

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 905 422**

51 Int. Cl.:

C22C 38/58	(2006.01) C21D 6/02	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01) C21D 8/10	(2006.01)
C22C 38/44	(2006.01)	
C22C 38/46	(2006.01)	
C22C 38/48	(2006.01)	
C22C 38/00	(2006.01)	
C21D 6/00	(2006.01)	
C21D 8/00	(2006.01)	
C21D 9/52	(2006.01)	
C21D 9/08	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.04.2017 PCT/JP2017/014008**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.10.2017 WO17175739**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.04.2017 E 17779117 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.01.2022 EP 3441495**

54 Título: **Material de acero inoxidable austenítico**

30 Prioridad:

07.04.2016 JP 2016077628

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.04.2022

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**TAKAGI, TAKAMITSU;
NAKAMURA, JUN;
UEYAMA, MASAKI y
TERUNUMA, MASAACKI**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 905 422 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Material de acero inoxidable austenítico

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un material de acero inoxidable, más específicamente a un material de acero inoxidable austenítico.

10 Antecedentes de la técnica

Los últimos años han visto el progreso de estudios animados para la aplicación práctica de equipos de transporte que utilizan hidrógeno en lugar de combustibles fósiles como energía. Por ejemplo, vehículos propulsados por pilas de combustible que funcionan con hidrógeno como combustible y estaciones de hidrógeno donde los vehículos propulsados por pilas de combustible reciben hidrógeno, han estado en desarrollo.

Cuando se usa acero inoxidable para estaciones de hidrógeno, el acero inoxidable se coloca en un entorno de gas hidrógeno a alta presión. Por esta razón, se exige una excelente resistencia a un acero inoxidable usado para estaciones de hidrógeno.

La Publicación de Solicitud Internacional N.º WO 2012/132992 (Bibliografía de Patentes 1), La Publicación de Solicitud Internacional N.º WO 2004/083476 (Bibliografía de Patentes 2), La Publicación de Solicitud Internacional N.º WO 2004/083477 (Bibliografía de Patentes 3) y la Publicación de Solicitud Internacional N.º WO 2004/111285 (Bibliografía de Patentes 4) proponen aceros inoxidables que se usan en entornos de hidrógeno a alta presión y tienen altas resistencias.

El acero inoxidable austenítico para gas hidrógeno a alta presión desvelado en la Bibliografía de Patentes 1, perteneciente a la misma familia de patentes que EP2692886 A1, contiene, en porcentaje en masa, C: el 0,10 % o menos, Si: el 1,0 % o menos, Mn: el 3 % o más y menos del 7 %, Cr: del 15 al 30 %, Ni: el 10 % o más y menos del 17 %, Al: el 0,10 % o menos, N: del 0,10 al 0,50 % y al menos uno de V: del 0,01 al 1,0 % y Nb: del 0,01 al 0,50 %, siendo el resto Fe e impurezas, de los cuales las impurezas P representan el 0,0050 % o menos y S representan el 0,050 % o menos, en donde el acero inoxidable austenítico tiene una resistencia a la tracción de 800 MPa o más, un número de tamaño de grano (ASTM E 112) es 8 o mayor y el acero inoxidable austenítico contiene un carbonitrúro de aleación con un diámetro máximo de 50 a 1000 nm a 0,4 μm^2 o más en la observación de la sección transversal.

El acero inoxidable para gas hidrógeno desvelado en la Bibliografía de Patentes 2 contiene, en porcentaje en masa, C: el 0,02 % o menos, Si: el 1,0 % o menos, Mn: del 3 al 30 %, Cr: más del 22 % al 30 %, Ni: del 17 al 30 %, V: del 0,001 al 1,0 %, N: del 0,10 al 0,50 % y Al: el 0,10 % o menos, siendo el resto Fe e impurezas, de los cuales las impurezas P representan el 0,030 % o menos, S representa el 0,005 % o menos y Ti, Zr y Hf representan cada uno el 0,01 % o menos, en donde el contenido de Cr, Mn y N satisface $5\text{Cr} + 3,4\text{Mn} \leq 500\text{N}$.

El acero inoxidable para gas hidrógeno a alta presión desvelado en la Bibliografía de Patentes 3 contiene, en porcentaje en masa, C: el 0,04 % o menos, Si: el 1,0 % o menos, Mn: del 7 al 30 %, Cr: del 15 al 22 %, Ni: del 5 al 20 %, V: del 0,001 al 1,0 %, N: del 0,20 al 0,50 % y Al: el 0,10 % o menos, siendo el resto Fe e impurezas, de los cuales las impurezas P representan el 0,030 % o menos, S representa el 0,005 % o menos y Ti, Zr y Hf representan cada uno el 0,01 % o menos, en donde el contenido de Cr, Mn y N satisface $2,5\text{Cr} + 3,4\text{Mn} \leq 300\text{N}$.

El acero inoxidable austenítico para gas hidrógeno desvelado en la Bibliografía de Patentes 4 tiene una composición química que contiene, en porcentaje en masa, C: el 0,10 % o menos, Si: el 1,0 % o menos, Mn: del 0,01 al 30 %, P: el 0,040 % o menos, S: el 0,01 % o menos, Cr: del 15 al 30 %, Ni: del 5,0 al 30 %, Al sol.: el 0,10 % o menos y N: del 0,001 al 0,30 %, siendo el resto Fe e impurezas, en donde el acero inoxidable austenítico incluye una microestructura en la cual una intensidad I (111) integrada de rayos X en una sección transversal a lo largo de una dirección perpendicular a una dirección de procesamiento es cinco veces o menos que en una orientación aleatoria y una la intensidad I (220) integrada en una sección transversal a lo largo de la dirección de procesamiento satisface $I(220)/I(111) \leq 10$.

El documento US 4.559.090 desvela una aleación austenítica.

