

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 788 648**

51 Int. Cl.:

C21D 9/08	(2006.01)	C22C 38/50	(2006.01)
C21D 9/46	(2006.01)	C22C 38/52	(2006.01)
C21D 8/00	(2006.01)	C22C 38/54	(2006.01)
C22C 38/60	(2006.01)	C22C 38/58	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01)	C21D 6/00	(2006.01)
C22C 38/06	(2006.01)		
C22C 38/42	(2006.01)		
C22C 38/44	(2006.01)		
C22C 38/46	(2006.01)		
C22C 38/48	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.06.2016 PCT/JP2016/066696**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **22.12.2016 WO16204005**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.06.2016 E 16811480 (9)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.04.2020 EP 3309274**

54 Título: **Acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr**

30 Prioridad:

15.06.2015 JP 2015120592

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

22.10.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

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

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 788 648 T3

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

DESCRIPCIÓN

Acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr

Campo técnico

La presente invención se refiere a un acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr.

5 Técnica anterior

Desde los años 90 ha habido una tendencia creciente en Japón con respecto a una caldera resistente a alta temperatura y alta presión, y la principal corriente actual es una caldera de potencia Ultra Súper Crítica (USC) para una temperatura de vapor por encima de los 600°C.

10 En otras áreas del mundo, incluyendo Europa o China, se han ido construyendo calderas USC altamente eficientes unas tras otras desde el punto de vista de la reducción de CO₂, como medida preventiva medioambiental global.

Como una fuente de material de acero que se va a usar para un tubo de un intercambiador de calor para generar vapor a alta temperatura y a alta presión en una caldera, y para una tubería de una caldera, se ha demandado un material de acero con resistencia a alta temperatura superior, y recientemente se han desarrollado diversos materiales de acero.

15 Por ejemplo, la Bibliografía de Patente 1 describe, como un acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr, un acero inoxidable austenítico de alta resistencia con resistencia a alta temperatura superior y adecuado como material para una vasija de planta química que usa petróleo y carbón como combustible, un material de un intercambiador de calor o un material de un componente de alta temperatura, tal como un tubo de caldera o un reactor rápido.

20 La Bibliografía de Patente 2 describe un tubo de acero inoxidable austenítico superior en cuanto a resistencia a la rotura por fluencia a alta temperatura durante un largo periodo de tiempo, y adecuado para un material que se usa en un entorno a alta temperatura y alta presión, tal como un tubo o tubería de acero para una caldera, o una vasija que opera a alta temperatura y presión.

25 La Bibliografía de Patente 3 describe un acero inoxidable austenítico para alta temperatura que es superior en cuanto a trabajabilidad después de su uso a largo plazo, y que es adecuado como material para un tubo o tubería de acero que se usa como una tubería de un súper-calentador o una tubería de un recalentador de una caldera, una tubería de un horno de reacción en una planta química, etc., o como un material para una plancha de acero, una barra de acero, un forjado de acero, etc. que se va a usar como componente resistente al calor y resistente a la presión.

30 La Bibliografía de Patente 4 describe un acero inoxidable austenítico, que es superior en cuanto a resistencia al agrietamiento por fatiga térmica y corrosión a alta temperatura, es capaz de soportar un entorno sometido a corrosión a alta temperatura a 500°C o más, así como una fatiga térmica repetida, y es adecuado para una tubería, una plancha, una barra, un forjado, etc. para usarlo para un componente de un intercambiador de calor de un HRSG (Generador de Vapor con Recuperación de Calor) o un generador de energía solar de la siguiente generación, o un componente resistente al calor y resistente a la presión para una caldera de generación de energía, una planta química, una central nuclear, etc.

35 La Bibliografía de Patente 5 describe un acero inoxidable austenítico de alta resistencia que es superior en cuanto a tenacidad después del envejecimiento, aplicable a un tubo o tubería de acero de alta resistencia para una caldera, etc. y utilizable para la generación de energía ultra-súper crítica por combustión de carbón, generación de energía de ciclo combinado con gasificación con carbón integrada, etc.

40 La Bibliografía de Patente 6 describe un acero inoxidable austenítico de alta resistencia que se va a usar para generación de energía ultra-súper crítica por combustión de carbón, generación de energía de ciclo combinado con gasificación de carbón integrada o similares.

Bibliografía de Patente 1: Patente Japonesa N.º 2510206

Bibliografía de Patente 2: Solicitud de Patente Japonesa abierta a inspección pública (JP-A) N.º 2002-212634

45 Bibliografía de Patente 3: Patente Japonesa N.º 4946758

Bibliografía de Patente 4: Patente Japonesa N.º 5029788

Bibliografía de Patente 5: Patente Japonesa N.º 5661001

Bibliografía de Patente 6: Patente Japonesa N.º 5670103

50 El documento EP 1 471 158 A1 describe un acero inoxidable austenítico excelente en cuanto a resistencia a alta temperatura y ductilidad así como trabajabilidad en caliente.

Compendio de la invención

Problema técnico

5 En general, al diseñar la composición química de un material de acero que se va a usar para un tubo de intercambiador de calor usado en un intervalo de alta temperatura, se da importancia a la resistencia a alta temperatura (por ejemplo, resistencia a la fluencia), resistencia a la corrosión a alta temperatura, resistencia a la oxidación, resistencia a la fatiga térmica, etc., y se valora en menor medida la resistencia a la corrosión en un intervalo de temperatura normal (por ejemplo, resistencia a la corrosión en agua).

Además, en el caso de un acero inoxidable basado en un alto contenido de Cr con un contenido de Cr de 21,50% o más en masa, se ha creído que no tiene lugar el propio agrietamiento por corrosión bajo tensión.

10 Sin embargo, recientemente ha surgido un gran problema de que ocurre agrietamiento por corrosión bajo tensión en agua en un intervalo de temperatura ambiente a baja temperatura (aproximadamente 350°C o menos) debido a una estructura metálica no homogénea o precipitación de un carburo heterogéneo, etc. en una parte procesada por calentamiento, tal como una parte soldada o una parte doblada.

15 Por ejemplo, durante un ensayo de presión hidrostática de una caldera, o el apagado de una caldera, puesto que el agua se almacena durante un periodo de tiempo prolongado dentro de los tubos del intercambiador de calor, puede ocurrir notablemente agrietamiento por corrosión bajo tensión.

El agrietamiento por corrosión bajo tensión puede ocurrir porque un límite de grano cristalino se hace susceptible a 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 agotada en Cr) en las proximidades de un límite de grano del cristal.

20 Como un método para evitar el agrietamiento por corrosión bajo tensión de un acero inoxidable austenítico basado en 18 Cr, hasta ahora se conocía:

un método de suprimir la formación de un carburo de Cr en el límite de grano por reducción de la cantidad de C (un método de baja adición de carbono),

25 un método de suprimir la formación de un carburo de Cr en el límite de grano por adición de Nb y Ti, que tienen mayor capacidad de formar un carburo que Cr, para formar un carburo de MC para fijar el C (un método de tratamiento térmico de estabilización),

un método de suprimir la formación de una zona agotada en Cr por adición de Cr al 21,50% o más para suprimir la corrosión selectiva en un límite de grano (un método de añadir una gran cantidad de Cr) o similares.

Hay, sin embargo, un inconveniente en cualquiera de esos métodos.

30 Un acero inoxidable austenítico basado en 18 Cr obtenido por el método de baja adición de carbono o el método de tratamiento térmico de estabilización no puede utilizarse en un entorno a alta temperatura de 750°C o más, o un entorno corrosivo a alta temperatura severo causado por el combustible que se va a usar, debido a que la resistencia a la oxidación, la resistencia a la corrosión a alta temperatura y la resistencia a alta temperatura del mismo son insuficientes en tales entornos.

35 En consecuencia, un acero inoxidable austenítico que se va a usar en tal entorno a alta temperatura o un entorno corrosivo a alta temperatura se requiere que contenga Cr al 21,50% o más en masa, según el método de adición de una gran cantidad de Cr.

40 Sin embargo, ha surgido un problema recientemente con respecto al agrietamiento por corrosión bajo tensión que ocurre en un entorno extremo (un entorno severo en términos de agrietamiento por corrosión bajo tensión), al que no puede enfrentarse un acero inoxidable basado en un alto contenido de Cr convencional o una técnica convencional.

45 Tal agrietamiento por corrosión bajo tensión en un entorno extremo (entorno severo en términos de agrietamiento por corrosión bajo tensión) ocurre debido a una causa, tal como "sensibilización de material" (en concreto, un fenómeno en el que un carbonitruro basado en Cr precipita en las proximidades de los límites del grano del cristal, por lo que la concentración de Cr en las proximidades de los límites de grano del cristal disminuye y, en consecuencia, se promueve la corrosión en el límite de grano), un factor de entorno corrosivo especial (por ejemplo, entrada de agua de mar en una tubería) o un equipo que no exento de una gran tensión residual (tensión residual que permanece después de la soldadura o el procesado).

50 Tal agrietamiento por corrosión bajo tensión de un acero inoxidable austenítico basado en Cr que ocurre en el entorno extremo (entorno severo en términos de agrietamiento por corrosión bajo tensión) hasta ahora no se ha tenido en consideración en absoluto, y no ha habido una técnica convencional efectiva con respecto al mismo. Por lo tanto, se demanda una propuesta de un nuevo material.

