

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 689 229**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00	(2006.01) C22C 38/38	(2006.01)
C22C 38/06	(2006.01) C22C 38/42	(2006.01)
C22C 38/58	(2006.01) C22C 38/44	(2006.01)
C21D 9/00	(2006.01) C22C 38/46	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01) C22C 38/48	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01) C22C 38/54	(2006.01)
C22C 38/12	(2006.01) C21D 9/14	(2006.01)
C22C 38/14	(2006.01) C21D 9/50	(2006.01)
C22C 38/24	(2006.01) C21D 9/08	(2006.01)
C22C 38/32	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.12.2012** **PCT/JP2012/082606**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.07.2013** **WO13105395**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.12.2012** **E 12865286 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.08.2018** **EP 2803743**

54 Título: **Acero de baja aleación**

30 Prioridad:

12.01.2012 JP 2012004103

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

12.11.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**HIRATA, HIROYUKI;
KOBAYASHI, KENJI;
OMURA, TOMOHIKO;
KAWANO, KAORI;
TOMATSU, KOTA y
OGAWA, KAZUHIRO**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 689 229 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

Acero de baja aleación

Campo técnico

La presente invención se refiere a un acero de baja aleación.

5 Técnica antecedente

En el desarrollo de los yacimientos petrolíferos submarinos, un tubo de acero denominado tubo ascendente, línea de flujo o línea troncal se usa para la transmisión de petróleo crudo o gas natural entre un pozo de petróleo o pozo de gas en el fondo del mar y una plataforma en el mar o entre la plataforma y una estación de refinería en la tierra. Por otro lado, con el agotamiento mundial de combustibles fósiles, se han desarrollado activamente yacimientos de petróleo que contienen mucho sulfuro de hidrógeno que tiene corrosión. Un tubo de acero para transmitir petróleo crudo o gas natural explotado de yacimientos de petróleo que contiene dicho gas corrosivo a veces se rompe por fragilidad atribuible al hidrógeno formado a partir de una reacción de corrosión denominada fisuración inducida por hidrógeno (en adelante, denominada "HIC") y tensofisuración por sulfuros (en adelante, denominada "SSC"). Se han propuesto trasimismo muchos aceros desarrollados a partir del punto de vista de mejorar la resistencia a la HIC y resistencia a la SSC.

Por ejemplo, el Documento de patente 1 (JP5-255746A) propone un acero proporcionado con excelente resistencia a la HIC al definir el historial de calor y las condiciones de tratamiento térmico al momento de la producción sin contener sustancialmente Ni, Cu ni Ca. Además, el Documento de patente 2 (JP6-336639A) propone un acero proporcionado con resistencia a la HIC y resistencia a la SSC agregando esencialmente Cr, Ni y Cu. Asimismo, el Documento de patente 3 (JP2002-60894A) propone un acero en el cual la resistencia a la HIC y resistencia a la SSC se mejoran al definir los rangos específicos de cantidades de C, Ti, N, V y O.

Cuando se ensambla una estructura al usar cualquiera de estos aceros, por ejemplo, cuando se coloca un tubo de acero que consiste en cualquiera de estos aceros, en general se realizan trabajos de soldadura. Desafortunadamente, por ejemplo, como se describe en el Documento que no es de patente 1, es bien conocido que la susceptibilidad a la SSC aumenta con el aumento de la dureza. Cuando un acero se somete a calentamiento debido a la soldadura, se produce una porción endurecida en una denominada zona afectada por el calor de la soldadura (en adelante, denominada una "HAZ: Zona afectada por el calor"). Sin embargo, independientemente del grado de mejoría a la resistencia a la HIC y la resistencia a la SSC del acero en sí, en muchos casos es imposible lograr un rendimiento prácticamente suficiente de una estructura soldada.

Por lo tanto, en los últimos años, como se describe en el Documento de patente 4 (JP2010- 24504A), también se ha propuesto un acero de alta resistencia en el cual, al reducir las cantidades de C y Mn y al agregar 0,5% o más de Mo, se restringe el endurecimiento de la zona afectada por el calor de la soldadura y se alcanza la resistencia a la HIC y resistencia a la SSC del metal base y la HAZ.

