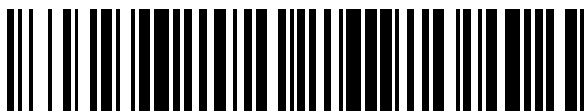


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 659 008**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00	(2006.01)	C22C 38/20	(2006.01)	F16L 9/02	(2006.01)
C21D 1/18	(2006.01)	C22C 38/22	(2006.01)		
C21D 8/10	(2006.01)	C22C 38/24	(2006.01)		
C21D 9/08	(2006.01)	C22C 38/26	(2006.01)		
C22C 38/38	(2006.01)	C22C 38/28	(2006.01)		
C22C 38/58	(2006.01)	C22C 38/42	(2006.01)		
C21D 6/00	(2006.01)	C22C 38/44	(2006.01)		
C22C 38/02	(2006.01)	C22C 38/46	(2006.01)		
C22C 38/04	(2006.01)	C22C 38/48	(2006.01)		
C22C 38/06	(2006.01)	C22C 38/50	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.08.2013 PCT/JP2013/073048**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.03.2014 WO14034737**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.08.2013 E 13832808 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.01.2018 EP 2891725**

54 Título: **Tubo de acero sin costura y método para la producción del mismo**

30 Prioridad:

29.08.2012 JP 2012188634

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

13.03.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**ARAI, YUJI;
KOBAYASHI, KENJI y
NAGAYAMA, HIROYUKI**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 659 008 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 sin costura y método para la producción del mismo

Campo técnico de la invención

5 La presente invención se refiere a un tubo de acero sin costura y a un método para la producción del mismo y, más específicamente, a un tubo de acero sin costura adecuado para una tubería y a un método para la producción del mismo.

Se reivindica prioridad sobre la Solicitud de Patente Japonesa N° 2012-188634, presentada el 29 de agosto de 2012, cuyo contenido se incorpora en la presente memoria como referencia.

Técnica relacionada

10 En los últimos años, se han desarrollado pozos de petróleo y pozos de gas en un entorno sulfuroso, representados por espacios en mares profundos o fríos, más severos que el entorno convencional. Se requiere que la tubería marítima desplegada en tal entorno sulfuroso severo tenga una solidez (resistencia a la presión) y tenacidad mayores que las convencionales y se requiere adicionalmente que tenga resistencia al agrietamiento inducido por hidrógeno (resistencia al HIC, *siglas en inglés para "hydrogen induced cracking"*).

15 Para la tubería marítima, que se requiere que tenga tales propiedades, es más adecuado un tubo de acero sin costura que un tubo de acero soldado. Esto se debe a que el tubo de acero soldado tiene una zona de soldadura (parte de costura) a lo largo de la dirección longitudinal. La zona de soldadura tiene una tenacidad menor que la de un metal base. Por lo tanto, el tubo de acero sin costura es adecuado para la tubería marítima.

20 Cuando se aumenta el espesor del tubo de acero sin costura, puede obtenerse una alta resistencia a la presión. Sin embargo, el aumento en el espesor provoca fácilmente una fractura quebradiza y disminuye la tenacidad. Para mejorar la solidez y la tenacidad del tubo de acero sin costura grueso, es necesario aumentar la cantidad de elementos de aleación, tales como carbono, para mejorar la templabilidad. Sin embargo, en el caso donde los tubos de acero sin costura que tienen templabilidad mejorada se unen a sí mismos por soldadura circunferencial, es probable que se endurezca la zona afectada por el calor, y que disminuya la tenacidad y resistencia al HIC de la zona de soldadura circunferencial.

25 En los Documentos de Patente 1 a 3, se describen tubos de acero sin costura para tuberías que tienen solidez y tenacidad mejoradas y métodos para la producción de los mismos.

30 En el tubo de acero sin costura para tubería descrito en el Documento de Patente 1, se describe que un producto tiene un contenido de Mn y un contenido de Mo de 0,8 a 2,6 y, de esta manera, aumentan la solidez y la tenacidad. Además, el tubo de acero sin costura para tubería descrito en el Documento de Patente 1 contiene al menos uno de Ca y metales de tierras raras (REM, *siglas en inglés para "rare earth metals"*) y, de esta manera, aumenta la resistencia al SSC.

35 El tubo de acero sin costura para tubería descrito en el Documento de Patente 2 tiene una estructura metalográfica compuesta principalmente de vainita, y tiene cementita que tiene una longitud de 20 μm o menor. En el Documento de Patente 2, se describe que incluso cuando el tubo se forma para que sea grueso, pueden obtenerse alta solidez, buena tenacidad, y buena resistencia a la corrosión.

40 En el tubo de acero sin costura descrito en el Documento de Patente 3, se describe que el número de inclusiones basadas en óxido presentes en el acero y que tienen un diámetro mayor que 300 μm es de uno o menos por centímetro cuadrado y el número de inclusiones basadas en óxido que tienen un diámetro de 5 μm a 300 μm es de 200 o menos por centímetro cuadrado. En el Documento de Patente 3, se describe que cuando el número de inclusiones basadas en óxido está limitado como se ha descrito anteriormente, la fragilidad en el límite de grano está suprimida y, de esta manera, puede aumentarse la tenacidad del tubo de acero sin costura.

45 El tubo de acero sin costura descrito en el Documento de Patente 4 es un tubo de acero sin costura para inyección de vapor, y presenta un alto límite elástico a una temperatura de 350°C. El tubo de acero sin costura se fabrica mediante un proceso de trabajado en caliente, seguido de un proceso de enfriamiento con agua, un proceso de templado y un proceso de revenido.

El tubo de acero sin costura descrito en el Documento de Patente 5 es un tubo de acero sin costura para tubería que tiene alta solidez y tenacidad. El tamaño de un carbonitruro que contiene uno o dos o más de Ti, V, Nb, y Al es de 200 nm o menor.

50 El tubo de acero sin costura descrito en el Documento de Patente 6 es un tubo de acero sin costura para tubería que tiene un alto límite elástico mayor que 551 MPa y que tiene también una resistencia satisfactoria al agrietamiento por hidrógeno sobre todas las regiones de un material base y una zona de soldadura afectada por el calor.

Documentos de la técnica anterior

Documentos de Patente

[Documento de Patente 1] Publicación Internacional PCT N° WO 2007/023804

[Documento de Patente 2] Publicación Internacional PCT N° WO 2007/023806

5 [Documento de Patente 3] Solicitud de Patente No Examinada Japonesa, Primera Publicación N° 2004-124158

[Documento de Patente 4] Publicación Internacional PCT N° WO 2011/114896

[Documento de Patente 5] Publicación Internacional PCT N° WO 2011/152240

[Documento de Patente 6] Solicitud de Patente No Examinada Japonesa, Primera Publicación N° 2010-024504

Divulgación de la invención]

10 **Problemas que debe resolver la invención**

Sin embargo, cuando la solidez de los tubos de acero sin costura descritos en los Documentos de Patente 1 a 3 es X80 o mayor según las normas API, es decir, el límite elástico del tubo de acero sin costura es de 550 MPa o mayor, la resistencia al HIC puede disminuir.

15 Además, cuando los tubos de acero sin costura descritos en los Documentos de Patente 1 a 3 se sueldan circunferencialmente en el sitio, aumenta la dureza de una zona afectada por el calor (HAZ, siglas en inglés para "heat affected zone") en las zonas de soldadura circunferencial, particularmente, una línea de fusión (parte de enlace) y, de esta manera, la resistencia al HIC disminuye en algunos casos.

20 Un objeto de la presente invención es proporcionar un tubo de acero sin costura adecuado para una tubería que tenga alta solidez y excelente resistencia al HIC, y que tenga excelente resistencia al HIC de la HAZ incluso cuando se suelda circunferencialmente.

Medios para resolver el problema

(1) Según un aspecto de la presente invención, se proporciona un tubo de acero sin costura que consiste en, como una composición química, en % en masa, C: de 0,02% a 0,10%, Si: de 0,05% a 0,5%, Mn: de 1,0% a 2,0%, Mo: de 0,5% a 1,0%, Cr: de 0,1% a 1,0%, Al: de 0,01% a 0,10%, P: 0,03% o menor, S: 0,005% o menor, Ca: de 0,0005% a 0,005%, V: de 0,010% a 0,040%, N: de 0,002% a 0,007%, al menos uno seleccionado del grupo que consiste en Ti: 0,008% o menor y Nb: de 0,02% a 0,05%, opcionalmente al menos uno seleccionado del grupo que consiste en Cu: 1,0% o menor y Ni: 1,0% o menor, y consistiendo el resto en Fe e impurezas, en donde un equivalente de carbono Ceq definido por la siguiente Fórmula (a) es de 0,50% a 0,58%, un límite elástico de 550 MPa o mayor, y están contenidos carburos especificados que contienen Mo a una razón de 50% en masa o mayor, V, y al menos uno seleccionado del grupo que consiste en Ti y Nb, y que tienen un tamaño definido por un valor promedio de los ejes principales de 20 nm o mayor, en donde

$$Ceq = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \dots (a),$$

35 y en donde en cada uno de los símbolos de los elementos en la Fórmula (a), se sustituye la cantidad de un % en masa unitario de un elemento correspondiente, y en el caso donde un elemento correspondiente al símbolo del elemento no está contenido, un "0" sustituye al símbolo correspondiente del elemento.

(2) En el tubo de acero sin costura según (1), una dureza Vickers en una posición en un lado interno a 1 mm de una superficie interna puede ser de 248 HV10 o menor.

40 (3) Según otro aspecto de la presente invención, se proporciona un método para producir un tubo de acero sin costura que incluye calentar un material de acero que tiene la misma composición química que el tubo sin costura de (1), producir un tubo en bruto laminando y perforando el material de acero calentado, producir un tubo de acero sin costura laminando el tubo en bruto, templar el tubo de acero sin costura a una temperatura de templado de un punto A_{c3} o mayor, y revenir el tubo de acero sin costura después del templado a una temperatura de revenido de 660°C a 700°C, en donde

$$Ceq = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \dots (b),$$

45 y en donde en cada uno de los símbolos de los elementos en la Fórmula (b), se sustituye la cantidad (% en masa) del elemento correspondiente, y en el caso donde un elemento correspondiente al símbolo del elemento no está contenido, un "0" sustituye al símbolo correspondiente del elemento.

(4) El método para producir un tubo de acero sin costura según (3) puede incluir adicionalmente enfriar aceleradamente el tubo de acero sin costura a una velocidad de enfriamiento de 100°C/min o mayor hasta que una

temperatura del tubo de acero sin costura alcanza una temperatura de un punto A_{r1} o menor entre la producción del tubo de acero sin costura y el templado del tubo de acero sin costura, y el tubo de acero sin costura enfriado aceleradamente puede templarse en el templado del tubo de acero sin costura.

Efectos de la invención

- 5 El tubo de acero sin costura descrito anteriormente tiene alta solidez y excelente resistencia al HIC y tiene excelente resistencia al HIC de la HAZ incluso cuando está soldado circunferencialmente.

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 es un diagrama de bloques de una línea de producción de un tubo de acero sin costura según la presente realización.

- 10 La FIG. 2 es un diagrama de flujo que muestra un proceso de producción para el tubo de acero sin costura según la presente realización.

La FIG. 3 es una vista esquemática que muestra la temperatura de un material de acero, un tubo en bruto, y un tubo de acero sin costura en cada etapa mostrada en la FIG. 2.

- 15 La FIG. 4 es una vista en sección transversal que muestra una forma de surco de un tubo de acero sin costura en el momento cuando se lleva a cabo un examen de tenacidad de una zona de soldadura circunferencial en un ejemplo.

