de ramificación (6) visto en una sección transversal que se extiende en una dirección longitudinal del orificio del conducto (5) e incluye una línea central del orificio de ramificación (6) que es de 15 μm o más en puntos de una región que cumple la Fórmula (2); y el valor de la tensión de compresión normal con respecto a la dirección longitudinal del orificio del conducto (6) en la sección transversal es
- 20 de -200 MPa o mayor.

Fig.2

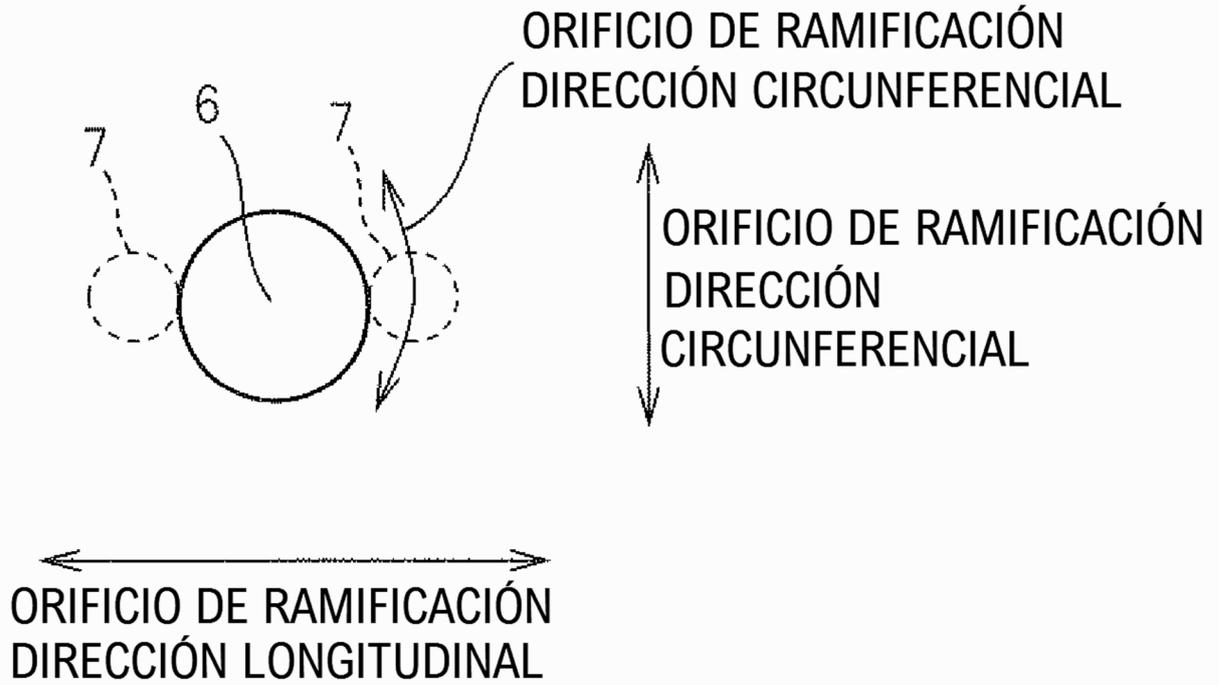


Fig.3

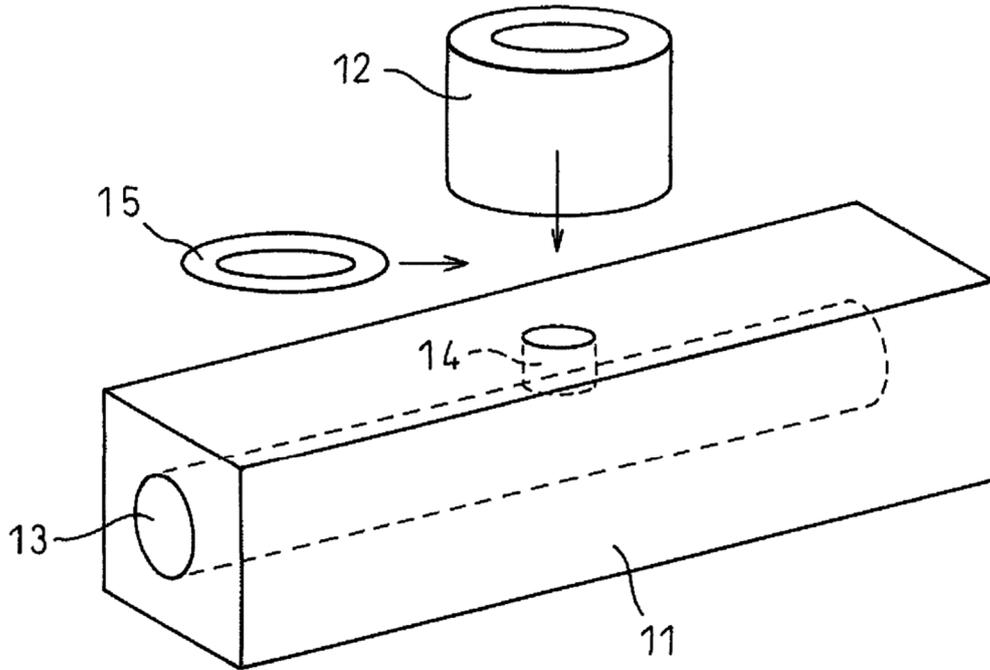


Fig.4

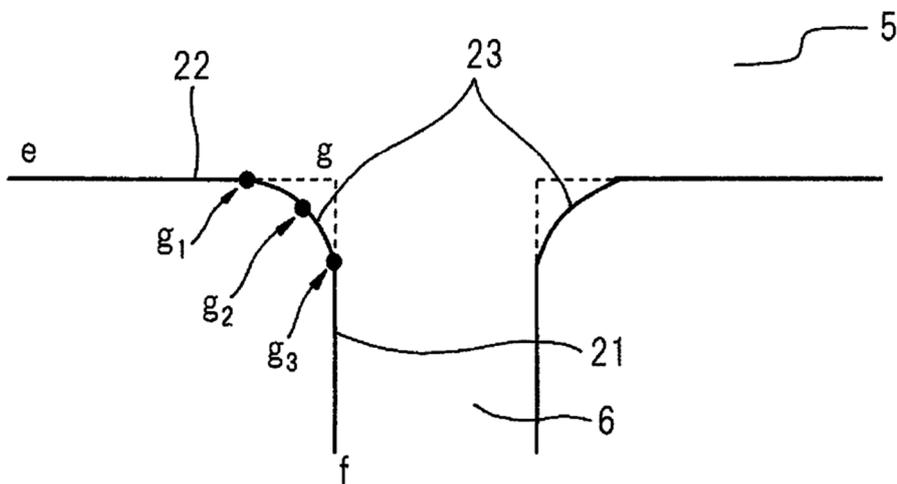


