

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 721 771**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00	(2006.01)	C22C 38/20	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01)	C22C 38/32	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01)	C21D 8/02	(2006.01)
C22C 38/06	(2006.01)	C21D 9/46	(2006.01)
C22C 38/16	(2006.01)		
C22C 38/12	(2006.01)		
C22C 38/14	(2006.01)		
C22C 38/08	(2006.01)		
C22C 38/38	(2006.01)		
C22C 38/22	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.09.2015 PCT/JP2015/076739**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **07.04.2016 WO16052271**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.09.2015 E 15847736 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.02.2019 EP 3202941**

54 Título: **Material de acero y tuberías expansibles para pozos de petróleo**

30 Prioridad:

29.09.2014 JP 2014198783

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

05.08.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**KOBAYASHI, KENJI y
TOMIO, YUSAKU**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 721 771 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

Material de acero y tuberías expansibles para pozos de petróleo

Campo técnico

5 La presente invención versa sobre un material de acero y productos tubulares expansibles para pozos de petróleo y, más en particular, sobre un material de acero excelente en la expansibilidad de los tubos y la resistencia al agrietamiento por fatiga por sulfuro, que es usado en entornos de pozos petrolíferos y pozos de gas y entornos similares que contienen sulfuro de hidrógeno (H₂S) y en productos tubulares expansibles para pozos de petróleo que lo usan.

Antecedentes de la técnica

10 En la perforación de pozos petrolíferos y pozos de gas (denominados colectivamente en lo sucesivo simplemente "pozos petrolíferos"), un método general empleado es insertar y enterrar tuberías de revestimiento después de que una perforación alcance una profundidad predeterminada para impedir que se desmorone la pared de un pozo. Además, la operación de inserción de tuberías de revestimiento que tienen un diámetro externo menor una a una se repite mientras se realiza la perforación. Por lo tanto, convencionalmente, en el caso en que es necesario realizar la perforación hasta una gran profundidad, el área de perforación del pozo petrolífero en una porción del estrato cercano a la superficie se hace mayor en la dirección del diámetro externo debido al aumento en el número de veces que se inserta una tubería de revestimiento, lo que aumenta el coste de la perforación y el periodo de construcción y, así, es económicamente desventajoso. En consecuencia, en años recientes, se ha propuesto un método de construcción en el que las tuberías de revestimiento insertadas en un pozo petrolífero son expandidas en el pozo petrolífero para reducir el área de perforación en una porción del estrato cercano a la superficie, para que el periodo de construcción de la perforación pueda acortarse significativamente (remitirse, por ejemplo, al Documento de Patente 1).

25 En pozos petrolíferos de crudo, gas natural, y similares que contienen H₂S, el agrietamiento por fatiga por sulfuro (denominado "SSC" en lo sucesivo) del acero en entornos húmedos con sulfuro de hidrógeno plantea un problema y, por lo tanto, se precisan tubos de acero para una tubería de revestimiento excelente en su resistencia al SSC. En el método de construcción anteriormente descrito, las tuberías de revestimiento son expuestas a un entorno corrosivo después de ser sometidas a un trabajo de expansión sin ser sometidas a un tratamiento térmico o similar. Por lo tanto, un material usado para tuberías de revestimiento tiene que ser excelente en expansibilidad y también en resistencia a la corrosión después de un trabajo en frío. Por ejemplo, los Documentos de Patente 1 a 3 proponen materiales que son excelentes en su capacidad de expansión y en su resistencia a la corrosión.

30 El Documento de Patente 4 da a conocer un acero de alta resistencia que contiene, en peso, 5,0 a 45% de Mn y 0,5 a 2,0% de V, que tiene una estructura metálica de monofases austeníticas y un límite aparente de elasticidad de $\geq 758,1 \text{ N/mm}^2$ ($77,3 \text{ kgf/mm}^2$), en el cual el agrietamiento que genera la fatiga límite (σ -ésima) en un baño NACE TM 0177 está regulado a $\geq 80\%$ del límite aparente de elasticidad, y es usado en un entorno que requiere resistencia al agrietamiento por fatiga por sulfuro. El método de producción del acero es aquel en el que un acero que contiene, en peso, 5,0 a 45% de Mn y 0,5 a 2,0% de V, sometido a un trabajo en caliente, es sometido a un tratamiento térmico en solución mientras se lo mantiene a una temperatura suficiente para introducir perfectamente V en solución sólida y, posteriormente, ejecutar un enfriamiento rápida y es sometido, a continuación, a un tratamiento de envejecimiento para precipitar carburos de V.

40 El Documento de Patente 5 divulga que se moldea una tira de 1,5-10 mm de grosor a partir de metal fundido que contiene (en peso porcentual) C 0,001-1,6; Mn 6-30, Ni ≤ 10 y (Mn+Ni) 16-30; Si $\leq 2,5$; Al ≤ 6 ; Cr ≤ 10 ; (P+Sn+Sb+As) $\leq 0,2$; (S+Se+Te) $\leq 0,5$; (V+Ti+Nb+B+Zr+tierras raras) $\leq 0,3\%$; (Mo+W) $\leq 0,5\%$; N $\leq 0,3\%$; Cu $\leq 5\%$; y Fe e impurezas de producción. Tras el laminado en frío hasta una reducción del 10-90% en una o más etapas, se lleva a cabo un recocido de recristalización. Preferentemente, el contenido de carbono en el metal fundido es un 0,2-0,8% en peso. La tira se obtiene laminando entre dos cilindros horizontales, situados cerca el uno del otro, que giran en direcciones opuestas y que están enfriados internamente. Entre las etapas de fundición y laminación, la tira es laminada en caliente hasta una reducción del 10-60% en una o más etapas, y entre las etapas de fundición y laminación en caliente, la tira atraviesa una zona no oxidante. Antes de la etapa de laminación en caliente, la tira es sometida a descarbonización. La tira es enrollada después de la fundición y de la laminación en caliente, y desenrollada antes de la laminación en frío. Preferentemente, el decapado ácido de la tira se lleva a cabo antes de la laminación en frío. El recocido de recristalización comprende un procedimiento de recocido de alta densidad efectuado a 900-1100°C, seguido inmediatamente por un enfriamiento a una velocidad de 100-6000°C/segundo. La tira es decapada después de la etapa de recocido, seguido por una etapa de relaminación en frío. Se da una reivindicación independiente para una tira de hierro-carbono-manganeso producida por el anterior procedimiento.

Lista de documentos de la técnica anterior

55 Documentos de Patente

Documento de Patente 1: JP2008-202128A

Documento de Patente 2: JP2002-266055A

Documento de Patente 3: JP2006-9078A

Documento de Patente 4: JPH09-249940 A

Documento de Patente 5: EP1067203A1

5 Descripción de la invención

Problemas que ha de resolver la invención

Para garantizar la expansibilidad de los tubos de acero que es indispensable para su uso en el procedimiento anteriormente descrito, se requiere un alargamiento uniforme elevado. Los Documentos de Patente 1 y 2 dan a conocer tubos de acero que son excelentes en resistencia a la SSC pero tienen margen de mejora, porque no se hace ningún examen sobre un alargamiento uniforme. Además, el Documento de Patente 3 da a conocer el valor de alargamiento uniforme. El valor, sin embargo, indica un resultado que es del 21% o menor. Además, no se hace examen alguno sobre la resistencia a la SSC. Para aumentar adicionalmente las oportunidades de aplicación de tubos de acero que han de expandirse en un pozo petrolífero, es necesario que tengan un alargamiento uniforme de, por ejemplo, un 40% o más y garanticen una resistencia a la SSC después de su expansión.

15 Un objetivo de la presente invención es proporcionar un material de acero que tenga gran expansibilidad, que sea excelente en su resistencia a la SSC después del trabajo en frío y que, además, tenga gran eficacia económica, y productos tubulares expansibles para pozos de petróleo que lo usen.

Medios para resolver los problemas

Los presentes inventores examinaron la composición química de un material de acero que satisface las condiciones anteriormente descritas. En consecuencia, los presentes inventores llegaron a obtener los siguientes hallazgos.

