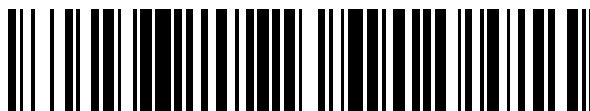


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 623 731**

51 Int. Cl.:

B21B 3/02	(2006.01) C22C 38/42	(2006.01)
B21D 3/04	(2006.01) C22C 38/44	(2006.01)
C21D 8/10	(2006.01) B21B 19/06	(2006.01)
C22C 38/00	(2006.01)	
C22C 38/58	(2006.01)	
C21D 6/00	(2006.01)	
C21D 7/10	(2006.01)	
C21D 9/08	(2006.01)	
C22C 38/02	(2006.01)	
C22C 38/04	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.08.2013 PCT/JP2013/072424**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **06.03.2014 WO14034522**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.08.2013 E 13833720 (9)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.04.2017 EP 2853614**

54 Título: **Tubo de acero inoxidable dúplex y método de fabricación del mismo**

30 Prioridad:

31.08.2012 JP 2012190996

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

12.07.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**SAWAWATARI, NAOKI;
KURODA, KOICHI;
UEYAMA, MASAKI y
UGAWA, YUSUKE**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 623 731 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

Tubo de acero inoxidable dúplex y método de fabricación del mismo

Campo técnico de la invención

La presente invención se refiere un tubo de acero inoxidable de fase dual y a un método de fabricación del mismo.

5 Técnica relacionada

Se usan tubos de pozo de petróleo en un pozo de petróleo o un pozo de gas (de aquí en adelante los pozos de petróleo y los pozos de gas se denominan generalmente "pozos de petróleo". Los pozos de petróleo están en medios corrosivos. Por este motivo, los tubos de los pozos de petróleo se requiere que tengan resistencia a la corrosión. Un tubo de acero inoxidable de fase dual que tiene una estructura de fase dual de austenita y ferrita tiene excelente resistencia a la corrosión. Por lo tanto, se usa un tubo de acero inoxidable de fase dual para un tubo de pozo de petróleo.

Los tipos de conducciones de pozo de petróleo incluyen entubados y tuberías. Los entubados están insertados en un pozo. El cemento rellena el espacio entre el entubado y la pared del pozo, y de este modo se fija el entubado dentro del pozo. La tubería se inserta dentro del entubado, y el fluido producido tal como petróleo o gas pasa a través de la tubería.

Se requiere que el tubo de pozo de petróleo tenga resistencia a la corrosión y alta resistencia. En general, el grado de resistencia del tubo de pozo de petróleo se define por el límite elástico en tracción en la dirección del eje del tubo. Un usuario del tubo de pozo de petróleo deduce un medio ambiente de un pozo (geopresión, temperatura y presión del fluido producido) a perforar a partir de la perforación de ensayo o un estudio geológico, y selecciona el tubo de pozo de petróleo que tiene el grado de resistencia utilizable duraderamente.

La solicitud de patente japonesa sin examinar, primera publicación No. H10-80715 (Documento de patente 1) y la solicitud de patente japonesa sin examinar No. H11-57842 (Documento de patente 2) propone un método de fabricación para incrementar el límite elástico en compresión en la dirección del eje del tubo.

En un método de fabricación de un tubo de acero descrito en el Documento de patente 1, una relación Q entre el grado de trabajo del diámetro exterior y el grado de trabajo del grosor en el momento del trabajo en frío ($Q = R_T/R_D$: R_T es una relación de reducción del grosor, y R_D es una relación de reducción del diámetro) se ajusta para que sea menor o igual a 1,5. Por consiguiente, se obtiene un tubo de acero que tiene excelente resistencia a la compresión en la dirección del eje del tubo. Específicamente, el límite elástico en compresión en la dirección del eje del tubo del tubo de acero es mayor o igual al 80% del límite elástico en tracción (el límite de elasticidad de 0,2%).

En un método de fabricación de un tubo de acero descrito en el Documento de Patente 2, se realiza un tratamiento térmico a de 200°C a 450°C con respecto al tubo de acero que se somete a trabajo en frío. En el Documento de Patente 2, se describe que una dislocación que se introduce en el acero por trabajo en frío se reorienta por el tratamiento térmico, y de este modo se incrementa el límite elástico en compresión en la dirección del eje del tubo. Específicamente, según el método de fabricación descrito en el Documento de Patente 2, el límite elástico en compresión en la dirección del eje del tubo es mayor o igual al 80% del límite elástico en tracción (el límite de elasticidad de 0,2%).

El Documento de Patente 3 describe un tubo de acero UOE producido a partir de placa de acero en forma de C, U y O, soldando con cordón los extremos del tubo de acero, y expandiendo el tubo, dicho tubo de acero UOE caracterizado por el hecho de que "una relación entre el límite elástico en compresión y en tracción en la dirección circunferencial es por lo menos 1,05 cerca de la superficie interior y es por lo menos de 0,9 a no más de 1,0 desde el centro del grosor de la placa hasta la superficie exterior.

El documento de Patente 4 se refiere a un tubo de acero específico usado para oleoducto y su método de producción.

El documento de Patente 5 se refiere a un método específico para producir un tubo o tubería de acero inoxidable de fase dual en el que el tubo de acero inoxidable de fase dual producido según el método descrito se puede usar para, por ejemplo, pozos de petróleo o pozos de gas.

Documento de la técnica anterior

Documento de Patente

Documento de Patente 1. Solicitud de patente japonesa sin examinar, Primera publicación No. H10-80715.

50 Documento de Patente 2. Solicitud de patente japonesa sin examinar, Primera publicación No. H11-57842.

Documento de Patente 3. EP 1 541 252 A1

Documento de Patente 4. JP 2005-015823 A

Documento de Patente 5. EP 2 177 634 A1

Descripción de la invención

Problemas a resolver por la invención

- 5 Sin embargo, cuando se usa el tubo de acero inoxidable de fase dual como tubo de pozo de petróleo, se cambia una distribución de la tensión aplicada al tubo de pozo de petróleo según un medio ambiente de uso del tubo de pozo de petróleo. Por lo tanto, incluso cuando el tubo de pozo de petróleo en el que se incrementa el límite elástico en compresión en la dirección del eje del tubo según los métodos de fabricación descritos en los Documentos de Patente 1 y 2, la tensión aplicada desde una dirección distinta a la dirección del eje del tubo puede aumentar según el medio ambiente de uso del tubo de pozo de petróleo. Por lo tanto, es preferible que el tubo de pozo de petróleo también sea utilizable con respecto a la tensión aplicada desde una dirección distinta a la dirección del eje del tubo. Adicionalmente, en los métodos de fabricación descritos en los Documentos de Patente 1 o 2, una diferencia entre el límite elástico en compresión y el límite elástico en tracción en la dirección del eje del tubo del tubo de acero inoxidable de fase dual puede no ser suficientemente reducida.
- 10
- 15 La presente invención es para proporcionar un tubo de acero inoxidable de fase dual que se puede usar de manera duradera incluso cuando se aplican varias distribuciones de tensión según un medio ambiente de uso.

Medios para resolver el problema

- (1) Un tubo de acero inoxidable de fase dual según un primer aspecto de la presente invención incluye un límite elástico en tracción YS_{LT} de 689,1 MPa a 1000,5 MPa en una dirección del eje del tubo del tubo de acero inoxidable de fase dual, en el que el límite elástico en tracción YS_{LT} , un límite elástico en compresión YS_{LC} en la dirección del eje del tubo, un límite elástico en tracción YS_{CT} en una dirección circunferencial del tubo del tubo de acero inoxidable de fase dual y un límite elástico en compresión YS_{CC} en la dirección circunferencial del tubo satisfacen todas las expresiones de (a) a (d).
- 20

$$0,90 \leq YSLC/YSLT \leq 1,11 \quad (a)$$

25 $0,90 \leq YSCC/YSCT \leq 1,11 \quad (b)$

$$0,90 \leq YSCC/YSLT \leq 1,11 \quad (c)$$

$$0,90 \leq YSCT/YSLT \leq 1,11 \quad (d)$$

- en el que el tubo de acero inoxidable de fase dual consiste en % en masa, C: de 0,008% a 0,03%; Si: de 0% a 1%; Mn: de 0,1% a 2%; Cr: de 20% a 35%; Ni: de 3% a 10%; Mo: de 0% a 4%; W: de 0% a 6%; Cu: de 0% a 3%; y N: de 0,15% a 0,35%, y un resto compuesto de Fe e impurezas.
- 30

- (2) En el tubo de acero inoxidable de fase dual según (1), el tubo de acero inoxidable de fase dual se puede fabricar realizando un enderezado y un tratamiento térmico a baja temperatura a una temperatura de tratamiento térmico de 350°C a 450°C después de ser sometido a trabajo en frío.

- (3) En el tubo de acero inoxidable de fase dual según (2), el tubo de acero inoxidable de fase dual se puede fabricar realizando el tratamiento térmico a baja temperatura después del enderezado.
- 35

- (4) Un método de fabricación de un tubo de acero inoxidable de fase dual según (1) incluye la fabricación de un tubo en bruto de acero inoxidable de fase dual; realizar un trabajo en frío en el tubo en bruto; la fabricación del tubo de acero inoxidable de fase dual en el que se incluye un límite elástico en tracción YS_{LT} de 689,1 MPa a 1.000,5 MPa en una dirección del eje del tubo del tubo de acero inoxidable de fase dual y el límite elástico en tracción YS_{LT} , un límite elástico en compresión YS_{LC} en la dirección del eje del tubo, un límite elástico en tracción YS_{CT} en una dirección circunferencial del tubo del tubo de acero inoxidable de fase dual, y un límite elástico en compresión YS_{CC} en la dirección circunferencial del tubo satisfacen todas las expresiones de (a) a (d) realizando un enderezado y un tratamiento térmico a baja temperatura a una temperatura de tratamiento térmico de 350°C a 450°C con respecto al tubo en bruto que se somete al trabajo en frío.
- 40

45 $0,90 \leq YSLC/YSLT \leq 1,11 \quad (a)$

$$0,90 \leq YSCC/YSCT \leq 1,11 \quad (b)$$

$$0,90 \leq YSCC/YSLT \leq 1,11 \quad (c)$$

$$0,90 \leq YSCT/YSLT \leq 1,11 \quad (d),$$

en el que el tubo en bruto consiste en % en masa, C: de 0,008% a 0,03%; Si: de 0% a 1%; Mn: de 0,1% a 2%; Cr: de

20% a 35%; Ni: de 3% a 10%; Mo: de 0% a 4%; W: de 0% a 6%; Cu: de 0% a 3%; y N: de 0,15% a 0,35%, y un resto compuesto de Fe e impurezas.

(5) En el método de fabricación de un tubo de acero inoxidable de fase dual según (4), el tratamiento térmico a baja temperatura se puede realizar con respecto al tubo en bruto después del enderezado.

