

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 976 648**

51 Int. Cl.:

C21D 8/10	(2006.01)	C22C 38/46	(2006.01)
C21D 9/08	(2006.01)	C22C 38/48	(2006.01)
C22C 38/00	(2006.01)	C22C 38/50	(2006.01)
C22C 38/58	(2006.01)	C22C 38/54	(2006.01)
C21D 1/26	(2006.01)		
C21D 6/00	(2006.01)		
C22C 38/02	(2006.01)		
C22C 38/04	(2006.01)		
C22C 38/42	(2006.01)		
C22C 38/44	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.04.2020 PCT/JP2020/017511**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.10.2020 WO20218426**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.04.2020 E 20795705 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.04.2024 EP 3960885**

54 Título: **Tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura y método para producir un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura**

30 Prioridad:
24.04.2019 JP 2019083337

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.08.2024

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

72 Inventor/es:
**KATO, KOSEI y
TOMIO, YUSAKU**

74 Agente/Representante:
ELZABURU, S.L.P

ES 2 976 648 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 inoxidable dúplex sin soldadura y método para producir un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura

Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere a un material de acero inoxidable dúplex y a un método para producir el mismo y, más específicamente, a un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura y a un método para producir el mismo.

Antecedentes de la técnica

- 10 Existen situaciones en las que los pozos de petróleo y los pozos de gas (de aquí en adelante, se denominará a los pozos de petróleo y pozos de gas de manera conjunta simplemente "pozos de petróleo") se convierten en un entorno corrosivo que contiene un gas corrosivo. Aquí, gas corrosivo significa gas de dióxido de carbono y/o ácido sulfhídrico. Es decir, es necesario que los materiales de acero que se utilizan en pozos de petróleo tengan una excelente resistencia a la corrosión en un entorno corrosivo.

- 15 Hasta ahora, como método para mejorar la resistencia a la corrosión del material de acero, se conocía un método para aumentar el contenido de cromo (Cr) y formar una película de pasivación compuesta principalmente de óxido de Cr sobre la superficie del material de acero. Por lo tanto, en un entorno donde se requiere una excelente resistencia a la corrosión, se utiliza en algunos casos un material de acero inoxidable dúplex que tiene un contenido rico en Cr. Se conoce que los materiales de acero inoxidable dúplex presentan una excelente resistencia a la corrosión, especialmente en el agua de mar.

- 20 Asimismo, en los últimos años, los pozos de petróleo se han desarrollado en entornos más hostiles que antaño. Entornos más hostiles que antaño son, por ejemplo, las regiones polares. Los materiales de acero utilizados para los pozos de petróleo en regiones frías como, por ejemplo, las regiones polares, no solo necesitan tener una excelente resistencia a la corrosión, sino también una excelente tenacidad a baja temperatura.

- 25 La Publicación de Solicitud de patente japonesa No. 03-291358 (Bibliografía de Patente 1), la Publicación de Solicitud de patente japonesa n.º 10-60597 (Bibliografía de Patente 2), y la Publicación de Solicitud Internacional n.º WO2012/111536 (Bibliografía de Patente 3), y la Publicación de Solicitud de patente japonesa n.º 2016-3377 (Bibliografía de Patente 4) proponen, cada una, una técnica para mejorar la tenacidad a baja temperatura de un material de acero inoxidable dúplex.

- 30 El material de acero inoxidable dúplex descrito en la Bibliografía de Patente 1 contiene, en % en peso, Cr: 20 a 30 %, Ni: 3 a 12 %, y Mo: 0,2 a 5,0 %, además de incluir sol. Al: 0,01 a 0,05 %, O: menos de 0,0020 %, y S: 0,0003 % o menos. La Bibliografía de Patente 1 describe que este material de acero inoxidable dúplex tiene una tenacidad y trabajabilidad en caliente excelentes.

- 35 El material de acero inoxidable dúplex descrito en la Bibliografía de Patente 2 contiene ferrita en una cantidad de 60 a 90 % en relación a la superficie, en el que el valor de resto de Ni (= Ni + 0,5 Mn + 30(C + N) - 1,1 (Cr + 1,5 Si + Mo + 0,5 Nb) + 8,2) es de -15 a -10, y cumple con la fórmula (contenido de Al x contenido de N \leq 0,0023 x valor de resto de Ni + 0,357). La Bibliografía de Patente 2 describe que este material de acero inoxidable dúplex tiene una resistencia alta y una tenacidad excelente.

- 40 El material de acero inoxidable dúplex descrito en la Bibliografía de Patente 3 tiene una composición química compuesta de, en % en masa, C: 0,030 % o menos, Si: 0,20 a 1,00 %, Mn: 8,00 % o menos, P: 0,040 % o menos, S: 0,0100 % o menos, Cu: más de 2,00 a 4,00 % o menos, Ni: 4,00 a 8,00 %, Cr: 20,0 a 30,0 %, Mo: 0,50 a menos de 2,00 %, N: 0,100 a 0,350 %, y Al: 0,040 % o menos, con el resto de Fe e impurezas, y una microestructura que contiene una relación de ferrita de 30 a 70%, en la que la dureza de la ferrita es de 300 Hv_{10gf} o más. La Bibliografía de Patente 3 describe que este material de acero inoxidable dúplex tiene una resistencia alta y una tenacidad alta.

- 45 El tubo de acero inoxidable dúplex descrito en la Bibliografía de Patente 4 tiene una composición química compuesta de, en % en masa, C: 0,03 % o menos, Si: 0,2 a 1 %, Mn: 0,5 a 2,0 %, P: 0,040 % o menos, S: 0,010 % o menos, Al: 0,040 % o menos, Ni: 4 a menos de 6 %, Cr: 20 a menos de 25 %, Mo: 2,0 a 4,0 %, N: 0,1 a 0,35 %, O: 0,003 % o menos, V: 0,05 a 1,5 %, Ca: 0,0005 a 0,02 %, y B: 0,0005 a 0,02 %, con el resto de Fe e impurezas, y una microestructura de metal compuesta de una microestructura dúplex de una fase de ferrita y una fase de austenita, en la que no hay precipitación de una fase sigma, una proporción de la fase de ferrita en la microestructura metálica es del 50 % o menos en relación a la superficie, y el número de óxidos que tienen un tamaño de partícula de 30 μ m o más existentes en un campo visual de 300 mm² es de 15 o menos. La Bibliografía de Patente 4 describe que este tubo de acero inoxidable dúplex es excelente en términos de resistencia, resistencia a picaduras, y tenacidad a baja temperatura.

- 55 La Bibliografía de Patente 5 describe un acero inoxidable dúplex con buena tenacidad a baja temperatura. El acero inoxidable dúplex tiene una composición química, en % en masa: de hasta 0,03 % C; 0,1 a 0,8 % Si; hasta 2,3 % Mn; hasta 0,040 % P; hasta 0,010 % S; hasta 0,040 % Al sol; 3 a 7 % Ni; 20 a 28 % Cr; 0,5 a 2,0 % Mo; más de 2,0 % y

no más de 4,0 % Cu; 0,02 a 0,5 % Co; 0,1 a 0,35 % N; hasta 0,010 % O; y otros elementos, el acero teniendo una microestructura que incluye una fase de austenita y una fase de ferrita, teniendo la fase de ferrita un porcentaje de superficie del 30 al 60 %, cumpliendo el acero con la siguiente Fórmula (1):

$$0,70 \times Ni_L \leq Ni_H$$

- 5 donde Ni_H y Ni_L se obtienen utilizando un microanalizador de haz de electrones para medir el contenido de Ni y, en una distribución del contenido de Ni, determinar dos frecuencias máximas, y tratar la que tiene un contenido de Ni más alto como Ni_H y tratar la que tiene un contenido de Ni más bajo como Ni_L .

Listado de citas

Bibliografía de patente

- 10 Bibliografía de Patente 1: Publicación de Solicitud de patente japonesa n.º 03-291358

Bibliografía de Patente 2: Publicación de Solicitud de patente japonesa n.º 10-60597

Bibliografía de Patente 3: Publicación de Solicitud Internacional n.º WO2012/111536

Bibliografía de Patente 4: Publicación de Solicitud de patente japonesa n.º 2016-3377

Bibliografía de Patente 5: EP 3 467 132 A1

15 **Compendio de la invención**

Problema técnico

- 20 Como los entornos de pozos de petróleo se han vuelto más hostiles en los últimos años, se ha generado una mayor demanda de tubos de acero inoxidable dúplex sin soldadura con mayor tenacidad a baja temperatura que antes. Como se describe más arriba, las Bibliografías de Patente 1 a 4 describen materiales de acero inoxidable dúplex que tienen una tenacidad a baja temperatura excelente. Sin embargo, se puede obtener un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura con tenacidad a baja temperatura excelente mediante una técnica diferente de las descritas en las Bibliografías de Patente 1 a 4.

Un objeto de la presente invención es proveer un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura con tenacidad a baja temperatura excelente y un método para producir el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura.

25 Solución al problema

Un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente invención tiene:

una composición química que consiste en, en % de masa,

C: 0,030 % o menos,

Si: 0,20 a 1,00 %,

- 30 Mn: 0,50 a 7,00 %,

P: 0,040 % o menos,

S: 0,0100 % o menos,

Cu: 1,80 a 4,00%,

Cr: 20,00 a 28,00 %,

- 35 Ni: 4,00 a 9,00 %,

Mo: 0,50 a 2,00 %,

Al: 0,100 % o menos,

N: 0,150 a 0,350 %,

V: 0 a 1,50 %,

- 40 Nb: 0 a 0,100 %,

Ta: 0 a 0,100 %,

ES 2 976 648 T3

Ti: 0 a 0,100 %,

Zr: 0 a 0,100 %,

Hf: 0 a 0,100 %,

Ca: 0 a 0,0200%,

5 Mg: 0 a 0,0200 %,

B: 0 a 0,0200 %, y

metal de tierras raras: 0 a 0,200 %, con el resto de Fe e impurezas, y

una microestructura compuesta de un 30,0 a 70,0 % de ferrita en relación volumétrica y austenita como resto,

en donde

10 cuando una dirección del eje del tubo del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura se define como una dirección L y una dirección del radio del tubo del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura se define como una dirección T,

en un campo de observación cuadrado de la región de visión que incluye una porción central del espesor de la pared del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura, y cuyo lado que se extiende en la dirección L es de 1,0 mm de largo y cuyo lado que se extiende en la dirección T es de 1,0 mm de largo,

15 cuatro segmentos de línea, que se extienden en la dirección T, que se disponen a intervalos iguales en la dirección L del campo de observación de la región de visión, y que dividen el campo de observación de la región de visión en cinco partes iguales en la dirección L, se definen como T1 a T4,

20 cuatro segmentos de línea, que se extienden en la dirección L, que se disponen a intervalos iguales en la dirección T del campo de observación de la región de visión, y que dividen el campo de observación de la región de visión en cinco partes iguales en la dirección T, se definen como L1 a L4, y

una interfaz entre la ferrita y la austenita en el campo de observación de la región de visión se define como una interfaz de ferrita,

un número de intersecciones NT, que es un número de intersecciones entre los segmentos de línea T1 a T4 y la interfaz de ferrita, es de 40,0 o más, y

25 un número de intersecciones NL, que es un número de intersecciones entre los segmentos de línea L1 a L4 y la interfaz de ferrita, y el número de intersecciones NT cumple con la Fórmula (1).

$$NT/NL \geq 2,0 \quad (1)$$

Un método para producir un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente invención incluye:

30 una etapa de preparación del material de partida para preparar un material de partida con la composición química descrita más arriba,

una etapa de calentamiento para calentar el material de partida después de la etapa de preparación del material de partida a una temperatura de calentamiento T_A °C de 1000 a 1280 °C,

una etapa de perforación-laminado para perforar-laminar el material de partida después de la etapa de calentamiento en una relación de reducción de superficie R_A % que cumpla con la Fórmula (A) para producir una estructura hueca,

35 una etapa de alargamiento-laminado para alargar y laminar la estructura hueca después de la etapa de perforación-laminado, y

una etapa de tratamiento térmico de solución para mantener la estructura hueca después de la etapa de alargamiento-laminado entre 950 y 1080 °C durante 5 a 180 minutos:

$$R_A \geq -0,000200 \times T_A^2 + 0,513 \times T_A - 297 \quad (A)$$

40 donde, R_A en la Fórmula (A) se define mediante la Fórmula (B).

$R_A = \{1 - (\text{área en sección transversal perpendicular a la dirección del eje del tubo de la estructura hueca después de perforar-laminar} / \text{área en sección transversal perpendicular a la dirección axial del material de partida antes de perforar-laminar})\} \times 100 \quad (B)$

Efectos ventajosos de la invención

Un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente invención tiene una tenacidad a baja temperatura excelente. El método para producir un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente invención puede producir el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura descrito más arriba.

5 **Breve descripción de los dibujos**

La Figura 1 es un diagrama esquemático de una microestructura en una sección transversal que se encuentra en una porción central del espesor de la pared de un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura y que incluye una dirección del eje del tubo (dirección L) y una dirección del radio del tubo (dirección T) del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura, teniendo el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura la misma composición química que la del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura de la presente realización, pero con una microestructura diferente.

