

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 744 934**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00	(2006.01)	C22C 38/48	(2006.01)
C21D 9/08	(2006.01)	C22C 38/50	(2006.01)
C22C 38/54	(2006.01)		
C21D 6/00	(2006.01)		
C22C 38/02	(2006.01)		
C22C 38/04	(2006.01)		
C22C 38/06	(2006.01)		
C22C 38/42	(2006.01)		
C22C 38/44	(2006.01)		
C22C 38/46	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.08.2015 PCT/JP2015/004403**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **10.03.2016 WO16035316**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.08.2015 E 15838391 (9)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.08.2019 EP 3190200**

54 Título: **Tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa y método de producción del mismo**

30 Prioridad:

04.09.2014 JP 2014180568

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

26.02.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**ARAI, YUJI;
KONDO, KEIICHI y
NAGAHASHI, KOJI**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 744 934 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 de pozo de petróleo de pared gruesa y método de producción del mismo

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a un tubo de acero de pozo de petróleo y un método de producción del mismo, y más en particular a un tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa que tiene un grosor de la pared de 40 mm o más, y un método de producción del mismo.

Antecedentes de la técnica

10 A medida que los pozos de petróleo y pozos de gas (de aquí en adelante, los pozos de petróleo y los pozos de gas se denominan de manera colectiva como "pozos de petróleo") se hacen más profundos, se requiere una mayor resistencia para los tubos de acero de pozo de petróleo. De manera convencional, los tubos de acero de pozo de petróleo de grado 80 ksi (el límite elástico es de 80 a 95 ksi, es decir, de 551 a 654 MPa), y de grado 95 ksi (el límite elástico es de 95 a 110 ksi, es decir, de 654 a 758 MPa) han sido ampliamente utilizados. Sin embargo, en los últimos años, se ha comenzado a utilizar tubos de acero de pozo de petróleo de grado 110 ksi (el límite elástico es de 110 a 125 ksi, es decir, de 758 a 862 MPa).

15 Muchos de los pozos profundos contienen sulfuro de hidrógeno que tiene corrosividad. Por esa razón, se requiere que un tubo de acero de pozo de petróleo para su uso en pozos profundos tenga no sólo alta resistencia, pero también resistencia al agrietamiento por estrés de sulfuro (de aquí en adelante se denomina como resistencia al SSC).

20 De manera convencional, como una medida para mejorar la resistencia al SSC de un tubo de acero de pozo de petróleo de clases 95 a 110 ksi, se conoce un método de limpieza de acero o de refinación de la estructura de acero. En el caso del acero propuesto en la Publicación de Solicitud de Patente Japonesa Núm. 62-253720 (Literatura de Patente 1), las impurezas tales como Mn y P se reducen para incrementar el nivel de limpieza del acero, para mejorar de ese modo la resistencia al SSC del acero. El acero propuesto en la Publicación de Solicitud de Patente Japonesa Núm. 59-232220 (Literatura de Patente 2) se somete a temple dos veces para refinar granos de cristal, para mejorar de ese modo la resistencia al SSC del acero.

25 Sin embargo, la resistencia al SSC del material de acero se deteriora de manera significativa a medida que se incrementa la resistencia del material de acero. Por lo tanto, para tubos de acero de pozo de petróleo prácticos, una producción estable de un tubo de pozo de petróleo de clase 120 ksi (el límite elástico es de 827 MPa o más) que tiene la resistencia al SSC que puede soportar la condición estándar (ambiente de 1 atm H₂S) de la prueba de carga constante del método A de NACE TM0177 aún no se ha llevado a cabo.

30 Debajo de los antecedentes que se han descrito con anterioridad, se ha hecho un intento de utilizar acero de baja aleación de alto C que tiene un contenido de C de 0,35% o más, que no ha sido puesto en uso práctico, como un tubo de pozo de petróleo para lograr una alta resistencia.

35 El tubo de acero de pozo de petróleo que se describe en la Publicación de Solicitud de Patente Japonesa Núm. 2006-265657 (Literatura de Patente 3) se produce por medio del sometimiento del acero de baja aleación que contiene C: de 0,30 a 0,60%, Cr + Mo: 1,5 a 3,0% (Mo es 0,5% o más), y otros a revenido después del enfriamiento con aceite, el temple o el temple bainítico. Esta literatura describe que el método de producción descrito con anterioridad permite suprimir el agrietamiento durante el temple que es probable que ocurra durante el temple del acero de baja aleación de alto C, para obtener de este modo un acero de pozo de petróleo o un tubo de acero de pozo de petróleo, que tiene una excelente resistencia al SSC.

40 El acero de pozo de petróleo que se describe en la Patente Japonesa Núm. 5333700 (Literatura de Patente 4) contiene C: de 0,56 a 1,00% y Mo: de 0,40 y 1,00%, y no exhibe más de 0,50 deg de una anchura de medio pico del plano de cristal (211) obtenido por difracción de rayos X, y el límite elástico de 862 MPa o más. Esta literatura describe que la resistencia al SSC se mejora por medio de esferoidización de carburos de contorno de grano, y la esferoidización de carburos durante revenido de alta temperatura se facilita aún más por medio del incremento del contenido de C. La Literatura de Patente 4 también propone un método para limitar una velocidad de enfriamiento durante el temple, o temporalmente parar el enfriamiento durante el temple y la realización de tratamiento isotérmico para mantener en un intervalo de más de 100 °C a 300 °C, con el fin de suprimir el agrietamiento durante el temple atribuible a una aleación de alto C.

45 El acero para el tubo de pozo de petróleo que se describe en la Publicación de Solicitud Internacional Núm. WO2013/191131 (Literatura de Patente 5) contiene C: más de 0,35% a 1,00%, Mo: más de 1,0% a 10%, y otros en los que el producto del contenido de C y el contenido de Mo es de 0,6 o más. Además, en el acero descrito con anterioridad para el tubo de pozo de petróleo, el número de carburo M₂C que tiene un diámetro equivalente circular de 1 nm o más, y tiene una estructura hexagonal es 5 o más por 1 µm², y la anchura de medio pico del plano de cristal (211) y la concentración de C satisfacen una relación específica. Además, el acero descrito con anterioridad para el tubo de pozo de petróleo tiene un límite elástico de 758 MPa o más. En la Literatura de Patente 5, se adopta

un método de temple similar al de la Literatura de Patente 4.

La Patente EP2749664 (Literatura de Patente 6) describe el suministro de un tubo de acero de pozo de petróleo que tiene excelente resistencia al SSC. El tubo de acero de pozo de petróleo de acuerdo con EP2749664 contiene, en porcentaje en masa, C: de 0,15 a 0,35%, Si: de 0,1 a 0,75%, Mn: de 0,1 a 1,0%, Cr: de 0,1 a 1,7%, Mo: de 0,1 a 1,2%, Ti: de 0,01 a 0,05%, Nb: de 0,010 a 0,030%, Al: de 0,01 a 0,1%, P: a lo sumo 0,03%, S: a lo sumo 0,01%, N: a lo sumo 0,007%, y O: a lo sumo 0,01%, el resto son Fe e impurezas. El contenido de Ti y el contenido de Nb en un residuo obtenido por extracción de bromo-metanol satisfacen la ecuación (1): $100 \times Nb / (Ti + Nb) \leq 27,5$ donde el contenido de Ti (% en masa) y el contenido de Nb (% en masa) en el residuo se sustituyen por [Ti] y [Nb].

Sin embargo, incluso con las técnicas de la Literaturas de Patente 3 a 5, es difícil obtener una excelente resistencia al SSC y alta resistencia en un tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa, de manera más específica en un tubo de acero de pozo de petróleo que tiene un grosor de la pared de 40 mm o más. En particular, en un tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa, es difícil obtener alta resistencia y la variación reducida en la fuerza en la dirección del grosor de la pared.

Compendio de la invención

Un objetivo de la presente invención es proporcionar un tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa que tiene un grosor de la pared de 40 mm o más, y que tiene una excelente resistencia al SSC y alta resistencia (827 MPa o más), en el que la variación en la resistencia en la dirección del grosor de la pared es pequeño.

Un tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa de acuerdo con la presente invención tiene un grosor de la pared de 40 mm o más. El tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa tiene una composición química que consiste en, en % en masa, C: de 0,40 a 0,65%, Si: de 0,05 a 0,50%, Mn: de 0,10 a 1,0%, P: 0,020% o menos, S: 0,0020% o menos, Al. Sol.: de 0,005 a 0,10%, Cr: más de 0,40 a 2,0%, Mo: más de 1,15 a 5,0%, Cu: 0,50% o menos, Ni: 0,50% o menos, N: 0,007% o menos, O: 0,005% o menos, V: de 0 a 0,25%, Nb: de 0 a 0,10%, Ti: de 0 a 0,05%, Zr: de 0 a 0,10%, W: de 0 a 1,5%, B: de 0 a 0,005%, Ca: de 0 a 0,003 %, Mg: de 0 a 0,003%, y metales de tierras raras: de 0 a 0,003%, el resto son Fe e impurezas. Además, un número de carburo que tiene un diámetro equivalente circular de 100 nm o más y contiene 20% en masa o más de Mo es 2 o menos por cada 100 μm^2 . Además, el tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa descrito con anterioridad tiene un límite elástico de 827 MPa o más, y la diferencia entre un valor máximo y un valor mínimo del límite elástico en la dirección del grosor de la pared es de 45 MPa o menos.

Un método para la producción de un tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa de acuerdo con la presente invención incluye los pasos de: la producción de un tubo de acero que tiene la composición química descrita con anterioridad, el sometimiento del tubo de acero a temple una vez o múltiples veces, en el que una temperatura de temple en el temple, por lo menos una vez, es de 925 a 1100 °C, y el sometimiento del tubo de acero a un revenido a una temperatura de 650 °C al punto Ac₁.

Un tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa de acuerdo con la presente invención, que tiene un grosor de la pared de 40 mm o más, tiene una excelente resistencia al SSC y alta resistencia (827 MPa o más), así como también una variación reducida en la resistencia en la dirección del grosor de la pared.

Breve descripción de los dibujos

[FIG. 1] La FIG. 1 ilustra la dureza Rockwell (HRC) en una dirección del grosor de la pared de un tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa que tiene una composición química que se muestra en la Tabla 1.

[FIG. 2] La FIG. 2 ilustra una relación entre una temperatura de revenido del tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa que tiene la composición química que se muestra en la Tabla 1, y el límite elástico en una porción de la superficie exterior, una porción central del grosor de la pared, y una porción de superficie interior del tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa.

[FIG. 3] La FIG. 3 ilustra los resultados de pruebas Jominy de un material de acero que tiene la composición química que se muestra en la Tabla 1.

[FIG. 4] La FIG. 4 es una imagen de microscopio electrónico del tipo de transmisión (TEM, por su sigla en inglés) de un material de acero que se somete a temple a una temperatura de temple de 850 °C en la FIG. 3.

[FIG. 5] La FIG. 5 ilustra los resultados de pruebas Jominy de un material de acero que tiene la composición química que se muestra en la Tabla 2.

[FIG. 6] La FIG. 6 ilustra los resultados de pruebas Jominy cuando el número de temple se varía por el uso del material de acero que tiene la composición química que se muestra en la Tabla 1.

