

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 734 051**

51 Int. Cl.:

<b>C22C 38/00</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/50</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/60</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/54</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/58</b>	(2006.01)	<b>C21D 6/00</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/42</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/02</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/04</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/06</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/44</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/46</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/48</b>	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.06.2016 PCT/JP2016/066695**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **08.12.2016 WO16195106**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.06.2016 E 16803537 (6)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2019 EP 3178958**

54 Título: **Acero inoxidable austenítico**

30 Prioridad:

**05.06.2015 JP 2015114665**

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

**04.12.2019**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**ISEDA, ATSURO;  
OKADA, HIROKAZU;  
SEMBA, HIROYUKI;  
HIRATA, HIROYUKI;  
HAMAGUCHI, TOMOAKI;  
JOTOKU, KANA;  
ONO, TOSHIHIDE y  
TANAKA, KATSUKI**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 734 051 T3

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

**DESCRIPCIÓN**

Acero inoxidable austenítico

**Campo técnico**

La presente invención se refiere a acero inoxidable austenítico.

**5 Técnica anterior**

Ha habido una tendencia creciente desde la década de 1990 en Japón con respecto a una caldera para alta temperatura y alta presión, y la corriente principal actual es una caldera de potencia ultra súper crítica (USC) para una temperatura de vapor de agua por encima de 600°C.

10 En otras partes del mundo, incluyendo Europa o China, se han construido calderas USC altamente eficaces una tras otra desde el punto de vista de la reducción de CO<sub>2</sub> como contramedida ambiental global.

En cuanto al acero como material de origen que se va a utilizar para que un tubo intercambiador de calor genere vapor de agua a alta presión y alta temperatura en una caldera, y para una tubería de una caldera, se ha solicitado un material de acero con una mayor resistencia frente a altas temperaturas y se han desarrollado recientemente varios materiales de acero.

15 Por ejemplo, la Bibliografía relacionada con Patentes 1 describe un acero inoxidable austenítico a base de 18 Cr con una mayor resistencia frente a las altas temperaturas, así como una mayor resistencia a la oxidación con vapor de agua.

La Bibliografía relacionada con Patentes 2 describe un acero inoxidable austenítico con mayor resistencia a la fractura por fatiga térmica por corrosión a altas temperaturas.

20 La Bibliografía relacionada con Patentes 3 describe un acero inoxidable austenítico resistente al calor con mayor resistencia frente a altas temperaturas y resistencia a la oxidación cíclica.

La Bibliografía relacionada con Patentes 4 describe un acero inoxidable austenítico que presenta una tenacidad mayor incluso después de la exposición a un entorno de alta temperatura durante un período prolongado de tiempo.

25 La Bibliografía relacionada con Patentes 5 describe un acero inoxidable austenítico de alta resistencia con una resistencia a la fractura por fluencia a 800°C durante 600 horas a 100 MPa o más.

La Bibliografía relacionada con Patentes 6 describe un método para asegurar una resistencia frente a altas temperaturas (un método para añadir una gran cantidad de N) mediante el cual se añade una gran cantidad de nitrógeno (N) para utilizar el fortalecimiento de la solución sólida y el fortalecimiento de la precipitación con nitruro para compensar la baja resistencia de un acero inoxidable con una baja emisión de carbono.

30 La Bibliografía relacionada con Patentes 7 se refiere a un acero inoxidable austenítico que consiste, en porcentaje en masa, en C: 0,05-0,15%, Si: no más de 2%, Mn: 0,1-3%, P: 0,05-0,30%, S: no más de 0,03%, Cr: 15-28%, Ni: 8-55%, Cu: 0-3,0%, Ti: 0,05-0,6%, REM: 0,001-0,5%, sol. Al: 0,001-0,1%, N: no más de 0,03%, y el resto es Fe e impurezas secundarias.

Bibliografía relacionada con Patentes 1: Patente Japonesa Núm. 3632672

35 Bibliografía relacionada con Patentes 2: Patente Japonesa Núm. 5029788

Bibliografía relacionada con Patentes 3: Patente Japonesa Núm. 5143960

Bibliografía relacionada con Patentes 4: Patente Japonesa Núm. 5547789

Bibliografía relacionada con Patentes 5: Patente Japonesa Núm. 5670103

Bibliografía relacionada con Patentes 6: Patente Japonesa Núm. 3388998

40 Bibliografía relacionada con Patentes 7: EP 1 867 743 A1

**Compendio de la invención**

Problema técnico

45 En general, al diseñar la composición química de un material de acero que se utilizará para un tubo intercambiador de calor utilizado en un intervalo de altas temperaturas y una tubería de una caldera utilizada en un intervalo de altas temperaturas, se da importancia a la resistencia frente a altas temperaturas (por ejemplo, resistencia frente a la fluencia), resistencia a la corrosión a altas temperaturas, resistencia a la oxidación con vapor de agua, resistencia a la

- fatiga térmica, etc., sin embargo, la resistencia a la corrosión en un intervalo de temperatura desde la temperatura normal a aprox. 350°C (por ejemplo, la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión en el agua) es menos valorada. Esto se debe a que hasta ahora la resistencia a la corrosión en un intervalo de temperatura desde la temperatura ambiente a aprox. 350°C, se ha abordado mediante la técnica de fabricación o la técnica de control del funcionamiento.
- 5 Sin embargo, recientemente surge el gran problema de que el agrietamiento por corrosión bajo tensión se produce en el agua en un intervalo desde la temperatura ambiente hasta baja temperatura (aproximadamente 350°C o menos) debido a una estructura metálica no homogénea o una precipitación de carburo heterogénea en una porción procesada por calentamiento tal como una porción soldada o una porción doblada.
- 10 Por ejemplo, durante una prueba de presión hidrostática de una caldera, o una parada de una caldera, ya que el agua se almacena durante un período prolongado de tiempo dentro de los tubos del intercambiador de calor, donde puede ocurrir de manera notable un agrietamiento por corrosión.
- El agrietamiento por corrosión bajo tensión del acero inoxidable puede ocurrir debido a que un límite de grano cristalino se vuelve susceptible a la corrosión selectiva debido a la precipitación de un carburo basado en Cr o la generación de una zona con una baja concentración de Cr (zona con Cr agotado) en las proximidades de un límite de grano cristalino.
- 15 Como método para evitar el agrietamiento por corrosión bajo tensión de un acero inoxidable austenítico basado en 18 Cr, hasta ahora se conocen:
- un método para suprimir la formación de un límite de grano de carburo de Cr mediante reducción de una cantidad de C (un método de adición de baja emisión de carbono),
- 20 un método para suprimir la formación de un límite de grano de carburo de Cr mediante la adición de Nb y Ti, que tienen mayor capacidad para formar un carburo que Cr, para formar un carburo de MC para fijar C (un método de tratamiento térmico estabilizador),
- un método para suprimir la formación de una zona con Cr agotado mediante la adición de Cr al 22% o más para suprimir la corrosión selectiva en un límite de grano (un método para añadir una gran cantidad de Cr), o similar.
- 25 Sin embargo, existe un inconveniente en cualquiera de los métodos.
- En el caso de un método de adición de baja emisión de carbono, existe una tendencia a que no se forme un carburo eficaz para la resistencia frente a altas temperaturas y la resistencia frente a altas temperaturas disminuya.
- En el caso de un método de tratamiento térmico estabilizador, ya que un tratamiento térmico estabilizador se realiza a una temperatura tan baja como aprox. 950°C, la resistencia frente a altas temperaturas, especialmente la resistencia frente a la fluencia tiende a deteriorarse.
- 30 En el caso de un método en el que se añade una gran cantidad de Cr, dado que se debe formar un alto contenido de fase frágil, tal como la fase  $\sigma$ , es necesario añadir una gran cantidad de Ni costoso para la estabilización de una estructura metálica y el mantenimiento de la resistencia frente a altas temperaturas, por lo que el coste de los materiales de origen tiende a aumentar enormemente.
- 35 El método descrito en la Bibliografía relacionada con Patentes 6 (un método para añadir una gran cantidad de N) es un método ideado para reemplazar los métodos convencionales mencionados anteriormente.
- El método de adición de una gran cantidad de N es un método por el cual se añade una gran cantidad de N para utilizar el fortalecimiento de la solución sólida y el fortalecimiento de la precipitación con nitruro para compensar la baja resistencia de un acero inoxidable con baja emisión de carbono.
- 40 Sin embargo, se descubrió que existe el problema de que, de acuerdo con el método de la Bibliografía relacionada con Patentes 6 (el método de adición de una gran cantidad de N), se forma una gran cantidad de nitruro en contra de lo esperado que causa el agrietamiento por corrosión bajo tensión, o de que no se puede obtener suficiente resistencia frente a altas temperaturas en un intervalo de altas temperaturas de 700°C o superior.
- En tales circunstancias, se ha demandado el logro de una mayor resistencia frente a altas temperaturas y una mayor resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión con respecto al acero inoxidable austenítico a base de 18 Cr, sin depender del método de adición de baja emisión de carbono, el método de tratamiento térmico estabilizador, el método de adición de una gran cantidad de Cr y el método de adición de una gran cantidad de N, que son métodos convencionales.
- 45 Un objeto de la invención consiste en proporcionar un acero inoxidable austenítico, que es un acero inoxidable austenítico a base de 18 Cr que asegura una mayor resistencia frente a altas temperaturas y una mayor resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión.
- 50

## ES 2 734 051 T3

### Solución al problema

Los medios para garantizar el objeto incluyen los siguientes aspectos.

<1> Un acero inoxidable austenítico con una composición química que consiste, en términos de % en masa:

- de 0,05 a 0,13% de C,
- 5 de 0,10 a 1,00% de Si,
- de 0,10 a 3,00% de Mn,
- 0,040% o menos de P,
- 0,020% o menos de S,
- de 17,00 a 19,00% de Cr,
- 10 de 12,00 a 15,00% de Ni,
- de 2,00 a 4,00% de Cu,
- de 0,01 a 2,00% de Mo,
- de 2,00 a 5,00% de W,
- de 2,50 a 5,00% de 2Mo + W,
- 15 de 0,01 a 0,40% de V,
- de 0,05 a 0,50% de Ti,
- de 0,15 a 0,70% de Nb,
- de 0,001 a 0,040% de Al,
- de 0,0010 a 0,0100% de B,
- 20 de 0,0010 a 0,0100% de N,
- de 0,001 a 0,20% de Nd,
- 0,002% o menos de Zr,
- 0,001% o menos de Bi,
- 0,010% o menos de Sn,
- 25 0,010% o menos de Sb,
- 0,001% o menos de Pb,
- 0,001% o menos de As,
- 0,020% o menos de Zr+Bi+Sn+Sb+Pb+As,
- 0,0090% o menos de O,
- 30 0,80% o menos de Co,
- 0,20% o menos de Ca,
- 0,20% o menos de Mg,
- 0,20% o menos en total de uno o más de Y, Sc, Ta, Hf, Re o elementos lantánidos distintos de Nd, y
- un remanente que consiste en Fe e impurezas;

35 en donde un contenido de M eficaz  $M_{eff}$  definido por la siguiente Fórmula (1) es de 0,0001 a 0,250%:

$$\text{Contenido de M eficaz } M_{eff} = Nd + 13 \cdot (B - 11 \cdot N / 14) - 1,6 \cdot Zr \quad \text{Fórmula (1)}$$

en donde en la Fórmula (1), cada símbolo de elemento representa un contenido (% en masa) de cada elemento.

$$\text{Contenido de M eficaz Meff} = \text{Nd} + 13 \cdot (\text{B} - 11 \cdot \text{N} / 14) - 1,6 \cdot \text{Zr} \quad \text{Fórmula (1)}$$

en donde en la Fórmula (1), cada símbolo de elemento representa el contenido de cada elemento (% en masa)).