Lista de citas**Bibliografía de patentes**

Bibliografía de Patentes 1: Publicación de Solicitud Internacional N.º WO 2012/132992
Bibliografía de Patentes 2: Publicación de Solicitud Internacional N.º WO 2004/083476
Bibliografía de Patentes 3: Publicación de Solicitud Internacional N.º WO 2004/083477
Bibliografía de Patentes 4: Publicación de Solicitud Internacional N.º WO 2004/111285

Sumario de la invención

Problema técnico

- 5 Actualmente, se requiere que un acero inoxidable para usarse en estaciones de hidrógeno tenga no solo una resistencia excelente sino también una variación suprimida en la resistencia. Los aceros inoxidables desvelados en la Bibliografía de Patentes 1 a la Bibliografía de Patentes 4 mencionadas anteriormente tienen resistencias de 700 MPa o más incluso después de realizar el tratamiento de solución, y el acero inoxidable de la Bibliografía de Patentes 4
- 10 tiene una alta resistencia al someterse a tratamiento de solución y trabajo en frío. Sin embargo, estas Bibliografías de Patentes no dan consideración a la variación en la fuerza. Incluso los aceros inoxidables descritos en la Bibliografía de Patentes 1 a la Bibliografía de Patentes 4 mencionadas anteriormente pueden mostrar grandes variaciones en la resistencia, fallando en proporcionar altas resistencias consistentes.
- 15 Un objeto de la presente invención es proporcionar un material de acero inoxidable austenítico que tenga una alta resistencia constante a lo largo de la longitud total del material de acero.

Solución al problema

- 20 Un material de acero inoxidable austenítico de acuerdo con la presente realización tiene una composición química que consiste en, en porcentaje en masa, C: el 0,10 % o menos, Si: del 0,2 al 1,0 %, Mn: del 3 al 8 %, P: el 0,05 % o menos, S: el 0,03 % o menos, Ni: del 10 al 20 %, Cr: del 15 al 30 %, N: del 0,20 al 0,70 %, Mo: del 0 al 5,0 %, V: del 0 al 0,5 % y Nb: del 0 al 0,5 %, siendo el resto Fe e impurezas, teniendo el material de acero inoxidable austenítico un número de tamaño de grano de 6,0 o mayor, el número de tamaño de grano conforme a ASTM E 112. La resistencia a la
- 25 tracción del material de acero inoxidable austenítico es de 800 MPa o más y la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de la resistencia a la tracción es de 50 MPa o menos. El número de carbonitruros de aleación incluyendo los carburos y los nitruros que tienen un diámetro equivalente de círculo mayor de 1000 nm en el acero es de 10 /mm² o más.

Efectos ventajosos de la invención

El material de acero inoxidable austenítico de acuerdo con la presente realización tiene una alta resistencia consistente a lo largo de la longitud total del material de acero.

Descripción de las realizaciones

Los presentes inventores llevaron a cabo investigaciones y estudios sobre el alto reforzamiento de un material de acero inoxidable austenítico y la variación de la resistencia a lo largo de la longitud total del material de acero y obtuvieron los siguientes descubrimientos.

- 40 (A) Los métodos para aumentar la resistencia incluyen el endurecimiento en solución sólida usando N y refinamiento de grano. El acero inoxidable austenítico de la presente realización contiene del 0,20 al 0,70 % de N y la resistencia del mismo aumenta mediante el endurecimiento en solución sólida. La fuerza aumenta aún más mediante el refinado de grano sobre los granos.
- 45 (B) La variación en la resistencia a lo largo de la longitud total del material de acero es atribuible al tamaño de grano del material de acero. Con una variación menor en el tamaño de grano en el material de acero, la variación en la fuerza puede reducirse. De manera específica, cuando el número de tamaño de grano basado en la norma ASTM E 112 es 6,0 o mayor y la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo del número de tamaño de grano (en lo sucesivo en el presente documento, denominado diferencia de tamaño de grano Δ GS) a lo largo de la
- 50 longitud total del el material de acero es 1,5 o más pequeño, la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de la resistencia a la tracción (en lo sucesivo en el presente documento, denominado diferencia de resistencia Δ TS) a lo largo de la longitud total del material de acero se vuelve 50 MPa o menos, lo que permite que la variación de la fuerza se suprima suficientemente.
- 55 (C) Para suprimir la variación en la resistencia, controlar la variación de temperatura en un material de partida en el trabajo en caliente es eficaz. La variación en el tamaño de grano se presenta de manera más notable en el trabajo en caliente. En el material de partida, la cantidad de tensión introducida difiere entre una porción a una temperatura más baja y una porción a una temperatura más alta. La diferencia en la cantidad de tensión introducida provoca la diferencia en cómo se refinan los granos en la recristalización. Como resultado, la variación en el tamaño de grano aumenta. Por lo tanto, es preferible que la variación de temperatura en un material de partida en el trabajo
- 60 en caliente sea pequeña.
- De manera específica, en el material de partida, si la diferencia entre la temperatura de una parte para la cual se completa primero el trabajo en caliente, al finalizar el trabajo (en lo sucesivo en el presente documento, denominada temperatura inicial) y la temperatura de una parte para la que se completó el trabajo en caliente por última vez, al finalizar el trabajo (en lo sucesivo en el presente documento, denominada temperatura final) (diferencia de
- 65 temperatura Δ T) es de 100 °C o menos, la diferencia de tamaño de grano Δ GS puede controlarse a 1,5 o menos. En consecuencia, es posible controlar una diferencia de resistencia Δ TS a 50 MPa o menos.

(D) Al realizar un tratamiento térmico en un material de acero para provocar la precipitación de carbonitruros de aleación gruesa, se produce el fortalecimiento de la precipitación, aumentando aún más la resistencia del material de acero. Cuando el número de tamaño de grano de un material de acero es 6,0 o mayor, y el número de carbonitruros de aleación que tienen diámetros circulares equivalentes de más de 1000 nm (en lo sucesivo en el presente documento, carbonitruros de aleación gruesa) es 10 /mm² o más en el acero, se obtiene una resistencia a la tracción de 800 MPa o más. Al realizar el tratamiento térmico a una temperatura de tratamiento térmico establecida en 930 °C a menos de 1000 °C, es posible obtener 10 /mm² o más de los carbonitruros de aleación gruesa.

En este punto, los carbonitruros de aleación contienen Cr, V, Nb, Mo como un componente principal y significan Cr₂N, fase Z, a saber Cr(Nb, V)(C, N) y MX (M: Cr, V, Nb, Mo, X: C, N). El "componente principal" significa que el componente representa el 40 % o más en porcentaje en masa. Además, los carbonitruros de aleación en la presente invención incluyen aquellos cuyos contenidos de C (carbono) son extremadamente bajos, a saber, nitruros. Los carbonitruros de aleación de acuerdo con la presente invención incluyen carburos.

La invención se define en las reivindicaciones.

En lo sucesivo en el presente documento, el material de acero inoxidable austenítico de la presente realización se describirá en detalle. El signo "%" que sigue a cada elemento significa porcentaje en masa a menos que se indique otra cosa.

[Composición química]

El material de acero inoxidable austenítico de la presente realización tiene una composición química que consiste en los siguientes elementos.