El Documento de patente 5 describe un tubo soldado por resistencia para estabilizador hueco que tiene una composición que contiene C: 0,03 a 0,10 % en peso, Si: 0,20 a 1,0 % en peso, Mn: 1,0-2,5 % en peso, P: 0,03 % en peso o menos, S= 0,005 % en peso o menos, N+O: 150 ppm o menos, Al: 0,01 a 0,1 % en peso, B: 0,0050 % en peso o menos, Ti: 0,02-0,20 % en peso, Nb: 0,02-0,10 % en peso y Ca: 0,0050 % en peso o menos.

Lista de documentos de la técnica anterior

Documento de patente 1: JP5-255746A

40 Documento de patente 2: JP6-336639A

Documento de patente 3: JP2002-60894A

Documento de patente 4: JP2010-24504A

Documento de patente 5: JP2000-178688A

Documento de patente 6: WO 2011/096510 A1

45 Documento que no es de patente 1:

Masanori Kowaka, Corrosion damage and anticorrosion engineering of metal, 25 de agosto de 1983, publicado por Agne Corporation, p. 198

Divulgación de la invención

Problemas a resolver por la invención

50 En la invención del Documento de patente 4, Mo, que es un elemento costoso, es esencial.

Un objetivo de la presente invención es proporcionar un acero de baja aleación en el cual una HAZ tiene excelente resistencia a la fisuración por hidrógeno en ambientes con sulfuro de hidrógeno húmedo o similar sin requerir un alto costo.

Medios para resolver los problemas

- 5 Los inventores de la presente llevaron a cabo exámenes y estudios para optimizar la composición química capaz de mejorar la resistencia a la fisuración por hidrógeno de una zona afectada por calor de la soldadura (HAZ: Zona afectada por el calor, en adelante, denominada "HAZ").

10 Se considera que la razón por la cual la HAZ es altamente susceptible a la fisuración por hidrógeno es la siguiente. En el caso donde un acero se expone a un ambiente corrosivo que contiene sulfuro de hidrógeno, el hidrógeno se introduce en el acero debido a la reacción de la corrosión. Este hidrógeno puede moverse libremente en la estructura cristalina del acero. Este hidrógeno es denominado hidrógeno difusible. Este hidrógeno se acumula en una dislocación o un hueco, que es uno de los tipos de defectos en la estructura cristalina para quebrar el acero. La HAZ es una estructura tras el aplacado siendo calentada a una temperatura alta por el historial de calor de la soldadura y enfriada rápidamente. Por lo tanto, en la HAZ, las dislocaciones y huecos en los cuales está atrapado el hidrógeno existen densamente en comparación con un metal de base térmicamente refinada. Como resultado, se considera que la HAZ es altamente susceptible a la fisuración por hidrógeno en comparación con el metal base.

20 Como resultado de repetidos estudios, se encontró que, para mejorar la susceptibilidad a la fisuración por hidrógeno de la HAZ, fue muy efectivo contener positivamente B, específicamente, contener 0,005 a 0,050% de B. La razón para ello se considera a continuación. Debido a que tener un radio de átomo pequeño como hidrógeno, B existe en una estructura cristalina y puede moverse en la estructura. Además, B tiene una tendencia a segregarse en un defecto de la estructura y existir establemente. Por lo tanto, para el acero que contiene mucho B, se considera que puede evitarse que el hidrógeno se acumule en la dislocación o hueco introducido en la HAZ y puede suprimirse la fisuración.

25 La presente invención se ha realizado en base a los hallazgos descritos anteriormente y el alcance de la misma se define por las reivindicaciones adjuntas.

Efectos de la invención

30 De acuerdo con la presente invención, puede proporcionarse un acero de baja aleación en el cual una HAZ tiene excelente resistencia a la fisuración atribuible al hidrógeno tal como fractura por corrosión por estrés en ambientes de sulfuro de hidrógeno húmedo. Este acero de baja aleación es más adecuado como un material de partida de un tubo de acero para la transmisión de petróleo crudo o gas natural.

Modo para llevar a cabo la invención

35 A continuación, se explica el rango de composición química del acero de baja aleación de acuerdo con la presente invención y la razón para restringir la composición química. En la siguiente explicación, "%" que representa el contenido de cada elemento significa "% de masa".

