

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 671 376**

51 Int. Cl.:

<b>C22C 38/00</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/26</b>	(2006.01)
<b>C21D 9/46</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/38</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/58</b>	(2006.01)		
<b>F28F 21/08</b>	(2006.01)		
<b>B23K 35/30</b>	(2006.01)		
<b>C21D 6/00</b>	(2006.01)		
<b>C21D 8/02</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/04</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/02</b>	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.05.2009 PCT/JP2009/058778**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **19.11.2009 WO09139355**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.05.2009 E 09746562 (9)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.03.2018 EP 2280090**

54 Título: **Procedimiento de producción de acero inoxidable ferrítico**

30 Prioridad:

**12.05.2008 JP 2008124462**  
**30.03.2009 JP 2009083001**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**06.06.2018**

73 Titular/es:

**NISSHIN STEEL CO., LTD. (100.0%)**  
**4-1 Marunouchi 3-chome, Chiyoda-ku**  
**Tokyo 100-8366, JP**

72 Inventor/es:

**KAWANO, AKINORI;**  
**MIZOGUCHI, TAICHIROU;**  
**TOMIMURA, KOUKI y**  
**HARADA, WAKAHIRO**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 671 376 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**

Procedimiento de producción de acero inoxidable ferrítico

Campo Técnico

5 La presente invención se refiere a un acero inoxidable ferrítico adecuado para usar como un miembro que se va a soldar. La invención también se relaciona con un acero inoxidable ferrítico particularmente adecuado para usar como un miembro que constituye un intercambiador de calor.

**Técnica antecedente**

10 En vista de reutilizar efectivamente un gas de escape caliente, se han usado intercambiadores de calor en una variedad de campos tales como placas de intercambio de calor de un calentador de agua a gas o un cuerpo Eco-cute. En el calentador de agua a gas, se genera un líquido mixto que contiene ácido nítrico, ácido sulfúrico y cloro como resultado de la condensación de los componentes de un gas de escape caliente y, por lo tanto, existe el temor de que se deteriore la resistencia a la corrosión después del intercambio de calor líquido/ líquido, en la placa de intercambio de calor debido al cloro contenido en una alta concentración. Además, dado que el metal de relleno con base en Ni o el metal de relleno con base en Cu se emplea para unir partes, es necesario evitar el deterioro de la ductilidad/dureza de las mismas debido al engrosamiento de la estructura tras la soldadura. Para miembros que requieren tener resistencia a la corrosión y capacidad de soldadura, se usa convencionalmente cobre o aleación de cobre. El cobre tiene una resistencia inferior, por lo que el miembro debe engrosarse con el fin de aumentar su resistencia, lo que lleva a un problema de aumento de los costos. Por consiguiente, se han usado hasta ahora los aceros inoxidables austeníticos tales como SUS304 y SUS316 como sustituto del cobre en un miembro de acero para intercambiadores de calor.

20 Se requiere que un miembro a ser soldado tenga las siguientes propiedades:

(1) Diferentes buenas capacidades de soldadura como la capacidad de soldadura con metal de soldadura con base en Ni, la capacidad de soldadura con metal de soldadura con base en Cu y la capacidad de soldadura con lanza con metal de relleno con base en latón de bajo coste o similares.

25 Además, cuando un miembro que se va a soldar es un miembro de metal del intercambiador de calor (tubería de refrigerante o tubería de agua), etc., se requiere además que tenga la siguiente propiedad:

(2) Buena resistencia a la corrosión bajo un ambiente de ácido nítrico o ácido sulfúrico en un condensado derivado de un gas de combustión o buena resistencia a la corrosión en grietas bajo un ambiente acuoso que tiene una alta concentración de cloro.

30 Como un material que tiene tales propiedades y una buena capacidad de soldadura, en la Patente japonesa No. 2642056 se investiga un acero inoxidable ferrítico.

[Documento de Patente 1] Patente japonesa No. 2642056

[Documento de Patente 2] EP1308532

**Sumario de la invención**

35 Problema a resolver por la invención

Los aceros inoxidables ferríticos tienen un coeficiente de expansión térmica menor que el de los aceros inoxidables austeníticos. Además, su coste material es generalmente más barato que los aceros inoxidables austeníticos. Los aceros inoxidables ferríticos se han usado frecuentemente como un miembro de recuperación de calor de escape o un miembro de silenciador en una trayectoria de gas de escape de automóviles. Sin embargo, cuando un material se solda con Ni o Cu, o con una soldadura con lanza con latón, el material debe exponerse a temperaturas de hasta 40 1.000°C o mayores. Bajo una temperatura tan alta, los aceros inoxidables ferríticos tienden a causar difusión en comparación con los aceros inoxidables austeníticos, lo que lleva a un deterioro en la ductilidad o tenacidad debido al engrosamiento de los granos de cristal.

45 La patente japonesa No. 2642056 descrita anteriormente divulga un acero inoxidable ferrítico para el intercambiador de calor que tiene una buena capacidad de soldadura. Sin embargo, no se pretende suprimir el engrosamiento de los granos de cristal tras la soldadura o la mejora de la resistencia a la corrosión en grietas bajo un entorno acuoso.

50 Un objeto de la presente invención es proporcionar un acero inoxidable ferrítico adecuado como un miembro para ser sometido a soldadura, tal como soldadura con metal de relleno con base en Ni, soldadura con metal de relleno con base en Cu, o soldadura con lanza con metal de relleno con base en latón. Otro objeto de la presente invención es proporcionar un acero inoxidable ferrítico adecuado como un material para un elemento metálico tal como un miembro intercambiador de calor que tiene tanto capacidad de soldadura como resistencia a la corrosión bajo un entorno donde está presente agua rica en cloro.

Medios para resolver los problemas

Los objetos descritos anteriormente se pueden lograr usando un acero inoxidable ferrítico que consiste sobre la base del porcentaje en masa, C: 0,03 % o menor, Si: 3 % o menor, Mn: 2 % o menor, P: 0,05 % o menor, S: 0,03 % o menor, Cr: de 11 a 30 %, Nb: de 0,15 a 0,8 % y N: 0,03 % o menor, opcionalmente Ti de modo que el contenido de Ti (mol) es mayor que el contenido total (mol) de C y N, y en el que un valor A' determinado por la siguiente ecuación es 0,10 o mayor:

$$A' = Nb - Cx(92,9/12)/2;$$

opcionalmente al menos uno de Mo, Cu, V y W en una cantidad total de 4 % o menor;

opcionalmente al menos uno de Ti y Al en una cantidad total de 0,4 % o menor; y opcionalmente al menos uno de Ni y Co en una cantidad total de 5 % o menor;

en el que el resto está compuesto de Fe e impurezas incidentales, y en el que un valor A determinado por la siguiente ecuación es 0,10 o mayor:  $A = Nb - (Cx92,2/12 + Nx92,9/14)$  y en el que el diámetro máximo de precipitados (d) es 0,25  $\mu\text{m}$  o menor y la fracción en volumen de los precipitados (f) es del 0,05 % o superior.

Ventaja de la invención

La presente invención hace posible proporcionar un acero inoxidable ferrítico excelente en la capacidad de soldadura con metal de relleno con base en Ni o metal de relleno con base en Cu, resistencia a la corrosión contra condensado de gas, resistencia a la corrosión en grietas bajo ambiente acuoso, y ductilidad/dureza. Mediante el uso este acero, se puede proporcionar un intercambiador de calor a un costo de material más bajo que un intercambiador de calor convencional que usa un acero inoxidable austenítico para sus miembros.

**Breve descripción de los dibujos**

[FIG. 1] FIG. 1 muestra la apariencia de una pieza de ensayo de soldadura.

[FIG. 2] FIG. 2 muestra las condiciones de la prueba de condensado

[FIG. 3] FIG. La Fig. 3 muestra una forma de superposición de piezas de prueba en la soldadura con lanza.