5 <2> El acero inoxidable austenítico de acuerdo con <1>, en donde la composición química comprende, en términos de % en masa, uno o más de: 0,01 a 0,80% de Co, 0,0001 a 0,20% de Ca, o 0,0005 a 0,20% de Mg.

<3> El acero inoxidable austenítico de acuerdo con <1> o <2>, en donde la composición química comprende, en términos de % en masa, 0,001 a 0,20% en total de uno o más de Y, Sc, Ta, Hf, Re o elementos lantánidos distintos de Nd.

10 <4> El acero inoxidable austenítico de acuerdo con uno cualquiera de <1> a <3>, en donde el número de tamaño de grano de ASTM, medido de acuerdo con ASTM E112, de una estructura metálica del mismo es 7 o menos.

<5> El acero inoxidable austenítico de acuerdo con uno cualquiera de <1> a <4>, en donde la resistencia a la fractura por fluencia a 700°C y 10.000 horas es de 140 MPa o más.

15 <6> El acero inoxidable austenítico de acuerdo con uno cualquiera de <1> a <5>, en donde el contenido de M eficaz Meff es de 0,002% a 0,250%.

Efectos ventajosos de la invención

De acuerdo con la invención, se proporciona un acero inoxidable austenítico, que es un acero inoxidable austenítico a base de 18 Cr que asegura una mayor resistencia frente a altas temperaturas y una mayor resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión.

## 20 Descripción de las realizaciones

Las realizaciones de la invención se describirán a continuación.

Un intervalo numérico expresado por "x a y" en la presente memoria incluye los valores de x e y en el intervalo como los valores límite inferior y superior, respectivamente.

25 El contenido de un elemento expresado por "%" y un contenido de M eficaz Meff expresado por "%" significan ambos en la presente memoria "% en masa".

Adicionalmente, el contenido de C (carbono) se puede expresar en la presente memoria ocasionalmente como "contenido de C". El contenido de otro elemento se puede expresar de manera similar.

30 Un acero inoxidable austenítico de la realización (en lo sucesivo, también denominado como "el acero de la realización") es un acero inoxidable austenítico con una composición química que consiste, en términos de % en masa, en: de 0,05 a 0,13% de C, de 0,10 a 1,00% de Si, de 0,10 a 3,00% de Mn, 0,040% o menos de P, 0,020% o menos de S, de 17,00 a 19,00% de Cr, de 12,00 a 15,00% de Ni, de 2,00 a 4,00% de Cu, de 0,01 a 2,00% de Mo, de 2,00 a 5,00% de W, de 2,50 a 5,00% de 2Mo + W, de 0,01 a 0,40% de V, de 0,05 a 0,50% de Ti, de 0,15 a 0,70% de Nb, de 0,001 a 0,040% de Al, de 0,0010 a 0,0100% de B, de 0,0010 a 0,0100% de N, de 0,001 a 0,20% de Nd, 0,002% o menos de Zr, 0,001% o menos de Bi, 0,010% o menos de Sn, 0,010% o menos de Sb, 0,001% o menos de Pb, 0,001% o menos de As, 0,020% o menos de Zr+Bi+Sn+Sb+Pb+As, 0,0090% o menos de O, 0,80% o menos de Co, 0,20% o menos de Ca, 0,20% o menos de Mg, 0,20% o menos en total de uno o más de los elementos Y, Sc, Ta, Hf, Re o elementos lantánidos distintos de Nd, y un remanente compuesto por Fe e impurezas; en donde el contenido de M eficaz Meff definido por la siguiente Fórmula (1) es de 0,0001 a 0,250%.

$$\text{Contenido de M eficaz Meff} = \text{Nd} + 13 \cdot (\text{B} - 11 \cdot \text{N} / 14) - 1,6 \cdot \text{Zr} \quad \text{Fórmula (1)}$$

40 en donde, en la Fórmula (1), cada símbolo de elemento representa el contenido (% en masa) de cada elemento.

La composición química del acero de la realización incluye de 17,00 a 19,00% de Cr.

En otras palabras, el acero de la realización pertenece al acero inoxidable austenítico a base de 18 Cr.

45 Como se describió anteriormente, se demanda que se logre una mayor resistencia frente a altas temperaturas y una mayor resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión para el acero inoxidable austenítico a base de 18 Cr sin depender del método de adición de baja emisión de carbono, el método de tratamiento térmico estabilizador, el método de adición de una gran cantidad de Cr, y el método de adición de una gran cantidad de N, que son métodos convencionales.

De acuerdo con el acero de la realización, la mayor resistencia frente a altas temperaturas y la mayor resistencia al

agrietamiento por corrosión bajo tensión se pueden asegurar sin depender del método de adición de baja emisión de carbono, el método de tratamiento térmico estabilizador, el método de adición de una gran cantidad de Cr y el método de adición de una gran cantidad de N, que son métodos convencionales.

5 Se presume que la razón de que se pueda obtener tal efecto con el acero de la realización es el siguiente, siempre que la invención no esté restringida en modo alguno por la siguiente presunción.

En el caso del acero de la realización, la purificación del límite de grano y la mejora de la resistencia se pueden lograr añadiendo Nd y B combinados en los contenidos respectivos anteriores, y adicionalmente ajustando el contenido de M eficaz Meff en el intervalo anterior.

10 Adicionalmente, en el caso del acero de la realización, la refinación de la pureza se logra limitando los contenidos de Zr, Bi, Sn, Sb, Pb y As, que son impurezas (en lo sucesivo denominadas colectivamente como "6 elementos de impureza"), en los intervalos anteriores.

15 Es concebible que la mayor resistencia frente a altas temperaturas y la mayor resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión se puedan asegurar mediante la purificación del límite del grano, la mejora de la resistencia y la refinación de la pureza sin depender de ninguno del método de adición de baja emisión de carbono, el método de tratamiento térmico estabilizador y el método de añadir una gran cantidad de Cr.

Adicionalmente, en el caso del acero de la realización, es posible que el reforzamiento por precipitación a través de la precipitación de un carburo fino y la precipitación de una fase de Laves fina y estable sea posible al reducir N (nitrógeno) en la medida de lo posible (específicamente a 0,0100% o menos) y añadir W al contenido anterior.

20 Como resultado, en el acero inoxidable austenítico a base de 18 Cr, se puede presumiblemente asegurar una mayor resistencia frente a altas temperaturas sin depender del método de adición de una gran cantidad de N (véase, por ejemplo, Bibliografía relacionada con Patentes 6).

Este hallazgo es un hallazgo novedoso contrario al sentido común hasta ahora.

25 Por lo general, un carburo y una fase de Laves precipitan preferentemente alrededor de un nitruro y sobre un nitruro de límite de grano cristalino para perjudicar la resistencia frente a altas temperaturas y la resistencia a la corrosión. En otras palabras, cuando está presente un nitruro, tanto la precipitación de un carburo fino como la precipitación de una fase de Laves fina y estable se vuelven difíciles, y la resistencia frente a altas temperaturas no mejora. Especialmente, cuando está presente un nitruro de Zr grueso, la precipitación de un carburo fino y la precipitación de una fase de Laves fina y estable se vuelven más difíciles, y, por lo tanto, N y Zr se reducen en la medida de lo posible.

30 Sin embargo, una cantidad traza de N forma un núcleo de precipitación formado por carburo fino, que contribuye a la mejora de la resistencia frente a altas temperaturas. Por lo tanto, en el acero de la realización, N no es un elemento de impureza sino un elemento útil, y se controla en un intervalo de contenido muy bajo (específicamente, de 0,010 a 0,0100%).

35 Al regular el contenido de N en el acero de la realización de 0,0010 a 0,0100%, tanto el fortalecimiento de la precipitación con un carburo fino como el fortalecimiento de la precipitación con una fase de Laves fina y estable se pueden garantizar de manera eficaz. Como resultado, la resistencia frente a altas temperaturas se puede asegurar y la estructura metálica se puede estabilizar en un intervalo de temperatura de 700°C o superior.

En otras palabras, en el acero de la realización, la mejora de la resistencia se puede garantizar sin depender del fortalecimiento de la precipitación con un nitruro, y la estabilización de la estructura metálica se puede garantizar sin formar una fase quebradiza, etc. La técnica no ha sido conocida convencionalmente.

40 En primer lugar, la composición química y su realización preferible del acero de la realización se describirán más abajo, y a continuación será descrito un contenido de M eficaz Meff (Fórmula (1)), etc.

C: de 0,05 a 0,13%

45 El C es un elemento esencial para la formación de un carburo y la estabilización de una estructura austenítica, así como la mejora de la resistencia frente a altas temperaturas y la estabilización de una estructura metálica a altas temperaturas.

Con respecto al acero de la realización, el agrietamiento por corrosión bajo tensión se puede evitar sin utilizar el reforzamiento mediante la adición de N, o sin reducir C.

50 Siempre que el contenido de C sea 0,05% o más, se puede causar, cuando el contenido de C es menos de 0,05%, una mejora de la resistencia frente a la fluencia a altas temperaturas y se vuelve difícil una estabilización de una estructura metálica a altas temperaturas. El contenido de C es preferiblemente 0,06% o más.

Mientras tanto, cuando el contenido de C supera 0,13%, un carburo de Cr grueso precipita en un límite de grano cristalino, lo que puede causar agrietamiento por corrosión bajo tensión o agrietamiento por soldadura para reducir la

## ES 2 734 051 T3

tenacidad. Por lo tanto, el contenido de C es 0,13% o menos, y es preferiblemente 0,12% o menos.

Si: de 0,10 a 1,00%

5 El Si es un elemento que funciona como un agente desoxidante durante la fabricación de acero, y evita la oxidación con vapor de agua a altas temperaturas. Sin embargo, cuando el contenido de Si es de menos de 0,10%, el efecto de adición no se obtiene adecuadamente. Por lo tanto, el contenido de Si es 0,10% o más, y es preferiblemente 0,20% o más.

Mientras tanto, cuando el contenido de Si supera 1,00%, la trabajabilidad disminuye, y una fase frágil, tal como una fase  $\sigma$ , precipita a altas temperaturas. Por lo tanto, el contenido de Si es 1,00% o menos, y es preferiblemente 0,80% o menos.

10 Mn: de 0,10 a 3,00%

El Mn es un elemento que hace que S sea inocuo al formar MnS con S como un elemento de impureza que contribuye a la mejora de la trabajabilidad en caliente, así como a la estabilización de una estructura metálica a altas temperaturas. Sin embargo, cuando el contenido de Mn es menos de 0,10%, el efecto de adición no se obtiene adecuadamente. Por lo tanto, el contenido de Mn es 0,10% o más, y es preferiblemente 0,20% o más.

15 Mientras tanto, cuando el contenido de Mn supera 3,00%, la trabajabilidad y la soldabilidad disminuyen. Por lo tanto, el contenido de Mn es 3,00% o menos, y es preferiblemente 2,60% o menos.

P: 0,040% o menos

El P es un elemento de impureza, que altera la trabajabilidad y la soldabilidad.

20 Cuando el contenido de P supera 0,040%, la trabajabilidad y la soldabilidad disminuyen notablemente. Por lo tanto, el contenido de P es 0,040% o menos, y es preferiblemente 0,030% o menos, y más preferiblemente 0,020% o menos.

Preferiblemente, el contenido de P es lo más bajo posible, y puede ser incluso 0%.

Sin embargo, P puede inevitablemente mezclarse con las materias primas de acero (mineral materia prima, chatarra, etc.), y la reducción del contenido de P por debajo de 0,001% aumentará considerablemente el coste de producción. Por lo tanto, el contenido de P puede ser 0,001% o más desde el punto de vista del coste de producción.