C: 0,01 a 0,15%

40 C (carbono) es un elemento efectivo para mejorar la endurecibilidad del acero y aumentar la resistencia del mismo. Para alcanzar estos efectos, se debe contener 0,01% o más de C. Sin embargo, si el contenido de C excede 0,15%, la dureza en el estado aplacado aumenta demasiado y la HAZ se endurece, de manera que se mejora la susceptibilidad a la fisuración por hidrógeno de la HAZ. Por lo tanto, el contenido de C se fija en 0,01 a 0,15%. El límite inferior del contenido de C es preferiblemente 0,02%, más preferiblemente 0,03%. El contenido de C es preferiblemente de 0,12% o menos, más preferiblemente menos de 0,10%.

Si: 3% o menos

45 El Si (silicio) es un elemento efectivo para la desoxidación, pero provoca una disminución en la dureza si está contenido en exceso. Por lo tanto, el contenido de Si se fija en un 3% o menos. El contenido de Si es preferiblemente de 2% o menos. El límite inferior del contenido de Si no se define particularmente. Sin embargo, incluso si el contenido de Si disminuye, el efecto de desoxidación disminuye, la limpieza del acero se deteriora y una disminución excesiva del contenido de Si conduce a un aumento del costo de producción. Por lo tanto, el contenido de Si es de 0,01% o más.

50 Mn: 3% o menos

Al igual que el Si, el Mn (magnesio) es un elemento efectivo para la desoxidación y también es un elemento que contribuye a mejorar la endurecibilidad del acero y al aumento de la resistencia del mismo. Sin embargo, si está contenido en exceso, el Mn provoca un endurecimiento notable de la HAZ y mejora la susceptibilidad a la fisuración por hidrógeno. Por lo tanto, el contenido de Mn se fija en un 3% o menos. El límite inferior del

contenido de Mn no está particularmente definido. Sin embargo, para alcanzar el efecto del aumento de la resistencia, el contenido de Mn debe ser de 0,2% o más. El límite inferior del mismo es más preferiblemente de 0,4% y el límite superior preferible del mismo es de 2,8%.

B: 0,006 a 0,050%

5 El B (boro) es un elemento que constituye los hallazgos que son la base de la presente invención. Como se describió anteriormente, el B ocupa el sitio de acumulación de hidrógeno, tal como la dislocación o hueco en la HAZ. Por lo tanto, el B es un elemento efectivo para mejorar la resistencia a la fisuración por hidrógeno. Más aun, cuando se produce un material de acero, el B se segrega en los bordes del grano, mejorando así la endurecibilidad indirectamente, y contribuye a mejorar la resistencia. Para alcanzar estos efectos, se debe
10 contener 0,005% o más de B. Por otro lado, si el B está contenido en exceso, los boruros se precipitan en grandes cantidades en la HAZ, la interfaz entre una matriz y boruros actúa como el sitio de acumulación de hidrógeno e inversamente se produce la fisuración. Por lo tanto, el contenido de B se fija en un 0,006 a 0,050%. El límite inferior del contenido de B es preferiblemente 0,008%. El límite superior del mismo es preferiblemente 0,045%, más preferiblemente 0,040%.

15 En el caso donde la dureza de la HAZ aumenta, la densidad de la dislocación aumenta, entonces es preferible que, para obtener suficiente resistencia a la fisuración por hidrógeno, el límite inferior del contenido de B sea controlado de acuerdo con la dureza más alta de la HAZ. Es decir, para obtener suficiente resistencia a la fisuración por hidrógeno, el contenido de B está en el rango que satisface la Fórmula (1) en la relación con el valor máximo de la dureza de Vickers de la HAZ:

$$20 \quad 0,005 \times Hv/300 + 0,0023 \leq B \quad \dots (1)$$

donde "Hv" en la fórmula significa el valor máximo de dureza de Vickers de la HAZ y "B" significa el contenido de B (% de masa). El valor máximo de dureza de Vickers de la HAZ es un valor que se determina por una prueba de Vickers en la cual la fuerza de la prueba es de 98,07N de conformidad con JIS Z2244.