5 Efectos de la invención

Un tubo de acero inoxidable de fase dual según el aspecto de la presente invención tiene una anisotropía pequeña del límite elástico y, de este modo, se puede usar de forma duradera incluso cuando se aplica una distribución de tensión diferente según un medio ambiente de uso.

Breve descripción del dibujo

10 La FIG. 1 es una vista esquemática de un pozo de petróleo y un tubo de pozo de petróleo.

La FIG. 2 es una vista de una sección transversal del tubo de pozo de petróleo de La FIG. 1.

La FIG. 3 es otra vista de una sección transversal del tubo de pozo de petróleo de La FIG. 1 que es diferente de La FIG. 2.

La FIG. 4 es una vista esquemática que muestra el trabajo en frío de un tubo de acero inoxidable de fase dual.

15 La FIG. 5 es una vista esquemática que muestra el comportamiento de una dislocación en un grano cristalino del tubo de acero inoxidable de fase dual de La FIG. 4.

La FIG. 6 es una vista esquemática que muestra el comportamiento de la dislocación en el grano cristalino cuando se aplica una carga de compresión al tubo de acero inoxidable de fase dual después del trabajo en frío.

20 La FIG. 7 es una vista esquemática que muestra el comportamiento de la dislocación en el grano cristalino cuando se realiza el enderezado con respecto al tubo de acero inoxidable de fase dual después del trabajo en frío.

La FIG. 8 es un diagrama que muestra una relación entre una temperatura de tratamiento térmico (°C) y una distancia de movimiento de difusión (nm) de átomos de C (carbono) y N (nitrógeno) en austenita cuando los átomos de C y N se mantienen a la temperatura de tratamiento térmico durante 10 minutos.

25 La FIG. 9 es un diagrama que muestra una relación entre la temperatura de tratamiento térmico (°C) y la distancia de movimiento de difusión (nm) de los átomos de C (carbono) y N (nitrógeno) en ferrita cuando los átomos de C y N se mantienen a la temperatura de tratamiento térmico durante 10 minutos.

La FIG. 10 es una vista esquemática de un enderezador.

La FIG. 11 es una vista frontal de un bastidor del enderezador mostrado en la FIG. 10.

Realizaciones de la invención

30 De aquí en adelante, se describirán con detalle realizaciones de la presente invención con referencia a los dibujos. En los dibujos, las mismas partes o las partes correspondientes están representadas por los mismos números de referencia, y su descripción no se repetirá. De aquí en adelante, el "%" de contenido del elemento indica "% en masa".

35 Los inventores de la presente invención han llevado a cabo varios exámenes e investigaciones, y de este modo se han obtenido los siguientes hallazgos.

40 El tubo 101 de pozo de petróleo usado para un entubamiento o una tubería recibe una carga de tracción FT y una carga de compresión FI en una dirección del eje del tubo. La FIG. 1 es una vista esquemática de un pozo 102 de petróleo y de los tubos 101 de pozo de petróleo. Con referencia a la FIG. 1, los tubos 101 de pozo de petróleo se insertan en una capa 100 geológica. Un extremo inferior de los tubos 101 de pozo de petróleo está dispuesto en el pozo 101 de petróleo. En este momento, los tubos 101 de pozo de petróleo reciben la carga de tracción FT en la dirección del eje del tubo por su propio peso. Además, el fluido 103 producido pasa a través de los tubos 101 de pozo de petróleo. Dado que el fluido 103 producido está a una alta temperatura, los tubos 101 de pozo de petróleo se expanden con el calor. En general, el extremo superior y el extremo inferior de los tubos 101 de pozo de petróleo están fijos. Por lo tanto, cuando el fluido 103 producido pasa a través de los tubos 101 de pozo de petróleo, los tubos 45 101 de pozo de petróleo reciben la carga de compresión FI en la dirección del eje del tubo. Como se ha descrito anteriormente, los tubos 101 de pozo de petróleo reciben la carga de tracción FT y la carga de compresión FI en la dirección del eje del tubo.

50 Además, también se requiere que los tubos 101 de pozo de petróleo tengan resistencia a la presión interna y resistencia a la presión externa. La FIG. 2 es una vista de una sección transversal del tubo 101 de pozo de petróleo de la FIG. 1. Con referencia a la FIG. 2, cuando el fluido 103 producido pasa a través del tubo 101 de pozo de

petróleo, se aplica presión interna PI al tubo 101 de pozo de petróleo por el fluido 103 producido. Debido a la presión interna PI, la carga de tracción FT se aplica en una dirección circunferencial del tubo del tubo 101 de pozo de petróleo. Además, debido a la carga de tracción FT en la dirección circunferencial del tubo, la carga de compresión FI se aplica en la dirección del eje del tubo.

5 Similarmente, con referencia a la FIG. 3, cuando el tubo 101 de pozo de petróleo es el entubado, la geopresión PO que es presión externa se aplica a una superficie exterior del tubo 101 de pozo de petróleo. Debido a la geopresión PO, la carga de compresión FI se aplica en la dirección circunferencial del tubo del tubo 101 de pozo de petróleo. Entonces, debido a la carga de compresión FI en la dirección circunferencial del tubo, la carga de tracción FT se aplica en la dirección del eje del tubo.

10 Tal distribución de tensiones se cambia según un lugar de disposición del tubo 101 de pozo de petróleo. Por ejemplo, en el momento de la perforación, la tubería atraviesa el suelo mientras se hace girar alrededor del eje del tubo. En este momento, una porción extrema de la punta de la tubería recibe repetidamente la carga de tracción FT y la carga de compresión FI en la dirección del eje del tubo. Además, el tubo 101 de pozo de petróleo que está dispuesta cerca de la superficie del suelo recibe la carga de tracción FT en la dirección del eje del tubo y también
15 recibe una gran presión interna PI.

Por lo tanto, no sólo se requiere un equilibrio entre el límite elástico en tracción y el límite elástico en compresión en la dirección del eje del tubo, sino que se requiere también resistencia a la presión interna y la resistencia a la presión externa para un tubo 1 de acero inoxidable de fase dual que se usa como tubo 101 de pozo de petróleo.

20 Para que el tubo de acero inoxidable de fase dual 1 obtenga tales características, es necesario que tenga una pequeña anisotropía del límite elástico en tracción y del límite elástico en compresión en la dirección del eje del tubo y la dirección circunferencial del tubo del tubo 1 de acero inoxidable de fase dual.

Con el fin de disminuir la anisotropía, con respecto al tubo 1 de acero inoxidable de fase dual después del trabajo en frío, el enderezado se realiza mediante un enderezador 200 de tipo de rodillo inclinado, y se lleva a cabo un
25 tratamiento térmico a baja temperatura entre 350°C y 450°C. Realizando el enderezado y el tratamiento térmico a baja temperatura, una diferencia en las relaciones de límite elástico entre el límite elástico en tracción y el límite elástico en compresión (el límite elástico en compresión / el límite elástico en tracción) en una dirección de muestreo de una probeta del tubo 1 de acero inoxidable de fase dual en las expresiones de (1) a (4) descritas a continuación disminuye. Es decir, disminuye la anisotropía del límite elástico. Específicamente, el límite elástico en tracción YS_{LT} (MPa) en la dirección del eje del tubo y el límite elástico en compresión YS_{LC} (MPa) en la dirección del eje del tubo 1
30 de acero inoxidable de fase dual, y el límite elástico en tracción YS_{CT} (MPa) en la dirección circunferencial del tubo y el límite elástico en compresión YS_{CC} (MPa) en la dirección circunferencial del tubo del tubo 1 de acero inoxidable de fase dual satisfacen las expresiones (1) a (4).

$$0,90 \leq YSLC/YSLT \leq 1,11 \quad (1)$$

$$0,90 \leq YSCC/YSCT \leq 1,11 \quad (2)$$

35 $0,90 \leq YSCC/YSLT \leq 1,11 \quad (3)$

$$0,90 \leq YSCT/YSLT \leq 1,11 \quad (4)$$

Las razones por las que la anisotropía del límite elástico del tubo 1 de acero inoxidable de fase dual disminuye realizando el enderezado por medio del enderezador 200 de tipo de rodillo inclinado y el tratamiento térmico a baja temperatura se supone que son las siguientes.

40 En el trabajo en frío, el tubo 1 de acero inoxidable de fase dual se estira en la dirección axial mientras se reduce el diámetro del tubo. Por lo tanto, el trabajo en frío introduce deformación por tracción en la dirección axial del tubo 1 de acero inoxidable de fase dual, e introduce deformación por compresión en una dirección circunferencial. Como se muestra en la FIG. 4, se considerará un grano 10 cristalino arbitrario en el tubo 1 de acero inoxidable de fase dual. Cuando se realiza el trabajo en frío, la carga de tracción FT se aplica en la dirección del eje del tubo 1 de acero
45 inoxidable de fase dual. Como resultado, como se muestra en la FIG. 5, se producen una pluralidad de dislocaciones 12 en un sistema 11 de deslizamiento. La dislocación 12 se mueve en una dirección X1 mostrada en la FIG. 5 dentro del sistema de deslizamiento 11, y se acumula en la vecindad de un límite de grano GB. La fuerza repulsiva RF funciona entre las dislocaciones acumuladas 12.

50 A continuación, la carga de compresión FI se aplica en la dirección del eje del tubo del tubo 1 de acero inoxidable de fase dual cuando se trabaja en frío (Trabajo en frío). En este caso, como se muestra en la FIG. 6, la dislocación 12 usa la fuerza repulsiva RF además de la tensión de carga σ_{FI} basada en la carga de compresión FI y se mueve en una dirección X2 que es opuesta a la dirección X1 dentro del sistema 11 de deslizamiento. En este caso, la tensión de fluencia real σ_t se define por la expresión (5).

$$\sigma_t = \sigma_{FI} + RF \quad (5)$$

Por lo tanto, según la fuerza repulsiva RF que se introduce de antemano por el trabajo en frío, la dislocación 12 comienza a ser activa por la tensión carga σ_{FI} que es menor que la tensión de fluencia real σ_t . En otras palabras, el efecto Bauschinger se genera por el trabajo en frío, y de este modo disminuye el límite elástico en compresión YS_{LC} en la dirección del eje del tubo.

- 5 El enderezado por el enderezador 200 de tipo de rodillo inclinado suprime el efecto Bauschinger e incrementa el límite elástico en compresión YS_{LC} en la dirección del eje del tubo del tubo 1 de acero inoxidable de fase dual. Las razones de ello no están seguras, pero se supone que son las siguientes.

10 En el enderezado por el enderezador 200 de tipo de rodillo inclinado, el tubo 1 de acero inoxidable de fase dual está emparejado entre rodillos 22 inclinados, y avanza mientras se hace girar alrededor del eje del tubo. En este momento, el tubo 1 de acero inoxidable de fase dual recibe la fuerza externa FO por el rodillo 22 inclinado desde una dirección (principalmente desde una dirección radial) que es diferente de la dirección del trabajo en frío. Por esta razón, en el enderezado, como se muestra en la FIG. 7, se producen dislocaciones 14 por la fuerza externa FO en un sistema de deslizamiento 13 diferente del sistema de deslizamiento 11 que se introduce por el trabajo en frío, y las dislocaciones 14 se vuelven activas.