Se requiere también una resistencia a alta temperatura superior para el acero inoxidable austenítico basado en un alto

contenido de Cr.

5 Un objeto de la invención es proporcionar un acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr que contiene Cr en una cantidad de 21,50% o más en masa, que sea capaz de asegurar la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión incluso en un entorno extremo (entorno severo en términos de agrietamiento por corrosión bajo tensión) que hasta ahora no se había considerado, y que también es superior en cuanto a resistencia a alta temperatura.

Solución al problema

Los medios para conseguir el objeto incluyen los siguientes aspectos.

10 <l> Un acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr con una composición química que consiste en, en términos de % en masa:

de 0,03 a 0,12% de C,

de 0,10 a 1,00% de Si,

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

0,030% o menos de P

15 0,020% o menos de S

de 21,50 a 28,00% de Cr,

más de 26,00 y no más de 35,00% de Ni,

más de 2,00 y no más de 5,00% de W,

de 0,03% a 0,80% de Co,

20 de 0,01% a 0,70% de V,

de 0,15 a 1,00% de Nb,

de 0,001 a 0,040% de Al,

de 0,0001 a 0,0100% de B,

de 0,010 a 0,400% de N,

25 de 0,001 a 0,200% de Zr,

de 0,001 a 0,200% de Nd,

de 0,001 a 0,200% de Ta,

de 0,020 a 0,200% de Ta+0,8Nd+0,5Zr,

0,010% o menos de Ti,

30 0,010% o menos de Sn,

0,010% o menos de Sb,

0,001% o menos de Pb,

0,001% o menos de As,

0,001% o menos de Bi,

35 0,025% o menos de Ti+Sn+Sb+Pb+As+Bi,

0,0090% o menos de O,

4,00% o menos de Cu,

2,00% o menos de Mo,

0,15% o menos de Ca,

0,15% o menos de Mg,

0,20% o menos en total de uno o más de Y, Sc, Hf, Re o elementos lantánidos distintos de Nd y

consistiendo el resto en Fe e impurezas.

5 <2> El acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr según <1>, en donde la composición química comprende, en términos de % en masa, uno o más de: de 0,01 a 4,00% de Cu, de 0,01 a 2,00% de Mo, de 0,0001 a 0,15% de Ca o de 0,0005 a 0,15% de Mg.

<3> El acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr según uno cualquiera de <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, Hf, Re o elementos lantánidos distintos de Nd.

10 <4> El acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr según uno cualquiera de <1> a <3>, en donde una resistencia a la rotura por fluencia a 750°C y 100.000 horas es 50 MPa o más.

Efectos ventajosos de la invención

15 Según la invención, se proporciona un acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr que contiene Cr en una cantidad de 21,50% o más en masa, que es capaz de asegurar una resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión incluso en un entorno extremo (entorno severo en términos de agrietamiento por corrosión bajo tensión), que hasta ahora no se había tenido en consideración, es también superior en cuanto a resistencia a alta temperatura.

Descripción de las realizaciones

Se describirán a continuación las realizaciones de la invención.

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

El contenido de un elemento expresado por "%", el valor de "Ta+0,8Nd+0,5Zr" expresado por "%" y el valor "Ti+Sn+Sb+Pb+As+Bi" expresado por "%" significan, en la presente memoria, respectivamente "% en masa".

El contenido de C (carbono) puede expresarse ocasionalmente en la presente memoria como "contenido de C". El contenido de otro elemento puede expresarse de forma similar.

25 Un acero inoxidable austenítico de la realización (denominado también en lo sucesivo en la presente memoria como "acero de la realización") es un acero inoxidable austenítico con una composición química que consiste en, en términos de % en masa: de 0,03 a 0,12% de C, de 0,10 a 1,00% de Si, de 0,10 a 3,00% de Mn, 0,030% o menos de P, 0,020% o menos de S, de 21,50 a 28,00% de Cr, más de 26,00 y no más de 35,00% de Ni, más de 2,00 y no más de 5,00% de W, de 0,03% a 0,80% de Co, de 0,01 a 0,70% de V, de 0,15 a 1,00% de Nb, de 0,001 a 0,040% de Al, de 0,0001 a 0,0100% de B, de 0,010 a 0,400% de N, de 0,001 a 0,200% de Zr, de 0,001 a 0,200% de Nd, de 0,001 a 0,200% de Ta, de 0,020 a 0,200% de Ta+0,8Nd+0,5Zr, 0,010% o menos de Ti, 0,010% o menos de Sn, 0,010% o menos de Sb, 0,001% o menos de Pb, 0,001% o menos de As, 0,001% o menos de Bi, 0,025% o menos de Ti+Sn+Sb+Pb+As+Bi, 0,0090% o menos de O, 4,00% o menos de Cu, 2,00% o menos de Mo, 0,15% o menos de Ca, 0,15% o menos de Mg, 0,20% o menos en total de uno o más de Y, Sc, Hf, Re o elementos lantánidos distintos de Nd y consistiendo el resto en Fe e impurezas.

El acero de la realización es un acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr que contiene Cr en una cantidad de 21,50% o más en masa.

40 Como se ha descrito anteriormente, recientemente ha surgido un problema de agrietamiento por corrosión bajo tensión que ocurre en un entorno extremo (entorno severo en términos de agrietamiento por corrosión bajo tensión), al que no puede enfrentarse un acero inoxidable basado en un alto contenido de Cr convencional o una técnica convencional.

Con el acero de la realización, la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión puede asegurarse también en un entorno extremo (entorno severo en términos de agrietamiento por corrosión bajo tensión), lo que hasta ahora no se había tenido en consideración.

45 La razón de tal efecto que se quiere obtener con el acero de la realización se supone que es la siguiente, con la condición de que la invención no se vea restringida de ninguna manera debido a la siguiente suposición.

Mediante las investigaciones de los inventores, ha quedado claro que, cuando se añaden cantidades apropiadas de tres elementos: Ta, Nd y Zr, de manera combinada a un acero austenítico basado en un alto contenido de Cr altamente purificado, la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión mejora notablemente por un efecto sinérgico de la adición combinada.

50 Aunque la adición independiente de cualquiera de los 3 elementos o la adición parcialmente combinada de los mismos

era conocida hasta ahora, la adición combinada de los 3 elementos para mejorar la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión de un acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr aún no era conocida.

5 Además, mediante las investigaciones de los inventores, ha quedado claro que el efecto sinérgico de los 3 elementos se muestra notablemente por tratamiento con Ti, que hasta ahora se había tratado como un elemento de adición eficaz, como un elemento de impureza y limitando el contenido de los elementos de impurezas, incluido el Ti (específicamente, Ti, Sn, Sb, Pb, As, Bi, O, etc.), de modo que se consigue una alta pureza de un acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr.

10 Aunque la adición de C y N es esencial desde el punto de vista del mantenimiento de la resistencia en un entorno a alta temperatura de 700°C a 750°C, la precipitación de un carbonitruro basado en Cr en un límite de grano provocará agrietamiento por corrosión bajo tensión.

En el acero de la realización, la cantidad de Ti, que crea un carbonitruro grueso, se reduce en la medida de lo posible y, junto con ello, se reduce también la cantidad de una impureza que puede debilitar los límites de grano y causar agrietamiento por corrosión bajo tensión. Como resultado, puede suprimirse el agrietamiento por corrosión bajo tensión causado por precipitación de un carbonitruro basado en Cr en un límite de grano.

15 El acero de la realización es superior en cuanto a resistencia a alta temperatura (por ejemplo, resistencia a la rotura por fluencia).

20 La razón detrás de una resistencia a alta temperatura superior del acero de la realización se supone que es la dispersión fina de un carbonitruro estable y el endurecimiento por precipitación de una fase Laves fina y estable que se consiguen debido a la acción de la adición combinada de 3 elementos: Ta, Nd y Zr, una cantidad apropiada de W y similares.

Con el acero de la realización puede obtenerse, por ejemplo, una resistencia que es al menos 1,4 veces mayor que una resistencia a la rotura por fluencia a 750°C y 100.000 horas de un acero de uso general convencional.

Se describirán a continuación la composición química del acero de la realización y su modo preferible.

C: de 0,03 a 0,12%

25 El C es un elemento esencial para la formación de un carburo, y la estabilización de una estructura austenítica, así como para mejorar la resistencia a alta temperatura y la estabilización de una estructura metálica a alta temperatura.

Sin embargo, cuando el contenido de C es menor que 0,03%, es difícil que un acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr mantenga su resistencia a fluencia a alta temperatura y una estructura metálica íntegra a alta temperatura. Por lo tanto, el contenido de C es 0,03% o más y es preferiblemente 0,04% o más.

30 Cuando el contenido de C supera 0,12%, precipita un carburo basado en Cr grueso en un límite de grano del cristal, lo que puede provocar agrietamiento por corrosión bajo tensión o agrietamiento por soldadura, lo que reduciría la tenacidad. Por lo tanto, el contenido de C es 0,12% o menos y es preferiblemente 0,10% o menos.