Al: 0,08% o menos

25 El Al (aluminio) es un elemento efectivo para la desoxidación, pero si se contamina en exceso, se satura el efecto y también se disminuye la dureza. Por lo tanto, el contenido de Al se fija en 0,08% o menos. El contenido de Al es preferiblemente de 0,06% o menos. El límite inferior del contenido de Al no se define particularmente. Sin embargo, una disminución excesiva del contenido de Al no alcanza de manera suficiente el efecto desoxidante, deteriora la limpieza del acero y también aumenta el costo de producción. Por lo tanto, el contenido de Al es de
30 0,001% o más. El contenido de Al en la presente invención significa el contenido de Al soluble en ácido (denominado "sol.Al").

El acero de baja aleación de acuerdo con la presente invención contiene los elementos descritos anteriormente y el resto consiste en Fe e impurezas. Las "impurezas" significan componentes que están mezclados debido a varios factores, incluidas materias primas tales como menas o chatarra, cuando un material de acero se produce
35 a escala industrial. De las impurezas, con relación a los elementos descritos a continuación, el contenido de los mismos debe restringirse rigurosamente.

N: 0,01% o menos

El N (nitrógeno) existe en el acero como una impureza. El nitrógeno produce fisuración cuando se forman carbonitruros finos y disminuye la rigidez incluso cuando se disuelven. Por lo tanto, el contenido de N debe restringirse
40 a 0,01% o menos. El contenido de N es preferiblemente de 0,008% o menos. El límite inferior del contenido de N no está definido particularmente. Sin embargo, una disminución excesiva del contenido de N conduce a un aumento notable en el costo de producción. Por lo tanto, el límite inferior del contenido de N es preferiblemente 0,0001%.

P: 0,05% o menos

45 El P (fósforo) existe en el acero como una impureza. El fósforo se segrega en los bordes de los granos en la HAZ y disminuye la dureza. Por lo tanto, el contenido de P se restringe a 0,05% o menos. El límite inferior del contenido de P no está definido particularmente. Sin embargo, una disminución excesiva del contenido de P conduce a un aumento notable en el costo de producción. Por lo tanto, el límite inferior del contenido de P es preferiblemente 0,001%.

50 S: 0,03% o menos

Al igual que el P, el S (azufre) existe en el acero como una impureza. El azufre forma sulfuros en un material de acero y, debido a que la interfaz con una matriz actúa como un sitio de acumulación de hidrógeno, el S mejora la susceptibilidad a la fisuración por hidrógeno y también disminuye la dureza de la HAZ. Por lo tanto, el contenido de S se restringe a 0,03% o menos, más severamente que P. El límite inferior del contenido de S no está definido

particularmente. Sin embargo, una disminución excesiva del contenido de S conduce a un aumento notable en el costo de producción. Por lo tanto, el límite inferior del contenido de S es preferiblemente 0,0001%.

O: 0,03% o menos

- 5 El O (oxígeno) existe en el acero como una impureza. Si contiene mucho O, se forman grandes cantidades de óxidos y la docilidad y ductilidad se deterioran. Por lo tanto, el contenido de O debe fijarse en 0,03% o menos. El contenido de O es preferiblemente de 0,025% o menos. El límite inferior del contenido de O no necesita estar definido particularmente. Sin embargo, una disminución excesiva del contenido de O conduce a un aumento notable en el costo de producción. Por lo tanto, el contenido de O es preferiblemente de 0,0005% o más.

- 10 El acero de baja aleación de acuerdo con la presente invención puede contener los elementos descritos a continuación en lugar de una parte de Fe.

Uno o más elementos seleccionados de Cr, Mo, Ni y Cu: 1,5% o menos en total

- 15 Uno o más elementos seleccionados de Cr (cromo), Mo (molibdeno), Ni (níquel) y Cu (cobre) pueden estar contenidos debido a que estos elementos mejoran la endurecibilidad y contribuyen a mejorar la resistencia. Sin embargo, si el contenido de los mismos es excesivamente alto, la HAZ se endurece notablemente y de este modo la susceptibilidad a la fisuración por hidrógeno puede mejorarse. Por lo tanto, si uno o más elementos de estos elementos están contenidos, el contenido de los mismos se fija en 1,5% o menos en total. El límite inferior del contenido de estos elementos es preferiblemente 0,02%, más preferiblemente 0,05%. El límite superior del mismo es preferiblemente 1,2%.