15 La dislocación 14 introducida por el enderezado funciona como un bosque de dislocaciones con respecto a la dislocación 12. Además, la dislocación 12 y la dislocación 14 se cruzan entre sí para mezclarse. Como resultado, se generan la dislocación 12 y la dislocación 14 que incluyen una porción de escalón (kink) y una porción de escalón (jog). La porción de escalón (kink) y la porción de escalón (jog) se forman en un plano de deslizamiento que es diferente de otras porciones de dislocación. Por lo tanto, el movimiento de la dislocación 12 y la dislocación 14 que incluye la porción de escalón (kink) y la porción de escalón (jog) está limitado. Como resultado, como se muestra en la FIG. 6, incluso cuando se aplica la carga de compresión FI, es difícil que se mueva la dislocación 12 y, de este modo se evita que disminuya el límite elástico en compresión YS_{LC} .

20 Además, cuando el tratamiento térmico a baja temperatura se realiza a una temperatura de tratamiento térmico de 350°C a 450°C, la anisotropía del límite elástico en la dirección del eje del tubo y en la dirección circunferencial del tubo del tubo 1 de acero inoxidable de fase dual que se somete al trabajo en frío disminuye. Se supone que las razones de ello son las siguientes.

25 El tubo 1 de acero inoxidable de fase dual según esta realización contiene carbono (C) y nitrógeno (N). Tales elementos tienen un tamaño pequeño en comparación con un elemento tal como Fe o Ni. Por lo tanto, el C y el N se difunden por el acero por el tratamiento térmico a baja temperatura, y se adhieren a la vecindad de un núcleo de dislocación. El C o el N adheridos a la vecindad del núcleo de dislocación interfieren con la actividad de la dislocación 12 y de la dislocación 14 por el efecto Cottrell.

30 La FIG. 8 es un diagrama que muestra una relación entre una temperatura de tratamiento térmico (°C) en el tratamiento térmico a baja temperatura y una distancia de movimiento de difusión de átomos de C y átomos de N en austenita cuando los átomos de C y los átomos de N se mantienen a la temperatura de tratamiento térmico durante 10 minutos. La FIG. 9 es un diagrama que muestra una relación entre la temperatura de tratamiento térmico (°C) en el tratamiento térmico a baja temperatura, y una distancia de movimiento de difusión de los átomos de C y los átomos de N en ferrita cuando los átomos de C y los átomos de N se mantienen a la temperatura de tratamiento térmico durante 10 minutos. En la FIG. 8 y la FIG. 9, un signo "o" indica la distancia de movimiento de difusión (nm) de C. Un signo "□" indica la distancia de movimiento de difusión (nm) de N.

35 Con referencia a la FIG. 8 y la FIG. 9, tanto en la austenita como en la ferrita, antes de que la temperatura de tratamiento térmico llegue a la vecindad de 350°C, la distancia del movimiento de difusión no se incrementa mucho incluso cuando se incrementa la temperatura de tratamiento térmico. Sin embargo, cuando la temperatura de tratamiento térmico llega a la vecindad de 350°C, la distancia del movimiento de difusión se incrementa notablemente con un incremento de la temperatura. Específicamente, cuando los átomos de C y los átomos de N se mantienen a la temperatura de tratamiento térmico de 350°C o superior durante 10 minutos o más, la distancia del movimiento de difusión de los átomos de C y los átomos de N en la austenita es mayor o igual a 10 nm, y la distancia del movimiento de difusión de los átomos de C y los N átomos en la ferrita es mayor o igual a 10 μ m.

40 Por lo tanto, cuando la temperatura de tratamiento térmico en el tratamiento térmico a baja temperatura se establece en 350°C o superior y los átomos de C y N se mantienen a la temperatura de tratamiento térmico durante 10 minutos o más, los átomos de C y N se difunden suficientemente, y se adhieren al núcleo de dislocación que se introduce en el acero mediante el trabajo en frío. A continuación, se provoca el efecto Cottrell por la adhesión de los átomos de C y N, y se interfiere el movimiento de la dislocación 12 y la dislocación 14, y de este modo el límite elástico en tracción y el límite elástico en compresión del acero tienden a incrementarse, y el límite elástico en tracción y el límite elástico en compresión se incrementan notablemente en una dirección afectada por el efecto Bauschinger.

45 En general, la densidad de dislocaciones del acero que se somete a trabajo en frío es aproximadamente 10^{14} a $23/m^2$. Por lo tanto, cuando la distancia del movimiento de difusión de los átomos de C y los átomos de N es mayor o igual a 10 nm que es más amplia que el intervalo medio entre la dislocación 12 y la dislocación 14, los átomos de C y los átomos de N son capaces de adherirse al núcleo de dislocación.

Por otra parte, cuando el acero inoxidable de fase dual se mantiene a 475°C, se genera fragilidad a 475°C. Por lo tanto, el límite superior para la temperatura de tratamiento térmico en el tratamiento térmico a baja temperatura es 450°C.

5 Como se describe anteriormente, cuando el tratamiento térmico a baja temperatura se realiza a la temperatura de tratamiento térmico de 350°C a 450°C, se supone que es difícil que la dislocación 12 y la dislocación 14 que se introducen por el tratamiento de procesado (en esta realización, el trabajo en frío) antes del tratamiento sea activa por el efecto Cottrell. Por lo tanto, el tratamiento térmico a baja temperatura suprime una disminución del límite elástico en tracción o del límite elástico en compresión por el efecto Baushinger, y reduce la anisotropía del límite elástico en la dirección del eje del tubo y en la dirección circunferencial del tubo del tubo 1 de acero inoxidable de fase dual.

10 Como se describe anteriormente, realizando el enderezado y el tratamiento térmico a baja temperatura, es posible suprimir la disminución del límite elástico en tracción o del límite elástico en compresión provocada por el efecto Bauschinger que se genera en el momento del trabajo en frío. Específicamente, como se muestra en la FIG. 7, por el enderezado, se genera la dislocación 14 en el sistema 13 de deslizamiento que es diferente del sistema 11 de deslizamiento en el momento del trabajo en frío, e impide la actividad de la dislocación 12. Además, por el tratamiento térmico a baja temperatura, el C y el N se adhieren a la vecindad del núcleo de dislocación, y de este modo interfieren con la actividad de la dislocación 12 y la dislocación 14. En base a los anteriores hallazgos, se ha completado el tubo 1 de acero inoxidable de fase dual según esta realización. De aquí en adelante, se describirá con detalle el tubo 1 de acero inoxidable de fase dual según esta realización.

20 El tubo 1 de acero inoxidable de fase dual según esta realización tiene una estructura de fase dual de austenita y ferrita.

Composición química del tubo 1 de acero inoxidable de fase dual

El tubo 1 de acero inoxidable de fase dual tiene la siguiente composición química. Además, el “%” de contenido de cada elemento indica “% en masa”.

25 C: de 0,008 a 0,03%

El carbono (C) incrementa la resistencia estabilizando la austenita. Además, el C forma carburo cuando se incrementa la temperatura en el tratamiento térmico. Por consiguiente, se obtiene una estructura fina. Sin embargo, cuando un contenido de C excede de 0,03%, el carburo se precipita excesivamente según una influencia térmica en el momento del tratamiento térmico o soldadura, y de este modo la resistencia a la corrosión y la trabajabilidad del acero disminuyen. Por lo tanto, se establece que el contenido de C sea menor o igual a 0,03%. Cuando se requiere una resistencia a la corrosión y trabajabilidad extremadamente altas del acero, su límite superior puede ser menor de 0,03%, y puede ser 0,02% o 0,018%. Cuando el contenido de C es inferior a 0,008%, es difícil asegurar la resistencia y se incrementan los costes de descarburación en el momento de fabricar el acero. Su límite inferior puede ser 0,010% o 0,014%.

35 Si: de 0% a 1%

El silicio (Si) desoxida el acero. Además, el Si forma un compuesto intermetálico cuando se incrementa la temperatura en el tratamiento térmico. Por consiguiente, se obtiene la estructura fina. Sin embargo, cuando el contenido de Si excede del 1%, el compuesto intermetálico se precipita excesivamente según la influencia térmica en el momento del tratamiento térmico o de la soldadura y, de este modo, disminuye la resistencia a la corrosión y la trabajabilidad del acero. Por lo tanto, se establece que el contenido de Si sea menor o igual a 1%. Cuando se requiere una resistencia a la corrosión extremadamente alta y trabajabilidad del acero, su límite superior puede ser inferior a 1%, y puede ser 0,8% o 0,7%. No es necesario que se determine el límite inferior de Si, y el límite inferior es 0%. El Si puede estar contenido para formar el compuesto intermetálico o para desoxidar, y según sea necesario, su límite inferior puede ser 0,05%, 0,1% o 0,2%.

45 Mn: de 0,1% a 2%

Al igual que Si, el manganeso (Mn) desoxida el acero. Además, el Mn forma sulfuro al estar unido con S en el acero, y fija el S. Por esta razón, incrementa la trabajabilidad en caliente del acero. Cuando el contenido de Mn es inferior a 0,1%, es difícil obtener los efectos anteriores. Por lo tanto, se establece que el contenido de Mn sea mayor o igual a 0,1%. Por otra parte, cuando el contenido de Mn excede del 2%, disminuyen la trabajabilidad en caliente y la resistencia a la corrosión del acero. Por lo tanto, se establece que el contenido de Mn sea un valor inferior o igual a 2%. El límite inferior del contenido de Mn puede ser mayor de 0,1%, y puede ser 0,2% o 0,3%. Además, el límite superior del contenido de Mn puede ser inferior a 2%, y puede ser 1,7% o 1,5%.

Cr: de 20% a 35%

55 El cromo (Cr) incrementa la resistencia y mantiene la resistencia a la corrosión del acero. Cuando el contenido de Cr es inferior a 20%, es difícil obtener los efectos anteriores. Por lo tanto, se establece que el contenido de Cr sea

mayor o igual a 20%. Por otra parte, cuando el contenido de Cr excede del 35%, es fácil generar una fase σ , y de este modo la resistencia a la corrosión y la tenacidad del acero disminuyen. Por lo tanto, se establece que el contenido de Cr sea menor o igual a 35%. El límite inferior del contenido de Cr puede ser mayor de 20%, y puede ser 22% o 23%. Además, el límite superior del contenido de Cr puede ser inferior a 35%, y puede ser 30% o 28%.

5 Ni: de 3% a 10%

El níquel (Ni) estabiliza la austenita y forma la estructura de fase dual de la ferrita y la austenita. Cuando el contenido de Ni es inferior a 3%, se genera una estructura que incluye principalmente la ferrita, y de este modo es difícil obtener la estructura de fase dual. Por lo tanto, se establece que el contenido de Ni sea mayor o igual a 3%. Por otro lado, dado que el Ni es caro, cuando el contenido de Ni supera el 10%, el coste de fabricación aumenta. Por lo tanto, se establece que el contenido de Ni sea inferior o igual a 10%. El límite inferior del contenido de Ni puede ser mayor de 3%, y puede ser 5% o 6%. Además, el límite superior del contenido de Ni puede ser inferior a 10%, y puede ser 9% o 8%.