25 S: 0,020% o menos

El S es un elemento de impureza, que altera la trabajabilidad, la soldabilidad y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión.

Cuando el contenido de S supera 0,020%, la trabajabilidad, la soldabilidad y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión disminuyen considerablemente. Por lo tanto, el contenido de S es 0,020% o menos.

30 Incluso en el caso de que se añada S para mejorar el flujo de metal fundido en la soldadura, el contenido de S se añade de 0,020% o menos, y se añade preferiblemente de 0,010% o menos.

Preferiblemente, el contenido de S es lo más bajo posible, y puede ser incluso 0%.

35 Sin embargo, S puede inevitablemente mezclarse con materiales de origen de acero (mineral materia prima, chatarra, etc.) y la reducción del contenido de S por debajo de 0,001% aumentará considerablemente el coste de producción. Por lo tanto, el contenido de S puede ser 0,001% o más desde el punto de vista del coste de producción.

Cr: de 17,00 a 19,00%

El Cr es un elemento principal de un acero inoxidable austenítico a base de 18 Cr, que contribuye a la mejora de la resistencia a la oxidación, la resistencia a la oxidación con vapor de agua y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, así como a la estabilización de la resistencia o estructura metálica con carburo de Cr.

40 Cuando el contenido de Cr es menos de 17,00%, el efecto de adición puede no obtenerse adecuadamente. Por lo tanto, el contenido de Cr es 17,00% o más. El contenido de Cr es preferiblemente 17,30% o más, y más preferiblemente 17,50% o más.

45 Mientras tanto, cuando el contenido de Cr supera 19,00%, se necesita una gran cantidad de Ni para mantener la estabilidad de una estructura austenítica, y adicionalmente se forma una fase frágil para disminuir la resistencia o tenacidad a las altas temperaturas. Por lo tanto, el contenido de Cr es 19,00% o menos. El contenido de Cr es preferiblemente 18,80% o menos, y más preferiblemente 18,60% o menos.

## ES 2 734 051 T3

Ni: de 12,00 a 15,00%

El Ni es un elemento para formar austenita, y como un elemento principal de un acero inoxidable austenítico a base de 18 Cr contribuye a la mejora de la resistencia frente a altas temperaturas y la trabajabilidad, así como a la estabilización de una estructura metálica a altas temperaturas.

- 5 Cuando el contenido de Ni es menos de 12,00%, el efecto de adición no se obtiene adecuadamente, y la formación de una fase frágil (fase  $\sigma$ , etc.) se promueve a altas temperaturas debido a un desequilibrio con el contenido de un elemento formador de ferrita, tal como Cr, W y Mo. Por lo tanto, el contenido de Ni es 12,00% o más. El contenido de Ni es preferiblemente 12,50% o más.

- 10 Mientras tanto, cuando el contenido de Ni supera 15,00%, la resistencia frente a altas temperaturas y la eficacia económica disminuyen. Por lo tanto, el contenido de Ni es 15,00% o menos, y es preferiblemente 14,90% o menos, más preferiblemente 14,80% o menos, y más preferiblemente 14,50% o menos.

Cu: de 2,00 a 4,00%

El Cu es un elemento que precipita como una fase de Cu fina que es estable a altas temperaturas, que contribuye a mejorar la resistencia frente a altas temperaturas.

- 15 Cuando el contenido de Cu es menos de 2,00%, el efecto de adición no se obtiene adecuadamente. Por lo tanto, el contenido de Cu es 2,00% o más, y es preferiblemente 2,20% o más, y más preferiblemente 2,50% o más.

Mientras tanto, cuando el contenido de Cu supera 4,00%, la trabajabilidad, la ductilidad de la fluencia y la resistencia disminuyen. Por lo tanto, el contenido de Cu es 4,00% o menos, y es preferiblemente 3,90% o menos, más preferiblemente 3,80% o menos, y adicionalmente preferiblemente 3,50% o menos.

- 20 Mo: de 0,01 a 2,00%

El Mo es un elemento esencial para mejorar la resistencia a la corrosión, la resistencia frente a altas temperaturas y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión. Adicionalmente, Mo es un elemento que contribuye a la formación de una fase de Laves que es estable a altas temperaturas durante un largo período de tiempo y un carburo, a través de un efecto sinérgico con W que se añade de manera combinada.

- 25 Cuando el contenido de Mo es menos de 0,01%, el efecto de adición no se obtiene adecuadamente. Por lo tanto, el contenido de Mo es 0,01% o más, y es preferiblemente 0,02% o más.

- 30 Mientras tanto, cuando el contenido de Mo supera 2,00%, se forma una gran cantidad de fase frágil para disminuir la trabajabilidad, la resistencia frente a altas temperaturas y la tenacidad. Por lo tanto, el contenido de Mo es 2,00% o menos, y es preferiblemente 1,80% o menos, más preferiblemente 1,50% o menos, y adicionalmente preferiblemente 1,30% o menos.

W: de 2,00 a 5,00%

- 35 El W es un elemento esencial para mejorar la resistencia a la corrosión, la resistencia frente a altas temperaturas y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión. Adicionalmente, es un elemento que contribuye a la precipitación de una fase de Laves estable a altas temperaturas durante un largo período de tiempo y un carburo, a través de un efecto sinérgico con Mo que se añade de manera combinada. Adicionalmente, W es más lento en términos de difusión a altas temperaturas que Mo, y por lo tanto es un elemento que contribuye al mantenimiento estable de la resistencia frente a altas temperaturas durante un largo período de tiempo.

Cuando el contenido de W es menos de 2,00%, el efecto de adición no se obtiene adecuadamente. Por lo tanto, el contenido de W es 2,00% o más, y es preferiblemente 2,10% o más.

- 40 Mientras tanto, cuando el contenido de W supera 5,00%, se forma una gran cantidad de fase frágil para disminuir la trabajabilidad y la resistencia. Por lo tanto, el contenido de W es 5,00% o menos, y es preferiblemente 4,90% o menos, más preferiblemente 4,80% o menos, y adicionalmente preferiblemente 4,70% o menos.

2Mo + W: de 2,50 a 5,00%

- 45 La adición combinada de Mo y W contribuye a la mejora de la resistencia frente a altas temperaturas, la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y la resistencia a la corrosión a altas temperaturas. Cuando 2Mo + W (en donde Mo representa un contenido de Mo, y W representa un contenido de W. Lo mismo se aplica a partir de ahora) es menos de 2,50%, el efecto sinérgico de la adición combinada no se puede obtener adecuadamente. Por lo tanto, 2Mo + W es 2,50% o más, y es preferiblemente 2,60% o más, más preferiblemente 2,80% o más, y adicionalmente preferiblemente 3,00% o más.

- 50 Mientras tanto, cuando 2Mo + W supera 5,00%, la resistencia o tenacidad disminuye, y la estabilidad de una estructura metálica también disminuye a altas temperaturas. Por lo tanto, 2Mo + W es 5,00% o menos, y es preferiblemente

4,90% o menos.

V: de 0,01 a 0,40%

5 El V es un elemento que contribuye a mejorar la resistencia frente a altas temperaturas formando un carburo fino junto con Ti y Nb. Cuando el contenido de V es menos de 0,01%, el efecto de adición no se obtiene adecuadamente. Por lo tanto, el contenido de V es 0,01% o más, y es preferiblemente 0,02% o más.

Mientras tanto, cuando el contenido de V supera 0,40%, la resistencia o la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión disminuyen. Por lo tanto, el contenido de V es 0,40% o menos, y es preferiblemente 0,38% o menos.

Ti: de 0,05 a 0,50%

10 El Ti es un elemento que contribuye a la mejora de la resistencia frente a altas temperaturas formando un carburo fino junto con V y Nb, y contribuye también a la mejora de la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión mediante la supresión de la precipitación de un carburo de Cr en un límite de grano cristalino mediante la fijación de C.

15 En un acero inoxidable austenítico convencional de adición de N, no solo el efecto de la adición de N no se obtiene eficazmente debido a la precipitación de un nitruro en grupos, sino que la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión se reduce debido a la precipitación de un carburo de Cr grueso en un límite de grano.

Los autores de la presente invención han encontrado, con respecto a un acero inoxidable austenítico a base de 18 Cr, que se puede obtener un efecto de acción ventajoso de un carburo de Ti fino mediante el control del contenido de N a un nivel muy bajo, y que, específicamente, una fase de Laves fina precipita utilizando un carburo de Ti fino como núcleo, como resultado de lo cual la resistencia frente a altas temperaturas del acero aumenta notablemente.

20 Cuando el contenido de Ti es menos de 0,05%, el efecto de adición no se obtiene adecuadamente y, por lo tanto, el contenido de Ti es 0,05% o más. La adición combinada de Nb y V es preferible, y el contenido de Ti es preferiblemente 0,10% o más.

25 Mientras tanto, cuando el contenido de Ti supera 0,50%, precipita un producto precipitado grueso para disminuir la resistencia, la tenacidad y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión. Por lo tanto, el contenido de Ti es 0,50% o menos, y es preferiblemente 0,45% o menos.

Nb: de 0,15 a 0,70%

El Nb es un elemento que contribuye a mejorar de la resistencia frente a altas temperaturas formando un carburo fino junto con V y Ti, y también contribuye a la mejora de la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión mediante la supresión de la precipitación de un carburo de Cr en un límite de grano cristalino mediante la fijación de C.

30 Adicionalmente, Nb es, al igual que Ti, un elemento que contribuye a mejorar la resistencia frente a altas temperaturas debido a la precipitación de una fase de Laves fina.

Cuando el contenido de Nb es menos de 0,15%, el efecto de adición no se obtiene adecuadamente. Por lo tanto, el contenido de Nb es 0,15% o más, y es preferiblemente 0,20% o más.

35 Mientras tanto, cuando el contenido de Nb supera 0,70%, precipita un producto precipitado grueso para disminuir la resistencia, la tenacidad y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión. Por lo tanto, el contenido de Nb es 0,70% o menos, y es preferiblemente 0,60% o menos.

Al: de 0,001 a 0,040%

El Al es un elemento que funciona como un elemento desoxidante en la fabricación de acero para purificar el acero.

40 Cuando el contenido de Al es menos de 0,001%, la purificación del acero no se puede garantizar adecuadamente. Por lo tanto, el contenido de Al es 0,001% o más, y es preferiblemente 0,002% o más.

Mientras tanto, cuando el contenido de Al supera 0,040%, se forma una gran cantidad de inclusión no metálica para disminuir la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, la resistencia frente a altas temperaturas, la trabajabilidad, la tenacidad y la estabilidad de una estructura metálica a altas temperaturas. Por lo tanto, el contenido de Al es 0,040% o menos, y es preferiblemente 0,034% o menos.

45 B: de 0,0010 a 0,0100%

50 El B es un elemento para garantizar una mayor resistencia frente a altas temperaturas y una mayor resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión mediante la adición combinada con de Nd, que es un elemento importante en el acero de la realización. Por lo tanto, B es un elemento esencial. B es un elemento que no solo contribuye a mejorar la resistencia frente a altas temperaturas a través de la segregación en un límite de grano cristalino, sino que también contribuye a la formación de un carburo, la micronización de una fase de Laves y la estabilización de una

estructura metálica, que son eficaces para la mejora de la resistencia frente a altas temperaturas.

Adicionalmente, B es un elemento, que hace que N (presente en el acero de la realización a 0,0010 a 0,0100%) sea inocuo como BN, y contribuye a la mejora de la resistencia frente a altas temperaturas y la resistencia a la corrosión bajo tensión.