Si: de 0,10 a 1,00%

35 El Si es un elemento que funciona como un agente desoxidante durante la fabricación del acero y previene la oxidación con vapor a alta temperatura. Sin embargo, cuando el contenido de Si es menor que 0,10%, el efecto de adición no puede obtenerse adecuadamente. Por lo tanto, el contenido de Si es 0,10% o más y es preferiblemente 0,15% o más.

Cuando el contenido de Si supera 1,00%, disminuye la trabajabilidad y precipita una fase quebradiza, tal como la fase σ , a alta temperatura. Por lo tanto, el contenido de Si es 1,00% o menos y es preferiblemente 0,60% o menos.

Mn: de 0,10 a 3,00%

40 El Mn es un elemento que hace inofensivo al S formando MnS con el S como un elemento de impureza para contribuir a la mejora de la trabajabilidad en caliente, así como a la estabilización de una estructura metálica a alta temperatura.

Cuando el N, que es esencial para asegurar la resistencia, se añade en un acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr, la adición de Mn es especialmente efectiva.

45 Cuando el contenido de Mn es menor que 0,10%, el efecto de adición no puede obtenerse adecuadamente. Por lo tanto, el contenido de Mn es 0,10% o más y es preferiblemente 0,30% o más.

Cuando el contenido de Mn supera 3,00%, la trabajabilidad y soldabilidad disminuyen. Por lo tanto, el contenido de Mn es 3,00% o menos y es preferiblemente es 2,70% o menos.

P: 0,030% o menos.

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

ES 2 788 648 T3

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

Preferiblemente, el contenido de P es tan bajo como sea posible y puede ser incluso 0%.

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

S: 0,020% o menos

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

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

Incluso en un caso en el que el S se añade para mejorar el flujo de metal fundido durante la soldadura, el S se añade a un contenido de 0,020% o menos. El contenido de S es preferiblemente 0,010% o menos.

Preferiblemente, el contenido de S es tan bajo como sea posible y puede ser incluso 0%.

- 15 Sin embargo, el S inevitablemente está mezclado con los materiales fuente del acero (materia prima del mineral, chatarra, etc.) y la reducción del contenido de S por debajo de 0,001% aumentará el coste de producción en gran medida. Por lo tanto, el contenido de S puede ser de 0,001% o más desde el punto de vista del coste de producción.

Cr: de 21,50 a 28,00%

- 20 El Cr es un elemento principal de un acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr que contribuye a mejorar la resistencia a la corrosión a alta temperatura y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, así como a mejorar la resistencia y estabilización de una estructura metálica con un carbonitruro de Cr.

- 25 Especialmente, en un caso en el que se da importancia a la resistencia a la corrosión a alta temperatura y resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, cuando el contenido de Cr es menor que 21,50%, no pueden obtenerse una resistencia a la corrosión a alta temperatura adecuada y una resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión. Por lo tanto, el contenido de Cr es 21,50% o más y es preferiblemente 22,00% o más.

Cuando el contenido de Cr supera el 28,00%, se forma una fase quebradiza, tal como la fase σ , que deteriora la resistencia a alta temperatura, tenacidad, trabajabilidad y soldabilidad. Por lo tanto, el contenido de Cr es 28,00% o menos y es preferiblemente 27,00% o menos, más preferiblemente 26,00% o menos y particularmente preferible 26,50% o menos.

- 30 Ni: más de 26,00 y no más de 35,00%

- 35 El Ni es un elemento principal de un acero inoxidable austenítico, que contribuye a la mejora de la resistencia a alta temperatura y trabajabilidad así como a la estabilización de una estructura metálica a alta temperatura. Especialmente, en el caso de un acero inoxidable austenítico con un alto contenido de Cr, es necesario añadir una cantidad considerable de Ni para estabilizar una estructura metálica a alta temperatura, y suprimir la precipitación de una fase quebradiza.

Cuando el contenido de Ni es 26,00% o menos, el efecto de adición no puede obtenerse adecuadamente. Por lo tanto, el contenido de Ni es mayor que 26,00% y preferiblemente 28,00% o más.

- 40 Cuando el contenido de Ni supera 35,00%, la resistencia a alta temperatura, soldabilidad y eficiencia económica disminuyen. Por lo tanto, el contenido de Ni es 35,00% o menos y es preferiblemente 34,00% o menos, más preferiblemente 33,00% o menos y particularmente preferiblemente 32,00% o menos.

W: más de 2,00 y no más de 5,00%

Puesto que el W tiene una difusión lenta a alta temperatura, es un elemento que mantiene una estructura metálica estable, y una resistencia en un intervalo de alta temperatura durante un largo periodo de tiempo para contribuir a mejorar la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y la resistencia a alta temperatura.

- 45 Cuando el contenido de W es 2,00% o menos, no pueden asegurarse una resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión adecuada y resistencia a alta temperatura. Por lo tanto, el contenido de W es mayor que 2,00%, y es preferiblemente 2,20% o más.

Cuando el contenido de W supera 5,00%, una fase quebradiza aumenta, con lo que la trabajabilidad, resistencia y soldabilidad disminuyen. Por lo tanto, el contenido de W es 5,00% o menos y es preferiblemente 4,80% o menos.

ES 2 788 648 T3

Co: de 0,03 a 0,80%

El Co es un elemento que estabiliza una estructura metálica para contribuir a mejorar la resistencia a alta temperatura.

Desde el punto de vista de obtener el efecto del Co más eficazmente, el contenido de Co es 0,03% o más.

- 5 Cuando el contenido supera 0,80%, el efecto de adición se satura, y el contenido de Co se hace alto 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.

V: de 0,01 a 0,70%

El V es un elemento que contribuye a mejorar la resistencia a alta temperatura formando un carbonitruro fino junto con el Nb. Cuando el contenido de V es menor que 0,01%, no puede obtenerse un efecto combinado de la adición combinada con Nb. Por lo tanto, el contenido de V es 0,01% o más y es preferiblemente 0,03% o más.

- 10 Cuando el contenido de V supera 0,70%, disminuyen la tenacidad o resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión. Por lo tanto, el contenido de V es 0,70% o menos y es preferiblemente 0,60% o menos.

Nb: de 0,15 a 1,00%

- 15 El Nb es un elemento que contribuye a mejorar la resistencia a alta temperatura formando un carbonitruro fino junto con el V, y contribuyendo también a mejorar la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión por supresión de la precipitación de un carbonitruro basado en Cr en un límite de grano del cristal fijando el C. El Nb es también un elemento que contribuye a mejorar la resistencia a alta temperatura debido a la precipitación de una fase Laves fina.

Cuando el contenido de Nb es menor que 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.

- 20 Cuando el contenido de Nb supera 1,00%, precipita un precipitado grueso que disminuye la resistencia, tenacidad y resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión. Por lo tanto, el contenido de Nb es 1,00% o menos y es preferiblemente 0,90% o menos, más preferiblemente 0,80% o menos y además preferiblemente 0,70% o menos.

Al: de 0,001 a 0,040%

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

- 25 Cuando el contenido de Al es menor que 0,001%, la purificación de un acero no puede conseguirse adecuadamente. Por lo tanto, el contenido de Al es 0,001% o más y es preferiblemente 0,003% o más.

Cuando el contenido de Al supera 0,040%, se forma una gran cantidad de inclusiones no metálicas, con lo que disminuyen la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, resistencia a alta temperatura, trabajabilidad, tenacidad y estabilidad de una estructura metálica a alta temperatura. Por lo tanto, el contenido de Al es 0,040% o menos y es preferiblemente 0,030% o menos y, más preferiblemente, 0,20% o menos.

- 30 B: de 0,0001 a 0,0100%

- 35 El B es un elemento esencial para mejorar la resistencia a alta temperatura y resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión. En concreto, el B es un elemento que no solo contribuye a mejorar la resistencia a alta temperatura por segregación en un límite de grano del cristal, sino que también contribuye a la formación de un carbonitruro, la micronización de una fase Laves y la estabilización de una estructura metálica, que son eficaces para mejorar la resistencia a alta temperatura.

El B es también un elemento que contribuye a mejorar la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión por un efecto sinérgico de adición combinada con Ta, etc.

Cuando el contenido de B es menor que 0,0001%, el efecto de adición no puede obtenerse adecuadamente. Por lo tanto, el contenido de B es 0,0001% o más, y es preferiblemente 0,003% o más.

- 40 Cuando el contenido de B supera 0,0100% la trabajabilidad, soldabilidad y resistencia a alta temperatura disminuye notablemente. Por lo tanto, el contenido de B es 0,0100% o menos y es preferiblemente 0,0070% o menos.

N: de 0,010 a 0,400%

- 45 El N es un elemento esencial para asegurar una resistencia a alta temperatura con respecto a un acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr por endurecimiento en solución sólida y endurecimiento por precipitación con un carbonitruro.

El N es un elemento esencial para suprimir una fase quebradiza o estabilizar una estructura metálica con respecto a un acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr junto con Ni, Mn, etc.

ES 2 788 648 T3

Quando el contenido de N es menor que 0,010%, el efecto de adición no puede obtenerse adecuadamente. Por lo tanto, el contenido de N es 0,010% o más y es preferiblemente 0,050% o más.