Mo: de 0% a 4%

15 El molibdeno (Mo) incrementa la resistencia a la corrosión por picaduras y la resistencia a la corrosión por grietas del acero. Además, el Mo aumenta la resistencia del acero mediante el fortalecimiento de la disolución sólida. Por esta razón, el Mo está contenido según sea necesario. Cuando está contenido algo de Mo, los efectos anteriores se obtienen hasta cierto punto. Sin embargo, cuando el contenido de Mo excede del 4%, la fase σ se precipita fácilmente y, de este modo, la tenacidad del acero disminuye. Por lo tanto, se establece que el contenido de Mo sea menor o igual a 4%. Cuando se requieran adicionalmente los efectos anteriores, su límite superior puede ser menor de 4%, y puede ser 3,8% o 3,5%. No es necesario que se determine el límite inferior de Mo, y el límite inferior es 0%. Con el fin de obtener notablemente los efectos anteriores, el Mo puede estar contenido, y según sea necesario, su límite inferior puede ser 0,5%, puede ser mayor de 0,5%, y puede ser 2% o 3%.

W: de 0% a 6%

25 Al igual que el Mo, el wolframio (W) aumenta la resistencia a la corrosión por picaduras y la resistencia a la corrosión por grietas del acero. Además, el W aumenta la resistencia del acero mediante el fortalecimiento de la disolución sólida. Por esta razón, el W está contenido según sea necesario. Cuando está contenido algo de W, los efectos anteriores se obtienen hasta cierto punto. Sin embargo, cuando el contenido de W excede del 6%, la fase σ se precipita fácilmente y, de este modo, la tenacidad del acero disminuye. Por lo tanto, se establece que el contenido de W sea menor o igual a 6%. Cuando se requieren adicionalmente los efectos anteriores, su límite superior puede ser inferior a 6%, y puede ser 5% o 4%. No es necesario que se determine el límite inferior de W, y el límite inferior es 0%. Con el fin de obtener notablemente los efectos anteriores, el W puede estar contenido, y según sea necesario, su límite inferior puede ser 0,5%, puede ser mayor de 0,5%, y puede ser 1% o 2%.

Además, el acero inoxidable de fase dual según esta realización no puede contener ni Mo ni W, y puede contener por lo menos uno de Mo y W.

35 Cu: de 0% a 3%

40 El cobre (Cu) aumenta la resistencia a la corrosión y la resistencia a la corrosión intergranular del acero. Por esta razón, el Cu está contenido según sea necesario. Cuando está contenido algo de Cu, los efectos anteriores se obtienen hasta cierto punto. Sin embargo, cuando el contenido de Cu excede del 3%, el efecto se satura, y la trabajabilidad en caliente y la tenacidad del acero disminuyen adicionalmente. Por lo tanto, se establece que el contenido de Cu sea menor o igual a 3%. Cuando se requieran adicionalmente los efectos anteriores, su límite superior puede ser inferior a 3%, y puede ser 2% o 1%. No es necesario que se determine el límite inferior de Cu y el límite inferior es 0%. Con el fin de obtener notablemente los efectos anteriores, el Cu puede estar contenido, y según sea necesario, su límite inferior puede ser 0,1%, puede ser mayor de 0,1%, o puede ser 0,3%.

N: de 0,15% a 0,35%

45 El nitrógeno (N) aumenta la estabilidad de la austenita y aumenta la resistencia del acero. Además, el N aumenta la resistencia a la corrosión por picaduras y la resistencia a la corrosión por grietas del acero inoxidable de fase dual. Cuando el contenido de N es inferior a 0,15%, es difícil obtener los efectos anteriores. Por lo tanto, se establece que el contenido de N sea mayor o igual a 0,15%. Por otra parte, cuando el contenido de N supera el 0,35%, la tenacidad y la trabajabilidad en caliente del acero disminuyen. Por lo tanto, se establece que el contenido de N sea inferior o igual a 0,35%. El límite inferior del contenido de N puede ser mayor de 0,15%, 0,17%, o puede ser 0,20%. Además, el límite superior del contenido de N puede ser menor de 0,35%, y puede ser 0,33% o 0,30%.

55 El resto del tubo 1 de acero inoxidable de fase dual según esta realización es Fe e impurezas. Como impurezas, están incluidas minerales o restos que se usan como materia prima del acero inoxidable, o elementos que se mezclan de un medio ambiente de un proceso de fabricación o similares. Preferentemente, entre las impurezas, los contenidos de P, S y O están limitados como sigue.

P: 0,04% o menos

5 El fósforo (P) es la impureza que inevitablemente se mezcla en el momento de refinar el acero, y es un elemento que disminuye la trabajabilidad en caliente, la resistencia a la corrosión y la tenacidad del acero. Por lo tanto, se establece que el contenido de P sea menor o igual a 0,04%, y preferentemente, se establece que sea menor de 0,04%, menor o igual a 0,034%, o menor o igual que 0,030%.

S: 0,03% o menos

10 El azufre (S) es la impureza que inevitablemente se mezcla en el momento de refinar el acero, y es un elemento que disminuye la trabajabilidad en caliente del acero. Además, el S forma sulfuro. El sulfuro es un punto de inicio de la picadura, y de este modo disminuye la resistencia a la corrosión por picaduras del acero. Por lo tanto, se establece que el contenido de S sea menor o igual a 0,03%, y preferentemente, se establece que sea menor de 0,003%, menor o igual a 0,001%, o menor o igual a 0,0007%.

O: 0,010% o menos

15 El oxígeno (O) es la impureza que se mezcla inevitablemente en el momento de refinar el acero, y es un elemento que disminuye la trabajabilidad en caliente del acero. Por lo tanto, se establece que el contenido de O sea menor o igual a 0,010%, y preferentemente, se establece que sea menor de 0,010%, menor o igual a 0,009%, o menor o igual a 0,008%.

Método de fabricación

Se describirá un ejemplo del método de fabricación del tubo 1 de acero inoxidable de fase dual según esta realización.

20 En primer lugar, se funde el acero inoxidable de fase dual para fabricar metal fundido. El acero inoxidable de fase dual se puede fundir usando un horno eléctrico, un horno de descarburación de soplado por el fondo de gas mixto Ar-O₂ (un horno AOD), un horno de descarburación a vacío (un horno VOD), o similares.

25 Se fabrica un material colado usando el metal fundido. El material colado, por ejemplo, es un lingote o una plancha, y un tocho. Específicamente, el lingote se fabrica mediante un procedimiento de fabricación de lingotes. Alternativamente, la plancha o el tocho se fabrican mediante un método de colada continua.

30 El material colado se somete a un trabajo en caliente para fabricar una palanquilla redonda. El trabajo en caliente, por ejemplo, es laminado en caliente o forjado en caliente. La palanquilla redonda fabricada se somete al trabajo en caliente para fabricar un tubo 30 sin procesar. Específicamente, el tubo 30 sin procesar se fabrica a partir de la palanquilla redonda mediante un método de fabricación de extrusión para fabricar tubo que está representado por un proceso de Ugine Sejournet. Alternativamente, el tubo 30 en bruto se fabrica a partir de la palanquilla redonda mediante un método de fabricación de tubo Mannesmann.

El trabajo en frío se realiza con respecto al tubo 30 en bruto fabricado. Por lo tanto, se incrementa la resistencia del tubo 1 de acero inoxidable de fase dual, y el límite elástico en tracción YS_{LT} en la dirección del eje del tubo es de 689,1 MPa a 1.000,5 MPa.

35 En el trabajo en frío, se incluye el estirado en frío y el laminado en frío que está representado por el laminado pilger. En esta realización, se puede adoptar el estirado en frío o el laminado en frío. El estirado en frío aplica gran esfuerzo de tracción en la dirección del eje del tubo al tubo 1 de acero inoxidable de fase dual, en comparación con el laminado en frío. El laminado en frío aplica una gran deformación en la dirección circunferencial del tubo además de en la dirección del eje del tubo del tubo 30 en bruto. Por lo tanto, el laminado en frío aplica una gran deformación por compresión en la dirección circunferencial del tubo 30 en bruto, comparado con el estirado en frío.

Una relación de reducción de sección transversal preferible en el momento del trabajo en frío es mayor o igual a 5,0%. Aquí, la relación de reducción de la sección transversal se define mediante la expresión (6).

45 Relación de reducción de sección transversal = (área de la sección del tubo 30 en bruto antes del trabajo en frío - área de la sección del tubo 30 en bruto después del trabajo en frío) / área de la sección del tubo 30 en bruto antes del trabajo en frío × 100....(6)

50 Cuando el trabajo en frío se realiza con la relación de reducción de la sección transversal descrita anteriormente, el límite elástico en tracción YS_{LT} es de 689,1 MPa a 1.000,5 MPa. Preferentemente, el límite inferior de la relación de reducción de la sección transversal es de 7,0%. Cuando la relación de reducción de la sección transversal es excesivamente alta, disminuye la redondez del tubo 1 de acero inoxidable de fase dual 1. Por lo tanto, el límite superior de la relación de reducción de la sección transversal preferido del estirado en frío es 20,0%, y el límite superior de la relación de reducción de la sección transversal preferido del laminado en frío es 40,0%.

Entre el trabajo en caliente y el trabajo en frío, se pueden realizar otros procesos. Por ejemplo, se lleva a cabo un tratamiento térmico de disolución sólida con respecto al tubo 30 en bruto que se somete al trabajo en caliente, y se

realiza el decapado con respecto al tubo 30 en bruto después de ser sometido al tratamiento térmico de disolución sólida para retirar las incrustaciones. El trabajo en frío se realiza con respecto al tubo 30 en bruto después del decapado.

5 Además, el trabajo en frío se puede realizar una pluralidad de veces. Cuando el trabajo en frío se realiza una pluralidad de veces, entre el trabajo en frío y el subsecuente trabajo en frío, se puede realizar el tratamiento térmico de disolución sólida como tratamiento térmico de ablandamiento. Cuando el trabajo en frío se realiza una pluralidad de veces, se realizan los siguientes procesos con respecto al tubo 30 en bruto después del trabajo en frío final.

10 Con respecto al tubo 30 en bruto después del trabajo en frío, se realizan el enderezado por el enderezador 200 de tipo de rodillo inclinado y el tratamiento térmico a baja temperatura. Uno cualquiera del enderezado y el tratamiento térmico a baja temperatura se puede realizar en primer lugar. Es decir, el enderezado se puede realizar después del trabajo en frío, y a continuación se puede realizar el tratamiento térmico a baja temperatura. El tratamiento térmico a baja temperatura se puede realizar después del trabajo en frío, y a continuación se puede realizar el enderezado. Además, el enderezado se puede realizar una pluralidad de veces, y el tratamiento térmico a baja temperatura se puede realizar una pluralidad de veces. Por ejemplo, el trabajo en frío, el primer enderezado, el tratamiento térmico a baja temperatura y el segundo enderezado se pueden realizar en secuencia. El trabajo en frío, el primer tratamiento térmico a baja temperatura, el enderezado y el segundo tratamiento térmico a baja temperatura se pueden realizar en secuencia. De aquí en adelante, se describirá con detalle el enderezado y el tratamiento térmico a baja temperatura.