25 (A) Para garantizar una resistencia a la SSC y un alargamiento uniforme elevados, es efectivo que contenga Mn y C, que son elementos estabilizadores de la austenita. En particular, es efectivo que contenga una gran cantidad de Mn. Una estructura austenítica tiene gran resistencia a la SSC, y, si el contenido de C y Mn es seleccionado debidamente, la estructura austenítica es estable en un trabajo en frío y es difícil que se produzca una transformación martensítica inducida por tensiones. Por lo tanto, puede suprimirse la incidencia del SSC, que es probable que se produzca en presencia de una microestructura BCC (cúbica centrada en el cuerpo).

(B) El Mn tiene el problema de que produce el deterioro en la resistencia general a la corrosión en entornos húmedos con sulfuro de hidrógeno. Sin embargo, el deterioro de la resistencia general a la corrosión puede suprimirse introduciendo Cu en un material de acero.

30 (C) Cuando el contenido de C es debidamente gestionado, en el caso en que se contenga V, que es un elemento formador de carburos, se consume C para formar carburos. Por lo tanto, es necesario ajustar el contenido de C considerando la cantidad de C consumido como carburos.

La presente invención se realizó en función de los hallazgos anteriormente descritos, e implica un material de acero y de los productos tubulares expansibles para pozos de petróleo descritos a continuación.

35 (1) Un material de acero que tiene una composición química que, en porcentaje de masa, consiste en:

C: 0,6 a 1,8%,

Si: 0,05 a 1,00%,

Mn: más de 25,0% y 45,0% o menos,

Al: 0,003 a 0,06%,

40 P: 0,03% o menos,

S: 0,03% o menos,

Cu: 0,5 a 3,0%,

N: 0,10% o menos,

V: 0 a 2,0%,

45 Cr: 0 a 3,0%,

ES 2 721 771 T3

Mo: 0 a 3,0%,

Ni: 0 a menos de 1,5%,

Nb: 0 a 0,5%,

Ta: 0 a 0,5%,

5 Ti: 0 a 0,5%,

Zr: 0 a 0,5%,

Ca: 0 a 0,005%,

Mg: 0 a 0,005%,

MTR: 0 a 0,01%,

10 B: 0 a 0,015%,

resto: Fe e impurezas, y

que satisface la siguiente fórmula (i),

en el que la microestructura metálica consiste en una monofase austenítica, el límite elástico es de 241 MPa o mayor, y el alargamiento uniforme es del 40% o mayor;

15
$$0,6 < C - 0,18V < 1,44 \quad (i)$$

en el que el símbolo de un elemento en la fórmula representa el contenido (% en masa) del elemento contenido en el material de acero, y se vuelve cero en el caso en el que el elemento no está contenido.

(2) El material de acero según (1) en el que la composición química, en porcentaje de masa, contiene

V: 0,03 a 2,0%.

20 (3) El material de acero según (1) o (2) en el que la composición química, en porcentaje de masa, contiene uno o más elementos seleccionados entre

Cr: 0,1 a 3,0%,

Mo: 0,1 a 3,0% y

Ni: 0,1 a menos de 1,5%.

25 (4) El material de acero según uno cualquiera de (1) a (3) en el que la composición química, en porcentaje de masa, contiene uno o más elementos seleccionados entre

Nb: 0,005 a 0,5%,

Ta: 0,005 a 0,5%,

Ti: 0,005 a 0,5%,

30 Zr: 0,005 a 0,5%,

Ca: 0,0003 a 0,005%,

Mg: 0,0003 a 0,005%,

MTR: 0,001 a 0,01% y

B: 0,0001 a 0,015%.

35 (5) Productos tubulares expansibles para pozos de petróleo que comprenden material de acero según uno cualquiera de las reivindicaciones (1) a (4).

(6) Los productos tubulares expansibles para pozos de petróleo según (5) que son productos tubulares sin costura para pozos de petróleo.

Efectos ventajosos de la invención

Según la presente invención, puede obtenerse un material de acero que tiene un alargamiento uniforme elevado y, así, una expansibilidad elevada, y una excelente resistencia a la SSC después del trabajo en frío. Por lo tanto, el material de acero según la presente invención puede ser usada adecuadamente para productos tubulares expansibles para pozos de petróleo en entornos húmedos con sulfuro de hidrógeno.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es un gráfico que muestra la relación entre el contenido de Mn y el alargamiento uniforme.

La Figure 2 es un gráfico que muestra la relación entre el contenido de Cu y la tasa de corrosión.

Modo de realización de la invención

10 A continuación, se describen con detalle los componentes de la presente invención.

1. Composición química

A continuación, se describen las razones para restringir los elementos. En la siguiente explicación, el símbolo “%” para el contenido de cada elemento significa “% en masa”.

C: 0,6 a 1,8%

15 El carbono (C) tiene el efecto de estabilizar la fase austenítica a bajo coste si se reduce el contenido de Mn o Ni, y también puede mejorar la propiedad de endurecimiento por trabajo y alargamiento uniforme por medio de la promoción de la deformación plástica por maclación, por lo que el carbono es un elemento muy importante en la presente invención. Por lo tanto, tiene que haber un 0,6% o más de C. Por otro lado, si el contenido de C es demasiado elevado, la cementita se precipita y, por lo tanto, no solo disminuye la resistencia intergranular y aumenta la susceptibilidad al agrietamiento por corrosión por tensión, sino que también el punto de fusión del material disminuye notablemente y se deteriora la trabajabilidad en caliente. Por lo tanto, el contenido de C se fija en 1,8% o menos. El contenido de C e, preferentemente un 0,65%, más preferentemente de 0,7% o más. Además, el contenido de C es preferentemente 1,6% o menos, más preferentemente de 1,4% o menos.

Si: 0,05 to 1,00%

25 El silicio (Si) es un elemento necesario para la desoxidación del acero. Si el contenido de Si es inferior al 0,05%, la desoxidación es insuficiente y subsisten muchas inclusiones no metálicas y, por lo tanto, no puede lograrse la resistencia deseada a la SSC. Por otro lado, si el contenido de Si es más del 1,00%, la resistencia intergranular se debilita, y la resistencia a la SSC disminuye. Por lo tanto, el contenido de Si se fija entre 0,05 y 1,00%. El contenido de Si es preferentemente un 0,10% o más, más preferentemente el 0,20% o más. Además, el contenido de Si es preferentemente el 0,80% o menos, más preferentemente el 0,60% o menos.

Mn: más del 25,0% y 45,0% o menos

35 El manganeso (Mn) es un elemento capaz de estabilizar la fase austenítica a bajo coste y un elemento importante para garantizar un alargamiento uniforme elevado. Para ejercer los efectos, tiene que haber más de un 25,0% de Mn. Por otro lado, el Mn se disuelve preferentemente en entornos húmedos con sulfuro de hidrógeno, y no se forman productos estables de corrosión en la superficie del material. En consecuencia, la resistencia general a la corrosión se deteriora con el aumento en el contenido de Mn. En la presente invención, si hay más de un 45,0% de Mn, aunque haya una cantidad fija o más de Cu, la tasa de corrosión se vuelve más alta que la tasa estándar de corrosión de un tubo hipoaleado de pozo petrolífero. Por lo tanto, el contenido de Mn tiene que fijarse en un 45,0% o menos. Preferentemente, el contenido de Mn es 40,0% o menor.

40 En la presente invención, la “tasa estándar de corrosión de un tubo hipoaleado de pozo petrolífero” significa una tasa de corrosión convertida de la pérdida de corrosión en el momento en que un acero es sumergido en la solución A (solución acuosa de 5%NaCl + 0,5%CH₃COOH, H₂S saturado a 100 kPa) especificada en NACE TM0177-2005 durante 336 horas, siendo 1,5 g/(m²·h).

Al: 0,003 a 0,06%

45 El aluminio (Al) es un elemento necesario para la desoxidación del acero y, por lo tanto, tiene que haber un 0,003% o más de Al. Sin embargo, si el contenido de Al es superior a 0,06%, los óxidos son susceptibles de mezclarse como inclusiones, y los óxidos pueden ejercer una influencia adversa sobre la tenacidad y la resistencia a la corrosión. Por lo tanto, el contenido de Al se fija entre un 0,003 y un 0,06%. El contenido de Al es, preferentemente, el 0,008% o más, más preferentemente el 0,012% o más. Además, el contenido de Al es, preferentemente, 0,05% o menos, más preferentemente un 0,04% o menos. En la presente invención, Al significa Al soluble en ácido (Al sol.).