Descripción de formas de realización

Los presentes inventores han completado la presente invención con base en los siguientes hallazgos.

5 Se conoce un método para incrementar el contenido de Mn y Cr para asegurar la templabilidad. Sin embargo, el incremento de los contenidos de aquellos elementos dará lugar a un deterioro de la resistencia al SSC. Por otro lado, si bien C y Mo mejoran la templabilidad, así como también Mn y Cr lo hacen, no deteriorarán la resistencia al SSC. Por lo tanto, la supresión del contenido de Mn a 1,0% o menos y el contenido de Cr a 2,0% o menos, y en lugar de hacer que el contenido de C sea de 0,40% o más y el contenido de Mo sea más de 1,15% hará que sea posible mejorar la templabilidad mientras se mantiene la resistencia al SSC. La templabilidad más alta dará lugar al incremento de la resistencia del acero.

10 Cuando el contenido de C es de 0,40% o más, los carburos en acero son más propensos a ser esferoidizados. Como resultado de ello, se mejorará la resistencia al SSC. Además, es posible incrementar la resistencia del acero por medio del refuerzo de la precipitación de carburos.

15 En el caso de un tubo de acero de pozo de petróleo que tiene un grosor normal, el ajuste de la composición química de acuerdo con lo descrito con anterioridad hará que sea posible para mejorar la resistencia al SSC y la templabilidad al mismo tiempo. Sin embargo, en un tubo de acero de pozo de petróleo que tiene un grosor de la pared de 40 mm o más, se encontró que sólo el ajuste de la composición química no puede asegurar la templabilidad satisfactoria.

En estas circunstancias, los presentes inventores han estudiado este problema. Como resultado, se han obtenido los siguientes resultados.

20 En el temple, si el temple se lleva a cabo con un carburo que contiene 20% o más en % en masa de Mo (de aquí en adelante se denomina un carburo de Mo) no disuelto, la templabilidad se deteriorará. De manera específica, cuando el carburo de Mo no está disuelto, la templabilidad no se mejorará dado que Mo y C no se disuelven de manera suficiente en el acero. La realización de temple en este estado sólo inducirá la generación de bainita, y no es probable que se genere martensita.

25 En consecuencia, una temperatura de temple se establece de 925 a 1100 °C en el temple de por lo menos una vez entre el temple a ser llevado a cabo una vez o varias veces. En este caso, el carburo de Mo se disolverá de manera suficiente. Como resultado de ello, la templabilidad del acero se mejora de manera significativa, el límite elástico se puede hacer de 827 MPa o más, y la variación en el límite elástico (valor máximo - valor mínimo) en la dirección del grosor de la pared se puede suprimir a 45 MPa o menos. De aquí en adelante, la descripción detallada se hará en este punto.

30 Se produjo un tubo de acero sin costura que tiene un grosor de la pared de 40 mm y que tiene la composición química que se muestra en la Tabla 1. El tubo de acero producido se calentó a una temperatura de temple de 900 °C. A partir de ese entonces, el temple se lleva a cabo por medio de la aplicación de enfriamiento por niebla a la superficie exterior del tubo de acero.

[Tabla 1]

Composición química (en % en masa, y el resto son Fe e impurezas)																
C	Si	Mn	P	S	Al. Sol.	Cr	Mo	Cu	Ni	N	O	V	Nb	Ti	Ca	
0,51	0,26	0,44	0,006	0,0006	0,031	0,52	1,49	0,03	0,02	0,0062	0,0008	0,088	0,032	0,005	0,003	

35 La dureza Rockwell (HRC) en la dirección del grosor de la pared se midió en una sección normal a la dirección del eje del tubo de acero después del temple. De manera específica, la dureza Rockwell (HRC) de prueba de medición conforme a JIS Z2245 (2011) se llevó a cabo en la sección descrita con anterioridad a intervalos de 2 mm desde la superficie interior hacia la superficie exterior.

40 Los resultados de la medición se ilustran en la FIG. 1. Con referencia a la FIG. 1, una línea de referencia L1 en la FIG. 1 indica HRCmin calculado a partir de la siguiente Fórmula (1) especificada por la Especificación de API 5CT.

$$\text{HRCmin} = 58 \times C + 27 \quad (1)$$

45 La Fórmula (1) significa la dureza Rockwell en un límite inferior en el que la cantidad de martensita se vuelve 90% o más. En la Fórmula (1), C significa un contenido de C (carbono) (% en masa) de acero. Para garantizar la resistencia al SSC requerida como un tubo de pozo de petróleo, la dureza después del temple no es deseablemente menor que el HRCmin especificado por la Fórmula (1) descrita con anterioridad.

Con referencia a la FIG. 1, la dureza Rockwell disminuyó de manera significativa desde la superficie exterior hacia la superficie interior, y la dureza Rockwell se volvió menos de HRCmin de la Fórmula (1) en un intervalo desde el centro del grosor de la pared a la superficie interior.

Este tubo de acero se sometió a un revenido a diferentes temperaturas de revenido. A continuación, un espécimen

de prueba de tracción de barra redonda con un diámetro de 6 mm y una porción paralela de 40 mm de longitud se fabricó a partir de cada uno de una posición de una profundidad de 6 mm desde la superficie exterior (que se denomina como una primera posición de la superficie exterior), una posición central del grosor de la pared, y una posición de una profundidad de 6 mm desde la superficie interior (que se denomina como una primera posición de la superficie interior) del tubo de acero después del revenido. Por el uso de los especímenes de prueba de tracción fabricados, se llevó a cabo una prueba de tracción a una temperatura normal (25 °C) en la atmósfera para obtener un límite elástico (ksi).

La FIG. 2 es un diagrama para ilustrar la relación entre la temperatura de revenido (°C) y un límite elástico YS. Una marca triangular (△) en la FIG. 2 indica un límite elástico YS (ksi) en la primera posición de la superficie exterior. Una marca circular (○) indica un límite elástico YS (ksi) en la posición central del grosor de la pared. Una marca cuadrada (□) indica un límite elástico YS (ksi) en la primera posición de la superficie interior.

Con referencia a la FIG. 2, la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de un límite elástico en la primera posición de la superficie exterior, la posición central del grosor de la pared, y la primera posición de la superficie interior era grande en cualquiera de las temperaturas de revenido. Es decir, la variación de dureza (resistencia) generada durante el temple no fue resuelta por el revenido.

Entonces, para investigar el efecto de la temperatura de temple, se llevó a cabo una prueba Jominy conforme a JIS G0561 (2011) por el uso de un material de acero que tenía la composición química de la Tabla 1. La FIG. 3 ilustra los resultados de la prueba Jominy.

Una marca rombaleada (◇) en la FIG. 3 indica un resultado a una temperatura de temple de 950 °C. Una marca triangular (△) indica un resultado a una temperatura de temple de 920 °C. Una marca cuadrada (□) y una marca circular (○) indican los resultados a temperaturas de temple de 900 °C y 850 °C, respectivamente. Con referencia a la FIG. 3, el efecto de una temperatura de temple en una profundidad de temple fue significativa en el caso de acero que tenía un alto contenido de C y contenido de Mo. De manera específica, cuando una temperatura de temple era de 950 °C, la dureza Rockwell fue de más de 60 HRC, incluso a una distancia de 30 mm desde el extremo de refrigeración por agua, y por lo tanto se reconoció una excelente templabilidad en comparación con el caso en el que una temperatura de temple era de menos de 925 °C.

En este caso, se llevó a cabo la observación de la microestructura del material de acero que tenía baja templabilidad y fue sometida a temple a una temperatura de 850 °C. La FIG. 4 ilustra una imagen fotográfica (imagen TEM) de la microestructura del material de acero que se sometió a temple a 850 °C. Con referencia a la FIG. 4, había un gran número de precipitados en el acero. Como resultado de la realización de Espectroscopia de Dispersión de Energía de rayos X (EDX, por su sigla en inglés) en los precipitados, se reveló que la mayoría de los precipitados eran carburos de Mo no disueltos (carburos que contienen 20% en masa de Mo).

Con el fin de determinar si se observó o no la misma tendencia en un acero de alto C que tiene un bajo contenido de Mo, se llevó a cabo la siguiente prueba. Se preparó un material de acero que tenía la composición química que se muestra en la Tabla 2. El contenido de Mo de este espécimen de prueba era de 0,68% y menor que el contenido de Mo en la composición química de la Tabla 1.

[Tabla 2]

Composición química (en % en masa, y el resto son Fe e impurezas)																
C	Si	Mn	P	S	Al. Sol.	Cr	Mo	Cu	Ni	N	O	V	Nb	Ti	B	Ca
0,53	0,27	0,43	0,001	0,001	0,029	0,52	0,68	-	0,02	0,0038	0,0009	0,088	0,031	0,006	0,0001	0,002

Se llevó a cabo la prueba Jominy conforme a JIS G0561 (2011) por el uso del material de acero de la Tabla 2. La FIG. 5 ilustra los resultados de la prueba Jominy.

Una marca rombaleada (◇) en la FIG. 5 indica un resultado a una temperatura de temple de 950 °C. Una marca triangular (△) y una marca cuadrada (□) indican los resultados a temperaturas de temple de 920 °C y 900 °C, respectivamente. Con referencia a la FIG. 5, en el caso de un bajo contenido de Mo, no se observó ningún efecto de una temperatura de temple en la profundidad del temple. Esto es, se encontró que el efecto de la temperatura de temple de la profundidad de temple era un fenómeno peculiar al acero de baja aleación de de alto Mo, alto C que tenía un contenido de C de 0,40% o más y un contenido de Mo de más de 1,15%.

Además, por el uso del material de acero de la Tabla 1, se investigó el efecto de una temperatura de temple cuando el temple se llevó a cabo varias veces.

Una marca triangular negra (▲) en la FIG. 6 ilustra un resultado de la prueba Jominy cuando el temple se llevó a cabo dos veces, en el que la temperatura de temple era 950 °C y el tiempo de remojo fue de 30 minutos en el primer

temple, y la temperatura de temple era 900 °C y el tiempo de remojo fue de 30 minutos en el segundo temple. Una marca triangular blanca (Δ) en la FIG. 6 ilustra un resultado de la prueba Jominy cuando se llevó a cabo sólo el primer temple en el que la temperatura de temple era 950 °C y el tiempo de remojo fue de 30 minutos. Con referencia a la FIG. 6, se ve que cuando el temple se lleva a cabo dos veces, la templabilidad será mejorada si la temperatura de temple en el temple de por lo menos una vez es de 925 °C o más.

De acuerdo con lo descrito hasta el momento, si el temple se lleva a cabo a una temperatura de temple de 925 °C o más (en adelante, se denomina como temple a alta temperatura) para acero de baja aleación de alto Mo, alto C, un carburo de Mo no disuelto se disolverá de manera suficiente, y por lo tanto la templabilidad será mejorada de manera significativa. Como resultado de esto, es posible obtener un límite elástico de 827 MPa o más y reducir la variación en el límite elástico en la dirección del grosor de la pared. Además, también es posible mejorar la resistencia al SSC dado que el contenido de Cr y contenido de Mn se pueden suprimir.