La Figura 2 es un diagrama esquemático de la microestructura en una sección transversal que se encuentra en la porción central del espesor de la pared del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura de la presente realización, y que incluye la dirección L y la dirección T.

La Figura 3 es un diagrama esquemático para ilustrar un método de cálculo de un índice (LI) de capa en la presente realización.

15 **Descripción de la realización**

Los presentes inventores han examinado un enfoque para mejorar la tenacidad a baja temperatura de un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura. En primer lugar, los presentes inventores han considerado que un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura que tiene una composición química compuesta de: % en masa, C: 0,030 % o menos, Si: 0,20 a 1,00 %, Mn: 0,50 a 7,00 %, P: 0,040 % o menos, S: 0,0100 % o menos, Cu: 1,80 a 4,00 %, Cr: 20,00 a 28,00 %, Ni: 4,00 a 9,00 %, Mo: 0,50 a 2,00 %, Al: 0,100 % o menos, N: 0,150 a 0,350 %, V: 0 a 1,50 %, Nb: 0 a 0,100 %, Ta: 0 a 0,100 %, Ti: 0 a 0,100 %, Zr: 0 a 0,100 %, Hf: 0, a 0,100 %, Ca: 0 a 0,0200 %, Mg: 0 a 0,0200 %, B: 0 a 0,0200 %, y metales de tierras raras: 0 a 0,200 %, con el resto de Fe e impurezas puede posiblemente conseguir una tenacidad a baja temperatura excelente.

Por consiguiente, los presentes inventores han investigado y examinado un enfoque para mejorar la tenacidad a baja temperatura de un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura que tiene la composición química descrita más arriba. Específicamente, los presentes inventores se han centrado en que la microestructura del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura tenga la composición química descrita más arriba. En primer lugar, la microestructura del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura que tiene la composición química descrita más arriba incluye ferrita y austenita.

Aquí, en una microestructura de un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura, la ferrita tiene una dureza mayor que la austenita. Es decir, la ferrita tiene una tenacidad menor que la austenita. Por lo tanto, si ocurre una mínima grieta en el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura a una baja temperatura, la grieta se puede propagar a la ferrita. Si la grieta se propaga a través de la ferrita, ocurre una fractura frágil en el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura. Es decir, los presentes inventores han considerado que, con el fin de mejorar la tenacidad a baja temperatura del tubo de acero inoxidable dúplex descrito más arriba, es necesario dificultar la propagación de grietas en la ferrita.

Por lo tanto, los presentes inventores primero investigaron y examinaron la relación entre las relaciones volumétricas de la ferrita y la austenita y la tenacidad a baja temperatura. Como resultado, se descubrió que la tenacidad a baja temperatura del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura se puede mejorar al controlar adecuadamente las relaciones volumétricas de la ferrita y la austenita.

Si la relación volumétrica de la ferrita es demasiado alta, las grietas se propagarán fácilmente a través de la ferrita. Como resultado, se deteriora la tenacidad a baja temperatura de los tubos de acero inoxidable dúplex sin soldadura. Por otro lado, si la relación volumétrica de la austenita es demasiado alta, es decir, si la relación volumétrica de la ferrita es demasiado baja, puede que no se obtengan otras características (por ejemplo, resistencia, resistencia a la corrosión, etc.) necesarias para un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura. Por lo tanto, el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización tiene una microestructura en la que la relación volumétrica de la ferrita es de 30,0 a 70,0 %.

Por otro lado, incluso en un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura que tiene la composición química descrita más arriba y en el que la relación volumétrica de la ferrita es de 30,0 a 70,0 %, hubo un caso en el que no se obtuvo una tenacidad a baja temperatura excelente. Por lo tanto, los presentes inventores se centraron entonces en el estado de distribución de la ferrita y la austenita. Como se describe más arriba, si se produce una grieta en un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura, esta puede propagarse a la ferrita. Por lo tanto, incluso cuando la relación volumétrica de la ferrita es de 70,0 % o menos, si la ferrita gruesa está presente, se pueden propagar grietas mínimas a la ferrita gruesa. Como resultado, el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura puede no ser capaz de lograr una tenacidad a baja temperatura excelente.

Además, un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura, que se supone que se utiliza para aplicaciones de pozos de petróleo, se somete a perforación-laminado y alargamiento-laminado en el proceso de producción. Debido a la perforación-laminado, la tensión de mecanizado en las proximidades de la superficie interior del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura tiende a aumentar. Además, debido al alargamiento-laminado, la tensión de mecanizado en las proximidades de la superficie interior y en las proximidades de la superficie exterior del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura tiende a aumentar. Como resultado, en el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura, la tensión de mecanizado tiende a reducirse en la porción central del espesor de la pared. De esta manera, se considera que probablemente haya ferrita gruesa y austenita gruesa en la porción central del espesor de la pared del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura, que se supone se utilizará en aplicaciones de pozos de petróleo.

Por lo tanto, los presentes inventores observaron la microestructura de la porción central del espesor de la pared del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura, e investigaron y examinaron en detalle la relación entre el estado de distribución de la ferrita y la austenita y la tenacidad a baja temperatura. En primer lugar, los presentes inventores observaron una sección transversal que incluye una dirección del eje del tubo y una dirección del radio del tubo en una porción central del espesor de la pared de un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura que tiene la composición química descrita más arriba, y en la que la relación volumétrica de la ferrita es de 30,0 a 70,0 % y, de esta manera, se observa el estado de distribución de la ferrita y la austenita.

Las Figuras 1 y 2 son diagramas esquemáticos que muestran un ejemplo de una microestructura en una sección transversal que incluye una dirección del eje del tubo y una dirección del radio del tubo en una porción central del espesor de la pared de un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura que tiene la composición química descrita más arriba. La dirección horizontal en el campo de observación de la región 50 de visión de la Figura 1 corresponde a la dirección del eje del tubo, y la dirección vertical en el campo de observación de la región 50 de visión de la Figura 1 corresponde a la dirección del radio del tubo. De manera similar, la dirección horizontal en el campo de observación de la región 50 de visión de la Figura 2 corresponde a la dirección del eje del tubo, y la dirección vertical en el campo de observación de la región 50 de visión de la Figura 2 corresponde a la dirección del radio del tubo. Es preciso observar que, en la presente descripción, la dirección del eje del tubo del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura también se conoce como una "dirección L". Además, la dirección del radio del tubo del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura también se conoce como una "dirección T". En cada una de las Figuras 1 y 2, el campo de observación de la región 50 de visión que se muestra en el diagrama esquemático es de 1,0 mm de largo en la dirección L y 1,0 mm de largo en la dirección T.

En las Figuras 1 y 2, una región 10 blanca es ferrita. Una región 20 sombreada es austenita. La relación volumétrica de la ferrita 10 y la relación volumétrica de la austenita 20 en el campo de observación de la región 50 de visión de la Figura 1 no son tan diferentes de la relación volumétrica de la ferrita 10 y la relación volumétrica de la austenita 20 en el campo de observación de la región 50 de visión de la Figura 2. Sin embargo, el estado de distribución de la ferrita 10 y la austenita 20 en el campo de observación de la región 50 de visión de la Figura 1 es significativamente diferente del estado de distribución de la ferrita 10 y la austenita 20 en el campo de observación de la región 50 de visión de la Figura 2.

Específicamente, en la microestructura que se muestra en la Figura 1, la ferrita 10 y la austenita 20 se extienden, cada una, en direcciones aleatorias y, de esta manera, forman una estructura sin capas. Por otro lado, en la microestructura que se muestra en la Figura 2, tanto la ferrita 10 como la austenita 20 se extienden en la dirección L, y la ferrita 10 y la austenita 20 se laminan en la dirección T. Es decir, la microestructura que se muestra en la Figura 2 es una estructura en capas de la ferrita 10 y la austenita 20.

Como se describe más arriba, en un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura que tiene la composición química descrita más arriba y en la que la relación volumétrica de la ferrita es de 30,0 a 70,0 %, el estado de distribución de la ferrita y la austenita en la microestructura puede ser significativamente diferente, incluso si las relaciones volumétricas de la ferrita y la austenita están en el mismo nivel. Por consiguiente, los presentes inventores han investigado en mayor detalle la relación entre el estado de distribución de la ferrita y la austenita en la microestructura y la tenacidad a baja temperatura.

En primer lugar, los presentes inventores han definido un índice LI de capa como un índice del estado de distribución de la ferrita y la austenita en la microestructura según la siguiente Fórmula (1).

$$\text{(Índice LI de capa)} = (\text{número de intersecciones NT en dirección T}) / (\text{número de intersecciones NL en dirección L}) \quad (1)$$

El índice LI de capa se describirá con referencia a los dibujos. La Figura 3 es un diagrama esquemático para explicar un método de cálculo del índice LI de capa en la presente realización. El campo de observación de la región 50 de visión en la Figura 3 es una región cuadrada cuyo lado que se extiende en la dirección L es de 1,0 mm de largo y cuyo lado que se extiende en la dirección T es de 1,0 mm de largo en una sección transversal que incluye la dirección L y la dirección T en una porción central del espesor de la pared del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura. En la Figura 3, en el campo de observación de la región 50 de visión, se incluyen la ferrita 10 y la austenita 20. Aquí, se define una interfaz entre la ferrita 10 y la austenita 20 como una "interfaz de ferrita". Aquí, dado que la ferrita 10 y la austenita 20 tienen un contraste diferente durante la observación microscópica, las personas con experiencia en la técnica pueden identificarlas fácilmente.

Los segmentos de línea T1 a T4 en la Figura 3 son segmentos de línea que se extienden en la dirección T, dispuestos a intervalos iguales en la dirección L del campo de observación de la región 50 de visión, y que dividen el campo de observación de la región 50 de visión en cinco partes iguales en la dirección L. El número de intersecciones (marcado con "●" en la Figura 3) entre los segmentos de línea T1 a T4 y la interfaz de ferrita en el campo de observación de la región 50 de visión se define como un número de intersecciones NT (piezas). Los segmentos de línea L1 a L4 en la Figura 3 son segmentos de línea que se extienden en la dirección L, dispuestos a intervalos iguales en la dirección T del campo de observación de la región 50 de visión, y que dividen el campo de observación de la región 50 de visión en cinco partes iguales en la dirección T. El número de intersecciones (marcado con "◇" en la Figura 3) entre los segmentos de línea L1 a L4 y la interfaz de ferrita en el campo de observación de la región 50 de visión se define como un número de intersecciones NL (piezas).

El índice LI de capa (= NT/NL) se puede determinar utilizando el número determinado de intersecciones NT (piezas) en la dirección T, el número de intersecciones NL (piezas) en la dirección L, y la Fórmula (1). Posteriormente, los presentes inventores han realizado un examen y una investigación detallada sobre la relación entre el índice LI de capa y la tenacidad a baja temperatura en un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura que tiene la composición química descrita más arriba y en el que la relación volumétrica de la ferrita es de 30,0 a 70,0 %.

La Tabla 1 muestra un extracto de la Tabla 3, que incluye el acero de los Números de Prueba 1, 16, 17 y 19, la relación volumétrica de la ferrita, el número de intersecciones NT en la dirección T, el número de intersecciones NL en la dirección L, el índice LI de capa, y la energía E absorbida y la temperatura vTE de transición de energía, que son indicadores de tenacidad a baja temperatura, en ejemplos que se describirán más adelante.

Tabla 1

Número de Prueba	Acero	Relación volumétrica de la ferrita (%)	NT (piezas)	NL (piezas)	LI	E (J)	vTE (°C)
1	A	52,0	43,8	12,9	3,4	254	-40,8
16	A	54,3	46,3	21,7	2,1	140	-19,6
17	A	50,2	40,5	21,1	1,9	98	-13,4
19	A	57,5	33,5	19,1	1,8	94	-8,1

Con referencia a la Tabla 1, en todos los Números de Prueba 1, 16, 17 y 19, se usó el mismo acero A. Es decir, las composiciones químicas de los Números de Prueba 1, 16, 17 y 19 fueron las mismas. Además, con referencia a la Tabla 1, las relaciones volumétricas de la ferrita de los Números de Prueba 1, 16, 17 y 19 fueron todas de 30,0 a 70,0 %, y fueron aproximadamente iguales. Por otro lado, con referencia a la Tabla 1, el Número de Prueba 19 tuvo un número menor de intersecciones NT en la dirección T que los Números de Prueba 1, 16 y 17. Es decir, se considera que se produjo una gran cantidad de ferrita gruesa. Como resultado, la energía E absorbida fue inferior a 120 J, y la temperatura vTE de transición de energía fue superior a -18,0 °C. Es decir, el Número de Prueba 19, que tuvo un número menor de intersecciones en la dirección T, no mostró una tenacidad a baja temperatura excelente.

