

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 759 371**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00	(2006.01)
C21D 9/08	(2006.01)
C22C 38/06	(2006.01)
C22C 38/58	(2006.01)
C21D 8/10	(2006.01)
C21D 11/00	(2006.01)
C21D 1/56	(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: **16.09.2008 PCT/JP2008/066624**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **07.05.2009 WO09057390**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.09.2008 E 08845796 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2019 EP 2221392**

54 Título: **Pilote de acero que tiene excelentes propiedades de agrandamiento y método para la producción del mismo**

30 Prioridad:

30.10.2007 JP 2007281613

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.05.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**KONDO, KUNIO y
ARAI, YUJI**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 759 371 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

Pilote de acero que tiene excelentes propiedades de agrandamiento y método para la producción del mismo

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a, por ejemplo, un tubo de acero que se usa para el taladrado de un pozo de petróleo o un pozo de gas y se expande en el pozo y un método para la producción del mismo.

10 Antecedentes de la técnica

En un pozo para la canalización del petróleo o gas procedente de un yacimiento petrolífero o un yacimiento gasífero, el revestimiento para prevenir el derrumbamiento de una pared de lado durante/después del taladrado normalmente tiene una estructura anidada y múltiples revestimientos se anidan en la parte cercana a la superficie de tierra. En el caso de la estructura de revestimientos anidados, se ha de taladrar una gran pared interior correspondiente al revestimiento externo, lo que conduce a un alto coste. En los últimos años, con el fin de resolver el problema descrito anteriormente, la tecnología de revestimiento expandible, que es la expansión del revestimiento en el pozo. De acuerdo con esta técnica, resulta posible completar el pozo mediante el taladrado de pozos de menor diámetro, en comparación con el método convencional, lo que conduce a la posibilidad de una reducción marcada del coste.

Sin embargo, en el caso de la construcción de pozo usando un pozo con diámetro uniforme desde la parte superior hasta la parte inferior, se necesita una relación grande considerable de expansión del tubo, lo que conduce a problemas, tales como una parte grande doblada o perforada debido al estrechamiento local del tubo. Esto ha sido un obstáculo para la aplicación práctica de este método. En cuanto al tubo de acero con un alto rendimiento de expansión, se han desvelado las siguientes patentes.

El Documento de patente 1 desvela un tubo de acero sin costura para un pozo de petróleo con excelente capacidad de expansión, que se caracteriza por una composición química dada con el fin de mantener la fase de austenita residual de más del o igual al 5 % en fracción de volumen.

El Documento de patente 2 desvela un tubo de acero sin costura para un pozo de petróleo, que se caracteriza por una composición química dada y también por la relación entre los contenidos de Mn, Cr y Mo y la relación de los contenidos entre C, Si, Mn, Cr y Mo.

[Documento de patente 1] JP 2006-9078 A
[Documento de patente 2] JP 2005-146414 A

El documento EP-A1-0.924.312 desvela un tubo de acero de base que contiene, en peso, del 0,005 al 0,30 % de C, del 0,01 al 3,0 % de Si, del 0,01 al 2,0 % de Mn, del 0,001 al 0,10 % de Al y un resto de Fe con impurezas inevitables.

El documento EP-A1-0.940.476 desvela un producto de acero que tiene una estructura compuesta principalmente de ferrita o ferrita más perlita o ferrita más cementita. Un tubo de acero producido a partir de este producto de acero mediante laminación a una temperatura de recristalización de ferrita de tal manera que la reducción del área sea mayor del 20 %. Este tubo de acero se caracteriza por un tamaño de grano no mayor de 3 μ m, preferentemente no mayor de 1 μ m, un alargamiento mayor del 20 %, una resistencia a la tracción (TS: MPa) y un alargamiento (El: %) cuyo producto es mayor de 10.000 y un porcentaje de fractura dúctil mayor del 95 %, preferentemente del 100 %, medido mediante el ensayo de impacto Charpy en un tubo real a -100 °C. La estructura se caracteriza por C: el 0,005-0,03 %, Si: el 0,01-3,0 %, Mn: el 0,01-2,0 % y Al: el 0,001-0,10 % sobre una base en peso y se compone de ferrita o ferrita y una fase secundaria, siendo los granos de ferrita no mayores de 3 μ m y teniendo la fase secundaria una relación de área de no más del 30 %.

El documento JP 2005-015823 desvela un tubo de acero de alta resistencia para una tubería que tiene una excelente capacidad de deformación, la relación entre el límite elástico YS_L en la dirección longitudinal del tubo de acero y el límite elástico YS_C en la dirección circunferencial, YS_L/YS_C , es del 70 al 95 %. El tubo de acero comprende cantidades adecuadas de C, Si, Mn, P, S, Nb, Ti y N con el 0,1 % o menos de Al y, además, comprende uno o más tipos de metales seleccionados de Ni, Mo, Cr, Cu, V, B, Ca, metales de tierras raras y Mg. El tubo de acero tiene una microestructura que consiste entre el 30 y el 80 % de ferrita en una relación de área y el resto de martensita y/o bainita. En el método de producción, una plancha se calienta hasta >850 °C, se lamina en caliente, se enfría al aire hasta <500 °C, posteriormente, se recalienta hasta entre 740 y 850 °C y se enfría hasta <400 °C a >10 °C/s. El tubo se puede expandir entre el 0,8 y el 3 %.

El documento EP-A1-0.586.704 desvela una lámina de acero de alta resistencia laminada en caliente de alto límite de elasticidad que es excelente en cuanto a la capacidad de formación y capacidad de soldadura por puntos y contiene al menos el 5 % de austenita retenida y un proceso para la producción de la misma. Una lámina de acero de alta resistencia laminada en caliente de alto límite de elasticidad que contiene, como componentes principales, del 0,05 a menos del 0,16 % en peso o del 0,16 a menos del 0,30 % en peso de carbono, del 0,5 al 3,0 % en peso de silicio, del

0,5 al 3,0 % en peso de manganeso, más de entre el 1,5 y el 6,0 % en peso de silicio y manganeso en total, el 0,02 % en peso o menos de fósforo, el 0,01 % en peso o menos de azufre, del 0,005 al 0,10 % en peso de aluminio y hierro y tiene una microestructura constituida por tres fases de ferrita, bainita y austenita retenida, una relación del factor de espacio (V_F) de ferrita respecto al diámetro de grano (d_F) de la misma de 20 o superior (o de 7 o superior cuando el contenido de carbono es del 0,16 a menos del 0,30 % en peso), un factor de espacio de la austenita retenida con un tamaño de grano de 2 μm o menos del 5 % o más, un límite de elasticidad (YR) del 60 % o más, un equilibrio de resistencia-ductilidad (resistencia a la tracción por alargamiento total) de aproximadamente 19.613 MPa (2.000 kgf/mm²) o superior, una relación de expansión de orificio (d/do) de 1,4 o superior (o de 1,1 o superior cuando el contenido de carbono es del 0,16 a menos del 0,30 % en peso) y un alargamiento uniforme del 15 % o más (o del 10 % o más cuando el contenido de carbono es del 0,16 a menos del 0,30 % en peso).