Un tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa de acuerdo con la presente forma de realización, que se ha completado con base en los hallazgos descritos con anterioridad, tiene un grosor de la pared de 40 mm o más. El tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa tiene una composición química que consiste en, en % en masa, C: de 0,40 a 0,65%, Si: de 0,05 a 0,50%, Mn: de 0,10 a 1,0%, P: 0,020% o menos, S: 0,0020% o menos, Al. Sol.: de 0,005 a 0,10%, Cr: más de 0,40 a 2,0%, Mo: más de 1,15 a 5,0%, Cu: 0,50% o menos, Ni: 0,50% o menos, N: 0,007% o menos, O: 0,005% o menos, V: de 0 a 0,25%, Nb: de 0 a 0,10%, Ti: de 0 a 0,05%, Zr: de 0 a 0,10%, W: de 0 a 1,5%, B: de 0 a 0,005%, Ca: de 0 a 0,003 %, Mg: de 0 a 0,003%, y metales de tierras raras: de 0 a 0,003%, el resto son Fe e impurezas. Además, el número de carburo que tiene un diámetro equivalente circular de 100 nm o más y contiene 20% en masa o más de Mo es 2 o menos por cada 100 μm^2 . Además, el tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa descrito con anterioridad tiene el límite elástico de 827 MPa o más, en el que la diferencia entre un valor máximo y un valor mínimo del límite elástico en la dirección del grosor de la pared es de 45 MPa o menos.

Un método para la producción de un tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa de acuerdo con la presente forma de realización incluye los pasos de: la producción de un tubo de acero que tiene la composición química descrita con anterioridad, el sometimiento del tubo de acero a temple una vez o múltiples veces, en el que una temperatura de temple en el temple de por lo menos una vez es de 925 a 1100 °C, y el sometimiento del tubo de acero al revenido después del temple.

De aquí en adelante, el tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa de acuerdo con la presente forma de realización y el método de producción de la misma se describirá en detalle. En cuanto a la composición química, “%” significa “% en masa”.

[Composición química]

La composición química de un tubo de acero de pozo de petróleo de baja aleación de acuerdo con la presente forma de realización contiene los siguientes elementos.

C: de 0,40 a 0,65%

El contenido de carbono (C) de un tubo de acero de pozo de petróleo de baja aleación de acuerdo con la presente forma de realización es más alto que el de los tubos de acero de pozo de petróleo de baja aleación convencionales. El C mejora la templabilidad e incrementa la resistencia del acero. Un contenido de C superior facilita aún más la esferoidización de carburos durante el revenido, lo cual de ese modo mejora la resistencia al SSC. Además, C se combina con Mo o V para formar carburos, lo cual de ese modo mejora la resistencia de ablandamiento de revenido. La dispersión de carburos dará como resultado un incremento adicional de la resistencia del acero. Si el contenido de C es demasiado bajo, estos efectos no se pueden obtener. Por otro lado, si el contenido de C es demasiado alto, la tenacidad del acero se deteriora de manera tal que se hace más probable que ocurra el agrietamiento durante el temple. Por lo tanto, el contenido de C es de 0,40 a 0,65%. El límite inferior del contenido de C con preferencia es de 0,45%, con mayor preferencia 0,48%, y aún con mayor preferencia 0,51%. El límite superior del contenido de C con preferencia es de 0,60%, y con mayor preferencia 0,57%.

Si: de 0,05 a 0,50%

El silicio (Si) desoxida el acero. Si el contenido de Si es demasiado bajo, este efecto no se puede obtener. Por otro lado, si el contenido de Si es demasiado alto, la resistencia al SSC se deteriorará. Por lo tanto, el contenido de Si es de 0,05 a 0,50%. El límite inferior del contenido de Si con preferencia es de 0,10%, y con mayor preferencia 0,15%. El límite superior del contenido de Si con preferencia es de 0,40%, y con mayor preferencia 0,35%.

Mn: de 0,10 a 1,0%

El manganeso (Mn) desoxida el acero. Además, el Mn mejora la templabilidad del acero. Si el contenido de Mn es demasiado bajo, estos efectos no se pueden obtener. Por otro lado, si el contenido de Mn es demasiado alto, Mn, junto con los elementos de impurezas, tales como fósforo (P) y azufre (S), se segrega en los límites de grano. En este caso, la resistencia al SSC y la tenacidad del acero se deteriorarán. Por lo tanto, el contenido de Mn es de 0,10

ES 2 744 934 T3

a 1,0%. El límite inferior del contenido de Mn con preferencia es de 0,20%, y con mayor preferencia 0,30%. El límite superior del contenido de Mn con preferencia es de 0,80%, y con mayor preferencia 0,60%.

P: 0,020% o menos

5 El fósforo (P) es una impureza. P se segrega en los límites de grano, lo cual de este modo deteriora la resistencia al SSC del acero. Por lo tanto, el contenido de P es de 0,020% o menos. El contenido de P con preferencia es de 0,015% o menos, y con mayor preferencia 0,012% o menos. El contenido de P con preferencia es tan bajo como sea posible.

S: 0,0020% o menos

10 El azufre (S) es una impureza. S se segrega en los límites de grano, lo cual de este modo deteriora la resistencia al SSC del acero. Por lo tanto, el contenido de S es de 0,0020% o menos. El contenido de S con preferencia es de 0,0015% o menos, y con mayor preferencia de 0,0010% o menos. El contenido de S con preferencia es tan bajo como sea posible.

Al. Sol.: de 0,005 a 0,10%

15 El aluminio (Al) desoxida el acero. Si el contenido de Al es demasiado bajo, este efecto no se puede obtener y la resistencia al SSC del acero se deteriora. Por otro lado, si el contenido de Al es demasiado alto, se forman óxidos, lo cual de este modo deteriora la resistencia al SSC del acero. Por lo tanto, el contenido de Al es de 0,005 a 0,10%. El límite inferior del contenido de Al con preferencia es de 0,010%, y con mayor preferencia 0,015%. El límite superior del contenido de Al con preferencia es de 0,08%, y con mayor preferencia 0,05%. El término contenido de "Al" de acuerdo con lo utilizado en la presente memoria significa el contenido de "Al soluble en ácido", es decir, "Al. Sol."

20 Cr: más de 0,40 a 2,0%

25 El cromo (Cr) mejora la templabilidad del acero e incrementa su resistencia. Si el contenido de Cr es demasiado bajo, el efecto mencionado con anterioridad no se puede obtener. Por otro lado, si el contenido de Cr es demasiado alto, la tenacidad y la resistencia al SSC del acero se deteriorarán. Por lo tanto, el contenido de Cr es de más de 0,40 a 2,0%. El límite inferior del contenido de Cr con preferencia es de 0,48%, con mayor preferencia 0,50%, y aún con mayor preferencia 0,51%. El límite superior del contenido de Cr con preferencia es 1,25%, y con mayor preferencia 1,15%.

Mo: más de 1,15 a 5,0%

30 El molibdeno (Mo) mejora de manera significativa la templabilidad cuando la temperatura de temple es 925 °C o más. Además, el Mo produce carburos finos, lo cual de ese modo mejora la resistencia de ablandamiento de revenido del acero. Como resultado, el Mo contribuye a la mejora de la resistencia al SSC a través de revenido a alta temperatura. Si el contenido de Mo es demasiado bajo, este efecto no se puede obtener. Por otro lado, si el contenido de Mo es demasiado alto, se satura el efecto mencionado con anterioridad. Por lo tanto, el contenido de Mo es de más de 1,15 a 5,0%. El límite inferior del contenido de Mo con preferencia es 1,20%, y con mayor preferencia 1,25%. El límite superior del contenido de Mo con preferencia es 4,2%, y con mayor preferencia 3,5%.

35 Cu: 0,50% o menos

El cobre (Cu) es una impureza. El Cu deteriora la resistencia al SSC. Por lo tanto, el contenido de Cu es de 0,50% o menos. El contenido de Cu con preferencia es de 0,10% o menos, y con mayor preferencia 0,02% o menos.

Ni: 0,50% o menos

40 El níquel (Ni) es una impureza. El Ni deteriora la resistencia al SSC. Por lo tanto, el contenido de Ni es de 0,50% o menos. El contenido de Ni con preferencia es de 0,10% o menos, y con mayor preferencia 0,02% o menos.

N: 0,007% o menos

El nitrógeno (N) es una impureza. N forma nitruros, lo cual de este modo desestabiliza la resistencia al SSC del acero. Por lo tanto, el contenido de N es de 0,007% o menos. El contenido de N con preferencia es de 0,005% o menos. El contenido de N con preferencia es tan bajo como sea posible.

45 O: 0,005% o menos

El oxígeno (O) es una impureza. O produce óxidos gruesos, lo cual de este modo deteriora la resistencia al SSC del acero. Por lo tanto, el contenido de O es de 0,005% o menos. El contenido de O con preferencia es de 0,002% o menos. El contenido de O con preferencia es tan bajo como sea posible.

50 El resto de la composición química del tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa de la presente forma de realización consiste en Fe e impurezas. Las impurezas de acuerdo con lo utilizado en la presente memoria se

ES 2 744 934 T3

refieren a elementos que se mezclan a partir de minerales y restos que se utilizan como la materia prima de acero, o de los entornos del proceso de producción, etc.

5 La composición química del tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa de la presente forma de realización puede contener además uno o más tipos seleccionados entre el grupo que consiste en V, Nb, Ti, Zr y W en lugar de una parte de Fe.

V: de 0 a 0,25%

10 El vanadio (V) es un elemento opcional, y puede no estar contenido. Si está contenido, V forma carburos, lo cual de ese modo mejora la resistencia de ablandamiento de revenido del acero. Como resultado, el V contribuye a la mejora de la resistencia al SSC a través de revenido a alta temperatura. Sin embargo, si el contenido de V es demasiado alto, la tenacidad del acero se deteriora. Por lo tanto, el contenido de V es de 0 a 0,25%. El límite inferior del contenido de V con preferencia es de 0,07%. El límite superior del contenido de V con preferencia es de 0,20%, y con mayor preferencia 0,15%.

Nb: de 0 a 0,10%

15 El niobio (Nb) es un elemento opcional, y puede no estar contenido. Si está contenido, Nb se combina con C y/o N para formar carburos, nitruros, o carbonitruros. Estos precipitados (carburos, nitruros, y carbonitruros) refinan la subestructura del acero a través de un efecto de fijación, lo cual de ese modo mejora la resistencia al SSC del acero. Sin embargo, si el contenido de Nb es demasiado alto, los nitruros se producen en exceso, lo cual de ese modo desestabiliza la resistencia al SSC del acero. Por lo tanto, el contenido de Nb es de 0 a 0,10%. El límite inferior del contenido de Nb con preferencia es de 0,01%, y con mayor preferencia 0,013%. El límite superior del contenido de Nb con preferencia es de 0,07%, y con mayor preferencia 0,04%.

Ti: de 0 a 0,05%

25 El Titanio (Ti) es un elemento opcional, y puede no estar contenido. Si está contenido, Ti forma nitruros, y refina granos de cristal a través de un efecto de fijación. Sin embargo, si el contenido de Ti es demasiado alto, los nitruros de Ti se vuelven más gruesos, lo cual de este modo deteriora la resistencia al SSC del acero. Por lo tanto, el contenido de Ti es de 0 a 0,05%. El límite inferior del contenido de Ti con preferencia es de 0,005%, y con mayor preferencia 0,008%. El límite superior del contenido de Ti con preferencia es de 0,02%, y con mayor preferencia 0,015%.

