

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 658 770**

51 Int. Cl.:

|                   |                            |           |
|-------------------|----------------------------|-----------|
| <b>C22C 38/02</b> | (2006.01) <b>B21C 1/00</b> | (2006.01) |
| <b>C22C 38/42</b> | (2006.01) <b>B21C 1/22</b> | (2006.01) |
| <b>C22C 38/44</b> | (2006.01)                  |           |
| <b>C22C 38/04</b> | (2006.01)                  |           |
| <b>C22C 38/40</b> | (2006.01)                  |           |
| <b>C22C 38/00</b> | (2006.01)                  |           |
| <b>C21D 9/08</b>  | (2006.01)                  |           |
| <b>C21D 8/10</b>  | (2006.01)                  |           |
| <b>C21D 7/02</b>  | (2006.01)                  |           |
| <b>C21D 6/00</b>  | (2006.01)                  |           |

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.07.2008 PCT/JP2008/062333**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **29.01.2009 WO09014001**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.07.2008 E 08790970 (1)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.01.2018 EP 2177634**

54 Título: **Método para la fabricación de tubos de acero inoxidable de dos fases**

30 Prioridad:

**20.07.2007 JP 2007189401**  
**14.05.2008 JP 2008126561**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**12.03.2018**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**SUWABE, HITOSHI**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 658 770 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 la fabricación de tubos de acero inoxidable de dos fases

**Campo técnico**

5 La presente invención se refiere a un método para la producción de un tubo o tubería de acero inoxidable de dos fases (de aquí en adelante, se denomina de manera colectiva como "tubo") que exhibe una excelente resistencia a la corrosión incluso en un ambiente corrosivo por gas dióxido de carbono o en un ambiente corrosivo por tensión, y que tiene una alta resistencia. El tubo de acero inoxidable de dos fases producido de acuerdo con la presente invención se puede utilizar, por ejemplo, para pozos de petróleo o pozos de gas (de aquí en adelante se denominan de manera colectiva como "pozos de petróleo").

**10 Antecedentes de la técnica**

En pozos profundos de petróleo o en pozos de petróleo en ambientes corrosivos severos relacionados con sustancias corrosivas, tales como gas dióxido de carbono húmedo (CO<sub>2</sub>), sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) o iones de cloruro (Cr), los tubos de acero inoxidable de dos fases de austenita-ferrita que tienen un gran contenido de Cr tal como acero 22Cr o acero 25Cr se utilizan como tubos de pozos de petróleo.

15 Estos aceros inoxidables de dos fases de austenita-ferrita, al haber sido sometidos al tratamiento de solución por lo general aplicado en la producción de los mismos, pueden alcanzar como máximo tal resistencia a la tracción (TS) que una resistencia a la tracción es del grado de 80 kgf/mm<sup>2</sup> (785 MPa) y una resistencia a la fluencia (0,2% resistencia a la fluencia) es del grado de 60 kgf/mm<sup>2</sup> (588 MPa). En consideración de este problema, el Documento de Patente 1 revela un método para la obtención de un tubo de acero inoxidable de dos fases de alta resistencia, en el que un tubo de acero inoxidable de dos fases que contiene de 0,1 a 0,3% de N se somete a una laminación en frío con una reducción del área de 5 a 50%, y después de esto el tubo se calienta a 100 a 350 °C durante 30 minutos o más para obtener el tubo deseado. En este caso, se menciona que se obtiene un tubo de acero inoxidable de dos fases de alta resistencia por medio de la combinación del endurecimiento por trabajo debido al laminado en frío con el tratamiento de envejecimiento.

25 Sin embargo, en estos años, los pozos de petróleo tienen una tendencia notable hacia ser más profundos, y por lo tanto, para la finalidad de la utilización en entornos más severos que los que hasta ahora se ha experimentado, se requiere producir tubos de acero inoxidable de dos fases que sean altos en cuanto a su resistencia, en particular, del grado de 110 a 140 ksi (la resistencia a la fluencia más baja es de 757,3 a 963,8 MPa) y, además, que tengan varios niveles de resistencia definidos en las especificaciones. Por lo tanto, para ese fin, es necesario tener en cuenta no sólo el contenido de N, sino también los contenidos de los otros elementos de la composición, y también es necesario controlar de manera más estricta la extensión de la laminación en frío. El método de producción descrito en el Documento de Patente 1 ofrece un problema del deterioro de la eficiencia de la producción o el incremento del costo debido a la adición del paso de tratamiento de envejecimiento.

35 Para el propósito de alcanzar una alta resistencia a la corrosión y una alta resistencia, el Documento de Patente 2 revela un método en el que un material de acero inoxidable de dos fases que contiene Cu se somete a una laminación en frío con una reducción del área de 35% o más, a partir de ese entonces se calienta y se inactiva, y después se somete a un trabajo en caliente. En este documento, se presenta un ejemplo convencional que revela datos que muestran que una varilla de alambre de acero inoxidable de dos fases que contiene Cu se somete a un tratamiento térmico por solución sólida y, posteriormente, se somete a una laminación en frío con una reducción del área de 25 a 70%, y por lo tanto se obtiene una varilla de alambre de alta resistencia que tiene una resistencia a la tracción de 110 a 140 kgf/mm<sup>2</sup>. Sin embargo, en este caso, se revela sólo el incremento de la resistencia a la tracción debido a la laminación en frío, y los datos revelados están asociados con una varilla de alambre, pero no con una tubería, y por lo tanto no es claro cuál es el nivel de la resistencia a la fluencia significativo en el diseño del material de los tubos de pozos de petróleo.