El documento US 5.470.529 desvela el efecto del Al sobre la estabilización de la austenita retenida.

Divulgación de la invención

15 Problemas a resolver por la invención

Ambos Documentos de patente 1 y 2 desvelan tecnologías de tubos de acero considerando la capacidad de expansión del tubo. Sin embargo, los ejemplos de las patentes desvelan materiales con como máximo el 21 % de alargamiento uniforme a un nivel de resistencia a la tracción de 700 a 800 MPa, pero no mostraron un rendimiento suficiente de la expansión del tubo.

Por tanto, los presentes inventores han investigado la creación de materiales con un gran alargamiento uniforme, sobre la base del conocimiento de que resulta importante aumentar el alargamiento uniforme de los materiales con el fin de lograr una capacidad de expansión mucho mejor. Como resultado, se ha hallado que el alargamiento uniforme del acero endurecido por laminación en frío de martensita, que se ha usado principalmente para un tubo de acero sin costura para un pozo de petróleo, es deficiente en general. Un estudio adicional de los presentes inventores y compañeros de trabajo reveló que el alargamiento uniforme deficiente se origina en la estructura endurecida por laminación en frío de martensita que consiste en una fase individual ferrítica. Por lo tanto, los presentes inventores investigaron los efectos de la estructura metalográfica del alargamiento uniforme y obtuvieron la siguiente información.

(a) Se obtiene una estructura uniforme de martensita mediante templado, que ha sido un método predominante de tratamiento térmico para la producción del tubo de acero sin costura para un pozo de petróleo, y, a continuación, la estructura cambia a una fase individual ferrítica mediante el endurecimiento por laminación en frío posterior. De esta manera, este método tiene una insuficiencia, desde el punto de vista del alargamiento uniforme.

(b) Cuando un tubo sin costura para un pozo de petróleo se enfrió al aire después del calentamiento a la temperatura de templado, la microestructura observada consistió en una estructura mixta de ferrita/perlita y el alargamiento uniforme se mejoró mucho en comparación con el mismo nivel de resistencia. Este resultado muestra que el alargamiento uniforme es mejor en el caso de la estructura mixta de ferrita más blanda y perlita más dura que en el caso de una microestructura de fase individual.

(c) Sin embargo, resulta difícil hallar una resistencia y tenacidad suficientes, que se requieren para un tubo de pozo de petróleo en el caso de la estructura mixta de ferrita y perlita.

El objetivo de la presente invención es proporcionar un tubo de acero, que tenga una resistencia a la tracción superior o igual a 600 MPa y una excelente capacidad de expansión, de tal manera que ninguna parte grande doblada o perforada debido al estrechamiento local del tubo no se pueda formar incluso cuando el tubo se expanda a una relación de expansión alta. Asimismo, otro objetivo de la presente invención es proporcionar un método para la producción de tales tubos de acero.

Medios para la resolución de los problemas

Los presentes inventores y compañeros de trabajo se han concentrado en este tema desde los puntos de vista de la composición química, la temperatura de tratamiento térmico, la velocidad de enfriamiento, el patrón de enfriamiento y similares y han completado la presente invención.

La sustancia de la presente invención consiste en un tubo de acero con un rendimiento de expansión de tubo superior, tal como se describe en los siguientes [1] a [7], y un método para la producción de un tubo de acero con un rendimiento de expansión de tubo superior, tal como se describe en los siguientes [8] a [10].

[1] Un tubo de acero con excelente capacidad de expansión, que tiene una composición de acero que comprende, en % en masa, C: del 0,1 al 0,45 %, Si: del 0,3 al 3,5 %, Mn: del 0,5 al 5 %, P: menos del o igual al 0,03 %, S: menos del o igual al 0,01 %, Al soluble: del 0,2 al 0,8 %, N: menos del o igual al 0,05 %, O: menos del o igual al 0,01 % y, opcionalmente, al menos un elemento seleccionado de al menos uno de los Grupos (A) a (E) especificados a continuación y el resto que es Fe e impurezas, en donde el acero tiene una microestructura mixta que comprende ferrita y uno o más seleccionados de perlita, bainita y martensita finas y el acero tiene una resistencia a la tracción de 600 MPa o más y un alargamiento uniforme que cumple la siguiente Fórmula (1):

ES 2 759 371 T3

$$u_{rel} \geq 28 - 0,0075TS \text{ ----- (1),}$$

en donde u_{rel} significa alargamiento uniforme (%) y TS significa resistencia a la tracción (MPa):

- 5 en donde el Grupo (A) de elementos es; Cr: menos del o igual al 1,5 % y Cu: menos del o igual al 3,0 %;
en donde el Grupo (B) de elementos es; Mo: menos del o igual al 1 %;
en donde el Grupo (C) de elementos es; Ni: menos del o igual al 2 %;
10 en donde el Grupo (D) de elementos es; Ti: menos del o igual al 0,3 %, Nb: menos del o igual al 0,3 %, V:
menos del o igual al 0,3 %, Zr: menos del o igual al 0,3 % y B: menos del o igual al 0,01 %;
en donde el Grupo (E) de elementos es: Ca: menos del o igual al 0,01 %, Mg: menos del o igual al 0,01 % y
REM: menos del o igual al 1,0 %.

[2] El tubo de acero con excelente capacidad de expansión descrito en el anterior [1], en donde el tubo de acero
15 tiene un alargamiento uniforme que cumple la siguiente Fórmula (2).

$$u_{rel} \geq 29,5 - 0,0075TS \text{ ----- (2),}$$

en donde u_{rel} significa alargamiento uniforme (%) y TS significa resistencia a la tracción (MPa).