Enderezado

20 La FIG. 10 es una vista esquemática del enderezador 200. Con referencia a la FIG. 10, el enderezador 200 usado en esta realización es un tipo de rodillo inclinado. El enderezador 200 mostrado en la FIG. 10 incluye una pluralidad de bastidores de ST1 a ST4. La pluralidad de bastidores de ST1 a ST4 están dispuestos en una línea.

25 Los respectivos bastidor ST1 a bastidor ST4 incluyen un par de o un rodillo 22 inclinado. Específicamente, el bastidor de más atrás ST4 incluye un rodillo 22 inclinado y otro bastidor de ST1 a bastidor ST3 incluyen un par de rodillos 22 inclinados que están dispuestos en los lados superior e inferior de los bastidores.

30 Cada uno de los rodillos 22 inclinados incluye un eje 221 del rodillo y una superficie 222 del rodillo. El eje 221 del rodillo está inclinado con respecto a una línea de paso PL. Los ejes 221 del rodillo del par de rodillos 22 inclinados de los respectivos bastidor ST1 a bastidor ST3 se cruzan entre sí. Los ejes 221 del rodillo de los rodillos 22 inclinados que están dispuestos en los lados superior e inferior de los bastidores están inclinados con respecto a la línea de paso PL y se cruzan entre sí y, de este modo, es posible provocar que el tubo 30 en bruto se haga girar en la dirección circunferencial del tubo. La superficie 222 del rodillo tiene una forma cóncava.

Un centro P0 de un espacio entre los rodillos 22 inclinados del bastidor ST2 está desplazado de la línea de paso PL. Por esta razón, el bastidor ST1 y el bastidor ST2 doblan el tubo 30 en bruto, y el bastidor ST2 y el bastidor ST3 desdoblan el tubo 30 en bruto. Por consiguiente, el enderezador 200 endereza el tubo 30 en bruto doblado.

35 Además, el enderezador 200 presiona hacia abajo el tubo 30 en bruto en la dirección radial por medio del par de rodillos 22 inclinados de los respectivos bastidores ST_i (i = 1 a 3). Por consiguiente, el enderezador 200 aumenta la redondez del tubo 30 en bruto, y reduce la anisotropía del límite elástico del tubo 30 en bruto.

40 La FIG. 11 es una vista frontal del rodillo 22 inclinado y el tubo 30 en bruto en el bastidor ST_i que incluye el par de rodillos 22 inclinados. El tubo 30 en bruto es presionado hacia abajo por el par de rodillos 22 inclinados. Cuando un diámetro exterior de un tubo 30A en bruto antes de ser presionado en el bastidor ST_i se define como DA (mm), y un diámetro exterior de un tubo 30B en bruto después de ser presionado en el bastidor ST_i se define como DB (mm), una cantidad de aplastamiento AC (mm) se define por la expresión (7) descrita a continuación.

$$AC = DA - DB \quad (7)$$

Además, una relación de aplastamiento RC (%) se define por la expresión (8) descrita a continuación.

45 $RC = (DA - DB) / DA \times 100 \quad (8)$

50 Los respectivos bastidores ST_i empujan hacia abajo el tubo 30 en bruto que se hace girar en la dirección circunferencial según la cantidad de aplastamiento AC establecida para cada uno de los bastidores, y aplican deformación con respecto al tubo 30 en bruto. Como se ilustra en la FIG. 7, la dislocación 14 que se produce en el tubo 30 en bruto al comprimir el tubo 30 en bruto se activa en el sistema 13 de deslizamiento a diferencia de la dislocación 12 que se produce en el momento del trabajo en frío. Por lo tanto, la dislocación 14 que se produce por el enderezado y la dislocación 12 que se produce en el momento del trabajo en frío chocan entre sí para cruzarse, y de este modo es difícil que la dislocación 12 y la dislocación 14 se muevan. Por lo tanto, el enderezado suprime la disminución del límite elástico en compresión YS_{LC} en la dirección del eje del tubo por el efecto Bauschinger.

Como se describe anteriormente, con el fin de reducir la anisotropía del límite elástico, en particular, la anisotropía

del límite elástico en la dirección del eje del tubo, es efectivo presionar hacia abajo el tubo 30 en bruto por medio del rodillo 22 inclinado. La deformación es capaz de ser aplicada en la dirección radial del tubo 30 en bruto cuando aumenta la relación de aplastamiento RC. La relación de aplastamiento RC más alta entre las relaciones de aplastamiento RC de los bastidores respectivos ST_i se define como una relación de aplastamiento máxima.

5 Comprimiendo el tubo 30 en bruto con la relación máxima de aplastamiento, se puede aplicar la deformación máxima al tubo 30 en bruto. Por lo tanto, se supone que la relación máxima de aplastamiento es efectiva para reducir la anisotropía del límite elástico en la dirección del eje del tubo. Preferentemente, la relación máxima de aplastamiento es de 2,0 a 15,0%. Más preferentemente, el límite inferior de la relación máxima de aplastamiento es 4,0%, y más preferentemente, el límite superior de la relación máxima de aplastamiento es 12,0%.

10 En la Fig. 10, el enderezador 200 incluye 7 rodillos 22 inclinados y 4 bastidores de ST1 a ST4. Sin embargo, el número de rodillos 22 inclinados no está limitado a 7, y el número de bastidores no está limitado a 4. El número de rodillos 22 inclinados puede ser 10, y puede ser múltiples números distintos de 10. Cuando el número de rodillos inclinados es un número impar, el bastidor de más atrás incluye un rodillo 22 inclinado, y los otros bastidores incluyen un par de rodillos 22 inclinados. Cuando el número de rodillos inclinados es un número par, los bastidores respectivos incluyen un par de rodillos 22 inclinados.

Tratamiento térmico a baja temperatura

En el tratamiento térmico a baja temperatura, el tubo 30 en bruto se introduce en el horno de tratamiento térmico. A continuación, el tubo 30 en bruto se estabiliza a la temperatura de tratamiento térmico de 350°C a 450°C. Al estabilizar el tubo 30 en bruto en un intervalo de temperatura descrito anteriormente, el C y el N en el tubo 30 en bruto se difunden para adherirse fácilmente a la vecindad del núcleo de dislocación. Como resultado, es difícil que la dislocación 12 y la dislocación 14 se muevan, y se reduce la anisotropía del límite elástico en la dirección del eje del tubo y en la dirección circunferencial del tubo.

Cuando la temperatura del tratamiento térmico excede de 450°C, se genera la fragilización a 475°C del acero inoxidable de fase dual y, de este modo, disminuye la tenacidad.

25 Un tiempo de estabilización preferible es superior o igual a 5 minutos. En este caso, el C y el N en el acero inoxidable de fase dual se difunden suficientemente. El límite superior del tiempo de estabilización preferible es de 60 minutos. Además, dado que la temperatura de tratamiento térmico del tratamiento térmico a baja temperatura disminuye, no hay flexión en el tubo 30 en bruto después del tratamiento térmico.

30 Según los procedimientos descritos anteriormente, se fabrica el tubo 1 de acero inoxidable de fase dual que satisface las expresiones de (1) a (4).

35 Como se describe anteriormente, un orden del enderezado y del tratamiento térmico a baja temperatura no está particularmente limitado. Sin embargo, preferentemente, el enderezado se realiza después del trabajo en frío, y el tratamiento térmico a baja temperatura se realiza después del enderezado. En este caso, el C y el N se adhieren no sólo a la dislocación 12 que se produce por el trabajo en frío, sino también a la dislocación 14 que se produce por el enderezado, y por lo tanto se obtiene el efecto Cottrell. Por esta razón, la anisotropía del límite elástico en la dirección del eje del tubo y en la dirección circunferencial del tubo se disminuye más fácilmente.

Ejemplo

Se fabricaron una pluralidad de tubos 1 de acero inoxidable de fase dual según una condición de fabricación diferente. Se investigó la anisotropía del límite elástico del tubo 1 de acero inoxidable de fase dual fabricado.

40 El acero A y el acero B que tienen composiciones químicas mostradas en la Tabla 1 se fundieron para fabricar un lingote.

Tabla 1

Acero	Composición química (la unidad es % en masa, el resto es Fe e impurezas)								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	W	Cu	N
A	0,019	0,35	0,49	25,1	6,7	3,09	2,1	0,5	0,28
B	0,014	0,34	0,50	25,1	6,7	3,18	2,2	0,5	0,29

45 Todo el acero A y el acero B estaba dentro de un intervalo de composición química preferible de esta realización. Además, en el acero A y en el acero B, el contenido de P era menor o igual a 0,04%, el contenido de S era menor o igual a 0,03% y el contenido de O era menor o igual a 0,010%.

El lingote fabricado se sometió a extrusión en caliente, y se fabricó una pluralidad de tubos 30 en bruto para el

ES 2 623 731 T3

trabajo en frío. Se realizó un procedimiento de fabricación mostrado en la Tabla 2 en el tubo 30 en bruto para el trabajo en frío, y se fabricaron los tubos 1 de acero inoxidable de fase dual de la Referencia 1 a la Referencia 16.

[Tabla 2]

Referencia	Acero	Diámetro Exterior (mm)	Procedimiento de Fabricación	Temperatura de Tratamiento Térmico (°C)	Número de Rodillos	Relación Máxima de Aplastamiento (%)	YS _{UT} (MPa)	YS _{CT} (MPa)	YS _{LC} (MPa)	YS _{CC} (MPa)	F1 (YS _{LC} /YS _{UT})	F2 (YS _{CC} /YS _{UT})	F3 (YS _{CC} /YS _{CT})	F4 (YS _{CC} /YS _{UT})
1	A	178,0	AsP/D	-	-	-	941	936	749	951	0,80	1,02	1,01	0,99
2	B	60,0	CR	-	-	-	936	811	809	943	0,86	1,16	1,01	0,87
3	B	60,0	CR→STR	-	7	4,0	927	809	841	911	0,91	1,13	0,98	0,87
4	A	178,0	P/D→Tratamiento Térmico	350	-	-	919	905	789	934	0,86	1,03	1,02	0,98
5	A	178,0	P/D→Tratamiento Térmico	450	-	-	954	920	834	938	0,87	1,02	0,98	0,96
6	A	178,0	P/D→Tratamiento Térmico→STR	350	7	6,0	932	933	840	950	0,90	1,02	1,02	1,00
7	A	178,0	P/D→Tratamiento Térmico→STR	450	7	6,0	965	923	901	963	0,93	1,04	1,00	0,96
8	A	178,0	P/D→Tratamiento Térmico→STR	450	7	6,0	967	945	885	945	0,92	1,00	0,98	0,98
9	A	178,0	P/D→STR→Tratamiento Térmico	350	7	6,0	950	932	885	940	0,93	1,01	0,99	0,98
10	A	178,0	P/D→STR→Tratamiento Térmico	450	7	6,0	959	916	913	944	0,95	1,03	0,98	0,96
11	A	178,0	P/D→Tratamiento Térmico→STR	350	7	6,0	941	945	881	935	0,94	0,99	0,99	1,00
12	A	178,0	P/D→Tratamiento Térmico→STR	450	7	6,0	983	930	894	960	0,91	1,03	0,98	0,95
13	A	178,0	P/D→Tratamiento Térmico→STR	450	7	6,0	974	927	898	981	0,92	1,06	1,01	0,95
14	A	178,0	P/D→Primer STR→Tratamiento Térmico→Segundo STR	450	7	Primer STR: 4,0 Segundo STR: 6,0	979	921	902	967	0,92	1,05	0,99	0,94
15	B	60,0	CR→STR→Tratamiento Térmico	450	7	10,0	980	940	919	990	0,94	1,05	1,01	0,96
16	B	60,0	CR→STR→Tratamiento Térmico	450	7	10,0	969	955	921	981	0,95	1,03	1,01	0,99

Con referencia a la Tabla 2, en una sección para Acero, se describen tipos de palanquilla (el acero A y el acero B) usada. En una sección para diámetro exterior, se describen los diámetros exteriores (60,0 mm y 178,0 mm) del tubo 1 de acero inoxidable de fase dual fabricado.