La FIG. 5 es una vista esquemática que ilustra una pieza de ensayo para dureza Vickers muestreada de una zona de soldadura circunferencial en un ejemplo.

La FIG. 6 es una vista esquemática que ilustra una pieza de ensayo cuadrada muestreada de una zona de soldadura circunferencial en un ejemplo.

20 **Realización de la invención**

En lo sucesivo en la presente memoria, se describirá una realización de la presente invención en detalle con referencia a los dibujos adjuntos. En los dibujos, se aplican los mismos símbolos a partes iguales o equivalentes, y no se repite la explicación de los mismos.

- 25 Los presentes inventores investigaron y examinaron la solidez y resistencia al HIC del tubo de acero sin costura. Como resultado, los presentes inventores obtuvieron los siguientes hallazgos.

- 30 (A) Cuando aumenta la solidez del acero, puede aumentarse un contenido de C. Sin embargo, cuando el contenido de C es demasiado alto, la dureza del acero se hace demasiado alta y disminuye la resistencia al HIC. En particular, cuando el tubo de acero sin costura se somete a soldadura circunferencial, aumenta la dureza de la HAZ que incluye una línea de fusión, y disminuye la resistencia al HIC de la HAZ. Por consiguiente, es preferible limitar el contenido de C a de 0,02% a 0,10%.

(B) Cuando el contenido de C es bajo, no se obtiene fácilmente una alta solidez. En este caso, en la realización, un equivalente de carbono C_{eq} expresado por la siguiente Fórmula (1) es de 0,50% a 0,58%.

$$C_{eq} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \dots (1)$$

- 35 En este caso, en cada uno de los símbolos de los elementos en la Fórmula (1), la cantidad (% en masa) de cada elemento está sustituida, y en el caso donde un elemento correspondiente al símbolo del elemento no está contenido, un "0" sustituye al símbolo correspondiente del elemento.

- 40 En un caso de un equivalente de carbono C_{eq} de 0,50% a 0,58%, incluso cuando el contenido de C está dentro del intervalo descrito anteriormente, se obtiene un límite elástico de 550 MPa o mayor. Además, incluso cuando se lleva a cabo soldadura circunferencial, la dureza de la HAZ no aumenta excesivamente. Por lo tanto, puede mantenerse una excelente resistencia al HIC de la HAZ.

(C) Para obtener alta solidez y excelente resistencia al HIC, es eficaz que esté contenida una pluralidad de carburos especificados en el tubo de acero sin costura. En este caso, los carburos especificados mencionados en la presente memoria representan carburos que contienen Mo como un componente principal, V, y al menos uno de Ti y Nb.

- 45 Es preferible que el tamaño del carburo especificado sea de 20 nm o mayor. Cuando el tamaño del carburo especificado es demasiado pequeño, la dureza del acero se hace demasiado alta y disminuye la resistencia al HIC. Es importante ajustar el tamaño del carburo especificado a 20 nm o mayor para aumentar la resistencia al HIC controlando la dureza del acero para que caiga dentro de un intervalo apropiado. Además, cuando el tamaño del carburo especificado es de 20 nm o mayor, es probable que la dureza de la HAZ de los tubos de acero sin costura soldados circunferencialmente no aumente excesivamente y también puede mantenerse la resistencia al HIC de la
- 50

HAZ.

(D) Para producir el tubo de acero sin costura descrito anteriormente, es eficaz templar y revenir el tubo de acero sin costura. La temperatura de revenido es de 660°C a 700°C. Por consiguiente, el tamaño del carburo especificado se hace de 20 nm o mayor.

- 5 Se describirá el tubo de acero sin costura según la realización completada basándose en los hallazgos anteriores y el método para la producción del mismo.

Composición química

El tubo de acero sin costura según esta realización tiene la siguiente composición química.

C: de 0,02% a 0,10%

- 10 El carbono (C) aumenta la solidez del acero. Cuando el contenido de C es menor que 0,02%, el efecto descrito anteriormente no puede obtenerse suficientemente. Por otro lado, cuando el contenido de C es mayor que 0,10%, disminuye la tenacidad de la zona de soldadura circunferencial del tubo de acero sin costura. Por lo tanto, el contenido de C es de 0,02% a 0,10%. El límite inferior del contenido de C es preferiblemente mayor que 0,02%, y más preferiblemente 0,04%. El límite superior del contenido de C es preferiblemente 0,08%.

- 15 Si: de 0,05% a 0,5%

El silicio (Si) desoxida el acero. Cuando el contenido de Si es de 0,05% o mayor, puede obtenerse notablemente el efecto descrito anteriormente. Sin embargo, cuando el contenido de Si es mayor que 0,5%, disminuye la tenacidad del acero. Por consiguiente, el límite superior del contenido de Si es 0,5%. El límite inferior del contenido de Si es preferiblemente mayor que 0,05%, más preferiblemente 0,08%, y aún más preferiblemente 0,10%. El límite superior del contenido de Si es preferiblemente menor que 0,5%, más preferiblemente 0,25%, y aún más preferiblemente 0,20%.

- 20 Mn: de 1,0% a 2,0%

El manganeso (Mn) mejora la templabilidad del acero, y aumenta la solidez del acero. Cuando el contenido de Mn es menor que 1,0%, no se obtiene fácilmente de forma eficaz el efecto descrito anteriormente y no se obtiene fácilmente un límite elástico de un grado X80 o mayor. Por otro lado, cuando el contenido de Mn es mayor que 2,0%, se segrega el Mn en el acero y, como resultado, disminuyen la tenacidad de una zona afectada por el calor (HAZ) formada por soldadura circunferencial y la tenacidad del propio tubo de acero sin costura (metal base). Por consiguiente, el contenido de Mn es de 1,0% a 2,0%. El límite inferior del contenido de Mn es preferiblemente mayor que 1,0%, más preferiblemente 1,3%, y aún más preferiblemente 1,4%. El límite superior del contenido de Mn es menor que 2,0%, más preferiblemente 1,8%, y aún más preferiblemente 1,6%.

- 30 Mo: de 0,5% a 1,0%

El molibdeno (Mo) mejora la templabilidad del acero y aumenta la solidez del acero. Además, el Mo se combina con el C y el V en el acero para formar los carburos finos especificados que contienen al menos uno de Ti y Nb, que se describirán posteriormente. Siempre y cuando el tamaño del carburo especificado sea de 20 nm o mayor, puede obtenerse de forma estable una alta solidez. Además, incluso cuando el tratamiento térmico se realiza después de la soldadura circunferencial, los carburos especificados no se engrosan fácilmente. Por lo tanto, incluso cuando el tamaño del carburo especificado es de 20 nm o mayor, puede mantenerse la solidez del acero. Los carburos especificados se describirán posteriormente. Cuando el contenido de Mo es menor que 0,5%, no se obtiene fácilmente el efecto descrito anteriormente. Por otro lado, cuando el contenido de Mo es mayor que 1,0%, disminuyen la soldabilidad y la tenacidad de la HAZ del acero. Por consiguiente, el contenido de Mo es de 0,5% a 1,0%. El límite inferior del contenido de Mo es preferiblemente mayor que 0,5%, más preferiblemente 0,6%, y aún más preferiblemente 0,7%. El límite superior del contenido de Mo es preferiblemente menor que 1,0%, más preferiblemente 0,9%, y aún más preferiblemente 0,8%.

- 35 Cr: de 0,1% a 1,0%

El cromo (Cr) mejora la templabilidad del acero y aumenta la solidez del acero. El Cr mejora adicionalmente la resistencia del acero al reblandecimiento por revenido. Sin embargo, cuando el contenido de Cr es menor que 0,1%, no se obtiene fácilmente de forma eficaz el efecto descrito anteriormente. Por otro lado, cuando el contenido de Cr es mayor que 1,0%, disminuyen la soldabilidad y la tenacidad de la HAZ del acero. Por consiguiente, el contenido de Cr es de 0,1% a 1,0%. El límite inferior del contenido de Cr es preferiblemente mayor que 0,1% y más preferiblemente 0,2%. El límite superior del contenido de Cr es preferiblemente menor que 1,0% y más preferiblemente 0,8%.

- 50 Al: de 0,01% a 0,10%

El aluminio (Al) se combina con N para formar nitruros de Al finos y aumentar la tenacidad del acero. Sin embargo,

cuando el contenido de Al es menor que 0,01%, no puede obtenerse eficazmente el efecto descrito anteriormente. Por otro lado, cuando el contenido de Al es mayor que 0,10%, los nitruros de Al se engrosan y disminuye la tenacidad del acero. Por consiguiente, el contenido de Al es de 0,01% a 0,10%. El límite inferior del contenido de Al es preferiblemente mayor que 0,01% y más preferiblemente 0,02%. El límite superior del contenido de Al es preferiblemente menor que 0,1%, más preferiblemente 0,08%, y aún más preferiblemente 0,06%. El contenido de Al en la memoria descriptiva representa la cantidad de Al soluble en ácido (lo que se denomina Al.Sol.).

P: 0,03% o menor

El fósforo (P) es una impureza. El P disminuye la tenacidad del acero. Por consiguiente, el contenido de P es preferiblemente tan bajo como sea posible. Por lo tanto, el contenido de P está limitado a 0,03% o menor. El límite superior del contenido de P es preferiblemente menor que 0,03%, más preferiblemente 0,015%, y aún más preferiblemente 0,012%.

S: 0,005% o menor

El azufre (S) es una impureza. El S se combina con el Mn para formar MnS grueso, y disminuye la tenacidad y resistencia al HIC del acero. Por consiguiente, el contenido de S es preferiblemente tan bajo como sea posible. Por lo tanto, el contenido de S está limitado a 0,005% o menor. El límite superior del contenido de S es preferiblemente menor que 0,005%, más preferiblemente 0,003%, y aún más preferiblemente 0,002%.

Ca: de 0,0005% a 0,005%

El calcio (Ca) se combina con el S en el acero para formar CaS. La formación de CaS suprime la producción de MnS. Por lo tanto, el Ca aumenta la tenacidad y resistencia al HIC del acero. Sin embargo, cuando el contenido de Ca es menor que 0,0005%, no puede obtenerse eficazmente el efecto descrito anteriormente. Por otro lado, cuando el contenido de Ca es mayor que 0,005%, la pureza del acero disminuye y disminuyen la tenacidad y resistencia al HIC del acero. Por consiguiente, el contenido de Ca es de 0,0005% a 0,005%. El límite inferior del contenido de Ca es preferiblemente mayor que 0,0005%, más preferiblemente 0,0008%, y aún más preferiblemente 0,001%. El límite superior del contenido de Ca es preferiblemente menor que 0,005%, más preferiblemente 0,003%, y aún más preferiblemente 0,002%.

V: de 0,010% a 0,040%

El vanadio (V) se combina con el C en el acero para formar carburos de V, y aumentar la solidez del acero. Además, el V se disuelve en sólido en los carburos de Mo para formar los carburos especificados. Cuando está contenido el V, los carburos especificados no se engrosan fácilmente. Cuando el contenido de V es menor que 0,010%, no puede obtenerse eficazmente el efecto descrito anteriormente. Por otro lado, cuando el contenido de V es mayor que 0,040%, los carburos de V se engrosan. Por consiguiente, el contenido de V es de 0,010% a 0,040%. El límite inferior del contenido de V es preferiblemente mayor que 0,010%, y más preferiblemente 0,02%. El límite superior del contenido de V es preferiblemente menor que 0,040%.