- 5 Cuando el contenido de B es menos de 0,0010%, no se puede asegurar un B residual, que no se ha consumido como nitruro, es decir, B idóneo que contribuye a mejorar la resistencia frente a altas temperaturas y la resistencia a la corrosión bajo tensión. Como resultado, cuando el contenido de B es menos de 0,0010%, no se obtiene un efecto sinérgico (que se describirá más adelante) de la adición combinada con Nd (y la garantía del contenido de M eficaz), por lo que la resistencia frente a altas temperaturas y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión no mejoran. Por lo tanto, el contenido de B es 0,0010% o más, y es preferiblemente 0,0015% o más.

Mientras tanto, cuando el contenido de B supera 0,0100%, se forma un compuesto de boro que disminuye la trabajabilidad, la soldabilidad y la resistencia frente a altas temperaturas. Por lo tanto, el contenido de B es 0,0100% o menos, y es preferiblemente 0,0080% o menos, y más preferiblemente 0,0060% o menos.

N: 0,0010 a 0,0100%

- 15 El N (nitrógeno) es un elemento útil con respecto a un acero inoxidable austenítico general a base de 18 Cr para mejorar la resistencia frente a altas temperaturas a través del fortalecimiento de la solución sólida y el fortalecimiento de la precipitación con un nitruro. Sin embargo, con respecto al acero de la realización, un nitruro altera la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y, por lo tanto, no se añade N de forma activa.

- 20 Sin embargo, dado que una pequeña cantidad de N forma un núcleo de precipitación para un producto precipitado fino eficaz para mejorar la resistencia frente a altas temperaturas, se permite tal pequeña cantidad de N en el acero de la realización, como se utiliza para formar un núcleo de precipitación para un producto precipitado fino eficaz para la mejora de la resistencia frente a altas temperaturas.

A saber, de acuerdo con el pensamiento fundamental con respecto al acero de la realización, no se añade N de forma activa, pero se permite solo en un pequeño intervalo de contenido, que es diferente de la técnica anterior.

- 25 Cuando el contenido de N es menos de 0,0010%, la formación de un núcleo de precipitación para un producto precipitado fino, que es eficaz para mejorar la resistencia frente a altas temperaturas, es difícil. Por lo tanto, el contenido de N es 0,0010% o más, y es preferiblemente 0,0020% o más, y más preferiblemente 0,0030% o más.

- 30 Mientras tanto, cuando el contenido de N supera 0,0100%, se forma un nitruro para disminuir la resistencia frente a altas temperaturas y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión. Por lo tanto, el contenido de N es 0,0100% o menos, y es preferiblemente 0,0090% o menos, más preferiblemente 0,0080% o menos, y adicionalmente preferiblemente 0,0070% o menos.

Nd: de 0,001 a 0,20%

- 35 El Nd es un elemento para mejorar considerablemente la resistencia frente a altas temperaturas y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión a través de un efecto sinérgico (descrito a continuación) de adición combinada con B.

Con respecto al acero de la realización, como se describió anteriormente, la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión se mejora micronizando un carburo y una fase de Laves eficaz para mejorar la resistencia frente a altas temperaturas, asegurando la estabilidad a largo plazo y adicionalmente fortaleciendo el límite de grano cristalino a través de la adición combinada de Nd y B.

- 40 Sin embargo, dado que la fuerza de unión de Nd con N, O o S es extremadamente fuerte, incluso cuando se añade como Nd metálico, se consume para precipitar como un producto precipitado nocivo, y el efecto de adición apenas se muestra adecuadamente. Por lo tanto, para obtener completamente el efecto de adición, es necesario reducir el contenido de N, el contenido de O y el contenido de S en la medida de lo posible.

- 45 Cuando el contenido de Nd es menos de 0,001%, incluso si el contenido de N, el contenido de O y el contenido de S se reducen, el efecto de adición de Nd no se puede obtener adecuadamente. Por lo tanto, el contenido de Nd es 0,001% o más, y es preferiblemente 0,002% o más, y más preferiblemente 0,005% o más.

- 50 Mientras tanto, cuando el contenido de Nd supera 0,20%, el efecto de adición se satura, y se forma una inclusión a base de óxido, de modo que la resistencia, la trabajabilidad y la economía disminuyen. Por lo tanto, el contenido de Nd es 0,20% o menos, y es preferiblemente 0,18% o menos, más preferiblemente 0,15% o menos, y adicionalmente preferiblemente 0,10% o menos.

Con el fin de garantizar más fácilmente el contenido de M eficaz Meff mencionado anteriormente, el contenido de Nd está preferiblemente en un intervalo de 0,002 a 0,15%, y más preferiblemente de 0,005 a 0,10%.

Con respecto al acero de la realización, Zr, Bi, Sn, Sb, Pb, As y O se tratan como elementos de impureza con el fin de garantizar las características superiores del acero de la realización, y el contenido de los elementos es limitado.

5 Por lo general, como material de origen para un acero inoxidable, se utiliza principalmente chatarra tal como el acero en aleación. La chatarra contiene, aunque con un bajo contenido, Zr, Bi, Sn, Sb, Pb y As (6 elementos de impureza), que se mezclan de manera inevitable en un acero inoxidable (producto).

Adicionalmente, cuando una instalación para la fusión, etc. en un proceso de producción de un acero inoxidable se contamina por la producción de otra aleación, los 6 elementos de impureza pueden mezclarse en un acero inoxidable (producto) de la instalación para la fusión, etc., y en O (oxígeno) permanece inevitablemente en un acero inoxidable.

10 Con respecto al acero de la realización, con el fin de garantizar una mayor resistencia frente a altas temperaturas y una mayor resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, Zr, Bi, Sn, Sb, Pb, As y O deben reducirse en la medida de lo posible para la preparación de un acero de alta pureza.

Zr: 0,002% o menos

15 Generalmente no hay contenido de Zr. Sin embargo, el Zr se puede mezclar a partir de la chatarra, etc. y/o la instalación para la fusión, etc. se puede contaminar por la producción de otra aleación para formar un óxido y un nitruro. El nitruro funciona como un núcleo para la precipitación de un producto precipitado tal como la fase de Laves.

Sin embargo, en un caso en el que un producto precipitado grueso precipita con un núcleo de nitruro, se altera la resistencia frente a altas temperaturas y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión.

20 Como se describió anteriormente, Zr es un elemento nocivo en términos de resistencia frente a altas temperaturas y resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión. Por lo tanto, en una expresión relacional (Fórmula (1)) introducida para garantizar una mayor resistencia frente a altas temperaturas y una mayor resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, se añadió un término de "-1,6·Zr" que expresa un efecto de acción negativa.

Dado que la cantidad de Zr es preferiblemente lo más baja posible, el límite superior del contenido de Zr se establece en 0,002%, que está cerca del límite analítico (0,001%). El contenido de Zr es preferiblemente 0,001% o menos.

25 El contenido de Zr puede ser 0%. Sin embargo, Zr puede ocasionalmente mezclarse inevitablemente a 0,0001% más o menos. Por lo tanto, desde el punto de vista del coste de producción, el contenido de Zr puede ser 0,0001% o incluso más.

Bi: 0,001% o menos

30 Bi es un elemento que generalmente no se encuentra contenido. Sin embargo, Bi se puede mezclar a partir de chatarra, etc. y/o una instalación para la fusión, etc. contaminada por la producción de otra aleación, y altera la resistencia frente a altas temperaturas y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión.

Dado que se requiere que el contenido de Bi se reduzca en la medida de lo posible, el límite superior del contenido de Bi se establece en 0,001%, que es el límite analítico.

35 El contenido de Bi puede ser 0%. Sin embargo, Bi se puede mezclar ocasionalmente de manera inevitablemente a 0,0001% más o menos. Por lo tanto, desde el punto de vista del coste de producción, el contenido de Bi puede ser 0,0001% o incluso más.

Sn: 0,010% o menos

Sb: 0,010% o menos

Pb: 0,001% o menos

As: 0,001% o menos

40 Sn, Sb, Pb y As son elementos que se obtienen mezclados fácilmente a partir de la chatarra, etc. y/o a partir de una instalación para la fusión, etc. contaminada por la producción de otra aleación, y apenas se eliminan en un procedimiento de refinación.

Sin embargo, es necesario que el contenido de los elementos se reduzca en la medida de lo posible.

45 Considerando la composición de los materiales de origen y los límites de la refinación, los límites superiores del contenido de Sn y el contenido de Sb se establecen en 0,010% respectivamente. El contenido de Sn y el contenido de Sb son preferiblemente 0,005% o menos respectivamente.

Adicionalmente, los límites superiores del contenido de Pb y el contenido de As se establecen en 0,001%, respectivamente. Pb y As son preferiblemente 0,0005% o menos respectivamente.

Cualquiera del contenido de Sn, el contenido de Sb, el contenido de Pb y el contenido de As puede ser de 0%.

Sin embargo, los elementos pueden mezclarse inevitablemente a 0,0001% más o menos. Por lo tanto, desde el punto de vista del coste de producción, el contenido de cualquiera de los elementos puede ser 0,0001% o incluso más.

Zr+Bi+Sn+Sb+Pb+As: 0,020% o menos

- 5 En caso de que el acero de la invención contenga inevitablemente Zr, Bi, Sn, Sb, Pb y As (6 elementos de impureza), para garantizar una mayor resistencia frente a altas temperaturas y una mayor resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión a través de un efecto sinérgico de adición combinada de Nd y B, no solo se debe limitar el contenido individual de los 6 elementos de impureza, sino también el contenido total de los 6 elementos de impureza (Zr+Bi+Sn+Sb+Pb+As; en donde cada símbolo de elemento representa el contenido de cada elemento) debe estar limitado a 0,020% o menos para lograr una mayor pureza.

El contenido total de los 6 elementos de impureza en el acero de la realización es 0,020% o menos.

El contenido total de los 6 elementos de impureza es preferiblemente 0,015% o menos, y más preferiblemente 0,010% o menos.

- 15 Mientras tanto, para garantizar una mayor resistencia frente a altas temperaturas y una mayor resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, el contenido total de los 6 elementos de impureza es preferiblemente lo más bajo posible. Por lo tanto, el límite inferior del contenido total de los 6 elementos de impureza es 0%.

O: 0,0090% o menos

El O (oxígeno) que permanece inevitablemente después de refinar un acero fundido es un elemento utilizado como índice del contenido de una inclusión no metálica.

- 20 Cuando O supera 0,0090%, se forma un óxido de Nd para consumir Nd y formar un carburo fino o fase de Laves, por lo que no se puede obtener el efecto de mejora en la resistencia frente a altas temperaturas y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión. Por lo tanto, el contenido de O es 0,0090% o menos, y preferiblemente es 0,0080% o menos, más preferiblemente 0,0070% o menos, y adicionalmente preferiblemente 0,0050% o menos.

- 25 El contenido de O puede ser 0%. Sin embargo, O puede permanecer ocasionalmente después de la refinación, inevitablemente, en 0,0001% más o menos. Por lo tanto, desde el punto de vista del coste de producción, el contenido de O puede ser 0,0001% o incluso más.

La composición química del acero de la realización puede incluir uno o más de Co, Ca o Mg, y/o uno o más de los elementos lantánidos, excepto Nd, Y, Sc, Ta, Hf o Re.

- 30 Cualquiera de los elementos es un elemento opcional y, por lo tanto, el contenido de los mismos puede ser, respectivamente, 0%.

Co: 0,80% o menos

El Co puede convertirse en una fuente contaminante en la producción de otro acero. Por lo tanto, el contenido de Co es 0,80% o menos, y es preferiblemente 0,60% o menos.

- 35 No se requiere que un acero de la realización contenga Co (es decir, el contenido de Co puede ser 0%), sin embargo, desde el punto de vista de una estabilización adicional de una estructura metálica y una mejora de la resistencia frente a altas temperaturas, el Co puede estar contenido.