5 En una sección para el Procedimiento de Fabricación, se describen los procedimientos de fabricación que se realizaron con respecto al tubo 30 en bruto para el trabajo en frío. Con referencia a la sección para el Procedimiento de Fabricación, AsP/D indica estirado en frío. P/D indica el estirado en frío. CR indica el laminado en frío. STR indica el enderezado. El Tratamiento Térmico indica el tratamiento térmico a baja temperatura.

10 En este ejemplo, la relación de reducción de la sección transversal del estirado en frío era 8%, y la relación de reducción de la sección transversal de la laminación en frío era 16%. Aquí, la relación de reducción de la sección transversal (%) se obtuvo mediante la expresión (6) descrita anteriormente.

15 En una sección para Temperatura de Tratamiento Térmico, se describen las temperaturas de tratamiento térmico (°C) del tratamiento térmico a baja temperatura que se realizó durante el procedimiento de fabricación. En una sección para el Número de Rodillos, se describen los números de rodillos inclinados del enderezador 200 que se usan para el enderezado. En una sección para la Relación Máxima de Aplastamiento, se describen las relaciones máximas de aplastamiento (%) en el momento del enderezado.

20 Específicamente, se realizaron los siguientes procedimientos de fabricación con respecto a los tubos 30 en bruto para trabajo en frío (de aquí en adelante, denominados simplemente "tubo 30 en bruto") de la Referencia 1 a la Referencia 16. Sólo el estirado en frío se realizó con respecto al tubo 30 en bruto de la Referencia 1, y se fabricó el tubo 1 de acero inoxidable de fase dual. Es decir, el tubo 1 de acero inoxidable de fase dual de la Referencia 1 era un material estirado en frío (Estirado en frío). En la Referencia, sólo se realizó el laminado en frío con respecto al tubo 30 en bruto, y se fabricó el tubo 1 de acero inoxidable de fase dual.

25 En la Referencia 3, con respecto al tubo 30 en bruto, se realizó la laminación en frío, y a continuación se realizó el enderezado con la relación de aplastamiento máxima (%) mostrada en la Tabla 2. En la Referencia 4 y la Referencia 5, con respecto al tubo 30 en bruto, se llevó a cabo el estirado en frío, y a continuación se realizó el tratamiento térmico a baja temperatura a la temperatura de tratamiento térmico mostrada en la Tabla 2.

30 En de la Referencia 6 a la Referencia 8 y de la Referencia 11 a la Referencia 13, se realizó el estirado en frío con respecto al tubo 30 en bruto. El tratamiento térmico a baja temperatura se realizó con respecto al tubo 30 en bruto que se sometió al estirado en frío. El enderezado se realizó con respecto al tubo 30 en bruto después del tratamiento térmico. En la Referencia 9 y la Referencia 10, con respecto al tubo 30 en bruto, se realizó el estirado en frío, y a continuación se realizó el enderezado. Después del enderezado, se realizó el tratamiento térmico a baja temperatura con respecto al tubo 30 en bruto.

35 En la Referencia 14, el enderezado se realizó con respecto al tubo 30 en bruto dos veces. Específicamente, después de realizar el estirado en frío con respecto al tubo 30 en bruto, se realizó el primer enderezado (el primer STR). La relación máxima de aplastamiento en el momento del primer enderezado era 4,0%. Después del primer enderezado, se realizó el tratamiento térmico a baja temperatura. El segundo enderezado (el segundo STR) se realizó con respecto al tubo 30 en bruto después de ser sometido al tratamiento térmico. La relación máxima de aplastamiento en el momento del segundo enderezado era 6,0%.

40 En la Referencia 15 y la Referencia 16, con respecto al tubo 30 en bruto, se realizó la laminación en frío, y a continuación se realizó el enderezado. Después del enderezado, se realizó el tratamiento térmico a baja temperatura con respecto al tubo 30 en bruto.

45 Una probeta de compresión y una probeta de tensión se tomaron como muestra de los tubos 1 de acero inoxidable de fase dual fabricados de cada una de las Referencias. Específicamente, se tomaron como muestra la probeta de tensión y la probeta de compresión que se extienden en la dirección del eje del tubo de cada una de las Referencias y se tomaron como muestra la probeta de tensión y la probeta de compresión que se extienden en la dirección circunferencial del tubo de cada una de las Referencias.

Una dimensión de la probeta se basó en la American Society for Testing and Materials (ASTM)-E8 y ASTM-E9. Un diámetro exterior de la probeta de compresión y una probeta estándar para la probeta de compresión eran todos de 6,35 mm y las distancias entre los puntos de referencia eran todas de 12,7 mm. En cada una de las Referencias, cuando no se pudo tomar como muestra la probeta estándar, se tomó como muestra una probeta proporcional.

50 Usando la probeta de compresión y probeta de tensión tomadas como muestra, se realizó un ensayo de compresión y un ensayo de tracción a temperatura normal (25°C) en una atmósfera y se obtuvieron el límite elástico en compresión y el límite elástico en tracción. Específicamente, usando la probeta de tracción que se extiende en la dirección del eje del tubo, se obtuvo el límite elástico en tracción YS_{LT} (MPa) en la dirección del eje del tubo. Usando la probeta de tracción que se extiende en la dirección circunferencial del tubo, se obtuvo el límite elástico en tracción YS_{CT} (MPa) en la dirección circunferencial del tubo. Usando la probeta de compresión que se extiende en la dirección del eje del tubo, se obtuvo el límite elástico en compresión YS_{LC} (MPa) en la dirección del eje del tubo. Usando la probeta de compresión que se extiende en la dirección circunferencial del tubo, se obtuvo el límite elástico

en compresión Y_{SCC} (MPa) en la dirección circunferencial del tubo. Cada uno de los valores del límite elástico estaba definido por la tensión de prueba del 0,2% en el ensayo de tracción y en el ensayo de compresión. Cada uno de los valores del límite elástico obtenidos (Y_{SLT} , Y_{SCT} , Y_{SLC} y Y_{SCC}) se mostraron en la Tabla 2.

5 Usando cada uno de los valores del límite elástico obtenidos, se obtuvieron de F1 a F4 mostrados en las expresiones (1) a (4) descritas a continuación para cada una de las Referencias.

$$F1 = Y_{SLC}/Y_{SLT} \quad (1)$$

$$F2 = Y_{SCC}/Y_{SCT} \quad (2)$$

$$F3 = Y_{SCC}/Y_{SLT} \quad (3)$$

$$F4 = Y_{SCT}/Y_{SLT} \quad (4)$$

10 Los valores de F1 a F4 obtenidos se muestran en la Tabla 2.

Resultado de la Investigación

15 Con referencia a la Tabla 2, en los tubos 1 de acero inoxidable de fase dual de la Referencia 6 a la Referencia 16, de F1 a F4 satisfacían todas las expresiones de (1) a (4). En particular, en la Referencia 9, Referencia 10, Referencia 15 y Referencia 16, el tratamiento térmico a baja temperatura se realizó después del enderezado. Por esta razón, la anisotropía (un valor de F1) del límite elástico en la dirección del eje del tubo era extremadamente pequeña comparada con los valores de F2 a un valor de F4.

20 Por otra parte, en los tubos 1 de acero inoxidable de fase dual de la Referencia 1 a la Referencia 5, por lo menos uno de F1 a F4 no satisfizo las expresiones de (1) a (4). Específicamente, el valor de F1 en la Referencia 1 era inferior a 0,90. El tubo 30 en bruto de la Referencia 1 se estiró en la dirección axial por el estirado en frío. Por lo tanto, se supone que el límite elástico en compresión Y_{SLC} en la dirección del eje del tubo era menor que el límite elástico en tracción Y_{SLT} excesivamente en la dirección del eje del tubo según el efecto Bauschinger.

25 En la Referencia 2, el valor de F1 y el valor de F4 eran menores de 0,90, y el valor de F2 excedía de 1,11. Con respecto al tubo 30 en bruto de la Referencia 2, sólo se realizó la laminación en frío. El tubo 30 en bruto durante el laminado en frío se deformó por la tensión de tracción en la dirección axial, y se deformó por la tensión de compresión en la dirección circunferencial. En particular, la distorsión de compresión en la dirección circunferencial del tubo 30 en bruto en la laminación en frío era mayor que en el estirado en frío. En la Referencia 2, según el efecto Bauschinger, el límite elástico en compresión Y_{SLC} en la dirección del eje del tubo era menor que el límite elástico en tracción Y_{SLT} excesivamente, y el límite elástico en tracción Y_{SCT} en la dirección circunferencial del tubo era menor que el límite elástico en compresión Y_{SCC} excesivamente. Por esta razón, se supone que el valor de F1, el valor de F2 y el valor de F4 no satisfacían las expresiones (1), (2) y (4).

30 En la Referencia 3, el valor de F2 y el valor de F4 no satisfacían las expresiones (2) y (4). Al realizar el enderezado, se mejoró el límite elástico en compresión Y_{SLC} en la dirección del eje del tubo. Sin embargo, se supone que no se realizó el tratamiento térmico a baja temperatura y, de este modo, no se mejoró la anisotropía del límite elástico en tracción y el límite elástico en compresión en la dirección circunferencial del tubo y, como resultado, el valor de F2 y el valor de F4 no satisfacían las expresiones (2) y (4).

35 En la Referencia 4 y la Referencia 5, el valor de F1 no satisfacía la expresión (1). Se supone que el límite elástico en compresión en la dirección del eje del tubo se mejoró por el tratamiento térmico a baja temperatura, pero no se realizó el enderezado y, de este modo, el valor de F1 no satisfacía la expresión (1).