Fig.5

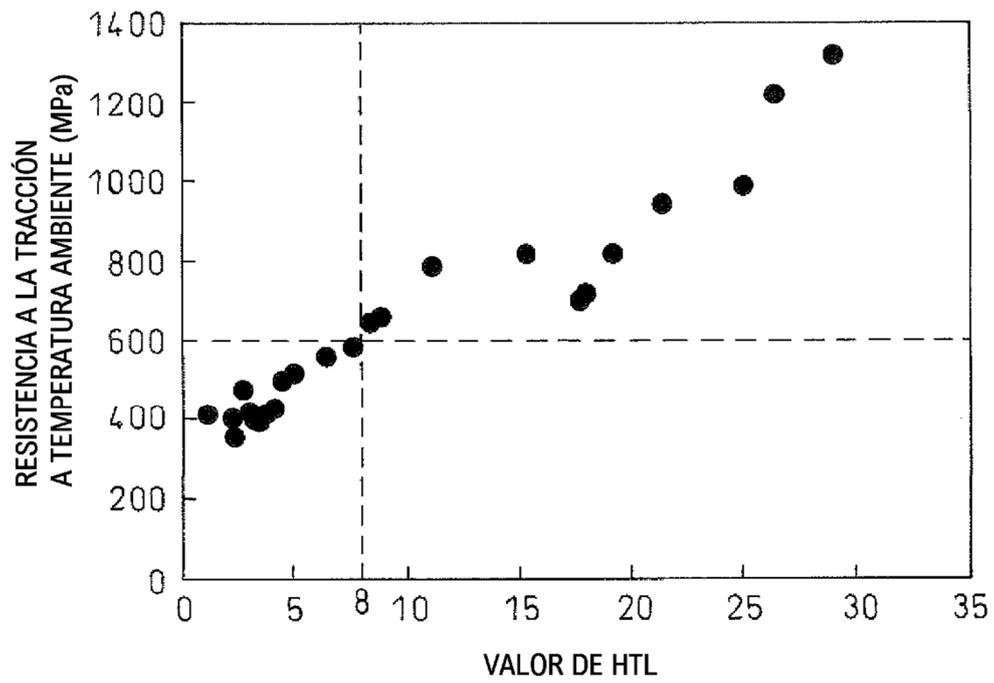


Fig.6

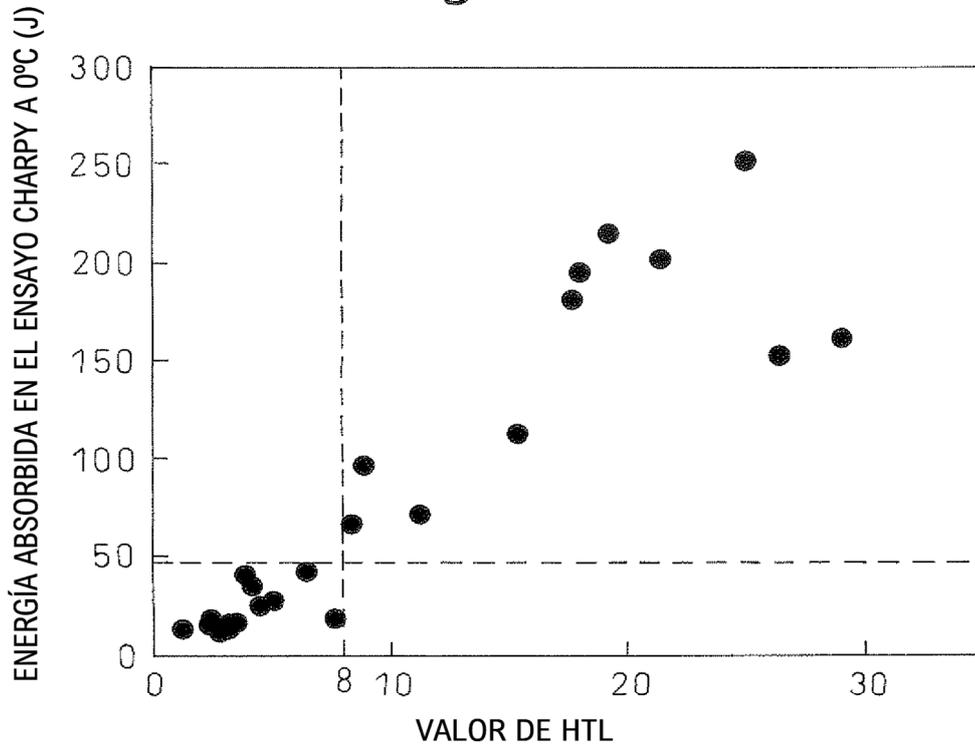


Fig.7

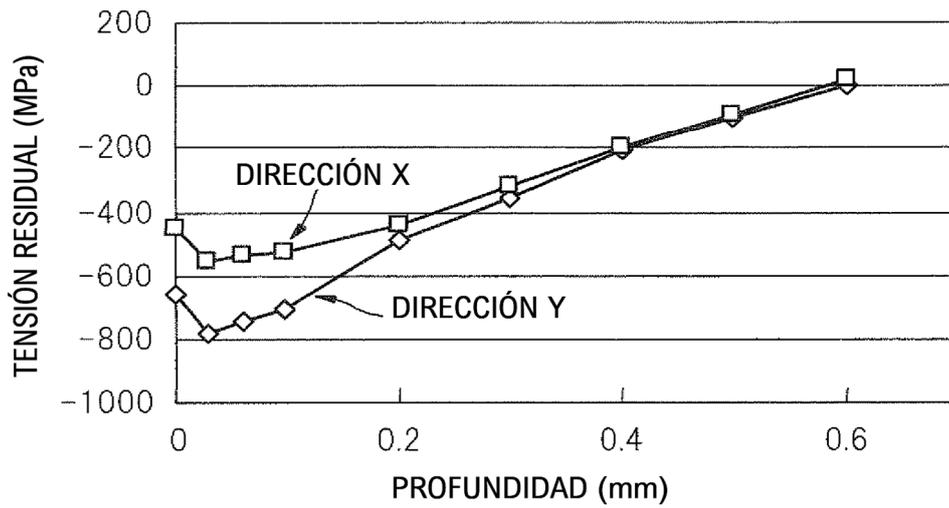


Fig.8

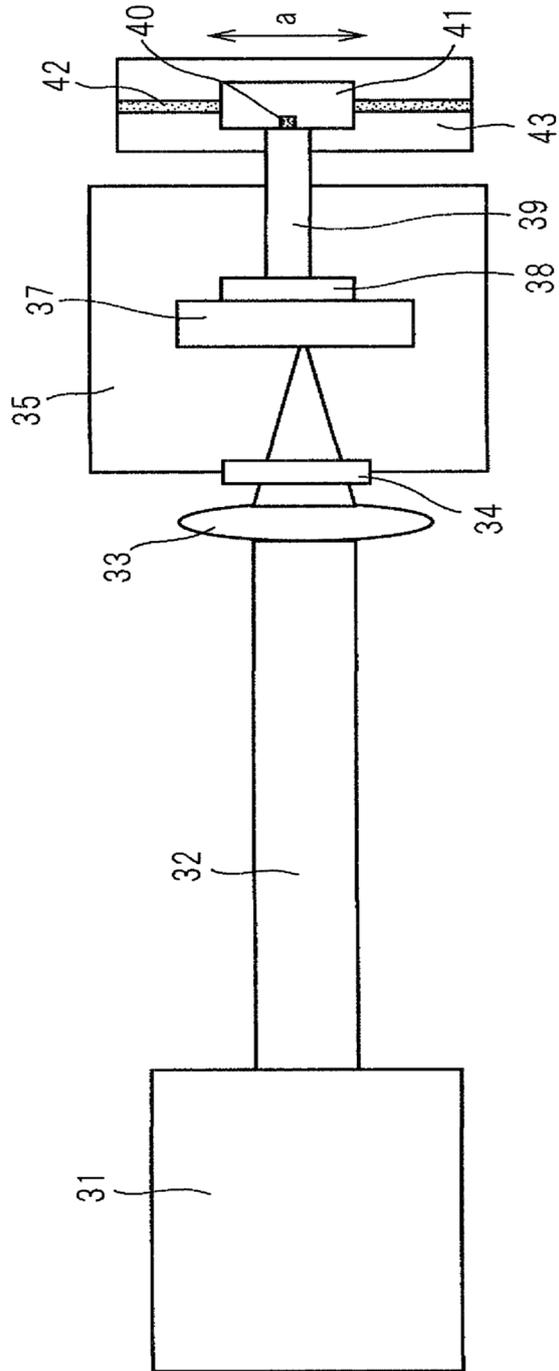


Fig.9

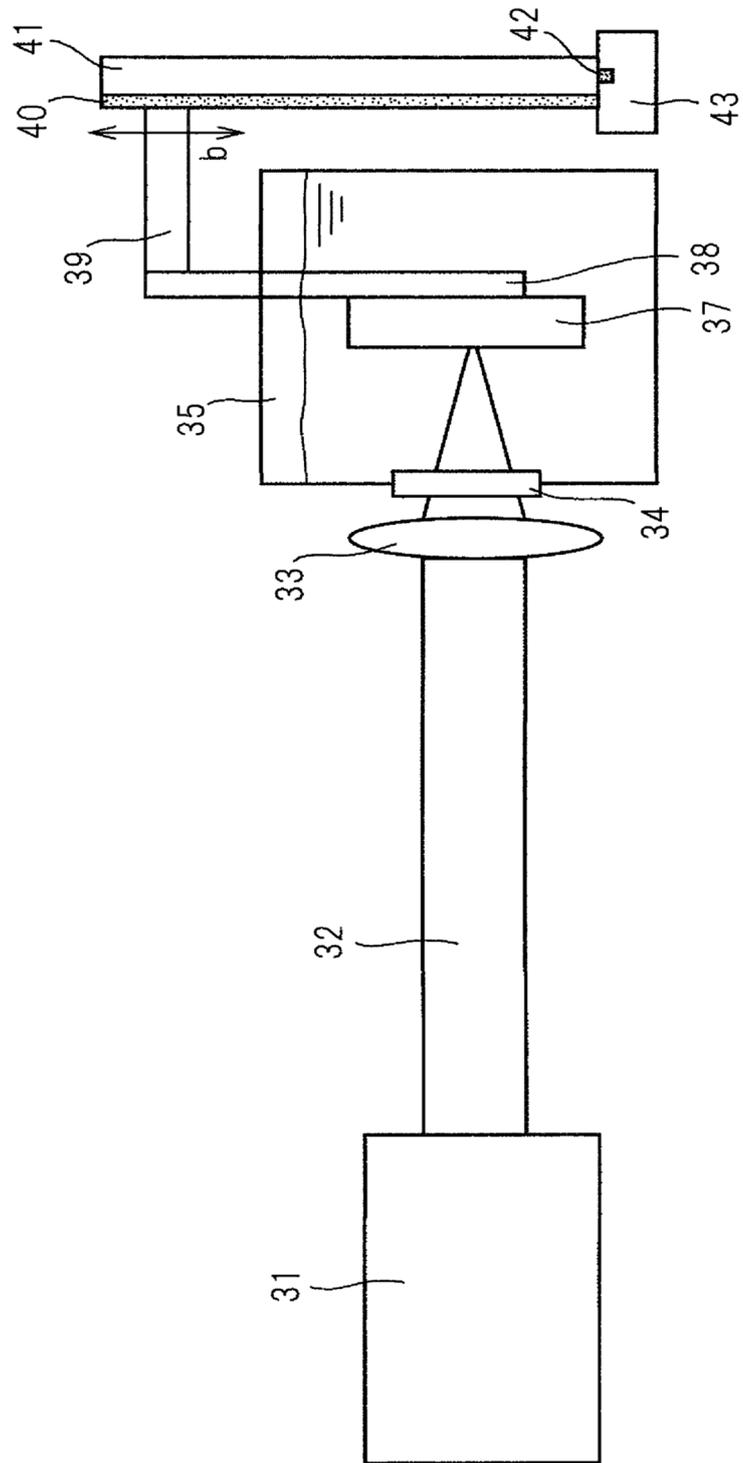
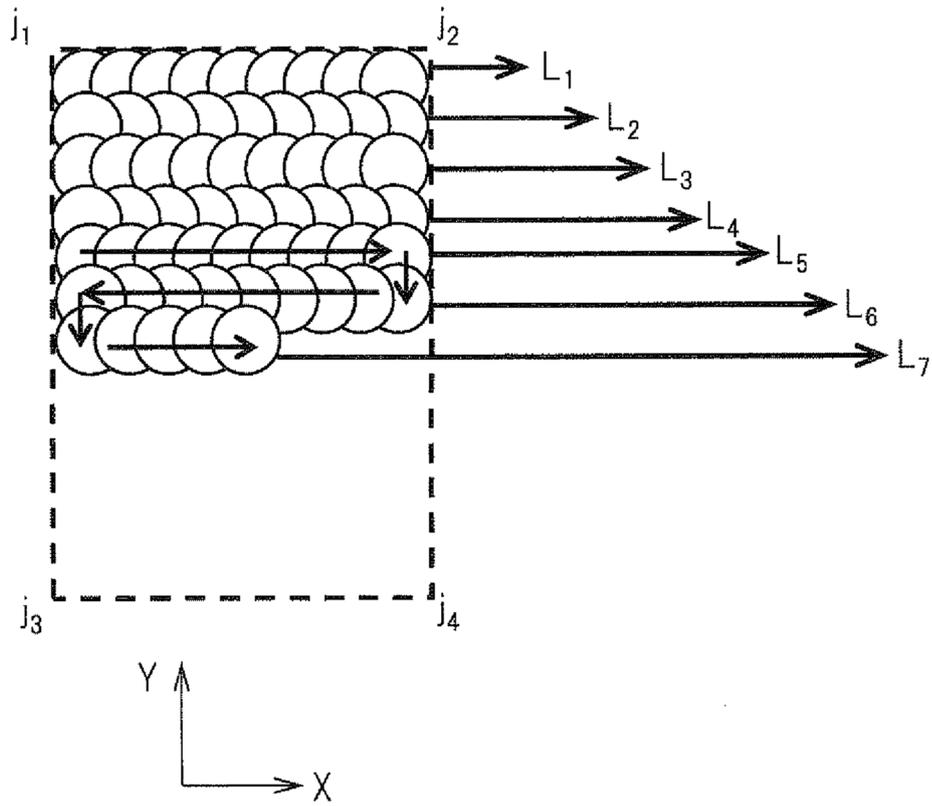