45 Además, el Documento de Patente 3 describe una alta resistencia que se puede alcanzar por una proporción de trabajo de laminación en frío bajo basada en el forjado. Sin embargo, en este caso sólo se revela un método para mejorar la resistencia por medio del forjado sucesivo con una relación de laminación en frío de aproximadamente 0,5 a 1,6% en toda la región, en la dirección longitudinal, de un stock de acero inoxidable de dos fases que se ha sometido a un tratamiento de solución mientras que el stock está siendo impartido con rotación. El Documento de Patente 4 revela solamente un método de fabricación de un tubo de acero inoxidable de dos fases que contiene un menor contenido de W, en el que el tubo se lamina en caliente, se enfría con rapidez desde una temperatura de más de 1000 °C para llevar a cabo un tratamiento térmico de solución sólida directa, y de manera opcional se lamina en frío.

Documento de Patente 1: JP2-290920A

55 Documento de Patente 2: JP7-207337A

Documento de Patente 3: JPS-277611A

Documento de Patente 4: JP60-89519A

## Descripción de la invención

### Problemas a resolver por la invención

5 De acuerdo con lo descrito con anterioridad, cualquiera de los documentos descritos con anterioridad revela el hecho de que el laminado en frío permite alcanzar una alta resistencia. Sin embargo, en estos documentos no se ha hecho una investigación específica sobre la alta resistencia lograda por la laminación en frío en la que se tenga en cuenta la composición del tubo de acero inoxidable de dos fases, y no se ofrece ninguna sugerencia con respecto al diseño de composición apropiado o las condiciones de laminación en frío para la consecución de la resistencia objetivo, en particular, la resistencia a la fluencia objetivo.

10 En vista de estas circunstancias, un objetivo de la presente invención es proporcionar un método para la producción de un tubo de acero inoxidable de dos fases que no sólo tenga una resistencia a la corrosión requerida para las tuberías de pozos de petróleo utilizadas en pozos profundos o en ambientes corrosivos severos, sino que al mismo tiempo tenga una resistencia objetivo.

### Medios para resolver los problemas

15 Para el propósito de resolver los problemas descritos con anterioridad, los presentes inventores produjeron tubos de acero inoxidable de dos fases por el uso de materiales de acero inoxidable de dos fases que tienen diversas composiciones químicas, en las condiciones que la extensión del estirado en frío final se varió de diferentes maneras, y llevaron a cabo un experimento para determinar las resistencias a la tracción de estos tubos. En consecuencia, los presentes inventores obtuvieron los siguientes hallazgos (a) a (g).

20 (a) Se requiere que los tubos de acero inoxidable de dos fases utilizados en pozos de petróleo profundos o en pozos de petróleo en ambientes corrosivos severos tengan resistencia a la corrosión. Sin embargo, cuando el contenido de C es más grande, la precipitación de los carburos tiende a ser excesiva debido a los efectos térmicos en el momento de un tratamiento térmico, soldadura o similar, y por lo tanto, desde los puntos de vista de la resistencia a la corrosión y la trabajabilidad del acero, en particular, desde el punto de vista de la resistencia a la corrosión, es necesario reducir el contenido de C.

25 (b) Cuando el contenido de C se reduce, la resistencia llega a ser insuficiente sin aplicar ninguna otra operación; sin embargo, un tubo de material producido por medio del trabajo en caliente del material de acero inoxidable de dos fases o de manera adicional por medio de un tratamiento térmico de solución sólida el material de acero inoxidable de dos fases se puede mejorar en cuanto a su resistencia por medio de la aplicación posterior de estirado en frío. En este caso, se ha de notar que cuando la proporción de trabajo es superior a 35% en términos de la reducción del área, se mantiene la alta resistencia, pero se produce el endurecimiento de trabajo, y por lo tanto se deteriora la ductilidad o la tenacidad. Por otra parte, cuando la proporción de trabajo es inferior a 5% en términos de la reducción del área, no se puede alcanzar la alta resistencia prevista. En consecuencia, es necesario ajustar la proporción de trabajo del estirado en frío final en 5 a 35% en términos de la reducción del área.

30 (c) También, se ha encontrado que cuando la relación  $R_d$  de trabajo en el momento de estirado en frío está en un intervalo de 5 a 35% en términos de la reducción del área, mayor es la proporción de trabajo  $R_d$  del estirado en frío final en el tubo de acero inoxidable de dos fases, cuanto mayor es la resistencia a la fluencia  $YS$  obtenida para el tubo de acero inoxidable de dos fases, y la relación entre la proporción de trabajo  $R_d$  y la resistencia a la fluencia  $YS$  se representa como una relación lineal.

35 También se ha encontrado que la resistencia del tubo de acero inoxidable de dos fases se ve afectada de manera significativa por el contenido de Cr, y cuanto mayor es el contenido de Cr en el material de acero, se puede obtener un tubo de acero inoxidable de dos fases de mayor resistencia. Además, también se ha encontrado que la resistencia del tubo de acero inoxidable de dos fases también se ve afectada de manera significativa por el contenido de Mo y el contenido de W, y el contenido de Mo o W permite producir un tubo de acero inoxidable de dos fases de alta resistencia.

40 La Figura 1 es un gráfico de los valores de resistencia a la fluencia  $YS$  (MPa) obtenidos en una prueba de tracción en contra de los valores de la proporción de trabajo  $R_d$  (%) en términos de la reducción del área, para los tubos de acero inoxidable de dos fases que tienen las diferentes composiciones químicas utilizadas en el ejemplo descrito a continuación. La Figura 1 muestra que se produce una relación lineal entre la proporción de trabajo  $R_d$  en términos de la reducción del área y la resistencia a la fluencia  $YS$ .