Cuando el acero de la realización contiene Co, el contenido de Co es preferiblemente 0,01% o más, y más preferiblemente 0,03% o más.

Ca: 0,20% o menos

- 40 El Ca es un elemento opcional, y el contenido de Ca puede ser 0%.

El Ca se puede añadir como un elemento de acabado para la desoxidación. Dado que el acero de la realización contiene Nd, es preferible que el mismo sea desoxidado por Ca en un proceso de refinación. Cuando el acero de la realización contiene Ca, desde el punto de vista de una obtención más eficaz un efecto de desoxidación, el contenido de Ca es preferiblemente 0,0001% o más, y más preferiblemente 0,0010% o más.

- 45 Mientras tanto, cuando el contenido de Ca supera 0,20%, la cantidad de una inclusión no metálica aumenta para disminuir la resistencia frente a altas temperaturas, la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y la tenacidad. Por lo tanto, el contenido de Ca es 0,20% o menos, y es preferiblemente 0,15% o menos.

Mg: 0,20% o menos

El Mg es un elemento opcional, y el contenido de Mg puede ser 0%.

5 El Mg es un elemento que contribuye a la mejora de la resistencia frente a altas temperaturas o la resistencia a la corrosión mediante la adición de una pequeña cantidad del mismo. Cuando el acero de la realización contiene Mg, desde el punto de vista de una obtención más eficaz del efecto, el contenido de Mg es preferiblemente 0,0005% o más, y más preferiblemente 0,0010% o más.

Mientras tanto, cuando el contenido de Mg supera 0,20%, la resistencia, la tenacidad, la resistencia a la corrosión y la soldabilidad disminuyen. Por lo tanto, el contenido de Mg es 0,20% o menos, y es preferiblemente 0,15% o menos.

El total de uno o más de Y, Sc, Ta, Hf, Re o elementos lantánidos que no sean Nd: 0,20% o menos

10 Cualquiera de Y, Sc, Ta, Hf, Re y elementos lantánidos distintos de Nd (a saber, La, Ce, Pr, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb y Lu) es un elemento opcional, y el contenido total de los elementos puede ser 0%.

15 Aunque Y, Sc, Ta, Hf, Re y elementos lantánidos distintos de Nd son costosos, son elementos que actúan para mejorar el efecto sinérgico de la adición combinada de Nd y B. Cuando el acero de la realización contiene uno o más de los elementos, el contenido total de los elementos es preferiblemente 0,001% o más, y más preferiblemente 0,005% o más.

Mientras tanto, cuando el contenido total de Y, Sc, Ta, Hf, Re y elementos lantánidos distintos de Nd supera 0,20%, la cantidad de una inclusión no metálica aumenta para disminuir la resistencia, tenacidad, resistencia a la corrosión y soldabilidad. Por lo tanto, el contenido total es 0,20% o menos, y es preferiblemente 0,15% o menos.

20 Un remanente que excluye los elementos mencionados anteriormente de la composición química del acero de la realización es Fe e impurezas.

Las impurezas a las que se hace referencia en la presente memoria significan uno o más elementos distintos de los elementos mencionados anteriormente. El contenido de los elementos (impurezas) distintos de los elementos mencionados anteriormente está preferiblemente limitado a 0,010% o menos respectivamente, y más preferiblemente a 0,001% o menos.

25 Con respecto a la composición química del acero de la realización, un contenido de M eficaz Meff definido por la siguiente Fórmula (1) es de 0,0001 a 0,250%.

El contenido de M eficaz Meff se describirá a continuación.

$$\text{Contenido de M eficaz Meff} = \text{Nd} + 13 \cdot (\text{B} - 11 \cdot \text{N} / 14) - 1,6 \cdot \text{Zr} \quad \text{Fórmula (1)}$$

en donde en la Fórmula (1), cada símbolo de elemento representa el contenido (% en masa) de cada elemento.

30 El contenido de M eficaz Meff es un índice que define una relación cuantitativa entre Nd y B, que son esenciales para mejorar la resistencia frente a altas temperaturas y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión.

La fórmula (1) que define un contenido de M eficaz Meff es una expresión relacional descubierta por los autores de la presente invención desde el punto de vista de la seguridad de una mayor resistencia frente a altas temperaturas y una mayor resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión.

35 La fórmula (1) es básicamente una expresión relacional, en la cual el contenido de Nd funciona de manera eficaz para garantizar una mayor resistencia frente a altas temperaturas y una mayor resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, se añade el contenido de B también para que funcione eficazmente y resta el contenido de Zr para que funcione de manera nociva para la seguridad de una mayor resistencia frente a altas temperaturas y una mayor resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión.

40 Con respecto al acero de la realización, N se reduce en la medida de lo posible para suprimir la formación de un nitruro con el fin de asegurar una mayor resistencia frente a altas temperaturas y una mayor resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión.

45 Sin embargo, cuando un acero se produce industrialmente, una cierta cantidad de N se mezcla inevitablemente en el acero. Si el N mezclado en el acero forma BN, no se puede obtener la función de B. Por lo tanto, es necesario asegurarse de que B no se une con N.

En la Fórmula (1) que define un contenido de M eficaz Meff, el radical de "(B-11·N/14)" representa el contenido de B que funciona eficazmente (es decir, el contenido de B que no está unido a N, entre el B que se ha añadido).

En la fórmula (1), "(B-11·N/14)" (el contenido de B no unido a N) se multiplica por 13 a "13·(B-11·N/14)" para ponderar el contenido de B que funciona eficazmente. En este sentido, 13 es una razón del peso atómico de Nd (≈144) con

respecto al peso atómico de B ( $\approx 11$ ).

En la Fórmula (1), " $13 \cdot (B - 11 \cdot N / 14)$ " obtenido como se indica arriba se añade al contenido de Nd (" $Nd + 13 \cdot (B - 11 \cdot N / 14)$ "). Nd es un elemento que funciona eficazmente de manera similar a B para asegurar una mayor resistencia frente a altas temperaturas y una mayor resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión.

- 5 En la Fórmula (1), además de " $Nd + 13 \cdot (B - 11 \cdot N / 14)$ ", hay un término " $-1,6 \cdot Zr$ " para restar el contenido de Zr que es nocivo para la seguridad de una mayor resistencia frente a altas temperaturas y mayor resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión.

El elemento de impureza Zr, al formar un nitruro y un óxido, funciona reduciendo el efecto sinérgico de la adición combinada de Nd y B.

- 10 En la Fórmula (1), el efecto de reducción de Zr se pondera multiplicando el contenido de Zr por 1,6 ( $\approx 144/91$ ), que es la razón del peso atómico de Nd ( $\approx 144$ ) con respecto al peso atómico de Zr ( $\approx 91$ ), hasta " $1,6 \cdot Zr$ ".

En la Fórmula (1) " $1,6 \cdot Zr$ " se resta de " $Nd + 13 \cdot (B - 11 \cdot N / 14)$ ".

- 15 Como se describió anteriormente, las cantidades de adición de Nd y B necesarias para obtener una mayor resistencia frente a altas temperaturas y una mayor resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, y la cantidad limitada de Zr que es nociva para la seguridad de una mayor resistencia frente a altas temperaturas y una mayor resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión se pueden cuantificar por el contenido de M eficaz Meff definido por la Fórmula (1) (los ejemplos específicos se describirán en Ejemplos con detalle).

- 20 Cuando el contenido de M eficaz Meff es menos de 0,0001%, es difícil lograr una mayor resistencia frente a altas temperaturas y una mayor resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión. Por lo tanto, el contenido de M eficaz Meff es 0,0001% o más, y es preferiblemente 0,001% o más, más preferiblemente 0,002% o más, y adicionalmente preferiblemente 0,010% o más.

En este sentido, cuando el contenido de N o el contenido de Zr es alto, el contenido de M eficaz Meff puede adoptar un valor negativo.

- 25 Mientras tanto, cuando el contenido de M eficaz Meff supera 0,250%, el efecto de mejora sobre la resistencia frente a altas temperaturas y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión de acuerdo con el contenido de M eficaz Meff está saturado y la economía disminuye, y además la resistencia, tenacidad, trabajabilidad y soldabilidad disminuyen. Por lo tanto, el contenido de M eficaz Meff es 0,250% o menos, y es preferiblemente 0,200% o menos, y más preferiblemente 0,150% o menos.

No hay una restricción particular en la estructura metálica del acero de la realización.

- 30 La estructura metálica del acero de la realización es preferiblemente una estructura metálica de grano grueso desde el punto de vista de la mejora de la resistencia frente a altas temperaturas (por ejemplo, la resistencia frente a la fluencia a altas temperaturas entre 700°C y 750°C).

Específicamente, con respecto al acero de la realización, el número de tamaño de grano ASTM de la estructura metálica del mismo es preferiblemente de 7 o menos.

- 35 Cuando la estructura metálica del acero de la realización es una estructura de grano grueso con un número de tamaño de grano ASTM de 7 o menos, se puede posiblemente obtener el efecto de supresión del deslizamiento del límite de grano en la fluencia, el cambio en la estructura metálica por la difusión del elemento a través del límite de grano cristalino, y la formación de un sitio de precipitación para una fase  $\sigma$ .

- 40 Por lo tanto, desde el punto de vista de la mejora de la resistencia frente a altas temperaturas, es preferible que la estructura metálica del acero de la realización sea una estructura de grano grueso con un número de tamaño de grano ASTM de 7 o menos.

Mientras tanto, en el caso de un acero convencional, cuando la estructura metálica de un acero es una estructura metálica de grano grueso, es probable que se produzca agrietamiento por corrosión bajo tensión debido a la segregación de un elemento de impureza en un límite de grano cristalino.

- 45 Sin embargo, en el caso del acero de la realización, la segregación de un elemento de impureza en un límite de grano cristalino se reduce debido a una mayor purificación. Por lo tanto, con respecto al acero de la realización, incluso con una estructura metálica de grano grueso (por ejemplo, una estructura metálica con un número de tamaño de grano ASTM de 7 o menos), se suprime el agrietamiento por corrosión bajo tensión (es decir, se puede mantener la mayor resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión).

- 50 Desde los puntos de vista anteriores, el número de tamaño de grano ASTM de la estructura metálica del acero de la realización es preferiblemente de 7 o menos, y más preferiblemente de 6 o menos.

No hay una restricción particular en el límite inferior del número de tamaño de grano ASTM de una estructura metálica. Desde el punto de vista de la supresión de la disminución de la ductilidad de la fluencia y el agrietamiento por soldadura, el límite inferior del número de tamaño de grano ASTM de una estructura metálica es preferiblemente 3.

5 Un acero de la realización tiene una resistencia frente a altas temperaturas superior (especialmente, resistencia a la ruptura por fluencia) como se describe anteriormente.

No hay una restricción particular en el intervalo específico de la resistencia frente a altas temperaturas del acero de la realización. La resistencia a la fractura por fluencia a 700°C y 10.000 horas del acero de la realización es preferiblemente de 140 MPa o más.

En este sentido, 700°C es una temperatura más alta que la temperatura de utilización real.

10 Por lo tanto, la resistencia a la fractura por fluencia a 700°C y 10.000 horas de 140 MPa o más significa que la característica de alta temperatura es notablemente superior.

15 Específicamente, una resistencia frente a altas temperaturas a la cual la resistencia a la fractura por fluencia es de 140 MPa o más a 700°C y 10.000 horas es una resistencia frente a altas temperaturas que es notablemente superior a un acero 347H (18 Cr-12Ni-Nb), que se utiliza ampliamente en el mundo como un acero inoxidable austenítico a base de 18 Cr convencional (véase, por ejemplo, Acero de la Invención 1 a 20, y Acero Comparativo 21 en la Tabla 3 a continuación).