Uno o más elementos seleccionados de Ti, V y Nb: 0,2% o menos en total

- 20 Uno o más elementos seleccionados de Ti (titanio), V (vanadio) y Nb (niobio) pueden contenerse debido a que estos elementos son elementos que forman carbo-nitruros finos y contribuyen a mejorar la resistencia y también complementan de manera estable el hidrógeno difusible y producen un efecto considerable para reducir la susceptibilidad a la fisuración por hidrógeno. Sin embargo, si el contenido de los mismos es excesivamente alto, la formación de carbo-nitruros se vuelve excesiva y, de esta manera, puede disminuirse la dureza. Por lo tanto, si uno o más elementos de estos elementos están contenidos, el contenido de los mismos se fija en un 0,2% o menos en total. El límite inferior del contenido de estos elementos es preferiblemente 0,001%, más preferiblemente 0,003%. El límite superior del mismo es preferiblemente 0,15%.

Ca y/o Mg: 0,05% o menos en total

- 30 Al menos uno de Ca (calcio) y Mg (magnesio) puede estar contenido debido a que estos elementos mejoran la forjabilidad en caliente del acero. Sin embargo, si el contenido del mismo es excesivamente alto, estos elementos se combinan con oxígeno para disminuir de manera notable la limpieza, por lo que la forjabilidad en caliente puede deteriorarse. Por lo tanto, si al menos un tipo de estos elementos está contenido, el contenido de los mismos se fija en 0,05% o menos en total. El límite inferior del contenido de Ca y/o Mg es preferiblemente 0,0005%, más preferiblemente 0,001%. El límite superior del mismo es preferiblemente 0,03%.

35 Ejemplo(s)

- 40 Para confirmar los efectos de la presente invención, se llevan a cabo los experimentos descritos a continuación. Un material de prueba se preparó mediante el maquinado de una placa de acero de baja aleación de 12 mm de espesor que tiene la composición química dada en la Tabla 1 y se formó un cuadrado de 12 mm y una longitud de 100 mm. Este material de prueba se sometió a un ciclo térmico simulado de la HAZ en el cual el material de prueba se calentó hasta una temperatura de 1350°C, a la cual la dureza de la HAZ fue notable, durante 3 segundos mediante calentamiento por inducción de alta frecuencia y posteriormente se enfrió rápidamente. Al usar este material de prueba se llevaron a cabo las pruebas descritas a continuación.

<Prueba de tensión>

- 45 De conformidad con JIS Z2241, se tomó una muestra de un espécimen de prueba de tensión de barra redonda que tiene un diámetro de parte paralela de 6 mm y una longitud de parte paralela de 10 mm del material de prueba obtenido y se llevó a cabo una prueba de tensión a temperatura normal.

<Prueba de Vickers>

De conformidad con JIS Z2244, la sección transversal del material de prueba obtenido se hizo aparecer y se llevó a cabo una prueba Vickers en la cual la fuerza de prueba fue 98,07N para medir la dureza Vickers.

- 50 <Prueba de resistencia a la SSC>

Se tomó una muestra de un espécimen de prueba que tenía un espesor de 2 mm, un ancho de 10 mm y una longitud de 75 mm del material de prueba obtenido y se evaluó la resistencia a la SSC mediante una prueba de doblado de cuatro puntos de conformidad con EFC16 especificada por la Federación Europea de Corrosión. En

ES 2 689 229 T3

- 5 la prueba, después de que un estrés que corresponde al 50% de 0,2% del límite elástico, que se derivó de la prueba de tensión, se aplicó al espécimen de prueba de la muestra mediante doblado de cuatro puntos, el espécimen de prueba se sumergió en una solución acuosa de 5% de sal común + 0,5% de ácido acético de temperatura normal (24°C), en la cual se saturó 1 atm de gas de sulfuro de hidrógeno durante 336 horas, con lo cual se examinó la presencia de la ocurrencia de la SSC. Además, la misma prueba se llevó a cabo en una solución acuosa de 5% de sal común + 0,5% de ácido acético de 4°C, cuya temperatura es más rigurosa como un ambiente de SSC. El No. de prueba en la cual no ocurrió la SSC se consideró aceptable y el No. de prueba en la cual ocurrió la SSC se consideró inaceptable.

Estos resultados de prueba son proporcionados en la Tabla 2.