C: el 0,10 % o menos

El carbono (C) está inevitablemente contenido. C estabiliza la austenita en una estructura fcc, que apenas provoca fragilidad por hidrógeno. Además, C se combina con Cr o similares, provocando refuerzo de la precipitación para aumentar la resistencia del acero. Sin embargo, un contenido excesivamente alto de C da como resultado la precipitación de carburos en los límites de grano, disminuyendo la tenacidad del acero. En consecuencia, el contenido de C es el 0,10 % o menos. Un límite superior del contenido de C es preferentemente el 0,08 %, más preferentemente el 0,06 %. Además, un límite inferior preferible del contenido de C para estabilizar la austenita es el 0,005 %.

Si: del 0,2 al 1,0 %

El silicio (Si) se combina con Ni y Cr para formar compuestos intermetálicos. Además, Si contribuye al crecimiento de compuestos intermetálicos tales como una fase sigma (fase σ). Estos compuestos intermetálicos disminuyen la trabajabilidad en caliente del acero. Por lo tanto, el contenido de Si es el 1,0 % o menos. Un límite superior del contenido de Si es preferentemente el 0,8 %. Desde el punto de vista de la desoxidación del acero, el límite inferior del contenido de Si es el 0,2 %.

Mn: del 3 al 8 %

El manganeso (Mn) estabiliza la austenita y suprime la generación de martensita, que tiene una alta susceptibilidad a la fragilidad por hidrógeno. Además, Mn se combina con S para formar MnS, aumentando la mecanizabilidad del acero. Un contenido de Mn excesivamente bajo da como resultado el fallo en proporcionar los efectos descritos anteriormente. Por el contrario, un contenido excesivamente alto de Mn da como resultado una disminución de la ductilidad y de la trabajabilidad en caliente del acero. En consecuencia, el contenido de Mn es del 3 al 8 %. Un límite inferior del contenido de Mn es preferentemente el 4,0 %, más preferentemente el 5,0 %. Un límite superior del contenido de Mn es preferentemente el 6,0 %, más preferentemente el 5,9 %.

P: el 0,05 % o menos,

El fósforo (P) es una impureza. El P disminuye la trabajabilidad en caliente y la tenacidad del acero. Por lo tanto, el contenido de P es el 0,05 % o menos. Un límite superior del contenido de P es preferentemente el 0,045 %, más preferentemente el 0,035 %, aún más preferentemente el 0,020 %. El contenido de P es preferentemente lo más bajo posible.

S: el 0,03 % o menos

El azufre (S) se combina con Mn para formar MnS, aumentando la mecanizabilidad del acero. Sin embargo, un contenido de S excesivamente alto da como resultado una disminución de la tenacidad del acero. Por lo tanto, el contenido de S es el 0,03 % o menos. Un límite superior del contenido de S es preferentemente el 0,02 %, más preferentemente el 0,01 %. El contenido de S es preferentemente lo más bajo posible.

Ni: del 10 al 20 %

El níquel (Ni) estabiliza la austenita. Además, Ni aumenta la ductilidad y la tenacidad del acero. Un contenido de Ni excesivamente bajo da como resultado el fallo en proporcionar los efectos descritos anteriormente. Por el contrario, un contenido de Ni excesivamente alto da como resultado la saturación de los efectos descritos anteriormente, aumentando los costes de producción. En consecuencia, el contenido de Ni es del 10 al 20 %. Un límite inferior del contenido de Ni es preferentemente el 11,5 %, más preferentemente el 12,0 %. Un límite superior del contenido de Ni es preferentemente el 13,5 %, más preferentemente el 13,4 %.

Cr: del 15 al 30 %

El cromo (Cr) aumenta la resistencia a la corrosión del acero. Además, Cr se combina con N a través de un tratamiento térmico para formar carbonitruros de aleación como Cr_2N , provocando refuerzo de la precipitación para aumentar la resistencia del acero. Un contenido de Cr excesivamente bajo da como resultado el fallo en proporcionar los efectos descritos anteriormente. Por el contrario, un contenido de Cr excesivamente alto provoca la generación de carburos M_{23}C_6 , dando como resultado disminuciones en la ductilidad y la tenacidad del acero. En consecuencia, el contenido de Cr es del 15 al 30 %. Un límite inferior del contenido de Cr es preferentemente el 20,5 %, más preferentemente el 21,0 %. Un límite superior del contenido de Cr es preferentemente el 23,5 %, más preferentemente el 23,4 %.

N: del 0,20 al 0,70 %

El nitrógeno (N) estabiliza la austenita. Además, N aumenta la resistencia del acero a través del endurecimiento en solución sólida. Adicionalmente, N se combina con Cr a través de un tratamiento térmico para formar carbonitruros de aleación como Cr_2N , provocando refuerzo de la precipitación para aumentar la resistencia del acero. Un contenido de N excesivamente bajo da como resultado el fallo en proporcionar los efectos descritos anteriormente. Por el contrario, un contenido de N excesivamente alto da como resultado una disminución de la tenacidad del acero. En consecuencia, el contenido de N es del 0,20 al 0,70 %. Un límite inferior del contenido de N es preferentemente el 0,21 %, más preferentemente el 0,22 %. Un límite superior del contenido de N es preferentemente el 0,40 %, más preferentemente el 0,35 %.

El resto de la composición química del material de acero inoxidable austenítico de acuerdo con la presente realización es Fe e impurezas. En este punto, las impurezas significan elementos que se mezclan a partir de menas y escoria usados como materia prima, un ambiente de producción o similares, cuando el material de acero inoxidable austenítico se produce de manera industrial, y se permite que se mezcle dentro de intervalos en los cuales las impurezas no tienen efectos adversos sobre el material de acero inoxidable austenítico de la presente realización.

[Elementos opcionales]

El material de acero inoxidable austenítico de acuerdo con la presente realización puede contener además, en lugar de una parte de Fe, uno o dos o más elementos seleccionados del grupo que consiste en Mo, V y Nb. Todos estos elementos aumentan la resistencia del acero.

Mo: del 0 al 5,0 %

El molibdeno (Mo) es un elemento opcional y no necesita estar contenido. Cuando está contenido, Mo somete a la austenita al endurecimiento en solución sólida. Además, Mo aumenta la resistencia a la corrosión del acero. Sin embargo, un contenido de Mo excesivamente alto puede provocar que los compuestos intermetálicos precipiten, que da como resultado una disminución en la ductilidad y la tenacidad del acero. En consecuencia, el contenido de Mo es del 0 al 5,0 %. Un límite inferior del contenido de Mo es preferentemente el 1,5 %, más preferentemente el 1,9 %. Un límite superior del contenido de Mo es preferentemente el 3,0 %, más preferentemente el 2,9 %.