Se puede lograr fácilmente una resistencia a la fractura por fluencia inferior a 140 MPa mediante la extensión de la técnica convencional, sin embargo, es difícil lograr una resistencia a la fractura por fluencia de 140 MPa o más por simple extensión de la técnica anterior.

20 Por el contrario, en el caso del acero de la realización, se pueden conseguir una resistencia a la fractura por fluencia de 140 MPa o más a 700°C, que es más alta que la temperatura de servicio real, y 10.000 horas (mayor resistencia frente a altas temperaturas) mediante una precipitación fina de un carburo y una fase de Laves, la fase de Laves precipita durante la fluencia, mediante la optimización de la composición química, la optimización del contenido de M eficaz Meff por el contenido de Nd y el contenido de B, mayor grado de purificación al limitar la cantidad de elementos de impureza, etc.

25 No hay una restricción particular sobre el método para producir el acero de la realización, y se puede adoptar apropiadamente un método conocido públicamente para producir un acero inoxidable austenítico.

Un acero de la realización puede ser una placa de acero tratada térmicamente o un tubo o tubería de acero tratados térmicamente.

30 Desde el punto de vista de la fácil formación de una estructura de grano grueso y la fácil mejora de la resistencia frente a altas temperaturas (por ejemplo, resistencia a la fractura por fluencia), la temperatura de calentamiento del tratamiento térmico es preferiblemente de 1050 a 1250°C, más preferiblemente de 1150°C a 1250°C.

35 Aunque no hay una restricción particular sobre el modo de enfriamiento después del calentamiento durante el tratamiento térmico, y son aceptables cualquiera de extinción (por ejemplo, enfriamiento con agua) y enfriamiento con aire, es preferible la extinción, y más preferible el enfriamiento con agua.

40 La placa de acero tratada térmicamente o el tubo o tubería de acero tratados térmicamente se obtienen, por ejemplo, preparando una placa de acero o tubo o tubería de acero que tienen una composición química del acero de la realización mencionado anteriormente, calentando a continuación la placa de acero preparada o el tubo o tubería de acero preparados, por ejemplo, de 1050 a 1250°C (preferiblemente de 1150°C a 1250°C), y enfriando después los mismos.

La placa de acero o el tubo o tubería de acero que tienen la composición química (una placa de acero o un tubo o tubería de acero antes de un tratamiento térmico) se pueden preparar de acuerdo con un método común.

45 Se pueden preparar un tubo o tubería de acero que tienen la composición química, por ejemplo, moldeado un acero fundido que tiene la composición química para formar un lingote de acero o una palanquilla de acero, y realizando al menos un tipo de procesamiento seleccionado del grupo que consiste en extrusión en caliente, laminación en caliente, forja en caliente, estirado en frío, laminación en frío, forja en frío y corte, sobre el lingote de acero o palanquilla de acero obtenidos.

En lo anteriormente expuesto se ha descrito el acero de la realización.

50 No hay una restricción particular en la aplicación del acero de la realización, y el acero de la realización puede aplicarse a cualquier aplicación que exija garantizar resistencia frente a altas temperaturas y resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión.

El acero de la realización es un material de acero adecuado para, por ejemplo, un tubo o tubería intercambiador de

calor para una caldera resistente al calor y resistente a la presión, una planta química o similar; un producto forjado resistente al calor; una barra de acero resistente al calor; o una placa de acero resistente al calor.

5 El acero de la realización es un material de acero especialmente adecuado para colocar un tubo del intercambiador de calor resistente al calor y resistente a la presión dentro de una caldera (por ejemplo, un tubo del intercambiador de calor resistente al calor y resistente a la presión con un diámetro exterior de 30 a 70 mm, y un espesor de 2 a 15 mm), o una tubería de caldera (por ejemplo, una tubería con un diámetro exterior de 125 a 850 mm y un espesor de 20 a 100 mm).

**Ejemplos**

10 A continuación, se describirán los Ejemplos de la invención, pero las condiciones en los Ejemplos son solo ejemplos de las condiciones adoptadas para confirmar la viabilidad y la eficacia de la invención, y la invención no se limita a tales ejemplos de condiciones. De hecho, pueden adoptarse muchas condiciones alternativas para la invención, en la medida en que estén dentro del alcance de las reivindicaciones.

En los Ejemplos, se produjeron por fusión 30 tipos de acero, cuyas composiciones químicas se muestran en la Tabla 1 y la Tabla 2 (Continuación de la Tabla 1).

15 En la Tabla 1 y la Tabla 2, los Aceros 1 a 20 son Aceros de la Invención que son ejemplos de la invención (en lo sucesivo, también denominados "Aceros de la Invención 1 a 20" respectivamente), y los Aceros 21 a 30 son Aceros Comparativos que son ejemplos comparativos (en lo sucesivo también conocidos como "Aceros Comparativos 21 a 30" respectivamente).

20 El Acero Comparativo 21 es un acero de uso general 347H (18Cr-12Ni-Nb) y es un material convencional para la comparación entre la técnica anterior y los Aceros de la Invención 1 a 20.

25 En los Aceros de la Invención 1 a 20 de producción en estado fundido, como fuente de Fe, se utilizó Fe de alta pureza obtenido mediante fusión en un alto horno y un convertidor y refinación secundaria mediante un proceso de desgasificación de oxígeno a vacío, y como elemento de aleación, se utilizó un elemento de aleación de alta pureza analizado previamente. Adicionalmente, antes de la producción por fusión de cualquiera de los Aceros de la Invención 1 a 20, se lavó adecuadamente el horno para la producción por fusión de los Aceros de la Invención 1 a 20 y se tuvo especial cuidado de evitar la contaminación con impurezas.

Bajo el anterior control especial, en la producción de Aceros de la Invención 1 a 20, se limitó específicamente el contenido de los 6 elementos de impureza (específicamente, Zr, Bi, Sn, Sb, Pb y As), el contenido de O, el contenido de N y similares, y se regularon el contenido de Nd y el contenido de B dentro de un intervalo apropiado.

30 En los Aceros Comparativos 23 a 30 de producción en estado fundido, también se utilizó la fuente de Fe de alta pureza. Adicionalmente, en los Aceros Comparativos 23 a 30 de producción en estado fundido, las composiciones químicas se ajustaron de la siguiente manera.

En los Aceros Comparativos 21, 23, 24, 27 y 29 de producción en estado fundido se añadió intencionadamente al menos uno de los 6 elementos de impureza y O (oxígeno).

35 En los Aceros Comparativos 21, 24 y 26 de producción en estado fundido, se añadió intencionadamente N (nitrógeno).

En los Aceros Comparativos 21 a 23, 25, 27 y 28 de producción en estado fundido, no se añadió al menos uno de B o Nd.

En el Acero Comparativo 21 de producción en estado fundido, se añadió un contenido insuficiente de Cu y no se añadieron Mo, W, V y Ti.

40 En el Acero Comparativo 30 de producción en estado fundido, se añadió un contenido insuficiente de W.

[Tabla 1]

Clase	Acero	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	W	2Mo + W	V	Ti	Nb	Al
	1	0,09	0,20	0,80	0,015	0,001	18,10	14,20	3,01	0,10	4,02	4,22	0,03	0,20	0,21	0,008
	2	0,08	0,35	1,50	0,025	0,002	18,52	14,85	3,52	0,78	2,57	4,13	0,02	0,35	0,52	0,015
	3	0,06	0,12	1,25	0,019	0,001	17,58	12,12	2,42	0,05	3,21	3,31	0,08	0,06	0,42	0,005
	4	0,12	0,22	0,56	0,008	0,003	18,02	13,85	2,88	0,02	3,11	3,15	0,15	0,22	0,69	0,002

ES 2 734 051 T3

Clase	Acero	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	W	2Mo + W	V	Ti	Nb	Al	
Acero de la Invencción	5	0,07	0,38	0,21	0,020	0,001	18,03	14,00	3,02	0,32	2,05	2,69	0,05	0,30	0,25	0,022	
	6	0,11	0,15	2,45	0,006	0,001	18,41	13,92	3,45	0,02	3,21	3,25	0,38	0,06	0,66	0,013	
	7	0,10	0,41	0,86	0,029	0,005	17,99	12,79	2,89	0,04	3,89	3,97	0,02	0,25	0,34	0,007	
	8	0,08	0,20	1,52	0,012	0,010	18,07	13,24	3,14	1,22	2,01	4,45	0,04	0,33	0,44	0,015	
	9	0,06	0,56	1,68	0,020	0,003	17,65	13,71	3,25	0,30	3,00	3,60	0,03	0,45	0,31	0,024	
	10	0,12	0,39	0,98	0,017	0,001	18,61	14,68	3,06	0,68	3,01	4,37	0,10	0,21	0,55	0,005	
	11	0,06	0,50	1,00	0,022	0,018	18,00	14,22	2,90	1,23	2,01	4,47	0,28	0,38	0,63	0,038	
	12	0,08	0,11	0,73	0,025	0,010	17,42	13,87	3,37	0,02	3,25	3,29	0,33	0,08	0,55	0,017	
	13	0,06	0,20	0,32	0,029	0,003	17,69	12,88	2,87	0,08	4,72	4,88	0,19	0,11	0,35	0,009	
	14	0,11	0,35	0,21	0,010	0,007	18,21	14,53	2,99	0,50	3,21	4,21	0,26	0,28	0,41	0,010	
	15	0,09	0,45	1,05	0,023	0,001	18,10	14,01	3,10	0,31	3,79	4,41	0,17	0,37	0,42	0,031	
	16	0,07	0,30	1,22	0,011	0,002	17,93	13,70	2,69	0,08	3,52	3,68	0,16	0,10	0,39	0,019	
	17	0,12	0,26	0,69	0,028	0,001	17,88	12,55	3,82	0,05	4,11	4,21	0,20	0,28	0,60	0,025	
	18	0,06	0,46	1,40	0,027	0,004	18,09	14,74	2,99	1,21	2,13	4,55	0,14	0,33	0,28	0,033	
	19	0,09	0,35	0,28	0,008	0,001	18,01	14,12	3,11	0,55	3,33	4,43	0,05	0,17	0,37	0,009	
	20	0,08	0,17	0,72	0,005	0,001	17,87	13,73	2,74	0,15	2,97	3,27	0,02	0,34	0,42	0,020	
	Acero Comparativo	21	0,09	0,45	1,53	0,026	0,001	18,52	12,06	<u>0,01</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	0,65	0,001
		22	0,08	0,35	1,23	0,028	0,002	17,95	12,01	2,45	0,01	4,03	4,05	0,01	0,06	0,45	0,015
		23	0,06	0,45	0,58	0,025	0,005	17,56	13,04	3,10	0,01	3,52	3,54	0,02	0,07	0,32	0,036
		24	0,07	0,37	0,23	0,015	0,001	17,06	12,14	2,02	0,33	2,03	2,69	0,02	0,35	0,24	0,001
25		0,13	0,69	1,23	0,028	0,015	17,53	12,23	2,10	0,03	2,51	2,57	0,01	0,06	0,15	0,006	
26		0,11	0,36	0,14	0,028	0,009	17,23	12,03	2,04	0,52	2,23	3,27	0,01	0,05	0,16	0,004	
27		0,08	0,25	0,36	0,017	0,001	18,20	12,01	2,53	0,20	2,22	2,62	0,02	0,06	0,20	0,012	
28		0,07	0,89	0,15	0,032	0,005	18,02	13,01	2,03	1,12	2,03	4,27	0,05	0,06	0,23	0,035	
29		0,12	0,15	0,32	0,028	0,001	18,30	12,80	3,21	0,05	2,13	<u>2,23</u>	0,10	0,11	0,17	0,021	
30		0,10	0,92	0,40	0,029	0,001	17,52	12,63	2,78	0,48	<u>1,81</u>	2,77	0,05	0,13	0,20	0,022	