Fig.10



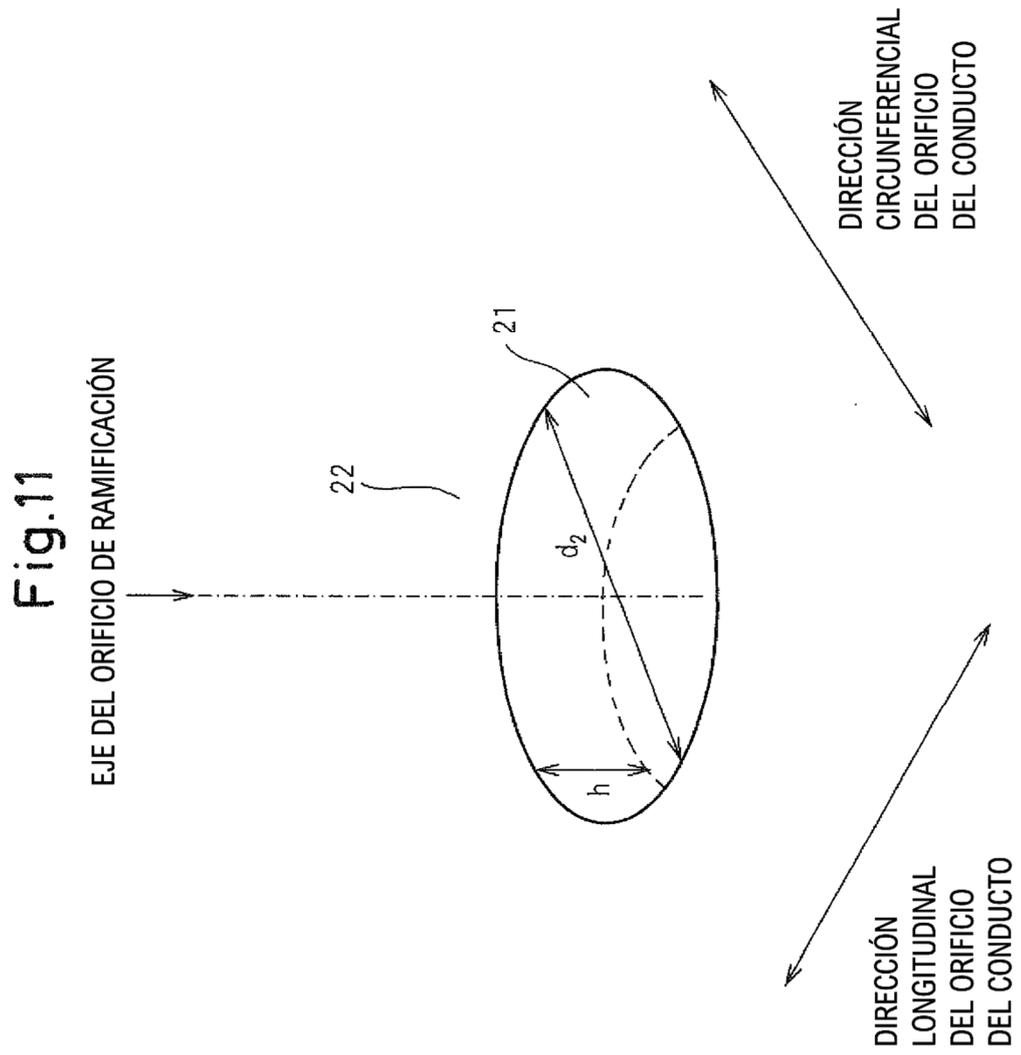


Fig.12

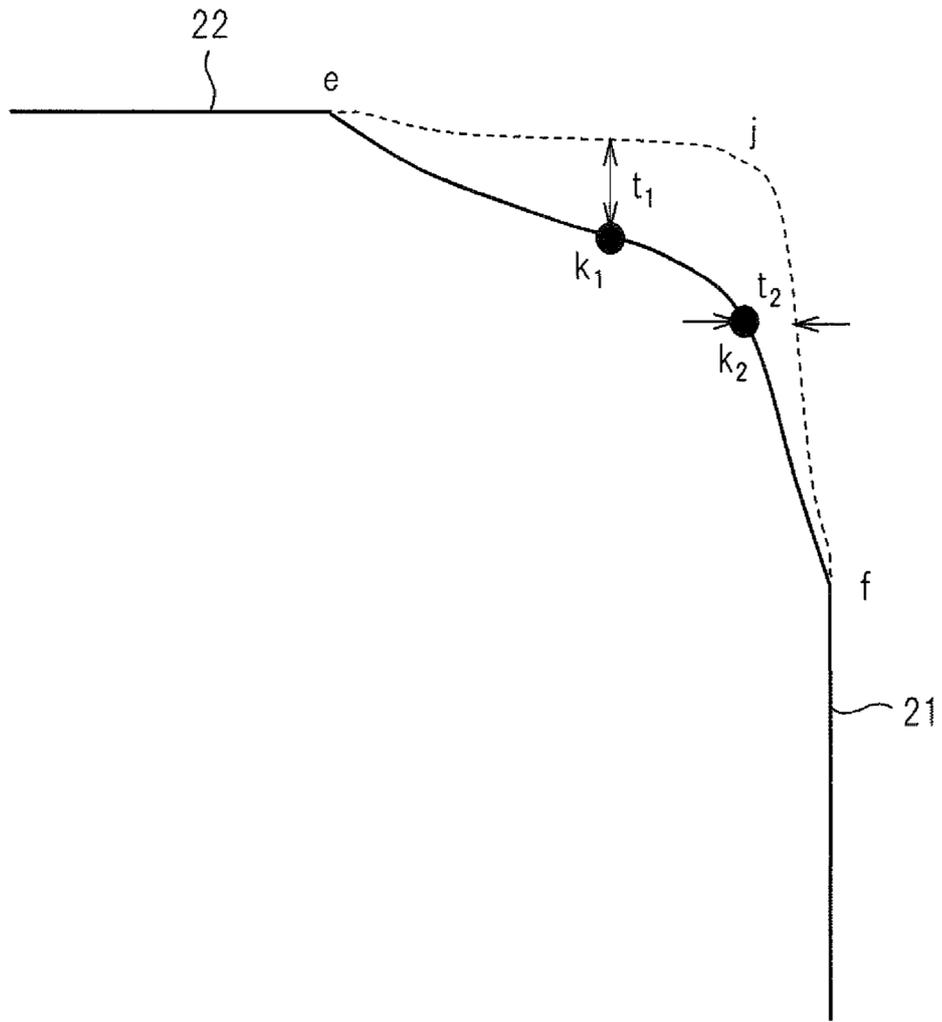