40 Como se describe anteriormente, se han descrito las realizaciones de la presente invención, pero las realizaciones descritas anteriormente son meramente ejemplos de la implementación de la presente invención. Por consiguiente, la presente invención no está limitada a las realizaciones descritas anteriormente, y se puede implementar cambiando apropiadamente las realizaciones descritas anteriormente sin apartarse de la invención como se define en las reivindicaciones.

Aplicabilidad industrial

45 En un tubo de acero inoxidable de fase dual según la presente invención, la anisotropía del límite elástico es pequeña y, de este modo, se puede usar de forma duradera incluso cuando se aplica una distribución de tensión diferente según un medio ambiente de uso. Por lo tanto, es capaz de ser ampliamente usado como tubo de pozo de petróleo. En particular, se puede usar para tubería o entubado.

Breve descripción de los símbolos de referencia

50 1: TUBO DE ACERO INOXIDABLE DE FASE DUAL

10: GRANO CRISTALINO

- 11, 13: SISTEMA DE DESLIZAMIENTO
- 12, 14: DISLOCACIÓN
- 22: RODILLO INCLINADO
- 30, 30A, 30B: TUBO EN BRUTO
- 5 100: CAPA GEOLÓGICA
- 101: TUBO DE POZO DE PETRÓLEO
- 102: POZO DE PETRÓLEO
- 103: FLUIDO PRODUCIDO
- 200: ENDEREZADOR
- 10 221: EJE DEL RODILLO
- 222: SUPERFICIE DEL RODILLO
- AC: CANTIDAD DE APLASTAMIENTO
- DA, DB: DIÁMETRO EXTERIOR
- FI: CARGA DE COMPRESIÓN
- 15 FO: FUERZA EXTERNA
- FT: CARGA DE TRACCIÓN
- GB: BORDE DE GRANO
- P0: CENTRO DEL ESPACIO ENTRE LOS RODILLOS 22 INCLINADOS DEL BASTIDOR ST2
- PI: PRESIÓN INTERNA
- 20 PL: LÍNEA DE PASO
- PO: GEOPRESIÓN
- RF: FUERZA REPULSIVA
- ST1, ST2, ST3, ST4, STi: BASTIDOR
- X1, X2: DIRECCIÓN
- 25 σ_{FI} : TENSIÓN DE CARGA
- σ_T : TENSIÓN DE FLUENCIA REAL

REIVINDICACIONES

1. Un tubo de acero inoxidable de fase dual, que comprende:

un límite elástico en tracción YSLT de 689,1 MPa a 1.000,5 MPa en una dirección del eje del tubo del tubo de acero inoxidable de fase dual,

5 en el que el límite elástico en tracción YSLT, un límite elástico en compresión YSLC en la dirección del eje del tubo, un límite elástico en tracción YSCT en una dirección circunferencial del tubo del tubo de acero inoxidable de fase dual, y un límite elástico en compresión YSCC en la dirección circunferencial del tubo satisfacen todas las expresiones de (1) a (4),

$$0,90 \leq YSLC/YSLT \leq 1,11 \quad (1)$$

10 $0,90 \leq YSCC/YSCT \leq 1,11 \quad (2)$

$$0,90 \leq YSCC/YSLT \leq 1,11 \quad (3)$$

$$0,90 \leq YSCT/YSLT \leq 1,11 \quad (4)$$

en el que el tubo de acero inoxidable de fase dual consiste en, en % en masa,

C: de 0,008% a 0,03%;

15 Si: de 0% a 1%;

Mn: de 0,1% a 2%;

Cr: de 20% a 35%;

Ni: de 3% a 10%;

Mo: de 0% a 4%;

20 W: de 0% a 6%;

Cu: de 0% a 3%; y

N: de 0,15% a 0,35%, y

un resto compuesto de Fe e impurezas.

25 2. Un método de fabricación de un tubo de acero inoxidable de fase dual según la reivindicación 1, comprendiendo el método:

fabricar un tubo en bruto de acero inoxidable de fase dual;

realizar un trabajo en frío en el tubo en bruto;

30 fabricar el tubo de acero inoxidable de fase dual en el que está incluido un límite elástico en tracción YSLT de 689,1 MPa a 1.000,5 MPa en una dirección del eje del tubo del tubo de acero inoxidable de fase dual y el límite elástico en tracción YSLT, un límite elástico en compresión YSLC en la dirección del eje del tubo, un límite elástico en tracción YSCT en una dirección circunferencial del tubo del tubo de acero inoxidable de fase dual, y un límite elástico en compresión YSCC en la dirección circunferencial del tubo satisfacen todas las expresiones de (1) a (4) realizando un enderezado y un tratamiento térmico a baja temperatura a una temperatura de tratamiento térmico de 350°C a 450°C con respecto al tubo en bruto que se somete al trabajo en frío,

35 $0,90 \leq YSLC/YSLT \leq 1,11 \quad (1)$

$$0,90 \leq YSCC/YSCT \leq 1,11 \quad (2)$$

$$0,90 \leq YSCC/YSLT \leq 1,11 \quad (3)$$

$$0,90 \leq YSCT/YSLT \leq 1,11 \quad (4),$$

en el que el tubo en bruto consiste en, en % en masa,

40 C: de 0,008% a 0,03%;

Si: de 0% a 1%;

Mn: de 0,1% a 2%;

Cr: de 20% a 35%;

Ni: de 3% a 10%;

Mo: de 0% a 4%;

5 W: de 0% a 6%;

Cu: de 0% a 3%; y

N: de 0,15% a 0,35%, y

un resto compuesto de Fe e impurezas.

10 3. El método de fabricación del tubo de acero inoxidable de fase dual según la reivindicación 2, en el que el tratamiento térmico a baja temperatura se realiza con respecto al tubo en bruto después del enderezado.