ES 2 721 771 T3

P: 0,03% o menos

5 El fósforo (P) es un elemento existente de forma inevitable en el acero como impureza. Sin embargo, si el contenido de P supera el 0,03%, el P se segrega en la junta intergranular y deteriora la resistencia a la SSC. Por lo tanto, el contenido de P tiene que fijarse en 0,03% o menos. Idealmente, el contenido de P es tan bajo como resulte posible, siendo, preferentemente, 0,02% o menos, más preferentemente un 0,012% o menos. Sin embargo, una disminución excesiva en el contenido de P se presta a un aumento en el coste de producción del material de acero. Por lo tanto, el límite inferior del contenido de P es preferentemente un 0,001%, más preferentemente un 0,005%.

S: 0,03% o menos

10 El azufre (S) existe inevitablemente en el acero como una impureza, como el P. Si el contenido de S supera el 0,03%, el S se segrega en la junta intergranular y forma inclusiones a base de sulfuro y, por lo tanto deteriora la resistencia a la SSC. Por lo tanto, el contenido de S tiene que fijarse en 0,03% o menos. Idealmente, el contenido de S es tan bajo como resulte posible, siendo preferentemente un 0,015% o menos, más preferentemente un 0,01% o menos. Sin embargo, una disminución excesiva en el contenido de S se presta a un aumento en el coste de producción del material de acero. Por lo tanto, el límite inferior del contenido de S es preferentemente un 0,001%, más preferentemente un 0,002%.

Cu: 0,5 a 3,0%

20 El cobre (Cu) es un elemento que promueve la corrosión local, y es susceptible de formar una zona de concentración de esfuerzos en la superficie del material de acero en el caso en el que el contenido de Mn del material de acero es bajo. Sin embargo, en caso de que la tasa de corrosión de la fase base del material de acero sea elevada, el Cu tiene el efecto de suprimir la corrosión formando sulfuros en la superficie del material en entornos húmedos con sulfuro de hidrógeno. En la presente invención, dado que el contenido de Mn es elevado y el aumento de la tasa de corrosión puede ser inducida fácilmente, tiene que haber un 0,5% o más de Cu. Por otro lado, si hay un exceso de Cu, el efecto se satura, se promueve la corrosión local y puede formarse una zona de concentración de esfuerzos en la superficie del material de acero. Por lo tanto, el contenido de Cu se fija en 3,0% o menos. El contenido de Cu es preferentemente un 0,6% o más, más preferentemente un 0,7% o más. Además, el contenido de Cu es preferentemente 2,5% o menos, más preferentemente 2,0% o menos, más preferentemente 1,5% o menos.

V: 0 a 2,0%

30 El vanadio (V) puede estar contenido según sea necesario, porque es un elemento que refuerza el material de acero realizando un tratamiento térmico a una temperatura y un momento apropiados y precipita carburos finos (V_4C_3) en el acero. Sin embargo, si hay un exceso de V, el efecto se satura y se consume una gran cantidad de C, que estabiliza la fase austenítica. Por lo tanto, el contenido de V se fija en 2,0% o menos. El contenido de V es preferentemente 1,8% o menos, más preferentemente 1,6% o menos. En la presente invención, debería evitarse un aumento notable de la resistencia para garantizar un elevado alargamiento uniforme. Además, la productividad puede reducirse con el aumento en el contenido de V. Así, el contenido de V es más preferentemente inferior al 0,5%. En caso de que se desee lograr el efecto anteriormente descrito, el contenido de V se fija preferentemente en 0,03% o más.

N: 0,10% o menos

40 El nitrógeno (N) suele ser considerado como un elemento de impureza en el hierro y en los materiales de acero, y disminuye por desnitrificación. Dado que el N es un elemento para estabilizar la fase austenítica, puede haber una gran cantidad de N para estabilizar la austenita. Sin embargo, dado que la presente invención se propone estabilizar la austenita por medio de C y Mn, no es preciso que el N esté contenido realmente. Además, si N está contenido en exceso, se eleva la resistencia a alta temperatura, aumenta la tensión de trabajo a altas temperaturas y se deteriora la forjabilidad en caliente. Por lo tanto, el contenido de N tiene que fijarse en 0,10% o menos. Desde el punto de vista del coste del afinado, no es preciso que la desnitrificación se realice de forma innecesaria, por lo que el límite inferior del contenido de N es preferentemente un 0,0015%.

45 Cr: 0 a 3,0%

50 El cromo (Cr) puede estar contenido según sea necesario, porque es un elemento para la mejora de la resistencia general a la corrosión. Sin embargo, si el contenido de Cr supera el 3,0%, el Cr se segrega en la junta intergranular y, con ello, se deteriora la resistencia a la SSC. Por lo tanto, el contenido de Cr, si lo hay, se fija en un 3,0% o menos. Según se ha descrito anteriormente, en la presente invención se promueve la corrosión por un aumento en el contenido de Mn y la corrosión se suprime forman sulfuros de Cu. Por lo tanto, no es preciso que el Cr esté contenido realmente, y el contenido de Cr es preferentemente inferior al 1,0%. En caso de que se desee lograr el efecto anteriormente descrito, el contenido de Cr se fija preferentemente en un 0,1% o más, más preferentemente se fija en un 0,2% o más, y aún más preferentemente se fija en un 0,5% o más.

Mo: 0 a 3,0%

55 El molibdeno (Mo) puede estar contenido según sea necesario, porque es un elemento que tiene el efecto de suprimir

la corrosión formando sulfuros en la superficie del material en entornos húmedos con sulfuro de hidrógeno en caso de que la tasa de corrosión de la fase base del material de acero sea elevada, como ocurre con el Cu. Sin embargo, dado que el efecto del Mo es pequeño en comparación con el del Cu y que, además, el Mo es un elemento muy caro, no debería haber un contenido excesivo de Mo. Si el contenido de Mo supera el 3,0%, el efecto se satura y se deteriora la eficiencia económica. Por lo tanto, el contenido de Mo, si lo hay, se fija en un 3,0% o menos. En caso de que se desee lograr el efecto anteriormente descrito, el contenido de Mo se fija preferentemente en un 0,1% o más, se fija más preferentemente en un 0,2% o más, y se fija aún más preferentemente en un 0,5% o más.

Ni: 0 a menos del 1,5%

El níquel (Ni) puede estar contenido según sea necesario, porque es un elemento capaz de estabilizar la capa austenítica, como ocurre con el Cu, y de tener un efecto de supresión de las grietas durante el laminado en caliente que se producen a veces en el acero que contiene Cu. Sin embargo, el Ni es un elemento que promueve la corrosión local, y es susceptible de formar una zona de concentración de esfuerzos en la superficie del material de acero. Por lo tanto, si hay un exceso de Ni, puede deteriorarse la resistencia a la SSC. Por esta razón, el contenido de Ni, si lo hay, se fija en 1,5% o menos. El efecto de supresión de grietas puede obtenerse incluso con una cantidad pequeña, y el contenido de Ni se fija preferentemente en un 0,1% o más, o se fija más preferentemente en un 0,2% o más.

Nb: 0 a 0,5%

Ta: 0 a 0,5%

Ti: 0 a 0,5%

Zr: 0 a 0,5%

El niobio (Nb), el tantalio (Ta), el titanio (Ti) y el circonio (Zr) pueden estar contenidos según resulte necesario, porque estos elementos pueden contribuir a la resistencia del acero combinándose con C o N para formar micro carburos o carbonitruros. Además, el material de acero puede ser reforzado mediante un refuerzo por precipitación durante el tratamiento térmico de envejecimiento cuando se contienen elementos que tienen la capacidad de formar carburos y carbonitruros. Sin embargo, si estos elementos están contenidos en exceso, el efecto se satura y pueden causarse un deterioro de la tenacidad y la desestabilización de la austenita. Por lo tanto, el contenido de cada elemento es un 0,5% o menos y preferentemente un 0,35% o menos. Para obtener el efecto, el contenido de uno o más elementos seleccionados de estos elementos es preferentemente un 0,005% o más, más preferentemente un 0,1% o más.