Fig.13

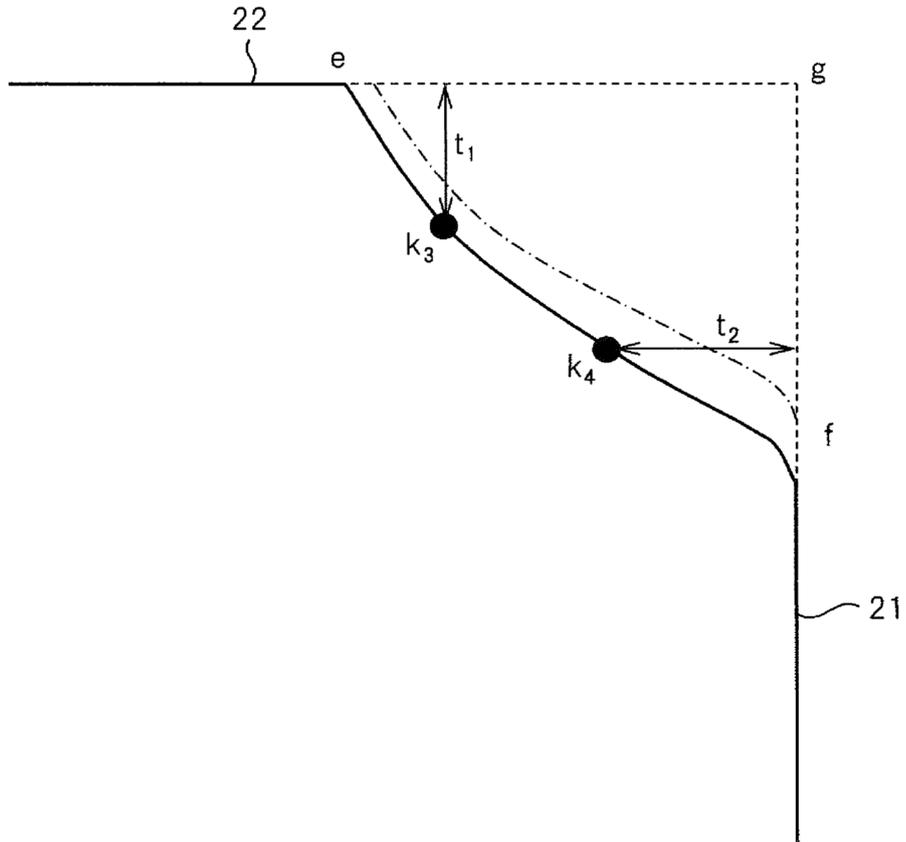


Fig.14

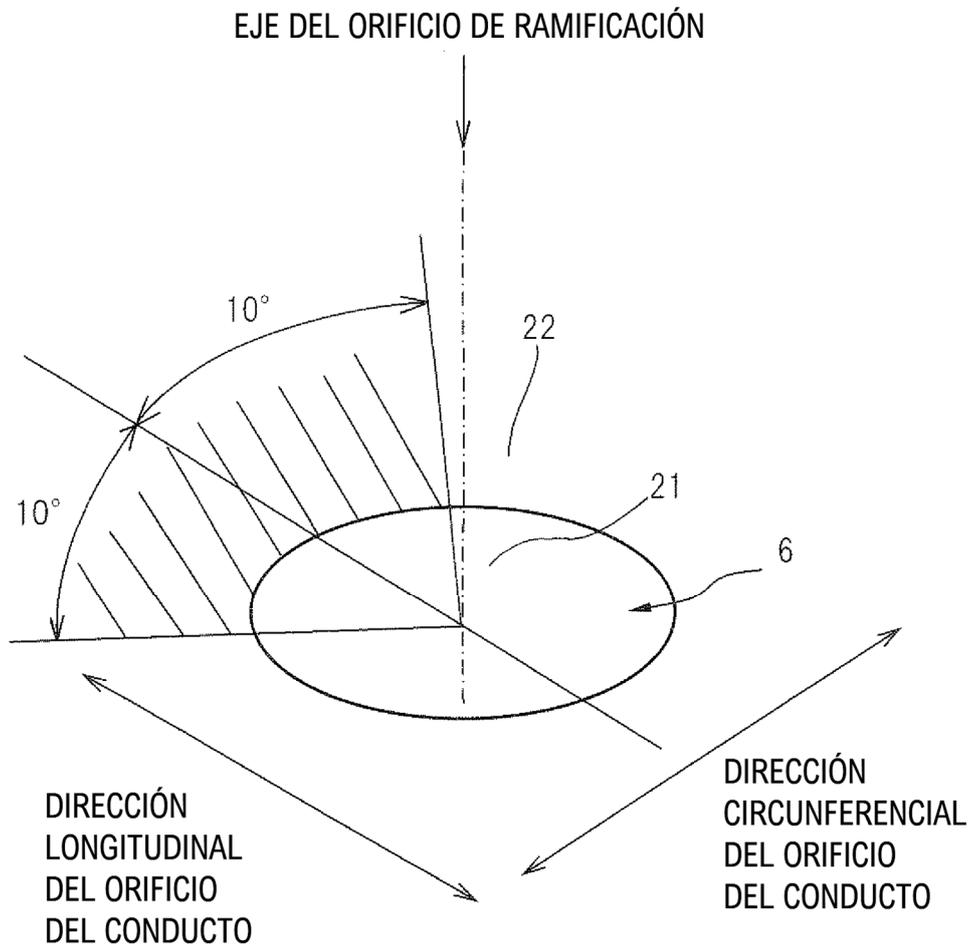