- 20 [3] Un método para la producción de un tubo de acero que tiene una excelente capacidad de expansión, que
comprende las etapas de:

- 25 (a) calentar el tubo de acero que tiene una composición de acero que comprende, en % en masa, C: del 0,1 al
0,45 %, Si: del 0,3 al 3,5 %, Mn: del 0,5 al 5 %, P: menos del o igual al 0,03 %, S: menos del o igual al 0,01 %,
Al soluble: del 0,2 al 0,8 %, N: menos del o igual al 0,05 %, O: menos del o igual al 0,01 % y, opcionalmente,
al menos un elemento seleccionado de al menos uno de los Grupos (A) a (E) especificados a continuación y el
resto que es Fe e impurezas,
en donde el Grupo (A) de elementos es; Cr: menos del o igual al 1,5 % y Cu: menos del o igual al 3,0 %; en
donde el Grupo (B) de elementos es; Mo: menos del o igual al 1 %; en donde el Grupo (C) de elementos es;
Ni: menos del o igual al 2 %;
30 en donde el Grupo (D) de elementos es; Ti: menos del o igual al 0,3 %, Nb: menos del o igual al 0,3 %, V:
menos del o igual al 0,3 %, Zr: menos del o igual al 0,3 % y B: menos del o igual al 0,01 %;
en donde el Grupo (E) de elementos es: Ca: menos del o igual al 0,01 %, Mg: menos del o igual al 0,01 % y
REM: menos del o igual al 1,0 %,
35 hasta una temperatura de 700 a 790 °C, y
(b) enfriar a presión el tubo de acero hasta una temperatura inferior o igual a 100 °C, en donde el tubo de acero
se enfría a presión con una velocidad de enfriamiento mayor de o igual a 100 °C/min a una temperatura que
varía de 700 a 500 °C.

- 40 [4] Un método para la producción de un tubo de acero que tiene una excelente capacidad de expansión, que
comprende las etapas de:

- 45 (a) calentar el tubo de acero que tiene una composición de acero que comprende, en % en masa, C: del 0,1 al
0,45 %, Si: del 0,3 al 3,5 %, Mn: del 0,5 al 5 %, P: menos del o igual al 0,03 %, S: menos del o igual al 0,01 %,
Al soluble: del 0,2 al 0,8 %, N: menos del o igual al 0,05 %, O: menos del o igual al 0,01 % y, opcionalmente,
al menos un elemento seleccionado de al menos uno de los Grupos (A) a (E) especificados a continuación y el
resto que es Fe e impurezas, en donde el Grupo (A) de elementos es; Cr: menos del o igual al 1,5 % y Cu:
menos del o igual al 3,0 %; en donde el Grupo (B) de elementos es; Mo: menos del o igual al 1 %; en donde el
Grupo (C) de elementos es; Ni: menos del o igual al 2 %;
50 en donde el Grupo (D) de elementos es; Ti: menos del o igual al 0,3 %, Nb: menos del o igual al 0,3 %, V:
menos del o igual al 0,3 %, Zr: menos del o igual al 0,3 % y B: menos del o igual al 0,01 %;
en donde el Grupo (E) de elementos es: Ca: menos del o igual al 0,01 %, Mg: menos del o igual al 0,01 % y
REM:
menos del o igual al 1,0 %,
55 hasta una temperatura de 700 a 790 °C,
(b) enfriar a presión el tubo de acero hasta una temperatura de 250 a 450 °C, en donde el tubo de acero se
enfriará a presión con una velocidad de enfriamiento mayor de o igual a 100 °C/min a una temperatura que varía
de 700 a 500 °C,
(c) sumergir el tubo de acero a una temperatura de 250 a 450 °C durante 10 min o más y, a continuación,
60 (d) enfriar el tubo de acero hasta temperatura ambiente.

[5] Un método para la producción de un tubo de acero que tiene una excelente capacidad de expansión, que
comprende las etapas de:

- 65 (a) calentar el tubo de acero que tiene una composición de acero que comprende, en % en masa, C: del 0,1 al
0,45 %, Si: del 0,3 al 3,5 %, Mn: del 0,5 al 5 %, P: menos del o igual al 0,03 %, S: menos del o igual al 0,01 %,
Al soluble: del 0,2 al 0,8 %, N: menos del o igual al 0,05 %, O: menos del o igual al 0,01 % y, opcionalmente,

al menos un elemento seleccionado de al menos uno de los Grupos (A) a (E) especificados a continuación y el resto que es Fe e impurezas,

en donde el Grupo (A) de elementos es; Cr: menos del o igual al 1,5 % y Cu: menos del o igual al 3,0 %;

en donde el Grupo (B) de elementos es; Mo: menos del o igual al 1 %;

en donde el Grupo (C) de elementos es; Ni: menos del o igual al 2 %;

en donde el Grupo (D) de elementos es; Ti: menos del o igual al 0,3 %, Nb: menos del o igual al 0,3 %, V: menos del o igual al 0,3 %, Zr: menos del o igual al 0,3 % y B: menos del o igual al 0,01 %;

en donde el Grupo (E) de elementos es: Ca: menos del o igual al 0,01 %, Mg: menos del o igual al 0,01 % y REM:

menos del o igual al 1,0 %,

hasta una temperatura de 700 a 790 °C,

(b) enfriar a presión el tubo de acero hasta una temperatura de por encima de 250 a 450 °C, en donde el tubo de acero se enfría a presión con una velocidad de enfriamiento mayor de o igual a 100 °C/min a una temperatura que varía de 700 a 500 °C,

(c) enfriar con control el tubo de acero desde la temperatura de acabado del enfriamiento a presión hasta 250 °C a una velocidad de enfriamiento menor de o igual a 10 °C/min y, a continuación,

(d) enfriar el tubo de acero hasta temperatura ambiente.

20 Efecto de la invención

En el proceso de expansión del tubo, incluso a una gran relación de expansión mediante el uso de un tubo de acero en la presente invención, no existen problemas, tales como una parte grande doblada o perforada debido al estrechamiento local del tubo.

25 Breve descripción de los dibujos

[Fig. 1] Una vista que muestra la relación entre la resistencia a la tracción y el alargamiento uniforme para la presente invención y los métodos comparativos.

30 Mejor modo de llevar a cabo la invención

El tubo de acero en la presente invención tiene una capacidad de expansión de tubería superior, a pesar de la alta resistencia a la tracción de más de o igual a 600 MPa. Asimismo, el método para la producción de un tubo de acero en la presente invención desvela el método que comprende la elaboración de un tubo de acero con una composición química dada y el tratamiento térmico en una condición dada con el fin de mejorar la capacidad de expansión del tubo de acero. En primer lugar, a continuación, se describirá la composición química de la presente invención y, después, se describirán las condiciones de tratamiento térmico y las razones de las restricciones.

40 1. Composición química

C: del 0,1 al 0,45 %

El carbono es un elemento esencial para determinar la resistencia del material. Es decir, el C tiene la función de mejorar el alargamiento uniforme mediante el aumento de la diferencia de resistencia entre las fases más blandas y más duras. A fin de lograr este efecto, se necesita un contenido de C de más del o igual al 0,1 %. Por el contrario, el contenido superior al 0,45 % deteriora la tenacidad, debido al endurecimiento excesivo de la fase más dura. Por lo tanto, el contenido de C se regula hasta entre el 0,1 y el 0,45 %. Un límite inferior favorable es el 0,15 %, de manera más favorable el 0,25 % y, además, de manera deseable el 0,35 %.