45 (d) A continuación, los presentes inventores han pensado que la resistencia a la fluencia del tubo de acero inoxidable de dos fases depende de la proporción de trabajo  $R_d$  en el momento de llevar a cabo el estirado en frío final y la composición química del tubo de acero inoxidable de dos fases, y en consecuencia se hace posible establecer una técnica de diseño de componentes adecuada para ser asociada con las condiciones de trabajo del tubo, con el fin de alcanzar la resistencia a la fluencia objetivo para el tubo de acero inoxidable de dos fases. En otras palabras, con el fin de alcanzar la resistencia a la fluencia objetivo para el tubo de acero inoxidable de dos

fases, se vuelve realizable no la regulación fina con base en la composición química del tubo de acero inoxidable de dos fases, sino la regulación fina basada en la proporción de trabajo Rd en el momento de llevar a cabo el estirado en frío final. También, resulta innecesario llevar a cabo la fusión de una gran cantidad de tipos de aceros inoxidables de de dos fases preparados por medio de la variación de la composición de la aleación de acuerdo con el nivel de resistencia exigido y, en consecuencia, se puede suprimir el exceso de material de los tochos de material.

De acuerdo con lo descrito con anterioridad, cuando se puede establecer la técnica de diseño de componentes apropiada asociada con las condiciones de trabajo del tubo, sólo es necesario llevar a cabo el estirado en frío final, con el propósito de obtener un tubo de acero inoxidable de dos fases que tiene una resistencia objetivo, bajo las condiciones de estirado en frío objetivo, teniendo en cuenta la composición de la aleación del stock, a saber, con la proporción de trabajo objetivo Rd o la proporción de trabajo más alta que la proporción de trabajo objetivo, sin necesidad de variar la composición de la aleación del stock en una base de caso por caso.

(e) Con base en una idea de acuerdo con lo descrito con anterioridad, los presentes inventores han llevado a cabo continuamente un estudio diligente sobre las correlaciones entre la resistencia a la fluencia del tubo de acero inoxidable de dos fases, la proporción de trabajo Rd en el momento de llevar a cabo el estirado en frío y la composición química del tubo de acero inoxidable de dos fases. En consecuencia, se ha encontrado que cuando la proporción de trabajo Rd cae dentro de un intervalo de 5 a 35% en términos de la reducción del área en el momento de llevar a cabo el estirado en frío final, con respecto al tubo de acero inoxidable de dos fases, la resistencia a la fluencia YS (MPa) se puede calcular con base en la proporción de trabajo Rd en el momento de llevar a cabo el estirado en frío final y los contenidos individuales de Cr, Mo y W en la composición química del tubo de acero inoxidable de dos fases en base a la siguiente fórmula (2):

$$YS = 17,2 \times \{Rd + 1,2 \times Cr + 3,0 \times (Mo + 0,5 \times W)\} + 55 \dots (2)$$

en donde YS y Rd significan la resistencia a la fluencia (MPa) y la proporción de trabajo (%) en términos de la reducción del área, respectivamente, y Cr, Mo y W significan los contenidos (% en masa) de los elementos respectivos.

La Figura 2 es un gráfico de los valores de resistencia a la fluencia YS (MPa) realmente obtenidos por una prueba de tracción en contra de los valores obtenidos por medio de la sustitución, en el lado derecho de la fórmula descrita con anterioridad (2), de las composiciones químicas y las relaciones de trabajo Rd (%) en términos de la reducción del área, para los diversos tubos de acero inoxidable de dos fases utilizados en el ejemplo descrito a continuación, en el que la abscisa representa la Rd (%) y la ordenada representa la YS. La Figura 2 muestra que, en lo que se refiere al tubo de acero inoxidable de dos fases, la resistencia a la fluencia del tubo de acero inoxidable de dos fases se puede obtener con una precisión satisfactoria, de acuerdo con la fórmula (2), a partir de la composición química del tubo de acero inoxidable de dos fases y la proporción de trabajo Rd (%) en términos de la reducción del área para el tubo de acero inoxidable de dos fases.

(f) Por consiguiente, para el propósito de obtener un tubo de acero inoxidable de dos fases que tiene una resistencia objetivo, sólo se requiere desarrollar, por el estirado en frío final, la fracción de resistencia a la fluencia exclusiva de la resistencia a la fluencia desarrollada por los componentes de aleación del stock, a saber, por el contenido de Cr, Mo y W. Por lo tanto, para el propósito de alcanzar la resistencia a la fluencia MYS objetivo (grado de 110 a 140 ksi (la resistencia a la fluencia más baja es de 757,3 a 963,8 MPa)), después de la selección de la composición química del tubo de acero inoxidable de dos fases, sólo se requiere llevar a cabo el estirado en frío final con la proporción de trabajo Rd (%) obtenida de la fórmula descrita con anterioridad (2) o la proporción de trabajo más grande que esta proporción de trabajo. En consecuencia, sólo se requiere llevar a cabo el estirado en frío final bajo las condiciones de que la proporción de trabajo Rd, en términos de la reducción del área en el paso final de estirado en frío, se encuentre dentro de un intervalo de 5 a 35% y de manera adicional se cumpla la siguiente fórmula (1):

$$Rd (\%) \geq (MYS - 55)/17,2 - \{1,2 \times Cr + 3,0 \times (Mo + 0,5 \times W)\} \dots (1)$$

en la que Rd y MYS significan la proporción de trabajo (%) en términos de la reducción del área y la resistencia a la fluencia dirigido (MPa), respectivamente, y Cr, Mo y W significan los contenidos (% en masa) de los elementos individuales, respectivamente.

(g) De acuerdo con lo descrito con anterioridad, para el tubo de acero inoxidable de dos fases, sin añadir excesivamente los elementos de aleación, por medio de la selección de las condiciones de estirado en frío finales, se puede alcanzar la resistencia a la fluencia objetivo. En consecuencia, se puede lograr la reducción del costo de la materia prima. Además, por medio de la selección de las condiciones de estirado en frío finales en conformidad con la composición de la aleación del stock, se puede obtener el tubo de acero inoxidable de dos fases que tiene la resistencia objetivo, y por lo tanto se vuelve innecesario llevar a cabo la fusión de un gran número de tipos de aceros inoxidables de dos fases por medio de la variación de la composición de la aleación en función del nivel de resistencia. Por consiguiente, se puede suprimir el exceso de tochos de material.