Zr: de 0 a 0,10%

30 El circonio (Zr) es un elemento opcional, y puede no estar contenido. Como en el caso de Ti, Zr forma nitruros, y refina granos de cristal a través de un efecto de fijación. Sin embargo, si el contenido de Zr es demasiado alto, los nitruros de Zr se vuelven más gruesos, lo cual de este modo deteriora la resistencia al SSC del acero. Por lo tanto, el contenido de Zr es de 0 a 0,10%. El límite inferior del contenido de Zr con preferencia es de 0,005%, y con mayor preferencia 0,008%. El límite superior del contenido de Zr con preferencia es de 0,02%, y con mayor preferencia 0,015%.

35 W: de 0 a 1,5%

40 El tungsteno (W) es un elemento opcional, y puede no estar contenido. Si está contenido, el W forma carburos, lo cual de ese modo mejora la resistencia de ablandamiento de revenido del acero. Como resultado, el W contribuye a la mejora de la resistencia al SSC a través de revenido a alta temperatura. Además, como en el caso de Mo, el W mejora la templabilidad del acero y, en particular, mejora de manera significativa la templabilidad cuando la temperatura de temple es 925 °C o más. Por lo tanto, el W complementa el efecto de Mo. Sin embargo, si el contenido de W es demasiado alto, su efecto se saturará. Además, el W es costoso. Por lo tanto, el contenido de W es de 0 a 1,5%. El límite inferior del contenido de W con preferencia es de 0,05%, y con mayor preferencia 0,1%. El límite superior del contenido de W con preferencia es 1,3%, y con mayor preferencia 1,0%.

45 El tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa de acuerdo con la presente forma de realización puede contener además B en lugar de una parte de Fe.

B: de 0 a 0,005%

50 El boro (B) es un elemento opcional, y puede no estar contenido. Si está contenido, el B mejora la templabilidad. Este efecto aparece incluso si existe una pequeña cantidad de B que no está inmovilizada por el N en el acero. Sin embargo, si el contenido de B es demasiado alto, $M_{23}(CB)_6$ se forma en los límites de grano, lo cual de este modo deteriora la resistencia al SSC del acero. Por lo tanto, el contenido de B es de 0 a 0,005%. El límite inferior del contenido de B con preferencia es de 0,0005%. El límite superior del contenido de B con preferencia es de 0,003%, y con mayor preferencia 0,002%.

La composición química del tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa de acuerdo con la presente forma de realización puede contener además uno o más tipos seleccionados de entre el grupo que consiste en Ca, Mg, y

un metal de tierras raras (REM, por su sigla en inglés) en lugar de una parte de Fe. Cualquiera de estos elementos mejora la forma de sulfuro, lo cual de ese modo mejora la resistencia al SSC del acero.

Ca: de 0 a 0,003%

Mg: de 0 a 0,003%

5 Metal de Tierras Raras (REM): de 0 a 0,003%

El calcio (Ca), el magnesio (Mg), y el metal de tierras raras (REM) son todos los elementos opcionales, y pueden no estar contenidos. Si están contenidos, estos elementos se combinan con S en el acero para formar sulfuros. Como resultado de esto, las formas de los sulfuros se mejoran, lo cual de ese modo mejora la resistencia al SSC del acero.

10 Además, el REM se combina con P en el acero, y suprime la segregación de P en los límites de grano. Como resultado, se suprime el deterioro de la resistencia al SSC del acero atribuible a la segregación de P.

15 Sin embargo, si los contenidos de estos elementos son demasiado altos, no sólo se saturan estos efectos, sino que también se incrementan las inclusiones. Por lo tanto, el contenido de Ca es de 0 a 0,003%, el contenido de Mg es de 0 a 0,003%, y el contenido de REM es de 0 a 0,003%. El límite inferior del contenido de Ca con preferencia es de 0,0005%. El límite inferior del contenido de Mg con preferencia es de 0,0005%. El límite inferior del contenido de REM con preferencia es de 0,0005%.

El término REM de acuerdo con lo utilizado en la presente memoria es un término general que incluye 15 elementos de la serie de los lantánidos, y Sc e Y. La expresión, REM está contenida, significa que uno o más tipos de estos elementos están contenidos. El contenido de REM significa un contenido total de estos elementos.

[Carburos secundarios en el acero y límite elástico]

20 En el acero de un tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa de acuerdo con la presente forma de realización, el número de carburo que tiene un diámetro equivalente circular de 100 nm o más y contiene 20% en masa o más de Mo es 2 o menos por cada 100 μm^2 . De aquí en adelante, un carburo que tiene un diámetro equivalente circular de 100 nm o más se denomina como un "carburo grueso". Un carburo que contiene 20% en masa o más de Mo se conoce como un "carburo de Mo". En este caso, el contenido de Mo en un carburo se refiere a un contenido de Mo en el que la cantidad total de elementos metálicos es 100% en masa. La cantidad total de elementos metálicos excluye el carbono (C) y el nitrógeno (N). Un carburo de Mo que tiene un diámetro equivalente circular de 100 nm o más se denomina como un "carburo de Mo grueso". El diámetro equivalente circular significa un diámetro del círculo que se obtiene al convertir el área del carburo descrito con anterioridad en un círculo que tenga la misma área.

30 De acuerdo con lo descrito con anterioridad, en un tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa de la presente forma de realización, como resultado de la realización del "temple a alta temperatura" en el que la temperatura de temple es de 925 °C o más, el número de carburo de Mo grueso no disuelto se reduce y más Mo y C se disuelven en el acero. Como resultado de eso, el Mo y el C mejoran la templabilidad, y por lo tanto se puede obtener una alta resistencia. Además, por medio del incremento de la cantidad disuelta de Mo y C, la variación de resistencia en la dirección del grosor de la pared se reduce. Si el número N de carburo de Mo grueso es 2 o menos por cada 100 μm^2 , el límite elástico se volverá 827 MPa o más, y la diferencia entre un valor máximo y un valor mínimo de límite elástico en la dirección del grosor de la pared (de aquí en adelante, se denomina como diferencia del límite elástico ΔYS) se convertirá en 45 MPa o menos en un tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa que tiene un grosor de la pared de 40 mm o más.

40 El número de carburo de Mo grueso se mide por el método siguiente. Una muestra para la observación de la microestructura se muestrea desde cualquier posición en una porción central de grosor de la pared. Una película de réplica se muestrea para la muestra. La toma de muestras de la película de réplica se puede llevar a cabo en las siguientes condiciones. En primer lugar, una cara de observación de la muestra se somete a un pulido especular. A continuación, la cara de observación pulida se erosiona por remojo en un Nital al 3% durante 10 segundos a temperatura normal. Después de eso, se lleva a cabo un sombreado de carbono para formar la película de réplica en la cara de observación. La muestra de la que se forma la película de réplica en la superficie se remoja en un Nital al 5% durante 10 segundos a la temperatura normal para separar la película de réplica de la muestra por la erosión de una interfaz entre la película de réplica y la muestra. Después de ser lavado en solución de etanol, la película de réplica se desnata de la solución de etanol con malla de lámina. La película de réplica se seca y se observa. Por el uso de un microscopio electrónico del tipo de transmisión (TEM) de una magnificación de 10.000, se producen imágenes fotográficas de 10 campos visuales. El área de cada campo visual se hace 10 $\mu\text{m} \times 10 \mu\text{m} = 100 \mu\text{m}^2$.

55 En cada campo visual, se determina un carburo de Mo entre los carburos. De manera específica, se lleva a cabo una Espectroscopia de Dispersión de Energía de rayos X (EDX) para los carburos en cada campo visual. A partir de este resultado, se mide el contenido de cada elemento de metal (que incluye Mo) en los carburos. Entre los carburos, uno que contiene 20% en masa o más de Mo, donde la cantidad total de elementos metálicos es 100% se considera como un carburo de Mo. La cantidad total de elementos metálicos excluye C y N.

Se mide un diámetro equivalente circular de cada carburo de Mo determinado. Se utiliza una aplicación de procesamiento de imágenes de propósito general (ImageJ 1,47v) para la medición. Un carburo de Mo cuyo diámetro equivalente circular medido es 100 nm o más se determina como un carburo de Mo grueso.

5 Se cuenta el número de carburo de Mo grueso en cada campo visual. Un número promedio de carburo de Mo grueso en 10 campos visuales se define como un número N de carburo de Mo grueso (por cada 100 μm^2).

10 Se debe tener en cuenta que el límite elástico y la diferencia del límite elástico ΔYS se miden por el método siguiente. Un espécimen de prueba de tracción de barra redonda con un diámetro de 6 mm y una porción paralela de 40 mm de longitud se fabricó en una posición de una profundidad de 6 mm desde la superficie exterior (una primera posición de la superficie exterior), una posición central del grosor de la pared, y una posición de una profundidad de 6 mm desde la superficie interior (una primera posición de la superficie interior) de una sección normal a la dirección axial del tubo de acero de pozo de petróleo. La dirección longitudinal de la muestra es paralela con la dirección axial del tubo de acero. Con el uso de la muestra, la prueba de tensión se llevó a cabo a una temperatura normal (25 °C) en la presión atmosférica para obtener el límite elástico YS en cada posición. En un tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa de la presente forma de realización, el límite elástico YS es 827 MPa o más en cualquier posición, de acuerdo con lo descrito con anterioridad. Además, la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de un límite elástico YS en las tres posiciones descritas con anterioridad se define como la diferencia del límite elástico YS (MPa). En un tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa de acuerdo con la presente forma de realización, la diferencia del límite elástico YS es 45 MPa o menos, de acuerdo con lo descrito con anterioridad.

20 Se debe tener en cuenta que el límite superior del límite elástico no está limitado en particular. Sin embargo, en el caso de la composición química descrita con anterioridad, el límite superior del límite elástico con preferencia es 930 MPa.

[Método de producción]

25 Se describirá un ejemplo de un método de producción del tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa descrito con anterioridad. En este ejemplo, se hará una descripción sobre un método de producción de un tubo de acero sin costura. El método de producción de un tubo de acero sin costura incluye un paso de fabricación del tubo, un paso de temple, y un paso de revenido.

[Paso de fabricación del tubo]

30 El acero que tiene la composición química descrita con anterioridad se funde y se refina en un método muy conocido. A continuación, el acero fundido se forma en un material de colada continua por un proceso de colada continua. Los ejemplos del material de colada continua incluyen una losa, una masa y un tocho. De manera alternativa, el acero fundido se puede formar en un lingote por medio de un proceso de fabricación de lingotes.

Una losa, una masa, o un lingote se somete a trabajo en caliente para formar un tocho redondo. Un tocho redondo se puede formar por medio de laminación en caliente o forjado en caliente.

35 El tocho se somete a trabajo en caliente para producir una cáscara hueca. En primer lugar, el tocho se calienta en un horno de calentamiento. El tocho retirado del horno de calentamiento se somete a trabajo en caliente para producir una cáscara hueca (tubo de acero sin costura). Por ejemplo, un proceso de Mannesmann se lleva cabo como el trabajo en caliente para producir una cáscara hueca. En este caso, un tocho redondo se lamina por perforación por medio de una máquina de perforación. El tocho redondo laminado por perforación además se lamina en caliente por medio de un laminador de mandril, un reductor, y un laminador de acabado, etc., para formar una cáscara hueca. La cáscara hueca se puede producir a partir de un tocho por otro método de trabajo en caliente. Por ejemplo, en el caso de un tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa corto tal como un acoplamiento, la cáscara hueca se puede producir por medio de forjado.