Además, con referencia a la Tabla 1, los números de las intersecciones NT en la dirección T de los Números de Prueba 1, 16 y 17 fueron todos de 40,0 o más, y fueron aproximadamente los mismos. Es decir, en cada uno de los Números de Prueba 1, 16 y 17, se considera que la ferrita y la austenita formaron una microestructura adecuada. Por otro lado, con referencia a la Tabla 1, el Número de Prueba 17 tuvo un índice LI de capa menor que el de los Números de Prueba 1 y 16. Es decir, en el Número de Prueba 17, se considera que en la microestructura se formó la estructura sin capas representada en la Figura 1. Como resultado, la energía E absorbida fue inferior a 120 J, y la temperatura vTE de transición de energía fue superior a -18,0 °C. Es decir, el Número de Prueba 17, que tuvo un índice LI de capa menor, no mostró una tenacidad a baja temperatura excelente.

En resumen, los presentes inventores han descubierto que en un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura que tiene la composición química descrita más arriba y en el que la relación volumétrica de la ferrita es de 30,0 a 70,0 %, la tenacidad a baja temperatura puede mejorarse notablemente no solo refinando la ferrita, sino también formando una estructura en capas representada en la Figura 2.

Por lo tanto, el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización tiene la composición química descrita más arriba, y una microestructura que incluye un 30,0 a 70,0 % de ferrita en relación volumétrica y austenita, y en el que el número de intersecciones NT en la dirección T es de 40,0 o más, y, además, el índice LI de capa es de 2,0 o más en la microestructura en la porción central del espesor de la pared del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura. Como resultado, el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización tiene una tenacidad a baja temperatura excelente.

En las reivindicaciones anexas se define el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización que se ha completado según las conclusiones de más arriba.

De aquí en adelante, se describirá en detalle el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización. Es preciso observar que "%" con respecto a un elemento significa "% en masa" a menos que se especifique lo contrario.

Composición química

La composición química de un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización contiene los siguientes elementos.

C: 0,030 % o menos

El carbono (C) es imprescindible. Es decir, el límite inferior de contenido de C es de más del 0 %. El C forma carburos de Cr en los límites de grano cristalino y aumenta la sensibilidad a la corrosión en los límites de grano. Como resultado, la resistencia a la corrosión del material de acero se deteriora incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente realización. Por lo tanto, el contenido de C es de 0,030 % o menos. Un límite superior de contenido de C es preferiblemente de 0,028 % y, más preferiblemente, de 0,025 %. El contenido de C es, preferiblemente, lo más bajo posible. Sin embargo, una reducción extrema del contenido de C aumentará significativamente el coste de producción. Por lo tanto, cuando se considera la fabricación industrial, un límite inferior de contenido de C es preferiblemente de 0,001 % y, más preferiblemente, de 0,005 %.

Si: 0,20 a 1,00 %

El silicio (Si) desoxida el acero. Si el contenido de Si es demasiado bajo, no se puede obtener de manera suficiente el efecto descrito más arriba incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente realización. Por otro lado, si el contenido de Si es demasiado alto, se deteriorarán la tenacidad a baja temperatura y la trabajabilidad en caliente del material de acero incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente realización. Por lo tanto, el contenido de Si es de 0,20 a 1,00 %. Un límite inferior de contenido de Si es preferiblemente de 0,25 % y, más preferiblemente, de 0,30%. Un límite superior de contenido de Si es preferiblemente de 0,85 % y, más preferiblemente, de 0,75 %.

Mn: 0,50 a 7,00 %

El manganeso (Mn) desoxida el acero y desulfura el acero. El Mn mejora aún más la trabajabilidad en caliente del material de acero. Si el contenido de Mn es demasiado bajo, no se puede obtener de manera suficiente el efecto descrito más arriba incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente realización. Por otro lado, si el contenido de Mn es demasiado alto, el Mn se segrega en los límites de grano junto con impurezas como, por ejemplo, P y S. En este caso, incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente realización, se deteriorará la resistencia a la corrosión del material de acero en un entorno de alta temperatura. Por lo tanto, el contenido de Mn es de 0,50 a 7,00 %. Un límite inferior de contenido de Mn es preferiblemente de 0,75 % y, más preferiblemente, de 1,00 %. Un límite superior de contenido de Mn es preferiblemente de 6,50 % y, más preferiblemente, de 6,20 %.

P: 0,040 % o menos

El fósforo (P) es una impureza. Es decir, el límite inferior de contenido de P es de más del 0 %. El P se segrega en los límites de grano y deteriora la tenacidad a baja temperatura del material de acero. Por lo tanto, el contenido de P es de 0,040% o menos. Un límite superior de contenido de P es preferiblemente de 0,035 % y, más preferiblemente, de 0,030 %. El contenido de P es, preferiblemente, lo más bajo posible. Sin embargo, una reducción extrema del contenido de P aumentará significativamente el coste de producción. Por lo tanto, cuando se considera la fabricación industrial, un límite inferior de contenido de P es preferiblemente de 0,001 % y, más preferiblemente, de 0,003 %.

S: 0,0100 % o menos

El azufre (S) es una impureza. Es decir, el límite inferior de contenido de S es de más del 0 %. El S se segrega en los límites de grano y deteriora la tenacidad a baja temperatura y la trabajabilidad en caliente del material de acero. Por lo tanto, el contenido de S es de 0,0100 % o menos. Un límite superior de contenido de S es preferiblemente de 0,0085 % y, más preferiblemente, de 0,0065 %. El contenido de S es, preferiblemente, lo más bajo posible. Sin embargo, una reducción extrema del contenido de S aumentará significativamente el coste de producción. Por lo tanto, cuando se considera la fabricación industrial, un límite inferior de contenido de S es preferiblemente de 0,0001 % y, más preferiblemente, de 0,0003 %.

Cu: 1,80 a 4,00 %

El cobre (Cu) aumenta la resistencia del material de acero mediante el endurecimiento por precipitación. El Cu mejora aún más la resistencia a la corrosión del material de acero en un entorno de alta temperatura. Si el contenido de Cu es demasiado bajo, no se puede obtener de manera suficiente el efecto descrito más arriba incluso si el contenido de

otros elementos está dentro del rango de la presente realización. Por otro lado, si el contenido de Cu es demasiado alto, se deteriora la trabajabilidad en caliente del material de acero incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente realización. Por lo tanto, el contenido de Cu es de 1,80 a 4,00 %. Un límite inferior de contenido de Cu es preferiblemente de 1,90 %, más preferiblemente, de 2,00 %, aún más preferiblemente de 2,20 %, y aún más preferiblemente de 2,50 %. Un límite superior de contenido de Cu es preferiblemente de 3,90 % y, más preferiblemente, de 3,75 % y, aún más preferiblemente de 3,50 %.

Cr: 20,00 a 28,00 %

El cromo (Cr) mejora la resistencia a la corrosión del material de acero en un entorno de alta temperatura. Específicamente, el Cr forma una película de pasivación como un óxido en la superficie del material de acero. Como resultado, se mejora la resistencia a la corrosión del material de acero. El Cr es un elemento que aumenta aún más la relación volumétrica de la ferrita en un material de acero. Al aumentar la relación volumétrica de la ferrita, se estabiliza la resistencia a la corrosión del material de acero. Si el contenido de Cr es demasiado bajo, no se pueden obtener de manera suficiente los efectos descritos más arriba incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente realización. Por otro lado, si el contenido de Cr es demasiado alto, se deteriora la trabajabilidad en caliente del material de acero incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente realización. Por lo tanto, el contenido de Cr es de 20,00 a 28,00 %. Un límite inferior de contenido de Cr es preferiblemente de 20,50 %, más preferiblemente, de 21,00 % y, aún más preferiblemente, de 21,50 %. Un límite superior de contenido de Cr es preferiblemente de 27,50 %, más preferiblemente, de 27,00 % y, aún más preferiblemente, de 26,50 %.

Ni: 4,00 a 9,00 %

El níquel (Ni) es un elemento que estabiliza la austenita en un material de acero. Es decir, el Ni es un elemento necesario para obtener una microestructura dúplex estable de ferrita y austenita. El Ni también mejora la resistencia a la corrosión del material de acero en un entorno de alta temperatura. Si el contenido de Ni es demasiado bajo, no se puede obtener de manera suficiente el efecto descrito más arriba incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente realización. Por otro lado, si el contenido de Ni es demasiado alto, la relación volumétrica de la austenita se vuelve demasiado alta y la resistencia del material de acero disminuye incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente realización. Por lo tanto, el contenido de Ni es de 4,00 a 9,00 %. Un límite inferior de contenido de Ni es preferiblemente de 4,20 %, más preferiblemente, de 4,30 %, aún más preferiblemente, de 4,40 %, y aún más preferiblemente, de 4,50 %. Un límite superior de contenido de Ni es preferiblemente de 8,50 %, más preferiblemente, de 8,00 %, aún más preferiblemente, de 7,50 %, aún más preferiblemente, de 7,00 %, y aún más preferiblemente de 6,75 %.

Mo: 0,50 a 2,00 %

El molibdeno (Mo) mejora la resistencia a la corrosión del material de acero en un entorno de alta temperatura. Si el contenido de Mo es demasiado bajo, no se puede obtener de manera suficiente el efecto descrito más arriba incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente realización. Por otro lado, si el contenido de Mo es demasiado alto, se deteriora la trabajabilidad en caliente del material de acero incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente realización. Por lo tanto, el contenido de Mo es de 0,50 a 2,00 %. Un límite inferior de contenido de Mo es preferiblemente de 0,60 %, más preferiblemente, de 0,70 % y, aún más preferiblemente de 0,80 %. Un límite superior de contenido de Mo es preferiblemente de 1,85 % y, más preferiblemente, de 1,50 %.

Al: 0,100 % o menos

El aluminio (Al) es imprescindible. Es decir, un límite inferior de contenido de Al es de más del 0 %. El Al desoxida el acero. Por otro lado, si el contenido de Al es demasiado alto, se forman inclusiones gruesas a base de óxido y la tenacidad a baja temperatura del material de acero se deteriora incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente realización. Por lo tanto, el contenido de Al es de 0,100 % o menos. Un límite inferior de contenido de Al es preferiblemente de 0,001 %, más preferiblemente, de 0,005 % y, aún más preferiblemente, de 0,010 %. Un límite superior de contenido de Al es preferiblemente de 0,080 % y, más preferiblemente, de 0,050 %. Es preciso observar que el contenido de Al al que se hace referencia en la presente descripción significa el contenido de "aluminio soluble en ácido", a saber, Al sol.

N: 0,150 a 0,350 %.

El nitrógeno (N) es un elemento que estabiliza la austenita en el material de acero. Es decir, el N es un elemento necesario para obtener una microestructura dúplex estable de ferrita y austenita. El N mejora aún más la resistencia a la corrosión del material de acero. Si el contenido de N es demasiado bajo, no se puede obtener de manera suficiente el efecto descrito más arriba incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente realización. Por otro lado, si el contenido de N es demasiado alto, se deteriorarán la tenacidad a baja temperatura y la trabajabilidad en caliente del material de acero incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente realización. Por lo tanto, el contenido de N es de 0,150 a 0,350 %. Un límite inferior de contenido de N es preferiblemente de 0,170 %, más preferiblemente, de 0,180 % y, aún más preferiblemente, de 0,200 %. Un límite superior de contenido de N es preferiblemente de 0,340 % y, más preferiblemente, de 0,330 %.

ES 2 976 648 T3

El resto de la composición química del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización es Fe e impurezas. Aquí, las impurezas en una composición química son aquellas que se mezclan a partir de minerales y desechos como la materia prima o del entorno de producción cuando se produce de manera industrial el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura, y que se permiten dentro de un rango que no afecta negativamente el tubo de

5

Elementos opcionales

La composición química del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura descrito más arriba puede además contener uno o más tipos de elementos seleccionados del grupo que consiste en V, Nb, Ta, Ti, Zr, y Hf en lugar de parte de Fe. Todos estos elementos son elementos opcionales y aumentan la resistencia del material de acero.

10 V: 0 a 1,50 %

El vanadio (V) es un elemento opcional y no es imprescindible. Es decir, el contenido de V puede ser de 0 %. Cuando se incluye, el V forma un carbonitruro y aumenta la resistencia del material de acero. Incluso si se incluye una pequeña cantidad de V, se puede, en cierta medida, obtener el efecto descrito más arriba. Sin embargo, si el contenido de V es demasiado alto, la resistencia del material de acero se vuelve demasiado alta y la tenacidad a baja temperatura del material de acero se deteriora incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente realización. Por lo tanto, el contenido de V es de 0 a 1,50 %. Un límite inferior de contenido de V es preferiblemente de más de 0 %, más preferiblemente, de 0,01 %, aún más preferiblemente de 0,03 %, y aún más preferiblemente de 0,05 %. Un límite superior de contenido de V es preferiblemente de 1,20 % y, más preferiblemente, de 1,00 %.