5 Cuando el contenido de N supera 0,400%, se forma un defecto de sopladura en un acero, y precipita un nitruro grueso a alta temperatura, con lo que se deteriora la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión. Por lo tanto, el contenido de N es 0,400% o menos y es preferiblemente 0,300% o menos.

Zr: de 0,001 a 0,200%

10 El Zr es un elemento, que contribuya a mejorar la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y la resistencia a alta temperatura por adición de solo una cantidad traza del mismo. Un nitruro de Zr o un óxido de Zr constituye un núcleo de precipitación para un carbonitruro fino en un acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr, de tal modo que mejora la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión.

15 Cuando el contenido de Zr es menor que 0,001%, el efecto de adición no puede obtenerse adecuadamente. Por lo tanto, el contenido de Zr es 0,001% o más y es preferiblemente 0,003% o más. Cuando el contenido de Zr supera 0,200%, se forma una gran cantidad de nitruro de Zr u óxido de Zr, deteriorando la tenacidad, la trabajabilidad, la resistencia a la corrosión y la soldabilidad. Por lo tanto, el contenido de Zr es 0,200% o menos y es preferiblemente 0,150% o menos. El Zr se añade en una cantidad apropiada de forma combinada con Ta y Nd, y este aspecto se describirá más adelante.

Nd: de 0,001 a 0,200%

El Nd es un elemento esencial para mejorar la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión mediante un efecto sinérgico de la adición combinada con Ta y Zr.

20 Con respecto al acero de la realización, como se ha descrito anteriormente, la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión mejora micronizando un carbonitruro y una fase Laves, asegurando la estabilidad a largo plazo y reforzando un límite de grano del cristal por adición combinada de Nd y B. Sin embargo, incluso cuando se añade Nd en forma de Nd metálico, este precipita como un óxido o nitruro grueso, y el Nd se consume de forma inútil.

25 Cuando el contenido de Nd es menor que 0,001%, el efecto de adición no se obtiene adecuadamente. Por lo tanto, el contenido de Nd es 0,001% o más y es preferiblemente 0,003% o más.

30 Cuando el contenido de Nd supera 0,200%, el efecto de adición se satura y se forman inclusiones basadas en un óxido o un nitruro, con lo que disminuyen la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, la resistencia a alta temperatura y la soldabilidad. Por lo tanto, el contenido de Nd es 0,200% o menos y es preferiblemente 0,170% o menos y, más preferiblemente, 0,150% o menos. El Nd se añade en una cantidad apropiada de manera combinada con Ta y Zr y este aspecto se describirá más adelante.

Ta: de 0,001 a 0,200%

35 El Ta es un elemento que contribuye a mejorar la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión por adición de solo una cantidad traza del mismo. En concreto, el Ta es un elemento que contribuye a micronizar un carbonitruro, mejorar la resistencia a largo plazo a alta temperatura, estabilizar una estructura metálica, etc., en un acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr, y a partir del cual puede esperarse un efecto excelente por adición combinada con Nd y Zr.

Quando el contenido de Ta es menor que 0,001%, el efecto de adición no se obtiene adecuadamente. Por lo tanto, el contenido de Ta es 0,001% o más y es preferiblemente 0,003% o más.

40 Cuando el contenido de Ta supera 0,200%, aumentan las inclusiones basadas en óxido, con lo que se deterioran la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, la resistencia a alta temperatura, la trabajabilidad y la soldabilidad. Por lo tanto, el contenido de Ta es 0,200% o menos y es preferiblemente 0,180% o menos y, más preferiblemente, 0,150% o menos. El Ta se añade en una cantidad apropiada de manera combinada con Nd y Zr y este aspecto se describirá más adelante.

Ta+0,8Nd+0,5Zr: de 0,020 a 0,200%

45 Cuando se añaden Ta, Nd y Zr en una cantidad apropiada de manera combinada en un acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr, que contiene de 21,50 a 28,00% de Cr, y en el que están restringidas estrictamente las cantidades traza de elementos de impureza incluyendo Ti (un elemento de impureza en el caso del acero de la realización), la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión mejora notablemente debido al efecto sinérgico de los 3 elementos.

50 El efecto sinérgico es un efecto que no puede conseguirse por adición independiente de cada elemento Ta, Nd y Zr, pero que puede conseguirse por adición combinada de los 3 elementos de Ta, Nd y Zr.

El efecto sinérgico de la adición combinada de los 3 elementos es un efecto novedoso descubierto por los inventores.

El efecto sinérgico de la adición combinada de los 3 elementos es:

- 5 (a) un efecto mediante el cual la precipitación de un carbonitruro grueso que causa agrietamiento por corrosión bajo tensión en un límite de grano de cristal se suprime por la adición combinada de 3 elementos en una cantidad apropiada (supresión de la sensibilización), como resultado de lo cual precipita un carbonitruro en un estado finamente dispersado en un grano de cristal, y mejora la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión;
- (b) un efecto mediante el cual se forma un carbonitruro estable durante un largo periodo de tiempo a alta temperatura por adición combinada de los 3 elementos en una cantidad apropiada, como resultado de lo cual mejora la resistencia a la fluencia a alta temperatura a 700°C o más; y
- 10 (c) un efecto mediante el cual precipita finamente la fase Laves basada en W, que contribuye en gran medida a una resistencia a alta temperatura, y se estabiliza en un intervalo a alta temperatura, como resultado de lo cual se consigue una alta resistencia, no obtenible con un acero convencional.

Según la realización, para tasar el efecto de la acción de cada elemento de Ta, Nd y Zr equitativamente y evaluar equitativamente un efecto sinérgico de la adición combinada de los mismos, se usa como un índice la cantidad de "Ta+0,8Nd+0,5Zr" (cada símbolo de elemento representa el contenido (% en masa) de cada elemento).

- 15 En "Ta+0,8Nd+0,5Zr", el contenido de Nd se multiplica por la razón de peso atómico con respecto a Ta, en concreto $0,8 (\approx 144(\text{Nd})/181(\text{Ta}))$, para conseguir "0,8Nd"; el contenido de Zr se multiplica por la razón de peso atómico con respecto a Ta, en concreto $(\approx 91(\text{Zr})/181(\text{Ta}))$, para conseguir "0,5Zr"; y se añaden "0,8Nd" y "0,5Zr" al contenido de Ta.

Cuando "Ta+0,8Nd+0,5Zr" es menor que 0,020%, el efecto sinérgico no puede obtenerse adecuadamente. Por lo tanto, "Ta+0,8Nd+0,5Zr" es 0,020% o más y es preferiblemente 0,050% o más y, más preferiblemente, 0,080% o más.

- 20 Cuando "Ta+0,8Nd+0,5Zr" supera 0,200%, el efecto de adición se satura y aumentan las inclusiones basadas en óxido, deteriorando la resistencia, tenacidad, soldabilidad, y trabajabilidad. Por lo tanto "Ta+0,8Nd+0,5Zr" es 0,200% o menos y es preferiblemente 0,195% o menos, más preferiblemente 0,170% o menos y particularmente preferiblemente 0,140% o menos.

- 25 En el acero de la realización, para asegurar el efecto sinérgico de 0,020 a 0,200% de "Ta+0,8Nd+0,5Zr", el acero de la realización se purifica altamente restringiendo estrictamente los contenidos de elementos de impureza, en concreto Ti, Sn, Sb, Pb, As, Bi y O.

Aunque el Ti se trata normalmente como un elemento de adición eficaz, se trata como un elemento de impureza en el acero de la realización.

Ti: 0,010% o menos

- 30 El Ti forma un nitruro de Ti grueso en un acero inoxidable austenítico que contiene una cantidad requerida de N. El nitruro de Ti reduce un efecto sinérgico de la adición combinada de Ta, Nd y Zr y deteriora notablemente la resistencia al agrietamiento bajo tensión, la resistencia a alta temperatura, la trabajabilidad y la soldabilidad.

- 35 En consecuencia, el Ti está restringido como un elemento de impureza en la medida de lo posible en el acero de la realización. Específicamente, el contenido de Ti está limitado a 0,010% o menos, aunque puede estar mezclado inevitablemente con un material de origen del acero tal como chatarra. El contenido de Ti preferiblemente es 0,005% o menos.

Puesto que el contenido de Ti es preferiblemente tan bajo como sea posible, el contenido de Ti puede ser incluso 0%.

Sn: 0,010% o menos

Sb: 0,010% o menos

- 40 Sn y Sb, que son elementos de impureza, pueden estar mezclados inevitablemente con el material de origen del acero tal como chatarra y, una vez mezclados, apenas pueden eliminarse en un proceso de refinado.

- 45 Para asegurar una resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión superior, tanto el contenido de Sn como el contenido de Sb debería reducirse en la medida de lo posible. Por lo tanto, tanto el contenido de Sn como el contenido de Sb están limitados a 0,010% o menos. El contenido de Sn y el contenido de Sb preferiblemente son 0,005% o menos, respectivamente.

Puesto que tanto el contenido de Sn como el contenido de Sb son preferiblemente tan bajos como sea posible, el contenido de Sn y el contenido de Sb pueden ser, respectivamente, incluso 0%.