La presente invención se ha perfeccionado con base en estos nuevos hallazgos, de acuerdo con lo descrito con anterioridad, y la esencia de la presente invención está de acuerdo con lo descrito a continuación.

5 Un método para la producción de un tubo de acero inoxidable de dos fases, que comprende, la preparación de un material de acero inoxidable de dos fases que tiene una composición química que consiste en, en % en masa, C: 0,03% o menos, Si: 0,05% o más y 1% o menos, 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 el resto es Fe e impurezas, para formar un tubo de material por medio del sometimiento a un trabajo en caliente, de manera opcional por medio del sometimiento a un tratamiento térmico de solución sólida, y la realización de un estirado en frío, donde el estirado en frío se caracteriza en que se lleva a cabo en las condiciones de que la proporción de trabajo Rd, en términos de la reducción del área, en el paso de estirado en frío final, está dentro de un intervalo de 5 a 35%, y se cumple la siguiente fórmula (1):

$$Rd (\%) \geq (MYS - 55)/17,2 - \{1,2 \times Cr + 3,0 \times (Mo + 0,5 \times W)\} \dots (1)$$

10 en la que Rd y MYS significan la proporción de trabajo (%) en términos de la reducción del área y la resistencia a la fluencia dirigido (MPa), respectivamente, y Cr, Mo y W significan los contenidos (% en masa) de los elementos individuales, respectivamente.

### Ventaja de la invención

15 De acuerdo con la presente invención, se puede producir un tubo de acero inoxidable de dos fases que no sólo tiene una resistencia a la corrosión requerida para los tubos de pozos de petróleo utilizados en pozos profundos o en ambientes corrosivos severos sino que también tiene una resistencia objetivo, sin añadir excesivamente componentes de aleación, por medio de la selección de las condiciones de estirado en frío finales.

### Mejor modo de llevar a cabo la invención

20 A continuación, se hace una descripción de las razones para limitar la composición química del acero inoxidable de dos fases utilizado en el método para la producción de un tubo de acero inoxidable de dos fases de acuerdo con la presente invención. En este caso, se ha de señalar que "%" en los contenidos de elementos individuales representa "% en masa".

C: 0,03% o menos

25 C es un elemento que tiene un efecto de mejorar la resistencia por medio de la estabilización de la fase de austenita, y también tiene un efecto para obtener una microestructura por medio de la precipitación de carburos en el momento del incremento de temperatura en el tratamiento térmico. Sin embargo, cuando el contenido de C excede 0,03%, la precipitación de los carburos se torna excesiva debido a los efectos térmicos en el momento de un tratamiento térmico o soldadura, y por lo tanto la resistencia a la corrosión y la trabajabilidad del acero se deterioran. En consecuencia, el límite superior del contenido de C se fija en 0,03%. Un límite superior preferible es de 0,02%.

30 Si: 1% o menos

35 Si es un elemento que es eficaz como desoxidante, y también tiene un efecto para obtener una microestructura por medio de la precipitación de un compuesto intermetálico en el momento de incremento de la temperatura en el tratamiento térmico, y por lo tanto Si puede estar contenido si es necesario. Estos efectos se obtienen por el contenido de Si de 0,05% o más. Sin embargo, cuando el contenido de Si excede el 1%, la precipitación del compuesto intermetálico se torna excesiva debido a los efectos térmicos en el momento de un tratamiento térmico o soldadura, y por lo tanto la resistencia a la corrosión y la trabajabilidad del acero se deterioran. En consecuencia, el contenido de Si se establece en 1% o menos. Un intervalo preferido del contenido de Si es 0,7% o menos.

Mn: de 0,1 a 2%

40 Mn es un elemento que es efectivo como desoxidante similar al Si de acuerdo con lo descrito con anterioridad, y también corrige el S que está inevitablemente contenido en el acero, como un sulfuro para mejorar la trabajabilidad en caliente. El efecto de Mn se obtiene con el contenido de Mn de 0,1% o más. Sin embargo, cuando el contenido de Mn supera el 2%, la trabajabilidad en caliente se deteriora, y también la resistencia a la corrosión se ve afectada de manera negativa. En consecuencia, el contenido de Mn se establece en 0,1 a 2%. Un intervalo preferido del contenido de Mn es de 0,3 a 1,5%.

45 Cr: de 20 a 35%

50 Cr es un componente fundamental que es eficaz en el mantenimiento de la resistencia a la corrosión y la mejora de la resistencia. Con el fin de alcanzar estos efectos, es necesario ajustar el contenido de Cr en 20% o más. Sin embargo, cuando el contenido de Cr es superior a 35%, la fase  $\sigma$  tiende a precipitar, y tanto la resistencia a la corrosión como la dureza se deterioran. En consecuencia, el contenido de Cr se fija en 20 a 35%. Para el propósito de obtener una mayor resistencia, el contenido de Cr con preferencia es 23% o más. Por otro lado, desde el punto de vista de la tenacidad, el contenido de Cr con preferencia es 28% o menos.

Ni: de 3 a 10%

Ni es un elemento que está contenido para estabilizar la fase de austenita y para obtener una microestructura de dos

fases. Cuando el contenido de Ni es de menos de 3%, la fase ferrítica predomina y no se obtiene una microestructura de dos fases. Por otro lado, cuando el contenido de Ni supera el 10%, predomina la austenita y no se obtiene una microestructura de dos fases, y también se deteriora la economía porque Ni es un elemento costoso, y por lo tanto el contenido de Ni se establece en 3 a 10%. Se prefiere establecer el límite superior del contenido de Ni en 8%.