Fig. 15

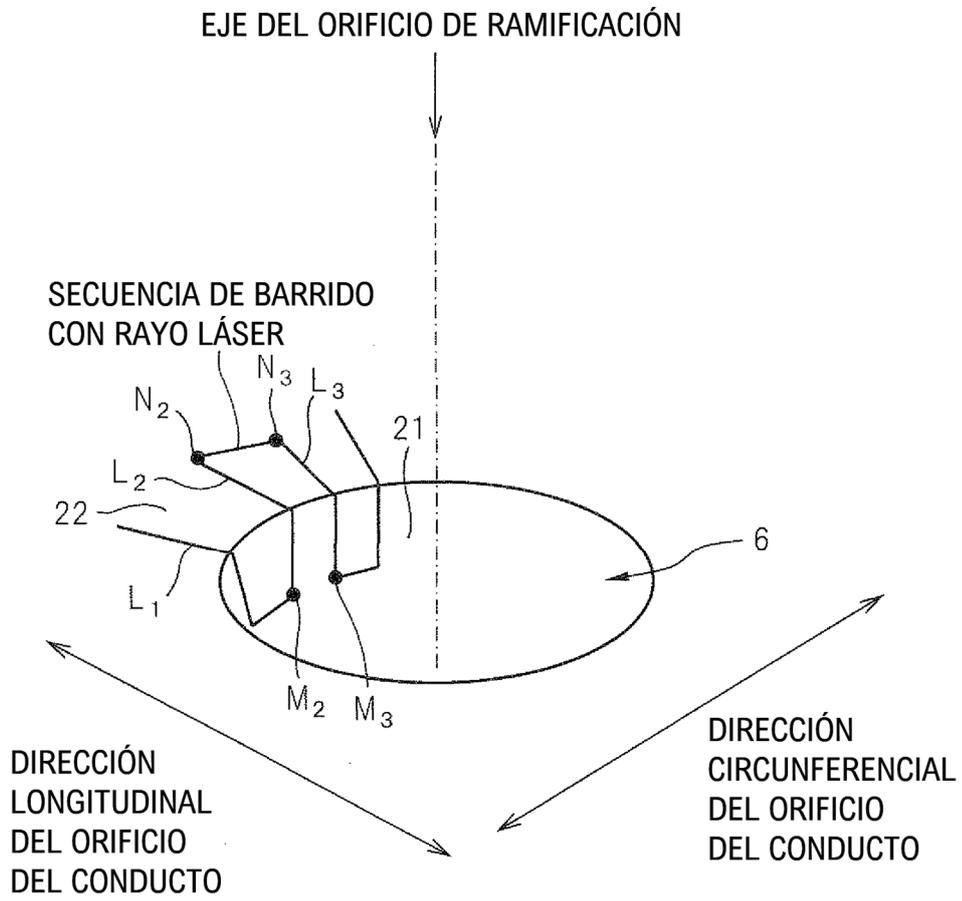


Fig. 16

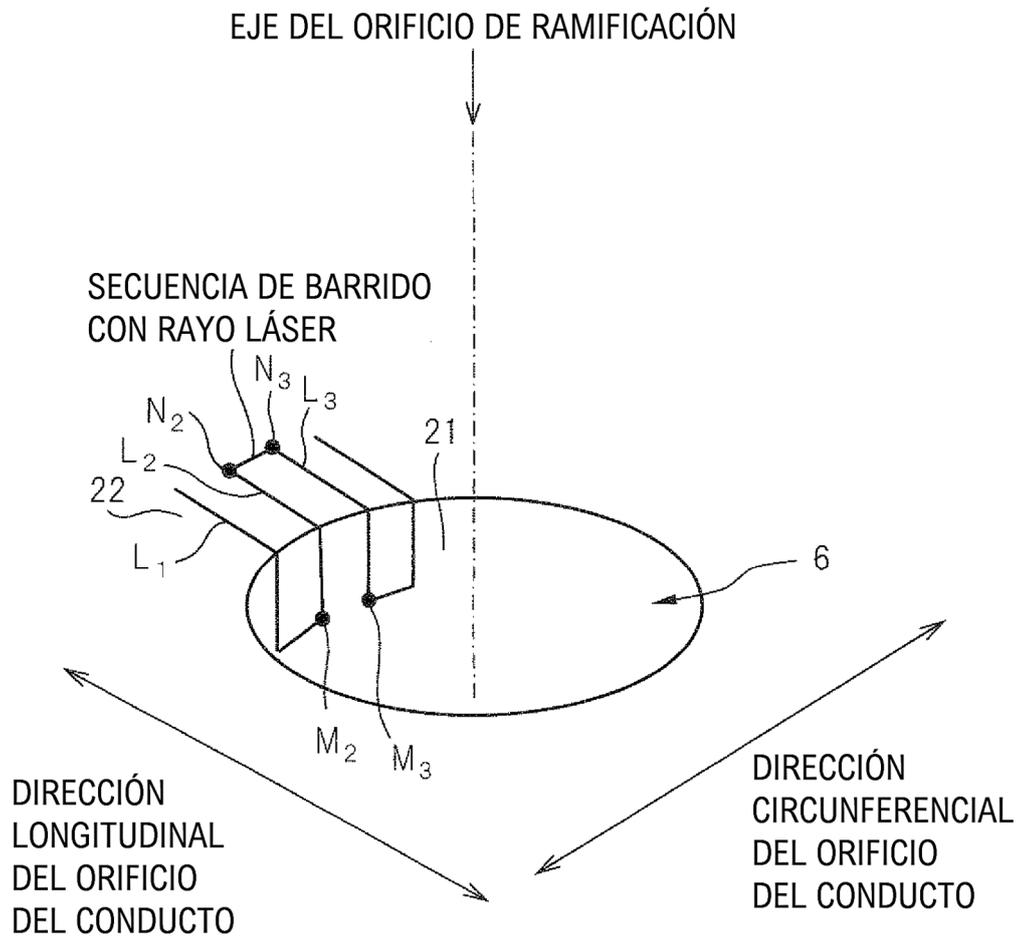


Fig.17