Ca: 0 a 0,005%

Mg: 0 a 0,005%

El calcio (Ca) y el magnesio (Mg) pueden estar contenidos según resulte necesario, porque estos son elementos que tienen efectos de mejora de la tenacidad y de la resistencia a la corrosión controlando la forma de las inclusiones y que, además, potencian las propiedades de la colada al suprimir la obstrucción de la buza durante la colada. Sin embargo, si estos elementos están contenidos en exceso, los efectos se saturan y puede ocurrir que las inclusiones se acumulen, deteriorando la tenacidad y la resistencia a la corrosión. Por lo tanto, el contenido de cada elemento es un 0,005% o menos. El contenido de cada elemento es preferentemente un 0,003% o menos. Para obtener el efecto, el contenido de uno o dos elementos de estos elementos es preferentemente un 0,0003% o más, más preferentemente un 0,0005% o más.

MTR: 0 a 0,01%

Los metales de tierras raras (MTR) pueden estar contenidos según resulte necesario, porque estos son elementos que mejoran la tenacidad y la resistencia a la corrosión controlando la forma de las inclusiones, como ocurre con el Ca y el Mg. Sin embargo, si hay un exceso de MTR, el efecto se satura y puede ocurrir que las inclusiones se acumulen, deteriorando la tenacidad y la resistencia a la corrosión. Por lo tanto, el contenido de MTR es un 0,01% o menos. El contenido de MTR es preferentemente un 0,005% o menos. Para obtener el efecto, el contenido de MTR es preferentemente un 0,001% o más, más preferentemente un 0,002% o más.

MTR es el término general de un total de 17 elementos constituido por Sc (escandio), Y (itrio) y lantanoides, y el contenido de MTR significa el contenido total de uno o más elementos de los 17 elementos.

Cuando dos o más elementos seleccionados entre Ca, Mg y MTR están contenidos de forma compleja, la cantidad total de estos elementos es preferentemente un 0,008% o menos.

B: 0 a 0,015%

El boro (B) puede estar contenido según resulte necesario, porque este es un elemento que tiene efectos para refinar los precipitados y el tamaño del grano de austenita. Sin embargo, si hay un exceso de B, pueden formarse compuestos de baja temperatura de fusión, deteriorando la trabajabilidad en caliente. Especialmente, si el contenido de B supera el 0,015%, la trabajabilidad en caliente puede deteriorarse notablemente. Por lo tanto, el contenido de B es el 0,015%

o menor. Para obtener el efecto, el contenido de B es preferentemente un 0,0001% o más.

El material de acero de la presente invención tiene una composición química que consiste en los elementos anteriormente descritos que van de C a B, siendo el resto Fe e impurezas.

5 El término "impurezas" significa componentes que se mezclan debido a diversos factores en el proceso de producción, incluyendo materias primas tales como mineral y chatarra cuando se produce el acero de forma industrial, componentes que están permitidos en el intervalo en el que los componentes no ejercen una influencia adversa en la presente invención.

$$0,6 < C - 0,18V < 1,44 \quad (i)$$

10 representando cada uno los símbolos de los elementos de la fórmula el contenido de cada elemento (masa porcentual) contenido en el material de acero y se vuelve cero en el caso en el que el elemento no está contenido.

15 En la presente invención, aunque el contenido de C se regula dentro del intervalo anteriormente descrito para estabilizar la fase austenítica, en el caso en que el material de acero se refuerce por la precipitación de carburos de V, existe el riesgo de que parte del C se consuma, disminuya la estabilidad austenítica y, por ello, de que disminuya el alargamiento uniforme. Suponiendo que los carburos de V sean todos V_4C_3 , una cantidad efectiva de C que contribuye a la estabilización de la austenita se expresa como $C-0,18V$, según se muestra en la fórmula (i), y es necesario ajustar los contenidos de C y V de modo que la cantidad efectiva de C supere 0,6. Por otro lado, una cantidad efectiva de C de 1,44 o más plantea problemas de falta de homogeneidad de la microestructura y el deterioro de la trabajabilidad en caliente con la formación de cementita, y es necesario ajustar los contenidos de C y V de modo que la cantidad efectiva de C sea menor de 1,44. La cantidad efectiva de C es preferentemente 0,65 o más, más preferentemente, 0,7 o más. Además, la cantidad efectiva de C es preferentemente 1,4 o menos, más preferentemente, 1,3 o menos.

2. Microestructura metálica

25 Según se ha descrito anteriormente, si se mezclan entre sí en una microestructura metálica una martensita α' y una ferrita, que tienen estructuras BCC, existe el riesgo no solo de disminuir el alargamiento uniforme, sino también de causar la disminución en la resistencia a la SSC. Por lo tanto, en la presente invención, la microestructura metálica se convierte en una monofase austenítica, que tiene una estructura FCC (cúbica centrada en las caras)

30 Aunque las cantidades de mezcla de una martensita α' y una ferrita, que tienen estructuras BCC, sean tan pequeñas que no puedan ser detectadas por difracción de rayos X (XRD), existe el riesgo de deterioro en un alargamiento uniforme y en la resistencia a la SSC. Por lo tanto, en la presente invención, las cantidades volumétricas de la ferrita y la martensita α' que tienen estructuras BCC son medidas y evaluadas usando un medidor de ferrita fabricado por Helmut Fischer (número de modelo: FE8e3).

3. Propiedades mecánicas

35 El material de acero según la presente invención tiene un límite elástico de 241 MPa o mayor. Por otro lado, para garantizar la expansibilidad, es deseable que el límite elástico de un material de acero es menor que 862 MPa. En particular, en caso de usar el material de acero según la presente invención como productos tubulares expansibles para pozos de petróleo, es deseable que el límite elástico del material de acero sea menor que 758 MPa, y, más idealmente, menor que 654 MPa.

40 Además, el material de acero según la presente invención tiene que tener un elevado alargamiento uniforme para garantizar una buena expansibilidad. En un método de expansión para pozos petrolíferos normales, la tasa de expansión de los tubos es de aproximadamente el 25%, pero, en la práctica, es deseable que el material presente un alargamiento suficiente después de ser sometido a un trabajo en frío del 25%. Por lo tanto, el material de acero de la presente invención tiene un alargamiento uniforme del 40% o mayor.

45 El alargamiento uniforme de un material de acero tiende generalmente a estar en proporción inversa al límite elástico del mismo. Por lo tanto, para un material de acero que tenga un límite elástico bajo, es deseable que tenga un mayor alargamiento uniforme correspondiente al límite elástico. Por lo tanto, el material de acero según la presente invención satisface idealmente la siguiente fórmula (ii).

$$AIU (\%) > 70-0,06 \times LE \text{ (MPa)} \quad (i)$$

fórmula en la que AIU significa el alargamiento uniforme (%) del material de acero, y LE significa el límite elástico (MPa) del mismo.

50 En particular, si el límite elástico es inferior a 500 MPa, también se supone que los tubos de acero han sido sometidos a un tratamiento térmico en solución sólida están reforzados por un trabajo en frío con anterioridad a su flete y, por lo tanto, es deseable que satisfagan la fórmula (ii).

4. Aplicación

Según se ha descrito anteriormente, el material de acero según la presente invención es excelente en su expansibilidad y, además, tiene la característica de que la resistencia a la corrosión del mismo no se deteriora después de su expansión, si siquiera sin ser sometido a tratamiento térmico. Por lo tanto, el material de acero según la presente invención es adecuado para ser usado como productos tubulares expansibles para pozos de petróleo. El tipo de los productos tubulares no está limitado específicamente, y pueden usarse un tubo de acero sin costura, un tubo de acero soldado por resistencia eléctrica, un tubo de acero soldado por arco o similares.