Si: del 0,3 al 3,5 %

El silicio es un elemento importante con el fin de lograr el alargamiento uniforme grande porque el Si contribuye a estabilizar una fase más blanda y, desde luego, obtiene la fase más blanda. Con el fin de lograr este efecto, se necesita un contenido del 0,3 % o más. Por el contrario, la adición excesiva de Si deteriora la capacidad de trabajo en caliente, por lo tanto, el contenido de Si se debería regular hasta entre el 0,3 y el 3,5 %. Con el fin de garantizar un alargamiento uniforme suficientemente grande, el límite inferior favorable de Si debería ser el 1,5 %, pero un límite inferior más favorable es el 2,1 %. En caso de que el contenido de Al soluble sea menor del 0,1 %, el contenido de Si debe ser del 1,5 % o más.

Mn: del 0,5 al 5 %

El manganeso también es un elemento importante para mantener un alargamiento uniforme grande mediante la estabilización de la fase más blanda, además de tener un efecto de fortalecimiento a través del endurecimiento por templado potenciado. Con el fin de lograr estos efectos, se necesita un contenido del 0,5 % o más. Por el contrario, una adición excesiva superior al 5 % presenta un deterioro de la tenacidad, por lo tanto, el contenido de Mn se reguló para que fuera del 0,5 al 5 %. Un límite inferior favorable es el 1,0 % y un límite inferior más favorable es el 2,5 %.

Asimismo, un límite inferior favorable adicional es el 3,5 %.

P: menos del o igual al 0,03 %

- 5 El fósforo deteriora la tenacidad a través de una disminución de la adhesión intergranular y el contenido se debe disminuir al mínimo posible. Sin embargo, la reducción excesiva del contenido de P presenta un aumento en el coste en el proceso de elaboración de acero, por lo tanto, a partir de ambos aspectos del mantenimiento de la tenacidad y la preocupación por el coste, el límite superior se reguló para que fuera el 0,03 %. El límite superior admisible se determinó para que fuera el 0,04 %. En vista del mantenimiento de la tenacidad suficiente, el límite superior favorable es el 0,02 % y el límite superior más favorable debe ser el 0,015 %.

S: menos del o igual al 0,01 %

- 15 El azufre deteriora la tenacidad a través de una disminución de la adhesión intergranular y, de manera deseable, el contenido se debe disminuir al mínimo posible. Sin embargo, la disminución excesiva del contenido de S presenta un aumento en el coste en el proceso de elaboración de acero. Por lo tanto, a partir de ambos aspectos del mantenimiento de la tenacidad y la preocupación comercial, el límite superior admisible se reguló para que fuera el 0,01 %. En vista del mantenimiento de la tenacidad suficiente, el límite superior favorable es el 0,005 %, de manera más favorable, el límite superior debe ser el 0,002 %.

20 Al soluble: del 0,2 al 0,8 %

- 25 El aluminio es necesario para la desoxidación y también tiene la función de mejorar el alargamiento uniforme a través de la estabilización de la fase más blanda. El efecto de estabilización y el buen alargamiento uniforme se obtienen cuando el contenido de Al soluble es del 0,2 % o más. Cuando el contenido es demasiado pequeño, resulta difícil obtener efectos de mejora suficientes. Si el contenido es del 0,2 % o más, se logran efectos de mejora suficientes. Cuando el contenido de Al soluble supera el 0,8 %, las agrupaciones de inclusión no metálicas se forman en el proceso de elaboración de acero, lo que conduce al deterioro de la tenacidad. En vista del mantenimiento de un alargamiento uniforme, el límite inferior favorable de Al soluble es el 0,2 % y el límite inferior más favorable es el 0,3 %. Por lo tanto, el contenido de Al soluble se reguló para que fuera del 0,2 al 0,8 %

30 N: menos del o igual al 0,05 %

- 35 Se determinó que el límite superior de N como impurezas era el 0,05 %, debido a que el N deteriora la tenacidad.

O: menos del o igual al 0,01 %

Se determinó que el límite superior de O como impurezas era el 0,01 %, debido a que el O deteriora la tenacidad.

- 40 Un tubo de acero en la presente invención comprende elementos de aleación descritos anteriormente y un resto de Fe e impurezas. Un tubo de acero en la presente invención puede contener, en lugar de una parte de Fe, los siguientes elementos, con el fin de mejorar diversas propiedades.

45 Cr: menos del o igual al 1,5 %

- 50 El cromo no es un elemento esencial, pero su adición puede fortalecer el tubo de acero mediante la estabilización de la fase más dura a través de la interacción con los átomos de C, además del efecto de potenciación para el endurecimiento por templeado. Por tanto, el Cr se puede usar para el fin de fortalecimiento. Se obtiene un efecto marcado cuando el contenido es del 0,1 % o más, sin embargo, una adición excesiva presenta un deterioro de la tenacidad. Por lo tanto, cuando se usa Cr, el contenido debe ser, de manera favorable, menor del o igual al 1,5 %.

Cu: menos del o igual al 3,0 %

- 55 El cobre no es un elemento esencial, pero su adición puede fortalecer el tubo de acero mediante el endurecimiento por precipitación durante el enfriamiento lento o el mantenimiento isotérmico. El efecto de fortalecimiento marcado se obtiene cuando el contenido es del 0,3 % o más. Sin embargo, una adición excesiva presenta un deterioro en la tenacidad y capacidad de trabajo en caliente. Por lo tanto, cuando se usa Cu, el contenido debe ser, de manera favorable, menor del o igual al 3,0 %. Con el fin de mantener una buena capacidad de trabajo en caliente, resulta deseable una adición combinada con Ni.

60 Mo: menos del o igual al 1 %

- 65 El molibdeno no es un elemento esencial, pero su adición puede mejorar la resistencia a la corrosión en circunstancias de yacimientos petrolíferos. Por lo tanto, cuando se necesita una mayor resistencia a la corrosión en un tubo de acero, resulta útil la adición de Mo. Se obtiene un efecto marcado cuando el contenido es del 0,05 % o más. Sin embargo, la adición excesiva presenta un deterioro en la tenacidad, por lo tanto, cuando se usa Cr, el contenido debe ser, de

manera favorable, menor del o igual al 1 %.