10 Tabla 1

No.	Composición química (% de masa siendo el resto Fe e impurezas)															
	C	Si	Mn	P	S	B	Al	N	O	Cr	Ni	Mo	Ti	Nb	V	Otros
A1	0,10	0,25	1,99	0,013	0,001	0,0087	0,024	0,0063	0,001	-	-	-	-	-	-	-
A2	0,10	0,25	1,98	0,013	0,001	0,0140	0,024	0,0062	0,002	-	-	0,03	0,003	-	-	-
A3	0,09	0,24	1,98	0,013	0,001	0,0170	0,024	0,0061	0,002	-	-	-	-	-	-	-
A4	0,05	0,24	2,04	0,013	0,001	0,0095	0,020	0,0047	0,002	-	-	-	-	-	-	-
A5	0,03	0,23	2,00	0,014	0,001	0,0140	0,016	0,0045	0,002	0,02	0,02	0,03	-	0,01	0,01	Cu:0,02
A6	0,05	0,24	1,62	0,014	0,001	0,0130	0,019	0,0050	0,001	-	0,03	-	0,05	-	-	Ca:0,003
A7	0,10	0,25	1,81	0,015	0,001	0,0079	0,021	0,0050	0,001	0,20	-	-	-	-	0,01	-
A8	0,01	0,25	1,81	0,015	0,001	0,0065	0,020	0,0046	0,003	-	0,60	-	-	-	-	Mg:0,002
B1	0,10	0,24	2,02	0,014	0,001	0,0001*	0,021	0,0044	0,001	-	-	-	-	-	-	-
B2	0,05	0,23	2,93	0,014	0,001	0,0001*	0,021	0,0052	0,001	-	-	-	-	-	-	-
B3	0,05	0,24	2,53	0,014	0,001	0,0035*	0,017	0,0056	0,001	-	0,05	0,01	0,01	-	-	-
B4	0,10	0,26	1,80	0,014	0,001	0,0048*	0,022	0,0048	0,003	0,03	-	-	-	0,02	0,01	-
B5	0,05	0,24	1,61	0,014	0,001	0,0531*	0,020	0,0051	0,002	-	0,03	0,03	-	-	-	-

* indica que no satisface el rango reivindicado.

Tabla 2

No.	Contenido de B (% de masa)	Dureza (Hv)	El valor a la izquierda de la fórmula (1)	Evaluación de la prueba de SSC	
				24°C	4°C
A1	0,0087	328	0,0078	Sin SSC	Sin SSC
A2	0,0140	330	0,0078	Sin SSC	Sin SSC
A3	0,0170	331	0,0078	Sin SSC	Sin SSC
A4	0,0095	299	0,0073	Sin SSC	Sin SSC
A5	0,0140	262	0,0067	Sin SSC	Sin SSC
A6	0,0130	273	0,0069	Sin SSC	Sin SSC
A7	0,0079	279	0,0070	Sin SSC	Sin SSC
A8	0,0065	249	0,0065	Sin SSC	Sin SSC
B1	0,0001	330	0,0078	SSC	SSC

B2	0,0001	317	0,0076	SSC	SSC
B3	0,0035	318	0,0076	SSC	SSC
B4	0,0048	267	0,0068	Sin SSC	SSC
B5	0,0531	251	0,0065	SSC	SSC

Tal como se muestra en la Tabla 2, debido a que el contenido de B contenido en el acero fue menor que 0,005% en las pruebas Nos. B1 a B3, y debido a que el contenido de B contenido en el acero excedió 0,050% en la prueba No. B5, grandes cantidades de boruros se precipitaron en la HAZ, y debido a que los boruros precipitados se volvieron el punto de partida de la fisuración, ocurrió SSC en la prueba de doblado de cuatro puntos a temperatura normal. Además, en la prueba No. B4, aunque el contenido de B fue de tan solo 0,0048% y no ocurrió SSC a temperatura normal, en la condición más rigurosa de 4°C sí ocurrió SSC. Por el contrario, en las pruebas Nos. A1 a A8 en las cuales se cumplieron los requisitos de la presente invención, la ocurrencia de SSC no se reconoció en la prueba de doblado de cuatro puntos en ambas condiciones de prueba de temperatura normal y 4°C.