15

Nb: 0 a 0,100 %

El niobio (Nb) es un elemento opcional y no es imprescindible. Es decir, el contenido de Nb puede ser de 0 %. Cuando se incluye, el Nb forma un carbonitruro y aumenta la resistencia del material de acero. Incluso si se incluye una pequeña cantidad de Nb, se puede, en cierta medida, obtener el efecto descrito más arriba. Sin embargo, si el contenido de Nb es demasiado alto, la resistencia del material de acero se vuelve demasiado alta y la tenacidad a baja temperatura del material de acero se deteriora incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente realización. Por lo tanto, el contenido de Nb es de 0 a 0,100 %. Un límite inferior de contenido de Nb es preferiblemente de más de 0 %, más preferiblemente, de 0,001 %, aún más preferiblemente, de 0,002 %, y aún más preferiblemente, de 0,003 %. Un límite superior de contenido de Nb es preferiblemente de 0,080 % y, más preferiblemente, de 0,070 %.

20

25

Ta: 0 a 0,100 %

El tántalo (Ta) es un elemento opcional y no es imprescindible. Es decir, el contenido de Ta puede ser de 0 %. Cuando se incluye, el Ta forma un carbonitruro y aumenta la resistencia del material de acero. Incluso si se incluye una pequeña cantidad de Ta, se puede, en cierta medida, obtener el efecto descrito más arriba. Sin embargo, si el contenido de Ta es demasiado alto, la resistencia del material de acero se vuelve demasiado alta y la tenacidad a baja temperatura del material de acero se deteriora incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente realización. Por lo tanto, el contenido de Ta es de 0 a 0,100 %. Un límite inferior de contenido de Ta es preferiblemente de más de 0 %, más preferiblemente, de 0,001 %, aún más preferiblemente de 0,002 %, y aún más preferiblemente de 0,003 %. Un límite superior de contenido de Ta es preferiblemente de 0,080 % y, más preferiblemente, de 0,070 %.

30

35

Ti: 0 a 0,100 %

El titanio (Ti) es un elemento opcional y no es imprescindible. Es decir, el contenido de Ti puede ser de 0 %. Cuando se incluye, el Ti forma un carbonitruro y aumenta la resistencia del material de acero. Incluso si se incluye una pequeña cantidad de Ti, se puede, en cierta medida, obtener el efecto descrito más arriba. Sin embargo, si el contenido de Ti es demasiado alto, la resistencia del material de acero se vuelve demasiado alta y la tenacidad a baja temperatura del material de acero se deteriora incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente realización. Por lo tanto, el contenido de Ti es de 0 a 0,100 %. Un límite inferior de contenido de Ti es preferiblemente de más de 0 %, más preferiblemente, de 0,001 %, aún más preferiblemente, de 0,002 %, y aún más preferiblemente, de 0,003 %. Un límite superior de contenido de Ti es preferiblemente de 0,080 % y, más preferiblemente, de 0,070 %.

40

45

Zr: 0 a 0,100 %

El zirconio (Zr) es un elemento opcional y no es imprescindible. Es decir, el contenido de Zr puede ser de 0 %. Cuando se incluye, el Zr forma un carbonitruro y aumenta la resistencia del material de acero. Incluso si se incluye una pequeña cantidad de Zr, se puede, en cierta medida, obtener el efecto descrito más arriba. Sin embargo, si el contenido de Zr es demasiado alto, la resistencia del material de acero se vuelve demasiado alta y la tenacidad a baja temperatura del material de acero se deteriora incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente realización. Por lo tanto, el contenido de Zr es de 0 a 0,100 %. Un límite inferior de contenido de Zr es preferiblemente de más de 0 %, más preferiblemente, de 0,001 %, aún más preferiblemente, de 0,002 %, y aún más preferiblemente, de 0,003 %. Un límite superior de contenido de Zr es preferiblemente de 0,080 % y, más preferiblemente, de 0,070 %.

50

55

Hf: 0 a 0,100 %

5 El hafnio (Hf) es un elemento opcional y no es imprescindible. Es decir, el contenido de Hf puede ser de 0 %. Cuando se incluye, el Hf forma un carbonitruro y aumenta la resistencia del material de acero. Incluso si se incluye una pequeña cantidad de Hf, se puede, en cierta medida, obtener el efecto descrito más arriba. Sin embargo, si el contenido de Hf es demasiado alto, la resistencia del material de acero se vuelve demasiado alta y la tenacidad a baja temperatura del material de acero se deteriora incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente realización. Por lo tanto, el contenido de Hf es de 0 a 0,100 %. Un límite inferior de contenido de Hf es preferiblemente de más de 0 %, más preferiblemente, de 0,001 %, aún más preferiblemente, de 0,002 %, y aún más preferiblemente, de 0,003 %. Un límite superior de contenido de Hf es preferiblemente de 0,080 % y, más preferiblemente, de 0,070 %.

10 La composición química del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura descrito más arriba puede además contener uno o más tipos de elementos seleccionados del grupo que consiste en Ca, Mg, B, y metal de tierras raras en lugar de parte de Fe. Todos estos elementos son elementos opcionales y mejoran la trabajabilidad en caliente del material de acero.

Ca: 0 a 0,0200 %

15 El calcio (Ca) es un elemento opcional y no es imprescindible. Es decir, el contenido de Ca puede ser de 0 %. Cuando se incluye, el Ca inmoviliza el S en el material de acero como sulfuro para hacerlo inofensivo, y mejora así la trabajabilidad en caliente del material de acero. Incluso si se incluye una pequeña cantidad de Ca, se puede, en cierta medida, obtener el efecto descrito más arriba. Sin embargo, si el contenido de Ca es demasiado alto, incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente realización, el óxido en el material de acero se vuelve grueso y la tenacidad a baja temperatura del material de acero se deteriora. Por lo tanto, el contenido de Ca es de 0 a 0,0200 %. Un límite inferior de contenido de Ca es preferiblemente de más de 0 %, más preferiblemente, de 0,0005 % y, aún más preferiblemente, de 0,0010 %. Un límite superior de contenido de Ca es preferiblemente de 0,0180 % y, más preferiblemente, de 0,0150 %.

Mg: 0 a 0,0200 %

25 El magnesio (Mg) es un elemento opcional y no es imprescindible. Es decir, el contenido de Mg puede ser de 0 %. Cuando se incluye, el Mg inmoviliza el S en el material de acero como sulfuro para hacerlo inofensivo, y mejora así la trabajabilidad en caliente del material de acero. Incluso si se incluye una pequeña cantidad de Mg, se puede, en cierta medida, obtener el efecto descrito más arriba. Sin embargo, si el contenido de Mg es demasiado alto, incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente realización, el óxido en el material de acero se vuelve grueso y la tenacidad a baja temperatura del material de acero se deteriora. Por lo tanto, el contenido de Mg es de 0 a 0,0200 %. Un límite inferior de contenido de Mg es preferiblemente de más de 0 %, más preferiblemente, de 0,0005 %, aún más preferiblemente, de 0,0010 %, aún más preferiblemente, de 0,0020 %, y aún más preferiblemente, de 0,0030 %. Un límite superior de contenido de Mg es preferiblemente de 0,0180 % y, más preferiblemente, de 0,0150 %.

35 B: 0 a 0,0200 %

40 El boro (B) es un elemento opcional y no es imprescindible. Es decir, el contenido de B puede ser de 0 %. Cuando se incluye, el B suprime la segregación de S en los límites de grano en el material de acero y mejora la trabajabilidad en caliente del material de acero. Incluso si se incluye una pequeña cantidad de B, se puede, en cierta medida, obtener el efecto descrito más arriba. Sin embargo, si el contenido de B es demasiado alto, se produce nitruro de boro (BN) y, de esta manera, se deteriora la tenacidad a baja temperatura del material de acero incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente realización. Por lo tanto, el contenido de B es de 0 a 0,0200 %. Un límite inferior de contenido de B es preferiblemente de más de 0 %, más preferiblemente, de 0,0005 %, aún más preferiblemente, de 0,0010 %, aún más preferiblemente, de 0,0020 %, y aún más preferiblemente, de 0,0030 %. Un límite superior de contenido de B es preferiblemente de 0,0180 % y, más preferiblemente, de 0,0150 %.

45 Metal de tierras raras: 0 a 0,200 %

50 El metal de tierras raras (REM, por sus siglas en inglés) es un elemento opcional y no es imprescindible. Es decir, el contenido de REM puede ser de 0 %. Cuando se incluye, el REM inmoviliza el S en el material de acero como sulfuro para hacerlo inofensivo y, de esta manera, mejora la trabajabilidad en caliente del material de acero. Incluso si se incluye una pequeña cantidad de REM, se puede, en cierta medida, obtener el efecto descrito más arriba. Sin embargo, si el contenido de REM es demasiado alto, el óxido en el material de acero se vuelve grueso y, de esta manera, se deteriora la tenacidad a baja temperatura del material de acero incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente realización. Por lo tanto, el contenido de REM es de 0 a 0,200 %. Un límite inferior de contenido de REM es preferiblemente de más de 0 %, más preferiblemente, de 0,005 %, aún más preferiblemente, de 0,010 %, aún más preferiblemente, de 0,020 %, y aún más preferiblemente, de 0,030 %. Un límite superior de contenido de REM es preferiblemente de 0,180 % y, más preferiblemente, de 0,150 %.

55 Es preciso observar que, en esta descripción, REM significa escandio (Sc) con número atómico 21, itrio (Y) con número atómico 39, y uno o más tipos de elementos seleccionados del grupo que consiste en lantano (La) con número atómico

57 a lutecio (Lu) con número atómico 71, los cuales se denominan "lantánidos". Además, el contenido de REM en la presente descripción significa el contenido total de estos elementos.

Microestructura

5 La microestructura de un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización comprende ferrita y austenita. Según su uso en la presente memoria, "comprende ferrita y austenita" significa que la cantidad de cualquier fase diferente de la ferrita y austenita es insignificamente pequeña. Por ejemplo, en la composición química del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización, las relaciones volumétricas de precipitados e inclusiones son insignificamente pequeñas en comparación con las relaciones volumétricas de la ferrita y la austenita. Es decir, la microestructura del dúplex inoxidable según la presente realización puede contener
10 cantidades diminutas de precipitados, inclusiones, etc., además de ferrita y austenita.

Además, en la microestructura del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización, la relación volumétrica de la ferrita y la austenita es de 30,0 a 70,0 %. Si la relación volumétrica de la ferrita es demasiado baja, la resistencia y/o resistencia a la corrosión del material de acero pueden deteriorarse. Por otro lado, si la relación volumétrica de la ferrita es demasiado alta, la tenacidad a baja temperatura del material de acero se deteriora. Además,
15 si la relación volumétrica de la ferrita es demasiado alta, la trabajabilidad en caliente del material de acero puede deteriorarse. Por lo tanto, en la microestructura del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización, la relación volumétrica de la ferrita es de 30,0 a 70,0 %. Un límite inferior de la relación volumétrica de la ferrita es preferiblemente de 31,0 % y, más preferiblemente, de 32,0 %. Un límite superior de la relación volumétrica de la ferrita es preferiblemente de 68,0 % y, más preferiblemente, de 65,0 %.

20 En la presente realización, la relación volumétrica de la ferrita en el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura se puede determinar mediante el siguiente método. Se prepara para la observación una muestra de ensayo de la microestructura de la porción central del espesor de la pared del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización. La observación de la microestructura se lleva a cabo en la superficie de observación que incluye una dirección del eje del tubo (dirección L) y una dirección del radio del tubo (dirección T) en la porción central
25 del espesor de la pared del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura.

El tamaño de la muestra de ensayo para la observación de la microestructura no está particularmente limitado, y es suficiente si se puede obtener una superficie de observación de 5 mm (dirección L) x 5 mm (dirección T). La muestra de ensayo se prepara de tal manera que una porción central de la superficie de observación en la dirección T coincide sustancialmente con la porción central del espesor de la pared del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura. La
30 superficie de observación de la muestra de ensayo preparada es con pulido de espejo. La superficie de observación con pulido de espejo se graba electrolíticamente en una solución de grabado de hidróxido de potasio al 7 % para revelar la microestructura. La superficie de observación en la que se ha revelado la microestructura se observa en 10 campos de visión utilizando un microscopio óptico. El área del campo de observación de la región de visión no es particularmente limitada, pero es, por ejemplo, de 1,00 mm² (con un aumento de 100 veces).

35 En cada campo de visión, la ferrita y la austenita se identifican mediante contraste. Se determinan las relaciones de la superficie de la ferrita y la austenita identificadas. El método para obtener las relaciones de la superficie de la ferrita y la austenita no es particularmente limitado, y se puede utilizar un método conocido. Por ejemplo, se pueden determinar mediante análisis de imágenes. En la presente realización, se define una media aritmética de las relaciones de superficie de la ferrita determinadas en todos los campos de visión como la relación volumétrica (%) de la ferrita.