V: del 0 al 0,5 %

El vanadio (V) es un elemento opcional y no necesita estar contenido. Cuando está contenido, V forma su carburo, aumentando la resistencia del acero. Sin embargo, un contenido excesivamente alto de V satura el efecto, dando como resultado un aumento de los costes de producción. En consecuencia, el contenido de V es del 0 al 0,5 %. Un límite inferior del contenido de V es preferentemente el 0,1 %, más preferentemente el 0,12 %. Un límite superior del contenido de V es preferentemente el 0,3 %, más preferentemente el 0,28 %.

Nb: del 0 al 0,5 %

El niobio (Nb) es un elemento opcional y no necesita estar contenido. Cuando está contenido, Nb forma su carburo, aumentando la resistencia del acero. Sin embargo, un contenido excesivamente alto de Nb satura el efecto, dando como resultado un aumento de los costes de producción. En consecuencia, el contenido de Nb es del 0 al 0,5 %. Un límite inferior del contenido de Nb es preferentemente el 0,1 %, más preferentemente el 0,12 %. Un límite superior del

contenido de Nb es preferentemente el 0,3 %, más preferentemente el 0,28 %.

[Resistencia y diferencia de resistencia ΔTS]

- 5 En el material de acero inoxidable austenítico de la presente realización, una resistencia a la tracción es de 800 MPa o más, y una diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de la resistencia a la tracción (en lo sucesivo en el presente documento, denominada diferencia de resistencia ΔTS) es de 50 MPa o menos. Esto hace que el material de acero inoxidable austenítico de la presente realización tenga una alta resistencia consistente a lo largo de la longitud total del material de acero. La resistencia y la diferencia de resistencia ΔTS anteriores pueden lograrse con, por ejemplo, la siguiente estructura.

[Tamaño de grano]

- 15 El material de acero inoxidable austenítico de la presente realización tiene un número de tamaño de grano especificado en ASTM E 112 de 6,0 o mayor. El número de tamaño de grano se mide de conformidad con la norma ASTM E 112. Un número de tamaño de grano inferior a 6,0 disminuye la resistencia. Con un número de tamaño de grano de 6,0 o mayor, es posible obtener una alta resistencia en el material de acero inoxidable austenítico que tiene la composición química anterior. De manera específica, se obtiene una resistencia a la tracción de 800 MPa o más requerida para el material de acero inoxidable austenítico de la presente realización.

- 20 El número de tamaño de grano se determina mediante el siguiente método. Se fabrica un espécimen de prueba para la observación microscópica a partir de una parte central de una sección transversal perpendicular a la dirección longitudinal del material de acero inoxidable austenítico. En la superficie del espécimen de prueba, se usa una superficie correspondiente a la sección transversal anterior (denominada superficie de observación) y se realiza un método de prueba microscópica para el tamaño de grano especificado en la norma ASTM E 112 y se evalúa el número de tamaño de grano. De manera específica, la superficie de observación se somete a pulido mecánico y, en lo sucesivo, se graba usando un reactivo de grabado bien conocido (por ejemplo, Glyceregia, reactivo de Kalling o reactivo de Marble) y se provoca que aparezcan límites de granos de cristal en la superficie de observación. Para cada uno de los diez campos visuales en la superficie grabada, se determina un número de tamaño de grano. El área de cada campo visual es de aproximadamente 10,2 mm². Al realizar una comparación con un diagrama convencional de tamaño de grano especificado en la norma ASTM E 112, se evalúa el número de tamaño de grano de cada campo visual. El promedio de los números de tamaño de grano de los campos visuales respectivos se define como el número de tamaño de grano del material de acero inoxidable austenítico de la presente realización.

- 35 [Diferencia de tamaño de grano ΔGS]

- Además, en el material de acero inoxidable austenítico de la presente realización, la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de los números de tamaño de grano que se miden en cualquier pluralidad de partes a lo largo de la longitud total del material de acero inoxidable austenítico (denominada diferencia de tamaño de grano ΔGS) es 1,5 o menor. Cuando la diferencia de tamaño de grano ΔGS es superior a 1,5, la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de las resistencias a la tracción que se miden en una pluralidad de partes del material de acero (diferencia de resistencia ΔTS) se vuelve más grande que 50 MPa y la variación en la resistencia a lo largo de la longitud total del material de acero se vuelve grande. Cuando la diferencia de tamaño de grano ΔGS es 1,5 o menor, la diferencia de resistencia ΔTS se vuelve 50 MPa o menos y se suprime la variación de resistencia a lo largo de la longitud total del material de acero. Como resultado, el material de acero inoxidable austenítico de la presente realización tiene una alta resistencia consistente.

- La diferencia de tamaño de grano ΔGS se mide mediante el siguiente método. Desde cualquier pluralidad de partes a lo largo de la longitud total del material de acero inoxidable austenítico en la dirección longitudinal, se toman los mismos especímenes de prueba para la observación microscópica que aquellos descritos anteriormente. Usando cada uno de los especímenes de prueba, el método de ensayo microscópico para el tamaño de grano especificado en la norma ASTM E 112 se realiza de la misma manera que se describe anteriormente y se determina el número de tamaño de grano. De los números de tamaño de grano obtenidos, se seleccionan un valor máximo y un valor mínimo, y la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo se define como la diferencia de tamaño de grano ΔGS . En un caso donde el material de acero inoxidable austenítico es una tubería de acero, una barra de acero, un alambrión o similares, los especímenes de prueba se toman de ambas partes extremas del material de acero en una dirección de trabajo en caliente (dirección de laminación, dirección de extrusión o similares) (una parte superior y una parte inferior) y se determina la diferencia de tamaño de grano ΔGS . En este punto, la parte superior se define como una parte que se extiende desde el extremo frontal del material de acero hacia la parte central del material de acero dentro de un intervalo de 200 mm, y la parte inferior se define como una parte que se extiende desde el extremo posterior del material de acero hacia la porción central del material de acero dentro de un intervalo de 200 mm.

- Cuanto menor sea la diferencia de tamaño de grano ΔGS , más preferible será. Un límite superior de la diferencia de tamaño de grano ΔGS es preferentemente 1,3, más preferentemente 1,0.