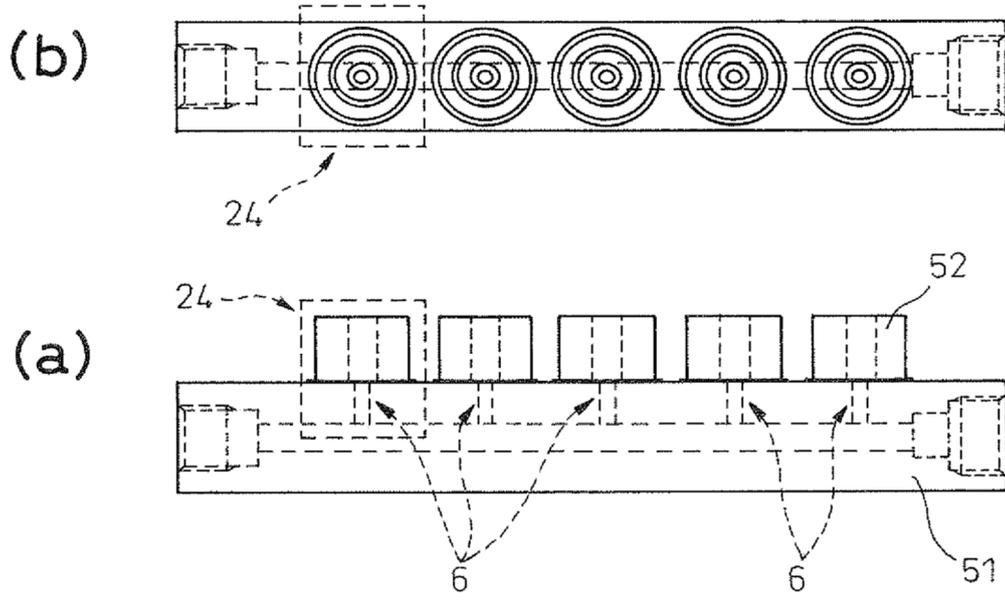


Fig. 18

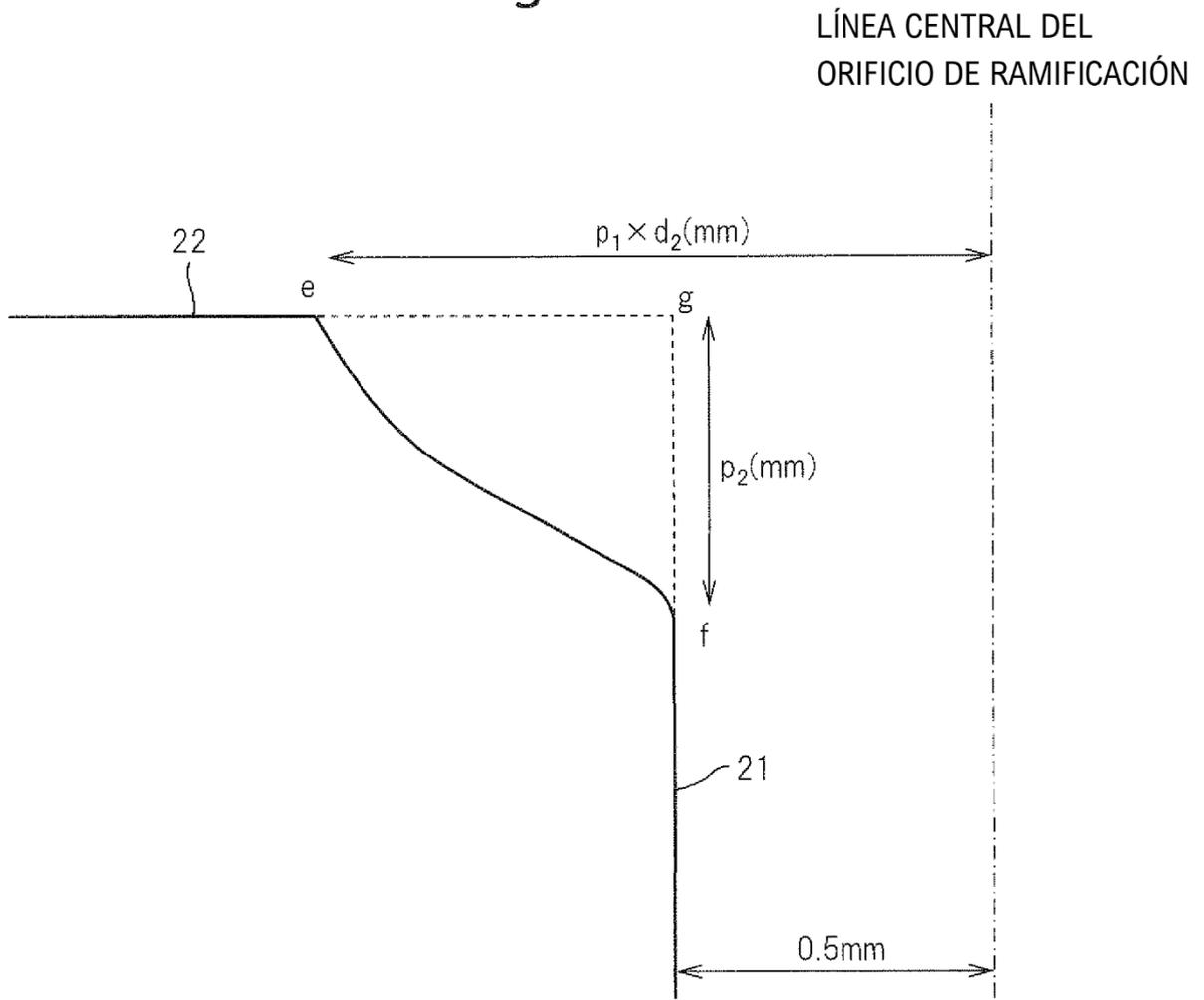


Fig. 19