ES 2 734 051 T3

[Tabla 2]

(Continuación de Tabla 1)														
Clase	Acero	B	N	Nd	Meff	Zr	Bi	Sn	Sb	Pb	As	Sub-total (X)	O	Otros
Acero de la Invencción	1	0,0040	0,0080	0,18	0,149	0,001	<0,001	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	0,006	0,0021	
	2	0,0015	0,0025	0,01	0,004	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0	0,0030	Co:0,40
	3	0,0052	0,0098	0,15	0,118	<0,001	<0,001	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	0,005	0,0056	
	4	0,0033	0,0053	0,02	0,007	0,001	<0,001	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	0,004	0,0086	La:0,01
	5	0,0055	0,0015	0,18	0,235	0,001	<0,001	0,005	0,002	<0,001	<0,001	0,008	0,0050	Ce:0,18
	6	0,0018	0,0085	0,08	0,015	0,001	<0,001	0,009	<0,001	<0,001	<0,001	0,010	0,0045	
	7	0,0023	0,0056	0,07	0,043	<0,001	<0,001	0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,0078	Mg:0,0015
	8	0,0047	0,0088	0,05	0,021	<0,001	<0,001	0,009	<0,001	<0,001	<0,001	0,009	0,0088	
	9	0,0023	0,0065	0,04	0,004	<0,001	<0,001	0,008	0,005	<0,001	<0,001	0,013	0,0078	Ta:0,15, Y:0,003
	10	0,0036	0,0074	0,11	0,080	0,001	<0,001	0,005	0,001	<0,001	<0,001	0,007	0,0063	
	11	0,0010	0,0090	0,09	0,011	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,0060	Pr:0,002, Ca:0,002
	12	0,0035	0,0075	0,06	0,029	<0,001	<0,001	0,007	0,001	<0,001	<0,001	0,008	0,0038	Ca:0,0005
	13	0,0044	0,0042	0,02	0,033	0,001	<0,001	0,005	0,001	<0,001	<0,001	0,007	0,0047	
	14	0,0036	0,0035	0,07	0,079	0,001	<0,001	0,005	0,002	<0,001	<0,001	0,008	0,0055	Re:0,010
	15	0,0025	0,0050	0,09	0,071	<0,001	<0,001	0,008	<0,001	<0,001	<0,001	0,008	0,0068	Mg:0,0012, Co:0,20 Hf:0,002
	16	0,0017	0,0063	0,10	0,058	<0,001	<0,001	0,005	0,001	<0,001	<0,001	0,006	0,0089	
	17	0,0029	0,0075	0,08	0,039	0,001	<0,001	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	0,006	0,0064	
	18	0,0038	0,0081	0,05	0,017	<0,001	<0,001	0,008	<0,001	<0,001	<0,001	0,008	0,0041	
	19	0,0017	0,0087	0,07	0,002	0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	0,003	0,0077	Sc:0,002
	20	0,0026	0,0077	0,08	0,035	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0	0,0084	
Acero Comparativo	21	<u>0</u>	<u>0,0110</u>	<u>0</u>	<u>-0,114</u>	0,001	<0,001	0,002	0,003	<0,001	<0,001	0,006	<u>0,0102</u>	
	22	0,0023	0,0063	0	<u>-0,036</u>	0,001	<0,001	0,002	0,001	<0,001	0,001	0,005	0,0089	
	23	0,0010	0,0073	0	<u>-0,070</u>	<u>0,005</u>	<0,001	0,005	0,001	0,001	0,001	0,013	0,0088	
	24	0,0017	<u>0,0105</u>	0,10	0,013	0,001	<0,001	0,001	0,001	0,001	<0,001	0,004	<u>0,0170</u>	
	25	0,0100	0,0098	0	0,027	0,002	<0,001	<0,001	0,002	0,001	0,001	0,006	0,0087	
	26	0,0068	<u>0,0530</u>	0,02	<u>-0,433</u>	<0,001	<0,001	0,008	0,001	<0,001	<0,001	0,009	0,0085	
	27	0,0047	0,0055	0	<u>-0,009</u>	<u>0,010</u>	<u>0,010</u>	<u>0,013</u>	0,002	<u>0,003</u>	<0,001	<u>0,038</u>	0,0089	
	28	<u>0</u>	0,0070	0,15	0,075	0,002	<0,001	0,005	0,001	<0,001	<0,001	0,008	0,0085	
	29	0,0028	0,0089	0,10	0,034	<u>0,007</u>	<0,001	0,004	0,008	<0,001	<0,001	0,019	0,0079	

## ES 2 734 051 T3

(Continuación de Tabla 1)														
Clase	Acero	B	N	Nd	Meff	Zr	Bi	Sn	Sb	Pb	As	Sub-total (X)	O	Otros
	30	0,0037	0,0078	0,11	0,077	0,001	<0,001	0,002	0,005	0,001	<0,001	0,009	0,0075	

- Explicación de la Tabla 1 y la Tabla 2 -

Un valor numérico representa el contenido de cada elemento (% en masa).

Un valor numérico subrayado es un valor fuera del intervalo de la composición química de la realización.

5 Un remanente de cada acero que excluye los elementos enumerados en la Tabla 1 y la Tabla 2 es Fe e impurezas.

Se calculó Meff de acuerdo con la Fórmula (1). A este respecto, para un acero en el que el contenido de Zr es menos de 0,001% (escrito como "<0,001" en la Tabla 2), se calculó Meff con respecto al contenido de Zr como 0%.

10 El sub-total (X) muestra el contenido total (% en masa) de los 6 elementos de impureza (específicamente, Zr, Bi, Sn, Sb, Pb y As). A este respecto, para un elemento con un contenido de menos de 0,001% (escrito como "<0,001" en la Tabla 2), el sub-total (X) se calculó con respecto al contenido del elemento como 0%.

<Producción y Tratamiento Térmico (1200°C) del Material de Ensayo>

Se fundió un acero con una composición química que se muestra en la Tabla 1 y la Tabla 2 por fusión a vacío y se moldeó para obtener un lingote de acero de 50 kg.

Forjando en caliente el lingote de acero obtenido, se obtuvo una placa de acero de 15 mm de espesor.

15 Cortando una superficie de la placa de acero de 15 mm de espesor obtenida, se obtuvo una placa de acero de aproximadamente 12 mm de espesor.

Realizando el laminado en frío sobre la placa de acero de aproximadamente 12 mm de espesor obtenida a una tasa de reducción de sección transversal de aproximadamente 30%, se obtuvo un material de ensayo laminado de aproximadamente 8 mm de espesor.

20 Se realizó un tratamiento térmico a 1200°C en el material de ensayo calentando el material de ensayo a 1200°C, manteniendo a continuación el material de ensayo a 1200°C durante 15 min, y enfriando después el material de ensayo con agua.

<Medición del Tamaño de Grano ASTM>

25 El tamaño de grano ASTM del material de ensayo después del tratamiento térmico se midió de acuerdo con ASTM E112. La posición de medición de un tamaño de grano ASTM estaba cerca de la parte central en la dirección del grosor de una sección longitudinal del material de ensayo.

Los resultados se muestran en la Tabla 3.

<Medición de la Resistencia frente a las Altas Temperaturas>

30 Se cortó una pieza de ensayo de fractura por fluencia con un tamaño de 6 mmφ y una longitud de la porción paralela de 30 mm del material de ensayo tratado térmicamente, cuya dirección longitudinal era la dirección longitudinal de la pieza de ensayo. La pieza de ensayo de fractura por fluencia se sometió a una prueba de ruptura por fluencia a largo plazo a 700°C durante 10.000 horas o más, y se midió la resistencia a la fractura por fluencia (MPa) a 700°C y 10.000 horas como la resistencia frente a altas temperaturas.

Los resultados se muestran en la Tabla 3.

35 <Ensayo de Agrietamiento por Corrosión bajo Tensión en el Material de Base>

Se cortó en porciones una pieza de ensayo de corrosión con un ancho de 10 mm x un espesor de 4 mm x una longitud de 40 mm del material de ensayo tratado térmicamente. La pieza de ensayo de corrosión cortada en porciones se denomina en lo sucesivo "material de base".

El material de base se sometió a un tratamiento térmico de envejecimiento a 650°C durante 10 horas.

40 Se realizó un ensayo de Strauss (ASTM A262, práctica E: evaluación de sensibilización) en el material de base después del tratamiento térmico de envejecimiento, y se examinó la presencia o ausencia de una grieta con una

## ES 2 734 051 T3

profundidad de 100 µm o más.

Los resultados de lo anterior se muestran en la Tabla 3.

<Ensayo de Agrietamiento por Corrosión bajo Tensión en el Material Equivalente de la Soldadura HAZ (Zona Afectada por el Calor, en sus siglas en inglés)>

- 5 Se cortó en porciones una pieza de ensayo de corrosión con un ancho de 10 mm x un espesor de 4 mm x una longitud de 40 mm del material de ensayo tratado térmicamente.

- 10 Se calentó la pieza de ensayo cortada en porciones a 950°C durante 25 segundos utilizando un evaluador Greeble (calentamiento a vacío de Joule). Se obtuvo un material equivalente de soldadura HAZ (es decir, un material equivalente a la zona afectada por el calor de la soldadura) soplando He para el enfriamiento después del calentamiento.

Se llevaron a cabo un tratamiento térmico de envejecimiento y un ensayo de Strauss sobre el material equivalente de soldadura HAZ obtenido de manera similar al ensayo de agrietamiento por corrosión bajo tensión en el material de base, y se examinó la presencia o ausencia de una grieta con una profundidad de 100 µm o más.

Los resultados se muestran en la Tabla 3.

15

[Tabla 3]

Clase	Acero	Número del tamaño de grano ASTM	Resistencia frente a las altas temperaturas (700°C, durante 10.000 horas resistencia a la fractura por fluencia (MPa)	Resultado del ensayo de agrietamiento por corrosión bajo tensión (Existencia de una grieta con una profundidad de 100 µm o más)	
				Material de base	Material equivalente de soldadura HAZ
Acero de la Invención	1	4,3	165	Sin grieta	Sin grieta
	2	5,2	152	Sin grieta	Sin grieta
	3	3,1	148	Sin grieta	Sin grieta
	4	5,1	170	Sin grieta	Sin grieta
	5	3,8	163	Sin grieta	Sin grieta
	6	6,5	160	Sin grieta	Sin grieta
	7	6,8	150	Sin grieta	Sin grieta
	8	4,2	172	Sin grieta	Sin grieta
	9	5,2	161	Sin grieta	Sin grieta
	10	6,2	178	Sin grieta	Sin grieta
	11	4,5	163	Sin grieta	Sin grieta
	12	3,7	155	Sin grieta	Sin grieta
	13	5,1	156	Sin grieta	Sin grieta
	14	6,1	162	Sin grieta	Sin grieta
	15	4,8	147	Sin grieta	Sin grieta
	16	4,0	152	Sin grieta	Sin grieta
	17	6,8	164	Sin grieta	Sin grieta
	18	3,1	157	Sin grieta	Sin grieta

Clase	Acero	Número del tamaño de grano ASTM	Resistencia frente a las altas temperaturas (700°C, durante 10.000 horas resistencia a la fractura por fluencia (MPa)	Resultado del ensayo de agrietamiento por corrosión bajo tensión (Existencia de una grieta con una profundidad de 100 µm o más)	
				Material de base	Material equivalente de soldadura HAZ
	19	5,2	161	Sin grieta	Sin grieta
	20	4,5	149	Sin grieta	Sin grieta
Acero Comparativo	21	6,0	95	Agrietado	Agrietado
	22	4,5	125	Agrietado	Agrietado
	23	3,8	137	Agrietado	Agrietado
	24	4,5	110	Agrietado	Agrietado
	25	2,3	107	Agrietado	Agrietado
	26	3,1	123	Agrietado	Agrietado
	27	5,3	85	Agrietado	Agrietado
	28	5,1	73	Agrietado	Agrietado
	29	4,5	81	Sin grieta	Sin grieta
	30	5,6	125	Sin grieta	Sin grieta

Como se muestra en la Tabla 3, todas las estructuras metálicas de los Aceros de la Invención 1 a 20, y los Aceros Comparativos 21 a 30 eran estructuras de grano grueso con un número de tamaño de grano ASTM de 7 o menos.