45 Por medio de los pasos descritos con anterioridad, se produce un tubo de acero que tiene un grosor de la pared de 40 mm o más. Si bien el límite superior del grosor de la pared no está limitado en particular, con preferencia es de 65 mm o menos desde el punto de vista del control de una velocidad de enfriamiento en el paso de temple que se describe más adelante. El diámetro exterior del tubo de acero no está limitado en particular. El diámetro exterior del tubo de acero es, por ejemplo, de 250 a 500 mm.

50 El tubo de acero producido por el trabajo en caliente se puede enfriar por aire (como laminado). El tubo de acero producido por el trabajo en caliente también se puede someter a temple directo después de la fabricación del tubo en caliente sin ser enfriado a una temperatura normal, o se puede someter a temple después de que se lleva a cabo un calentamiento suplementario (recalentamiento) después de la fabricación del tubo en caliente. Sin embargo, cuando se lleva a cabo un temple directo o un temple después del calentamiento suplementario (denominado temple en línea), se prefiere que el enfriamiento se detenga en la mitad de camino del temple, o que se lleve a cabo un enfriamiento lento con el propósito de suprimir el agrietamiento durante el temple.

55 Cuando se lleva a cabo el temple directo después de la fabricación del tubo en caliente, o el temple se lleva a cabo

después de llevar a cabo el calentamiento suplementario después de la fabricación del tubo en caliente, se prefiere que el recocido para eliminar el estrés (tratamiento SR) se lleve a cabo después del temple y antes del tratamiento térmico en el siguiente paso para el propósito de eliminar la tensión residual. De aquí en adelante, el paso de temple se describirá en detalle.

5 [Paso de temple]

La cáscara hueca después del trabajo en caliente se somete a temple. El temple se puede llevar a cabo varias veces. Sin embargo, el temple a alta temperatura (temple a una temperatura de temple de 925 a 1100 °C) que se muestra a continuación se lleva a cabo por lo menos una vez.

10 En el temple a alta temperatura, el remojo se lleva a cabo con una temperatura de temple de 925 a 1100 °C. Si la temperatura de temple es inferior a 925 °C, un carburo de Mo no disuelto no se disolverá de manera suficiente. Como resultado, el número N de carburo de Mo grueso se convierte en más del 2 por cada 100 μm². En tal caso, el límite elástico de un tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa puede ser inferior a 827 MPa, y la diferencia del límite elástico ΔYS en la dirección del grosor de la pared puede exceder 45 MPa. Por otra parte, cuando la temperatura de temple excede a 1100 °C, la resistencia al SSC se deteriora ya que los granos y se vuelven significativamente gruesos. Si la temperatura de temple en el temple a alta temperatura es de 925 a 1100 °C, un carburo de Mo se disuelve de manera suficiente, y el número N de carburo de Mo grueso llegará a ser 2 o menos por cada 100 μm². Como resultado, la capacidad de endurecimiento se mejora de manera significativa. Como resultado, el límite elástico de un tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa después del revenido se convertirá en 827 MPa o más, y la diferencia del límite elástico ΔYS en la dirección del grosor de la pared se convertirá en 45 MPa o menos. El límite inferior de la temperatura de temple en el temple a alta temperatura con preferencia es de 930 °C, con mayor preferencia 940 °C, y con mayor preferencia 950 °C. El límite superior de la temperatura de temple con preferencia es de 1050 °C.

25 El tiempo de remojo en el temple a alta temperatura con preferencia es de 15 minutos o más. Si el tiempo de remojo es de 15 minutos o más, se hace más probable que un carburo de Mo se disuelva. El límite inferior del tiempo de remojo con preferencia es de 20 minutos. El límite superior del tiempo de remojo con preferencia es de 90 minutos. Incluso cuando la temperatura de calentamiento es 1000 °C o más, si el tiempo de remojo es de 90 minutos o menos, el engrosamiento de los granos y se suprime y la resistencia al SSC se mejora aún más. Sin embargo, incluso si el tiempo de remojo es superior a 90 minutos, se puede obtener un cierto nivel de resistencia al SSC.

30 Cuando el temple se lleva a cabo varias veces, el primer temple con preferencia es un temple a alta temperatura. En este caso, un carburo de Mo se disuelve de manera suficiente por el primer temple a alta temperatura. Como resultado, incluso si la temperatura de temple en temple de la etapa siguiente es una temperatura baja de menos de 925 °C, se puede obtener una alta templabilidad. Como resultado, es posible incrementar aún más el límite elástico.

35 Además, en el enfriamiento en el temple final durante la realización de temple una vez o múltiples veces, se prefiere que la velocidad de enfriamiento sea de 0,5 a 5 °C/seg en un intervalo de temperatura de 500 a 100 °C en una posición donde la velocidad de enfriamiento se hace mínima (en adelante, se hace referencia como un punto de enfriamiento más lento) entre posiciones en la dirección del grosor de la pared. Cuando la velocidad de enfriamiento descrita con anterioridad es menor de 0,5 °C/seg, es probable que la proporción de martensita sea deficiente. Por otro lado, cuando la velocidad de enfriamiento descrita con anterioridad es de más de 5 °C/seg, se puede producir un agrietamiento durante el temple. Cuando la velocidad de enfriamiento descrita con anterioridad es de 0,5 a 5 °C/seg, la proporción de martensita en el acero se incrementa de manera suficiente, lo que da como resultado un incremento del límite elástico. Los medios de enfriamiento no están limitados en particular. Por ejemplo, el enfriamiento por agua de neblina se puede llevar a cabo para la superficie exterior o las superficies exteriores e interiores del tubo de acero, o el enfriamiento se puede llevar a cabo por el uso de un medio, que tiene una capacidad de transferencia de calor menor que la del agua, tal como un aceite o un polímero.

45 Con preferencia, el enfriamiento forzado en la velocidad de enfriamiento descrita con anterioridad se inicia antes de que la temperatura en la posición de enfriamiento más lento del material de acero se convierta en 600 °C o menos. En este caso, es más probable que el límite elástico se incremente.

[Dureza (HRC) después del temple y antes del revenido]

50 Cuando el tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa descrito con anterioridad es un acoplamiento, de acuerdo con lo especificado por la especificación de API 5CT, la dureza Rockwell (HRC) del tubo de acero después del temple y antes del revenido (es decir, como material templado) con preferencia no es menor que el HRCmin especificado por la Fórmula (1) en toda el área del tubo de acero.

$$\text{HRCmin} = 58 \times C + 27 \quad (1)$$

donde "C" en la Fórmula (1) se sustituye por un contenido de C (% en masa).

55 Si la velocidad de enfriamiento en un intervalo de 500 a 100 °C en la posición de enfriamiento más lento descrita con anterioridad es menor que 0,5 °C/seg, la dureza Rockwell (HRC) se convertirá en menos de HRCmin de la Fórmula

ES 2 744 934 T3

(1). Si la velocidad de enfriamiento es de 0,5 a 5 °C/seg, la dureza Rockwell (HRC) se volverá no menos de HRCmin de acuerdo con lo especificado por la Fórmula (1). El límite inferior de la velocidad de enfriamiento descrita con anterioridad con preferencia es de 1,2 °C/seg. El límite superior de la velocidad de enfriamiento descrita con anterioridad con preferencia es de 4,0 °C/seg.

- 5 De acuerdo con lo descrito con anterioridad, el temple se puede llevar a cabo dos o más veces. En este caso, el temple de por lo menos una vez puede ser un temple a alta temperatura. Cuando el temple se lleva a cabo varias veces, de acuerdo con lo descrito con anterioridad, se prefiere llevar a cabo el tratamiento SR después del temple y antes de llevar a cabo el temple en la etapa siguiente para el propósito de eliminar la tensión residual generada por el temple.
- 10 Cuando se lleva a cabo el tratamiento SR, la temperatura de tratamiento es de 600 °C o menos. Es posible evitar la aparición de agrietamiento retrasado después del temple por medio del tratamiento SR. Si la temperatura de tratamiento es superior a 600 °C, los granos antes de la austenita después del temple definitivo pueden llegar a ser gruesos.

[Paso de revenido]

- 15 El revenido se lleva a cabo después de que se lleva a cabo el temple descrito con anterioridad. La temperatura de revenido es de 650 °C al punto Ac₁. Si la temperatura de revenido es inferior a 650 °C, la esferoidización de carburos se volverá insuficiente, y la resistencia al SSC se deteriorará. El límite inferior de la temperatura de revenido con preferencia es de 660 °C. El límite superior de la temperatura de revenido con preferencia es de 700 °C. El tiempo de remojo de la temperatura de revenido con preferencia es de 15 a 120 minutos.

20 Ejemplos

Se produjo un acero fundido con un peso de 180 kg y que tenía las composiciones químicas que se muestran en la Tabla 3.

[Tabla 3]

Marca	Composición química (en % en masa, y el resto son Fe e impurezas)																Otros
	C	Si	Mn	P	S	Al. Sol.	Cr	Mo	Cu	Ni	N	O	V	Nb	Ti	Ca	
A	0,51	0,24	0,44	0,009	0,0009	0,031	0,51	1,20	0,02	0,02	0,0046	0,0013	0,10	-	0,005	0,0002	-
B	0,50	0,24	0,44	0,008	0,0008	0,031	1,02	1,50	0,02	0,02	0,0045	0,0014	0,10	-	0,008	0,0003	-
C	0,51	0,24	0,31	0,010	0,0011	0,031	0,51	2,02	-	-	0,0047	0,0008	-	0,030	0,006	0,0010	-
D	0,51	0,24	0,31	0,011	0,0010	0,030	0,52	2,01	-	-	0,0051	0,0009	0,10	0,030	0,006	0,0014	-
E	0,52	0,24	0,29	0,012	0,0009	0,032	1,01	1,49	-	-	0,0048	0,0009	0,10	0,030	0,006	0,0005	-
F	0,61	0,19	0,44	0,010	0,0007	0,033	1,02	1,20	-	-	0,0039	0,0010	0,10	0,013	0,009	0,0003	-
G	0,49	0,20	0,45	0,008	0,0010	0,021	0,65	3,50	-	-	0,0025	0,0007	0,06	0,027	0,005	0,0004	-
H	0,52	0,31	0,62	0,007	0,0007	0,034	0,63	1,76	0,01	0,02	0,0033	0,0012	-	-	-	-	-
I	0,55	0,22	0,28	0,009	0,0011	0,043	0,61	1,55	0,01	0,02	0,0029	0,0007	-	-	-	-	B 0,0015
J	0,53	0,19	0,42	0,010	0,0012	0,038	0,64	1,25	0,01	0,02	0,0030	0,0011	-	-	-	-	W 0,5
K	0,56	0,33	0,35	0,007	0,0013	0,040	0,55	1,59	0,02	0,01	0,0035	0,0009	-	-	-	-	Zr 0,0021

- 25 El acero fundido de cada marca se utilizó para la producción de un lingote. El lingote se laminó en caliente para producir una placa de acero suponiendo el uso de un tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa. El grosor de la placa (correspondiente al grosor de la pared) de la placa de acero de cada número de Prueba estuvo de acuerdo con lo mostrado en la Tabla 4.