Modo de llevar a cabo la invención

Como se describe anteriormente, usar un acero inoxidable ferrítico es ventajoso para reducir el costo de varios miembros tales como los miembros de un intercambiador de calor. Sin embargo, cuando se usa acero inoxidable ferrítico, existe el temor de la degradación de la resistencia a la corrosión en un entorno de condensación de gas y en la resistencia a la corrosión en grietas bajo un entorno acuoso. Cuando se realiza soldadura con metal de relleno con base en Ni o metal de relleno con base en Cu, o soldadura con lanza con metal de relleno con base en latón, o similares, se mantiene un acero inoxidable ferrítico a temperaturas tan altas como de aproximadamente 1.000 a 1.150°C. Por lo tanto, es importante diseñar apropiadamente la composición del acero inoxidable ferrítico con el fin de suprimir el engrosamiento de los granos de cristal. Descrito específicamente, cuando un acero inoxidable ferrítico se coloca bajo tal condición de temperatura alta, los granos de cristal de éste crecen y es probable que se tornen gruesos. El acero inoxidable que tiene granos de cristal grueso tiene una propiedad de fatiga deteriorada y se daña fácilmente debido a la oscilación o al impacto externo. Se ha encontrado con base en el estudio realizado por los presentes inventores que para evitar tal problema, el diámetro promedio de los granos de cristal de ferrita debe controlarse para que no exceda de 500  $\mu\text{m}$ . Por consiguiente, cuando se usa acero inoxidable ferrítico para aplicaciones que se van a soldar, es necesario diseñar la composición del acero inoxidable ferrítico para evitar el crecimiento de granos de cristal incluso a altas temperaturas.

Los presentes inventores han encontrado que un soluto de Nb actúa favorablemente sobre la resistencia a la corrosión de un acero inoxidable ferrítico bajo un entorno de condensación de gas o resistencia a la corrosión en grietas bajo un entorno acuoso. Se ha encontrado que cuando una película de pasivación que cubre la superficie de acero inoxidable se rompe debido a la corrosión, Nb tiene una alta capacidad de reparación de la película de pasivación.

Además, los presentes inventores han descubierto que un soluto de Nb también actúa efectivamente para suprimir el engrosamiento de los granos de cristal de un acero inoxidable ferrítico. El estudio de los presentes inventores reveló que cuando el límite inferior de una temperatura de soldadura se establece en 1.000°C, se requiere al menos un contenido de Nb de 0,15 % para asegurar una cantidad de soluto de Nb necesaria para suprimir el engrosamiento de los granos de cristal en un acero inoxidable ferrítico. El soluto de Nb suprime el engrosamiento de los granos de cristal presumiblemente debido a un efecto de arrastre que se divulgará más adelante, pero no se limita a ello.

Además, la supresión del engrosamiento de los granos de cristal mediante la adición de Nb, se debe no solo a la acción supresora del engrosamiento resultante del efecto de arrastre, producido por el soluto de Nb, que inhibe la difusión de otro elemento pero también altamente debido a un efecto de fijación, producido por un carbonitruro de

Nb, que suprime el crecimiento del grano. Por consiguiente, al diseñar la composición en la presente invención, es ventajoso retener ciertos contenidos de C y N. Más específicamente, es efectivo ajustar un contenido total de C y N a 0,01 % o más. Además, al retener un contenido de Nb suficiente, un efecto de fijación producido por precipitados tales como Fe<sub>2</sub>Nb (fase de Laves) y Fe<sub>3</sub>NbC también actúa efectivamente para suprimir el engrosamiento de los granos de cristal. La supresión del engrosamiento de los granos de cristal tras la soldadura es efectiva para prevenir el deterioro en dureza o ductilidad.

El efecto de arrastre y el efecto de fijación se describirán a continuación.

[Efecto de arrastre]

El crecimiento del grano de cristal acompaña la migración de un límite de grano de cristal. Cuando un elemento de solución sólida o elemento de impureza que es probable que se acumule en el límite de grano de cristal está contenido en una matriz, el límite de grano de cristal necesita migrar con estos átomos, que hace difícil la migración (efecto de arrastre). Centrándose en este efecto de arrastre, los presentes inventores han descubierto que el crecimiento de grano de cristal puede suprimirse causando intencionalmente que exista un elemento de solución sólida en el límite de grano de cristal y por lo tanto inhibir la migración del límite de grano de cristal. Como resultado de una extensa investigación sobre el crecimiento de granos de cristal de un acero inoxidable ferrítico a altas temperaturas, se ha encontrado que en el caso de un acero inoxidable ferrítico, entre los elementos soluto de la solución sólida, el soluto de Nb es particularmente efectivo para suprimir el crecimiento del grano de cristal.

Sin embargo, Nb es un elemento fácilmente combinable con C o N, por lo que los átomos de Nb capaces de ser un soluto de Nb, entre los átomos de Nb en el acero inoxidable, son solo átomos de Nb que permanecen sin usar después de la formación de un carbonitruro de Nb. Por consiguiente, una cantidad de Nb capaz de ser un soluto de solución sólida en un acero inoxidable puede expresarse usando el valor A como en la siguiente ecuación:

$$A = Nb - (Cx92,9/12 + Nx92,9/14).$$

En la fórmula anterior, C y N representan contenidos de C y N (% en masa) en un acero inoxidable, respectivamente.

Cuando un acero inoxidable ferrítico contiene Ti, casi no se forma nitruro de Nb, ya que el N se usa principalmente para la formación de TiN. Por otro lado, dado que el carburo de Ti y el carburo de Nb se forman con la misma probabilidad, cuando un contenido de Ti (mol) es mayor que un total de un contenido de C y un contenido de N (cada, mol) (contenido de Ti (mol) > (contenido de C (mol) + contenido de N (mol))), se puede expresar una cantidad de Nb capaz de ser un soluto de solución sólida mediante el valor A' como en la siguiente ecuación:

$$A' = Nb - Cx(92,9/12)/2;$$

Se ha encontrado que cuando una cantidad de Nb capaz de formar una solución sólida representada por el valor A o A' (para el caso donde el contenido de Ti en acero inoxidable ferrítico es mayor que un contenido total de C y N) es 0,10 o mayor, un efecto de arrastre debido a un soluto de Nb aparece efectivamente cuando el acero inoxidable ferrítico se calienta a altas temperaturas e inhibe la migración de un límite de grano y como un resultado, puede suprimir el engrosamiento de los granos de cristal de un acero inoxidable ferrítico a altas temperaturas (en el momento de la soldadura fuerte o similares).

Los valores A y A' son preferiblemente 0,2 o mayores, más preferiblemente 0,25 o mayores.

[Efecto de fijación]

Se sabe que los precipitados finamente dispersos en una matriz metálica se convierten en un obstáculo para el movimiento de dislocación y provocan el denominado fenómeno de refuerzo de la precipitación. Se ha encontrado que estos precipitados inhiben la migración de un límite de grano a altas temperaturas (efecto de fijación).

El grado del efecto de fijación puede expresarse mediante d/f en el que d (mm) representa el diámetro máximo de los precipitados y f representa una fracción en volumen (%) de los precipitados. Cuanto más pequeños sean los precipitados y mayor sea su cantidad, mayor será el efecto de fijación. Los presentes inventores evaluaron el engrosamiento de granos de cristal de un acero que tiene una fracción f de volumen precipitado de 0,05 a 0,20 % mientras se cambia el diámetro d (μm) de los precipitados. Como resultado, se ha encontrado que cuando d/f llega a ser 5 o mayor, el diámetro del grano de cristal del acero inoxidable llega a 500 μm o más por el tratamiento de soldadura. En la presente invención, por lo tanto, se prefiere controlar la cantidad y el diámetro de los precipitados para dar d/f de 5 o menor. En otras palabras, entre menor sea el diámetro de grano de cada precipitado y mayor sea la fracción de volumen total de los precipitados, mayor es el efecto de fijación.