Ni: menos del o igual al 2 %

5 El níquel no es un elemento esencial, pero su adición puede contribuir a mantener un alargamiento uniforme grande a través de la estabilización de la fase más blanda. Un efecto marcado para una estabilización de fase más blanda se obtiene cuando el contenido es del 0,1 % o más. Sin embargo, existe un aumento excesivo del coste, por lo tanto, cuando se usa Ni, el contenido debe ser, de manera favorable, menor del o igual al 1,5 % y, de manera más favorable, el límite superior es el 1,0 %.

10 Uno o más elementos seleccionados de $Ti \leq 0,3 \%$, $Nb \leq 0,3 \%$, $V \leq 0,3 \%$, $Zr \leq 0,3 \%$ y $B \leq 0,01 \%$

15 El titanio, el niobio, el vanadio y el zircón no son elementos esenciales. Además de uno o más seleccionados de estos elementos, la estructura de grano de un tubo de acero se refina mediante su precipitación de carbo-nitruros, lo que conduce a la mejora de la tenacidad. Tales efectos son marcados, cuando la cantidad del uno o más elementos es del 0,003 % o más, por el contrario, la adición excesiva conduce al deterioro de la tenacidad. Por lo tanto, en caso de usar uno o más elementos seleccionados de Ti, Nb, V y Zr, el contenido de cada elemento debe ser, de manera favorable, menor del o igual al 0,3 %.

20 El boro no es un elemento esencial, pero su adición puede mejorar la tenacidad del tubo de acero a través del aumento de la cohesión intergranular. Tales efectos son marcados, cuando el contenido es mayor del o igual al 0,0005 %. Por el contrario, la adición excesiva presenta la formación de carbo-boruros en los límites de grano, lo que conduce al deterioro de la tenacidad.

25 Por lo tanto, cuando se añade B, el contenido debe ser, de manera favorable, menor del o igual al 0,01 %.

Uno o más elementos seleccionados de $Ca \leq 0,01 \%$, $Mg \leq 0,01 \%$ y $REM \leq 1,0 \%$

30 El calcio, el magnesio y el REM (metal de tierras raras) no son elementos esenciales, pero la adición de estos elementos puede mejorar la capacidad de trabajo en caliente y puede ser eficaz en caso de que el tubo de acero se produzca mediante un trabajo en caliente exigente. El efecto de mejora para la capacidad de trabajo en caliente es marcado, cuando el contenido de cada elemento es mayor del o igual al 0,0005 %. Por el contrario, la adición excesiva disminuye la precisión de superficie en la parte roscada. Por lo tanto, mediante el uso de uno o más elementos seleccionados de Ca, Mg y REM, el contenido de cada elemento debe ser, de manera favorable, menor del o igual al 0,01 %, el 0,01 % y el 1,0 %, respectivamente. La adición compleja de dos o más de estos elementos puede conducir a una mejora adicional para la capacidad de trabajo en caliente.

35 En donde, REM es un término colectivo que muestra 17 tipos de elementos, es decir, Sc, Y y elementos lantánidos y el contenido de REM significa un total de los elementos descritos anteriormente.

40 2. Método para la fabricación

(1) Elaboración de acero y fabricación de tubos

45 Los métodos de la elaboración de acero y la fabricación de tubos en la presente invención no están limitados y se pueden aplicar los métodos habituales. Por ejemplo, se pueden adoptar los métodos de fabricación de tubos que incluyen la fabricación de un tubo de acero sin costura, la costura mediante la soldadura después de conformar un cilindro a partir de láminas de acero o similares.

50 (2) Tratamiento térmico

La presente invención puede proporcionar un tubo de acero con excelente capacidad de expansión, en el que la expansión del tubo se puede conseguir con una relación de expansión grande, mediante el sometimiento a un tratamiento térmico dado del tubo de acero con la composición química descrita anteriormente con el fin de proporcionar un alargamiento uniforme grande. El proceso del tratamiento térmico es el siguiente.

55 Temperatura de calentamiento: 700 a 790 °C

60 Dado que la temperatura de calentamiento es demasiado baja, no se puede obtener un buen efecto de endurecimiento por templado, por lo tanto, el material se debe calentar a temperaturas superiores o iguales a 700 °C. Por lo contrario, dado que una temperatura de calentamiento más alta disminuye o reduce la fase de ferrita en una fase más blanda, el límite superior debe ser menor de o igual a 790 °C. El tiempo de mantenimiento, que no está limitado en la presente invención, debe ser, de manera favorable, mayor de o igual a 5 min y menor de o igual a 60 min.

65 Velocidad de enfriamiento: velocidad de enfriamiento promedia mayor de o igual a 100 °C/min en el intervalo de temperatura de 700 a 500 °C

5 Debido al enfriamiento a presión del tubo de acero calentado hasta una temperatura inferior o igual a 100 °C mediante una instalación de enfriamiento cuya capacidad de enfriamiento estimada por la velocidad de enfriamiento de 700 a 500 °C es mayor de o igual a 100 °C/min, la microestructura del tubo de acero se transforma en una mixta, en la que la perlita, bainita o martensita más duras se dispersan finamente dentro de la matriz de ferrita más blanda. Esto da como resultado un alargamiento uniforme mejorado en gran medida en términos de la microestructura mixta con fases más blandas y más duras.

10 En caso de que un tubo de acero se enfríe a presión de manera continua sin cambiar los medios de enfriamiento, la velocidad de enfriamiento disminuye con la reducción de la temperatura. En la presente invención, el enfriamiento a presión hasta aproximadamente 100 °C con una condición de enfriamiento en la que la velocidad de enfriamiento promedia en el intervalo de temperatura de 700 a 500 °C es de 100 °C/min o más es suficiente para lograr el objetivo. Se puede adoptar una velocidad de enfriamiento inferior a 100 °C/min en el intervalo de temperatura por debajo de 500 °C.

15 Además, la inmersión posterior a la detención del enfriamiento a presión a una temperatura de 450 a 250 °C favorece la formación de austenita residual y presenta un efecto de endurecimiento por trabajo marcado, lo que da como resultado un alargamiento uniforme mucho mejor. Con el fin de obtener este efecto suficiente, el tiempo de mantenimiento favorable debe ser mayor de o igual a 10 min. Después de la inmersión, se puede adoptar cualquier patrón de enfriamiento, enfriamiento a presión o enfriamiento al aire. Se puede obtener un efecto similar mediante un enfriamiento lento a una velocidad de enfriamiento de 10 °C/min o menos en el intervalo de temperatura desde la temperatura de acabado del enfriamiento a presión hasta 250 °C, en lugar de la inmersión, después de la detención del enfriamiento a presión a una temperatura de por encima de 250 °C, pero no mayor de 450 °C, proceso térmico que también favorece la formación de austenita residual. Después del enfriamiento lento, se puede adoptar cualquier patrón de enfriamiento, enfriamiento a presión o enfriamiento al aire.