5 Como se muestra en la Tabla 3, las resistencias frente a las altas temperaturas de los Aceros de la Invención 1 a 20 fueron resistencias superiores de 147 MPa o más, que fueron superiores en 1,5 veces o más a la resistencia frente a altas temperaturas del Acero Comparativo 21 (acero de uso general 347H).

Mientras tanto, las resistencias frente a las altas temperaturas de los Aceros Comparativos 21 a 30 fueron tan bajas como 137 MPa o menos, que fueron inferiores a las resistencias frente a las altas temperaturas de los Aceros de la Invención 1 a 20.

10 Como se muestra en la Tabla 3, con respecto a los Aceros de la Invención 1 a 20, tanto en un material de base como en un material equivalente de soldadura HAZ de un Acero de la Invención, no se observó una grieta con una profundidad de 100 µm o más. A partir de los resultados, se demostró que los Aceros de la Invención 1 a 20 tenían una mayor resistencia al agrietamiento bajo tensión.

15 Mientras tanto, con respecto a los Aceros Comparativos 21 a 28, se observó una grieta con una profundidad de 100 µm o más.

Más particularmente, a partir de los resultados del Acero Comparativo 21, en el que no se añadió B ni N, y los Aceros Comparativos 22, 23, 25 y 27, en los que se añadió B pero no Nd, se demostró que la adición de Nd es eficaz para mejorar la resistencia frente a altas temperaturas y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión.

20 Adicionalmente, a partir de los resultados del Acero Comparativo 26, en los que, aunque se añadieron Nd y B de manera combinada, el contenido de N era excesivo y el de Meff era menor que 0,0001% en masa, se demostró que una combinación del contenido de N de 0,0100% o menos y el de Meff de 0,0001 a 0,250% era eficaz para mejorar la resistencia frente a altas temperaturas y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión.

25 Adicionalmente, a partir de los resultados del Acero Comparativo 24, en el que Meff estaba dentro de un intervalo de 0,0001 a 0,25%, y el contenido de O estaba por encima del 0,0090%, y el contenido de N estaba por encima del 0,0100%, se demostró que una combinación del contenido de O de 0,0090% o menos y el contenido de N de 0,0100% o menos era eficaz para mejorar la resistencia frente a las altas temperaturas y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión.

Se supone que las razones que explican la baja resistencia frente a altas temperaturas del Acero Comparativo 24 son que Nd y B se habían consumido como un óxido o un nitruro, respectivamente, y no se desarrolló el fortalecimiento de la precipitación fina.

5 A partir de los resultados del Acero Comparativo 28, se demostró que el contenido de B de 0,0010% o más era eficaz para mejorar la resistencia frente a las altas temperaturas y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión.

Adicionalmente, a partir de los resultados del Acero Comparativo 29, se demostró que el contenido de Zr de 0,002% o menos era eficaz para mejorar la resistencia frente a las altas temperaturas.

Adicionalmente, a partir de los resultados del Acero Comparativo 30, se demostró que el contenido de W de 2,00% o más era eficaz para mejorar la resistencia frente a altas temperaturas.

10 <Relación entre el Tamaño de Grano Cristalino y el Agrietamiento por Corrosión bajo Tensión>

Se llevaron a cabo los siguientes ensayos para examinar la relación entre el tamaño de grano cristalino y el agrietamiento por corrosión bajo tensión de un acero con respecto a los Aceros de la Invención 1, 10 y 17, así como los Aceros Comparativos 21 y 23.

15 En primer lugar, se realizó una medición del tamaño de grano ASTM, un ensayo de agrietamiento por corrosión bajo tensión en un material de base y un ensayo de agrietamiento por corrosión bajo tensión en un material equivalente de soldadura HAZ de acuerdo con los métodos mencionados anteriormente con respecto al material de ensayo que se había sometido a tratamiento térmico a 1200°C mencionado anteriormente. A este respecto, se midió la profundidad de una grieta y se observaron las condiciones de agrietamiento precisamente en los ensayos de agrietamiento por corrosión bajo tensión en un material de base y un material equivalente de soldadura HAZ.

20 Los resultados se muestran en la Tabla 4.

A continuación, el material de ensayo que no se había sometido al tratamiento térmico a 1200°C mencionado anteriormente se sometió a un tratamiento térmico a 1125°C calentando el material de ensayo a 1125°C, manteniendo a continuación el material de ensayo a 1125°C durante 15 min, y enfriando después de eso el material de ensayo con agua.

25 Con respecto al material de ensayo que recibió el tratamiento térmico a 1125°C, se realizó una medición del tamaño de grano ASTM, un ensayo de agrietamiento por corrosión bajo tensión en un material de base, y un ensayo de agrietamiento por corrosión bajo tensión en un material equivalente de soldadura HAZ, de manera similar al material de ensayo que había recibido el tratamiento térmico a 1200°C.

Los resultados se muestran en la Tabla 4.

30 [Tabla 4]

Clase	Acero	Temperatura de tratamiento térmico (°C)	Número del tamaño de grano ASTM	Resultado del ensayo de agrietamiento por corrosión bajo tensión (Resultado de la medición de la profundidad de la grieta)	
				Material de base	Material equivalente de soldadura HAZ
Acero de la Invención	1	1200	4,3	<10 µm	<10 µm
	10		6,2	<10 µm	<10 µm
	17		6,8	<10 µm	<10 µm
	1	1125	8,1	Microgrieta de aprox., 20 µm	Microgrieta de aprox., 20 µm
	10		9,2	Microgrieta de aprox., 20 µm	Microgrieta de aprox., 20 µm
	17		9,6	Microgrieta de aprox., 20 µm	Microgrieta de aprox., 20 µm

Clase	Acero	Temperatura de tratamiento térmico (°C)	Número del tamaño de grano ASTM	Resultado del ensayo de agrietamiento por corrosión bajo tensión (Resultado de la medición de la profundidad de la grieta)	
				Material de base	Material equivalente de soldadura HAZ
Acero Comparativo	21	1200	6,0	3 mm	3 mm o más, muchas
	23		3,8	2 mm	3 mm o más, muchas
	21	1125	9,3	3 o 4 mm	3 mm o más, muchas
	23		8,0	2 o 3 mm	3 mm o más, muchas

5 Como se muestra en la Tabla 4 y la Tabla 3 mencionada anteriormente, las estructuras metálicas de los materiales de ensayo que recibieron el tratamiento térmico a 1200°C con respecto a los Aceros de la Invención 1, 10 y 17, y los Aceros Comparativos 21 y 23 eran estructuras de grano grueso con un número de tamaño de grano ASTM de 7 o menos.

Mientras tanto, como se muestra en la Tabla 4, las estructuras metálicas de los materiales de ensayo que recibieron el tratamiento térmico a 1125°C con respecto a los Aceros de la Invención 1, 10 y 17, y los Aceros Comparativos 21 y 23 se convirtieron en estructuras de grano fino con un número de tamaño de grano ASTM de 8 o más.

10 Adicionalmente, como se muestra en la Tabla 4, con respecto a los Aceros de la Invención 1, 10 y 17, en ambos casos de las estructuras de grano fino (número de tamaño de grano ASTM 8 o más) y estructuras de grano grueso (número de tamaño de grano ASTM 7 o menos), el agrietamiento por corrosión bajo tensión se redujo adecuadamente en comparación con los Aceros Comparativos 21 y 23.

15 En contraste con los Aceros de la Invención, con respecto a los Aceros Comparativos 21 y 23 en ambos casos de estructuras de grano fino (número de tamaño de grano ASTM 8 o más) y estructuras de grano grueso (número de tamaño de grano ASTM 7 o menos), la profundidad de la grieta en un ensayo de agrietamiento por corrosión bajo tensión era de 2 mm o más y se producía un agrietamiento por corrosión bajo tensión considerable. Especialmente, en un material equivalente de soldadura HAZ apareció una gran cantidad de grietas con una profundidad de 3 mm o más.

20 Como se describió anteriormente, el agrietamiento por corrosión bajo tensión se redujo considerablemente en los Aceros de la Invención 1, 10 y 17 en comparación con los Aceros Comparativos 21 y 23.

**REIVINDICACIONES**

1. Un acero inoxidable austenítico con una composición química que consiste, en términos de % en masa:

- de 0,05 a 0,13% de C,
- de 0,10 a 1,00% de Si,
- 5 de 0,10 a 3,00% de Mn,
- 0,040% o menos de P,
- 0,020% o menos de S,
- de 17,00 a 19,00% de Cr,
- de 12,00 a 15,00% de Ni,
- 10 de 2,00 a 4,00% de Cu,
- de 0,01 a 2,00% de Mo,
- de 2,00 a 5,00% de W,
- de 2,50 a 5,00% de 2Mo + W,
- de 0,01 a 0,40% de V,
- 15 de 0,05 a 0,50% de Ti,
- de 0,15 a 0,70% de Nb,
- de 0,001 a 0,040% de Al,
- de 0,0010 a 0,0100% de B,
- de 0,0010 a 0,0100% de N,
- 20 de 0,001 a 0,20% de Nd,
- 0,002% o menos de Zr,
- 0,001% o menos de Bi,
- 0,010% o menos de Sn,
- 0,010% o menos de Sb,
- 25 0,001% o menos de Pb,
- 0,001% o menos de As,
- 0,020% o menos de Zr+Bi+Sn+Sb+Pb+As,
- 0,0090% o menos de O,
- 0,80% o menos de Co,
- 30 0,20% o menos de Ca,
- 0,20% o menos de Mg,
- 0,20% o menos en total de uno o más de Y, Sc, Ta, Hf, Re o elementos lantánidos distintos de Nd, y un remanente compuesto por Fe e impurezas;

en donde el contenido de M eficaz  $M_{eff}$  definido por la siguiente Fórmula (1) es de 0,0001 a 0,250%:

35 
$$\text{Contenido de M eficaz } M_{eff} = Nd + 13 \cdot (B - 11 \cdot N / 14) - 1,6 \cdot Zr \quad \text{Fórmula (1)}$$

en donde, en la Fórmula (1), cada símbolo de elemento representa un contenido (% en masa) de cada elemento.

## ES 2 734 051 T3

2. El acero inoxidable austenítico según la reivindicación 1, en donde la composición química comprende, en términos de % en masa, uno o más de: de 0,01 a 0,80% de Co, de 0,0001 a 0,20% de Ca, o de 0,0005 a 0,20% de Mg.
3. El acero inoxidable austenítico según la reivindicación 1 o 2, en donde la composición química comprende, en términos de % en masa, de 0,001 a 0,20% en total de uno o más de Y, Sc, Ta, Hf, Re o elementos lantánidos distintos de Nd.
4. El acero inoxidable austenítico según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde un número de tamaño de grano ASTM, medido según ASTM E112, de una estructura metálica del mismo es 7 o menos.
5. El acero inoxidable austenítico según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde una resistencia a la fractura por fluencia a 700°C y 10.000 horas es de 140 MPa o más.
6. El acero inoxidable austenítico según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde el contenido de M eficaz Meff es de 0,002% a 0,250%.