Para obtener una dispersión fina de los precipitados, es importante suprimir el engrosamiento de los precipitados durante el calentamiento o el enfriamiento tras la producción de acero inoxidable. Se ha encontrado que se pueden obtener precipitados que tienen un diámetro máximo de 0,25 μm o menor ajustando una temperatura de absorción en un paso de laminado en caliente a menos de 750°C, mientras que, en un paso de recocción, ajustando una tasa

de calentamiento promedio desde 600°C a una temperatura máxima alcanzada  $T_m$  a 10°C/s o mayor y una tasa de enfriamiento promedio de  $T_m$  a 600°C a 10°C/s o mayor. En este caso, cuando la fracción de volumen  $f$  es 0,05 o mayor, se puede lograr un efecto de fijación necesario para la presente invención.

5 En la presente invención, los precipitados se controlan preferiblemente para tener un diámetro  $d$  máximo de 0,25  $\mu\text{m}$  o menor y una fracción de volumen  $f$  de 0,05 % o mayor.

10 El término "diámetro  $d$  máximo ( $\mu\text{m}$ ) de precipitados" como se usa aquí indica el diámetro de grano máximo de los precipitados que aparecen en el corte transversal cuando se pule el corte transversal de un material de acero. El término "diámetro de grano" indica un lado largo de un rectángulo circunscrito de un grano que tiene un área mínima entre rectángulos circunscritos del grano. El término "fracción volumétrica  $f$  (%)" indica un cociente, en términos de porcentaje, obtenido al dividir un área total de todos los precipitados que aparecen en el corte transversal pulido del material de acero con un área de un campo observado. En cualquier medición, el corte transversal se puede observar usando un microscopio electrónico de barrido (SEM) o similares y se establece un área del campo observado en  $2 \times 10^{-2} \text{ mm}^2$  o mayor.

15 Los precipitados particularmente efectivos en el efecto de fijación son precipitados con base en Nb. Ejemplos de ellos incluyen carburo de Nb, nitruro de Nb y carbonitruro de Nb (que en lo sucesivo se denominará "carburo de Nb/nitruro", colectivamente),  $\text{Fe}_2\text{Nb}$  (fase de Laves) y  $\text{Fe}_3\text{NbC}$ .

Se ha encontrado que con respecto a los componentes de aleación distintos de Nb, Mo y W tienen un efecto de arrastre y, por lo tanto, son efectivos para suprimir el engrosamiento de los granos de cristal y, además, los precipitados tales como Ti o TiC tienen un efecto de fijación.

20 También se ha encontrado que Ni, Co y Cu son muy efectivos para suprimir el deterioro de la tenacidad cuando los granos de ferrita se vuelven gruesos tras la soldadura. Se ha encontrado, por otro lado, que Ti, Al, Zr, REM y Ca tienen un factor para deteriorar el flujo de metal de relleno de soldadura sobre la superficie de un material de acero tras soldar con metal de relleno con base en Ni o metal de relleno con base en Cu. Se presume que esto ocurre porque es probable que se formen óxidos de estos elementos sobre la superficie del material inoxidable tras calentarlos para la soldadura. Sin embargo, como se divulgará más adelante, no ocurre ningún problema si el contenido de estos elementos se controla dentro de un intervalo apropiado.

25 En base a tales hallazgos, se ha completado la presente invención. Se divulgará a continuación la razón para definir los intervalos de los respectivos elementos de aleación que constituyen el acero inoxidable ferrítico de la presente invención. Incidentalmente, la unidad "%" para el contenido de un elemento componente indica "% en masa" a menos que se indique específicamente lo contrario.

30 Los elementos C y N se combinan con Nb, consumen Nb añadido al acero y, por lo tanto, forman un carburo Nb/nitruro. El consumo de Nb y la reducción en una cantidad de Nb capaz de formar una solución sólida pueden inhibir un efecto de mejora de la resistencia a la corrosión y un efecto supresor del engrosamiento del grano de cristal que de otro modo será producido por un soluto de Nb. En la invención, por lo tanto, es necesario limitar el contenido de C a 0,03 % en masa o menor, preferiblemente 0,025 % en masa o menor. También es necesario limitar el contenido de N a 0,03 % en masa o menor, preferiblemente 0,025 % en masa o menor.

35 Como se describió anteriormente, sin embargo, el carburo/nitruro de Nb puede contribuir a la inhibición del engrosamiento de los granos de cristal por su efecto de fijación por la soldadura con metal de relleno con base en Ni o metal de relleno con base en Cu. Por lo tanto, se desea mantener el contenido de C y N para no dañar la resistencia a la corrosión. Más específicamente, desde el punto de vista del efecto de fijación, un contenido total de C y N se ajusta a 0,01 % o más, mientras que los contenidos de C y N se mantienen deseablemente a 0,005 % en masa o más y 0,005 % en masa o más, respectivamente.

40 Un elemento Si mejora la resistencia a la corrosión por picadura de un acero inoxidable ferrítico. Sin embargo, un exceso de contenido de Si endurece la fase de ferrita y se convierte en un factor de deterioro de la capacidad de trabajo. También deteriora la humectabilidad tras soldar con metal de relleno con base en Ni o Cu. Por lo tanto, el contenido de Si se ajusta a 3 % en masa o menor. El contenido de Si preferiblemente excede 0,1 % desde el punto de vista de la mejora de la resistencia a la corrosión. El contenido de Si cae dentro de un intervalo de preferiblemente de 0,2 a 2,5 % en masa y su límite superior se puede establecer en 1,5 % en masa.

45 Se usa un elemento Mn como agente desoxidante de un acero inoxidable. El Mn sin embargo se convierte en un factor de disminución de la concentración de Cr en la película de pasivación y que causa el deterioro de la resistencia a la corrosión, de modo que el contenido de Mn es preferiblemente más bajo. El contenido de Mn se establece en 2 % en masa o menor. La mezcla de Mn en cierta medida es inevitable en un acero inoxidable que usa desechos como materia prima para que el contenido de Mn se controle para que no sea excesivo.

50 El contenido de P es deseablemente más bajo porque deteriora la tenacidad del material base y la porción soldada. En la fusión de un acero que contiene Cr, es difícil desfosforizarlo por refinación. La cuidadosa selección de materias primas para reducir extremadamente el contenido de P requiere un aumento excesivo de costos. En la presente invención, de forma similar a los aceros inoxidables ferríticos convencionales, el contenido de P hasta 0,05 % en

masa es, por lo tanto, permisible.

Un elemento S forma MnS que se convierte fácilmente en un punto de partida de la corrosión por picadura y por lo tanto inhibe la resistencia a la corrosión. Cuando el contenido de S es alto, es probable que se produzcan grietas a alta temperatura en la porción soldada, de modo que el contenido de S se establece en 0,03 % en masa o menor.

- 5 Un elemento Cr es un constituyente principal de una película de pasivación y mejora la resistencia a la corrosión local tal como la resistencia a la corrosión por picadura o la resistencia a la corrosión por grietas. Se requiere que un miembro de tubería que constituye un intercambiador de calor o tubería de refrigerante tenga un contenido de Cr de 11 % o mayor. Sin embargo, un aumento en el contenido de Cr hace que sea difícil disminuir los contenidos de C y N, deteriora las propiedades mecánicas o la tenacidad, y se convierte en una causa de aumento de los costos. En la presente invención, por lo tanto, el contenido de Cr es de 11 a 30 %, preferiblemente de 17 a 26 %.