Pb: 0,001% o menos

As: 0,001% o menos

Pb y As, que son elementos de impureza, pueden estar mezclados inevitablemente con un material de origen del acero tal como chatarra y, una vez mezclados, apenas pueden eliminarse en un proceso de refinado.

5 Para asegurar una resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión superior, tanto el contenido de Pb como el contenido de As deberían reducirse en la medida de lo posible. Por lo tanto, tanto el contenido de Pb como el contenido de As están limitados a 0,001% o menos. El contenido de Pb y el contenido de As son preferiblemente 0,0005% o menos, respectivamente.

Puesto que Pb y As son preferiblemente tan bajos como sea posible, el contenido de Pb y el contenido de As pueden ser respectivamente incluso 0%.

Bi: 0,001% o menos

10 El Bi, que es un elemento de impureza, es un elemento que normalmente no está mezclado, pero que podría estar mezclado inevitablemente con el material de origen del acero, tal como chatarra. Puesto que el Bi es un elemento dañino para la resistencia a alta temperatura o la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, su contenido debería reducirse en la medida de lo posible. Por lo tanto, el contenido de Bi, está limitado a 0,001% o menos y es preferiblemente 0,0005% o menos.

15 Puesto que el contenido de Bi es preferiblemente tan bajo como sea posible, el contenido de Bi puede ser incluso 0%.

Ti+Sn+Sb+Pb+As+Bi: 0,025% o menos

20 Para asegurar eficazmente un efecto sinérgico de la adición combinada de Ta, Nd y Zr en el acero de la realización, es necesario purificar en gran medida un acero no solo limitando los contenidos de 6 elementos de impureza (específicamente los 6 elementos son Ti, Sn, Sb, Pb, As y Bi) individualmente, sino también limitar el contenido total de los 6 elementos de impureza (en concreto Ti+Sn+Sb+Pb+As+Bi).

Con respecto a los ensayos realizados por los inventores, cuando "Ti+Sn+Sb+Pb+As+Bi" (cada símbolo de elemento representa el contenido (% en masa) de cada elemento) supera 0,025%, el efecto sinérgico de la adición combinada de Ta, Nd y Zr se reduce notablemente (véase, por ejemplo, el Acero 25 Comparativo a continuación).

25 Por lo tanto, para el acero de la realización, "Ti+Sn+Sb+Pb+As+Bi" está limitado a 0,025% o menos. "Ti+Sn+Sb+Pb+As+Bi" es preferiblemente 0,020% o menos y más preferiblemente 0,015% o menos.

O: 0,0090% o menos

30 El O (oxígeno) que permanece inevitablemente después de refinar un acero fundido es un elemento usado como un índice del contenido de inclusiones no metálicas. Cuando el contenido de O supera 0,0090%, Ta, Nd y Zr se consumen para formar óxidos, como resultado de lo cual, no se desarrolla el efecto de mejora sobre la resistencia del agrietamiento por corrosión bajo tensión (efecto sinérgico de la adición combinada), y disminuyen la resistencia a alta temperatura, la soldabilidad, la trabajabilidad y la tenacidad. Por lo tanto, el contenido de O está limitado a 0,0090% o menos y preferiblemente 0,0060% o menos, más preferiblemente 0,0030% o menos.

35 Puesto que el contenido de O es preferiblemente tan bajo como sea posible, el contenido de O puede ser 0%. Sin embargo, el O ocasionalmente puede permanecer después del refinado inevitablemente a 0,0001% aproximadamente. Por lo tanto, desde el punto de vista del coste de producción, el contenido de O puede ser incluso 0,0001% o más.

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

Cualquiera de estos elementos es un elemento opcional y, por lo tanto, cada uno de los contenidos de los mismos puede ser 0%.

40 Cu: 4,00% o menos

El Cu es un elemento opcional y el contenido de Cu puede ser también 0%.

45 El Cu es un elemento que precipita como fase Cu fina estable a alta temperatura, y contribuye a mejorar una resistencia a largo plazo en un intervalo de alta temperatura de 650°C o menos. Cuando el acero de la realización contiene Cu, el contenido de Cu es preferiblemente 0,01% o más desde el punto de vista de obtener el efecto anterior más eficazmente y, más preferiblemente, 0,10% o más.

Cuando el contenido de Cu supera 4,00%, la trabajabilidad, la ductilidad, la fluencia y la resistencia disminuyen. Por lo tanto, el contenido de Cu es 4,00% o menos y preferiblemente 3,50% o menos.

Mo: 2,00% o menos

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

- El Mo es un elemento eficaz para mejorar la resistencia a alta temperatura, la resistencia a la corrosión y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión. El Mo es un elemento que contribuye a la formación de la fase Laves o un carburo estable durante un largo periodo de tiempo a una alta temperatura a través de un efecto sinérgico de adición combinada con el W. En un caso en el que el acero de la realización contiene Mo, desde el punto de vista de obtener el efecto más eficazmente, el contenido de Mo es preferiblemente 0,01% o más y más preferiblemente 0,02% o más.
- 5 Cuando el contenido de Mo supera 2,00%, se forma ampliamente una fase quebradiza, y se deterioran la trabajabilidad, la resistencia a alta temperatura y la tenacidad. Por lo tanto, el contenido de Mo es 2,00% o menos y preferiblemente 1,50% o menos.
- Ca: 0,15% o menos
- 10 El Ca es un elemento opcional y el contenido de Ca puede ser 0%.
- El Ca puede añadirse como un elemento de acabado para la desoxidación. Puesto que el acero de la realización contiene Nd, es preferible que el acero se desoxide mediante Ca en un proceso de refinado. Cuando el acero de la realización contiene Ca, desde el punto de vista de obtener más eficazmente un efecto de desoxidación, el contenido de Ca es preferiblemente 0,0001% o más, y más preferiblemente 0,0010% o más.
- 15 Cuando el contenido de Ca supera 0,20%, la cantidad de inclusiones no metálicas aumenta, disminuyendo la resistencia a alta temperatura, la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y la tenacidad. Según la presente invención, el contenido de Ca es 0,15% o menos.
- Mg: 0,15% o menos
- El Mg es un elemento opcional y el contenido de Mg puede ser 0%.
- 20 El Mg es un elemento, que contribuye a mejorar la resistencia a alta temperatura o la resistencia a la corrosión por adición de una cantidad traza del mismo. Cuando el acero de la realización contiene Mg, desde el punto de vista de obtener más eficazmente el efecto, el contenido de Mg es preferiblemente 0,0005% o más, y más preferiblemente 0,0010% o más.
- 25 Cuando el contenido de Mg supera 0,20%, la resistencia, tenacidad, resistencia a la corrosión y soldabilidad disminuyen. Según la presente invención el contenido de Mg es 0,15% o menos.
- Total de uno o más de Y, Sc, Hf, Re y elementos lantánidos distintos de Nd: 0,20% o menos.
- Cualquiera de Y, Sc, Hf, Re y elementos lantánidos distintos de Nd (en concreto, La, Ce, Pr, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb y Lu) es un elemento opcional, y el contenido total de estos elementos puede ser 0%.
- 30 Aunque Y, Sc, Hf, Re y los elementos lantánidos distintos de Nd son caros, son elementos que actúan para potenciar el efecto sinérgico de la adición combinada de Ta, Nd y Zr. 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.
- 35 Cuando el contenido total supera 0,20%, la cantidad de inclusión no metálica aumenta, con lo que disminuyen la trabajabilidad, la resistencia, la tenacidad, la resistencia a la corrosión y la soldabilidad. Por lo tanto, el contenido total es 0,20% o menos y es preferiblemente 0,15% o menos.
- El resto, excluyendo los elementos mencionados anteriormente de la composición química del acero de la realización, es Fe e impurezas.
- 40 Las impurezas mencionadas en la presente memoria significan uno o más elementos distintos de los elementos mencionados anteriormente. Los contenidos de los elementos (impurezas) distintos de los elementos mencionados anteriormente están preferiblemente limitados a 0,010% o menos respectivamente y, más preferiblemente a 0,001% o menos.
- El acero de la realización es superior en cuanto a resistencia a alta temperatura (especialmente, resistencia a la rotura por fluencia) como se ha descrito anteriormente.
- 45 No hay una restricción particular sobre el intervalo específico de la resistencia a alta temperatura del acero de la realización. La resistencia a la rotura por fluencia a 750°C y 100.000 horas del acero de la realización es preferiblemente 50 MPa o más.
- En este sentido, la "resistencia a la rotura por fluencia a 750°C y 100.000 horas" significa un valor estimado como una resistencia a la rotura por fluencia promedio a 750°C y 100.000 horas.
- 50 Una resistencia a alta temperatura de 50 MPa o más en términos de una resistencia a la rotura por fluencia a 750°C y 100.000 horas es una resistencia a alta temperatura que es notablemente superior con respecto a la resistencia a alta

temperatura del acero ASME SA213 TP310HCbN, que se usa ampliamente en el mundo como acero inoxidable austenítico 25 Cr convencional, que tiene la resistencia a la temperatura más alta (véase, por ejemplo, Aceros 1 a 18 Inventivos y Acero 19 Comparativo en la Tabla 3 a continuación).