40 Según se describe más arriba, el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización puede contener en la microestructura precipitados, inclusiones, etc., además de la ferrita y la austenita. Sin embargo, como se describe más arriba, las relaciones volumétricas de precipitados, inclusiones, etc., son insignificamente pequeñas en comparación con las relaciones volumétricas de la ferrita y la austenita. Por lo tanto, en la presente descripción, cuando se calcula una relación volumétrica total de la ferrita y la austenita mediante el método descrito
45 más arriba, se ignorarán las relaciones volumétricas de precipitados, inclusiones, etc.

Estructura en capas

La microestructura del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura de la presente realización tiene además una estructura en capas de ferrita y austenita, como se muestra en la Figura 2. Se puede observar la estructura en capas en la microestructura del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización mediante el
50 siguiente método.

De manera similar al método para determinar la relación volumétrica de la ferrita descrito más arriba, se prepara una muestra de ensayo para la observación de la microestructura, que tiene una superficie de observación que incluye una dirección del eje del tubo (dirección L) y una dirección del radio del tubo (dirección T), de la porción central del espesor de la pared del inoxidable dúplex. Como se describe más arriba, la muestra de ensayo se prepara de tal manera que
55 la muestra de ensayo tiene una superficie de observación de 5 mm (dirección L) x 5 mm (dirección T) y que una posición central de la superficie de observación en la dirección T coincide sustancialmente con la porción central del espesor de la pared del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura. La superficie de observación de la muestra de ensayo preparada es con pulido de espejo. La superficie de observación con pulido de espejo se graba

electrolíticamente en una solución de grabado de hidróxido de potasio al 7 % para revelar la microestructura. La superficie de observación en la que se revela la microestructura se observa en 10 campos de visión utilizando un microscopio óptico. El área del campo de observación de la región de visión es de 1,0 mm x 1,0 mm = 1,00 mm² (un aumento de 100 veces).

5 La Figura 3 es un diagrama esquemático para ilustrar un método para calcular un índice (LI) de capa en la presente realización. La Figura 3 muestra un diagrama esquemático de la microestructura de una sección transversal que se encuentra en una porción central del espesor de la pared del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura de la presente realización, y que incluye la dirección L y la dirección T. Con referencia a la Figura 3, en la sección transversal que incluye la dirección L y la dirección T en la porción central del espesor de pared del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura, una región cuadrada cuyo lado que se extiende en la dirección L es de 1,0 mm de largo y cuyo lado que se extiende en la dirección T es de 1,0 mm de largo es un campo de observación de la región 50 de visión. En la Figura 3, el campo de observación de la región 50 de visión incluye la ferrita 10 (una región blanca en la figura) y la austenita 20 (una región sombreada en la figura). En un campo de observación real de la región 50 de visión que se ha grabado como se describe más arriba, las personas con experiencia en la técnica podrán diferenciar mediante contraste la ferrita y la austenita.

En el campo de observación de la región 50 de visión, como se muestra en la Figura 3, los segmentos de línea que se extienden en la dirección T, dispuestos a intervalos iguales en la dirección L del campo de observación de la región 50 de visión, y que dividen el campo de observación de la región 50 de visión en cinco partes iguales en la dirección L (dirección del eje del tubo) se definen como segmentos de línea T1 a T4. Entonces, el número de intersecciones (marcado con "●" en la Figura 3) entre los segmentos de línea T1 a T4 y la interfaz de ferrita en el campo de observación de la región 50 de visión se define como el número de intersecciones NT (piezas).

Además, los segmentos de línea que se extienden en la dirección L, dispuestos a intervalos iguales en la dirección T del campo de observación de la región 50 de visión, y que dividen el campo de observación de la región 50 de visión en cinco partes iguales en la dirección T (dirección del radio del tubo) se definen como segmentos de línea L1 a L4. Entonces, el número de intersecciones (marcado con "◊" en la Figura 3) entre los segmentos de línea L1 a L4 y la interfaz de ferrita en el campo de observación de la región 50 de visión se define como el número de intersecciones NL (piezas).

La microestructura del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización tiene una estructura en capas que cumple con que el número de intersecciones NT es de 40,0 o más y que el índice LI de capa definido por la Fórmula (1) es de 2,0 o más en el campo de observación de la región 50 de visión descrito más arriba.

$$\text{Índice (LI) de capa} = \text{NT/NL (1)}$$

El índice LI de capa significa un grado de desarrollo de la estructura en capas. En el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura que tiene la composición química descrita más arriba y en el que la relación volumétrica de la ferrita es de 30,0 a 70,0 %, cuando el índice LI de capa es de 2,0 o más, se ha obtenido una estructura en capas completamente desarrollada. En este caso, el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura exhibe una tenacidad a baja temperatura excelente. Más específicamente, por ejemplo, cuando el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura de la presente realización se utiliza en un pozo de petróleo, es probable que las grietas se propaguen en la dirección del radio del tubo. Cuando el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura de la presente realización tiene una estructura en capas en la que el número de intersecciones NT es de 40,0 o más, y el índice LI de capa es de 2,0 o más en la porción central del espesor de la pared, incluso si se genera una grieta fina y la grieta se propaga en la ferrita en la dirección del radio del tubo, la austenita detiene la propagación de la grieta cuando la grieta alcanza la interfaz entre la ferrita y la austenita. Por lo tanto, el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización tiene una tenacidad a baja temperatura excelente.

Un límite inferior del número de intersecciones NT en la dirección T es preferiblemente de 45,0, más preferiblemente, de 50,0, y aún más preferiblemente de 60,0. Un límite superior del número de intersecciones NT no está particularmente limitado pero es, por ejemplo, de 150,0. Un límite inferior del índice LI de capa es preferiblemente de 2,1, más preferiblemente de 2,2, aún más preferiblemente de 2,4, aún más preferiblemente de 2,5, y aún más preferiblemente de 2,7. Un límite superior del índice de capa no está particularmente limitado pero es, por ejemplo, de 10,0.

En la presente descripción, el número de intersecciones NT del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura de la presente realización significa un valor medio del número de intersecciones NT obtenido en cada una de los 10 campos de observación arbitrarios de regiones de visión en la superficie de observación de la muestra de ensayo tomada mediante el método descrito más arriba. Además, el índice LI de capa del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura de la presente realización significa un valor medio del índice LI de capa obtenido en cada uno de los 10 campos de observación arbitrarios de regiones de visión en la superficie de observación de la muestra de ensayo tomada mediante el método descrito más arriba.

Límite elástico

5 El límite elástico del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización no está particularmente limitado. Sin embargo, si el límite elástico se convierte en superior a 655 MPa, la tenacidad a baja temperatura del material de acero puede deteriorarse. Por lo tanto, el límite elástico del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización es, preferiblemente, de 655 MPa o menos. El límite inferior del límite elástico no está particularmente limitado pero es, por ejemplo, de 448 MPa.

10 En resumen, en el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización, que tiene la composición química descrita más arriba, y en el que la relación volumétrica de la ferrita es de 30,0 a 70,0 %, el número de intersecciones NT en la dirección T es de 40,0 o más, y el índice LI de capa es de 2,0 o más, el límite elástico es, por ejemplo, de 448 a 655 MPa (65 a 95 ksi). Un límite inferior del límite elástico es preferiblemente de 450 MPa y, más preferiblemente, de 460 MPa. Un límite superior del límite elástico es más preferiblemente de 650 MPa y, aún más preferiblemente, de 640 MPa.

15 Se puede determinar el límite elástico del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización mediante el siguiente método. Específicamente, se lleva a cabo una prueba de tracción mediante un método conforme con ASTM E8/E8M (2013). Se prepara una muestra de ensayo de barra redonda de la porción central del espesor de la pared del tubo de acero inoxidable sin soldadura según la presente realización. El tamaño de la muestra de ensayo de barra redonda es, por ejemplo, como se indica a continuación: un diámetro de porción paralela de 8,9 mm y una longitud de porción paralela de 35,6 mm. Es preciso observar que la dirección axial de la muestra de ensayo de barra redonda es paralela a la dirección del eje del tubo del tubo de acero sin soldadura. Se lleva a cabo una prueba de tracción en la atmósfera a temperatura ambiente (25 °C) utilizando la muestra de ensayo de barra redonda. El 0,2 % de desviación del límite de elasticidad obtenido mediante la prueba de tracción llevada a cabo en las condiciones de más arriba se define como límite elástico (MPa). Además, la elasticidad durante un alargamiento uniforme obtenido en la prueba de tracción se define como resistencia a la tracción (MPa).

Tenacidad a baja temperatura

25 El tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización tiene una tenacidad a baja temperatura excelente por tener la composición química descrita más arriba y la microestructura descrita más arriba. En la presente realización, una tenacidad a baja temperatura excelente se define de la siguiente manera.

30 Específicamente, se lleva a cabo una prueba de impacto Charpy conforme a la norma ASTM E23 (2018) en el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización para evaluar la tenacidad a baja temperatura. Primero, se prepara una muestra de ensayo con muesca en V a partir de la porción central del espesor de la pared del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización. Específicamente, se prepara la muestra de ensayo con muesca en V conforme a API 5CRA (2010). Se lleva a cabo una prueba de impacto Charpy conforme a la ASTM E23 (2018) en una muestra de ensayo con muesca en V preparada conforme a API 5CRA (2010) para determinar la energía E absorbida (J) a -10 °C y la temperatura vTE de transición de energía (°C). En la presente realización, cuando la energía E absorbida a -10 °C es de 120 J o más y la temperatura vTE de transición de energía es de -18,0 °C o menos, se determina que la muestra de ensayo tiene una tenacidad a baja temperatura excelente. En la presente realización, un límite inferior de la energía E absorbida a -10 °C es preferiblemente de 125 J, y más preferiblemente de 130 J. En la presente realización, un límite superior de la temperatura vTE de transición de energía es más preferiblemente de -18,5 °C, y más preferiblemente de -19,0 °C.

40 Método de producción

Se describirá un ejemplo de un método para producir un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización, que tiene la configuración descrita más arriba. Es preciso observar que el método para producir un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización no se limita al método de producción descrito más abajo. Un ejemplo del método para producir un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización incluye una etapa de preparación del material de partida, una etapa de trabajo en caliente y una etapa de tratamiento térmico de solución. A continuación, se describirá en detalle cada etapa de producción.

Etapa de preparación del material de partida

50 En la etapa de preparación del material de partida, se prepara un material de partida que tiene la composición química descrita más arriba. El material de partida se puede preparar mediante producción propia o se puede preparar comprándolo a terceros. Es decir, el método para preparar el material de partida no está particularmente limitado. Es preciso observar que es preferible que el material de partida sea una palanquilla que tiene una sección transversal circular (es decir, una palanquilla redonda) para poder llevar a cabo la perforación-laminado descritos más adelante. Cuando el material de partida es una palanquilla redonda, el tamaño de la palanquilla redonda no está particularmente limitado.

55 Cuando se produce el material de partida, la producción se lleva a cabo, por ejemplo, mediante el siguiente método. Se produce un acero fundido que tiene la composición química descrita más arriba. Al utilizar el acero fundido, se produce una pieza fundida (un desbaste (*slab*), un desbaste cuadrado (*bloom*) o una palanquilla (*billet*)) mediante un

método de colada continua. Se puede producir un lingote de acero mediante un método de fabricación de lingotes utilizando el acero fundido. Si se desea, se puede someter un desbaste, un desbaste cuadrado o un lingote a un desbastador para producir una palanquilla. El material de partida se produce mediante la etapa descrita más arriba.

Etapa de trabajo en caliente

- 5 En la etapa de trabajo en caliente, se produce mediante trabajo en caliente una estructura hueca vacía (tubo de acero sin soldadura) a partir de un material de partida que tiene la composición química descrita más arriba. En la presente realización, la etapa de trabajo en caliente incluye una etapa de calentamiento, una etapa de perforación-laminado y una etapa de alargamiento-laminado. A continuación, se describirá en detalle cada etapa.

Etapa de calentamiento

- 10 En la etapa de calentamiento, el material de partida preparado en la etapa de preparación del material de partida descrita más arriba se calienta a una temperatura de calentamiento T_A °C de 1000 a 1280 °C. El método de calentamiento es, por ejemplo, un método para cargar el material de partida en un horno de calentamiento y calentarlo. En este punto, la temperatura de calentamiento T_A en la etapa de calentamiento corresponde a una temperatura (°C) del horno de calentamiento para calentar el material de partida. En la etapa de calentamiento, el tiempo que se debe mantener el material de partida preparado a T_A °C (tiempo de calentamiento) no está particularmente limitado, pero es, por ejemplo, de 1,0 a 10,0 horas.

20 Cuando la temperatura de calentamiento T_A es demasiado alta, la microestructura de la ferrita y/o la austenita puede volverse gruesa. En este caso, el número de intersecciones NT en la dirección T puede ser inferior a 40,0. En este caso, el índice LI de capa puede llegar a ser aún inferior a 2,0. Como resultado, se deteriora la tenacidad a baja temperatura del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura.