5

Mo: de 0 a 4% (0% está incluido)

Mo es un elemento que mejora la resistencia a los hoyos y la resistencia a la corrosión de grietas, y también mejora la resistencia a través del fortalecimiento por solución sólida, y por lo tanto Mo puede estar contenido si es necesario. Cuando se pretende obtener el efecto de Mo, Mo con preferencia está contenido en un contenido de 0,5% o más. Por otra parte, cuando Mo está contenido en exceso, la fase  $\sigma$  tiende a precipitar y la tenacidad se deteriora. En consecuencia, el contenido de Mo con preferencia se fija en 0,5 a 4%.

10

W: de 0 a 6% (0% está incluido)

W es un elemento que, similar a Mo, mejora la resistencia a los hoyos y la resistencia a la corrosión de grietas, y también mejora la resistencia a través del fortalecimiento por solución sólida, y por lo tanto W puede estar contenido si es necesario. Cuando se pretende obtener el efecto de W, W con preferencia está contenido en un contenido de 0,5% o más. Por otra parte, cuando Mo está contenido en exceso, la fase  $\sigma$  tiende a precipitar y la tenacidad se deteriora. En consecuencia, el contenido de W con preferencia se fija en 0,5 a 6%.

15

Se ha de notar que no es necesario contener cualquiera de Mo y W; sin embargo, uno o ambos de Mo: de 0,5 a 4% y W: de 0,5 a 6% pueden estar contenidos.

20

Cu: de 0 a 3% (0% está incluido)

Cu es un elemento que mejora la resistencia a la corrosión y la resistencia a la corrosión del límite de grano, y Cu puede estar contenido si es necesario. Cuando se pretende obtener el efecto de Cu, Cu con preferencia está contenido en un contenido de 0,1% o más, con mayor preferencia, 0,3% o más. Sin embargo, cuando el contenido de Cu supera el 3%, el efecto de Cu se satura, y la trabajabilidad en caliente y la tenacidad se deterioran de manera adversa. En consecuencia, cuando Cu está contenido, el contenido de Cu con preferencia se fija en 0,1 a 3%, con mayor preferencia, de 0,3 a 2%.

25

N: de 0,15 a 0,35%

N es un elemento que mejora la estabilidad de la austenita, y al mismo tiempo incrementa la resistencia por picaduras y la resistencia a la corrosión de grietas del acero inoxidable de dos fases. N, similar a C, tiene un efecto para estabilizar la fase de austenita y mejorar la resistencia, y por lo tanto N es un elemento importante para la presente invención que alcanza una alta resistencia. Cuando el contenido de N es menor que 0,15%, no se obtiene un efecto suficiente de N. Por otro lado, cuando el contenido de N supera el 0,35%, la tenacidad y la trabajabilidad en caliente se deterioran y, por consiguiente, el contenido de N se fija de 0,15 a 0,35%. Para el propósito de obtener una mayor resistencia, el contenido de N con preferencia excede 0,17%. El contenido más preferible de N es de 0,2 a 0,3%.

30

35

Por otra parte, con base en los motivos descritos a continuación, P, S y O contenidos como las impurezas se limitan con preferencia en una manera tal que P: 0,04% o menos, S: 0,03% o menos y O: 0,010% o menos.

P: 0,04% o menos

P está contenido como una impureza. Cuando el contenido de P excede 0,04%, la trabajabilidad en caliente se deteriora, y la resistencia a la corrosión y la dureza también se deterioran. En consecuencia, el límite superior del contenido de P con preferencia se fija en 0,04%.

40

S: 0,03% o menos

S está contenido como una impureza, similar a P de acuerdo con lo descrito con anterioridad. Cuando el contenido de S supera el 0,03%, la trabajabilidad en caliente se deteriora notablemente, y también, los sulfuros funcionan como los puntos de partida de la aparición de hoyos para deteriorar la resistencia a los hoyos. En consecuencia, el límite superior del contenido de S con preferencia se fija en 0,03%.

45

O: 0,010% o menos

En la presente invención, la trabajabilidad en caliente tiende a deteriorarse debido a que N está contenido en una cantidad tan grande como 0,15 a 0,35%. Por lo tanto, el contenido de O con preferencia se fija en 0,010% o menos.

50

El acero inoxidable de dos fases de acuerdo con la presente invención puede contener además uno o más de Ca, Mg y los elementos de tierras raras (REM, por su sigla en inglés), además de los elementos descritos con anterioridad. Las razones para permitir estos elementos y los contenidos permitidos de estos elementos son los

siguientes.

Uno o más de Ca: 0,01% o menos, Mg: 0,01% o menos y los elementos de tierras raras: 0,2% o menos.

Estos componentes pueden estar contenidos si es necesario. Cuando están contenidos, cualquiera de estos componentes fija S que perturba la trabajabilidad en caliente, tal como un sulfuro, y por lo tanto tiene un efecto de mejorar la trabajabilidad en caliente. Sin embargo, cuando el contenido de cualquiera de Ca y Mg excede el 0,01%, y el contenido de los REM excede de 0,2%, se producen óxidos secundarios, y se provoca el deterioro de la trabajabilidad en caliente. Por consiguiente, cuando están contenidos estos elementos, los límites superiores de estos elementos son 0,01% para Ca y Mg, y 0,2% para REM, respectivamente. Se ha de notar que para el propósito de desarrollar ciertamente el efecto de mejora de la trabajabilidad en caliente, se prefiere que contenga Ca y Mg en un contenido de 0,0005% o más y REM en un contenido de 0,001% o más. En la presente memoria, los REM significan los 17 elementos que son los 15 elementos lantánidos e Y y Se.