5 La resistencia menor que 50 MPa en términos de una resistencia a la rotura por fluencia a 750°C y 100.000 horas puede conseguirse mediante una extensión de la técnica convencional. Sin embargo una resistencia a alta temperatura de 50 MPa o más en términos de la resistencia a la rotura por fluencia apenas puede conseguirse por una extensión de la técnica convencional.

10 A diferencia de ello, en el caso del acero de la realización, la resistencia a la rotura por fluencia puede conseguirse, por ejemplo, mediante un efecto sinérgico de adición combinada con Ta, Nd y Zr, una restricción sobre una composición química y un mayor grado de purificación por restricción sobre un contenido de elementos de impureza.

No hay restricción particular sobre un método de producción del acero de la realización, y puede adoptarse apropiadamente un método conocido públicamente de producción de un acero inoxidable austenítico.

El acero de la realización puede ser una plancha de acero tratada térmicamente o un tubo o tubería de acero tratado térmicamente.

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

20 Aunque no hay restricción particular sobre el modo de enfriamiento después del calentamiento durante el tratamiento térmico, y es aceptable cualquiera de templado (por ejemplo, agua fría) y enfriamiento con aire es aceptable, es preferible el templado, y el enfriamiento con agua es más preferible.

25 La plancha de acero tratada térmicamente, o el tubo o tubería de acero tratados térmicamente, se obtienen por ejemplo preparando una plancha de acero o un tubo o tubería de acero que tiene una composición química del acero de la realización mencionada anteriormente, calentando entonces la plancha de acero preparada o el tubo o tubería de acero preparados a, por ejemplo, de 1050 a 1250°C (preferiblemente de 1150°C a 1250°C) y posteriormente enfriando los mismos.

La plancha de acero o el tubo o tubería de acero que tienen la composición química (una plancha de acero o un tubo o tubería de acero antes de un tratamiento térmico) pueden prepararse según un método ordinario.

30 Un tubo o tubería de acero que tienen la composición química pueden prepararse, por ejemplo, colando un acero fundido que tiene la composición química para formar un lingote de acero o un tocho de acero, y realizando al menos una clase de procesamiento seleccionado del grupo que consiste en extrusión en caliente, laminado en caliente, forjado en caliente, trefilado en frío, laminado en frío, forjado en frío y cortado, sobre el lingote de acero o tocho de acero obtenido.

En lo que antecede en la presente memoria se ha descrito el acero de la realización.

35 No hay restricción particular sobre la aplicación del acero de la realización, y el acero de la realización puede aplicarse a cualquier aplicación que demande un aseguramiento de la resistencia a alta temperatura y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión.

El acero de la realización es un material de acero adecuado, por ejemplo, para un tubo de un intercambiador de calor o una tubería para una caldera resistente al calor y resistente a la presión, una planta química o similares; un producto forjado resistente al calor; una barra de acero resistente al calor; o una plancha de acero resistente al calor.

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

45 **Ejemplos**

A continuación se describirán los Ejemplos de la invención, pero las condiciones en los Ejemplos son solo ejemplos de condiciones adoptadas para confirmar la viabilidad y efectividad de la invención, y la invención no está limitada a tales ejemplos de condiciones.

50 En los Ejemplos, se produjeron por fundición 32 clases de aceros, cuyas composiciones químicas se muestran en la Tabla 1 y la Tabla 2 (continuación de la Tabla 1).

En la Tabla 1 y la Tabla 2, los Aceros 1 a 18 son Aceros Inventivos que son ejemplos de la invención (denominados, en lo sucesivo en la presente memoria, también como "Aceros 1 a 18 Inventivos", respectivamente) y los Aceros 19 a

ES 2 788 648 T3

32 son Aceros Comparativos que son ejemplos comparativos (denominados, en lo sucesivo en la presente memoria, también como "Aceros 19 a 32 Comparativos", respectivamente).

En este sentido, el Acero 19 Comparativo es un acero correspondiente al ASME SA213 TP310HCbN existente, y es un material convencional para comparación entre la técnica anterior y los Aceros 1 a 18 Inventivos.

- 5 En la producción por fundición de los Aceros 1 a 18 Inventivos, se usó como fuente de Fe, el Fe de alta pureza obtenido por fundición en alto horno y un convertidor, y refinado secundario por un proceso de desgasificación de oxígeno a vacío, y como un elemento de aleación, se usó un elemento de aleación de alta pureza analizado previamente. Además, antes de la producción por fundición de cualquiera de los Aceros 1 a 18 Inventivos, el horno para la producción por fundición de los Aceros 1 a 18 Inventivos se lavó adecuadamente, y se tuvo especial cuidado en prevenir la contaminación con impurezas.
- 10

Bajo el control especial anterior, al producir los Aceros 1 a 18 Inventivos, el contenido de los 6 elementos de impureza (específicamente Ti, Sn, Sb, Pb, As y Bi), el contenido de O y similares, estaba limitado, y el contenido de Ta, el contenido de Nd y el contenido de Zr se regularon dentro de un intervalo apropiado.

- 15 En la producción por fundición de los Aceros 19 a 32 Comparativos, se usó una fuente de Fe de alta pureza también. Además, en la producción por fundición de los Aceros 19 a 32 Comparativos, las composiciones químicas se ajustaron de la siguiente manera.

En la producción por fundición de los Aceros 19, 21, 24, 25, 27 y 28 Comparativos al menos uno de los 6 elementos de impureza u O (oxígeno) se añadió intencionadamente.

- 20 En la producción por fundición de los Aceros 19 a 23 y 29 a 31 Comparativos, al menos uno de Zr, Nd o Ta no se añadió.

En la producción por fundición de los Aceros 27 y 28 Comparativos, la cantidad de adición de Zr o Nd se añadió en exceso.

- 25 En la producción por fundición de los Aceros 19, 20, 22, 24, 26, 27 y 32 Comparativos, la cantidad de adición de un elemento de aleación de Cr, Ni o W se añadió en exceso o de forma insuficiente.

[Tabla 1]

Clase	Acero	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Co	W	V	Nb	Al	B	N
Acero Inventivo	1	0,08	0,40	1,00	0,020	0,001	22,05	26,03	0,25	2,10	0,22	0,60	0,011	0,0030	0,170
	2	0,05	0,15	1,85	0,005	<0,001	23,00	29,55	0,22	3,45	0,68	0,41	0,008	0,0042	0,220
	3	0,10	0,23	0,23	0,017	<0,001	23,45	30,70	0,32	4,75	0,05	0,88	0,013	0,0039	0,170
	4	0,07	0,35	1,03	0,011	0,002	25,30	28,75	0,20	2,50	0,34	0,52	0,023	0,0028	0,180
	5	0,08	0,50	0,89	0,008	0,001	26,73	32,04	0,26	3,47	0,40	0,75	0,027	0,0037	0,210
	6	0,04	0,31	2,50	0,004	0,002	25,42	33,20	0,31	2,90	0,69	0,29	0,025	0,0040	0,230
	7	0,07	0,29	0,57	0,019	0,003	27,40	34,50	0,24	4,10	0,02	0,41	0,007	0,0028	0,190
	8	0,05	0,45	2,05	0,013	0,001	24,19	31,00	0,20	3,97	0,55	0,64	0,003	0,0021	0,220
	9	0,08	0,33	0,86	0,015	0,004	23,31	30,01	0,28	2,87	0,32	0,60	0,011	0,0035	0,190
	10	0,09	0,43	1,60	0,010	<0,001	23,78	29,88	0,21	2,71	0,45	0,65	0,002	0,0045	0,200
	11	0,07	0,50	1,11	0,004	<0,001	22,99	28,60	0,26	2,68	0,30	0,90	0,013	0,0024	0,180
	12	0,10	0,32	0,38	0,005	<0,001	22,04	31,04	0,55	2,80	0,27	0,71	0,008	0,0020	0,150
	13	0,08	0,44	0,88	0,006	0,001	22,80	29,85	0,39	3,11	0,18	0,75	0,019	0,0023	0,190
	14	0,06	0,48	1,31	0,010	0,002	23,47	27,41	0,21	2,45	0,66	0,45	0,014	0,0035	0,170
	15	0,04	0,37	2,63	0,017	0,001	24,10	32,04	0,23	2,99	0,38	0,28	0,007	0,0052	0,280
	16	0,06	0,28	2,10	0,011	<0,001	25,30	30,14	0,30	2,67	0,47	0,42	0,012	0,0033	0,110
	17	0,07	0,20	1,04	0,016	<0,001	25,78	30,09	0,22	2,86	0,22	0,55	0,022	0,0022	0,220
	18	0,06	0,39	1,31	0,015	0,002	26,40	31,02	0,40	3,07	0,36	0,43	0,015	0,0040	0,240
Acero Comparativo	19	0,06	0,45	1,23	0,015	0,001	25,01	19,87	0	0	0	0,45	0,021	0	0,260
	20	0,06	0,89	0,23	0,023	0,002	27,56	30,01	0,02	5,31	0,23	0,15	0,008	0,0060	0,020
	21	0,07	0,23	0,15	0,021	0,003	22,75	27,85	0,12	2,04	0,20	0,30	0,012	0,0032	0,110
	22	0,08	0,71	0,60	0,019	0,001	20,30	26,40	0,09	3,04	0,30	0,17	0,032	0,0041	0,380
	23	0,11	0,36	0,52	0,028	0,003	25,63	26,05	0,18	2,53	0,45	0,20	0,024	0,0050	0,090
	24	0,12	0,65	1,36	0,030	0,001	28,70	25,53	0,07	2,20	0,08	0,15	0,015	0,0024	0,170
	25	0,10	0,42	1,07	0,019	0,001	26,30	27,82	0,17	2,90	0,17	0,21	0,009	0,0008	0,200
	26	0,04	0,26	0,92	0,022	0,002	30,05	26,34	0,05	3,10	0,32	0,16	0,001	0,0035	0,260
	27	0,05	0,31	0,80	0,020	0,005	22,85	25,84	0,09	1,90	0,36	0,20	0,027	0,0028	0,170
	28	0,10	0,33	0,47	0,024	0,001	23,65	29,33	0,10	3,45	0,47	0,30	0,025	0,0041	0,240
	29	0,03	0,32	0,55	0,028	0,008	22,00	26,20	0,02	2,08	0,05	0,16	0,002	0,0050	0,015
	30	0,05	0,25	0,35	0,027	0,005	23,75	27,00	0,05	3,14	0,07	0,17	0,015	0,0074	0,024
	31	0,09	0,15	0,20	0,015	0,015	25,40	26,15	0,02	2,78	0,20	0,30	0,025	0,0008	0,030
	32	0,04	0,74	0,63	0,023	0,005	27,50	27,31	0,05	1,85	0,35	0,50	0,032	0,0042	0,120