N: de 0,002% a 0,007%

El nitruro (N) se combina con el Al para formar nitruros finos de Al y aumentar la tenacidad del acero. Para obtener el efecto descrito anteriormente, el límite inferior del contenido de N es preferiblemente de 0,002%. Sin embargo, cuando el contenido de N es excesivamente alto, el N disuelto en sólido en el acero disminuye la tenacidad del acero. Además, cuando el contenido de N es excesivamente alto, los carbonitruros se engrosan y disminuye la tenacidad del acero. Por consiguiente, el contenido de N es de 0,007% o menor. El límite superior del contenido de N es preferiblemente menor que 0,007%, más preferiblemente 0,006%, y aún más preferiblemente 0,005%.

La composición química del tubo de acero sin costura según esta realización contiene además al menos uno seleccionado del grupo que consiste en Ti y Nb. Ambos componentes aumentan la tenacidad del acero y se disuelven en sólido en carburos de Mo para formar los carburos especificados.

Ti: 0,008% o menor

El titanio (Ti) se combina con el N en el acero para formar TiN, y suprime la disminución en la tenacidad del acero provocada por el N formando una disolución sólida. Además, el TiN fino que precipita de manera dispersa, aumenta la tenacidad del acero. Además, el Ti se disuelve en sólido en los carburos de Mo para formar los carburos especificados y suprimir el engrosamiento de los carburos especificados. Siempre y cuando esté contenida incluso una pequeña cantidad de Ti, puede obtenerse el efecto descrito anteriormente. Cuando el contenido de Ti es de 0,001% o mayor, puede obtenerse notablemente el efecto descrito anteriormente. Por otro lado, cuando el contenido de Ti es mayor que 0,008%, se engrosa el TiN y se forma TiC grueso, por lo tanto, disminuye la tenacidad del acero. Esto es, cuando está contenido el Ti, es necesario restringir el contenido de Ti para refinar y dispersar los nitruros y los carburos especificados. El límite superior del contenido de Ti es 0,008% o menor. El límite superior del contenido de Ti es preferiblemente menor que 0,008%, más preferiblemente 0,005%, aún más preferiblemente 0,003%, y aún más preferiblemente 0,002%.

Nb: de 0,02% a 0,05%

5 El niobio (Nb) se combina con el C y/o el N en el acero para formar carburos finos de Nb, nitruros de Nb, o carbonitruros de Nb, y aumentar la tenacidad del acero. Además, el Nb fino se disuelve en sólido en los carburos de Mo para formar los carburos especificados, suprimiendo de esta manera el engrosamiento de los carburos especificados. Cuando el contenido de Nb es menor que 0,02%, no puede obtenerse eficazmente el efecto descrito anteriormente. Por lo tanto, el límite inferior del contenido de Nb cuando está contenido es de 0,02%. Por otro lado, cuando el contenido de Nb es mayor que 0,05%, los carburos especificados se engrosan. Por consiguiente, el contenido de Nb es preferiblemente de 0,02% a 0,05%. El límite inferior del contenido de Nb es preferiblemente mayor que 0,02%, y más preferiblemente 0,03%. El límite superior del contenido de Nb es preferiblemente menor que 0,05%, y más preferiblemente 0,04%.

El resto de la composición del tubo de acero sin costura según la realización incluye Fe e impurezas. En este caso, las impurezas mencionadas en la presente memoria son elementos que entran mezclados con el mineral y la chatarra usados como materias primas para el acero, el entorno del proceso de producción, y similares.

15 La composición química del tubo de acero sin costura según la realización puede incluir adicionalmente al menos uno seleccionado del grupo que consiste en Cu y Ni en lugar de parte del Fe. Cualquiera de estos elementos aumenta la templabilidad del acero y mejora la solidez del acero.

Cu: 1,0% o menor

20 El cobre (Cu) es un elemento opcional. El Cu mejora la templabilidad del acero y aumenta la solidez del acero. Cualquier pequeña cantidad de Cu puede proporcionar los efectos descritos anteriormente. Cuando el contenido de Cu es de 0,05% o mayor, se obtiene notablemente el efecto descrito anteriormente. Por otro lado, cuando el contenido de Cu es mayor que 1,0%, disminuye la soldabilidad del acero. Además, cuando el contenido de Cu es demasiado alto, disminuye la resistencia intergranular del acero a alta temperatura y disminuye la trabajabilidad en caliente del acero. Por consiguiente, el límite superior del contenido de Cu es 1,0%. El límite inferior del contenido de Cu es preferiblemente mayor que 0,05%, más preferiblemente 0,1%, y aún más preferiblemente 0,2%.

25 Ni: 1,0% o menor

30 El níquel (Ni) es un elemento opcional. El Ni mejora la templabilidad del acero y aumenta la solidez del acero. Cualquier pequeña cantidad de contenido de Ni puede proporcionar el efecto descrito anteriormente. Cuando el contenido de Ni es 0,05% o mayor, se obtiene notablemente el efecto descrito anteriormente. Por otro lado, cuando el contenido de Ni es mayor que 1,0%, disminuye la resistencia al SSC. Por consiguiente, el límite superior del contenido de Ni es 1,0%. El límite inferior del contenido de Ni es preferiblemente mayor que 0,05%, más preferiblemente 0,1%, y aún más preferiblemente 0,2%. El límite superior del contenido de Ni es preferiblemente menor que 1,0%, más preferiblemente 0,7%, y aún más preferiblemente 0,5%.

Equivalente de carbono Ceq

35 Para el tubo de acero sin costura según la realización, el equivalente de carbono Ceq definido por la siguiente Fórmula (1) es de 0,50% a 0,58%.

$$Ceq = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \dots (1)$$

40 En este caso, en cada uno de los símbolos de los elementos en la Fórmula (1), se sustituye la cantidad (% en masa) del elemento correspondiente. En la composición química del tubo de acero sin costura según la realización, en el caso donde un elemento correspondiente al símbolo del elemento en la Fórmula (1) no está contenido en el tubo de acero sin costura, un "0" sustituye al símbolo correspondiente del elemento en la Fórmula (1). En este caso, el "caso donde un elemento no está contenido" mencionado en la presente memoria, representa que la cantidad del elemento está al nivel de las impurezas o inferior.

45 En el tubo de acero sin costura según la realización, el contenido de C está limitado. Esto se debe a que el C disminuye notablemente la tenacidad de la zona de soldadura formada por soldadura circunferencial. Sin embargo, cuando el contenido de C es demasiado bajo, no puede obtenerse la alta solidez del acero. En esta realización, por lo tanto, el límite inferior del equivalente de carbono Ceq definido por la Fórmula (1) es 0,50%. En este caso, incluso cuando el contenido de C es bajo, puede obtenerse una alta solidez. Más específicamente, la el grado de solidez del tubo de acero sin costura puede ser X80 o mayor según las normas API, es decir, el límite elástico del tubo de acero sin costura puede ser de 550 MPa o mayor. Por otro lado, cuando el equivalente de carbono Ceq es demasiado alto, la templabilidad del acero resulta demasiado alta y, de esta manera, la dureza de la zona afectada por el calor (HAZ) aumenta excesivamente. Como resultado, la tenacidad de la HAZ disminuye y la resistencia al HIC disminuye también. Por consiguiente, el límite superior del equivalente de carbono Ceq es 0,58%.

Carburo especificado

El tubo de acero sin costura según la realización contiene una pluralidad de carburos especificados que tienen un

tamaño de 20 nm o mayor. En este caso, los carburos especificados representan carburos que contienen Mo como un componente principal, V, y al menos uno de Ti y Nb. El "Mo como un componente principal" representa que el contenido de Mo en el carburo es de 50% en masa o mayor con respecto a la masa del carburo completo. Además, el contenido de V es preferiblemente de 1% en masa a 50% en masa y el contenido de Ti y el contenido de Nb son preferiblemente de 1% en masa a 30% en masa con respecto a la masa del carburo completo.

El tamaño de los carburos especificados puede medirse de la siguiente manera. Se usa un método de réplica de extracción para muestrear una película de réplica de extracción de la parte gruesa del tubo de acero sin costura. Específicamente, se muestrea una película de réplica de extracción (diámetro de 3 mm) de una región que incluye la parte central de una parte gruesa arbitraria del tubo de acero sin costura en la dirección del espesor, y se muestrea una película de réplica de extracción (diámetro de 3 mm) de una región que incluye una parte situada en el lado interno a 1 mm de la superficie interna en la dirección del espesor. En cada una de las películas de réplica de extracción, se observan cuatro lugares (cuatro campos de vista) de regiones arbitrarias de $10 \mu\text{m}^2$. Esto es, para un tubo de acero sin costura se observan ocho regiones. Se usa un microscopio electrónico de transmisión (TEM, siglas en inglés para "transmission electron microscope") para observar los lugares a un aumento de 3.000 veces.

A partir de una pluralidad de precipitados observados en cada región, se identifican carburos y carbonitruros basándose en el análisis del patrón de difracción del haz de electrones. Además, usando un espectroscopio de rayos X de energía dispersiva (EDS, siglas en inglés para "energy dispersive spectroscopy"), se analizan las composiciones químicas de cada uno de los carburos y carbonitruros identificados para identificar los carburos especificados. Se seleccionan diez carburos especificados entre la pluralidad de carburos especificados identificados. Se mide el eje principal (nm) de cada uno de los carburos especificados seleccionados. En este caso, el "eje principal" representa el máximo de las líneas rectas que conectan dos puntos diferentes en la interfaz entre los carburos especificados y el metal base. Se miden los ejes principales de 80 carburos especificados (10 carburos x 8 regiones) por el método descrito anteriormente. El valor promedio de los ejes principales medidos se define como el "tamaño (nm) de los carburos especificados".

Los carburos especificados aumentan la solidez del acero. Sin embargo, cuando el tamaño del carburo especificado es demasiado pequeño, la dureza del acero se hace demasiado alta y disminuye la resistencia al HIC. Cuando el tamaño del carburo especificado es de 20 nm o menor, la dureza del acero está dentro de un intervalo apropiado, mientras que aumenta la solidez del acero. Por lo tanto, aumenta también la resistencia al HIC. Específicamente, el límite elástico del tubo de acero sin costura es de 550 MPa o mayor (grado X80 o mayor). Además, la dureza Vickers en la posición en el lado interno a 1 mm de la superficie interna del tubo de acero sin costura (en lo sucesivo en la presente memoria, denominada como dureza de la capa de la superficie interna) es de 195 HV10 a 248 HV10. Además, la tenacidad del tubo de acero sin costura soldado circunferencialmente no disminuye fácilmente de forma excesiva o la dureza no aumenta fácilmente de forma excesiva.

El límite superior del tamaño del carburo especificado no está particularmente limitado. El límite superior del tamaño del carburo especificado es, por ejemplo, 200 nm. El límite superior del tamaño es preferiblemente 100 nm, y más preferiblemente 70 nm.

Método de producción

Se describirá un ejemplo de un método para producir el tubo de acero sin costura según esta realización. En la realización, se enfría un tubo de acero sin costura producido por trabajado en caliente (se enfría con aire o se enfría aceleradamente). Después, el tubo de acero sin costura enfriado se temple y reviene a una temperatura de revenido específica. En lo sucesivo en la presente memoria, se describirá en detalle el método para producir el tubo de acero sin costura según la realización.

Línea de producción

La FIG. 1 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de una línea de producción para el tubo de acero sin costura según la realización. Haciendo referencia a la FIG. 1, la línea de producción incluye un horno 1 de calentamiento, una máquina 2 de perforación, un tren 3 de laminado de alargamiento, un tren 4 de relaminado, un horno 5 de conservación, un aparato 6 de enfriamiento con agua, un aparato 7 de templado, y un aparato 8 de revenido. Entre estos aparatos, está dispuesta una pluralidad de rodillos 10 de transferencia. En la FIG. 1, se incluyen también el aparato 7 de templado y el aparato 8 de revenido en la línea de producción. Sin embargo, el aparato 7 de templado y el aparato 8 de revenido pueden disponerse de modo que estén separados de la línea de producción. En otras palabras, el aparato 7 de templado y el aparato 8 de revenido pueden estar dispuestos fuera de línea.