El tubo de acero inoxidable de dos fases de la presente invención contiene los elementos esenciales descritos con anterioridad y de manera adicional los elementos opcionales descritos con anterioridad, el resto es Fe y las impurezas, y se puede producir por medio del equipo de producción y el método de producción utilizado para la producción comercial habitual. Por ejemplo, para la fusión del acero inoxidable de dos fases, se puede utilizar un horno eléctrico, un horno de descarburación de soplado de gas de fondo mezclado Ar-O<sub>2</sub> (horno AOD), un horno de descarburación al vacío (horno VOD) o similares. El acero fundido obtenido por fusión se puede colar en lingotes, o se puede moldear en tochos de varilla por medio de un método de colada continua. Por el uso de estos tochos, con un método de producción de tubos de extrusión tal como el método de Ugine-Sejournet o con trabajo en caliente tal como el método de producción de tubos de Mannesmann, se puede producir un tubo de material para el estirado en frío del acero inoxidable de dos fases. El tubo de material sometido a la conformación en caliente se forma en un tubo de producto que tiene una resistencia a la prevista por medio de estirado en frío.

También, la presente invención define la proporción de trabajo en el momento de la extracción en frío final. El tubo de material para la laminación en frío se somete al trabajo en caliente, y, si es necesario, se puede someter además a un tratamiento térmico de solución sólida, y después de ello se puede llevar a cabo una descalcificación para la eliminación de las escamas en la superficie del tubo, y de este modo se puede producir un tubo de acero inoxidable de dos fases que tiene una resistencia deseada por una ejecución de estirado en frío. De manera alternativa, una o más ejecuciones de estirado en frío intermedio y un tratamiento térmico de solución sólida se pueden llevar a cabo, y el estirado en frío final se puede llevar a cabo después de la descalcificación. Por medio de la realización de un estirado en frío intermedio, la proporción de trabajo en el estirado en frío final se controla con facilidad, y, en comparación con el caso en el que se aplica el estirado en frío en el estado de haber sido sometido a trabajo en caliente, se puede obtener un tubo que tiene una dimensión de tubo de mayor precisión por medio del estirado en frío final.

#### Ejemplo 1

En primer lugar, los aceros inoxidables de dos fases que tienen las composiciones químicas mostradas en la Tabla 1 se fundieron con un horno eléctrico, y se regularon con respecto a los componentes de manera tal que tuvieran aproximadamente las composiciones químicas destinadas, y a partir de entonces, la fusión se llevó a cabo por un método en el que se utilizaron un horno de AOD, un tratamiento de descarburación y un tratamiento de desulfuración. Cada uno de los aceros fundidos obtenidos colocó en un lingote que tiene un peso de 1500 kg y un diámetro de 500 mm. A continuación, el lingote se cortó a una longitud de 1000 mm para producir un tocho para su uso en la producción de tubos de extrusión. A continuación, por el uso de este tocho, un tubo de material para el estirado en frío se formó por el método de producción de tubos de extrusión en caliente basados en el método de Ugine-Sejournet.

Tabla 1

| Prueba Núm. | Composiciones químicas (% en masa, el resto es Fe e impurezas) |      |      |       |        |       |      |      |      |      |       |
|-------------|--|------|------|-------|--------|-------|------|------|------|------|-------|
|             | C  | Si   | Mn   | P     | S      | Cr    | Ni   | Mo   | W    | Cu   | N     |
| 1           | 0,014  | 0,31 | 0,49 | 0,025 | 0,0005 | 25,15 | 6,69 | 3,08 | 2,12 | 0,48 | 0,285 |
| 2           | 0,016  | 0,33 | 0,47 | 0,019 | 0,0005 | 24,72 | 6,55 | 3,08 | 2,13 | 0,46 | 0,275 |
| 3           | 0,016  | 0,33 | 0,47 | 0,019 | 0,0005 | 24,72 | 6,55 | 3,08 | 2,13 | 0,46 | 0,275 |
| 4           | 0,016  | 0,30 | 0,47 | 0,024 | 0,0006 | 25,09 | 6,72 | 3,07 | 2,10 | 0,49 | 0,296 |
| 5           | 0,020  | 0,45 | 0,73 | 0,026 | 0,0003 | 25,28 | 6,25 | 3,04 | 0,18 | 0,42 | 0,230 |
| 6           | 0,020  | 0,40 | 0,65 | 0,030 | 0,0003 | 25,00 | 6,40 | 3,10 | 0,15 | 0,50 | 0,230 |
| 7           | 0,020  | 0,40 | 0,65 | 0,030 | 0,0003 | 25,00 | 6,40 | 3,08 | 0,15 | 0,50 | 0,230 |
| 8           | 0,020  | 0,40 | 0,65 | 0,030 | 0,0003 | 25,11 | 6,40 | 3,12 | 0,15 | 0,50 | 0,230 |
| 9           | 0,024  | 0,47 | 1,13 | 0,023 | 0,0003 | 22,14 | 5,09 | 3,11 | 0,12 | 0,19 | 0,177 |

## ES 2 658 770 T3

|    |       |      |      |       |        |       |      |      |      |      |       |
|----|-------|------|------|-------|--------|-------|------|------|------|------|-------|
| 10 | 0,023 | 0,40 | 1,20 | 0,028 | 0,0005 | 22,50 | 5,10 | 3,20 | 0,12 | 0,20 | 0,175 |
| 11 | 0,023 | 0,40 | 1,20 | 0,028 | 0,0005 | 22,46 | 5,10 | 3,18 | 0,12 | 0,20 | 0,175 |
| 12 | 0,023 | 0,40 | 1,20 | 0,028 | 0,0005 | 22,50 | 5,10 | 3,20 | 0,12 | 0,20 | 0,175 |