[Tabla 2]

(Continuación de Tabla 1)

Clase	Acero	Zr	Nd	Ta	Ta+0,8Nd +0,5Zr	Ti	Sn	Sb	Pb	As	Bi	Sub-total (X)	O	Otros
Acero Inventivo	1	0,002	0,015	0,010	0,023	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,005	0,0052	Ca: 0,005, Ce: 0,01 Mo: 0,53 Y: 0,01 Hf: 0,002 Cu: 3,50
	2	0,002	0,050	0,002	0,043	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0	0,0027	
	3	0,050	0,020	0,050	0,091	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0	0,0045	
	4	0,030	0,100	0,100	0,195	0,007	0,006	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,013	0,0065	
	5	0,002	0,010	0,180	0,189	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0	0,0033	
	6	0,100	0,170	0,005	0,191	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0	0,0021	
	7	0,030	0,011	0,003	0,027	0,009	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,009	0,0070	
	8	0,007	0,080	0,110	0,178	0,005	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,010	0,0085	
	9	0,010	0,004	0,130	0,138	<0,001	0,005	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	0,007	0,0028	
	10	0,003	0,040	0,008	0,042	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,000	0,0025	Cu: 2,30, Re: 0,005 Mo: 1,50, Cu: 3,00, La: 0,002
	11	0,110	0,050	0,090	0,185	0,005	0,008	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,014	0,0060	
	12	0,002	0,070	0,120	0,177	<0,001	0,008	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,008	0,0088	
	13	0,150	0,005	0,090	0,169	0,009	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,010	0,0074	Sc: 0,005 Mg: 0,001
	14	0,070	0,090	0,060	0,167	<0,001	0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,0055	Y: 0,02, Ce: 0,01
	15	0,003	0,004	0,030	0,035	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0	0,0038	
	16	0,075	0,060	0,002	0,088	0,008	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,008	0,0020	
	17	0,030	0,120	0,080	0,191	0,005	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,008	0,0075	
	18	0,002	0,080	0,120	0,185	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0	0,0073	
Acero Comparativo	19	<0,001	<0,001	<0,001	0	0,015	0,040	0,010	0,001	<0,001	<0,001	0,066	0,0085	
	20	<0,001	<0,001	0,150	0,150	<0,001	<0,001	0,009	<0,001	<0,001	<0,001	0,009	0,0089	
	21	<0,001	0,020	0,005	0,021	0,008	0,009	0,001	0,002	<0,001	<0,001	0,020	0,0075	
	22	<0,001	0,030	<0,001	0,024	0,007	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,007	0,0080	
	23	0,150	<0,001	<0,001	0,075	0,006	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,011	0,0090	
	24	0,010	0,005	0,020	0,029	0,015	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,015	0,0081	
	25	0,120	0,001	0,130	0,191	0,009	0,009	0,007	0,001	0,001	0,001	0,028	0,0077	
	26	0,002	0,003	0,080	0,083	0,003	0,005	0,008	<0,001	<0,001	<0,001	0,016	0,0056	
	27	0,002	0,250	0,001	0,202	0,001	0,008	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,009	0,0120	
	28	0,210	0,001	0,002	0,108	<0,001	<0,001	0,008	0,001	0,001	<0,001	0,010	0,0150	
	29	<0,001	0,002	0,035	0,037	0,005	0,004	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,009	0,0085	
	30	0,055	0,003	<0,001	0,030	0,003	0,006	0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,011	0,0079	
	31	0,020	<0,001	0,020	0,030	0,001	0,009	0,003	0,001	0,001	<0,001	0,015	0,0088	
	32	0,010	0,003	0,100	0,107	0,008	0,003	0,010	0,001	0,001	<0,001	0,023	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.

El resto de cada acero, excluyendo los elementos indicados en la Tabla 1 y la Tabla 2, es Fe e impurezas.

- 5 En un cálculo de " $Ta+0,8Nd+0,5Zr$ ", " $Ta+0,8Nd+0,5Zr$ " se calculó considerando el contenido como 0% con respecto a un elemento cuyo contenido es menor que 0,001% (escrito en la Tabla 2 como "<0,001").

El sub-total (X) muestra el contenido total (% en masa) de los 6 elementos de impureza (específicamente Ti, Sn, Sb, Pb, As y Bi). En este sentido, 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 considerando el contenido del elemento como 0%.

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

Se produjo un acero que tiene una composición química mostrada en la Tabla 1 y la Tabla 2 por fusión mediante fusión a vacío y colada para obtener un lingote de acero de 50 kg.

Mediante forjado en caliente del lingote de acero obtenido, se obtuvo una plancha de acero de 15 mm de espesor.

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

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

- 20 Se realizó un tratamiento térmico a 1200°C sobre el material de ensayo calentando el material de ensayo a 1200°C, manteniendo entonces el material de ensayo a 1200°C durante 15 min, y posteriormente enfriando el material de ensayo con agua. Mediante el tratamiento térmico, las estructuras metálicas tanto de un material de ensayo de un Acero Inventivo como de un material de ensayo de un Acero Comparativo se convirtieron en una estructura de grano grueso con un número de tamaño de grano ASTM (ASTM E112) de 7 o menos.

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

- 25 Una pieza de ensayo de corrosión con una anchura de 10 mm x un espesor de 4 mm x una longitud de 40 mm se cortó en rodajas a partir del material de ensayo tratado térmicamente. La pieza de ensayo de corrosión cortada en rodajas se denomina posteriormente en la presente memoria como "material base".

El material base se sometió a un tratamiento de envejecimiento térmico a 650°C durante 100 horas para la ejecución de una evaluación del agrietamiento por corrosión en condiciones severas.

- 30 Se realizó un ensayo de Strauss (ASTM A262, Práctica E: Evaluación de sensibilización) como un ensayo de agrietamiento por corrosión bajo tensión sobre el material base después del tratamiento de envejecimiento térmico y se observaron la profundidad de las grietas y el estado de las grietas.

Los resultados se muestran en la Tabla 3.

- 35 Un ensayo de agrietamiento por corrosión bajo tensión después del tratamiento de envejecimiento térmico en las condiciones anteriores es un ensayo severo, que hasta ahora no se había realizado de forma cuantitativa con respecto al acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr.

<Ensayo de Agrietamiento por Corrosión bajo Tensión sobre un Material Equivalente a ZAT por soldadura>

Una pieza de ensayo de corrosión con una anchura de 10 mm x un espesor de 4 mm x una longitud de 40 mm se cortó en rodajas a partir del material de ensayo tratado térmicamente.

- 40 La pieza de ensayo cortada en rodajas se calentó a 950°C durante 25 s usando un equipo de ensayo Greeble (calentamiento de Joule a vacío). Se obtuvo un material equivalente a ZAT por soldadura (es decir un material equivalente con una zona afectada térmicamente por soldadura) soplando He para el enfriamiento después del calentamiento.

- 45 Se realizó un tratamiento de envejecimiento térmico, similar al tratamiento de envejecimiento térmico sobre un material base, sobre el material equivalente a ZAT por soldadura obtenido, para realizar una evaluación del agrietamiento por corrosión en condiciones severas en el caso de un material base.

Se realizó un ensayo de Strauss (ASTM A2622, Práctica E: Evaluación de sensibilización) como un ensayo de agrietamiento por corrosión bajo tensión sobre un material equivalente a ZAT por soldadura después del tratamiento

ES 2 788 648 T3

de envejecimiento térmico, como sobre un material base, y se observaron la profundidad de las grietas y el estado de las grietas.

Los resultados se muestran en la Tabla 3.