FIG. 1

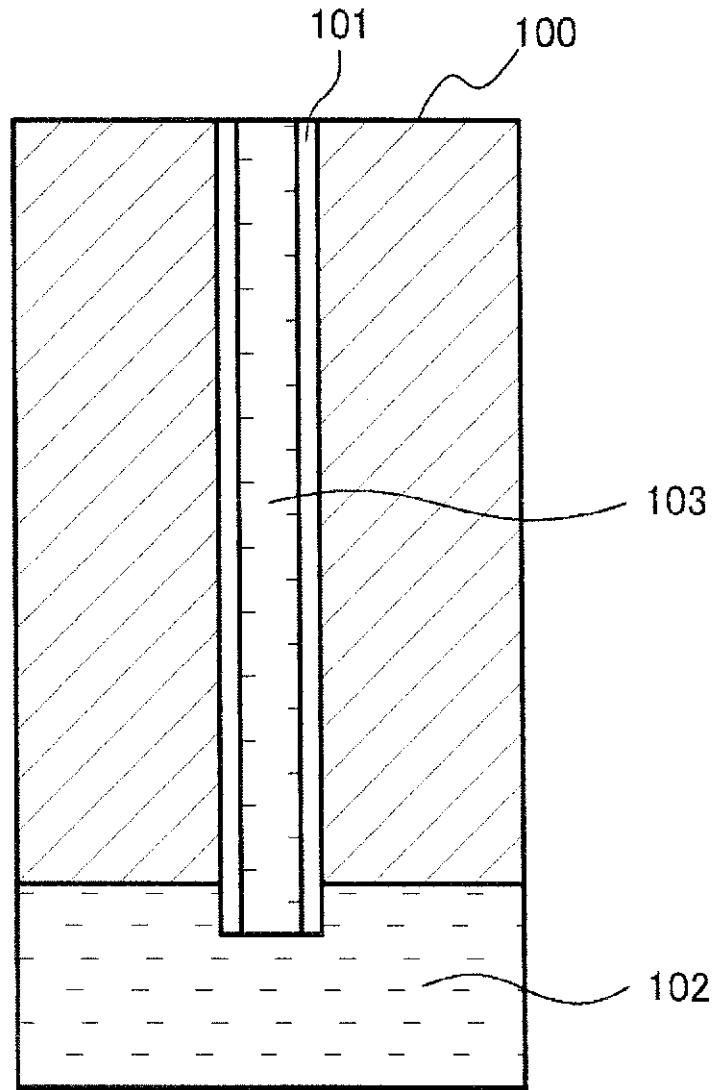


FIG. 2

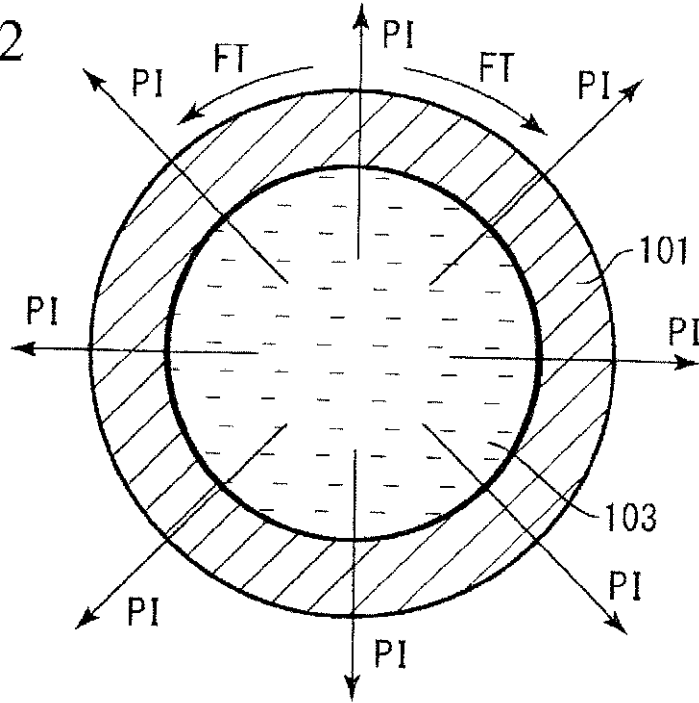


FIG. 3

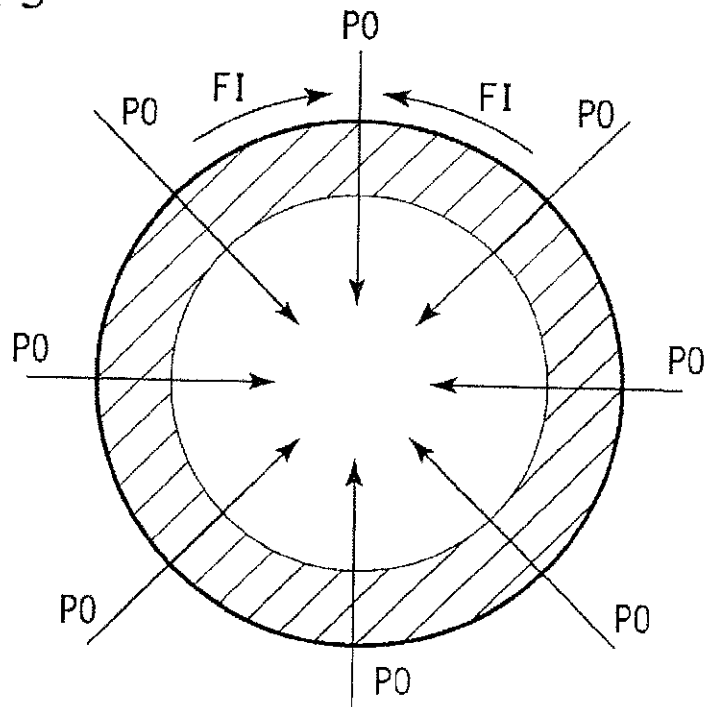


FIG. 4

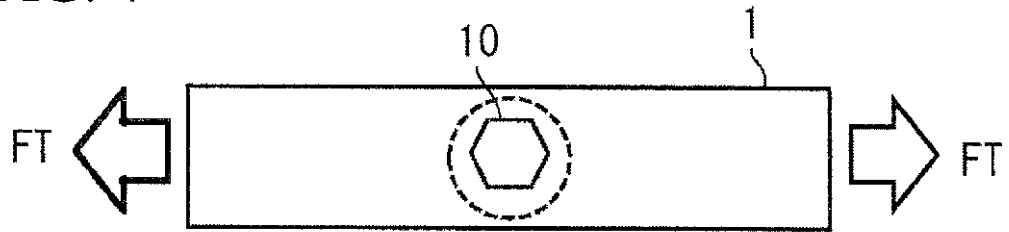


FIG. 5

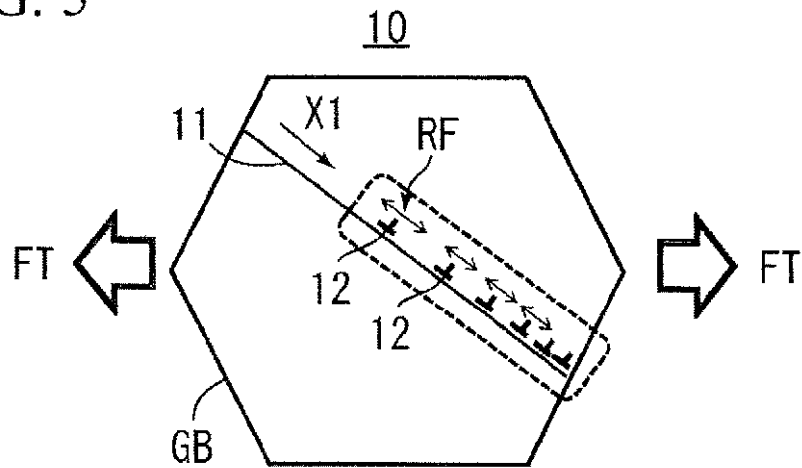


FIG. 6

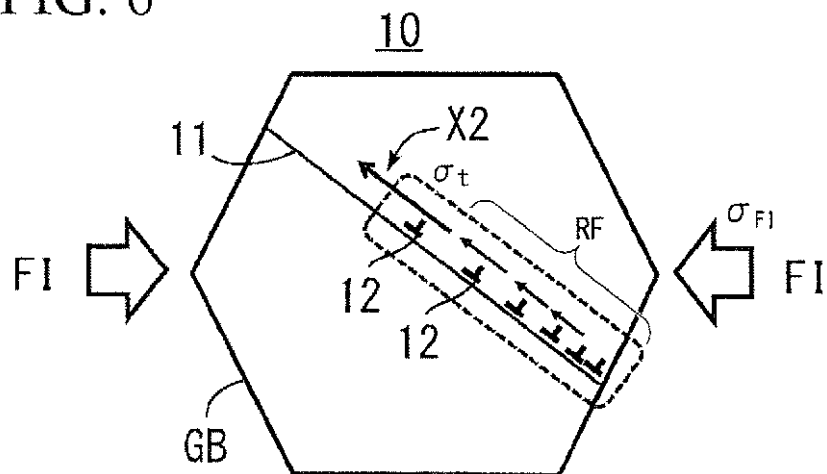


FIG. 7

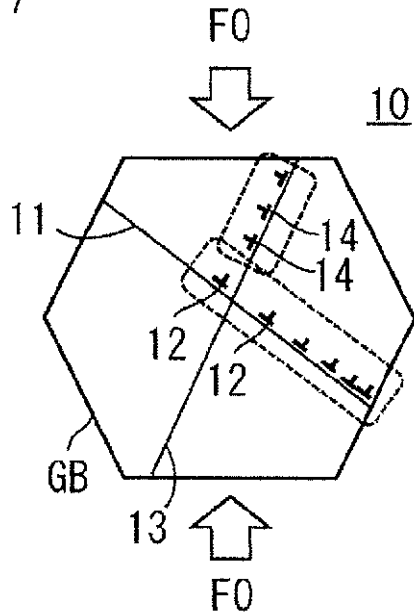


FIG. 8

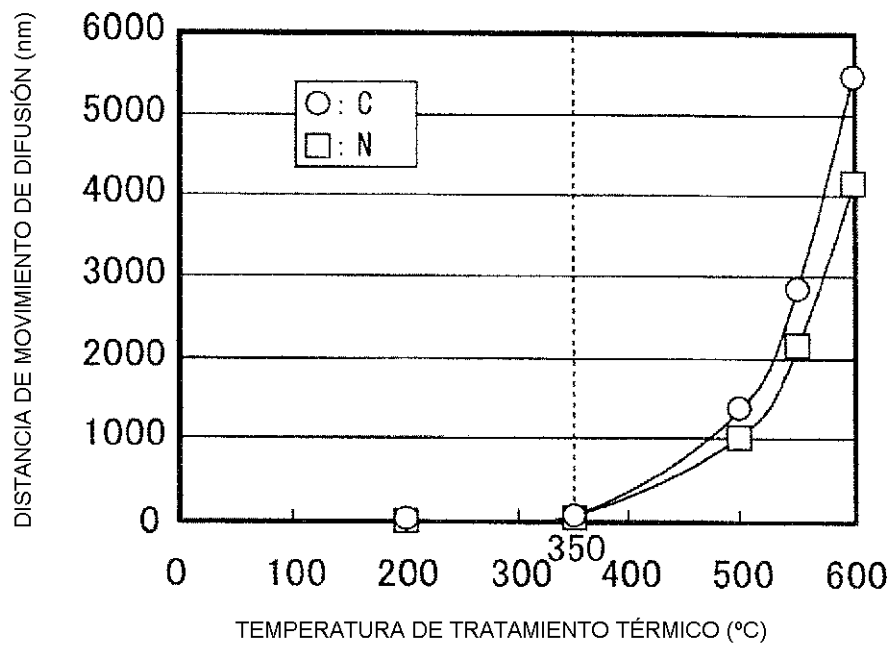


FIG. 9

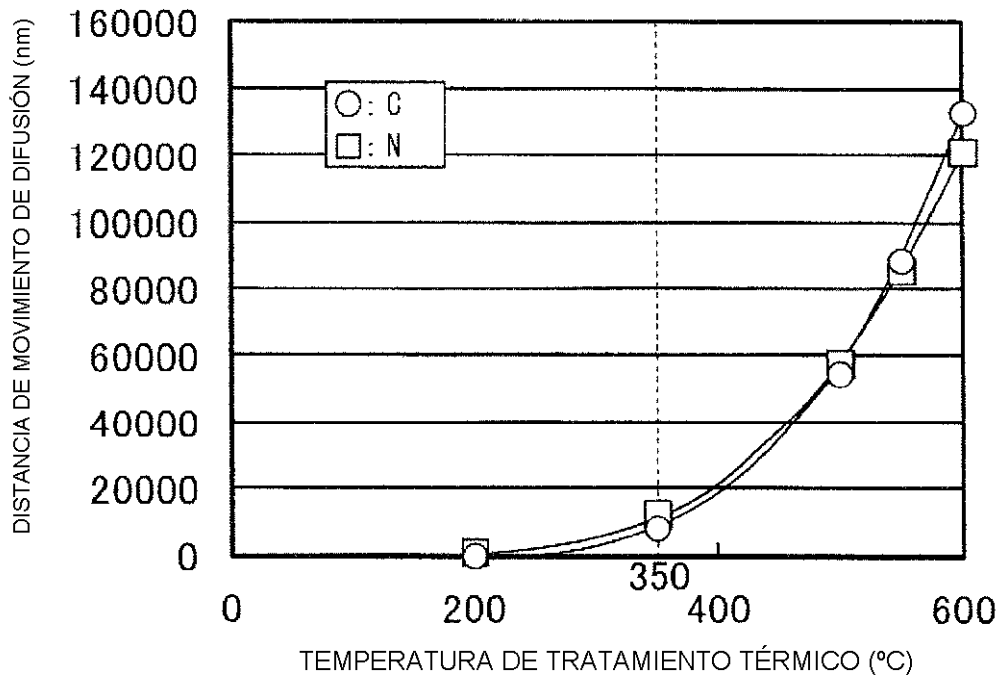


FIG. 10

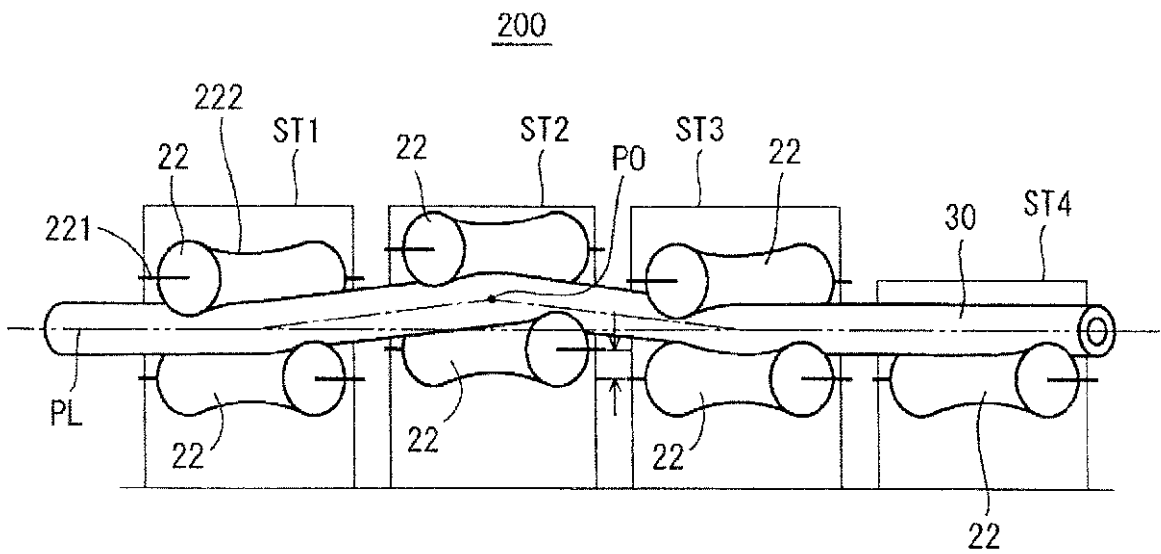


FIG. 11