Flujo de producción

La FIG. 2 es un diagrama de flujo que muestra un proceso de producción para el tubo de acero sin costura según la realización. La FIG. 3 es un diagrama que muestra un cambio de la temperatura de la superficie de las piezas de trabajo (material de acero, tubo en bruto, y tubo de acero sin costura) con respecto al tiempo durante la producción. En este caso, A1 en el dibujo representa un punto A_{c1} cuando se calientan las piezas de trabajo, y representa un punto A_{r1} cuando se enfrían las piezas de trabajo. Además, A3 en el dibujo representa un punto A_{c3} cuando se

calientan las piezas de trabajo, y representa un punto A_{r3} cuando se enfrían las piezas de trabajo.

En la realización, el punto A_{c1} , el punto A_{c3} , el punto A_{r1} y el punto A_{r3} son valores obtenidos creando un diagrama CCT de una pieza de ensayo muestreada de un acero que tiene una composición química predeterminada en un ensayo Formastor y calculando los valores basados en el diagrama CCT obtenido.

5 Haciendo referencia a las FIGS. 1 a 3, en el proceso de producción, en primer lugar, se calienta un material de acero en el horno 1 de calentamiento (etapa de calentamiento: S1). El material de acero es, por ejemplo, una palanquilla redonda. El material de acero puede producirse usando un aparato de colada continua tal como un CC redondo. Además, el material de acero puede producirse también por trabajado en caliente (forjado o desbaste) de un lingote o un desbaste plano. En este ejemplo, la explicación continúa asumiendo que el material de acero es una palanquilla redonda.

10 La palanquilla redonda calentada se trabaja en caliente para formar un tubo de acero sin costura (S2 y S3). Específicamente, la palanquilla redonda se lamina y perfora mediante la máquina 2 de perforación para formar un tubo en bruto (etapa de laminado y perforación: S2). Además, el tubo en bruto es laminado por el tren 3 de laminado de alargamiento y el tren 4 de relaminado para formar un tubo de acero sin costura (etapa de laminado de alargamiento y etapa de relaminado: S3). Después, el tubo de acero sin costura producido por trabajado en caliente se calienta a una temperatura predeterminada en el horno 5 de conservación según sea necesario (etapa de recalentamiento: S4). Sucesivamente, el tubo de acero sin costura se enfría (etapa de enfriamiento: S5). Como el método de enfriamiento, el tubo de acero sin costura se enfría por enfriamiento con agua (enfriamiento acelerado) usando el aparato 6 de enfriamiento con agua (etapa de enfriamiento acelerado: S51) o el tubo de acero sin costura se enfría por enfriamiento con aire (etapa de enfriamiento con aire: S52).

20 El tubo de acero sin costura enfriado se temple usando el aparato 7 de templado (etapa de templado: S6) y se reviene a una temperatura de revenido específica usando el aparato 8 de revenido (etapa de revenido: S7). En lo sucesivo en la presente memoria, se describirá en detalle cada una de las etapas.

[Etapa de calentamiento (S1)]

25 En primer lugar, se calienta una palanquilla redonda en el horno 1 de calentamiento. La temperatura de calentamiento preferible es de 1100°C a 1300°C. Cuando la palanquilla redonda se calienta a una temperatura en este intervalo de temperatura, se disuelven los carbonitruros en el acero. En el caso donde la palanquilla redonda se produce a partir de un desbaste plano o un lingote por trabajado en caliente, puede que la temperatura de calentamiento del desbaste plano y el lingote no sea necesariamente de 1100°C a 1300°C. Esto se debe a que cuando se calienta el lingote o el desbaste plano, se disuelven los carbonitruros en el acero. El horno 1 de calentamiento es, por ejemplo, un horno de balancín u horno rotatorio bien conocido.

30 [Etapa de laminado y perforación (S2)]

Se saca la palanquilla redonda del horno 1 de calentamiento y después la palanquilla redonda calentada se lamina y perfora mediante la máquina 2 de perforación para producir un tubo en bruto. La máquina 2 de perforación está provista de una pluralidad de rodillos inclinados y un obturador. El obturador está dispuesto entre los rodillos inclinados. La máquina 2 de perforación preferible es una perforadora cruzada. Cuando se usa la perforadora cruzada, la perforación puede realizarse a una alta tasa de expansión del tubo y, de esta manera, es preferible el uso de la perforadora cruzada.

35 [Etapa de laminado de alargamiento y Etapa de relaminado (S3)]

40 A continuación, se lamina el tubo en bruto. Específicamente, el tubo en bruto se alarga y lamina mediante el tren 3 de laminado de alargamiento. El tren 3 de laminado de alargamiento incluye una pluralidad de cajas de cilindros dispuestas en serie. El tren 3 de laminado de alargamiento es, por ejemplo, un laminador de mandril. Sucesivamente, el tubo en bruto alargado y laminado se estira y lamina mediante el tren 4 de relaminado para producir un tubo de acero sin costura. El tren 4 de relaminado incluye una pluralidad de cajas de cilindros dispuestas en serie. El tren 4 de relaminado es, por ejemplo, un relaminador o un reductor de estirado. Además, la etapa de laminado de alargamiento y la etapa de relaminado se denominan colectivamente de manera sencilla, en algunos casos, como etapa de laminado.

45 [Etapa de recalentamiento (S4)]

Se realiza una etapa de recalentamiento (S4) según sea necesario. Esto es, el método de producción según la realización puede no incluir la etapa de recalentamiento (S4). Específicamente, cuando se realiza enfriamiento con agua mediante una etapa de enfriamiento acelerado (S51), la etapa de recalentamiento (S4) se realiza en un caso donde la temperatura del tubo de acero sin costura aumenta antes del enfriamiento con agua. En el caso donde la etapa de recalentamiento no se lleva a cabo, en la FIG. 2, el proceso transcurre de la etapa S3 a la etapa S5. En el caso donde no se requiere la etapa de recalentamiento, en la FIG. 1, no tiene que proporcionarse el horno 5 de conservación.

5 Cuando se realiza el enfriamiento acelerado en la siguiente etapa a una temperatura de acabado (la temperatura de la superficie del tubo de acero sin costura inmediatamente después de que termina la etapa de S3) menor que A_{r3} , el recalentamiento se lleva a cabo preferiblemente en la etapa de recalentamiento (S4). En la etapa de recalentamiento (S4), el tubo de acero sin costura se carga en el horno 5 de conservación y se calienta. La temperatura de calentamiento preferible en el horno 5 de conservación es de 900°C a 1100°C. El tiempo de homogeneización preferible es de 30 minutos o menos. Esto se debe a que cuando el tiempo de homogeneización es demasiado largo, los carbonitruros compuestos de Ti, Nb, C, y N (Ti, Nb) (C, N) pueden precipitar y engrosar.

En la etapa de recalentamiento (S4), puede usarse un aparato de calentamiento por inducción en lugar del horno 5 de conservación,

10 [Etapa de enfriamiento (S5)]

Se enfría el tubo de acero sin costura producido en la etapa S3 o el tubo de acero sin costura recalentado en la etapa S4. Para el enfriamiento, puede llevarse a cabo cualquiera de una etapa de enfriamiento acelerado (S51) y una etapa de enfriamiento con aire (S52). La etapa de enfriamiento acelerado (S51) y la etapa de enfriamiento con aire (S52) se denominan colectivamente como etapa de enfriamiento (S5).

15 [Etapa de enfriamiento acelerado (S51)]

20 Cuando aumenta la tenacidad del tubo de acero sin costura, el tubo de acero sin costura no se enfría mediante la etapa de enfriamiento con aire (S52), sino mediante la etapa de enfriamiento acelerado (S51). En la etapa de enfriamiento acelerado (S51), el tubo de acero sin costura se enfría con agua (enfriado aceleradamente) mediante el aparato 6 de enfriamiento con agua. La temperatura (temperatura de la superficie) del tubo de acero sin costura antes de enfriarlo con agua es A_{r3} o mayor, y preferiblemente 800°C o mayor. El punto A_{r3} del tubo de acero sin costura que tiene la composición química dentro del intervalo descrito anteriormente según la realización es de 750°C o menor. Cuando la temperatura del tubo de acero sin costura inmediatamente antes de enfriarlo con agua es menor que A_{r3} , se produce ferrita y el templado no es suficiente. Por lo tanto, la temperatura no es preferible. Cuando la temperatura del tubo de acero sin costura antes de enfriarlo aceleradamente es menor que A_{r3} , el tubo de acero sin costura se recalienta en la etapa de recalentamiento (S4) y la temperatura del mismo aumenta a A_{r3} o mayor.

30 La velocidad de enfriamiento en la etapa de enfriamiento acelerado es preferiblemente 100°C/min o mayor. Cuando la velocidad de enfriamiento es menor que una velocidad de enfriamiento de 100°C/min, puesto que se genera ferrita, la temperatura no es preferible. Además, la temperatura de parada del enfriamiento es preferiblemente A_{r1} o menor. A una temperatura de parada del enfriamiento de A_{r1} o mayor, aumenta la cantidad de austenita residual y, de esta manera, la temperatura no es preferible. El punto A_{r1} del tubo de acero sin costura según la realización que tiene la composición química dentro del intervalo descrito anteriormente es 550°C o menor. La temperatura de parada del enfriamiento preferible es de 450°C o menor. La microestructura del metal base (matriz) se transforma en martensita o bainita mediante el enfriamiento acelerado y se refina. Más específicamente, se genera una lámina de martensita o una lámina de bainita en la martensita o la bainita.

35 La configuración del aparato 6 de enfriamiento con agua usado para el enfriamiento acelerado es, por ejemplo, como se describe a continuación. El aparato 6 de enfriamiento con agua incluye una pluralidad de rodillos rotatorios, un dispositivo de flujo de agua laminar, y un dispositivo de chorro de agua. La pluralidad de rodillos rotatorios están dispuestos en dos filas y se proporciona el tubo de acero sin costura entre la pluralidad de rodillos rotatorios dispuestos en dos filas. En este momento, cada uno de los rodillos rotatorios dispuesto en dos filas entra en contacto con la parte inferior de la superficie externa del tubo de acero sin costura. Cuando se hacen girar los rodillos rotatorios, el tubo de acero sin costura se hace girar alrededor del eje del mismo. El dispositivo de flujo de agua laminar está dispuesto por encima de los rodillos rotatorios, y vierte agua sobre el tubo de acero sin costura desde arriba. En ese momento, el agua vertida sobre el tubo de acero sin costura forma un flujo de agua laminar. El dispositivo de chorro de agua está dispuesto cerca del extremo del tubo de acero sin costura dispuesto sobre los rodillos rotatorios. El dispositivo de chorro de agua inyecta un chorro de agua hacia el interior del tubo de acero desde el extremo del tubo de acero sin costura. El dispositivo de flujo de agua laminar y el dispositivo de chorro de agua se usan para enfriar las superficies interna y externa del tubo de acero sin costura al mismo tiempo. Tal configuración del aparato 6 de enfriamiento con agua es particularmente adecuada para el enfriamiento acelerado de un tubo de acero sin costura grueso que tiene un espesor de 35 mm o mayor.

40 El aparato 6 de enfriamiento con agua puede ser un aparato distinto de los rodillos rotatorios descritos anteriormente, el dispositivo de flujo de agua laminar, y el dispositivo de chorro de agua. Por ejemplo, el aparato 6 de enfriamiento con agua puede ser un tanque de agua. En este caso, el tubo de acero sin costura se sumerge en el tanque de agua y se enfría aceleradamente. Asimismo, el aparato 6 de enfriamiento con agua puede incluir el dispositivo de flujo de agua laminar únicamente. Es decir, el tipo de aparato 6 de enfriamiento con agua no está limitado.