Aplicación industrial

De acuerdo con la presente invención, puede proporcionarse un acero de baja aleación en el cual una HAZ tiene excelente resistencia a la fisuración atribuible al hidrógeno tal como fractura por corrosión por estrés en ambientes de sulfuro de hidrógeno húmedo. Este acero de baja aleación es más adecuado como un material de partida de un tubo de acero para la transmisión de petróleo crudo o gas natural.

REIVINDICACIONES

1. Un tubo de acero para la transmisión de petróleo crudo o gas natural, en donde el tubo de acero es fabricado con un acero de baja aleación que consiste, en porcentaje en masa, en
C: 0,01 a 0,15%
5 Si: 0,01% a 3%,
Mn: 0,2% a 3%,
B: 0,006 a 0,050%,
Al: 0,001% a 0,08%,
opcionalmente
10 uno o más elementos seleccionados de Cr, Mo, Ni y Cu: 1,5% o menos en total;
uno o más elementos seleccionados de Ti, V y Nb: 0,2% o menos en total; y
Ca y/o Mg: 0,05% o menos en total,
siendo el resto Fe e impurezas,
en donde en las impurezas,
15 N: 0,01% o menos,
P: 0,05% o menos,
S: 0,03% o menos y
O: 0,03% o menos, en donde
el contenido de B satisface la Fórmula (1):
20 $0,005 \times Hv/300 + 0,0023 \leq B \dots (1)$
donde "Hv" en la fórmula significa el valor máximo de dureza de Vickers de una zona afectada por calor y "B" significa el contenido de B en % en masa.
2. El tubo de acero para la transmisión de petróleo crudo o gas natural de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el acero de baja aleación contiene, en porcentaje en masa,
25 uno o más elementos seleccionados de Cr, Mo, Ni y Cu: 0,02 a 1,5% en total.
3. El tubo de acero para la transmisión de petróleo crudo o gas natural de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde el acero de baja aleación contiene, en porcentaje en masa,
uno o más elementos seleccionados de Ti, V y Nb: 0,001 a 0,2% en total.
4. El tubo de acero para la transmisión de petróleo crudo o gas natural de acuerdo con cualquiera de las
30 reivindicaciones 1 a 3, en donde el acero de baja aleación contiene, en porcentaje en masa,
Ca y/o Mg: 0,0005 a 0,05% en total.
5. Uso de un acero de baja aleación para un tubo de acero para la transmisión de petróleo crudo o gas natural, consistiendo el acero de baja aleación, en porcentaje en masa, en
C: 0,01 a 0,15%
35 Si: 0,01% a 3%,
Mn: 0,2% a 3%,
B: 0,006 a 0,050%,
Al: 0,001% a 0,08%,
opcionalmente

uno o más elementos seleccionados de Cr, Mo, Ni y Cu: 1,5% o menos en total;

uno o más elementos seleccionados de Ti, V y Nb: 0,2% o menos en total; y

Ca y/o Mg: 0,05% o menos en total,

siendo el resto Fe e impurezas,

5 en donde en las impurezas,

N: 0,01% o menos,

P: 0,05% o menos,

S: 0,03% o menos y

O: 0,03% o menos, en donde

10 el contenido de B satisface la Fórmula (1):

$$0,005 \times Hv/300 + 0,0023 \leq B \dots (1)$$

donde "Hv" en la fórmula significa el valor máximo de dureza de Vickers de una zona afectada por calor y "B" significa el contenido de B en porcentaje en masa.

15 6. Uso de un acero de baja aleación para un tubo de acero para la transmisión de petróleo crudo o gas natural de acuerdo con la reivindicación 5, en donde el acero de baja aleación contiene, en porcentaje en masa,

uno o más elementos seleccionados de Cr, Mo, Ni y Cu: 0,02 a 1,5% en total.

7. Uso de un acero de baja aleación para un tubo de acero para la transmisión de petróleo crudo o gas natural de acuerdo con la reivindicación 5 o 6, en donde el acero de baja aleación contiene, en porcentaje en masa,

uno o más elementos seleccionados de Ti, V y Nb: 0,001 a 0,2% en total.

20 8. Uso de un acero de baja aleación para un tubo de acero para la transmisión de petróleo crudo o gas natural de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, en donde el acero de baja aleación contiene, en porcentaje en masa, Ca y/o Mg: 0,0005 a 0,05% en total.