Otros:

30 El endurecimiento por laminación en frío, que es básicamente innecesario en la presente invención, se puede realizar a temperaturas más bajas, a o por debajo de 500 °C.

Ejemplos

35 Los aceros que tienen las composiciones químicas mostradas en la Tabla 1 se fundieron, forjaron en caliente y laminaron en caliente en muestras para ensayo de placa de 10 mm de espesor, 120 mm de ancho y 330 mm de largo. Después de los tratamientos térmicos, mostrados en la Tabla 2, se prepararon muestras para ensayo de tracción con un diámetro de calibre de 4 mm y se midieron la resistencia a la tracción y el alargamiento uniforme mediante ensayo de tracción.

40 [Tabla 1]

Tabla 1

Acero	Composición química (% en masa)																			
	C	Si	Mn	P	S	Al soluble	N	O	Cr	Mo	Ni	Ti	Nb	V	Zr	Cu	B	Ca	Mg	REM
A	0,33	2,78	0,77	0,016	0,0002	0,194	0,0072	0,0009	-	-	-	-	0,025	-	-	-	-	-	-	-
B	0,15	1,91	0,60	0,011	0,0006	0,340	0,0051	0,0004	-	-	-	-	-	0,04	-	-	-	0,0015	-	-
C	0,24	1,57	1,77	0,017	0,0014	0,335	0,0073	0,0011	-	-	-	-	-	-	-	0,62	-	0,0010	-	-
D	0,21	1,67	2,01	0,008	0,0006	0,283	0,0058	0,0011	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	0,20	3,13	0,98	0,016	0,0007	0,345	0,0063	0,0016	-	-	0,51	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	0,35	2,20	2,30	0,015	0,0023	0,469	0,0080	0,0013	-	-	0,33	-	0,018	-	-	-	-	-	-	-
G	0,32	2,99	1,06	0,011	0,0015	0,248	0,0082	0,0015	0,23	-	-	-	-	-	-	-	0,0014	-	-	-
H	0,23	3,25	1,87	0,006	0,0022	0,365	0,0050	0,0005	0,21	-	-	0,012	-	-	-	-	-	-	-	-
I	0,18	2,75	2,14	0,016	0,0003	0,443	0,0083	0,0011	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0021	0,0016	-	-
J	0,23	2,12	2,30	0,006	0,0024	0,474	0,0068	0,0020	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0014	-	-	0,03Ce
K	0,34	1,55	1,16	0,013	0,0006	0,348	0,0086	0,0019	-	-	-	0,021	-	-	-	-	0,0015	-	-	0,04La
L	0,23	1,92	1,21	0,018	0,0007	0,169	0,0062	0,0006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M	0,19	1,62	2,30	0,015	0,0012	0,338	0,0082	0,0016	-	-	-	0,25	0,13	-	-	-	0,0016	0,0012	-	-
N	0,26	3,06	0,83	0,021	0,0011	0,344	0,0045	0,0011	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0018	-	-	-
O	0,17	2,94	2,40	0,016	0,0020	0,217	0,0088	0,0010	0,15	0,13	-	-	-	-	-	-	0,0014	-	-	-
P	0,24	1,61	0,62	0,015	0,0007	0,297	0,0082	0,0011	-	-	-	-	-	-	0,031	-	-	-	-	-
Q	0,33	2,08	0,51	0,014	0,0007	0,289	0,0073	0,0010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06Nd
R	0,16	2,74	1,72	0,011	0,0008	0,311	0,0077	0,0016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	0,30	2,01	2,25	0,022	0,0025	0,463	0,0048	0,0019	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0013	-	-	-
T	0,23	2,75	1,72	0,011	0,0012	0,492	0,0094	0,0014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02Y
U	0,34	1,59	0,66	0,008	0,0013	0,355	0,0086	0,0002	-	-	-	0,008	-	-	-	-	0,0010	0,0014	-	-
V	0,31	2,88	1,20	0,012	0,0009	0,026	0,0042	0,0013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0018	-	-
W	0,05*	2,53	1,37	0,007	0,0024	0,331	0,0075	0,0006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0019	-	-
X	0,25	0,20*	1,52	0,016	0,0007	0,387	0,0050	0,0005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y	0,21	0,55	0,41*	0,012	0,0014	0,471	0,0056	0,0015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0015	-	-
Z	0,27	0,49	1,01	0,014	0,0011	0,045*	0,0068	0,0010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

[*] significa fuera del método de la presente invención,
[-] significa que el contenido es un nivel de impurezas.

[Tabla 2]

Tabla 2

N.º de ensayo	Acero	Temperatura de calentamiento (°C)	Condición de enfriamiento a presión		Mantenimiento isotérmico		T _A -250 °C Velocidad de enfriamiento* (°C/min)	Evaluación			Otros
			700 ~ 600 °C Velocidad de enfriamiento promedio (°C/min)	Temp. de acabado T _A (°C)	Temp. (°C)	Tiempo (min)		Resistencia a la tracción (MPa)	Alargamiento uniforme (%)	Rendimiento de expansión de tubo	
1	A	750	1.400	310	390	60	-	1.050	22,0	o	Ejemplo de la presente invención
2	B	750	1.400	330	400	60	-	766	25,7	o	Ejemplo de la presente invención
3	C	740	1.600	420	No realizado		5	922	24,1	o	Ejemplo de la presente invención
4	D	740	1.400	340	380	60	-	868	24,6	o	Ejemplo de la presente invención
5	E	760	1.400	Temp. ambiente	No realizado		-	774	25,7	o	Ejemplo de la presente invención
6	F	740	1.300	420	No realizado		4	1.048	22,7	o	Ejemplo de la presente invención
7	G	750	1.700	310	400	60	-	1.061	22,2	o	Ejemplo de la presente invención
8	H	740	1.700	300	380	60	-	855	24,5	o	Ejemplo de la presente invención
9	I	760	1.600	Temp. ambiente	No realizado		-	730	28,1	o	Ejemplo de la presente invención
10	J	750	1.400	420	No realizado		6	835	24,5	o	Ejemplo de la presente invención
11	K	750	1.700	Temp. ambiente	No realizado		-	1.050	22,3	o	Ejemplo de la presente invención
12	L	760	1.300	420	No realizado		5	893	24,1	o	Ejemplo de la presente invención
13	M	760	1.300	400	No realizado		7	735	25,3	o	Ejemplo de la presente invención
14	N	760	1.400	810	410	30	-	947	23,4	o	Ejemplo de la presente invención
15	O	740	1.200	370	400	60	-	744	26,1	o	Ejemplo de la presente invención
16	P	750	1.600	320	420	30	-	919	24,2	o	Ejemplo de la presente invención
17	Q	750	1.500	Temp. ambiente	No realizado		-	1.050	22,2	o	Ejemplo de la presente invención
18	R	750	1.500	Temp. ambiente	No realizado		-	741	25,9	o	Ejemplo de la presente invención
19	S	750	1.200	310	400	60	-	995	22,8	o	Ejemplo de la presente invención
20	T	740	1.400	Temp. ambiente	No realizado		-	843	24,6	o	Ejemplo de la presente invención
21	U	750	1.400	Temp. ambiente	No realizado		-	1.103	22,1	o	Ejemplo de la presente invención
22	C	780	800	Temp. ambiente	No realizado		-	681	26,1	o	Ejemplo de la presente invención
23	H	720	1.600	850	No realizado		2	847	24,4	o	Ejemplo de la presente invención
24	J	740	300	50	No realizado		-	657	25,8	o	Ejemplo de la presente invención