Una vez que se detiene el enfriamiento con agua a la temperatura de parada del enfriamiento con agua, puede realizarse el enfriamiento con aire hasta que la temperatura de la superficie del tubo de acero sin costura alcanza la

temperatura ambiente. El tubo de acero sin costura puede enfriarse a temperatura ambiente mediante el aparato 6 de enfriamiento con agua.

5 Como se ha descrito anteriormente, la etapa de enfriamiento acelerado (S51) es efectiva en un caso donde se obtiene una tenacidad más alta. Sin embargo, cuando no hay necesidad de obtener una alta tenacidad, en lugar de la etapa de enfriamiento acelerado (S51), puede llevarse a cabo la etapa de enfriamiento con aire (S52) que se describirá más adelante.

[Etapa de enfriamiento con aire (S52)]

10 En el proceso de producción del tubo de acero sin costura según la realización, en lugar de la etapa de enfriamiento acelerado (S51), puede llevarse a cabo el enfriamiento con aire (S52). En la etapa de enfriamiento con aire (S52), el tubo de acero sin costura producido en la etapa S3 se enfría con aire. Por consiguiente, cuando se lleva a cabo la etapa de enfriamiento con aire (S52), puede no llevarse a cabo la etapa de recalentamiento (S4).

En la etapa de enfriamiento con aire (S52), el enfriamiento se realiza hasta que la temperatura de la superficie del tubo de acero sin costura alcanza 400°C o menor. En el enfriamiento con aire, el tubo de acero sin costura puede enfriarse a temperatura ambiente.

15 [Etapa de templado (S6)]

20 Se temple el tubo de acero sin costura que se ha sometido a la etapa de enfriamiento acelerado (S51) o la etapa de enfriamiento con aire (S52). Específicamente, el tubo de acero sin costura se calienta mediante el aparato 7 de templado. Mediante este calentamiento, la microestructura metalográfica del tubo de acero sin costura se transforma en austenita. Después, el tubo de acero sin costura calentado se temple por enfriamiento acelerado. De esta manera, la microestructura metalográfica del tubo de acero sin costura se convierte en una estructura metalográfica que consiste principalmente en martensita o bainita.

25 En la etapa de templado (S6), el tubo de acero sin costura se calienta a una temperatura del punto A_{c3} o mayor por calentamiento usando el aparato 7 de templado. Además, la homogeneización se lleva a cabo preferiblemente durante 5 minutos a 90 minutos a una temperatura dentro del intervalo mencionado anteriormente. El punto A_{c3} del tubo de acero sin costura según la realización que tiene la composición química dentro del intervalo descrito anteriormente es de 800°C a 900°C.

30 En la etapa de enfriamiento de la etapa de templado (S6), el tubo de acero sin costura calentado al punto A_{c3} o mayor se temple por enfriamiento acelerado. La temperatura de inicio del templado es el punto A_{c3} o mayor como se ha descrito anteriormente. Además, la velocidad de enfriamiento durante el tiempo cuando la temperatura del tubo de acero sin costura es de 800°C a 500°C es de 5°C/s (300°C/min) o mayor. Por consiguiente, puede obtenerse una estructura de templado uniforme. La temperatura de parada del enfriamiento es el punto A_{r1} o menor. Cuando la temperatura de parada del enfriamiento es mayor que el punto A_{r1} , aumenta la cantidad de austenita residual y, de esta manera, la temperatura no es preferible. La temperatura de parada del enfriamiento es de 450°C o menor. Asimismo, el tubo de acero sin costura puede enfriarse a temperatura ambiente por enfriamiento acelerado.

35 [Etapa de revenido (S7)]

40 Se reviene el tubo de acero templado. La temperatura de revenido es de 660°C a 700°C. El tiempo de retención es preferiblemente de 10 minutos a 120 minutos. Llevando a cabo el revenido en tales condiciones, los carburos especificados que tienen un tamaño de 20 nm o mayor pueden dispersarse finamente en el tubo de acero sin costura. Como resultado, el grado de solidez del tubo de acero sin costura puede ser de X80 o mayor según las normas API, es decir, el límite elástico del tubo de acero sin costura puede ser de 550 MPa o mayor. Además, puesto que el tamaño del carburo especificado es de 20 nm o mayor, puede obtenerse buena tenacidad y resistencia al HIC en la HAZ soldada circunferencialmente.

45 Mediante los procesos de producción descritos anteriormente, incluso para el tubo de acero sin costura que tiene un espesor de 35 mm o mayor, puede obtenerse excelente solidez, tenacidad, y resistencia al HIC. El método de producción descrito anteriormente es particularmente adecuado para un tubo de acero sin costura que tiene un espesor de 35 mm o mayor y también es aplicable a un tubo de acero sin costura que tiene un espesor de 40 mm o mayor. El límite superior del espesor no está particularmente limitado y es típicamente de 60 mm o menor.

Ejemplos

50 Se produjo una pluralidad de tubos de acero sin costura que tenían diversas composiciones químicas, y se examinaron la solidez, la tenacidad, la dureza de la capa de la superficie interna y la resistencia al HIC de cada uno de los tubos de acero sin costura. Además, los tubos de acero sin costura se soldaron circunferencialmente y se examinó la tenacidad, la dureza y la resistencia al HIC de la zona de soldadura circunferencial.

Método de examen

Se produjo una pluralidad de aceros fundidos que tenían las composiciones químicas mostradas en la Tabla 1

ES 2 659 008 T3

mediante el horno eléctrico 40t. Se produjeron lingotes a partir de los aceros fundidos. Los lingotes se forjaron en caliente para producir palanquillas redondas.

El símbolo "-" en la Tabla 1 indica que el contenido es igual a o menor que el límite de medición.

Tabla 1

Tipo de acero	Composición química (Unidad: % en masa, Resto: Fe e impurezas)																Ceq (%)	A _{c3} (°C)	A _{r3} (°C)	A _{r1} (°C)
	C	Si	Mn	Mo	Cr	Al	P	S	Ca	V	N	Ti	Nb	Cu	Ni					
A	0,060	0,14	1,24	0,97	0,30	0,029	0,012	0,0008	0,0020	0,030	0,0047	-	0,020	-	-	0,527	895	695	550	
B	0,061	0,11	1,62	0,57	0,29	0,035	0,010	0,0016	0,0019	0,010	0,0049	0,003	0,030	-	-	0,505	870	680	540	
C	0,061	0,15	1,65	0,51	0,29	0,035	0,010	0,0016	0,0019	0,020	0,0049	0,003	0,030	-	-	0,500	875	685	540	
D	0,070	0,14	1,80	0,50	0,30	0,030	0,010	0,0010	0,0020	0,040	0,0050	0,005	-	-	0,50	0,571	870	665	520	
E	0,069	0,14	1,57	0,50	0,30	0,028	0,010	0,0009	0,0018	0,020	0,0050	0,003	0,030	-	0,51	0,529	875	670	530	
F	0,070	0,13	1,51	0,50	0,45	0,032	0,014	0,0010	0,0012	0,020	0,0047	0,005	-	0,25	0,25	0,549	876	680	545	
G	0,051	0,14	1,40	0,71	0,46	0,033	0,014	0,0008	0,0013	0,019	0,0054	0,005	-	0,25	0,25	0,555	890	685	545	
H	0,047	0,15	1,70	0,50	0,43	0,030	0,012	0,0009	0,0019	0,020	0,0055	-	0,020	0,25	0,25	0,554	875	670	530	
I	0,045	0,15	1,67	0,50	0,43	0,030	0,011	0,0009	0,0020	0,020	0,0054	-	0,027	0,25	0,25	0,547	875	670	532	
J	0,063	0,15	1,23	0,67	0,76	0,024	0,011	0,0009	0,0015	0,050	0,0049	0,005	-	-	-	0,564	890	690	550	
K	0,053	0,14	1,82	0,35	0,45	0,029	0,012	0,0008	0,0017	0,020	0,0047	0,005	-	-	0,46	0,551	870	675	530	
L	0,058	0,15	1,60	0,50	0,30	0,030	0,010	0,0010	0,0020	0,030	0,0050	0,005	-	-	-	0,491	880	680	540	
M	0,064	0,30	1,78	0,60	0,30	0,030	0,010	0,0010	0,0020	0,020	0,0050	0,005	-	0,35	0,35	0,591	870	660	520	
N	0,065	0,19	2,05	0,70	0,12	0,032	0,010	0,0018	0,0024	0,010	0,0054	0,005	-	-	-	0,573	880	660	500	

ES 2 659 008 T3

5 Cada una de las palanquillas redondas producidas se calentó de 1100°C a 1300°C. Sucesivamente, cada una de las palanquillas redondas se laminó y perforó con la perforadora para formar tubos en bruto. Después, cada uno de los tubos en bruto se alargó y laminó mediante el laminador de mandril. Después, cada uno de los tubos en bruto se estiró y laminó (relaminó) mediante el relaminador para producir una pluralidad de tubos de acero sin costura. Cada uno de los tubos de acero sin costura tenía un espesor de 40 mm.

Las Tablas 2-1 y 2-2 muestran las condiciones de producción de cada uno de los procesos de producción después del relaminado.

Tabla 2-1

Ensayo N°	Tipo de acero	Etapa de recalentamiento (S4)		Etapa de enfriamiento acelerado (S51)			Etapa de templado (S6)				Etapa de revenido (S7)
		Temperatura de calentamiento (°C)	Tiempo de homogeneización (min)	Temperatura de inicio (°C)	Velocidad de enfriamiento (CC/min)	Temperatura de parada del enfriamiento (°C)	Temperatura de calentamiento (°C)	Tiempo de homogeneización (min)	Velocidad de enfriamiento (CC/min)	Temperatura de parada del enfriamiento (°C)	
1	A	950	10	930	300	<450	950	10	300	<100	670
2	A	950	10	930	300	<450	950	10	300	<100	650
3	B	950	10	900	300	<450	950	10	300	<100	665
4	C	950	10	900	300	<450	950	10	300	<100	675
5	D	920	10	900	300	<450	920	10	300	<100	660
6	D						920	10	300	<100	660
7	E						920	10	300	<100	675
8	F						920	10	300	<100	665
9	G						920	10	300	<100	665
10	H	950	10	900	300	<450	920	10	300	<100	665
11	H						920	10	300	<100	665
12	I	950	10	900	300	<450	920	10	300	<100	680
13	I						920	10	300	<100	680
14	J	950	10	900	300	<450	920	10	300	<100	660
15	K	950	10	900	300	<450	920	10	300	<100	665
16	L						920	10	300	<100	665
17	M						920	10	300	<100	665
18	N	950	10	900	300	<450	920	10	300	<100	660

* Un ejemplo en el que las columnas de la Etapa de recalentamiento y la Etapa de enfriamiento acelerado están en blanco indica que el acero se enfría a temperatura ambiente por enfriamiento con aire después de laminarlo en caliente.