[Carbonitruros de aleación]

Al realizar un tratamiento térmico en un material de acero para provocar la precipitación de carbonitruros de aleación gruesa, se produce el fortalecimiento de la precipitación, aumentando la resistencia del material de acero.

- 5 Los carbonitruros de aleación contienen Cr, V, Nb, Mo como un componente principal e incluyen Cr_2N , fase Z, a saber $\text{Cr}(\text{Nb}, \text{V})(\text{C}, \text{N})$ y MX (M: Cr, V, Nb, Mo, X: C, N). Además, los carbonitruros en la presente invención incluyen aquellos cuyos contenidos de C (carbono) son extremadamente bajos, a saber, nitruros. Los carbonitruros de la presente invención también incluyen carburos.
- 10 En la presente realización, el número de carbonitruros de aleación que tienen un diámetro equivalente de círculo de más de 1000 nm (carbonitruros de aleación gruesa) en el acero es de 10 /mm² o más. En este caso, es posible obtener una alta resistencia a la tracción a través del endurecimiento por precipitación. Si el número de carbonitruros de aleación gruesa es excesivamente grande, la tenacidad del acero puede disminuir y, por lo tanto, el límite superior del
- 15 número de carbonitruros de aleación gruesa en el acero es preferentemente $1,5 \times 10^5$ /mm². Al realizar el tratamiento térmico con una temperatura de tratamiento térmico establecida en 930 °C a menos de 1000 °C, es posible obtener 10 /mm² o más de los carbonitruros de aleación gruesa.

[Método para medir el número de carbonitruros de aleación gruesa]

- 20 El número de carbonitruros de aleación gruesa se define como sigue. Se toma una muestra que incluye una parte central de una sección transversal del material de acero inoxidable austenítico, siendo la sección transversal perpendicular a la dirección longitudinal del material de acero inoxidable austenítico (una región de observación que tiene un radio de 10 mm alrededor del eje central del material de acero). La región de observación anterior de la muestra se somete a un pulido de espejo. En lo sucesivo, en cada uno de diez campos visuales (200 μm x 200 μm)
- 25 en la región de observación, los carbonitruros de aleación se identifican a partir de precipitados e inclusiones usando un microscopio electrónico de barrido (MEB) equipado con un espectroscopio de rayos X de dispersión de energía (EDS). En cada campo visual, se determina un diámetro equivalente de círculo de cada uno de los carburos de aleación identificados mediante análisis de imagen. El diámetro equivalente del círculo significa un diámetro (nm) de un círculo en el que se convierte el área de una aleación de carburo en el campo visual. Se cuenta el número de carbonitruros de aleación que tienen diámetros circulares equivalentes superiores a 1000 nm (carbonitruros de aleación gruesa). El
- 30 valor promedio de los carbonitruros de aleación gruesa obtenidos en cada uno de los diez campos visuales se define como el número de carbonitruros de aleación gruesa (/mm²) en la presente memoria descriptiva.

[Método de producción]

- 35 Se hará una descripción de un ejemplo de un método de producción para un material de acero inoxidable austenítico de acuerdo con la presente realización. El presente método de producción incluye una etapa de preparación para preparar un material de partida, una etapa de trabajo en caliente de realizar trabajo en caliente en el material de partida para producir un material intermedio, una etapa de enfriamiento para enfriar el material intermedio sometido al trabajo
- 40 en caliente y, según sea necesario, una etapa de tratamiento térmico para realizar un tratamiento térmico en el material intermedio enfriado. El método de producción se describirá a continuación.

[Etapa de preparación]

- 45 Se produce un acero fundido que tiene la composición química descrita anteriormente. Si es necesario, se realiza un conocido tratamiento de desgasificación en el acero fundido producido. A partir del acero fundido sometido al tratamiento de desgasificación, se produce un material de partida. Los ejemplos del método de producción del material de partida incluyen un proceso de colada continua. Mediante el proceso de colada continua, se produce un material de colada continua (el material de partida). El material de colada continua es, por ejemplo, una losa, un velo, un tocho y similares. El acero fundido puede someterse a un proceso de fabricación de lingotes en un lingote.
- 50

[Etapa de trabajo en caliente]

- 55 El material de partida (material de colada continua o lingote) se somete a trabajo en caliente mediante un método bien conocido para producir el material intermedio del material de acero inoxidable austenítico. Los ejemplos del material intermedio incluyen una tubería de acero, una barra de acero, un alambón y similares. El material intermedio se produce mediante, por ejemplo, trabajado de extrusión en caliente de acuerdo con el proceso Ugine-Sejournet.

En la etapa de trabajo en caliente, una temperatura de calentamiento y una reducción del área son como sigue.

- 60 Temperatura de calentamiento: 1160 °C o menos

- Una temperatura de calentamiento excesivamente alta provoca que los granos se vuelvan más gruesos, con el resultado de que el número de tamaño de grano de las estructuras del acero se vuelve inferior a 6,0. Por lo tanto, la
- 65 temperatura de calentamiento es de 1160 °C o menos. Un límite superior de la temperatura de calentamiento es preferentemente de 1100 °C.

Un límite inferior de la temperatura de calentamiento puede ser una temperatura bien conocida. Una temperatura de calentamiento excesivamente baja hace que los carbonitruros de aleación gruesa sean difíciles de generar incluso con el tratamiento de calentamiento que se describirá más tarde y que se realiza después del trabajo en caliente. En consecuencia, un límite inferior de la temperatura de calentamiento es preferentemente de 1060 °C.

Reducción del área: más del 70 %

Cuando el área en sección transversal del material de partida antes del trabajo en caliente se denota por A0 (mm²) y el área en sección transversal del material de partida después de la operación final del trabajo en caliente se denota por A1 (mm²), una reducción del área RA (%) se define por la Fórmula (1).

$$RA = (A0 - A1) / A0 \times 100 \quad (1)$$

Cuando la reducción anterior del área es el 70 % o menos, la cantidad de deformaciones que deben introducirse en el material de acero se vuelve insuficiente y los granos son difíciles de refinar. Cuando la reducción del área es el 70 % o más, se introduce una cantidad adecuada de deformaciones en el material de acero a través del trabajo en caliente, lo que refina los granos, haciendo que el tamaño de grano sea 6,0 o mayor. Un límite inferior de la reducción del área es preferentemente el 75 %.