ES 2 744 934 T3

[Tabla 4]

Número de prueba	Marca	Grosor de la placa	Tratamiento térmico	Dureza de acuerdo con lo templado (HRC)			
				Segunda posición de la superficie exterior	Posición central del grosor de la pared	Segunda posición de la superficie interior	HRCmin
1	A	40 mm	950 °C 30 minutos de Niebla Q (Velocidad de enfriamiento 3 °C/s)	57,8	58,6	58,3	56,6
2	A	53 mm	950 °C 30 minutos de Niebla Q + 580 °C 10 minutos de SR + de 900 °C 30 minutos de Niebla Q (Velocidad de enfriamiento de 2 °C/s)	57	57,5	56,9	56,6
3	B	40 mm	950 °C 30 minutos de Niebla Q (Velocidad de enfriamiento 3 °C/s)	56,9	57	56,6	56,0
4	B	53 mm	950 °C 30 minutos de Niebla Q + 580 °C 10 minutos de SR + de 900 °C 30 minutos de Niebla Q (Velocidad de enfriamiento de 2 °C/s)	57,4	58,9	58,1	56,0
5	C	40 mm	950 °C 30 minutos de Niebla Q + de 600 °C 15 minutos de SR + de 900 °C 30 minutos de Niebla Q (Velocidad de enfriamiento 3 °C/s)	57,3	58	57	56,6
6	C	53 mm	970 °C 30 minutos de Niebla Q + de 600 °C 15 minutos de SR + de 900 °C 30 minutos de Niebla Q (Velocidad de enfriamiento de 2 °C/s)	58	59,8	57,3	56,6
7	D	40 mm	980 °C 30 minutos de Niebla Q + de 600 °C 15 minutos de SR + de 900 °C 30 minutos de Niebla Q (Velocidad de enfriamiento de 2 °C/s)	59,1	59,2	57,5	56,6
8	D	53 mm	1000 °C 30 minutos de Niebla Q + de 600 °C 15 minutos de SR + de 900 °C 30 minutos de Niebla Q (Velocidad de enfriamiento de 1,5 °C/s)	58,1	57,2	57,2	56,6
9	E	40 mm	950 °C 30 minutos de Niebla Q + de 600 °C 15 minutos de SR + de 900 °C 30 minutos de Niebla Q (Velocidad de enfriamiento de 2 °C/s)	59,5	60	58	57,2
10	E	53 mm	950 °C 30 minutos de Niebla Q + de 600 °C 15 minutos de SR + de 900 °C 30 minutos de Niebla Q (Velocidad de enfriamiento 3 °C/s)	59,8	60,4	58,3	57,2
11	F	40 mm	950 °C 30 minutos de Niebla Q + de 600 °C 15 minutos de SR + de 900 °C 30 minutos de Niebla Q (Velocidad de enfriamiento de 1,5 °C/s)	62,7	63,2	63,3	62,4
12	F	53 mm	950 °C 30 minutos de Niebla Q + de 600 °C 15 minutos de SR + de 900 °C 30 minutos de Niebla Q (Velocidad de enfriamiento de 1,5 °C/s)	62,7	62,8	62,6	62,4
13	G	40 mm	1050 °C 30 minutos de Niebla Q	60,1	59,6	60	55,4

ES 2 744 934 T3

			(Velocidad de enfriamiento de 2 °C/s)				
14	G	53 mm	1050 °C 30 minutos de Niebla Q + de 550 °C 15 minutos de SR + de 960 °C 30 minutos de Niebla Q (Velocidad de enfriamiento de 2 °C/s)	58,5	57,9	57,5	55,4
15	C	40 mm	900 °C 30 minutos de Niebla Q (Velocidad de enfriamiento 3 °C/s)	60,5	51,5	52	56,6
16	C	53 mm	900 °C 30 minutos de Niebla Q + de 550 °C 15 minutos de SR + de 900 °C 30 minutos de Niebla Q (Velocidad de enfriamiento 3 °C/s)	58,7	50,3	51,3	56,6
17	H	40 mm	950 °C 30 minutos de Niebla Q (Velocidad de enfriamiento 3 °C/s)	59,1	58,5	58,3	57,2
18	I	45 mm	950 °C 30 minutos de Niebla Q (Velocidad de enfriamiento de 2,5 °C/s)	62,0	61,5	61,0	58,9
19	J	45 mm	950 °C 30 minutos de Niebla Q (Velocidad de enfriamiento de 2,5 °C/s)	59,1	58,5	58,3	57,7
20	K	53 mm	950 °C 30 minutos de Niebla Q (Velocidad de enfriamiento de 2 °C/s)	61,5	61,0	61,0	59,5

5 El tratamiento térmico (temple y tratamiento SR) se llevó a cabo en las condiciones de tratamiento térmico que se muestran en la Tabla 4 para las placas de acero de cada número de Prueba después de la laminación en caliente. Con referencia a la Tabla 4, se indica que en la Prueba Núm. 1, el temple por enfriamiento por niebla (niebla Q) se llevó a cabo una vez, la temperatura de temple era de 950 °C, el tiempo de remojo fue de 30 minutos, y la velocidad de enfriamiento de la placa de acero en un intervalo de temperatura de 500 a 100 °C fue de 3 °C/seg (indicado como "Velocidad de enfriamiento 3 °C/s" en la Tabla 4).

10 Se indica que en la Prueba Núm. 2, el temple por enfriamiento por niebla se llevó a cabo en el temple de la primera vez, en el que la temperatura de temple era 950 °C, y el tiempo de remojo fue de 30 minutos. Se indica que, a partir de ese entonces, se llevó a cabo el tratamiento SR (denotado por "SR" en la Tabla 4), en el que la temperatura del tratamiento térmico fue de 580 °C y el tiempo de remojo fue de 10 minutos. Esto significa que, a partir de ese entonces, se llevó a cabo el temple por enfriamiento por niebla de la segunda vez, en el que la temperatura de temple era 900 °C, el tiempo de remojo fue de 30 minutos, y la velocidad de enfriamiento fue de 2 °C/seg. Se debe tener en cuenta que en el temple por enfriamiento por niebla, el agua de neblina se pulverizó sobre sólo una de las superficies (2 superficies) de la placa de acero. A continuación, se supuso que la superficie sobre la que se había pulverizado el agua de neblina era la superficie exterior del tubo de acero, y se supuso que la superficie del otro lado era la superficie interior del tubo de acero.

20 Cada una de las velocidades de enfriamiento que se muestran en la Tabla 4 es una velocidad de enfriamiento promedio en un intervalo de 500 a 100 °C en la posición de enfriamiento más lento de la placa de acero de cada número de Prueba.

Después de que se llevó a cabo el tratamiento térmico descrito con anterioridad, se llevó a cabo el revenido. En el revenido de cada número de Prueba, la temperatura de revenido fue de 680 a 720 °C, y el tiempo de remojo fue de 10 a 120 minutos.

[Prueba de medición de dureza Rockwell después del temple y antes del revenido]

25 La dureza Rockwell se midió de acuerdo con lo mostrado a continuación para la placa de acero (como material templado) de cada número de Prueba después del tratamiento térmico descrito con anterioridad (después del temple final). La prueba de dureza Rockwell (HRC) conforme a JIS Z2245 (2011) se llevó a cabo en una posición de una profundidad de 1,0 mm desde la superficie exterior (la superficie sobre la que se había pulverizado el agua de neblina) (de aquí en adelante denominada como una "segunda posición de la superficie exterior"), una posición central del grosor de la placa que corresponde al centro del grosor de la pared (posición central del grosor de la pared), y una posición de una profundidad de 1,0 mm desde la superficie interior (la superficie opuesta a la superficie sobre la que se había pulverizado el agua de neblina) (de aquí en adelante denominada como una "segunda posición de la superficie interior") de la placa de acero. De manera específica, la dureza Rockwell (HRC) de tres ubicaciones arbitrarias se determinó en cada una de la segunda posición de la superficie exterior, la posición central del grosor de la pared y la segunda posición de la superficie interior, y un promedio de las mismas se definió como la dureza Rockwell (HRC) de cada posición (la segunda posición de la superficie exterior, la posición central del grosor de la pared y la segunda posición de la superficie interior).

ES 2 744 934 T3

[Prueba de medición del número N de carburo de Mo grueso]

El número N de carburo de Mo grueso (por cada 100 μm^2) se determinó por el método descrito con anterioridad para la placa de acero de cada número de Prueba después del revenido.

[Prueba del límite elástico (YS) y la resistencia a la tracción (TS)]

- 5 Un espécimen de prueba de tracción de barra redonda con un diámetro de 6 mm y una porción paralela de 40 mm de longitud fue fabricado en una posición de una profundidad de 6,0 mm desde la superficie exterior (la superficie sobre la que se había pulverizado el agua de neblina) (una primera posición de la superficie exterior), una posición central del grosor de la pared, y una posición de una profundidad de 6,0 mm desde la superficie interior (la superficie opuesta a la superficie sobre la que se había pulverizado el agua de neblina) (una primera posición de la superficie interior) de la placa de acero de cada número de Prueba después del revenido. La dirección axial del espécimen de prueba a la tracción fue paralela con la dirección de laminación de la placa de acero.

- 10 Por el uso de cada espécimen de prueba de barra redonda, se llevó a cabo prueba de tracción a una temperatura normal (25 °C) en la atmósfera para obtener el límite elástico YS (MPa) y la resistencia a la tracción (TS) en cada posición. Además, se determinó la diferencia del límite elástico YS (MPa), que es la diferencia entre un valor máximo y un valor mínimo de un límite elástico YS (MPa) en cada posición.

[Prueba de resistencia al SSC]

- 15 Un espécimen de prueba de tracción de barra redonda con un diámetro de 6,3 mm y una porción paralela de 25,4 mm de longitud se fabricaron a partir de la primera posición de la superficie exterior, la posición central del grosor de la pared, y la primera posición de la superficie interior de la placa de acero de cada número de Prueba después del revenido.

- 20 Por el uso de cada espécimen de prueba, se llevó a cabo una prueba de resistencia al SSC de tipo de carga constante conforme a un método A de NACE-TM0177 (versión 2005). De manera específica, el espécimen de prueba se sumergió en un baño NACE-A de 24 °C (la presión parcial de H_2S era 1 bar), y el espécimen de prueba sumergido se sometió a una carga correspondiente a 90% del límite elástico obtenido por la prueba de límite elástico descrita con anterioridad. Después de transcurridas 720 horas, se observó si se había producido o no un agrietamiento en el espécimen de prueba. Cuando no se observó agrietamiento, se determinó que la resistencia al SSC era excelente ("NF" en la Tabla 5), y cuando se observó agrietamiento, se determinó que la resistencia al SSC era escasa ("F" en la Tabla 5).

[Resultados de la prueba]

- 30 La Tabla 5 muestra los resultados de la prueba.