Tabla 2-2

Ensayo Nº	Carburo específico			YS (MPa)	TS (MPa)	50%FATT (°C)	Dureza de la capa de la superficie interna (HV10)	CLR (%)	Ampollas en la superficie (pieza)
	Elementos contenidos	Razón de contenido de Mo (%)	Tamaño (nm)						
1	Mo,V,Nb	80	30	583	653	-70	242	1	3
2	Mo,V,Nb	30	10	610	683	-70	262	3	30
3	Mo,V,Nb	65	30	586	670	-55	240	1	0
4	Mo,V,Nb	60	30	590	665	-80	240	0	0
5	Mo,V,Ti	60	20	727	783	-100	236	1	0
6	Mo,V,Ti	60	20	694	754	-88	242	0	0
7	Mo,V,Nb	60	25	583	653	-85	244	0	0
8	Mo,V,Ti	60	35	606	681	-60	245	2	15
9	Mo,V,Ti	65	25	591	662	-70	243	2	5
10	Mo,V,Nb	55	25	595	661	-75	220	0	0
11	Mo,V,Nb	55	25	585	662	-60	243	2	5
12	Mo,V,Nb	57	20	635	678	-90	225	0	0
13	Mo,V,Nb	55	20	630	682	-70	246	2	5
14	Mo,V,Ti	40	25	593	669	-60	268	5	50
15	Mo,V,Ti	20	20	520	610	-75	235	0	0
16	Mo,V,Ti	58	25	535	633	-60	240	0	0
17	Mo,V,Ti	60	25	595	668	-55	240	0	0
18	Mo,V,Ti	85	25	589	669	-86	230	0	0

Después de la etapa de relaminado, algunos de los tubos de acero sin costura de los ensayos N° 1 a 18 se calentaron en el horno de conservación en las condiciones de temperatura de calentamiento (°C) y tiempo de homogeneización (min) de la "etapa de recalentamiento (S4)" en la Tabla 2-1. Una casilla en blanco indica que la etapa de recalentamiento (S4) no se lleva a cabo.

5 Después, el tubo de acero sin costura que se sometió a la etapa de recalentamiento se enfrió aceleradamente por enfriamiento con agua. La temperatura de inicio (°C) de la "etapa de enfriamiento acelerado (S51)" en la Tabla 2-1 indica una temperatura (temperatura de la superficie, °C) del tubo de acero sin costura después del relaminado o calentamiento en el horno de conservación e inmediatamente antes del enfriamiento acelerado. La velocidad de enfriamiento acelerado (°C/min) en el momento del enfriamiento acelerado era como se muestra en la velocidad de enfriamiento acelerado (°C/min) de la "etapa de enfriamiento acelerado (S51)" en la Tabla 2-1. La temperatura de
10 parada del enfriamiento de todos los tubos de acero sin costura enfriados aceleradamente era de 450°C o menor como se muestra en la Tabla 2-1.

Entre los ensayos N° 1 a 18, algunos números de ensayo con casillas en blanco en la temperatura de inicio, la velocidad de enfriamiento, y la temperatura de parada del enfriamiento en la columna "etapa de enfriamiento acelerado (S51)" indica que el tubo de acero sin costura no se había enfriado aceleradamente sino que se había enfriado con aire a temperatura ambiente (25°C).
15

Después de la etapa de enfriamiento acelerado o la etapa de enfriamiento con aire, cada uno de los tubos de acero sin costura se calentó y templó. En ese momento, cada uno de los tubos de acero sin costura se cargó en el aparato 7 de templado y se calentó a la temperatura de templado (°C) en la columna de temperatura de calentamiento en la "etapa de templado (S6)" en la Tabla 2-1. A la temperatura de templado, cada uno de los tubos de acero sin costura se homogeneizó durante el tiempo (min) en la columna de tiempo de homogeneización mostrado en la "etapa de templado (S6)". Después de la homogeneización, los tubos de acero sin costura se enfriaron aceleradamente a la velocidad de enfriamiento (°C/min) mostrada en la columna de velocidad de enfriamiento de la "etapa de templado (S6)" en la Tabla 2-1. Después, el enfriamiento acelerado se detuvo a la temperatura de parada del enfriamiento (°C) mostrada en la Tabla 2-1. Una vez que el enfriamiento acelerado se detuvo a la temperatura de parada del enfriamiento, los tubos de acero sin costura se enfriaron con aire a temperatura ambiente.
20
25

Después de la etapa de templado, cada uno de los tubos de acero sin costura se sometió a revenido. La temperatura de revenido era como se muestra en la Tabla 2-1. El tiempo de retención a la temperatura de revenido para cada uno de los números de ensayo fue de 30 minutos.

30 Los tubos de acero sin costura producidos por los procesos de producción descritos anteriormente se sometieron a los siguientes ensayos de evaluación.

Ensayo de límite elástico y resistencia a la tracción

Se examinaron el límite elástico y la resistencia a la tracción de los tubos de acero sin costura de cada uno de los ensayos N° 1 a 18. Específicamente, a partir de cada uno de los tubos de acero sin costura, se muestreó una pieza de ensayo del N° 12 (anchura: 25 mm, longitud calibrada: 200 mm) especificada en JIS Z 2201 a lo largo de la dirección longitudinal (dirección L) del tubo de acero sin costura. Se usó la pieza de ensayo muestreada para llevar a cabo el ensayo de tracción según JIS Z 2241 en la atmósfera a temperatura ambiente (25°C) para obtener el límite elástico (YS, siglas en inglés para "yield strength") y la resistencia a la tracción (TS, siglas en inglés para "tensile strength"). Se obtuvo el límite elástico por el método de alargamiento de 0,5% del total. En la Tabla 2-2 se muestra el límite elástico (MPa) y las resistencias a la tracción (MPa) obtenidos. "YS" en la Tabla 2-2 indica el límite elástico obtenido por la pieza de ensayo de cada número de ensayo, y "TS" indica el esfuerzo de tracción.
35
40

Ensayo de tenacidad

Se examinó la tenacidad de los tubos de acero sin costura de cada uno de los ensayos N° 1 a 18. Específicamente, desde la parte central del espesor de cada uno de los tubos de acero sin costura, se muestreó una pieza de ensayo de muesca en V según JIS Z 2242, perpendicularmente a la dirección longitudinal del tubo de acero sin costura (en la dirección T). La pieza de ensayo de muesca en V era una forma de barra cuadrada que tiene una sección transversal de 10 mm x 10 mm. La profundidad de la muesca en V era de 2 mm. Se usó esta muestra de ensayo de muesca en V para llevar a cabo el ensayo de impacto Charpy según JIS Z 2242 a diversas temperaturas. Por lo tanto, se obtuvo la temperatura de transición de aparición de fractura (FATT 50%, siglas en inglés para "fracture appearance transition temperature") de cada uno de los tubos de acero sin costura. La Tabla 2-2 muestra la FATT 50% (°C) obtenida a partir de la pieza de ensayo de cada número de ensayo. La FATT 50% representa una temperatura a la cual el porcentaje de fractura dúctil es de 50% sobre la superficie de fractura de la pieza de ensayo.
45
50

Ensayo de dureza de la capa de la superficie interna

Se realizó el ensayo de dureza Vickers según JIS Z 2244 en tres puntos arbitrarios en el lado interno a 1 mm de la superficie interna del tubo de acero sin costura en la dirección del espesor sobre la sección transversal (sección transversal perpendicular al eje central) de cada uno de los tubos de acero sin costura de los ensayos N° 1 a 18. La fuerza de ensayo F en el ensayo de dureza Vickers era de 10 kgf (98,07 N). El valor promedio obtenido de los
55

valores de los tres puntos se definió como la dureza de la capa de la superficie interna (HV10) del tubo de acero sin costura del número de ensayo. En la Tabla 2-2 se muestra la dureza obtenida de la capa de la superficie interna.

Ensayo de medición del tamaño del carburo especificado

5 Se obtuvo el tamaño (nm) del carburo especificado por el método descrito anteriormente en la sección transversal de cada uno de los tubos de acero sin costura de los ensayos N° 1 a 18. Cuando se especificaron los carburos especificados, se identificaron también los elementos (Mo, V, Ti, y Nb) contenidos en los carburos especificados. En la Tabla 2-2 se muestran el tamaño (nm) del carburo especificado y los elementos identificados en los carburos.

Ensayo de resistencia al HIC del metal base

10 Se examinó la resistencia al HIC de los tubos de acero sin costura de los ensayos N° 1 a 18. Específicamente, a partir de cada uno de los tubos de acero sin costura, se muestrearon una pieza de ensayo que incluye la superficie interna del tubo de acero sin costura, una pieza de ensayo que incluye el espesor central, y una pieza de ensayo que incluye la superficie externa. Esto es, se muestrearon tres piezas de ensayo a partir de cada uno de los tubos de acero sin costura. El espesor de cada pieza de ensayo era de 30 mm, la anchura (en la dirección circunferencial) era de 20 mm, y la longitud era de 100 mm. Según la Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión (NACE) TM0284-15 2003, se evaluó la resistencia al HIC de cada pieza de ensayo. El baño de ensayo en el que se sumergen las piezas de ensayo era una disolución acuosa de 5% sal común + 0,5% ácido acético a temperatura ambiente, en la que estaba saturado sulfuro de hidrógeno gaseoso de 1 atm.

20 Una vez transcurridas 96 horas después de la inmersión, se cortó cada pieza de ensayo en tres piezas iguales en la dirección longitudinal. La sección transversal en ese momento era una sección transversal de espesor x anchura (en la dirección circunferencial) de la pieza de ensayo. Se usó la pieza de ensayo cortada para obtener una razón de longitud de grieta CLR (*siglas en inglés para "crack length ratio"*) (= longitud de grieta (mm)/anchura (mm) de la pieza de ensayo). El valor máximo en la CLR de las tres piezas de ensayo mencionadas anteriormente muestreadas de cada tubo de acero se definió como la razón de la longitud de grieta CLR de la pieza de ensayo. En la Tabla 2-2 se muestra la razón de longitud de grieta CLR obtenida.

25 Además, con relación a la pieza de ensayo que se sometió al ensayo de resistencia al HIC, se realizó un ensayo de ultrasonidos (UT) sobre la superficie de la pieza de ensayo que incluye la superficie interna del tubo de acero sin costura, correspondiente a la superficie interna del tubo de acero sin costura, (20 mm x 100 mm) y se comprobó si estaba presente o no una ampolla (protuberancia debido a las grietas cerca de la superficie) y se contó el número de ampollas generadas en la pieza de ensayo. En la Tabla 2-2 se muestra el número de ampollas.

30 Examen de tenacidad de la zona de soldadura circunferencial

35 Se realizó un ensayo de soldadura circunferencial sobre los tubos de acero sin costura de los ensayos N° 3, 5, 9, 12, 17 y 18. Específicamente, se cortó cada tubo de acero sin costura del número de ensayo en cuestión en la parte central en la dirección longitudinal. La parte cortada se sometió a preparación del borde para darle la forma seccionada longitudinalmente mostrada en la FIG. 4. En las condiciones de soldadura mostradas en la Tabla 3, las partes cortadas de los dos tubos de acero sin costura recortados se soldaron circunferencialmente entre sí.

[Tabla 3]

Forma del surco	Como se muestra en la FIG. 4
Pre calentamiento	No realizado
Aporte de calor para la soldadura	1,5 kJ/mm
Tratamiento térmico post-soldadura (PWHT)	680°Cx5 minutos

40 A partir de cada uno de los tubos de acero sin costura soldados circunferencialmente, se muestreó una pieza de ensayo de muesca en V para Charpy que incluye una zona de soldadura (que incluye metal soldado, zona afectada por el calor y metal base) en la dirección longitudinal del tubo de acero sin costura (dirección L). Específicamente, a partir de cada uno de los tubos de acero sin costura, se muestrearon tres piezas de ensayo, en las que una muesca en V está dispuesta en la línea de fusión (FL, *siglas en inglés para "fusión line"*) en la que la tenacidad se deteriora fácilmente en la zona afectada por el calor (HAZ) (en lo sucesivo en la presente memoria, denominada FL de la pieza de ensayo) y, además, se muestrearon tres muestras de ensayo, en las que la muesca en V está dispuesta en la zona bifásica HAZ (en lo sucesivo en la presente memoria, denominada "V.HAZ de la pieza de ensayo"), (en lo sucesivo en la presente memoria, denominado como V.HAZ de la pieza de ensayo). En este caso, la zona bifásica HAZ es una parte en la que el metal base se calienta a la zona bifásica en la HAZ por el calor de soldadura (es decir, una parte calentada a una temperatura dentro de un intervalo del punto de transformación de A_{c1} a A_{c3}) y representa

también una parte que tiene estructuras de ferrita y martensita a temperatura ambiente.