5 El tubo de material obtenido para el estirado en frío se sometió a un estirado intermedio, y después de ello se sometió a un tratamiento térmico de la solución bajo las condiciones que la refrigeración por agua se llevó a cabo después de haber sido mantenida a 1050 a 1120 °C durante 2 minutos o más. A partir de entonces, la proporción de trabajo Rd (%) en términos de la reducción del área se varió de manera tal que tuviera valores diferentes de acuerdo con lo mostrado en la Tabla 2, y además se llevó a cabo el estirado en frío final basado en el método de estirado por medio de un tapón y un dado, y de este modo se obtuvo un tubo de acero inoxidable de dos fases. Se ha de notar que antes de que se llevara a cabo el estirado en frío final, se aplicó un granallado a la tubería, y por lo tanto se eliminaron las escamas en la superficie. Las dimensiones (el diámetro exterior en mm x el espesor de la pared en mm) de cada uno de los tubos antes y después del estirado en frío final se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

| Prueba<br>Núm. | Dimensiones antes del estirado en frío (dimensión externa mm x dimensión interna mm) | Dimensiones después del estirado en frío (dimensión externa mm x dimensión interna mm) | Rd (%) | Lado derecho de la fórmula (2) (MPa) | Valor observado |          |
|----------------|--|--|--------|--------------------------------------|-----------------|----------|
|                |  |  |        |                                      | YS (MPa)        | TS (MPa) |
| 1              | 198,5 x 26,15  | 188,4 x 25,4   | 8,0    | 925,3                                | 929,4           | 1039,5   |
| 2              | 188,0 x 10,9   | 178,5 x 10,4   | 9,0    | 933,9                                | 929,4           | 1039,5   |
| 3              | 95,0 x 7,1   | 89,3 x 6,4   | 15,0   | 1037,1                               | 1053,3          | 1104,9   |
| 4              | 79,0 x 8,25  | 73,4 x 7,0   | 20,4   | 1136,3                               | 1133,2          | 1 163,5  |
| 5              | 205,0 x 11,7   | 194,6 x 10,9   | 11,5   | 936,1                                | 936,3           | 970,7    |
| 6              | 157,0 x 21,1   | 145,6 x 19,8   | 13,0   | 958,4                                | 970,7           | 1050,6   |
| 7              | 95,0 x 14,1  | 83,5 x 12,3  | 23,0   | 1129,4                               | 1122,2          | 1 184,1  |
| 8              | 168,0 x 12,6   | 158,0 x 21,4   | 11,0   | 927,3                                | 943,2           | 1018,9   |
| 9              | 187,0 x 10,7   | 178,5 x 10,3   | 8,0    | 813,1                                | 812,4           | 881,2    |
| 10             | 109,0 x 15,4   | 100,9 x 14,4   | 14,0   | 928,4                                | 945,9           | 1029,2   |
| 11             | 101,0 x 7,6  | 89,3 x 6,6   | 23,0   | 1081,4                               | 1074,0          | 1115,3   |
| 12             | 141,0 x 18,5   | 129,4 x 16,8   | 16,5   | 971,4                                | 981,0           | 1039,5   |

15 A partir de ese entonces, a partir de los tubos de acero inoxidable de dos fases obtenidos, se tomaron muestras de los especímenes de prueba de tracción en forma de arco en la dirección del eje del tubo, y se sometieron a una prueba de tracción. Los valores observados como resultado de la prueba, a saber, los valores de la resistencia a la fluencia YS (MPa) (0,2% de resistencia a la fluencia) y los valores de la resistencia a la tracción TS (MPa) en la prueba de tracción se muestran en la Tabla 2 junto con los valores numéricos basados en el lado derecho de la fórmula (2).

### Aplicabilidad industrial

20 Los resultados están de acuerdo con lo descrito con anterioridad, y por lo tanto, de acuerdo con la presente invención, se puede producir un tubo de acero inoxidable de dos fases que no sólo tiene una resistencia a la corrosión que se requiere para los tubos de pozos de petróleo utilizados en pozos profundos o en ambientes corrosivos severos, sino que también tiene una resistencia objetivo, sin añadir excesivamente componentes de aleación, por medio de la selección de condiciones de estirado en frío finales.

### 25 Breve descripción de las figuras

La Figura 1 es un gráfico de valores de resistencia a la fluencia YS (MPa) obtenidos en una prueba de tracción en contra de los valores de la proporción de trabajo Rd (%) en términos de la reducción del área, para tubos de acero inoxidable de dos fases; y

La Figura 2 es un gráfico de valores de resistencia a la fluencia YS (MPa) obtenidos por medio de una prueba de

tracción en contra de los valores obtenidos por medio de la sustitución, en el lado derecho de la fórmula descrita con anterioridad (2), las composiciones químicas y las relaciones de trabajo  $R_d$  (%) en términos de la reducción del área, para los tubos de acero inoxidable de dos fases, en el que la abscisa representa la  $R_d$  (%) y la ordenada representa la  $Y_S$ .

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para la producción de un tubo de acero inoxidable de dos fases, que comprende:

5 preparar un material de acero inoxidable de dos fases que tiene una composición química que consiste en, en % en masa, C: 0,03% o menos, Si: 0,05% o más y 1% o menos, Mn: de 0,1 a 2%, Cr: de 20 a 35%, Ni: de 3 a 10%, Mo: de 0,5 a 4%, W: de 0,5 a 6%, Cu: de 0 a 3% y N: de 0,15 a 0,35%, siendo el resto Fe e impurezas,

formar un tubo de material por medio del sometimiento a un trabajo en caliente, de manera opcional por medio del sometimiento a un tratamiento térmico de solución sólida,

y realizar un estirado en frío,

10 donde el estirado en frío se caracteriza por que se lleva a cabo en las condiciones tales que la proporción de trabajo Rd, en términos de la reducción del área, en la etapa de estirado en frío final está dentro de un intervalo de 5 a 35%, y se satisface la siguiente fórmula (1):

$$Rd (\%) \geq (MYS - 55)/17,2 - \{1,2 \times Cr + 3,0 \times (Mo + 0,5 \times W)\} \dots (1)$$

15 en la que Rd y MYS significan la proporción de trabajo (%) en términos de la reducción del área y la resistencia a la fluencia dirigida (MPa), respectivamente, y Cr, Mo y W significan los contenidos (% en masa) de los elementos individuales, respectivamente.