[Tabla 5]

Número de prueba	Marca	Grosor de la pared	Número N de carburo de Mo grueso por cada 100 μm^2	YS (MPa)				TS (MPa)			Resistencia al SSC		
				Primera posición de la superficie exterior	Posición central del grosor de la pared	Primera posición de la superficie interior	Δ YS	Primera posición de la superficie exterior	Posición central del grosor de la pared	Primera posición de la superficie interior	Primera posición de la superficie exterior	Posición central del grosor de la pared	Primera posición de la superficie interior
1	A	40 mm	1,3	890	885	880	10	977	975	970	NF	NF	NF
2	A	53 mm	0,0	875	878	870	8	959	962	955	NF	NF	NF
3	B	40 mm	1,6	922	920	920	2	986	982	985	NF	NF	NF
4	B	53 mm	1,3	893	888	885	8	965	958	955	NF	NF	NF
5	C	40 mm	1,0	894	884	869	25	954	942	937	NF	NF	NF
6	C	53 mm	1,0	913	910	874	39	970	967	946	NF	NF	NF
7	D	40 mm	0,0	913	879	875	38	980	950	933	NF	NF	NF
8	D	53 mm	0,0	890	887	873	17	947	944	943	NF	NF	NF
9	E	40 mm	1,2	968	965	965	3	1023	1016	1020	NF	NF	NF
10	E	53 mm	1,8	898	873	879	25	947	946	950	NF	NF	NF
11	F	40 mm	1,0	885	900	873	27	975	976	952	NF	NF	NF
12	F	53 mm	1,2	910	899	878	32	961	954	950	NF	NF	NF
13	G	40 mm	1,0	906	907	905	2	964	975	964	NF	NF	NF

ES 2 744 934 T3

14	G	53 mm	1,5	912	912	911	1	973	971	973	NF	NF	NF
15	C	40 mm	4,5	894	854	826	68	954	959	958	NF	F	F
16	C	53 mm	4,0	891	838	803	88	977	963	924	NF	F	F
17	H	40 mm	1,8	850	843	830	20	923	917	912	NF	NF	NF
18	I	45 mm	1,9	875	863	850	25	940	948	943	NF	NF	NF
19	J	45 mm	0,5	911	900	890	21	969	967	970	NF	NF	NF
20	K	53 mm	1,5	888	862	854	34	975	947	938	NF	NF	NF

5 “ Δ YS” en la Tabla 5 muestra la diferencia del límite elástico de cada número de Prueba. Con referencia a la Tabla 5, en los números de Prueba 1 a 14 y los números de Prueba 17 a 20, la composición química era apropiada, y también las condiciones de producción (condiciones de temple) eran apropiadas. Como resultado, el número N de carburo de Mo grueso para los números de Prueba 1 a 14 y los números de Prueba 17 a 20 era de 2 o menos por cada 100 μm^2 . Como resultado, el límite elástico fue de 827 MPa o más a cualquier posición, y la diferencia del límite elástico YS fue de 45 MPa o menos. Además, en la prueba de resistencia al SSC, no se observó agrietamiento en ninguna posición (primera posición de la cara exterior, posición central del grosor de la pared, y primera posición de la superficie interior), que exhiben una excelente resistencia al SSC. Se debe tener en cuenta que la dureza Rockwell antes del revenido (HRC, véase la Tabla 4) para los números de Prueba 1 a 14 y los números de prueba 17 a 20 era todo más de HRCmin calculado a partir de la Fórmula (1) descrita con anterioridad.

10 Por otro lado, las composiciones químicas de números de Prueba 15 y 16 eran ambos apropiados. Sin embargo, las temperaturas de temple en el temple eran ambas de menos de 925 °C. Como resultado, el número N de carburo de Mo grueso era 2 o más por cada 100 μm^2 para ambos números de Prueba 15 y 16. Como resultado, el límite elástico en la primera posición de la superficie interior fue inferior a 827 MPa. Además, la diferencia del límite elástico YS superó 45 MPa. Además, el SSC se confirmó en la posición central del grosor de la pared y la primera posición de la superficie interior.

20 Se han descrito las formas de realización de la presente invención. Sin embargo, las formas de realización descritas con anterioridad son meramente ejemplos para la práctica de la presente invención. Por lo tanto, la presente invención no se limitará a las formas de realización descritas con anterioridad y se pueden llevar a la práctica por medio de la modificación apropiada de las formas de realización descritas con anterioridad dentro del intervalo sin apartarse de la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Un tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa caracterizado por tener un grosor de la pared de 40 mm o más, y que tiene una composición química que consiste en, en % en masa,
- C: de 0,40 a 0,65%,
- 5 Si: de 0,05 a 0,50%,
- Mn: de 0,10 a 1,0%,
- P: 0,020% o menos,
- S: 0,0020% o menos,
- Al. Sol.: de 0,005 a 0,10%,
- 10 Cr: más de 0,40 a 2,0%,
- Mo: más de 1,15 a 5,0%,
- Cu: 0,50% o menos,
- Ni: 0,50% o menos,
- N: 0,007% o menos,
- 15 O: 0,005% o menos,
- V: de 0 a 0,25%,
- Nb: de 0 a 0,10%,
- Ti: de 0 a 0,05%,
- Zr: de 0 a 0,10%,
- 20 W: de 0 a 1,5%,
- B: de 0 a 0,005%,
- Ca: de 0 a 0,003%,
- Mg: de 0 a 0,003%, y
- metal de tierras raras: de 0 a 0,003%, el resto son Fe e impurezas, en el que
- 25 el número de carburo que tiene un diámetro equivalente circular de 100 nm o más y contiene 20% en masa o más de Mo es 2 o menos por cada 100 μm^2 , y en el que
- el tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa tiene un límite elástico de 827 MPa o más, y una diferencia entre un valor máximo y un valor mínimo del límite elástico en una dirección del grosor de la pared es de 45 MPa o menos.
- 30 2. El tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa de acuerdo con la reivindicación 1, que es un tubo sin soldadura.
3. El tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el límite inferior para el contenido de C, en % en masa, es de 0,48%.
- 35 4. El tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el límite inferior para el contenido de C, en % en masa, es de 0,51%.
5. El tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el límite superior para el contenido de Mn, en % en masa, es de 0,80%.
6. El tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el límite superior para el contenido de Mn, en % en masa, es de 0,60%.
- 40 7. El tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el límite superior para el contenido de Cr, en % en masa, es de 1,25%.

ES 2 744 934 T3

8. El tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el límite superior para el contenido de Cr, en % en masa, es de 1,15%.
9. El tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el límite inferior para el contenido de Mo, en % en masa, es de 1,20%.
- 5 10. El tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el límite inferior para el contenido de Mo, en % en masa, es de 1,25%.
11. Un método para la producción de un tubo de acero de pozo de petróleo de pared gruesa, caracterizado porque comprende los pasos de:
 - 10 la producción de un tubo de acero que tiene la composición química de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores,
 - el sometimiento del tubo de acero a un temple una vez o múltiples veces, en el que una temperatura de temple en el temple, por lo menos una vez, es de 925 a 1100 °C, y
 - el sometimiento del tubo de acero a un revenido a una temperatura de 650 °C al punto Ac₁.