Normalmente, en expansión, es deseable usar tubos de acero que se produzcan procesando tiras de acero o planchas de acero que tengan grosores uniformes, dándoles formas tubulares y, después, uniéndolas, en vez de tubos de acero sin costura que tengan algunas variaciones en grosor. Sin embargo, el material de acero según la presente invención tiene las características de ser endurecido considerablemente por el trabajo. Por lo tanto en caso de expandir un tubo de acero que tiene variaciones en grosor, primero se expande una porción delgada para ser endurecida, y se restringe el alargamiento ulterior de la misma. A continuación, se expande una porción gruesa, y el tubo de acero es expandido uniformemente como consecuencia. Por lo tanto, el material de acero según la presente invención puede ser usado de manera adecuada para tubos de acero sin costura. Además, es más deseable que los tubos de acero sin costura no incluyan ninguna zona de soldadura para presentar de manera estable una buena resistencia a la SSC.

4. Método de producción

El material de acero según la presente invención puede ser fabricado, por ejemplo, por el método descrito a continuación, pero el método no está sujeto a ninguna restricción especial.

20 Fusión y colada

Con respecto a la fusión y la colada, puede emplearse un método llevado a cabo en el método de producción de materiales austeníticos generales de acero, y puede usarse ya sea una colada en lingotes o una colada continua. En caso de que se produzcan tubos de acero sin costura, puede moldearse acero dándole forma de palanquilla redonda para la creación de tubos mediante moldeo redondo continuo.

25 Trabajo en caliente (forja, punzonado, laminado)

Después de la colada, se lleva a cabo el trabajo en caliente, tal como la forja, el punzonado y el laminado. En la producción de tubos de acero sin costura, en el caso en que se moldea palanquilla circular mediante moldeo redondo continuo, son innecesarios los procedimientos de forja, cinglado y similares para formar palanquilla circular. En el caso en que el material de acero es un tubo de acero sin costura, después del procedimiento de punzonado, se lleva a cabo el laminado usando un laminador sobre mandril o un tren laminador de cilindros cruzados. Además, en el caso en que el material de acero es un material de chapa, el procedimiento es tal que, después de que se haya laminado un planchón en bruto, se lleva a cabo un laminado de acabado. Las condiciones deseables del trabajo en calientes como el punzonado y el laminado son descritas a continuación.

El calentamiento de la palanquilla puede llevarse a cabo hasta un grado tal que el punzonado en caliente pueda efectuarse en un laminador de punzonado; sin embargo, el intervalo deseable de temperatura es de 1000 a 1250°C. El laminado de punzonado y el laminado usando un laminador tal como un laminador sobre mandril o un tren laminador de cilindros cruzados tampoco están sujetos a ninguna restricción especial. Sin embargo, desde el punto de vista de la trabajabilidad en caliente, específicamente, para evitar defectos superficiales, es deseable fijar la temperatura de acabado a 900°C o más. El límite superior de la temperatura de acabado tampoco está sujeta a ninguna restricción especial; sin embargo, la temperatura de acabado es preferentemente inferior a 1100°C.

En caso de que se produzca una chapa de acero, es suficiente que la temperatura de calentamiento de un planchón o similar esté en un intervalo de temperaturas en el que pueda llevarse a cabo el laminado en caliente; por ejemplo, en el intervalo de temperatura de 1000 a 1250°C. El programa de pasadas del laminado en caliente es opcional. Sin embargo, considerando la trabajabilidad en caliente para reducir la incidencia de defectos superficiales, grietas en el borde del producto y similares, es deseable fijar la temperatura de acabado en 900°C o más. La temperatura de acabado es preferentemente inferior a 1100°C, como en el caso de un tubo de acero sin costura.

Tratamiento térmico de solución sólida

El material de acero que ha sido trabajo en caliente es calentado hasta una temperatura suficiente para que los carburos y similares se disuelvan completamente y, posteriormente, es enfriado rápidamente. En este caso, es preferible que el material de acero sea enfriado rápidamente después de ser mantenida en el intervalo de temperatura de 1000 a 1200°C durante 10 minutos o más. Es decir, si la temperatura de calentamiento es inferior a 1000°C, los carburos, especialmente carburos a base de Cr-Mo en caso de que haya Cr y Mo, no pueden ser disueltos completamente. Por lo tanto, se forma una capa deficiente en Cr y Mo alrededor del carburo a base de Cr-Mo, y se produce un agrietamiento por corrosión por tensión por la incidencia de picaduras, por lo que, en algunos casos, no puede lograrse la resistencia deseada a la SSC. Por otro lado, si la temperatura de calentamiento supera los 1200°C, se precipita una fase heterogénea de ferrita y similares, de modo que, en algunos casos, no puede lograrse la resistencia deseada a la

SSC. Además, si el tiempo de permanencia es menor de 10 minutos, el efecto de solubilización es insuficiente y, por lo tanto, los carburos no pueden disolverse completamente. Por lo tanto, en algunos, no puede lograrse resistencia deseada a la SSC por la misma razón que la del caso en el que la temperatura de calentamiento sea inferior a 1000°C.

5 El límite superior del tiempo de permanencia depende del tamaño y la forma del material de acero, y no puede ser determinado incondicionalmente. En todo caso, es innecesario el tiempo de homogeneización de temperatura de todo el material de acero. Desde el punto de vista de la reducción del coste de producción, un tiempo demasiado largo es poco deseable, y habitualmente es apropiado fijar el tiempo en menos de 1 hora. Además, en cuanto al enfriamiento, para evitar que se precipiten carburos (cementita o carburos a base de Cr-Mo) durante el enfriamiento, otros compuestos intermetálicos y similares, el material de acero es enfriado idealmente con una velocidad de enfriamiento mayor que la velocidad de enfriamiento en aceite.

10 El valor límite inferior anteriormente descrito del tiempo de permanencia es el tiempo de permanencia, en el caso en que el material de acero es recalentado al intervalo de temperatura de 1000 a 1200°C después de que el material de acero haya sido trabajado en caliente, en que ha sido enfriado una vez hasta una temperatura inferior a 1000°C. Sin embargo, en el caso en que la temperatura final del trabajo en caliente (temperatura de acabado) se encuentre en el intervalo de 1000 a 1200°C, si se efectúa un calentamiento suplementario a esa temperatura durante 5 minutos o más, puede lograrse el mismo efecto que el del tratamiento térmico en solución sólida llevado a cabo en las condiciones anteriormente descritas, de modo que pueda realizarse un enfriamiento rápido, como sucede sin recalentar. Por lo tanto, el valor límite inferior del tiempo de permanencia es en la presente invención incluye el caso en que la temperatura final del trabajo en caliente (temperatura de acabado) se encuentra en el intervalo de 1000 a 1200°C, y el calentamiento suplementario se realice a esa temperatura durante 5 minutos o más.

Tratamiento térmico de envejecimiento

Para el presente material de acero, se puede llevar a cabo un tratamiento térmico de envejecimiento con propósito del endurecimiento por precipitación, principalmente precipitando carburos y carbonitruros. En particular, es eficaz en el caso en que hay uno o más elementos seleccionados entre V, Nb, Ta, Ti y Zr. Sin embargo, un tratamiento térmico excesivo de envejecimiento induce la formación de un exceso de carburos y reduce la concentración de C en la fase base, llevando a la desestabilización de la austenita. Como condición de calentamiento, es preferible calentar el material de acero entre aproximadamente varias decenas de minutos y varias horas en el intervalo de temperaturas de 600 a 800°C.

Trabajo en frío

30 Puede realizarse un trabajo en frío según sea necesario para el material de acero que ha sido sometido a un tratamiento térmico en solución sólida o a un tratamiento térmico ulterior. La relación de trabajo (reducción de área) no está sujeta a ninguna restricción especial, pero, en particular, para obtener un límite elástico de 400 MPa o más e inferior a 862 MPa; es preferible que la relación de trabajo sea aproximadamente del 10%. En caso de que el material de acero de la presente invención sea usado como productos tubulares expansibles para pozos de petróleo, es preferible no llevar a cabo un trabajo excesivo en frío y la relación de trabajo se fija, preferentemente, en un 25% o menos, para garantizar una gran expansibilidad. Una relación de trabajo excesivamente elevada hace difícil expandir de manera uniforme los productos tubulares en los pozos petrolíferos, porque se reduce el alargamiento uniforme y se mejora la resistencia.