Fig. 1

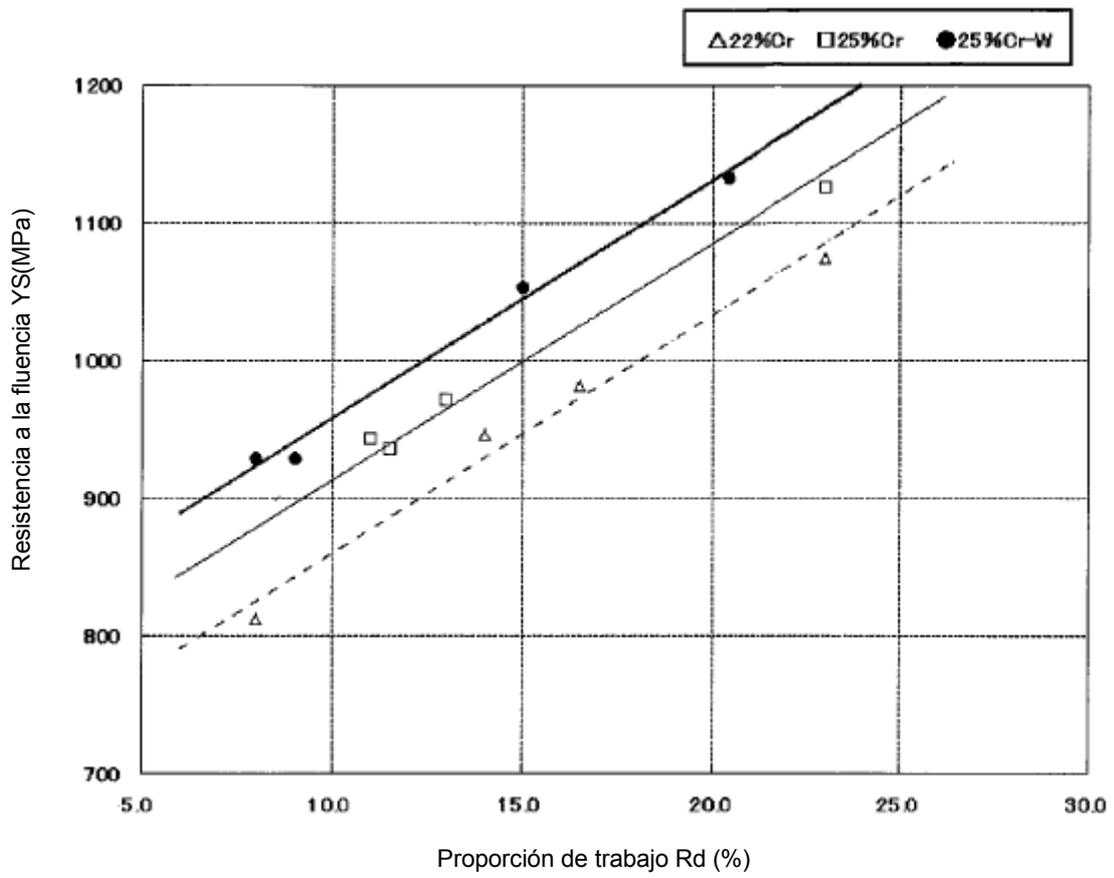
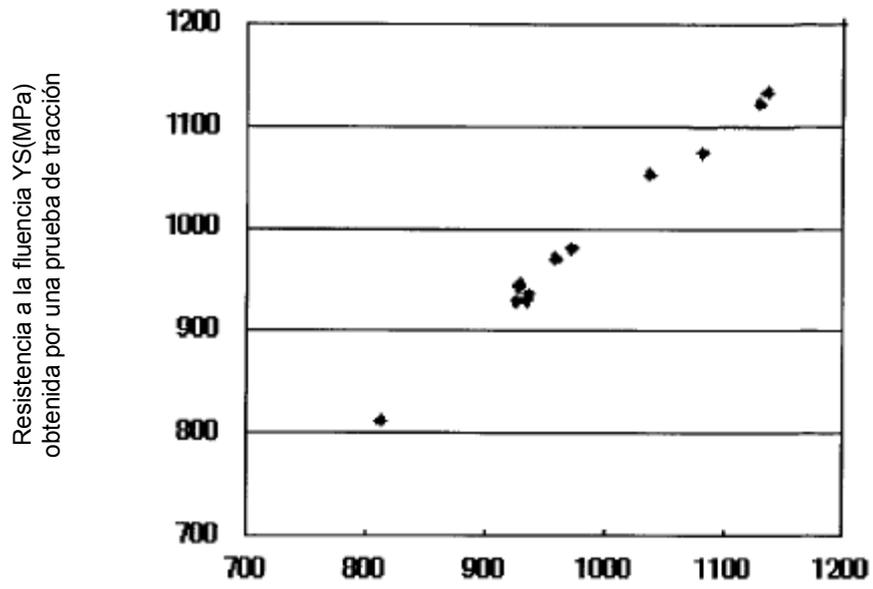


Fig. 2



Lado derecho de la fórmula (2)

$$= 17,2 \times \{Rd + 1,2 \times Cr + 3,0 \times (Mo + 0,5 \times W)\} + 55$$