25 Por otro lado, cuando la temperatura de calentamiento T_A es demasiado baja, se deteriorará la trabajabilidad en caliente. Como resultado, es probable que aparezcan defectos en la superficie en el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura. Por lo tanto, en la etapa de calentamiento según la presente realización, la temperatura T_A de calentamiento es de 1000 a 1280 °C. En la etapa de calentamiento según la presente realización, un límite inferior de la temperatura T_A de calentamiento es preferiblemente de 1050 °C, y más preferiblemente de 1100 °C. En la etapa de calentamiento según la presente realización, un límite superior de la temperatura T_A de calentamiento es preferiblemente de 1250 °C, y más preferiblemente de 1200 °C.

Etapa de perforación-laminado

- 30 En la etapa de perforación-laminado, el material de partida calentado mediante la etapa de calentamiento descrita más arriba se perfora-lamina en una relación de reducción de superficie $R_A\%$ que cumple con la Fórmula (A):

$$R_A \geq -0,000200 \times T_A^2 + 0,513 \times T_A - 297 \text{ (A)}$$

donde, R_A en la Fórmula (A) se define mediante la Fórmula (B).

- 35 $R_A = \{1 - (\text{área en sección transversal perpendicular a la dirección del eje del tubo de la estructura hueca después de perforar-laminar} / \text{área en sección transversal perpendicular a la dirección axial del material de partida antes de perforar-laminar})\} \times 100 \text{ (B)}$

40 La perforación-laminado produce una estructura hueca vacía a partir de un material de partida sólido utilizando una máquina de perforado. La máquina de perforado incluye un par de rodillos oblicuos y un tapón. El par de rodillos oblicuos está dispuesto alrededor de una línea de paso. El tapón está ubicado entre el par de rodillos oblicuos y dispuesto sobre la línea de trayecto. Aquí, en la presente descripción, la línea de paso significa una línea a través de la cual pasa el eje central del material de partida en el momento de la perforación-laminado. Los rodillos oblicuos no están particularmente limitados, y pueden ser tipo barril, tipo cono o tipo disco.

45 La "estructura hueca después de la perforación-laminado" de la Fórmula (B) significa una estructura hueca después de que finaliza la perforación-laminado. El "material de partida después de la perforación-laminado" en la Fórmula (B) significa un material de partida antes de que se lleve a cabo la perforación-laminado. De esta manera, en la presente realización, la relación $R_A\%$ de reducción de superficie significa una relación de reducción de superficie cuando el material de partida se convierte en una estructura hueca mediante la perforación-laminado. Como se describirá más adelante, en la presente realización, el alargamiento-laminado se lleva a cabo como laminado en caliente además de la perforación-laminado. Sin embargo, el alargamiento-laminado apenas contribuye a la tensión de mecanizado en la porción central del espesor de la pared de la estructura hueca. Por lo tanto, en la presente realización, la relación $R_A\%$ de reducción de superficie se define utilizando el área en sección transversal que cambia debido a la perforación-laminado.

50 La definición se lleva a cabo como: $F_n1 = -0,000200 \times T_A^2 + 0,513 \times T_A - 297$. Para obtener la estructura en capas en la que el número de intersecciones NT en la dirección T es de 40,0 o más y el índice LI de capa es de 2,0 o más en la porción central del espesor de la pared del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura que tiene la composición

química descrita más arriba, es importante la relación entre la temperatura T_A (°C) de calentamiento en la etapa de calentamiento descrita más arriba y la relación R_A (%) de reducción de superficie en la etapa de perforación-laminado. En la etapa de perforación-laminado, al llevar a cabo la perforación-laminado con una relación de reducción de superficie apropiada de Fn1 o más, se puede obtener una tensión de mecanizado suficiente incluso en la porción central del espesor de la pared del tubo de acero sin soldadura. Como resultado, en el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura después de la etapa de tratamiento térmico de solución que se describirá más adelante, se obtiene en la porción central del espesor de la pared una microestructura en la que el número de intersecciones NT en la dirección T es de 40,0 o más, y el índice LI de capa es de 2,0 o más.

Por lo tanto, en la etapa de perforación-laminado según la presente realización, la relación R_A de reducción de superficie debido a la perforación-laminado es de Fn1 o más. Cuando la relación R_A de reducción de superficie es de Fn1 o más, la estructura en capas estará lo suficientemente desarrollada en el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura producido según la premisa de que se cumpla con la composición química descrita más arriba y las condiciones de cada etapa que se describirán a continuación. Como resultado, se puede obtener la estructura en capas en la que el número de intersecciones NT en la dirección T es de 40,0 o más y el índice LI de capa es de 2,0 o más. Es preciso observar que el límite superior de la relación R_A de reducción de superficie no está particularmente limitado pero es, por ejemplo, de 80 %.

Etapa de alargamiento-laminado

En la etapa de alargamiento-laminado, la estructura hueca producida mediante la etapa de perforación-laminado descrita más arriba se somete al alargamiento-laminado. El alargamiento-laminado se puede llevar a cabo mediante un método conocido y no está particularmente limitado. El alargamiento-laminado se puede llevar a cabo mediante un método de laminador sobre mandril o un método de laminador cerrado sobre mandril. Cuando se lleva a cabo el alargamiento-laminado mediante el método de laminador sobre mandril, por ejemplo, se somete la estructura hueca perforada-laminada al laminado en caliente mediante el laminador sobre mandril. Cuando se lleva a cabo el alargamiento-laminado mediante el método de laminador cerrado sobre mandril, por ejemplo, se somete la estructura hueca perforada-laminada al laminado en caliente a través de un laminador por alargamiento y, posteriormente, al laminado en caliente mediante un laminador cerrado sobre mandril. Además, para el alargamiento-laminado se puede utilizar un tren de laminado Assel, un laminador de paso de peregrino, o un laminador Disher. Como se describe más arriba, en la etapa de alargamiento-laminado según la presente realización, se puede utilizar un método conocido para el alargamiento-laminado.

Específicamente, cuando se lleva a cabo el alargamiento-laminado mediante el método de laminador sobre mandril, se lleva a cabo mediante el siguiente método. Una barra de mandril se inserta en una porción hueca de la estructura hueca perforada-laminada. La estructura hueca dentro de la cual se inserta la barra de mandril avanza sobre la línea de paso del laminador sobre mandril para llevar a cabo el laminado en caliente. La barra de mandril se retira de la estructura hueca que el laminador sobre mandril ha laminado en caliente.

La relación de reducción de superficie de la estructura hueca en la etapa de alargamiento-laminado de la presente realización no está particularmente limitada. Como se describe más arriba, el alargamiento-laminado de la etapa de alargamiento-laminado no contribuye demasiado a la tensión de mecanizado en la porción central del espesor de la pared de la estructura hueca. Por lo tanto, la relación de reducción de superficie en la etapa de alargamiento-laminado es diferente de la relación R_A de reducción de superficie en la etapa de perforación-laminado descrita más arriba en cuanto al grado de efecto del mismo. La relación de reducción de superficie en la etapa de alargamiento-laminado es, por ejemplo, de 10 a 70 %.

La etapa de trabajo en caliente se lleva a cabo mediante el método descrito más arriba. Es preciso observar que la etapa de trabajo en caliente puede incluir otras etapas diferentes de la etapa de calentamiento, la etapa de perforación-laminado, y la etapa de alargamiento-laminado. Por ejemplo, se puede llevar a cabo un laminado con ajuste de diámetro en la estructura hueca alargada-laminada. En este caso, el diámetro exterior de la estructura hueca se ajusta mediante un laminador de ajuste de diámetro conocido. El laminador de ajuste de diámetro es, por ejemplo, un calibrador y un reductor de estirado.

Además, en la etapa de trabajo en caliente, además del laminado en caliente descrito más arriba (perforación-laminado, alargamiento-laminado y laminado con ajuste de diámetro), se puede llevar a cabo un forjado en caliente. Por ejemplo, se puede llevar a cabo el forjado en caliente en el material de partida caliente para moldearlo a la forma deseada y, a continuación, se puede llevar a cabo la perforación-laminado. En este caso, el forjado en caliente se lleva a cabo utilizando una máquina de forjado en caliente conocida para ajustar las dimensiones del material de partida.

Etapa de tratamiento térmico de solución

En la etapa de tratamiento térmico de solución, se mantiene la estructura hueca después de la etapa de alargamiento-laminado entre 950 y 1080 °C durante 5 a 180 minutos. En la presente descripción, la temperatura a la que se lleva a cabo el tratamiento térmico de solución (temperatura de tratamiento térmico) significa una temperatura (°C) de horno del horno de tratamiento térmico para llevar a cabo el tratamiento térmico de la solución. En la presente descripción,

el tiempo para llevar a cabo el tratamiento térmico de solución (tiempo de tratamiento térmico) significa un tiempo en el que se mantiene la estructura hueca a la temperatura (°C) de tratamiento térmico.

5 Cuando la temperatura de tratamiento térmico es demasiado baja, los precipitados permanecerán en el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura después de la etapa de tratamiento térmico de solución. En este caso, se deteriora la tenacidad a baja temperatura del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura. Por otro lado, cuando la temperatura de tratamiento térmico es demasiado alta, la relación volumétrica de la ferrita aumenta y llega a más de 70,0 %. En este caso, se deteriora la tenacidad a baja temperatura del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura. Por lo tanto, en la etapa de tratamiento térmico de solución según la presente realización, la temperatura de tratamiento térmico es de 950 a 1080 °C. Un límite inferior de la temperatura de tratamiento térmico es preferiblemente de 960 °C. Un límite superior de la temperatura de tratamiento térmico es preferiblemente de 1070 °C.

10 Cuando el tiempo de tratamiento térmico es demasiado corto, los precipitados permanecerán en el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura después de la etapa de tratamiento térmico de solución. En este caso, se deteriora la tenacidad a baja temperatura del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura. Por otro lado, cuando el tiempo de tratamiento térmico es demasiado largo, el efecto de disolución de precipitados se satura. Por lo tanto, en la etapa de tratamiento térmico de solución según la presente realización, el tiempo de tratamiento térmico es de 5 a 180 minutos. Es preciso observar que el tratamiento térmico de solución se puede llevar a cabo en el material de partida una vez que se haya enfriado a temperatura ambiente después del trabajo en caliente. Además, el tratamiento térmico de solución se puede llevar a cabo continuamente en el material de partida después del trabajo en caliente.

15 Según el método de producción descrito más arriba, se puede producir el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización. El tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura producido mediante el método de producción descrito más arriba tiene la microestructura en la que la relación volumétrica de la ferrita es de 30,0 a 70,0 %, el número de intersecciones NT en la dirección T es de 40,0 o más, y, además, el índice LI de capa es de 2,0 o más, en la porción central del espesor de la pared. Por lo tanto, el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura producido mediante el método de producción descrito más arriba tiene una tenacidad a baja temperatura excelente.

20 El método descrito más arriba para producir un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura es un ejemplo para producir un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización. Es decir, el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente realización se puede producir mediante un método de producción diferente del método de producción descrito más arriba. En resumen, el tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura se puede producir mediante un método de producción diferente del método de producción descrito más arriba siempre que tenga la microestructura en la que la relación volumétrica de la ferrita es de 30,0 a 70,0 %, el número de intersecciones NT en la dirección T es de 40,0 o más, y, además, el índice LI de capa es de 2,0 o más, en la porción central del espesor de la pared del tubo de acero sin soldadura.

Ejemplos

35 Los aceros fundidos que tienen la composición química que se muestra en la Tabla 2 se fundieron utilizando un horno de fusión de vacío de 50 kg, y los lingotes se produjeron mediante un método de colada en lingotera. Es preciso observar que el símbolo "-" en la Tabla 2 significa que el contenido del elemento correspondiente presentaba un nivel de impureza.