- 10 Un elemento Nb es importante en la presente invención. Como se describió anteriormente, es excelente en la capacidad de repasivación desde el punto de vista de la resistencia a la corrosión y actúa efectivamente para suprimir el engrosamiento de los granos de cristal tras soldar con metal de relleno con base en Ni o Cu. Se divulgó específicamente, que el efecto de arrastre de un soluto de Nb y el efecto de fijación del carburo/nitruro de Nb actúan efectivamente sobre ellos. Con el fin de producir estos efectos de manera suficiente, es importante ajustar los contenidos de C y N dentro de los intervalos divulgados anteriormente y mantener el contenido de Nb en 0,15 % en masa o más. En particular, un aumento en el contenido de Nb es efectivo para suprimir el engrosamiento de los granos de cristal tras soldar con metal de relleno con base en Ni o Cu. El contenido de Nb es preferiblemente 0,3 % o mayor, más preferiblemente 0,4 % o mayor, aún más preferiblemente 0,5 % o mayor. Sin embargo, un aumento excesivo en el contenido de Nb tiene un efecto adverso sobre la capacidad de trabajo en caliente o las características de calidad superficial de los materiales de acero. El contenido de Nb está por lo tanto limitado a 0,8 % en masa o menor. El contenido de Nb en un intervalo de 0,15 a 0,3 % en masa es efectivo para suprimir el crecimiento de grano a una temperatura de soldadura relativamente baja de 1.000°C, y Nb se añade preferiblemente con Ti para estabilizar el efecto.

- 25 El elemento Mo es, además de Cr, efectivo para mejorar el nivel de resistencia a la corrosión y se sabe que con un aumento en el contenido de Cr, Mo tiene una mayor acción de resistencia a la corrosión.

- Los elementos Mo, Cu, V y W mejoran la resistencia a los ácidos de un acero inoxidable y mejoran la resistencia a la corrosión. Además, son efectivos para prevenir el engrosamiento de los granos de cristal de ferrita a una temperatura de soldadura. Mo, V y W tienen un efecto de arrastre como solutos Mo, V y W y un efecto de fijación con precipitados, mientras que Cu tiene un efecto de fijación debido a la precipitación como una fase de  $\epsilon$  Cu. En la presente invención, se prefiere agregar al menos uno de estos elementos. En particular, es efectivo para establecer un contenido total de estos elementos a 0,05 % en masa o más. Sin embargo, la adición excesiva de estos elementos tiene un efecto adverso sobre la capacidad de trabajo en caliente. Con base en varias investigaciones, cuando se añade al menos uno de Mo, Cu, V y W, un contenido total debe ajustarse a 4 % en masa o menor.

- 35 De Ti y Al, Ti tiene, similar a Nb, una fuerte afinidad con C y N y se espera que forme un carbonitruro Ti fino y produzca un efecto de suprimir el crecimiento del grano de cristal tras la soldadura.

El elemento Al es efectivo como agente desoxidante y la adición de este junto con Ti inhibe el deterioro de la resistencia a la corrosión cuando la soldadura causa oxidación. En particular, es efectivo ajustar un contenido total de Ti y Al a 0,03 % o más.

- 40 La adición de cualquiera de estos elementos en una gran cantidad puede causar el deterioro de la capacidad de trabajo en caliente o las características de la superficie. Además, estos elementos son elementos fácilmente oxidantes, de modo que a veces se forma una película de óxido firme sobre la superficie de un material de acero cuando se calienta tras la recocción final o soldadura. La película de óxido resultante deteriora el flujo de metal de relleno tras la soldadura o reduce la resistencia de unión después de la soldadura. Cuando se usa metal de relleno con base en latón, las películas de óxido distintas de aquellas de Ti y Al pueden eliminarse por la acción reductora de Zn contenida en el metal de relleno, pero debido a la afinidad más fuerte de Ti y Al con oxígeno que Zn, las películas de óxido de Ti y Al no pueden eliminarse. Como un resultado de la investigación, cuando se agrega al menos uno de Ti y Al, se limita el contenido total (un contenido total de Ti y/o Al y Zr cuando se agrega Zr) a 0,4 % en masa o menor con el fin evitar los problemas debido a una película de óxido. En particular, es efectivo ajustar el contenido total dentro de un intervalo de 0,03 a 0,3 % en masa, más preferiblemente de 0,03 a 0,25 % en masa.

- 55 Los elementos Ni y Co son notablemente efectivos para suprimir la reducción de la tenacidad cuando los granos de cristal de ferrita se vuelven gruesos tras la soldadura. Este efecto supresor de la reducción de la tenacidad se exhibe también cuando el diámetro promedio del grano de cristal no ha aumentado (por ejemplo, el diámetro de grano promedio de los granos de cristal de ferrita es 500  $\mu\text{m}$  o menor). Por lo tanto, es posible agregar al menos uno de estos elementos según sea necesario. Es más efectivo mantener un contenido total de Ni y Co de 0,5 % en masa o más desde el punto de vista de la supresión de la reducción de la dureza. Sin embargo, no se prefiere la adición excesiva de Ni y Co porque conduce a la formación de una fase de austenita en una región de alta temperatura y afecta negativamente a la capacidad de trabajo en caliente. Cuando se agrega al menos uno de Ni y Co, se debe ajustar un contenido total de Ni y Co para que caiga dentro de un intervalo de 5 % en masa o menor.

Se ha confirmado que con respecto a la resistencia a la corrosión contra un condensado de un gas de escape o bajo un ambiente acuoso rico en cloro, el acero inoxidable ferrítico que tiene una composición como se describió anteriormente es comparable con los aceros austeníticos usados para miembros de intercambiador convencionales de calor, y no tiene problema. Además, en el acero inoxidable ferrítico de la presente invención, se ha mejorado simultáneamente el efecto supresor del engrosamiento del grano de cristal tras soldar con metal de relleno con base en Ni o Cu y una capacidad de soldadura.

El acero inoxidable ferrítico de la presente invención se puede producir fundiendo un acero que tiene una composición definida en la presente invención y luego llevando a cabo el mismo procedimiento que el empleado para aceros inoxidables ferríticos ordinarios. Después de la producción, se prefiere controlar el diámetro máximo y la fracción de volumen de los precipitados con el fin de producir un efecto de fijación completamente para suprimir el engrosamiento de los granos de cristal.

En el acero inoxidable ferrítico de la presente invención, se puede obtener una chapa de acero mediante un procedimiento que incluye laminado en caliente, laminado en frío y recocido de acabado. Cuando el laminado en caliente y la recocido de acabado se realizan para satisfacer las condiciones divulgadas a continuación [1] y [2], es posible realizar una distribución de precipitados bajo la cual se produce un buen efecto de fijación, es decir, una distribución de precipitados bajo la cual un diámetro  $d$  máximo de precipitados es  $0,25 \mu\text{m}$  o menor y un factor de volumen  $f$  de los precipitados es  $0,05 \%$  o superior.

[1] En laminación en caliente, la temperatura de absorción se ajusta a menos de  $750^\circ\text{C}$ .

[2] En la recocido final, una tasa de calentamiento promedio de  $600^\circ\text{C}$  a la temperatura máxima alcanzada  $T_m$  en un procedimiento de calentamiento se ajusta a  $10^\circ\text{C/s}$  o mayor y una tasa de enfriamiento promedio de  $T_m$  a  $600^\circ\text{C}$  en un procedimiento de enfriamiento se ajusta a  $10^\circ\text{C}$  o más.

Se pueden obtener diversos miembros, tales como miembros de un intercambiador de calor, mediante soldadura de placas de acero hechas de acero inoxidable ferrítico de la presente invención para formar una unión de acero inoxidable. No se impone ninguna limitación sobre el metal de relleno de soldadura que se va a usar con este fin y metales de relleno de soldadura conocidos, por ejemplo, se puede usar metal de relleno con base en Ni, metal de relleno con base en Cu, metal de relleno con base en cobre fósforo, metal de relleno con base en latón y metal de relleno con base en plata. Dado que en el acero inoxidable ferrítico de la presente invención se suprime el engrosamiento de los granos de cristales tras calentar a altas temperaturas, se usa ventajosamente cuando se realiza soldadura con metal de relleno de soldadura que requiere una temperatura de soldadura tal como el metal de relleno con base en cobre fosforoso y metal de relleno con base en latón. Un procedimiento de soldadura tampoco está limitado y se pueden emplear procedimientos conocidos tales como soldadura con lanza.