(continuación)

N.º de ensayo	Acero	Temperatura de calentamiento (°C)	Condición de enfriamiento a presión		Mantenimiento isotérmico		T _A -250 °C Velocidad de enfriamiento* (°C/min)	Evaluación			Otros	
			700 ~ 600 °C Velocidad de enfriamiento promedio (°C/min)	Temp. de acabado T _A (°C)	Temp. (°C)	Tiempo (min)		Resistencia a la tracción (MPa)	Alargamiento uniforme (%)	Rendimiento de expansión de tubo		
25	L	760	180	80	No realizado		-	625	25,3	o	Ejemplo de la presente invención	
26	V	750	1.300	330	380	30	-	958	22,8	o	Ejemplo de la presente invención	
27	W*	760	1.700	430	No realizado		8	549	25,4	o	Ejemplo comparativo	
28	X*	750	1.600	400	430	30	-	934	17,5	x	Ejemplo comparativo	
29	Y*	740	1.400	370	400	60	-	869	18,5	x	Ejemplo comparativo	
30	Z*	750	1.300	410	No realizado		4	993	18,8	x	Ejemplo comparativo	
31	A	1.000*	1.500	340	420	30	-	1.026	14,6	x	Ejemplo comparativo	
32	C	750	50*	330	400	60	-	815	16,9	x	Ejemplo comparativo	
33	F	750	1.500	600*	260	60	-	965	16,6	x	Ejemplo comparativo	
34	H	750	1.300	420	No realizado		35*	888	15,9	x	Ejemplo comparativo	
35	J	750	1.200	310	500*	60	-	853	17,4	x	Ejemplo comparativo	
36	L	750	1.600	420	410	1*	-	851	17,2	x	Ejemplo comparativo	
37	N	Templado a 980 °C y endurecido por laminación en frío a 600 °C durante 30 min*							945	12,9	x	Ejemplo convencional

[*]: fuera del método de la presente invención.

[n.º 1]: caso sin mantenimiento isotérmico, después de acabar el enfriamiento a presión en la región de temperatura de 260 a 450 °C.

Los números de ensayo del 1 al 26 son de los métodos de la presente invención y los números de ensayo del 27 al 36 son de los métodos de comparación. En los números 27 a 30 de los métodos de comparación, las composiciones químicas del acero se encuentran fuera de la presente invención. En los números 31 a 36 de los métodos de comparación, los procesos de producción son de la presente invención, aunque sus composiciones químicas cumplen la presente invención. En el número de ensayo 37, el templado y el endurecimiento por laminación en frío convencionales se realizaron en acero, lo que cumple la composición química en la presente invención.

Los resultados de los ejemplos, métodos de comparación y un método convencional de la presente invención, mostrados en la Tabla 2, se ilustran en la Figura 1.

Tal como se muestra en la Tabla 2 y la Figura 1, las muestras para ensayo de los métodos de la presente invención mostraron una gran resistencia a la tracción, TS (MPa), de 600 MPa o más. En los ejemplos de la presente invención, los alargamientos uniformes, u_{el} (%), cumplieron la siguiente Fórmula (1) y también cumplieron la Fórmula (2), que es una relación favorable, lo que muestra un alargamiento uniforme superior.

$$u_{el} \geq 28 - 0,0075TS \text{ ---- (1)}$$

$$u_{el} \geq 29,5 - 0,0075TS \text{ ---- (2)}$$

Mientras tanto, en los métodos de comparación y en un método convencional (número de ensayo 27), la resistencia a la tracción era demasiado baja incluso cuando el alargamiento uniforme era aceptable o el alargamiento uniforme era demasiado bajo incluso cuando la resistencia a la tracción era aceptable, lo que mostraba un rendimiento deficiente aplicado a un tubo de acero de pozo de petróleo.

Aplicabilidad industrial

De acuerdo con la presente invención, se puede producir un tubo de acero con excelente capacidad de expansión con un buen rendimiento de coste, en comparación con los métodos convencionales. Por lo tanto, con el tubo de acero de la presente invención, dado que el tubo se puede expandir con una alta relación de expansión, sin ninguna parte perforada debido al estrechamiento local o el gran doblado del tubo, resulta posible desarrollar un pozo de petróleo o un pozo de gas con un buen rendimiento de coste, lo que conduce a la contribución de un suministro estable de energía en el mundo.

REIVINDICACIONES

1. Un tubo de acero que tiene una excelente capacidad de expansión, **caracterizado por que** el tubo de acero tiene una composición de acero que comprende, en % en masa, C: del 0,1 al 0,45 %, Si: del 0,3 al 3,5 %, Mn: del 0,5 al 5 %, P: menos del o igual al 0,03 %, S: menos del o igual al 0,01 %, Al soluble: del 0,2 al 0,8 %, N: menos del o igual al 0,05 %, O: menos del o igual al 0,01 % y, opcionalmente, al menos un elemento seleccionado de al menos uno de los Grupos (A) a (E) especificados a continuación y el resto que es Fe e impurezas, en donde el acero tiene una microestructura mixta que comprende ferrita y uno o más seleccionados de perlita, bainita y martensita finas y el acero tiene una resistencia a la tracción de 600 MPa o más y un alargamiento uniforme que cumple la siguiente Fórmula (1):

$$u_{el} \geq 28 - 0,0075TS \text{ ---- (1),}$$

en donde u_{el} significa alargamiento uniforme (%) y TS significa resistencia a la tracción (MPa):

en donde el Grupo (A) de elementos es; Cr: menos del o igual al 1,5 % y Cu: menos del o igual al 3,0 %;
 en donde el Grupo (B) de elementos es; Mo: menos del o igual al 1 %;
 en donde el Grupo (C) de elementos es; Ni: menos del o igual al 2 %;
 en donde el Grupo (D) de elementos es; Ti: menos del o igual al 0,3 %, Nb: menos del o igual al 0,3 %, V: menos del o igual al 0,3 %, Zr: menos del o igual al 0,3 % y B: menos del o igual al 0,01 %;
 en donde el Grupo (E) de elementos es: Ca: menos del o igual al 0,01 %, Mg: menos del o igual al 0,01 % y REM: menos del o igual al 1,0 %.