Se usaron las muestras de ensayo muestreada para llevar a cabo el ensayo Charpy según JIS Z 2242 a una temperatura de ensayo de -30°C para obtener la energía absorbida. El valor más bajo de los tres valores de energía absorbida a partir de cada número de ensayo se definió como la energía absorbida en la FL de la pieza de ensayo y la V.HAZ de la pieza de ensayo de cada número de ensayo. En la Tabla 4 se muestra la energía absorbida obtenida por el ensayo.

[Tabla 4]

Ensayo Nº	Acero	Energía absorbida		Dureza de la línea de fusión (HV)	Resistencia al HIC
		FL de la pieza de ensayo (J)	V.HAZ de la pieza de ensayo (J)		
3	B	250	270	245	N
5	D	150	250	255	N
9	G	200	200	247	N
12	I	250	290	242	N
17	M	80	60	289	F
18	N	170	220	280	F

Ensayo de dureza de la zona de soldadura circunferencial

A partir de cada uno de los tubos de acero sin costura soldados circunferencialmente, como se muestra en la región indicada por una línea discontinua en la FIG. 5, se muestreó una micro-pieza de ensayo que incluye una zona de soldadura (espesor TH (*siglas en inglés para "thickness"*) = 40 mm, anchura WI (*siglas en inglés para "width"*) = 20 mm, longitud 20 mm). En la FIG. 5, OS (*siglas en inglés para "outer surface"*) se refiere a una superficie externa e IS (*siglas en inglés para "inner surface"*) se refiere a una superficie interna.

La sección transversal del espesor TH y la anchura WI (en lo sucesivo en la presente memoria, denominadas como superficie de observación) de la micro-pieza de ensayo se pulió especularmente. Se usó una disolución de ataque de nital para mostrar una estructura metalográfica sobre la superficie de observación pulida especularmente. Después, en un intervalo desde un lado interno a 1 mm de la superficie externa OS hasta un lado interno a 1 mm de la superficie interna IS a lo largo de la línea de fusión FL, a intervalos de 1 mm, se realizó el ensayo de dureza Vickers según JIS Z 2244. Como resultado, se midió la dureza de 38 puntos en cada micro-pieza de ensayo. La fuerza de ensayo F en el ensayo de dureza Vickers era de 9,8 N. El valor más grande de los valores de dureza obtenidos de los 38 puntos se definió como la dureza (HV) de la línea de fusión de la pieza de ensayo.

Ensayo de resistencia al HIC de la zona de soldadura circunferencial

Como se muestra en la FIG. 6, a partir de cada uno de los tubos de acero sin costura soldados circunferencialmente, se muestreó una pieza de ensayo cuadrada que incluye una superficie interna IS y una zona de soldadura WL (*siglas en inglés para "weld zone"*) (espesor TH = 30 mm, anchura WI = 20 mm, longitud =100 mm). La pieza de ensayo cuadrada se sumergió en el mismo baño de ensayo que en el ensayo de resistencia al HIC del metal base descrito anteriormente durante 96 horas. La pieza de ensayo cuadrada se sacó del baño de ensayo y se realizó un ensayo de ultrasonidos desde una dirección perpendicular hasta la línea de fusión FL para examinar donde estaba presente o no el HIC. En la Tabla 4 se muestran los resultados del ensayo. "N" en la Tabla 4 indica que no se observó HIC. "F" indica que sí se observó HIC.

Resultados del examen

Haciendo referencia a las Tablas 1, 2-1 y 2-2, para los tubos de acero sin costura de los ensayos Nº 1 y 3 a 13, la composición química estaba dentro del intervalo de la presente invención, y el equivalente de carbono era 0,50% o mayor. Por lo tanto, el límite elástico de cada uno de los números de ensayo era de 550 MPa o mayor, correspondiente al grado de solidez de X80 o mayor según las normas API. La FATT 50% de cada uno de los números de ensayo era de -50°C o menor, es decir, los tubos de acero sin costura tenían excelente tenacidad. Además, el tamaño del carburo especificado de los números de ensayo era de 20 nm o mayor. Por lo tanto, la dureza de la capa de la superficie interna era de 248 HV10 o menor. Por lo tanto, la razón de longitud de grieta CLR era baja y el número de ampollas generadas era pequeño.

Cuando se compararon los ensayos Nº 5 y 6, la FATT 50% del ensayo Nº 5 que se sometió a enfriamiento acelerado

era menor que la del ensayo N° 6, y era excelente. De la misma manera, cuando se compararon los ensayos N° 10 y 11, y 12 y 13, la FATT 50% de los ensayos N° 10 y 12 era excelente comparada con los ensayos N° 11 y 13. Esto es, siempre y cuando los tubos de acero sin costura se fabricaran del mismo tipo de acero, se obtuvo una excelente tenacidad en un caso donde se realizó el enfriamiento acelerado.

- 5 Además, haciendo referencia a la Tabla 4, la energía absorbida en las zonas de soldadura circunferencial de todos los ensayos N° 3, 5, 9, y 12 superaba los 100 J. La dureza de la línea de fusión de cada uno de los números de ensayo era baja. Por lo tanto, incluso en la zona de soldadura, se mostró una excelente resistencia al HIC.

- 10 Por otro lado, para el ensayo N° 2, como se muestra en la Tabla 2-1, la temperatura de revenido era demasiado baja. Por lo tanto, el tamaño del carburo especificado era menor que 20 nm. Por lo tanto, la dureza de la capa de la superficie interna de ensayo N° 2 aumentó excesivamente y superó los 248 HV10, Además, la razón de longitud de grieta CLR era alta y el número de ampollas también era grande. Esto es, la resistencia al HIC era baja.

Para el ensayo N° 14, el contenido de V era demasiado alto. Por lo tanto, la dureza de la capa de la superficie interna aumentó excesivamente y superó los 248 HV10. La razón de longitud de grieta CLR era alta y el número de ampollas era grande también.

- 15 Para el ensayo N° 15, el contenido de Mo era demasiado bajo. Por lo tanto, el límite elástico era menor que 550 MPa.

Para el ensayo N° 16, el equivalente de carbono Ceq era demasiado bajo. Por lo tanto, el límite elástico era menor que 550 MPa.

- 20 Para el ensayo N° 17, el equivalente de carbono Ceq era demasiado alto. Por lo tanto, como se muestra en la Tabla 4, la dureza de la línea de fusión aumentó excesivamente, la energía absorbida era baja, y ocurrió HIC en la HAZ de la zona de soldadura.

Para el ensayo N° 18, el contenido de Mn era demasiado alto. Por lo tanto, como se muestra en la Tabla 4, la dureza de la línea de fusión aumentó excesivamente y ocurrió HIC en la HAZ de la zona de soldadura.

- 25 La realización de la presente invención se ha descrito anteriormente. Sin embargo, la realización descrita anteriormente es meramente una ilustración para llevar a cabo la presente invención. Por lo tanto, la presente invención no está limitada a la realización descrita anteriormente, y la presente invención puede aplicarse cambiando o modificando apropiadamente la realización descrita anteriormente sin alejarse del espíritu y el alcance de la presente invención.

Aplicabilidad industrial

- 30 Según la presente invención, es posible proporcionar un tubo de acero sin costura que tiene alta solidez y excelente resistencia al HIC y que tiene excelente resistencia al HIC de la HAZ incluso cuando se suelda circunferencialmente.

Breve descripción de los símbolos de referencia

- | | |
|----|------------------------------------|
| 1 | HORNO DE CALENTAMIENTO |
| 2 | MÁQUINA DE PERFORACIÓN |
| 35 | 3 TREN DE LAMINADO DE ALARGAMIENTO |
| | 4 TREN DE RELAMINADO |
| | 5 HORNO DE CONSERVACIÓN |
| | 6 APARATO DE ENFRIAMIENTO CON AGUA |
| | 7 APARATO DE TEMPLADO |
| 40 | 8 APARATO DE REVENIDO |
| | FL LÍNEA DE FUSIÓN |
| | IS SUPERFICIE INTERNA |
| | OS SUPERFICIE EXTERNA |

REIVINDICACIONES

1. Un tubo de acero sin costura que consiste en, como una composición química, en % en masa:
- C: de 0,02% a 0,10%;
- Si: de 0,05% a 0,5%;
- 5 Mn: de 1,0% a 2,0%;
- Mo: de 0,5% a 1,0%;
- Cr: de 0,1% a 1,0%;
- Al: de 0,01% a 0,10%;
- P: 0,03% o menor;
- 10 S: 0,005% o menor;
- Ca: de 0,0005% a 0,005%;
- V: de 0,010% a 0,040%;
- N: de 0,002% a 0,007%;
- al menos uno seleccionado del grupo que consiste en Ti: 0,008% o menor y Nb: de 0,02% a 0,05%;
- 15 opcionalmente, al menos uno seleccionado del grupo que consiste en Cu: 1,0% o menor y Ni: 1,0% o menor; y
consistiendo el resto en Fe e impurezas,
en donde un equivalente de carbono C_{eq} definido por la siguiente Fórmula (1) es de 0,50% a 0,58%;
- un límite elástico de 550 MPa o mayor; y
- 20 están contenidos los carburos especificados que contienen Mo a una razón de 50% en masa o mayor, V, y
al menos uno seleccionado del grupo que consiste en Ti y Nb, y que tienen un tamaño definido por un valor
promedio de los ejes principales de 20 nm o mayor, en donde
- $C_{eq} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \dots (1)$,
- 25 y en donde en cada uno de los símbolos de los elementos en la Fórmula (1), se sustituye la cantidad de un
% en masa unitario de un elemento correspondiente, y en el caso donde un elemento correspondiente al
símbolo del elemento no está contenido, un "0" sustituye al símbolo correspondiente del elemento.
2. El tubo de acero sin costura según la reivindicación 1,
- en donde una dureza Vickers en una posición en un lado interno a 1 mm de una superficie interna es de
248 HV10 o menor.
3. Un método para producir un tubo de acero sin costura según la reivindicación 1, comprendiendo el método:
- 30 calentar un material de acero que tiene la misma composición química que el tubo de acero sin costura de
la reivindicación 1;
- producir un tubo en bruto laminando y perforando el material de acero calentado;
- producir un tubo de acero sin costura laminando el tubo en bruto;
- templar el tubo de acero sin costura a una temperatura de templado de un punto A_{c3} o mayor; y
- 35 revenir el tubo de acero sin costura después del templado a una temperatura de revenido de 660°C a 700°C.
4. El método para producir un tubo de acero sin costura según la reivindicación 3, que comprende además
- enfriar aceleradamente el tubo de acero sin costura a una velocidad de enfriamiento de 100°C/min o mayor
hasta que una temperatura del tubo de acero sin costura alcanza una temperatura de un punto A_{r1} o menor
entre la producción del tubo de acero sin costura y el templado del tubo de acero sin costura,
- 40 en donde el tubo de acero sin costura enfriado aceleradamente se temple en el templado del tubo de acero
sin costura.