Tabla 2

Composición química (en % en masa, con el resto de Fe e impurezas)																						
Acero	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	Al	N	V	Nb	Ta	Ti	Zr	Hf	Ca	Mg	B	REM	
A	0,017	0,54	0,98	0,021	0,0035	2,48	25,18	5,25	1,08	0,017	0,188	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	0,020	0,42	1,62	0,031	0,0022	3,51	26,39	4,33	0,82	0,020	0,256	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	0,018	0,64	2,46	0,025	0,0012	2,11	24,11	4,91	1,28	0,022	0,243	-	0,004	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	0,024	0,52	6,11	0,019	0,0009	1,92	25,89	7,82	1,65	0,019	0,197	-	-	0,005	-	-	-	-	-	-	-	-
E	0,020	0,63	4,98	0,016	0,0028	3,38	27,31	6,86	0,61	0,031	0,157	-	-	-	0,002	-	-	-	-	-	-	-
F	0,017	0,72	5,22	0,022	0,0017	3,46	20,87	5,91	0,98	0,032	0,176	-	-	-	-	0,008	-	-	-	-	-	-
G	0,015	0,26	3,55	0,012	0,0061	2,66	22,88	4,80	1,22	0,028	0,342	-	-	-	-	-	0,011	-	-	-	-	-
H	0,010	0,58	0,67	0,034	0,0059	1,99	23,73	7,21	1,47	0,019	0,281	-	-	-	-	-	-	0,0017	-	-	-	-
I	0,022	0,45	1,93	0,036	0,0035	2,53	25,94	6,22	1,11	0,015	0,192	-	-	-	-	-	-	-	0,0021	-	-	-
J	0,020	0,68	3,24	0,027	0,0042	2,91	27,10	5,99	1,82	0,017	0,271	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0186	-	-
K	0,016	0,39	2,54	0,019	0,0027	3,13	27,11	4,51	1,54	0,027	0,175	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,059
L	0,027	0,47	0,88	0,015	0,0011	2,97	24,66	5,85	1,07	0,034	0,293	0,20	0,002	-	-	-	-	0,0015	-	-	-	-
M	0,012	0,62	1,91	0,038	0,0009	1,87	25,80	7,94	0,82	0,025	0,341	-	0,004	-	0,003	-	-	0,0012	0,0030	-	-	-
N	0,013	0,66	4,82	0,027	0,0097	3,88	24,99	6,82	0,93	0,017	0,199	0,20	-	0,050	-	-	-	-	-	-	0,0152	0,048
O	0,017	0,37	1,33	0,025	0,0041	2,25	26,10	5,38	1,92	0,018	0,281	0,20	0,004	-	0,009	-	-	0,0014	0,0053	-	-	0,041

5 Cada lingote obtenido se sometió a forjado en caliente para producir una palanquilla con una sección transversal circular (palanquilla redonda). La palanquilla redonda de cada Número de Prueba se calentó a una temperatura T_A (°C) de calentamiento como se muestra en la Tabla 3 durante 180 minutos. En la presente realización, la temperatura T_A (°C) de calentamiento corresponde a la temperatura (°C) de horno del horno de calentamiento utilizado para calentar. La Tabla 3 muestra F_n1 obtenido a partir de la temperatura T_A (°C) de calentamiento y la Fórmula (A). La palanquilla redonda de cada Número de Prueba después de calentarse se sometió a perforación-laminado en una relación R_A (%) de reducción de superficie como se muestra en la Tabla 3 y, de ahí en adelante, se sometió a alargamiento-laminado para producir una estructura hueca que tiene una forma como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3

Número de Prueba	Acero	Forma	TA (°C)	Fm1	R _a (%)	Temperatura de tratamiento en caliente (°C)	Relación volumétrica de la ferrita (%)	NT (piezas)	NL (piezas)	U	YS (MPa)	TS (MPa)	E (J)	VTE (°C)
1	A	E	1280	32	58	980	52,0	43,8	12,9	3,4	567	808	254	-40,9
2	B	A	1080	16	45	980	50,1	78,1	17,3	4,3	587	807	180	-82,2
3	C	A	1080	16	60	980	42,5	108,5	22,3	4,9	517	788	248	-88,2
4	D	D	1100	25	44	980	48,8	48,8	11,2	4,3	588	776	245	-33,4
5	E	D	1100	25	67	980	52,9	119,0	24,6	4,8	512	796	310	-69,7
6	F	E	1280	31	44	980	53,1	48,4	10,7	4,5	567	797	210	-55,9
7	G	E	1280	31	67	980	59,1	73,2	15,8	4,6	518	777	284	-89,3
8	H	E	1280	32	47	980	47,4	41,2	15,7	2,7	530	762	194	-26,7
9	I	A	1280	32	68	980	41,6	48,2	11,9	4,1	552	796	281	-45,9
10	J	A	1280	32	69	980	56,2	51,3	11,9	4,3	587	802	178	-59,4
11	K	B	1280	32	48	980	59,3	42,0	14,5	2,9	545	793	189	-23,9
12	L	C	1280	32	56	980	56,6	43,5	11,8	3,7	587	806	282	-52,0
13	M	D	1280	32	66	980	46,0	51,0	12,1	4,2	547	794	285	-68,0
14	N	E	1280	32	66	980	63,7	54,2	12,6	4,3	553	801	284	-56,5
15	O	E	1280	32	59	980	63,8	44,8	12,8	3,5	545	798	260	-42,5
16	A	E	1280	32	33	980	54,3	46,3	21,7	2,1	567	810	140	-19,8
17	A	E	1280	32	28	980	50,2	40,5	21,1	1,9	558	801	96	-13,4
18	B	A	1200	31	21	980	53,0	35,8	19,1	1,9	551	773	96	-11,8
19	A	E	1280	32	23	980	57,5	53,5	18,1	1,8	552	801	94	-8,1
20	C	A	1280	32	26	980	44,3	36,2	20,1	1,8	569	817	92	-6,3
21	A	E	1280	32	69	1100	77,1	48,8	12,8	3,7	572	808	111	-17,7

Es preciso observar que "A" en la columna "Forma" de la Tabla 3 significa una forma de tubo de acero sin soldadura que tiene un diámetro exterior de 114,3 mm y un espesor de pared de 7,3 mm. "B" en la columna "Forma" de la Tabla 3 significa una forma de tubo de acero sin soldadura con un diámetro exterior de 159 mm y un espesor de pared de 22,12 mm. "C" en la columna "Forma" de la Tabla 3 significa una forma de tubo de acero sin soldadura con un diámetro exterior de 130 mm y un espesor de pared de 17,76 mm. "D" en la columna "Forma" de la Tabla 3 significa una forma de tubo de acero sin soldadura con un diámetro exterior de 139,7 mm y un espesor de pared de 9,17 mm. "E" en la columna "Forma" de la Tabla 3 significa una forma de tubo de acero sin soldadura con un diámetro exterior de 177,8 mm y un espesor de pared de 10,36 mm.

La estructura hueca de cada Número de Prueba, que se ha procesado con una forma que se muestra en la Tabla 3 mediante la perforación-laminado y el alargamiento-laminado, se sometió a un tratamiento térmico de solución. La temperatura (°C) de tratamiento térmico del tratamiento térmico de solución para la estructura hueca de cada Número de Prueba es como se muestra en la Tabla 3. El tiempo de tratamiento térmico del tratamiento térmico de solución para la estructura hueca de cada Número de Prueba fue de 15 minutos. Es preciso observar que la temperatura de tratamiento térmico corresponde a la temperatura de horno (°C) del horno de tratamiento térmico utilizado para el tratamiento térmico de solución. El tiempo de tratamiento térmico corresponde al tiempo en el que se mantuvo la estructura hueca a la temperatura de tratamiento térmico. Mediante las etapas descritas más arriba, se obtuvieron los tubos de acero sin soldadura de cada Número de Prueba.

Prueba de evaluación

Los tubos de acero sin soldadura de cada Número de Prueba que se han sometido al tratamiento térmico de solución se sometieron a observación de microestructura, prueba de tracción y prueba de impacto Charpy.

Observación de microestructura

La observación de microestructura se ha llevado a cabo en tubos de acero sin soldadura de cada Número de Prueba. Específicamente, se preparó una muestra de ensayo para la observación de microestructura de la porción central del espesor de la pared del tubo de acero sin soldadura de cada Número de Prueba. La muestra de ensayo incluyó una superficie de observación de 5 mm en la dirección del eje del tubo (dirección L) y 5 mm en la dirección del radio del tubo (dirección T) del tubo de acero sin soldadura de cada Número de Prueba, y una porción central de la superficie de observación coincidió sustancialmente con la porción central del espesor de la pared del tubo de acero sin soldadura. La superficie de observación de la muestra de ensayo de cada Número de Prueba se pulió para lograr una superficie de espejo. La superficie de observación con pulido de espejo se grabó electrolíticamente en una solución de grabado de hidróxido de potasio al 7 % para revelar la microestructura. La superficie de observación en la que se ha revelado la microestructura se observó en 10 campos de visión utilizando un microscopio óptico. La superficie de cada campo de visión es de 1,00 mm² (1,0 mm x 1,0 mm) y el aumento fue de 200 veces.

Se identificaron la ferrita y la austenita mediante un contraste en cada campo de visión de cada Número de Prueba. Como resultado, en cada campo de visión de cada Número de Prueba, otras fases diferentes de la ferrita y la austenita en la microestructura han sido de una cantidad insignificamente pequeña. Es decir, el tubo de acero sin soldadura de cada Número de Prueba tenía una microestructura compuesta de ferrita y austenita. La relación de superficie de la ferrita identificada en cada campo de visión de cada Número de Prueba se determinó mediante un análisis de imagen. Se tomó una media aritmética de las relaciones de superficie de la ferrita en 10 campos de visión como la relación volumétrica (%) de la ferrita. La Tabla 3 muestra la relación (%) volumétrica de la ferrita determinada para los tubos de acero sin soldadura de cada Número de Prueba.

En cada campo de visión de cada Número de Prueba, los segmentos de línea T1 a T4 que se extienden en la dirección T se dispusieron además a intervalos iguales en la dirección L de cada campo de visión para dividir cada campo de visión en cinco partes iguales en la dirección L. En cada campo de visión de cada Número de Prueba, los segmentos de línea L1 a L4 que se extienden en la dirección L se dispusieron además a intervalos iguales en la dirección T de cada campo de visión para dividir cada campo de visión en cinco partes iguales en la dirección T. Se ha contado el número de intersecciones entre los segmentos de línea T1 a T4 y la interfaz de ferrita, y se ha definido como el número de intersecciones NT (piezas) en la dirección T. De manera similar, se ha contado el número de intersecciones entre los segmentos de línea L1 a L4 y la interfaz de ferrita para obtener el número de intersecciones NL (piezas) en la dirección L. El índice LI de capa (= NT/NL) se obtuvo utilizando el número de intersecciones NT obtenido en la dirección T, y el número de intersecciones NL en la dirección L.

Una media aritmética del número de intersecciones NT en la dirección T en 10 campos de visión se ha definido como el número de intersecciones NT (piezas) en la dirección T en el tubo de acero sin soldadura de dicho Número de Prueba. De manera similar, la media aritmética del número de intersecciones NL en la dirección L en 10 campos de visión se ha definido como el número de intersecciones NL (piezas) en la dirección L en el tubo de acero sin soldadura de dicho Número de Prueba. De manera similar, la media aritmética del índice LI de capa en 10 campos de visión se ha tomado como el índice LI de capa en el tubo de acero sin soldadura de dicho Número de Prueba. Para tubos de acero sin soldadura de cada Número de prueba, la Tabla 3 muestra el número de intersecciones NT (piezas) en la dirección T como "NT (piezas)", el número de intersecciones NL (piezas) en la dirección L como "NL (piezas)" y el índice LI de capa como "LI", respectivamente.

Prueba de tracción

Se ha llevado a cabo una prueba de tracción en el tubo de acero sin soldadura de cada Número de Prueba mediante el método descrito más arriba conforme a la ASTM E8/E8M (2013) para determinar el límite elástico (MPa). En el presente ejemplo, se ha preparado una muestra de ensayo de barra redonda para la prueba de tracción de la porción central del espesor de la pared del tubo de acero sin soldadura de cada Número de Prueba. La dirección axial de la muestra de ensayo de barra redonda era paralela a la dirección del eje del tubo del tubo de acero sin soldadura. El 0,2 % de desviación del límite de elasticidad obtenido mediante la prueba de tracción se ha definido como el límite elástico (MPa). Además, la elasticidad máxima durante un alargamiento uniforme obtenido en la prueba de tracción se ha definido como resistencia a la tracción (MPa). La Tabla 3 muestra el límite elástico (MPa) del tubo de acero sin soldadura de cada Número de Prueba como "YS (MPa)" y la resistencia a la tracción (MPa) como "TS (MPa)". El límite elástico del tubo de acero sin soldadura de cada Número de Prueba estuvo en el rango de 448 a 655 MPa.

Prueba de impacto Charpy

Se llevó a cabo una prueba de impacto Charpy conforme a la ASTM E23 (2018) en los tubos de acero inoxidable dúplex sin soldadura de cada Número de Prueba. Específicamente, se ha preparado una muestra de ensayo con muesca en V de la porción central del espesor de la pared del tubo de acero sin soldadura de cada Número de Prueba conforme al API 5CRA (2010). La prueba de impacto Charpy se ha llevado a cabo conforme a la ASTM E23 (2016) en las muestras de ensayo con muesca en V de cada Número de Prueba preparado conforme a API 5CRA (2010) para determinar la energía E absorbida (J).

Más específicamente, se enfriaron tres muestras de ensayo de cada Número de Prueba preparadas conforme a API 5CRA (2010) a -10 °C y se llevó a cabo una prueba de impacto Charpy conforme a la ASTM E23 (2016). Se determinó la energía absorbida de la muestra de ensayo de cada Número de Prueba a -10 °C. Se tomó una media aritmética de la energía absorbida a -10 °C como la energía E absorbida (J) de cada Número de Prueba. Para el tubo de acero sin soldadura de cada Número de Prueba, la energía E absorbida (J) se muestra como "E (J)" en la Tabla 3.