40 El método de trabajo en frío no está sujeto a ninguna restricción especial, siempre y cuando el material de acero pueda ser trabajado uniformemente por el método. Sin embargo, en caso de que el material de acero sea un tubo de acero, a escala industrial es ventajoso usar lo que se denomina banco de estirado en frío usando un troquel agujereado y un mandril para fabricar tubos, un tren de laminación en frío denominado tren Pilger de laminación en frío, o similares. Además, en caso de que el material de acero sea un material en chapa, a escala industrial es ventajoso usar un tren de laminación que se ha usado para producir la chapa ordinaria laminada en frío.

45 Recocido

Después del trabajo en frío, puede llevarse a cabo el recocido. En particular, puede aplicarse un recocido con el fin de reducir la resistencia cuando se obtiene una resistencia excesiva por el trabajo en frío, y recuperar el alargamiento. Como condición de recocido, es preferible calentar el material de acero entre aproximadamente varios minutos y 1 hora en un intervalo de temperaturas de 300 a 500°C.

50 A continuación, se explica la presente invención más específicamente con referencia a los ejemplos; sin embargo, la presente invención no está limitada a estos ejemplos.

Ejemplo 1

55 Se fundieron veintitrés tipos de aceros de A a P y AA a AG que tenían las composiciones químicas dadas en la Tabla 1 en un horno de vacío de 50 kg para producir lingotes. Cada uno de los lingotes fue calentado a 1180°C durante 3 horas, y, posteriormente, fue forjado y cortado por corte por descarga eléctrica. Posteriormente, los lingotes cortados fueron homogeneizados en su temperatura ulteriormente a 1150°C durante 1 hora, y fueron laminados en caliente en

5 materiales de chapa que tenían un grosor de 20 mm. Subsiguientemente, los materiales de chapa fueron sometidos a un tratamiento térmico en solución sólida a 1100°C durante 1 hora para obtener materiales de ensayo (n^{os} de ensayo 1 a 23). Además, materiales de ensayo producidos de la misma manera que los n^{os} de ensayo 1 a 23 fueron laminados ulteriormente en frío con una relación de trabajo del 10% para obtener materiales endurecidos de ensayo (n^{os} de ensayo 24 a 46).

Tabla 1

Acero		Composición química (en masa porcentual, resto: Fe e impurezas)																				
	C	Si	Mn	Al	P	S	Cu	N	V	Cr	Mo	Ni	Nb	Ta	Ti	Zr	Ca	Mg	MTR	B	C-0,18V	
A	1,21	0,29	26,12	0,033	0,012	0,006	1,48	0,013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,21
B	1,19	0,30	36,00	0,036	0,010	0,006	1,51	0,012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,19
C	1,16	0,27	25,95	0,028	0,014	0,004	0,91	0,013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,16
D	1,21	0,28	26,13	0,031	0,013	0,004	2,13	0,012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,21
E	0,68	0,19	32,11	0,032	0,012	0,006	0,82	0,016	-	0,78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,68
F	0,69	0,23	31,82	0,020	0,012	0,006	0,81	0,011	-	-	0,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,69
G	0,69	0,22	32,31	0,033	0,010	0,004	0,81	0,011	-	-	-	0,80	-	-	-	-	-	0,003	-	-	-	0,69
H	0,99	0,31	36,12	0,021	0,013	0,006	1,19	0,013	-	-	-	-	0,18	-	0,10	-	0,002	-	-	-	-	0,99
I	1,03	0,33	36,38	0,026	0,011	0,006	1,17	0,011	-	-	-	-	-	0,11	-	0,12	0,002	-	-	-	-	1,03
J	0,62	0,31	35,87	0,019	0,013	0,005	1,21	0,012	-	0,31	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,62
K	0,90	0,20	29,69	0,028	0,011	0,005	1,02	0,011	1,49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,63
L	0,88	0,19	30,08	0,020	0,012	0,005	0,62	0,015	0,77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,74
M	1,02	0,20	27,82	0,029	0,011	0,005	0,60	0,013	-	-	-	0,57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,02
N	0,99	0,22	27,91	0,034	0,013	0,007	0,61	0,011	-	-	-	1,22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,99
O	1,22	0,15	26,02	0,025	0,012	0,006	0,78	0,011	0,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,17
P	0,90	0,25	25,48	0,041	0,011	0,006	0,55	0,012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,003	-	-	0,90
AA	0,41*	0,31	30,24	0,028	0,010	0,005	0,68	0,013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41*
AB	1,18	0,28	8,12*	0,019	0,012	0,006	1,45	0,013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,18
AC	1,18	0,28	26,28	0,021	0,012	0,005	0,29*	0,011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,18
AD	0,91	0,20	28,12	0,026	0,013	0,006	1,02	0,011	-	3,94*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,91
AE	0,87	0,18	28,22	0,029	0,012	0,005	0,95	0,011	-	-	-	1,52*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,87
AF	0,70	0,32	31,94	0,031	0,012	0,007	0,71	0,012	1,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,51*
AG	0,64	0,21	15,88*	0,018	0,011	0,008	0,58	0,011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,64

* indica que las condiciones no satisfacen las definidas por la presente invención.

Con el uso de los materiales de ensayo anteriormente descritos, se examinaron las propiedades mecánicas y la microestructura metálica. Posteriormente, los materiales de ensayo fueron sometidos a trabajo en frío con una relación de trabajo del 25% que simulaba la expansión. Y se examinaron las propiedades mecánicas, la microestructura metálica y la resistencia a la SSC y la tasa de corrosión con el uso de materiales de ensayo trabajados en frío. En cuanto a las propiedades mecánicas, se midieron el límite elástico y el alargamiento uniforme. De cada uno de los aceros, se tomaron muestras de una muestra de ensayo de tracción de barra redonda que tenía una parte paralela que medía 6 mm de diámetro externo y 40 mm de longitud. Se realizó un ensayo de tracción a temperatura normal (25°C), con lo que se determinaron el límite elástico LE (límite elástico del 0,2%) (MPa) y el alargamiento (%).

En el presente ejemplo, se evaluó el material de ensayo que tenía un alargamiento uniforme que era del 40% o mayor y que satisfacía la siguiente fórmula (ii) en relación con el límite elástico para que la propiedad de alargamiento uniforme sea buena. En la siguiente Tabla 2 se indica el alargamiento requerido (%), que es el mayor de 40% y $70 - 0,06 \times LE$.

$$AIU (\%) > 70 - 0,06 \times LE \text{ (MPa)} \quad (ii)$$

fórmula en la que AIU significa el alargamiento uniforme (%) del material de acero, y LE significa el límite elástico (MPa) del mismo.

La resistencia a la SSC fue evaluada según se describe a continuación. Se tomaron muestras de una muestra de ensayo uniforme con forma de chapa y se aplicó una tensión correspondiente a un 90% de límite elástico a una superficie de la muestra de ensayo mediante un método de doblado por cuatro puntos. Posteriormente, la muestra de ensayo fue sumergida en una solución de ensayo —es decir, la solución A (solución acuosa de 5%NaCl + 0,5%CH₃COOH, H₂S saturado a 100 kPa (1 bar)) especificada en NACE TM0177-2005— y fue mantenida a 24°C durante 336 h. Subsiguientemente, se determinó si había ocurrido o no una ruptura. En consecuencia, se evaluó el material de acero no roto para que la resistencia a la SSC sea buena (denotado “o” en la Tabla 2), y se evaluó el material de acero para que la resistencia a la SSC sea deficiente (denotado “x” en la Tabla 2).

Además, para evaluar la resistencia general a la corrosión, la tasa de corrosión fue determinada por el método descrito a continuación. El material de ensayo anteriormente descrito fue sumergido en la solución A a temperatura normal durante 336 horas, se determinó la pérdida por corrosión y la pérdida por corrosión fue convertida en la tasa media de corrosión. En la presente invención, se evaluó el material de ensayo que presentó una tasa de corrosión inferior a 1,5 g/(m²·h) para que la resistencia general a la corrosión sea buena.