FIG. 1

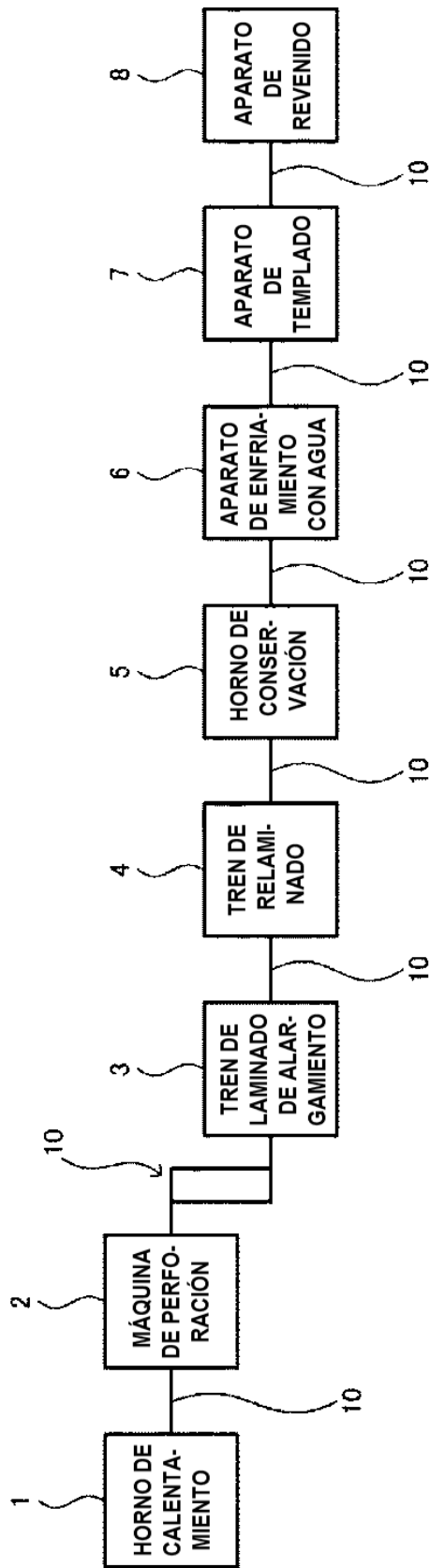


FIG. 2

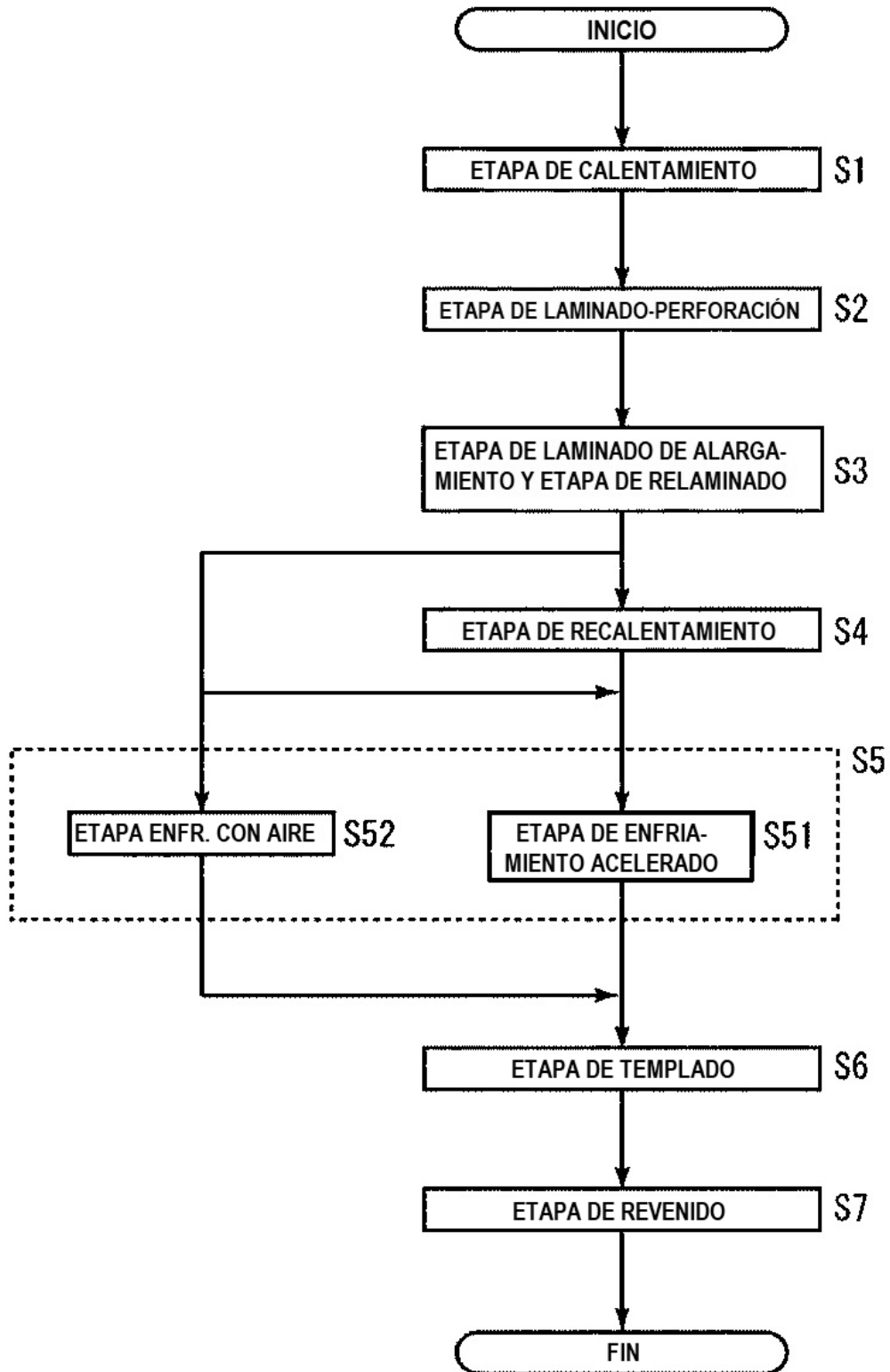


FIG. 3

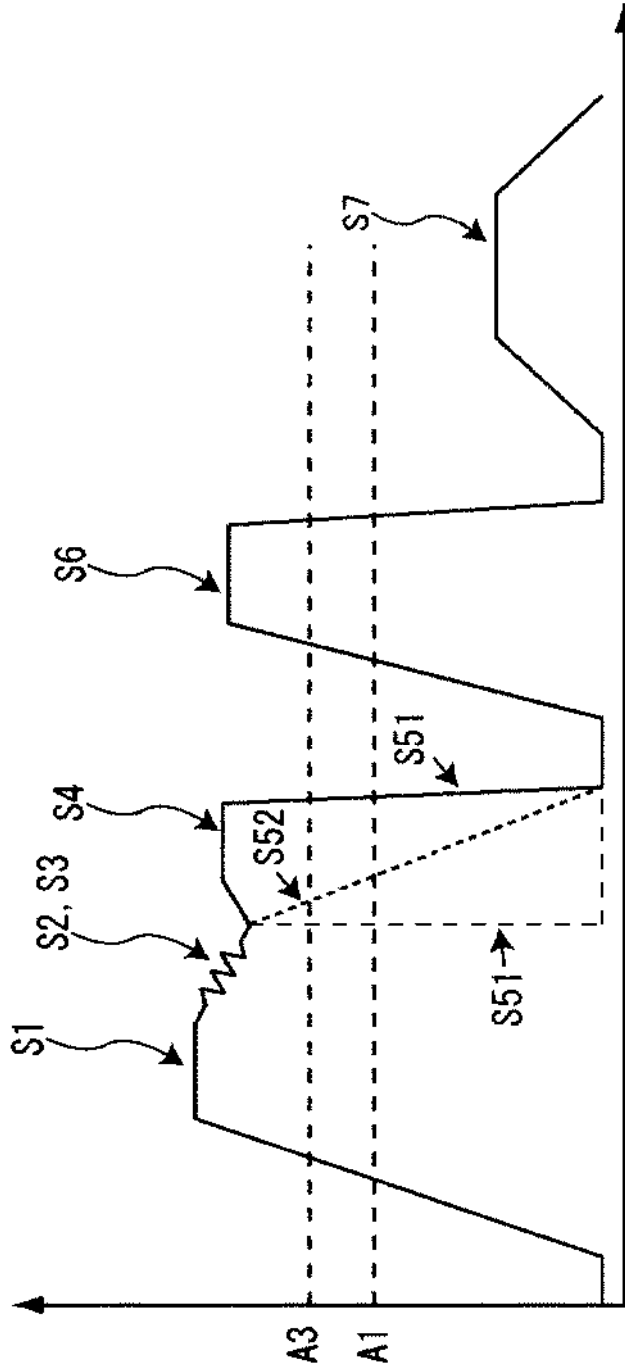


FIG. 4

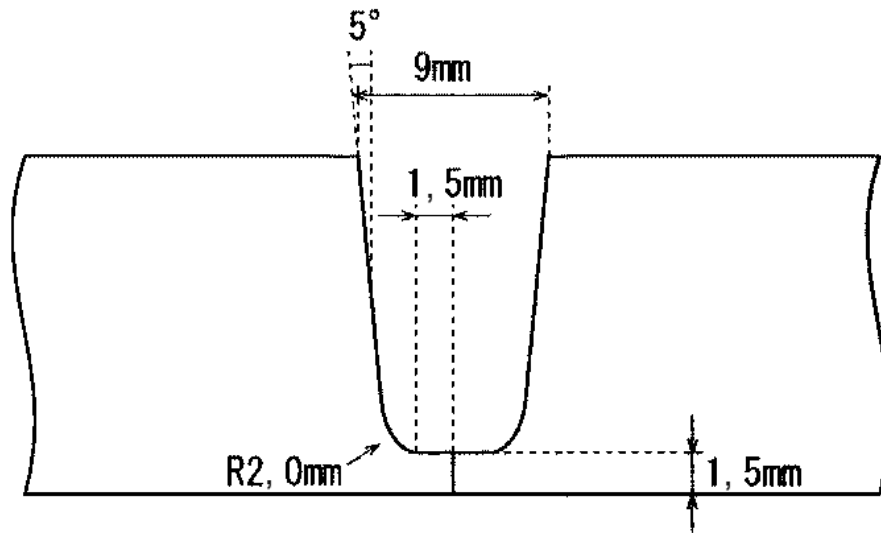


FIG. 5

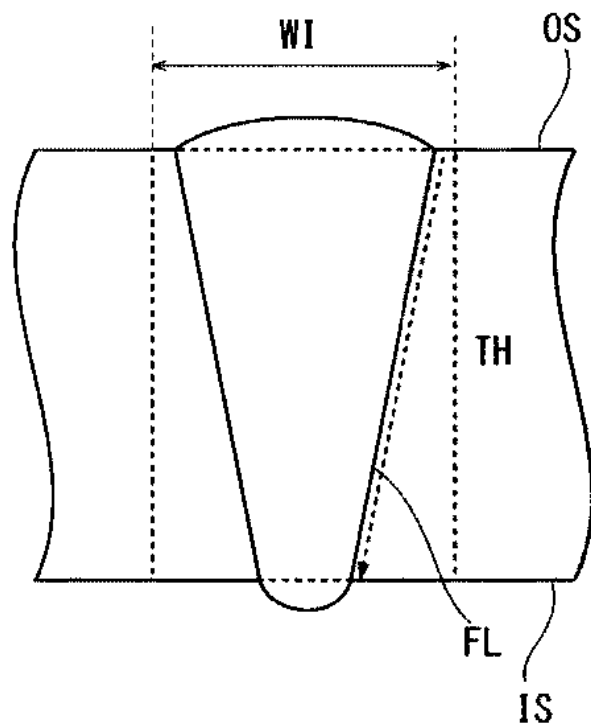


FIG. 6