Cuando el acero inoxidable ferrítico (chapa) de la presente invención se somete a soldadura con lanza con metal de relleno con base en latón, se puede realizar la soldadura con lanza después de eliminar una película de óxido de la superficie usando un fundente compuesto principalmente de ácido fluorhídrico y ácido bórico, de la misma manera que el procedimiento empleado para los aceros inoxidables ordinarios. Al llevar a cabo la soldadura con lanza mientras se establece la temperatura máxima alcanzada y el tiempo de calentamiento del material base para satisfacer las siguientes condiciones [3] y [4], está disponible una unión de acero inoxidable en la que los precipitados han producido efectivamente un efecto de fijación efectivo y se ha suprimido un diámetro promedio de grano de cristal de la matriz del material base a  $500 \mu\text{m}$  o menor incluso después de la soldadura y que tiene excelentes propiedades de resistencia.

[3] La temperatura máxima alcanzada de un material base tras la soldadura se establece en menos de  $1000^\circ\text{C}$ .

[4] El tiempo de calentamiento tras la soldadura se establece en menos de 3 minutos.

[Ejemplos]

Se preparó una chapa laminada en caliente que tenía un espesor de chapa de 3 mm fundiendo un acero inoxidable que tenía una composición química como se muestra en la Tabla 1 y luego se laminó en caliente el acero resultante. A continuación, la chapa laminada en caliente se adelgazó hasta un espesor de chapa de 1,0 mm por laminación en frío, se sometió a una recocido de acabado a una temperatura máxima alcanzada  $T_m$  de  $1.000$  a  $1.070^\circ\text{C}$  durante un tiempo de retención de 1 a 60 segundos, y se decapó. De esta forma, se preparó un espécimen.

El laminado en caliente y la recocido de acabado de todos los aceros de la invención, excepto los aceros 19 y 20 de la invención, se realizaron bajo las condiciones que satisfacen aquellas descritas en [1] y [2]. El acero 19 de la invención tuvo la misma composición química que la del acero 10 de la invención, pero se absorbió a  $880^\circ\text{C}$  en laminación en caliente. El acero 20 de la invención tenía la misma composición química que la del acero 15 de la invención, pero se enfrió a una tasa de enfriamiento de  $1^\circ\text{C/s}$  desde  $T_m$  hasta  $600^\circ\text{C}$  en un procedimiento de enfriamiento tras finalizar la recocido.

Incidentalmente, el acero 6 comparativo es un acero inoxidable austenítico.

[Tabla 1]

Material	Mn	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Nb	Ti	Al	N	Mo	Cu	W	V	Co	C+N	A	A'	(%)	d(μm)	
Hierro de la presente invención	1	0.012	0.31	0.26	0.028	0.003	-	18.31	0.46	-	-	0.010	-	-	-	-	-	0.022	0.29	-	0.18	0.15	
	2	0.009	0.25	0.38	0.030	0.002	-	18.21	0.43	-	-	0.012	-	0.47	-	-	-	0.021	0.28	-	0.16	0.21	
	3	0.009	0.30	0.31	0.028	0.001	-	18.08	0.40	-	-	0.008	-	-	-	0.24	-	0.018	0.27	-	0.13	0.15	
	4	0.010	0.29	0.33	0.029	0.002	-	18.15	0.42	-	-	0.011	-	-	-	0.25	-	-	0.021	0.27	-	0.16	0.18
	5	0.015	0.52	0.31	0.027	0.007	-	18.22	0.41	-	-	0.009	-	0.45	-	-	-	1.45	0.024	0.23	-	0.18	0.12
	6	0.009	0.33	1.03	0.028	0.002	0.20	18.19	0.62	-	-	0.008	2.01	0.22	-	-	-	-	0.017	0.50	-	0.13	0.15
	7	0.004	0.42	0.21	0.032	0.003	-	23.08	0.42	-	0.03	0.012	0.68	0.18	-	0.18	-	-	0.016	0.31	-	0.11	0.13
	8	0.009	0.22	0.25	0.030	0.010	-	18.22	0.28	0.18	-	0.011	0.35	-	0.22	-	-	-	0.020	-	0.25	0.07	0.14
	9	0.006	0.08	1.74	0.034	0.023	1.45	19.34	0.18	0.34	-	0.011	0.89	-	-	-	-	-	0.017	-	0.16	0.08	0.18
	10	0.006	0.20	0.18	0.033	0.002	0.18	22.12	0.25	0.17	0.07	0.014	1.04	-	-	-	-	-	0.020	-	0.18	0.06	0.14
	11	0.008	2.32	0.34	0.031	0.004	0.32	23.22	0.43	-	-	0.012	-	1.22	2.11	-	-	-	0.020	0.29	-	0.14	0.13
	12	0.011	1.23	0.23	0.029	0.002	0.21	19.45	0.36	-	-	0.11	0.15	2.43	-	0.13	-	-	0.026	0.38	-	0.18	0.18
	13	0.004	0.29	0.29	0.043	0.001	2.43	23.22	0.32	-	-	0.013	<0.01	-	-	-	-	-	0.017	0.20	-	0.12	0.11
	14	0.006	0.26	0.19	0.030	0.001	0.51	23.91	0.30	0.28	0.09	0.018	0.49	-	-	-	-	-	0.022	-	0.18	0.09	0.19
	15	0.009	0.62	0.23	0.029	0.010	0.23	22.45	0.34	0.24	0.11	0.018	1.01	-	0.34	-	-	-	0.016	-	0.31	0.07	0.17
	16	0.005	0.34	0.43	0.032	0.007	-	20.45	0.45	-	-	0.010	0.81	-	-	-	-	-	0.015	0.34	-	0.11	0.18
	17	0.007	0.23	0.45	0.033	0.002	-	11.78	0.42	-	-	0.008	-	-	-	0.23	-	-	0.015	0.31	-	0.15	0.18
	18	0.012	0.48	0.29	0.027	0.011	-	29.22	0.38	-	-	0.011	-	-	0.56	-	0.19	-	0.022	0.19	-	0.13	0.18
	19	0.006	0.08	1.24	0.034	0.023	1.45	19.34	0.18	0.18	-	0.011	0.89	-	-	-	-	-	0.017	-	-	0.16	0.02
20	0.006	0.28	0.18	0.030	0.001	0.51	23.91	0.30	0.20	0.09	0.018	0.49	-	-	-	-	-	0.022	-	0.18	0.07	0.30	
Hierro comparativo	1	0.038	0.21	0.32	0.034	0.003	0.43	18.34	0.13	-	-	0.013	-	-	-	0.22	-	-	0.051	-0.28	-	0.38	0.16
	2	0.011	3.45	0.31	0.052	0.011	0.31	21.30	0.07	0.32	0.14	0.241	0.68	-	-	-	-	-	0.052	-	0.03	0.06	0.16
	3	0.004	0.45	2.49	0.041	0.006	1.23	22.00	0.21	0.23	-	0.007	0.91	-	1.23	-	-	-	0.011	-	0.08	0.02	0.14
	4	0.010	0.13	0.23	0.035	0.040	0.22	21.73	0.34	-	0.43	0.008	0.82	-	-	-	-	0.43	0.018	0.21	-	0.13	0.13
	5	0.004	0.14	0.28	0.022	0.004	0.32	2.23	0.43	-	-	0.007	-	-	-	-	-	-	0.011	0.25	-	0.10	0.17
	6	0.015	0.53	1.74	0.023	0.004	12.01	17.30	-	-	0.03	0.008	2.17	0.34	-	-	-	-	0.023	-	-	-	-

No definido: fuera del alcance de la presente invención

Las siguientes características se estudiaron usando los materiales de acero obtenidos de ésta forma.