Diferencia de temperatura ΔT en el material de partida en el trabajo en caliente: 100 °C o menos

En la etapa de trabajo en caliente, en el material de partida, la diferencia entre la temperatura de una parte para la cual se completa primero el trabajo en caliente, al finalizar el trabajo en caliente, (denominada temperatura inicial) y la temperatura de una parte para la cual se completó por última vez el trabajo en caliente, al finalizar el trabajo en caliente, (denominada temperatura final) (diferencia de temperatura ΔT) es de 100 °C o menos.

Por ejemplo, en el caso de que el producto intermedio se produzca mediante perforación-laminación, extrusión en caliente y laminación en caliente, la parte para la cual se completa primero el trabajo en caliente del material de partida es una parte superior, y la parte para la cual se completa el último trabajo en caliente del material de partida es una parte inferior. Por lo tanto, en este caso, la temperatura inicial es la temperatura de la parte superior al finalizar el trabajo en caliente y la temperatura final es la temperatura de la parte inferior al finalizar el trabajo en caliente.

Cuando la diferencia de temperatura ΔT del material de partida es más grande que 100 °C, la variación de temperatura a lo largo de la longitud total del material de acero se vuelve excesivamente grande. En este caso, el tamaño de grano de la parte superior y el tamaño de grano de la parte inferior difieren significativamente entre sí y la diferencia de tamaño de grano ΔGS se vuelve más grande que 1,5. Como resultado, la diferencia de resistencia ΔTS se hace más grande que 50 MPa.

Cuando la diferencia de temperatura ΔT del material de partida es 100 °C o menos, se suprime la variación en el tamaño de grano entre la parte superior y la parte inferior y la diferencia de tamaño de grano ΔGS se vuelve 1,5 o menos. Como resultado, la diferencia de resistencia ΔTS se vuelve 50 MPa o menos. Un límite superior de la diferencia de temperatura ΔT es preferentemente 90 °C, más preferentemente 80 °C.

[Etapa de enfriamiento]

En la etapa de enfriamiento, el producto intermedio sometido al trabajo en caliente se enfría a 0,10 °C/s o más. Cuando la velocidad de enfriamiento es inferior a 0,10 °C/s, las fases σ precipitan. Las fases σ disminuyen la resistencia a la corrosión. Para aumentar la resistencia a la corrosión, es necesario suprimir la generación de fases σ. Adicionalmente, cuando la velocidad de enfriamiento es inferior a 0,10 °C/s, los granos se hacen gruesos, lo cual disminuye la resistencia del acero. En consecuencia, la velocidad de enfriamiento es de 0,10 °C/s o más.

Sobre el producto intermedio después del enfriamiento, puede realizarse un alisado para alisar los dobleces del producto intermedio. En caso de realizar el alisado, por ejemplo, un alisador está dispuesto en línea o fuera de línea en un lado posterior de un dispositivo de enfriamiento y/o en un lado anterior de un dispositivo de calentamiento.

Sobre el producto intermedio sometido al enfriamiento o al alisado, puede realizarse un tratamiento desincrustante. El tratamiento desincrustante se realiza en forma de, por ejemplo, decapado o granallado. El tratamiento desincrustante se realiza para retirar la cascarilla de óxido que se forma inevitablemente en la superficie del producto intermedio debido al calentamiento en la etapa anterior. A través de las etapas anteriores, se produce el material de acero inoxidable austenítico de la presente realización.

[Etapa de tratamiento térmico]

En la etapa de tratamiento térmico, se provoca que 10 /mm² o más carbonitruros de aleación gruesa precipiten. A través de esta etapa, la resistencia a la tracción del material de acero inoxidable austenítico aumenta aún más. Una

temperatura de tratamiento térmico es como sigue.

Temperatura del tratamiento térmico: de 930 °C a menos de 1000 °C

- 5 Una temperatura de tratamiento térmico de menos de 930 °C conduce a un fallo en la obtención de estructuras de una fase única de austenita, dando como resultado una disminución en la resistencia. La temperatura del tratamiento térmico de menos de 930 °C conduce además a la generación de fases σ , dando como resultado una disminución de la resistencia a la corrosión del acero. Por el contrario, una temperatura de tratamiento térmico de 1000 °C o más provoca que los carbonitruros de aleación gruesa en el acero se vuelvan más pequeños o se disuelvan por completo, y el número de carbonitruros de aleación gruesa se vuelve menos de 10 /mm². Como resultado, no puede obtenerse un endurecimiento por precipitación.

- 15 Una temperatura de tratamiento térmico de 930 °C a menos de 1000 °C provoca la precipitación de carbonitruros de aleación gruesa, y el número de carbonitruros de aleación gruesa se vuelve 10 /mm² o más. Como resultado, se produce el fortalecimiento de la precipitación, aumentando la resistencia del material de acero. Además, una temperatura de tratamiento térmico de menos de 1000 °C provoca que los carbonitruros de aleación gruesa precipiten lo suficiente, con el resultado de que se obtiene una resistencia de 800 MPa o más con estabilidad también cuando el número de tamaño de grano está dentro de un intervalo de 6,0 a menos de 8,0.

- 20 Obsérvese que, incluso si la temperatura del tratamiento térmico cae fuera del intervalo anterior, es posible obtener una alta resistencia siempre que el número de tamaño de grano sea 6,0 o mayor, y el número de carbonitruros de aleación gruesa en el acero sea 10 /mm² o más, y es posible controlar la diferencia de resistencia ΔTS a 50 MPa o menos siempre que la diferencia de tamaño de grano ΔGS sea 1,5 o más pequeña.

- 25 Un tiempo de retención en el tratamiento térmico a la temperatura de tratamiento térmico anterior es, por ejemplo, pero no limitado específicamente a, un minuto o más.

- 30 El método de producción de acuerdo con la presente realización puede incluir una etapa de trabajo en frío para realizar el trabajo en frío, después de la etapa de tratamiento térmico. Sin embargo, el tratamiento térmico en solución sólida no se realiza después de la etapa de trabajo en frío porque existe la posibilidad de no obtener carbonitruros de aleación gruesos.

[Ejemplos]

- 35 Se produjeron aceros fundidos que tenían las composiciones químicas mostradas en la Tabla 1.