2. El tubo de acero que tiene una excelente capacidad de expansión de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el tubo de acero tiene un alargamiento uniforme que cumple la siguiente Fórmula (2):

$$u_{el} \geq 29,5 - 0,0075TS \text{ ---- (2),}$$

en donde u_{el} significa alargamiento uniforme (%) y TS significa resistencia a la tracción (MPa).

3. El tubo de acero que tiene una excelente capacidad de expansión de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en donde la microestructura mixta comprende, además, austenita residual.

4. Un método para la producción de un tubo de acero que tiene una excelente capacidad de expansión, que comprende las etapas de:

(a) calentar el tubo de acero que tiene una composición de acero que comprende, en % en masa, C: del 0,1 al 0,45 %, Si: del 0,3 al 3,5 %, Mn: del 0,5 al 5 %, P: menos del o igual al 0,03 %, S: menos del o igual al 0,01 %, Al soluble: del 0,2 al 0,8 %, N: menos del o igual al 0,05 %, O: menos del o igual al 0,01 % y, opcionalmente, al menos un elemento seleccionado de al menos uno de los Grupos (A) a (E) especificados a continuación y el resto que es Fe e impurezas,
 en donde el Grupo (A) de elementos es; Cr: menos del o igual al 1,5 % y Cu: menos del o igual al 3,0 %;
 en donde el Grupo (B) de elementos es; Mo: menos del o igual al 1 %;
 en donde el Grupo (C) de elementos es; Ni: menos del o igual al 2 %;
 en donde el Grupo (D) de elementos es; Ti: menos del o igual al 0,3 %, Nb: menos del o igual al 0,3 %, V: menos del o igual al 0,3 %, Zr: menos del o igual al 0,3 % y B: menos del o igual al 0,01 %;
 en donde el Grupo (E) de elementos es: Ca: menos del o igual al 0,01 %, Mg: menos del o igual al 0,01 % y REM: menos del o igual al 1,0 %, hasta una temperatura de 700 a 790 °C, y
 (b) enfriar a presión el tubo de acero hasta una temperatura inferior o igual a 100 °C, en donde el tubo de acero se enfría a presión con una velocidad de enfriamiento mayor de o igual a 100 °C/min a una temperatura que varía de 700 a 500 °C.

5. Un método para la producción de un tubo de acero que tiene una excelente capacidad de expansión, que comprende las etapas de:

(a) calentar el tubo de acero que tiene una composición de acero que comprende, en % en masa, C: del 0,1 al 0,45 %, Si: del 0,3 al 3,5 %, Mn: del 0,5 al 5 %, P: menos del o igual al 0,03 %, S: menos del o igual al 0,01 %, Al soluble: del 0,2 al 0,8 %, N: menos del o igual al 0,05 %, O: menos del o igual al 0,01 % y, opcionalmente, al menos un elemento seleccionado de al menos uno de los Grupos (A) a (E) especificados a continuación y el resto que es Fe e impurezas,
 en donde el Grupo (A) de elementos es; Cr: menos del o igual al 1,5 % y Cu: menos del o igual al 3,0 %;
 en donde el Grupo (B) de elementos es; Mo: menos del o igual al 1 %;
 en donde el Grupo (C) de elementos es; Ni: menos del o igual al 2 %;
 en donde el Grupo (D) de elementos es; Ti: menos del o igual al 0,3 %, Nb: menos del o igual al 0,3 %, V: menos del o igual al 0,3 %, Zr: menos del o igual al 0,3 % y B: menos del o igual al 0,01 %;
 en donde el Grupo (E) de elementos es: Ca: menos del o igual al 0,01 %, Mg: menos del o igual al 0,01 % y REM:

ES 2 759 371 T3

menos del o igual al 1,0 %, hasta una temperatura de 700 a 790 °C,

(b) enfriar a presión el tubo de acero hasta una temperatura de 250 a 450 °C, en donde el tubo de acero se enfría a presión con una velocidad de enfriamiento mayor de o igual a 100 °C/min a una temperatura que varía de 700 a 500 °C,

(c) sumergir el tubo de acero a una temperatura de 250 a 450 °C durante 10 min o más y, a continuación, (d) enfriar el tubo de acero hasta temperatura ambiente.

6. Un método para la producción de un tubo de acero que tiene una excelente capacidad de expansión, que comprende las etapas de:

(a) calentar el tubo de acero que tiene una composición de acero que comprende, en % en masa, C: del 0,1 al 0,45 %, Si: del 0,3 al 3,5 %, Mn: del 0,5 al 5 %, P: menos del o igual al 0,03 %, S: menos del o igual al 0,01 %, Al soluble: del 0,2 al 0,8 %, N: menos del o igual al 0,05 %, O: menos del o igual al 0,01 % y, opcionalmente, al menos un elemento seleccionado de al menos uno de los Grupos (A) a (E) especificados a continuación y el resto que es Fe e impurezas,

en donde el Grupo (A) de elementos es; Cr: menos del o igual al 1,5 % y Cu: menos del o igual al 3,0 %;

en donde el Grupo (B) de elementos es; Mo: menos del o igual al 1 %;

en donde el Grupo (C) de elementos es; Ni: menos del o igual al 2 %;

en donde el Grupo (D) de elementos es; Ti: menos del o igual al 0,3 %, Nb: menos del o igual al 0,3 %, V: menos del o igual al 0,3 %, Zr: menos del o igual al 0,3 % y B: menos del o igual al 0,01 %;

en donde el Grupo (E) de elementos es: Ca: menos del o igual al 0,01 %, Mg: menos del o igual al 0,01 % y REM: menos del o igual al 1,0 %, hasta una temperatura de 700 a 790 °C,

(b) enfriar a presión el tubo de acero hasta una temperatura de por encima de 250 a 450 °C, en donde el tubo de acero se enfría a presión con una velocidad de enfriamiento mayor de o igual a 100 °C/min a una temperatura que varía de 700 a 500 °C,

(c) enfriar con control el tubo de acero desde la temperatura de acabado del enfriamiento a presión hasta 250 °C a una velocidad de enfriamiento menor de o igual a 10 °C/min y, a continuación,

(d) enfriar el tubo de acero hasta temperatura ambiente.

Fig.1