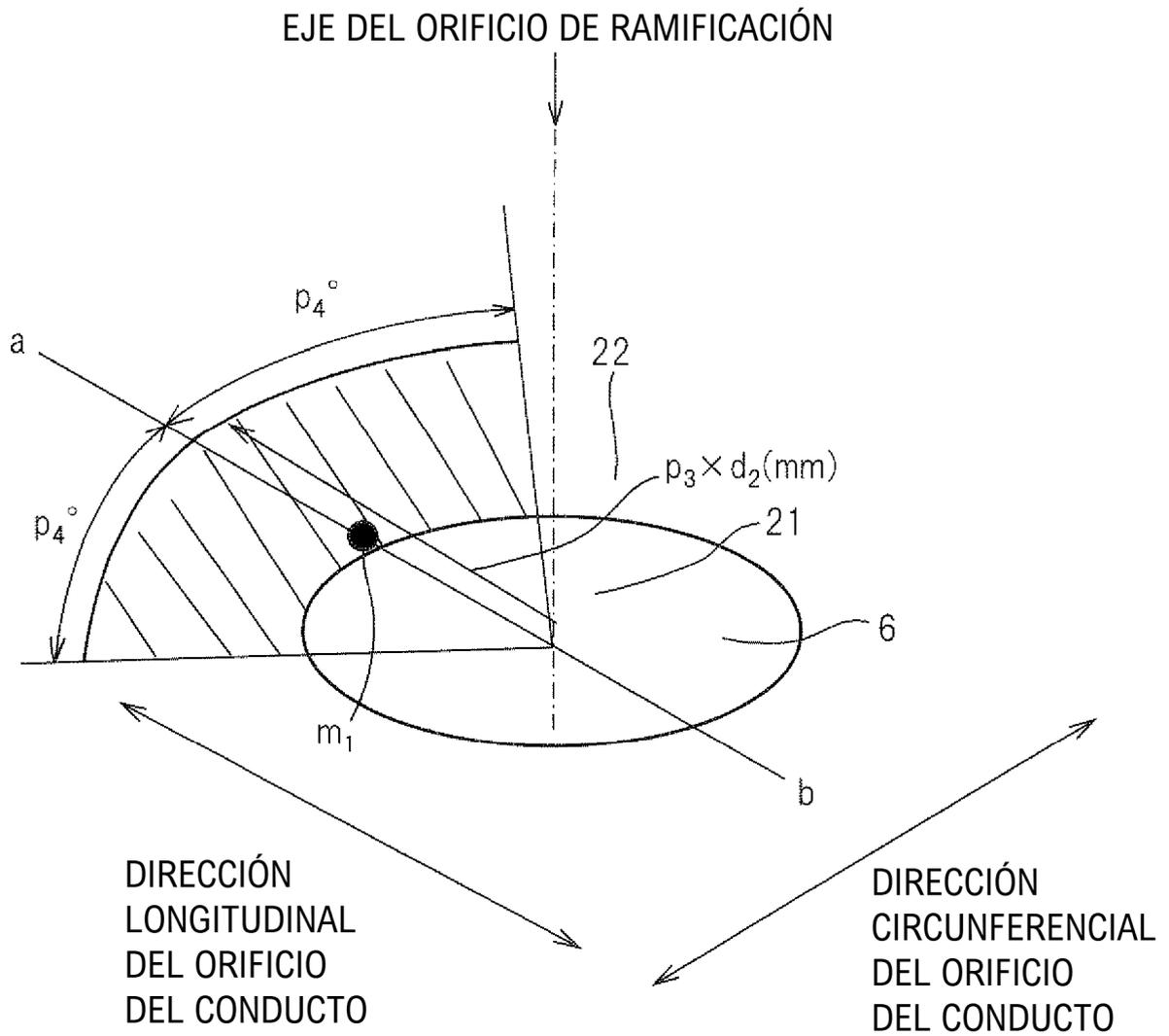


Fig.20

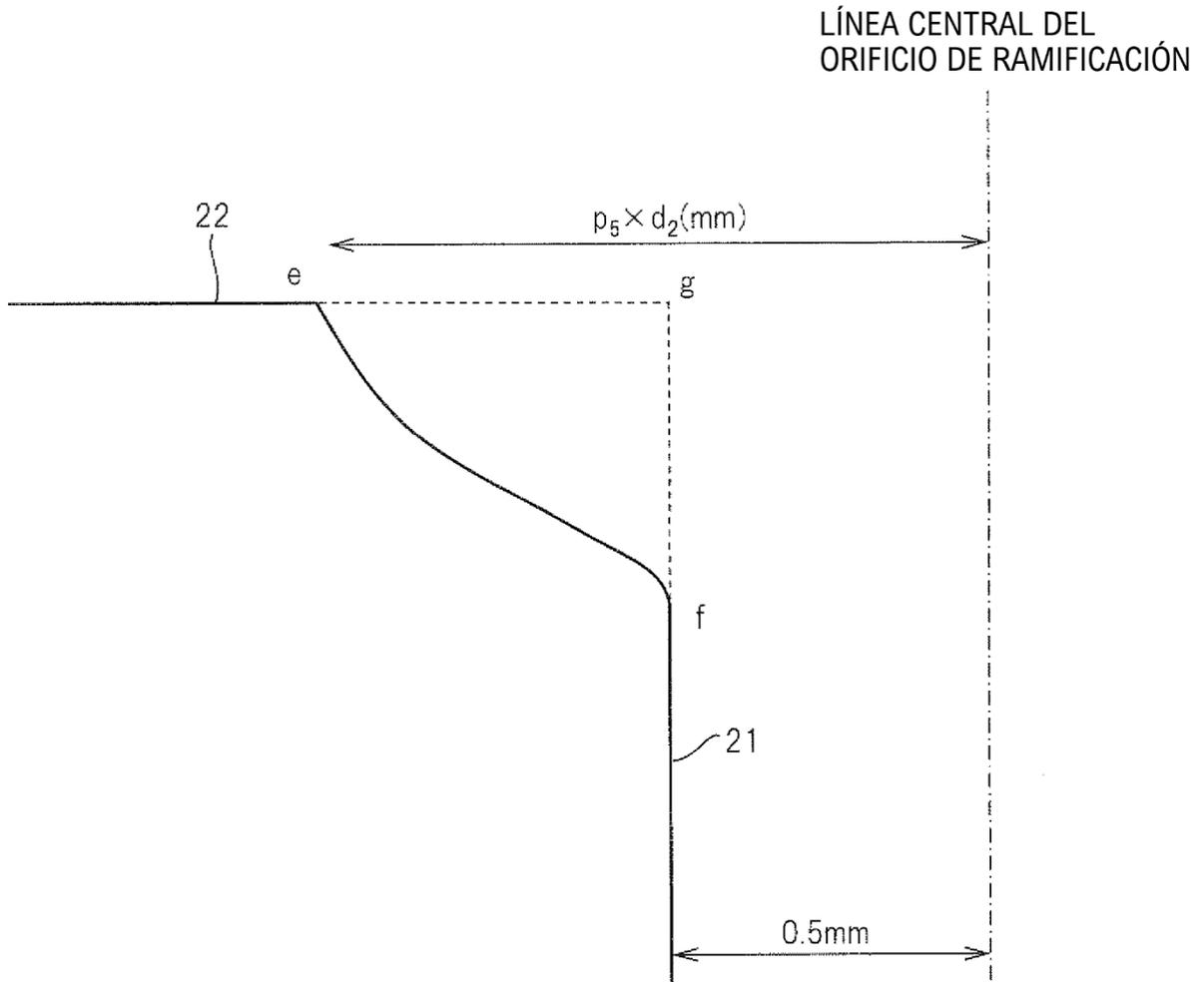


Fig. 21