[Tabla 1]

TABLA 1

Acero	Composición química (En % en masa, siendo el resto Fe e impurezas)										
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	N	Mo	V	Nb
A	0,03	0,3	4,5	0,02	0,0003	12,0	22,3	0,32	2,1	0,2	0,2
B	0,03	0,4	4,4	0,01	0,0008	12,1	21,9	0,32	2,1	0,2	0,2
C	0,01	0,3	5,2	0,02	0,0002	13,1	22,0	0,32	2,2	0,2	0,2
D	0,01	0,4	5,3	0,01	0,0004	12,9	21,8	0,31	-	-	-
E	0,01	0,3	5,2	0,02	0,0020	13,2	22,0	0,32	-	-	0,1
F	0,03	0,4	4,5	0,02	0,0020	15,6	22,1	0,19	2,1	0,1	0,1

- 40 Usando los aceros fundidos, se produjeron lingotes que pesaban 3400 kg cada uno. Los lingotes se sometieron a trabajo en caliente para producir barras de acero inoxidable austenítico (productos intermedios) (45 a 75 mm de diámetro x 3000 mm de longitud). En el trabajo en caliente, las temperaturas iniciales (temperaturas de las partes superiores al completarse la extrusión en caliente), las temperaturas finales (temperaturas de las partes inferiores al completarse la extrusión en caliente) y las reducciones del área RA (%) fueron aquellas que se muestran en la Tabla 2.

[Tabla 2]

TABLA 2

Número de prueba	Acero	Temperatura de calentamiento (°C)	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Diferencia de temperatura ΔT (°C)	Reducción del Área RA (%)	Tasa de enfriamiento (°C/s)	Temperatura del tratamiento térmico (°C)	Número del tamaño de grano de la parte superior	Número de tamaño de grano de la parte inferior	Diferencia de tamaño de grano ΔGS	Número de carbonitruros de aleación gruesa (mm ²)	Parte superior TS (MPa)	Parte inferior TS (MPa)	Diferencia de resistencia ΔTS (MPa)	TS promedio (MPa)
1	B	1102	1102	1003	99	80.2	1.00	993	7.6	8.3	0.7	141	821.0	840.8	19.8	830.9
2	B	1038	1038	1038	0	88.9	0.70	973	8.9	8.9	0.0	183	860.7	857.4	3.3	859.1
3	D	1150	1150	1101	49	76.0	1.10	994	7.0	7.3	0.3	139	804.5	811.3	6.8	807.9
4	E	1150	1150	1101	49	76.0	0.20	979	7.1	7.3	0.2	170	808.4	817.7	9.3	813.1
5	A	1210	1210	1161	49	91.4	2.10	960	4.3	4.6	0.3	210	751.8	762.3	10.5	757.1
6	A	1180	1180	1147	33	89.2	0.20	1002	4.6	4.8	0.2	122	757.8	778.5	20.7	768.2
7	B	1162	1162	1113	49	93.8	0.50	984	5.8	6.1	0.3	160	773.8	800.1	26.3	787.0
8	C	1150	1150	709	441	12.0	1.00	1029	3.6	5.3	1.7	65	738.2	790.3	52.1	764.3
9	C	1150	1150	1134	16	10.0	0.70	985	5.8	5.9	0.1	158	770.3	777.1	6.8	773.7
10	C	1150	1150	1117	33	90.0	0.07	980	4.8	5.2	0.4	156	777.5	793.2	15.7	785.4
11	C	1130	1130	1048	82	85.0	0.30	600	7.2	7.7	0.5	156400	792.7	799.0	6.3	795.9
12	C	1150	1150	1117	33	97.0	0.90	1200	4.0	4.2	0.2	0	741.6	743.0	1.4	742.3
13	F	1150	1150	1150	0	76.0	0.40	1031	6.1	6.1	0.0	61	730.4	739.3	8.9	734.9
14	A	1140	1140	1124	16	71.0	0.10	1100	6.2	6.3	0.1	0	762.7	768.9	6.2	765.8
15	B	1093	1093	1060	33	76.0	0.50	1097	6.5	6.7	0.2	0	768.3	787.1	18.8	777.7
16	C	1157	1157	1013	144	72.0	0.40	960	6.0	8.8	2.8	210	802.0	860.7	58.7	831.4
17	C	1143	1143	1021	122	71.0	1.20	1046	6.1	8.9	2.8	29	800.5	862.1	61.6	831.3
18	A	1150	1150	1101	49	76.0	1.00	-	6.3	6.8	0.5	0	782.4	795.2	12.8	788.8

Las tuberías de material producido se enfriaron a las velocidades de enfriamiento que se muestran en la Tabla 2. Además, en las tuberías de material enfriado, se realizó el alisado y el tratamiento desincrustante. Adicionalmente, el tratamiento térmico se realizó a las temperaturas de tratamiento térmico que se muestran en la Tabla 2 para producir materiales de acero inoxidable austenítico (tuberías de acero). El tiempo de retención fue 45 minutos. En un número de prueba 18, no se realizó el tratamiento térmico. Obsérvese que la resistencia a la tracción (el tamaño del grano) está altamente influenciada por la temperatura de finalización del trabajo en el trabajo en caliente, hay una tendencia de la parte superior, a una alta temperatura, de tener una alta resistencia (tamaño de grano pequeño) y una tendencia de la parte inferior, a una baja temperatura, de tener una baja resistencia (tamaño de grano grande). Por esa razón, se midieron un valor máximo y un valor mínimo de resistencia a la tracción para cada una de las partes superior e inferior.

[Medición del número de tamaño de grano]

Usando especímenes de prueba tomados de una parte superior y una parte inferior del material de acero producido de cada número de prueba sometido a trabajo en caliente, se realizó una prueba de tamaño de grano basada en la norma ASTM E 112 anterior. Las muestras se tomaron de las posiciones correspondientes a la parte superior y la parte inferior de cada material de acero (partes centrales del espesor de pared). Se determinaron los números de tamaño de grano de la parte superior y la parte inferior y, además, se determinó la diferencia de tamaño de grano ΔGS . Los números de tamaño de grano resultantes y las diferencias de tamaño de grano ΔGS se muestran en la Tabla 2.

[Número de recuento de carbonitruros de aleación gruesa]

A partir de una parte central del espesor de la pared del material de acero de cada número de prueba, se tomó un espécimen de prueba. Usando el espécimen de prueba tomado, se determinó el número de carbonitruros de aleación gruesa (/mm²) por el método anterior.

[Prueba de tensión]

Desde las partes centrales de la parte superior y la parte inferior del material de acero de cada número de prueba, se tomó un espécimen de prueba de tracción de barra redonda. El espécimen de prueba de tracción de barra redonda incluye una parte central del espesor de la pared del material de acero (tubería de acero) y una parte paralela del espécimen de barra redonda era paralela a la dirección longitudinal del material de acero. El diámetro de la parte paralela era de 5 mm. Usando el espécimen de barra redonda, de acuerdo con la norma JIS Z2241 (2011), se realizó una prueba de tensión en la atmósfera a una temperatura normal (25 °C) y se determinaron las resistencias a la tracción TS (MPa) de la parte superior y la parte inferior de cada número de prueba. Además, se determinó la diferencia de resistencia ΔTS (MPa) para cada número de prueba.