La prueba de impacto Charpy se llevó a cabo además conforme a la ASTM E23 (2016) en las muestras de ensayo con muesca en V de cada Número de Prueba preparadas conforme a API 5CRA (2010) para determinar la temperatura (°C) de transición de energía. Más específicamente, para las muestras de ensayo de cada Número de Prueba preparadas conforme a API 5CRA (2010), se llevó a cabo la prueba de impacto Charpy conforme a ASTM E23 (2016) en intervalos de 20 °C de -10 a -70 °C para determinar la temperatura vTE (°C) de transición de energía de cada Número de Prueba. La Tabla 3 muestra la temperatura vTE (°C) de transición de energía de cada Número de Prueba obtenida del tubo de acero sin soldadura de cada Número de Prueba.

Resultados de las pruebas

La Tabla 3 muestra los resultados de las pruebas.

Con referencia a las Tablas 2 y 3, las composiciones químicas de los tubos de acero inoxidable dúplex sin soldadura de los Números de Prueba 1 a 16 fueron adecuadas. Además, las condiciones de producción también fueron adecuadas. Por lo tanto, las relaciones volumétricas de la ferrita fueron de 30,0 a 70,0 %. Además, los números de las intersecciones NT fueron de 40,0 o más, y los índices LI de capa fueron de 2,0 o más. Es decir, los tubos de acero sin soldadura de los Números de Prueba de 1 a 16 tenían una microestructura correcta con una estructura en capas suficiente. Como resultado, la energía E absorbida a -10 °C fue de 120 J o más, y la temperatura vTE de transición de energía fue de -18,0 °C o menos. Es decir, los tubos de acero sin soldadura de los Números de Prueba de 1 a 16 tuvieron una tenacidad a baja temperatura excelente.

Por otro lado, en el Número de Prueba 17, la relación R_A de reducción de superficie fue menor que Fn1. Por lo tanto, el índice LI de capas fue menor que 2,0. Es decir, a pesar que el tubo de acero sin soldadura del Número de Prueba de 17 tenía una microestructura correcta, no tenía una estructura en capas suficiente. Como resultado, la energía E absorbida a -10 °C fue inferior a 120 J, y la temperatura vTE de transición de energía fue superior a -18,0 °C. Es decir, el tubo de acero sin soldadura de la Prueba Número 17 no tuvo una tenacidad a baja temperatura excelente.

En los Números de Prueba 18 a 20, la relación R_A de reducción de superficie fue menor que Fn1. Por lo tanto, los números de las intersecciones NT fueron inferiores a 40,0, y los índices LI de capa fueron inferiores a 2,0. Es decir, los tubos de acero sin soldadura de los Números de Prueba de 18 a 20 no tuvieron ni la microestructura correcta ni la estructura en capas suficiente. Como resultado, la energía E absorbida a -10 °C fue inferior a 120 J, y la temperatura vTE de transición de energía fue superior a -18,0 °C. Es decir, los tubos de acero sin soldadura de los Números de Prueba 18 a 20 no tuvieron una tenacidad a baja temperatura excelente.

En el Número de Prueba 21, la temperatura de tratamiento térmico en la etapa de tratamiento térmico de solución fue demasiado alta. Por lo tanto, la relación volumétrica de la ferrita fue de más del 70,0 %. Como resultado, la energía E absorbida a -10 °C fue inferior a 120 J, y la temperatura vTE de transición de energía fue superior a -18,0 °C. Es decir, el tubo de acero sin soldadura de la Prueba Número 21 no tuvo una tenacidad a baja temperatura excelente.

Hasta el momento, se ha descrito la realización de la presente invención. Sin embargo, la realización descrita más arriba es simplemente un ejemplo para llevar a cabo la presente invención. Por lo tanto, la presente invención no está limitada a la realización descrita más arriba y se puede implementar de manera adecuada modificando la realización descrita más arriba dentro de un rango que no se aparte del alcance las reivindicaciones anexas.

5 **Aplicabilidad industrial**

El tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente invención se puede aplicar ampliamente en entornos de baja temperatura donde se requiere una tenacidad a baja temperatura. El tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la presente invención es particularmente adecuado para aplicaciones de pozos de petróleo. Los tubos de acero inoxidable dúplex sin soldadura para aplicaciones de pozos de petróleo son, por ejemplo, tubos de línea, entubados, tuberías y tubos de perforación.

Lista de signos de referencia

- 10 ferrita
- 20 austenita
- 50 campo de observación de la región de visión
- 15 T1 aT4, L1 a L4 segmentos de línea

REIVINDICACIONES

1. Un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura que comprende:
una composición química que consiste en, en % de masa,
- C: 0,030 % o menos,
- 5 Si: 0,20 a 1,00 %,
Mn: 0,50 a 7,00 %,
P: 0,040 % o menos,
S: 0,0100 % o menos,
Cu: 1,80 a 4,00 %,

10 Cr: 20,00 a 28,00 %,
Ni: 4,00 a 9,00 %,
Mo: 0,50 a 2,00 %,
Al: 0,100 % o menos,
N: 0,150 a 0,350 %,

15 V: 0 a 1,50 %,
Nb: 0 a 0,100 %,
Ta: 0 a 0,100 %,
Ti: 0 a 0,100 %,
Zr: 0 a 0,100 %,

20 Hf: 0 a 0,100%,
Ca: 0 a 0,0200 %,
Mg: 0 a 0,0200 %,
B: 0 a 0,0200 %, y

25 metal de tierras raras: 0 a 0,200 % con el resto de Fe e impurezas, y una microestructura que consiste en 30,0 a 70,0 % de ferrita en relación volumétrica y austenita como el resto, medido según el método descrito en la descripción en donde

cuando una dirección del eje del tubo del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura se define como una dirección L y una dirección del radio del tubo del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura se define como una dirección T,

30 en un campo de observación cuadrado de la región de visión que incluye una porción central del espesor de la pared del tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura, y cuyo lado que se extiende en la dirección L es de 1,0 mm de largo y cuyo lado que se extiende en la dirección T es de 1,0 mm de largo,

cuatro segmentos de línea, que se extienden en la dirección T, que se disponen a intervalos iguales en la dirección L del campo de observación de la región de visión, y que dividen el campo de observación de la región de visión en cinco partes iguales en la dirección L, se definen como T1 a T4,

35 cuatro segmentos de línea, que se extienden en la dirección L, que se disponen a intervalos iguales en la dirección T del campo de observación de la región de visión, y que dividen el campo de observación de la región de visión en cinco partes iguales en la dirección T, se definen como L1 a L4, y

una interfaz entre la ferrita y la austenita en el campo de observación de la región de visión se define como una interfaz de ferrita,

40 un número de intersecciones NT, que es un número de intersecciones entre los segmentos de línea T1 a T4 y la interfaz de ferrita, es de 40,0 o más, medidos según el método descrito en la descripción, y

un número de intersecciones NL, que es un número de intersecciones entre los segmentos de línea L1 a L4 y la interfaz de ferrita, medidos según el método descrito en la descripción, y el número de intersecciones NT que cumplen con la Fórmula (1).

$$NT/NL \geq 2,0 \quad (1)$$

- 5 2. El tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la reivindicación 1, en donde la composición química contiene uno o más tipos de elementos seleccionados del grupo que consiste en:

V: 0,01 a 1,50 %,

Nb: 0,001 a 0,100 %,

Ta: 0,001 a 0,100 %,

- 10 Ti: 0,001 a 0,100 %,

Zr: 0,001 a 0,100 %, y

Hf: 0,001 a 0,100 %.

3. El tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura según la reivindicación 1 o 2, en donde

la composición química contiene uno o más tipos de elementos seleccionados del grupo que consiste en:

- 15 Ca: 0,0005 a 0,0200 %,

Mg: 0,0005 a 0,0200 %,

B: 0,0005 a 0,0200 %, y

metal de tierras raras: 0,005 a 0,200 %.

4. Un método para producir un tubo de acero inoxidable dúplex sin soldadura, que comprende:

- 20 una etapa de preparación del material de partida para preparar un material de partida que tiene la composición química según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3,

una etapa de calentamiento para calentar el material de partida después de la etapa de preparación del material de partida a una temperatura de calentamiento T_A °C de 1000 a 1280 °C,

- 25 una etapa de perforación-laminado para perforar-laminar el material de partida después de la etapa de calentamiento en una relación de reducción de superficie R_A % que cumpla con la Fórmula (A) para producir una estructura hueca,

una etapa de alargamiento-laminado para alargar y laminar la estructura hueca después de la etapa de perforación-laminado, y

una etapa de tratamiento térmico de solución para mantener la estructura hueca después de la etapa de alargamiento-laminado entre 950 y 1080 °C durante 5 a 180 minutos:

- 30 $R_A \geq -0,000200 \times T_A^2 + 0,513 \times T_A - 297 \quad (A)$

donde, R_A en la Fórmula (A) se define mediante la Fórmula (B).

$R_A = \{1 - (\text{área en sección transversal perpendicular a la dirección del eje del tubo de la estructura hueca después de perforar-laminar} / \text{área en sección transversal perpendicular a la dirección axial del material de partida antes de perforar-laminar})\} \times 100 \quad (B)$

- 35

FIG. 1

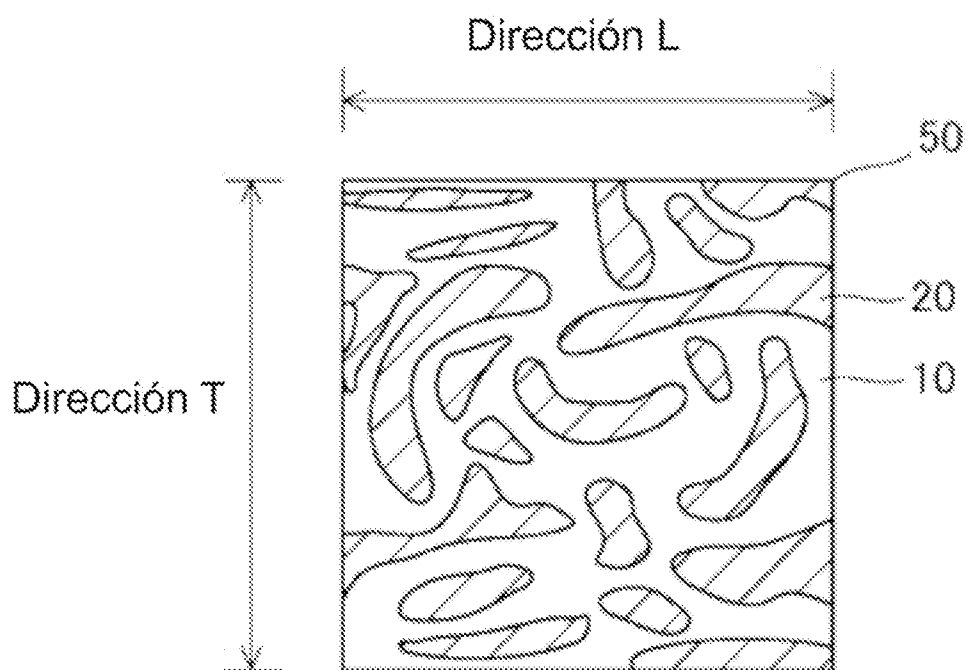


FIG. 2

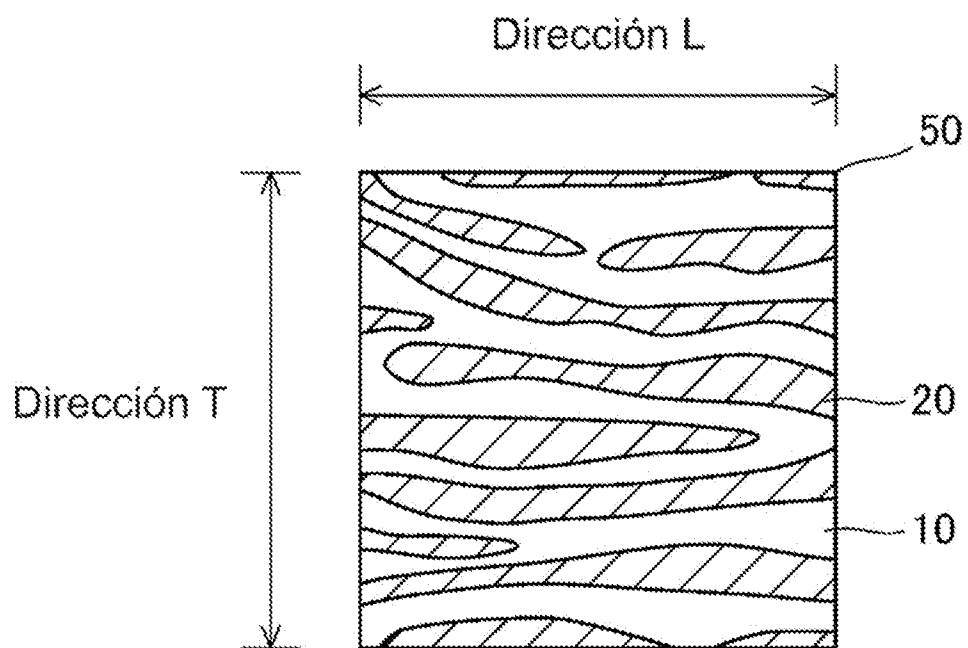


FIG. 3