"Tamaño máximo y fracción f de volumen de precipitados"

Cada uno de los materiales de acero se cortó y la superficie pulida electrolíticamente de su corte transversal se

observó a través de SEM. La observación continuó hasta que el área total del campo observado se convirtió en  $2 \times 10^{-2} \text{ mm}^2$ . De los precipitados observados de esta forma, el diámetro de grano del precipitado que tiene el mayor diámetro de grano se designó como el diámetro  $d$  máximo ( $\mu\text{m}$ ).

De la misma manera, se observó el corte transversal en el campo observado de  $2 \times 10^{-2} \text{ mm}^2$  y se midió un área  $S$  ( $\text{mm}^2$ ) de todos los precipitados presentes en el campo observado usando procesamiento de imágenes y se calculó una fracción  $f$  de volumen de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$f (\%) = S / (2 \times 10^{-2}) \times 100$$

Con respecto a la discriminación de los precipitados, el análisis de superficie se realizó usando EDX y se consideraron porciones que muestran una mayor intensidad de detección de Nb, Ti, Mo, Cu, V o W que la porción de matriz como precipitados. Los valores así obtenidos se muestran en la Tabla 1.

"Capacidad de soldadura"

Primero, se aplicó una pasta de metal de relleno con base en Ni y una pasta de metal de relleno con base en Cu, respectivamente, para dar un espesor de 0,3 mm entre dos piezas con diferentes tamaños (una inferior: 35 x 25 mm, una superior: 20 x 25 mm) como se muestra en la FIG. 1. El tratamiento de soldadura se realizó en vacío bajo las condiciones que se muestran en la siguiente tabla, mientras se mantienen estas dos placas alineadas horizontalmente.

[Tabla 2]

	Tiempo de calentamiento	Temperatura de soldadura	Retención	Enfriamiento	Tipo de metal de relleno
Metal de relleno con base en Ni	3,5 h	1.150°C	30 min	Fuera del horno	BNi-5 (Ni-19Cr-10Si) JIS 3265
Metal de relleno con base en Cu	3,5 h	1.120°C	90 min	Enfriamiento con aire	BCu-1 (Cu) JIS Z3262

Se sacó del horno la pieza de prueba y se determinó una proporción de recubrimiento de metal de relleno dividiendo un área de una porción de la superficie superior de la pieza de prueba superior de 20 x 25 mm, donde dicha porción se humedeció con el metal de relleno, con un área de la pieza de prueba. La pieza de prueba que tiene una proporción de recubrimiento de metal de relleno del 50 % o superior se clasificó A, que tiene una proporción de recubrimiento de metal de relleno de 20 % o mayor pero menor que 50 % se clasificó B, y que tiene una proporción de recubrimiento de metal de relleno de menos de 20 % se clasificó C. Las piezas de prueba que tienen una calificación igual o mayor que B se consideraron aceptables.

"Diámetro del grano de cristal después del tratamiento térmico para soldadura"

Se observó la estructura (4) metálica del corte transversal (véase la figura 1) de cada una de las piezas de prueba que se habían usado para evaluar la capacidad de soldadura a través de un microscopio óptico. El grabado se realizó con un ácido mixto de ácido fluorhídrico y ácido nítrico. El diámetro del grano de cristal se determinó usando el procedimiento de sección y la pieza de prueba que tuvo un diámetro de grano de 200  $\mu\text{m}$  o menor se clasificó como A, que tuvo un diámetro de grano superior a 200  $\mu\text{m}$  pero no superior a 500  $\mu\text{m}$  se clasificó como B, y que tuvo un diámetro de grano superior a 500  $\mu\text{m}$  se clasificó como C. Se consideraron aceptables las piezas de prueba clasificadas como A y B.

"Prueba de condensado en un material tratado térmicamente para soldadura con metal de relleno con base en Ni"

Con respecto a la pieza de prueba que se había usado para evaluar la capacidad de soldadura, la superficie superior de la pieza de prueba superior de 20 x 25 mm sobre la que había invadido el metal de relleno de soldadura se pulió con # 600 y luego, como se ilustra en la FIG. 2, la pieza (5) de prueba se sometió a una prueba de 10 ciclos, donde cada ciclo consistía en (201) sumergir la pieza (5) de prueba en 100 ml de agua (7) de drenaje simulado, contenida en un vaso de precipitados (6) de 200 ml (con 100 ppm de  $\text{HNO}_3$ , 20 ppm de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 1 ppm de  $\text{Cl}^-$ ), que se preparó bajo el supuesto de tener componentes contenidos en la composición de un gas de calentamiento de agua, y (202) colocando la pieza de prueba en un probador ambiental de 130°C durante aproximadamente 7 horas correspondientes a un período en que se seca la pieza de prueba y lavado con agua. Se determinó la presencia o ausencia de corrosión de la materia prima inoxidable y el metal de relleno de soldadura.

"Prueba de condensado de corrosión en grietas bajo ambiente acuoso en un material tratado térmicamente para soldadura con metal de relleno con base en Ni"

Respecto a las piezas de prueba divulgadas anteriormente que se habían usado para evaluar la capacidad de soldadura, la superficie superior de la pieza de prueba superior de 20 x 25 mm sobre la que había invadido el metal de relleno de soldadura se pulió con # 600 y luego, se sumergió en 2.000 ppm de Cl + 10 ppm de Cu durante 24 horas. Se clasificó como O una pieza de prueba con una profundidad de corrosión máxima inferior a 0,1 mm y la que tenía una profundidad de corrosión máxima superior a 0,1 mm se clasificó como X.

"Diámetro del grano de cristal después del tratamiento térmico equivalente a la soldadura con lanza"

Cuando la soldadura con lanza se realiza con metal de relleno con base en latón, la temperatura de soldadura es aproximadamente 900°C. La temperatura de un material que se va a soldar se incrementa a 1.000°C o más por calentamiento de manera preliminar o similares, y alcanza incluso aproximadamente 1.100°C en las vecindades de la superficie con la que una llama se pone en contacto directo. Se puede aplicar al material una historia de calor adicional, tal como sobrecalentamiento o re-soldadura debido a una falla de la unión. Por consiguiente, se cortó una pieza de prueba de 30 mm x 80 mm de cada material de acero y se calentó a 1.100°C durante 10 minutos como un tratamiento térmico equivalente a la soldadura con lanza. La superficie del borde de la pieza de prueba después del tratamiento térmico se pulió, se grabó con un ácido mixto preparado usando ácido fluorhídrico y ácido nítrico, y se observó a través de un microscopio óptico. El diámetro del grano de cristal promedio se determinó mediante el procedimiento de sección.

La pieza de ensayo que tiene un diámetro de grano de cristal promedio de 200 µm o menor se clasificó como A (se produjo un efecto supresor de engrosamiento notablemente bueno), que tenía un diámetro de grano de cristal promedio superior a 200 µm pero no superior a 500 µm se clasificó como B (se produjo un buen efecto supresor de engrosamiento), que tenía un diámetro de grano de cristal promedio superior a 500 µm pero no superior a 1000 µm se calificó como C (se produjo un efecto supresor de engrosamiento), y que tenía un diámetro de grano de cristal superior promedio a 1000 µm se clasificó como D (no se produjo un efecto supresor de engrosamiento suficiente). Se presume que el resultado clasificado B no tiene ningún problema cuando se usa en la práctica como un miembro para intercambiadores de calor, un miembro de tubería y similares.