FIG. 1

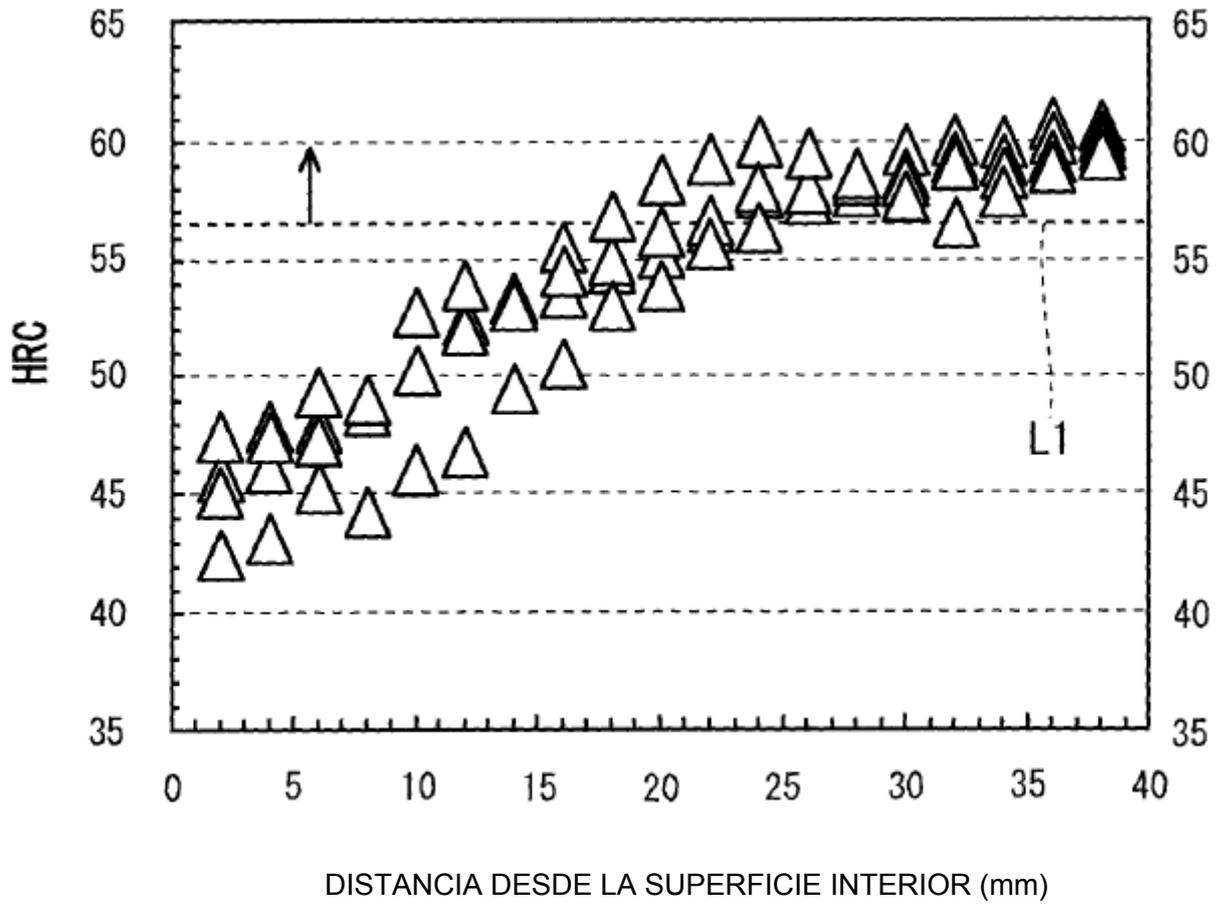


FIG. 2

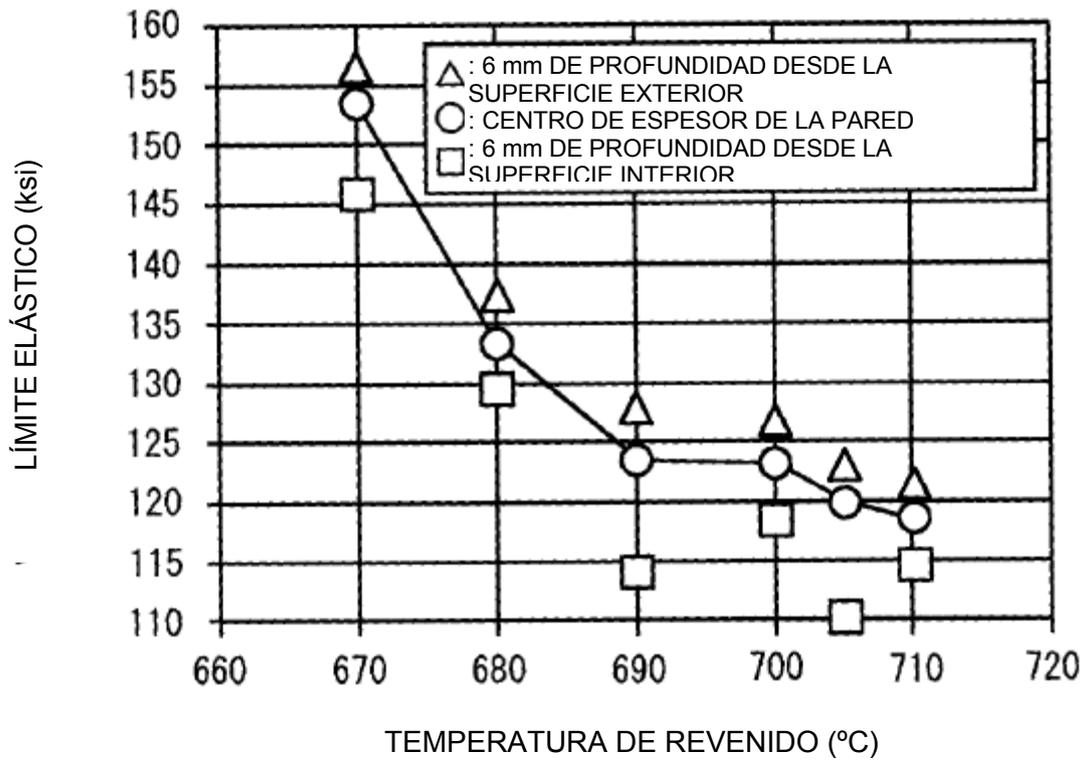


FIG. 3

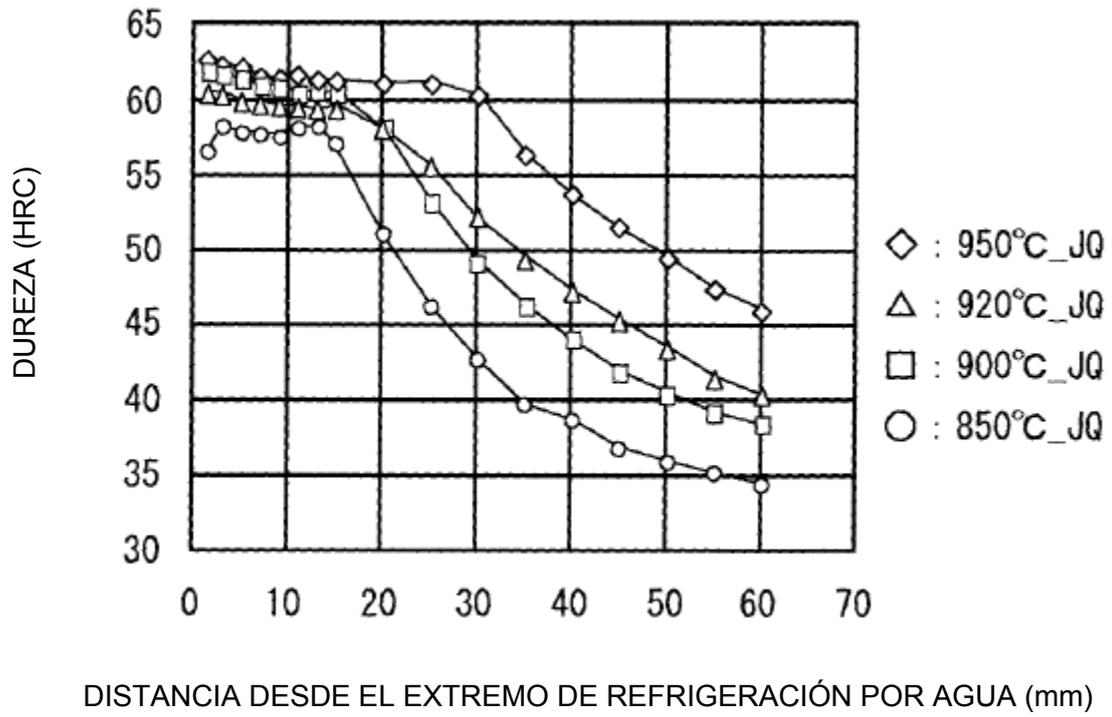


FIG. 4

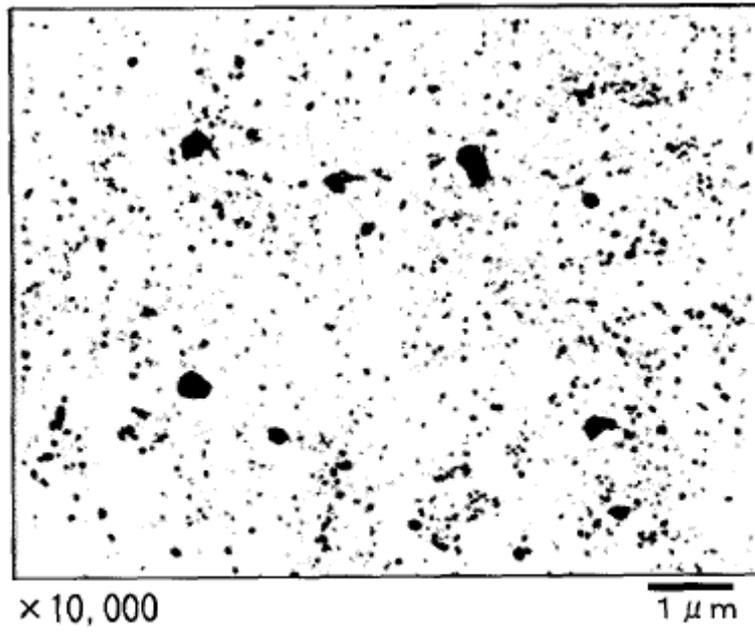


IMAGEN DE CAMPO BRILLANTE

FIG. 5

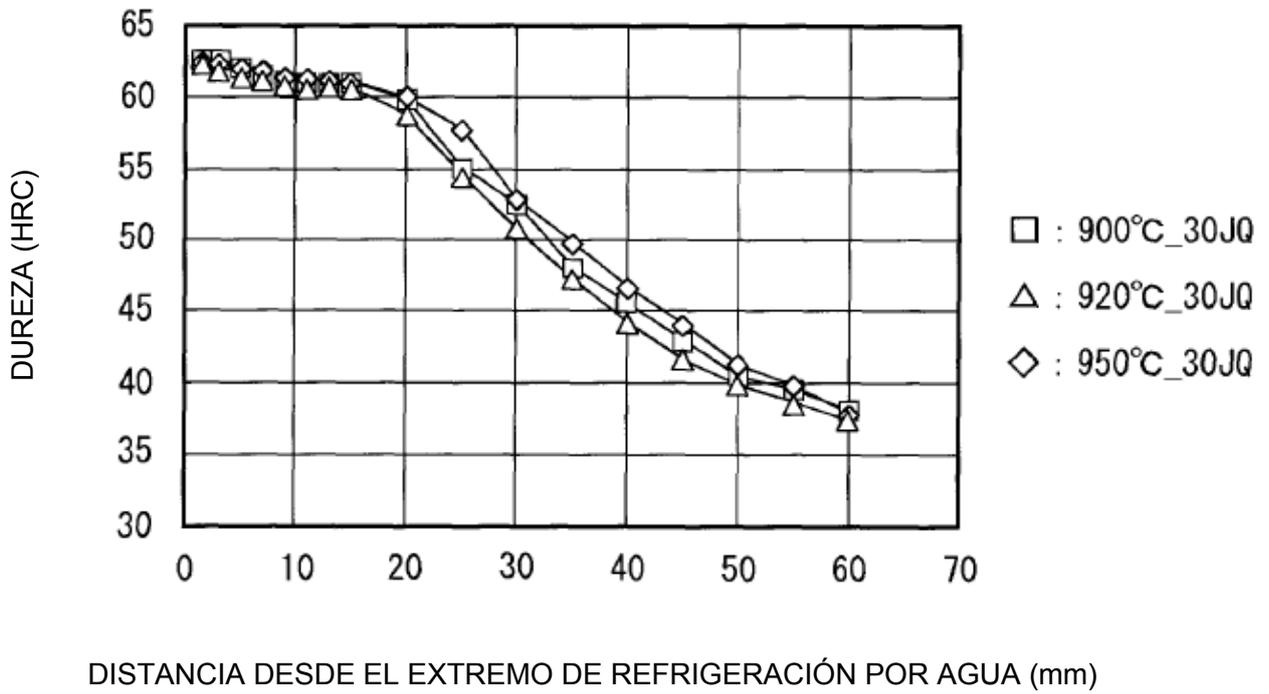
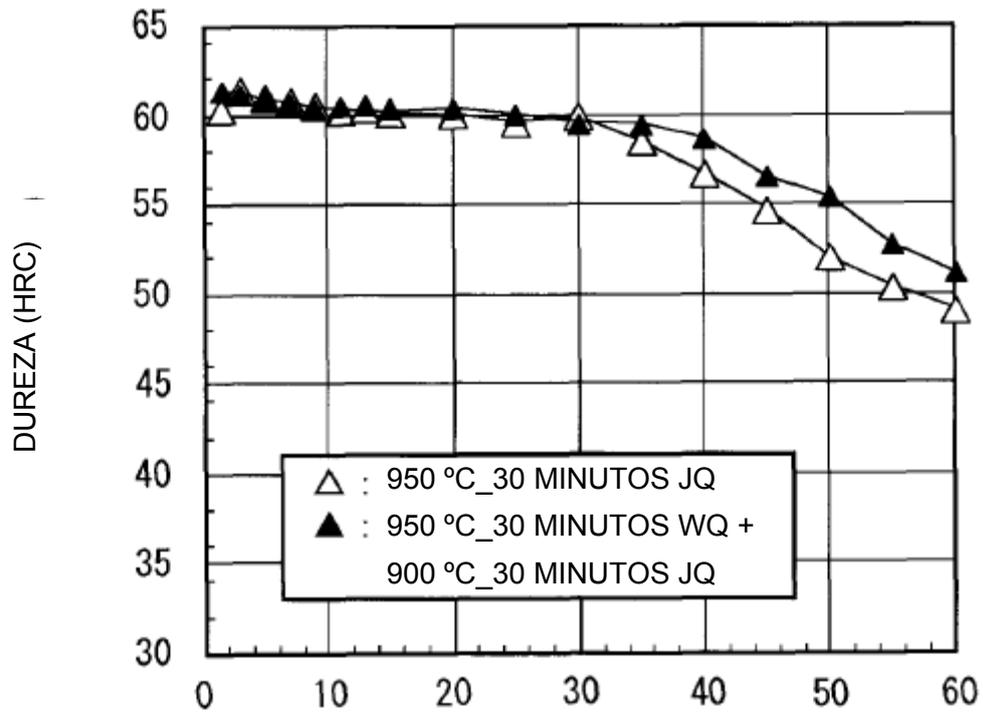


FIG. 6



DISTANCIA DESDE EL EXTREMO DE REFRIGERACIÓN POR AGUA (mm)