En los materiales de ensayo obtenidos de los n^{os} de ensayo 1 a 46 antes y después del trabajo en frío con una relación de trabajo del 25%, las cantidades volumétricas totales de la ferrita y la martensita α' que tienen estructuras BCC fueron medidas usando el medidor de ferrita. Para todos los materiales de ensayo antes del trabajo en frío, las fases que tenían estructuras BCC no pudieron ser detectadas y las microestructuras metálicas eran monofases austeníticas. Por lo tanto, las cantidades volumétricas de las fases que tenían estructuras BCC para los materiales de ensayo son mostradas en las tablas como una proporción de BCC en volumen porcentual solo después del trabajo en frío. Los resultados se dan en las Tablas 2 y 3.

Tabla 2

Ensayo n°	Acero	Después del tratamiento térmico en solución sólida			Después de la expansión simulada (25% de trabajo en frío)			
		Límite elástico (MPa)	Alargamiento requerido (%)	Alargamiento uniforme (%)	Límite elástico (MPa)	Proporción BCC (%)	Resistencia a la SSC	Tasa de corrosión (g/m ² /h)
1	A	391	47	76	942	_#	o	0,9
2	B	378	47	69	921	_#	o	1,0
3	C	385	47	78	945	_#	o	0,8
4	D	391	47	80	956	_#	o	0,9
5	E	298	52	72	838	_#	o	1,0
6	F	307	52	74	842	_#	o	0,9
7	G	301	52	70	830	_#	o	0,7
8	H	358	49	69	901	_#	o	0,8
9	I	362	48	65	915	_#	o	1,0
10	J	295	52	67	863	_#	o	0,9
11	K	342	49	62	899	_#	o	0,8
12	L	340	50	60	905	_#	o	1,2
13	M	352	49	71	910	_#	o	1,1
14	N	363	48	66	932	_#	o	1,3
15	O	380	47	70	921	_#	o	1,2
16	P	344	49	69	889	_#	o	1,0
17	AA *	267	54	38*	618	0,04*	o	1,1
18	AB *	325	51	28*	813	_#	o	0,8
19	AC *	386	49	68	928	_#	o	1,5
20	AD *	343	49	76	903	_#	o	1,6
21	AE *	321	51	77	862	_#	x	0,9
22	AF *	308	52	42	782	0,03*	o	1,1
23	AG *	313	51	49	811	_#	o	1,1

* indica que las condiciones no satisfacen las definidas por la presente invención.

indica que el valor medido está por debajo del límite de detección (0,01%).

Tabla 3

Ensayo n°	Acero	Después de un 10% de trabajo en frío			Después de la expansión simulada (25% de trabajo en frío)			
		Límite elástico (MPa)	Alargamiento requerido (%)	Alargamiento uniforme (%)	Límite elástico (MPa)	Proporción BCC (%)	Resistencia a la SSC	Tasa de corrosión (g/m ² /h)
24	A	622	40	67	1154	_#	o	0,9
25	B	604	40	58	1142	_#	o	1,1
26	C	609	40	68	1148	_#	o	0,9
27	D	601	40	66	1170	_#	o	1,0
28	E	520	40	62	1080	_#	o	0,9
29	F	531	40	60	1083	_#	o	0,8
30	G	524	40	64	1071	_#	o	0,8
31	H	578	40	58	1120	_#	o	0,8
32	I	582	40	56	1135	_#	o	1,0
33	J	519	40	59	1070	_#	o	0,9
34	K	552	40	50	1120	_#	o	0,9
35	L	546	40	47	1083	_#	o	1,1
36	M	564	40	60	1100	_#	o	1,2
37	N	598	40	56	1146	_#	o	1,3
38	O	601	40	58	1124	_#	o	1,2
39	P	588	40	61	1089	_#	o	0,9
40	AA *	480	40	26*	930	0,21*	o	1,0
41	AB *	542	40	19*	1042	_#	o	0,8
42	AC *	607	40	64	1193	_#	o	1,6
43	AD *	562	40	59	1104	_#	o	1,8
44	AE *	545	40	61	1095	_#	x	0,9
45	AF *	528	40	29*	978	0,14*	o	1,0
46	AG *	514	40	36*	958	_#	o	1,1

* indica que las condiciones no satisfacen las definidas por la presente invención.

indica que el valor medido está por debajo del límite de detección (0,01%).

La Tabla 2 muestra que, para los n^{os} de ensayo 1 a 16, que son realizaciones ejemplares de la presente invención, puede proporcionarse un alargamiento uniforme del 60% o mayor, e incluso en el caso en el que se lleva a cabo un trabajo en frío con una relación de trabajo del 25% que simula la expansión, la resistencia a la SSC es excelente y, además, la tasa de corrosión puede ser mantenida a menos de 1,5 g/(m²·h). Además, la Tabla 3 muestra que, para los n^{os} de ensayo 24 a 39, que son realizaciones ejemplares de la presente invención, puede proporcionarse un alargamiento uniforme de 47% o más a pesar del límite elástico de 519 MPa o más llevando a cabo el trabajo en frío con una relación de trabajo del 10%, demostrando que los presentes materiales de acero tienen un excelente equilibrio de resistencia y expansibilidad. Incluso en el caso en que el trabajo en frío se lleva a cabo con una relación de trabajo del 25% que simula la expansión, la resistencia a la SSC es excelente y, además, la tasa de corrosión puede mantenerse a menos de 1,5 g/(m²·h).

Por otro lado, para los n^{os} de ensayo 17, 18, 22, 23, 40, 41, 45 y 46 en los cuales el contenido de C, el contenido de Mn o la cantidad efectiva de C fueron menores que los límites inferiores definidos en la presente invención, el resultado del ensayo fue tal que el alargamiento uniforme fue bajo y la expansibilidad fue deficiente. Ha de hacerse notar que para los n^{os} de ensayo 22 y 23, aunque los alargamientos uniformes fueron del 42% y el 49%, respectivamente, y provisionalmente satisficieron la definición reivindicada, la fórmula (ii) no fue satisfecha y la expansibilidad no fue suficiente, considerando que los límites elásticos fueron de solo 308 MPa y 313 MPa.

Para los n^{os} de ensayo 17, 22, 40 y 45 se cree que se detectó poca cantidad de microestructura que tiene estructura BCC porque la cantidad efectiva de C estaba fuera del intervalo definido y se deterioró la estabilidad austenítica y, en consecuencia, disminuyó el alargamiento uniforme. Por otro lado, dado que la cantidad mixta de microestructura que tiene estructura BCC era pequeña y la resistencia no era tan elevada, en el presente ejemplo, no se observó un deterioro de la resistencia a la SSC.

Para los n^{os} de ensayo 21 y 44, en los que el contenido de Ni superaba el límite superior definido en la presente invención, el resultado del ensayo fue tal que la resistencia a la SSC era deficiente. Además, para los n^{os} de ensayo 19 y 42, en los cuales el contenido de Cu era menor que el límite inferior reivindicado y para los n^{os} de ensayo 20 y 43, en los cuales el contenido de Cr superaba el límite superior reivindicado, el resultado del ensayo fue tal que, aunque la resistencia a la SSC era buena, la tasa de corrosión era elevada, y la resistencia general a la corrosión era deficiente.

La Figura 1 es un gráfico que muestra las relaciones entre el contenido de Mn y el alargamiento uniforme de aceros después del tratamiento térmico en solución sólida y después del trabajo en frío con una relación de trabajo del 10%, respectivamente, para los aceros A y B, que satisfacen la definición de la presente invención, y los aceros AB y AG fuera del intervalo definido. Estos aceros tienen una composición química similar, salvo el contenido de Mn. Como es evidente por la Figura 1, el material de acero según la presente invención, en el cual el contenido de Mn es más del 25% tiene un elevado alargamiento uniforme y una expansibilidad excelente.

La Figura 2 es un gráfico que muestra las relaciones entre el contenido de Cu y la tasa de corrosión de los aceros después del tratamiento térmico en solución sólida y después del trabajo en frío con una relación de trabajo del 10%, respectivamente, para los aceros A, C y D, que satisfacen la definición de la presente invención, y para el acero AC fuera del intervalo definido. Estos aceros tienen composición química similar, salvo el contenido de Cu. Como es evidente por la Figura 2, para el material de acero según la presente invención, en el cual el contenido de Cu es el 0,5% o más, la tasa de corrosión disminuye y mejora la resistencia general a la corrosión.