[Capacidad de soldadura con lanza con metal de relleno con base en latón]

De cada chapa de material de acero que tiene un espesor de chapa de 1 mm, se cortaron piezas de prueba de 30 mm x 80 mm. Se superpusieron entre sí como se ilustra en la FIG. 3 con un espacio (8) de superposición de 4 mm y se unieron por soldadura con lanza desde un lado (9) mientras se usa un fundente. Incidentalmente, se usó metal de relleno con base en latón (un alambre BCuZn-1 (aleación 60Cu-0.1 Sn-Zn) como metal de relleno de soldadura y se usó un fundente H<sub>3</sub>BO<sub>4</sub>-KB<sub>4</sub>O<sub>7</sub>-KF-KBF<sub>4</sub> habitualmente usado en la soldadura de acero inoxidable como el fundente. La pieza de prueba unida de este modo se estiró en una dirección longitudinal usando un probador de tensión hasta que se produce la ruptura. La pieza de prueba se rompe en la porción de material base cuando se realiza una buena soldadura con lanza. Por consiguiente, la pieza de prueba rota en la porción de material base fue clasificada O (mostrando que la capacidad de soldadura de la lanza era buena) y aquella que se rompió en la porción de metal de relleno se clasificó como X (que muestra que la capacidad de soldadura con lanza era mala).

"Resistencia a la corrosión de la superficie exterior después de la soldadura con lanza"

Con el fin de evaluar la resistencia a la corrosión de la superficie exterior de una tubería cuando se usó el acero inoxidable de la presente invención para el miembro de tubería, la pieza de prueba que se sometió al tratamiento térmico divulgado anteriormente equivalente a la soldadura con lanza se sometió a 10 ciclos de una prueba de humectación y secado con sal, donde cada ciclo consistía en la atomización de ácido clorhídrico, secado y humectación, y se midió la proporción del área de oxidación. La proporción de área de oxidación se determinó tomando una imagen de la apariencia después de la prueba y luego dividiendo un área de una porción de oxidación distinta a la superficie del borde con un área de la muestra completa.

La pieza de prueba con una proporción de área de oxidación de 1 % o menor se clasificó como O (que muestra una buena resistencia a la corrosión de la superficie exterior) y la que tenía una proporción de área de oxidación superior a 1 % se clasificó como X (que muestra una resistencia a la corrosión superficial pobre).

La capacidad de soldadura con metal de relleno con base en Ni/Cu, diámetro del grano de cristal después del tratamiento térmico para soldadura con metal de relleno con base en Ni/Cu, los resultados de la prueba de condensado en un material tratado térmicamente para soldadura con metal de relleno con base en Ni, y los resultados de la prueba de condensador por corrosión en grietas bajo ambiente acuoso en un material tratado térmicamente para soldadura con metal de relleno con base en Ni se muestran en la Tabla 3. El diámetro del grano de cristal después del tratamiento térmico equivalente a la soldadura con lanza, la capacidad de soldadura con lanza con material de metal de relleno con base en latón y la resistencia a la corrosión de la superficie exterior después de la soldadura con lanza se muestran en la Tabla 4.

Como es evidente a partir de la Tabla 3, los aceros inoxidables ferríticos de la presente invención tienen capacidad de soldadura con metal de relleno con base en Ni o Cu que se ha usado convencionalmente para miembros de intercambiadores de calor, inhiben el engrosamiento de los granos de cristal y son excelentes en la resistencia a la corrosión contra el condensado tendiendo una composición de gas o bajo un ambiente acuoso, y de esta forma

pueden tener suficientes propiedades como un miembro para intercambiadores de calor.

5 Dado que los aceros 1 y 2 comparativos, por otro lado, tienen un contenido pequeño de Nb y no se produce el efecto de un precipitado de Nb o soluto Nb tras la soldadura, es probable que se produzca un crecimiento de grano. El acero 1 comparativo tiene un gran contenido de carbono y, por lo tanto, se produce un fenómeno de sensibilización debido a la precipitación de un carburo tras enfriarse para la soldadura. Por lo tanto, tiene un problema en la resistencia a la corrosión. El acero del ejemplo 2 comparativo tiene un contenido rico de P o Mo, de modo que tiene baja tenacidad y además, debido a un contenido rico en nitrógeno y un fenómeno de sensibilización, tiene poca resistencia a la corrosión contra el condensado que tiene una composición de gas o bajo un entorno acuoso. Además, su capacidad de soldadura no es aceptable debido a un gran contenido de Ti. El acero 3 comparativo tiene un problema en productividad porque tiene ductilidad reducida debido a una fase de martensita formada que acompaña a la formación de una austenita debido a un aumento en el contenido de Mn o tiene una tenacidad reducida debido a un alto contenido de Nb para aumentar la resistencia. El acero 4 comparativo fue inferior en la capacidad de soldadura de Ni o Cu debido a un problema de la condición superficial debido a la adición excesiva de Al.

15 [Tabla 3]

Tipo	No.	Capacidad de soldadura con metal de relleno con base en N	Capacidad de soldadura con metal de relleno con base en Cu	Diámetro del grano de cristal tras soldar con metal de relleno con base en Ni	Diámetro del grano de cristal tras soldar con metal de relleno con base en Cu	Resistencia a la corrosión después de la soldadura con metal de relleno con base en Ni	
						Prueba de condensado	Prueba de condensado de corrosión en grietas bajo ambiente acuoso
Acero de la invención	1	A	A	B	B	○	○
	2	A	A	B	B	○	○
	3	A	A	A	A	○	○
	4	A	A	A	A	○	○
	5	A	A	B	B	○	○
	6	A	A	A	A	○	○
	7	A	A	A	A	○	○
	8	B	A	B	B	○	○
	9	B	B	B	B	○	○
	10	B	B	B	B	○	○
	11	A	A	A	A	○	○
	12	B	B	A	A	○	○
	13	A	A	B	B	○	○
	14	B	B	B	B	○	○
	15	B	B	A	B	○	○
	16	A	A	A	A	○	○

(continuación)

Tipo	No.	Capacidad de soldadura con metal de relleno con base en N	Capacidad de soldadura con metal de relleno con base en Cu	Diámetro del grano de cristal tras soldar con metal de relleno con base en Ni	Diámetro del grano de cristal tras soldar con metal de relleno con base en Cu	Resistencia a la corrosión después de la soldadura con metal de relleno con base en Ni	
						Prueba de condensado	Prueba de condensado de corrosión en grietas bajo ambiente acuoso
Acero comparativo	1	A	A	c	c	○	○
	2	C	C	C	C	×	×
	3	B	B	A	A	○	○
	4	C	C	B	B	○	○
	6	A	A	A	A	○	○

A partir de la Tabla 4, se ha confirmado que los aceros de la invención son excelentes en la capacidad de soldadura (capacidad de soldadura con lanza) y se ha suprimido el engrosamiento de los granos de cristal de ferrita.

- 5 En los aceros 19 y 20 de la invención, sin embargo, el efecto supresor del engrosamiento de los granos de cristal de ferrita es pequeño porque se establecen condiciones de producción extremas tales como la fracción  $f$  muy pequeña de precipitados de volumen o el diámetro máximo muy grande de los precipitados.

- 10 Por otro lado, los aceros 1 y 2 comparativos que tienen un contenido de Nb pequeño no tenían un efecto supresor de engrosamiento suficiente de los granos de cristal de ferrita. El acero del ejemplo 1 comparativo tenía un gran contenido de C, de modo que se produjo un fenómeno de sensibilización por calentamiento para la soldadura con lanza y la resistencia a la corrosión fue inferior. Cuando se empleó metal de relleno con base en latón como un metal de relleno de soldadura, por otra parte, se produjo descarbonización debido a la conversión de C en el acero en un gas de CO, de modo que la capacidad de soldadura con lanza con metal de relleno con base en latón fue buena.
- 15 Los aceros 2 y 4 comparativos tenían un gran contenido total de Ti y Al, de modo que la resistencia de unión después de la soldadura con lanza fue inferior.