<Resistencia a Alta Temperatura>

- 5 Se cortó una pieza de ensayo de rotura a fluencia con un tamaño de 6 mm de diámetro (Φ) y una longitud de la parte 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 rotura a fluencia se sometió a un ensayo de rotura a fluencia a largo plazo a 750°C durante 10.000 horas o más, y la resistencia a la rotura por fluencia promedio (MPa) a 750°C y 100.000 horas se estimó como resistencia a alta temperatura.
- 10 Los resultados se muestran en la Tabla 3.

[Tabla 3]

Clase	Acero	Ensayo de agrietamiento por corrosión bajo tensión		Resistencia a alta temperatura (Resistencia a la rotura por fluencia a 750°C y 100.000 horas) (MPa)
		(Resultados de la observación del estado de agrietamiento y la profundidad máxima de la grieta)		
		Material base	Material equivalente a ZAT por soldadura	
Acero Inventivo	1	Grietas en el límite de grano < 10 μm	Grietas en el límite de grano < 10 μm	59
	2	Grietas en el límite de grano < 10 μm	Grietas en el límite de grano < 10 μm	65
	3	Grietas en el límite de grano < 10 μm	Grietas en el límite de grano < 10 μm	70
	4	Grietas en el límite de grano < 10 μm	Grietas en el límite de grano < 10 μm	59
	5	Grietas en el límite de grano < 10 μm	Grietas en el límite de grano < 10 μm	62
	6	Grietas en el límite de grano < 10 μm	Grietas en el límite de grano < 10 μm	63
	7	Grietas en el límite de grano < 10 μm	Grietas en el límite de grano < 10 μm	58
	8	Grietas en el límite de grano < 10 μm	Grietas en el límite de grano < 10 μm	59
	9	Grietas en el límite de grano < 10 μm	Grietas en el límite de grano < 10 μm	60
	10	Grietas en el límite de grano < 10 μm	Grietas en el límite de grano < 10 μm	68
	11	Grietas en el límite de grano < 10 μm	Grietas en el límite de grano < 10 μm	72
	12	Grietas en el límite de grano < 10 μm	Grietas en el límite de grano < 10 μm	69
	13	Grietas en el límite de grano < 10 μm	Grietas en el límite de grano < 10 μm	61
	14	Grietas en el límite de grano < 10 μm	Grietas en el límite de grano < 10 μm	63
	15	Grietas en el límite de grano < 10 μm	Grietas en el límite de grano < 10 μm	65
	16	Grietas en el límite de grano < 10 μm	Grietas en el límite de grano < 10 μm	59
	17	Grietas en el límite de grano < 10 μm	Grietas en el límite de grano < 10 μm	62
	18	Grietas en el límite de grano < 10 μm	Grietas en el límite de grano < 10 μm	60

Acero Comparativo	19	Muchas grietas de 2 a 3 mm	Muchas grietas de 3 mm o más profundas	42
	20	Muchas grietas de 3 mm o más profundas	Grietas pasantes	30
	21	Muchas grietas de 2 a 3 mm	Muchas grietas de 3 mm o más profundas	47
	22	Muchas grietas de 3 mm o más profundas	Grietas pasantes	55
	23	Muchas grietas de 3 mm o más profundas	Grietas pasantes	50
	24	Grietas pasantes	Grietas pasantes	51
	25	Muchas grietas de 3 mm o más profundas	Grietas pasantes	52
	26	Muchas grietas de 3 mm o más profundas	Muchas grietas de 3 mm o más profundas	35
	27	Muchas grietas de 2 a 3 mm	Muchas grietas de 3 mm o más profundas	38
	28	Muchas grietas de 2 a 3 mm	Muchas grietas de 3 mm o más profundas	33
	29	Muchas grietas de 2 a 3 mm	Muchas grietas de 3 mm o más profundas	58
	30	Muchas grietas de 2 a 3 mm	Muchas grietas de 3 mm o más profundas	55
	31	Muchas grietas de 2 a 3 mm	Muchas grietas de 3 mm o más profundas	59
	32	Grietas en el límite de grano < 10 µm	Grietas en el límite de grano < 10 µm	28

5 Como se muestra en la Tabla 3, en los Aceros 1 a 18 Inventivos, el agrietamiento por corrosión bajo tensión se suprimió notablemente en comparación con los Aceros 19 a 31 Comparativos, de modo que aparecía someramente agrietamiento en el límite de grano con una profundidad de menos de 10 µm en el material base y el material equivalente a ZAT por soldadura.

A partir de este resultado, se ha demostrado que los Aceros 1 a 18 Inventivos presentan una resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión incluso en un entorno severamente corrosivo.

10 A diferencia de los Aceros 1 a 18 Inventivos, en el acero correspondiente a un acero de uso general convencional TP347HCbN (Acero 19 Comparativo), se generaron muchas grietas grandes con una profundidad de 2 mm o más, tanto en el material base como en el material equivalente a ZAT por soldadura.

Similarmente, en los Aceros 20 a 31 Comparativos también, se generaron muchas grietas grandes con una profundidad de 2 mm o más, o agrietamiento pasante, que es un agrietamiento más grave, tanto en el material base como el material equivalente a ZAT por soldadura.

15 A partir de una comparación de los Aceros 1 a 18 Comparativos, con el Acero 20 Comparativo, en el que el contenido de Ta era apropiado, pero Nd y Zr eran insuficientes, así como los Aceros 21 a 23 Comparativos y 27 a 31, en los que al menos uno de Nd, Ta o Zr eran insuficientes o excesivos, se ha demostrado que, para suprimir el agrietamiento por corrosión bajo tensión en condiciones severas, es necesario controlar Ta, Nd, Zr y Ta+0,8Nd+0,5Nd a los contenidos apropiados.

20 A partir de una comparación de los Aceros 1 a 18 Inventivos, con los Aceros 24 y 25 Comparativos, en los que los contenidos de Ta, Nd, Zr y Ta+0,8Nd+0,5Nd eran apropiados, pero Ti era uno de los 6 elementos de impureza, o el total de los 6 elementos de impureza (sub-total (X)) era excesivo, se ha demostrado que, para suprimir el agrietamiento por corrosión bajo tensión en condiciones severas, es necesario no solo controlar Ta, Nd, Zr y Ta+0,8Nd+0,5Nd a los contenidos apropiados, sino también limitar los contenidos de los 6 elementos de impureza.

25 Como se muestra en la Tabla 3, los Aceros 1 a 18 Inventivos presentaban una resistencia a alta temperatura superior de 58 MPa o más. La resistencia a alta temperatura de los Aceros 1 a 18 Inventivos era aproximadamente 1,4 veces mayor o más que la resistencia a alta temperatura del Acero 19 Comparativo (acero de uso general TP310HCbN).

ES 2 788 648 T3

A diferencia de ello, las resistencias a alta temperatura de, por ejemplo, los Aceros 19 a 21, 26 a 28 y 32 Comparativos eran de 47 MPa o menos, e inferiores a las resistencias a alta temperatura de los Aceros a 1 a 18 Inventivos.

Especialmente, a partir de una comparación de los Aceros 1 a 18 Inventivos con los Aceros 20, 27 y 32 Comparativos, en los que W era insuficiente o excesivo, se ha demostrado que, para mejorar una resistencia a alta temperatura, es necesario controlar el contenido de W a un nivel apropiado.

5

REIVINDICACIONES

1. Un acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr con una composición química que consiste en, en términos de % en masa:

- de 0,03 a 0,12% de C,
- 5 de 0,10 a 1,00% de Si,
- de 0,10 a 3,00% de Mn,
- 0,030% o menos de P
- 0,020% o menos de S
- de 21,50 a 28,00% de Cr,
- 10 más de 26,00 y no más de 35,00% de Ni,
- más de 2,00 y no más de 5,00% de W,
- de 0,03% a 0,80% de Co,
- de 0,01% a 0,70% de V,
- de 0,15 a 1,00% de Nb,
- 15 de 0,001 a 0,040% de Al,
- de 0,0001 a 0,0100% de B,
- de 0,010 a 0,400% de N,
- de 0,001 a 0,200% de Zr,
- de 0,001 a 0,200% de Nd,
- 20 de 0,001 a 0,200% de Ta,
- de 0,020 a 0,200% de Ta+0,8Nd+0,5Zr,
- 0,010% o menos de Ti,
- 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,
- 0,001% o menos de Bi,
- 0,025% o menos de Ti+Sn+Sb+Pb+As+Bi,
- 0,0090% o menos de O,
- 30 4,00% o menos de Cu,
- 2,00% o menos de Mo,
- 0,15% o menos de Ca,
- 0,15% o menos de Mg,
- 0,20% o menos en total de uno o más de Y, Sc, Hf, Re o elementos lantánidos distintos de Nd, y
- 35 consistiendo el resto en Fe e impurezas.

2. El acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr según la reivindicación 1, en donde la composición química comprende, en términos de % en masa, uno o más de: de 0,01 a 4,00% de Cu, de 0,01 a 2,00% de Mo, de 0,0001 a 0,15% de Ca o de 0,0005 a 0,15% de Mg.

ES 2 788 648 T3

3. El acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr 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, Hf, Re o elementos lantánidos distintos de Nd.
 4. El acero inoxidable austenítico basado en un alto contenido de Cr según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde una resistencia a la rotura por fluencia a 750°C y 100.000 horas es 50 MPa o más.
- 5