40 Ejemplo 2

Se investigaron los efectos del tratamiento térmico de envejecimiento después del tratamiento en solución sólida usando los aceros K, L, O y AF, que se prepararon en el EJEMPLO 1. La condición del tratamiento térmico en solución sólida es la misma del EJEMPLO 1. Además, el tratamiento térmico de envejecimiento se lleva a cabo en la condición de 800°C y 1 hora. El método para el ensayo de evaluación era el mismo del EJEMPLO 1.

45 Se investigaron las microestructuras metálicas de los materiales de ensayo tratados con calor de envejecimiento antes y después del trabajo en frío con una relación de trabajo del 25% usando el medidor de ferrita, como ocurre con el EJEMPLO 1. Para todos los materiales de ensayo antes del trabajo en frío, las fases que tenían estructuras BCC para los materiales de ensayo solo después del trabajo en frío no pudieron ser detectadas y las microestructuras metálicas fueron monofases austeníticas. Por lo tanto, las cantidades volumétricas de las fases que tenían estructuras BCC para los materiales de ensayo son mostradas en las tablas como una proporción de BCC en volumen porcentual solo
50 después del trabajo en frío. Los resultados se dan en la Tabla 4.

Tabla 4

Ensayo n°	Acero	Después de un 10% de trabajo en frío			Después de la expansión simulada (25% de trabajo en frío)			
		Límite elástico (MPa)	Alargamiento requerido (%)	Alargamiento uniforme (%)	Límite elástico (MPa)	Proporción BCC (%)	Resistencia a la SSC	Tasa de corrosión (g/m ² /h)
47	K	544	40	42	1092	-#	○	0,9
48	L	508	40	49	1053	-#	○	1,1
49	O	510	40	46	1014	-#	○	1,3
50	AF *	503	40	34*	998	0,12*	○	1,1

* indica que las condiciones no satisfacen las definidas por la presente invención.

indica que el valor medido está por debajo del límite de detección (0,01%).

Ejemplo de la invención

Ejemplo comparativo

5 La Tabla 4 demuestra que, para los n^{os} de ensayo 47 a 49, que son realizaciones ejemplares de la presente invención, puede proporcionarse un alargamiento uniforme del 40% o mayor mientras se endurecen los aceros, de modo que el límite elástico es 500 MPa o mayor llevando a cabo el tratamiento térmico de envejecimiento para aceros que contienen V. Por otro lado, para el ensayo n^o 50, que es un ejemplo comparativo, se detectó poca cantidad de microestructura que tiene estructura BCC porque la cantidad efectiva de C estaba fuera del intervalo definido, aunque el límite elástico era 500 MPa o mayor debido al tratamiento térmico de envejecimiento. En consecuencia el alargamiento uniforme fue el 34% y el resultado fue tal que la expansibilidad era deficiente.

Aplicabilidad industrial

10 Según la presente invención, un material de acero que tiene un alargamiento uniforme elevado y, así, una expansibilidad elevada, y puede obtenerse una excelente resistencia a la SSC después de trabajo en frío. Por lo tanto, el material de acero según la presente invención puede ser usado adecuadamente para productos tubulares expansibles para pozos de petróleo en entornos húmedos con sulfuro de hidrógeno.

REIVINDICACIONES

1. Un material de acero que tiene una composición química que, en porcentaje de masa, consiste en:

C: 0,6 a 1,8%,

Si: 0,05 a 1,00%,

5 Mn: más de 25,0% y 45,0% o menos,

Al: 0,003 a 0,06%,

P: 0,03% o menos,

S: 0,03% o menos,

Cu: 0,5 a 3,0%,

10 N: 0,10% o menos,

V: 0 a 2,0%,

Cr: 0 a 3,0%,

Mo: 0 a 3,0%,

Ni: 0 a menos de 1,5%,

15 Nb: 0 a 0,5%,

Ta: 0 a 0,5%,

Ti: 0 a 0,5%,

Zr: 0 a 0,5%,

Ca: 0 a 0,005%,

20 Mg: 0 a 0,005%,

MTR: 0 a 0,01%,

B: 0 a 0,015%,

resto: Fe e impurezas, y

que satisface la siguiente fórmula (i),

25 en el que la microestructura metálica consiste en una monofase austenítica, el límite elástico es de 241 MPa o mayor, y el alargamiento uniforme es del 40% o mayor;

$$0,6 < C - 0,18V < 1,44 \quad (i)$$

en el que el símbolo de un elemento en la fórmula representa el contenido (% en masa) del elemento contenido en el material de acero, y se vuelve cero en el caso en el que el elemento no está contenido.

30 2. El material de acero según la reivindicación 1 en el que la composición química, en porcentaje de masa, contiene

V: 0,03 a 2,0%.

3. El material de acero según la reivindicación 1 o 2 en el que la composición química, en porcentaje de masa, contiene uno o más elementos seleccionados entre

Cr: 0,1 a 3,0%,

35 Mo: 0,1 a 3,0% y

Ni: 0,1 a menos de 1,5%.

4. El material de acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 en el que la composición química, en porcentaje de masa, contiene uno o más elementos seleccionados entre

ES 2 721 771 T3

Nb: 0,005 a 0,5%,

Ta: 0,005 a 0,5%,

Ti: 0,005 a 0,5%,

Zr: 0,005 a 0,5%,

5 Ca: 0,0003 a 0,005%,

Mg: 0,0003 a 0,005%,

MTR: 0,001 a 0,01% y

B: 0,0001 a 0,015%.

10 5. Productos tubulares expansibles para pozos de petróleo que comprenden material de acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4.

6. Los productos tubulares expansibles para pozos de petróleo según la reivindicación 5 que son productos tubulares sin costura para pozos de petróleo.

FIGURA 1

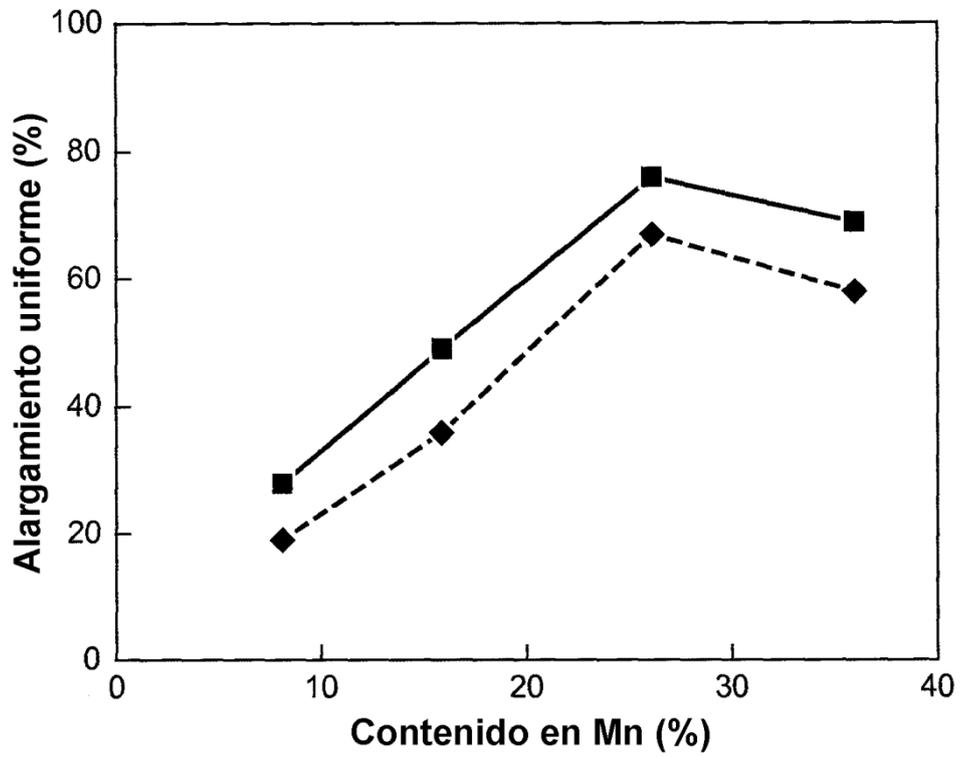


FIGURA 2