[Resultados de la prueba]

La tabla 2 muestra los resultados de la prueba.

Con referencia a la Tabla 2, en cuanto a los aceros de los números de prueba 1 a 4, sus composiciones químicas y condiciones de producción fueron apropiadas. Como resultado, los números de tamaño de grano fueron 6,0 o mayores y las diferencias de tamaño de grano ΔGS fueron 1,5 o menores. Adicionalmente, los números de carbonitruros de aleación gruesa fueron 10 /mm² o más. Por lo tanto, las resistencias a la tracción eran tan altas como 800 MPa o más, además, las diferencias de resistencia ΔTS fueron de 50 MPa o menos y, por lo tanto, se obtuvieron altas resistencias consistentes en todas las longitudes de los materiales de acero.

Por el contrario, en cuanto a los números de prueba 5 a 7, sus composiciones químicas eran apropiadas, pero sus temperaturas de calentamiento en el trabajo en caliente eran excesivamente altas. Por lo tanto, los números de tamaño de grano de la parte superior y/o la parte inferior eran menos de 6,0. Como resultado, las resistencias de los aceros eran menos de 800 MPa, indicando bajas resistencias.

En cuanto al número de prueba 8, su composición química era adecuada, pero su diferencia de temperatura ΔT en el trabajo en caliente fue más grande que 100 °C y su reducción de área fue menos del 70 %. Por lo tanto, el número de tamaño de grano del mismo fue menos de 6,0 y la diferencia de tamaño de grano ΔGS fue más grande que 1,5. Como resultado, la resistencia del acero era menos de 800 MPa, indicando una baja resistencia. Además, la diferencia de resistencia ΔTS fue más grande que 50 MPa, indicando una gran variación en la resistencia.

En cuanto al número de prueba 9, su composición química era adecuada, pero su reducción de área en el trabajo en caliente fue menos del 70 %. Por lo tanto, el número de tamaño de grano era menos de 6,0. Como resultado, la resistencia a la tracción fue menos de 800 MPa, indicando una baja resistencia.

En cuanto al número de prueba 10, su composición química era adecuada, pero su velocidad de enfriamiento después del trabajo en caliente fue menos de 0,10 °C/s. Por lo tanto, el número de tamaño de grano era menos de 6,0. Como

resultado, la resistencia del acero era menos de 800 MPa, indicando una baja resistencia.

5 En cuanto al número de prueba 11, su composición química era adecuada, pero su temperatura de tratamiento térmico después del enfriamiento fue menos de 930 °C. Como resultado, la resistencia del acero era menos de 800 MPa, indicando una baja resistencia.

10 En cuanto al número de prueba 12, su composición química era adecuada, pero su temperatura de tratamiento térmico después del enfriamiento fue excesivamente alta como 1200 °C. Por esta razón, el número de carbonitruros de aleación gruesa era menos de 10 /mm² y el número de tamaño de grano fue menos de 6,0. Como resultado, la resistencia a la tracción fue menos de 800 MPa.

En cuanto al número de prueba 13, el contenido de N era excesivamente bajo. Como resultado, la resistencia a la tracción fue menos de 800 MPa.

15 En cuanto a los números de prueba 14 y 15, sus composiciones químicas eran apropiadas, pero sus temperaturas de tratamiento térmico después del enfriamiento fueron de 1000 °C o más. Por lo tanto, el número de carbonitruros de aleación gruesa fue menos de 10 /mm². Como resultado, las resistencias a la tracción fueron menos de 800 MPa.

20 En cuanto a los números de prueba 16 y 17, sus composiciones químicas eran apropiadas, pero sus diferencias de temperatura ΔT de los materiales de acero en el trabajo en caliente fueron mayores que 100 °C. Por lo tanto, las diferencias de tamaño de grano ΔGS fueron más de 1,5. Como resultado, las diferencias de fuerza ΔTS fueron más de 50 MPa, indicando grandes variaciones en la resistencia.

25 En el número de prueba 18, no se realizó el tratamiento térmico. Por lo tanto, no estaban presentes carbonitruros de aleación gruesa. Como resultado, la resistencia a la tracción fue menos de 800 MPa.

30 Como se ha descrito anteriormente, se ha descrito la realización de acuerdo con la presente invención. Sin embargo, la realización mencionada anteriormente es meramente un ejemplo para poner en práctica la presente invención. Por lo tanto, la presente invención no se limita a la realización anteriormente mencionada y la realización anteriormente mencionada puede modificarse e implementarse según sea apropiado sin apartarse del alcance de la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Un material de acero inoxidable austenítico que comprende:

5 una composición química que consiste en, en porcentaje en masa:

C: el 0,10 % o menos;

Si: del 0,2 al 1,0 %;

Mn: del 3 al 8 %;

10 P: el 0,05 % o menos;

S: el 0,03 % o menos;

Ni: del 10 al 20 %;

Cr: del 15 al 30 %;

N: del 0,20 al 0,70 %;

15 Mo: del 0 al 5,0 %;

V: del 0 al 0,5 %; y

Nb: del 0 al 0,5 %, siendo el resto Fe e impurezas,

20 en donde un número de tamaño de grano conforme a la norma ASTM E 112 es 6,0 o mayor, una resistencia a la tracción es de 800 MPa o más, una diferencia entre un valor máximo y un valor mínimo de la resistencia a la tracción es de 50 MPa o menos y una cantidad de carbonitruros de aleación, incluyendo carburos y nitruros con diámetros circulares equivalentes más grandes que 1000 nm en acero, es de 10 /mm² o más, medidos como se define en la descripción.

25 2. El material de acero inoxidable austenítico de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la composición química contiene uno o dos o más elementos seleccionados del grupo que consiste en:

Mo: del 1,5 al 5,0 %;

V: del 0,1 al 0,5 %; y

30 Nb: del 0,1 al 0,5 %.

3. El material de acero inoxidable austenítico de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde una diferencia entre un valor máximo y un valor mínimo del número de tamaño de grano es 1,5 o más pequeña.

35 4. El material de acero inoxidable austenítico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el material de acero inoxidable austenítico es una tubería de acero, una barra de acero y un alambón.