El acero del ejemplo 5 comparativo tenía un contenido de Cr pequeño de modo que la resistencia a la corrosión de la superficie exterior del mismo no cumplía el criterio que se requiere para la aplicación de un elemento de tubería.

[Tabla 4]

Tipo	No.	Diámetro del grano de cristal después del tratamiento térmico equivalente a la soldadura con lanza	Capacidad de soldadura con lanza con metal de relleno con base en latón	Resistencia a la corrosión superficial externa
Acero de la invención	1	B	○	○
	2	B	○	○
	4	A	○	○
	5	B	○	○
	6	A	○	○
	7	A	○	○
	8	B	○	○
	9	A	○	○

(continuación)

Tipo	No.	Diámetro del grano de cristal después del tratamiento térmico equivalente a la soldadura con lanza	Capacidad de soldadura con lanza con metal de relleno con base en latón	Resistencia a la corrosión superficial externa
	10	B	○	○
	11	A	○	○
	12	A	○	○
	13	B	○	○
	14	B	○	○
	15	A	○	○
	16	A	○	○
	17	A	○	○
	18	A	○	○
	19	C	○	○
	20	C	○	○
Acero comparativo	1	D	○	×
	2	D	×	○
	4	B	×	○
	5	B	○	×
	6	A	○	○

Capacidad de aplicación industrial

- 5 Los aceros inoxidables ferríticos de la presente invención tienen buena resistencia a la corrosión mientras que evitan el deterioro de la ductilidad o tenacidad debido al engrosamiento de los granos de cristal tras la soldadura, por lo que son adecuados para usar en materiales para varios miembros tales como miembros para intercambiador de calor o miembros de tubería que son para ser soldados y se requiere que tengan resistencia a la corrosión.

Divulgación de los numerales de referencia

- 1. Pieza de prueba del lado superior
- 10 2. Pieza de prueba del lado inferior
- 3. Metal de relleno de soldadura
- 4. Una porción de una estructura de metal que se va a observar
- 5. Pieza de prueba
- 51. Superficie
- 15 52. Interfaz
- 6. Vaso de precipitados de 200 ml
- 7. Agua de drenaje simulado
- 9. Porción de superposición
- 10. Dirección soldada de la lanza

**REIVINDICACIONES**

1. Un acero inoxidable ferrítico que consiste en, sobre la base del porcentaje en masa,  
 C: 0,03 % o menor,  
 Si: 3 % o menor,  
 5 Mn: 2 % o menor,  
 P: 0,05 % o menor,  
 S: 0,03 % o menor,  
 Cr: de 11 a 30 %,  
 Nb: de 0,15 a 0,8 %,
- 10 N: 0,03 % o menor,  
 opcionalmente Ti tal que el contenido de Ti (mol) es mayor que el contenido total (mol) de C y N, y en el que un valor A' determinado por la siguiente ecuación es 0,10 o mayor:  $A' = Nb - C3 (92,9/12)/2$ ;  
 opcionalmente al menos uno de Mo, Cu, V y W en una cantidad total de 4 % o menor;  
 opcionalmente al menos uno de Ti y Al en una cantidad total de 0,4 % o menor; y  
 15 opcionalmente al menos uno de Ni y Co en una cantidad total de 5 % o menor;  
 en la que el balance está compuesto de Fe e impurezas incidentales, y  
 en la que un valor A determinado por la siguiente ecuación es 0,10 o mayor:
- $$A = Nb - (Cx92,9/12 + Nx92,9/14).$$
- 20 y  
 en la que el diámetro máximo de los precipitados (d) es 0,25  $\mu\text{m}$  o menor y la fracción de volumen de los precipitados (f) es 0,05 % o mayor.
2. El acero inoxidable ferrítico de acuerdo con la reivindicación 1, en el que un contenido total de C y N es 0,01 % o mayor.
- 25 3. El acero inoxidable ferrítico de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que el límite inferior del contenido de Si excede 0,1 %.
4. El acero inoxidable ferrítico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, para su uso en la fabricación de un miembro de intercambiadores de calor o un miembro que se va a soldar con lanza.
- 30 5. Una chapa de acero compuesta del acero inoxidable ferrítico como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4.
6. Una unión de acero inoxidable que comprende una chapa de acero compuesta de acero inoxidable ferrítico como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en la que la chapa de acero está soldada.
7. Un procedimiento de producción de una chapa de acero inoxidable ferrítico que comprende:  
 un paso de preparación del acero inoxidable ferrítico como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6,  
 35 un paso para llevar a cabo laminado en caliente a una temperatura de absorción inferior a 750°C,  
 un paso para llevar a cabo el laminado en frío,  
 y  
 un paso para llevar a cabo la recocción de acabado bajo la condición de que la tasa de calentamiento promedio de 600°C a una temperatura máxima alcanzada Tm en un procedimiento de calentamiento sea 10°C/s o mayor y que la  
 40 tasa de enfriamiento promedio desde la temperatura máxima alcanzada Tm hasta 600°C en un procedimiento de enfriamiento es de 10°C/s o superior.

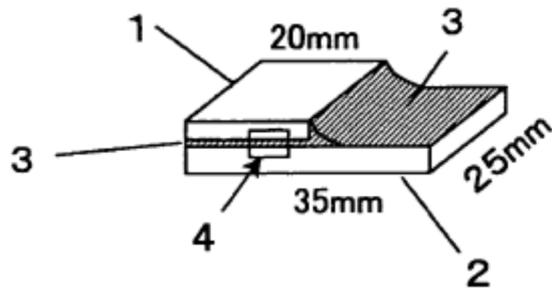


FIG. 1

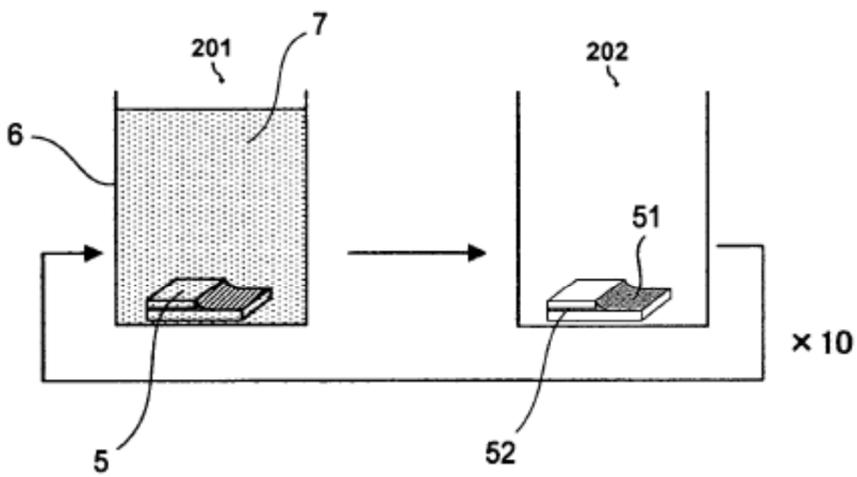


FIG. 2

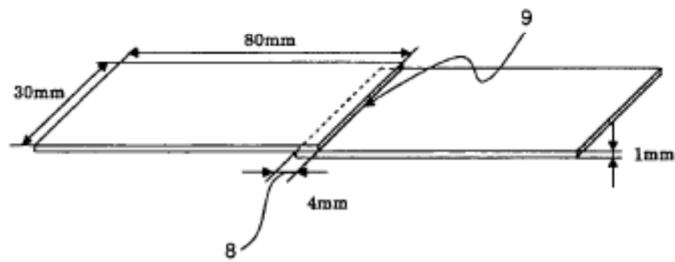


FIG. 3