

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 721 541**

51 Int. Cl.:

<b>C22C 38/00</b>	(2006.01) <b>C21D 1/06</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/02</b>	(2006.01) <b>C21D 1/76</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/04</b>	(2006.01) <b>C21D 9/46</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/42</b>	(2006.01) <b>C23C 8/26</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/48</b>	(2006.01)	
<b>C22C 38/06</b>	(2006.01)	
<b>C22C 38/44</b>	(2006.01)	
<b>C22C 38/46</b>	(2006.01)	
<b>C22C 38/50</b>	(2006.01)	
<b>C22C 38/54</b>	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.11.2015 PCT/JP2015/005728**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **30.06.2016 WO16103565**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.11.2015 E 15872143 (1)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.01.2019 EP 3239315**

54 Título: **Acero inoxidable ferrítico y proceso para producir el mismo**

30 Prioridad:

**24.12.2014 JP 2014260776**

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

**01.08.2019**

73 Titular/es:

**JFE STEEL CORPORATION (100.0%)  
2-3, Uchisaiwaicho 2-chome, Chiyoda-ku  
Tokyo 100-0011, JP**

72 Inventor/es:

**FUKUDA, KUNIO;  
ISHIKAWA, SHIN;  
FUJISAWA, MITSUYUKI;  
YAMAUCHI, KATSUHISA y  
KAMI, CHIKARA**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 721 541 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 ferrítico y proceso para producir el mismo

5 La presente divulgación se relaciona con un acero inoxidable ferrítico que tiene una excelente resistencia a la corrosión y que presenta buenas propiedades de soldadura fuerte cuando la soldadura fuerte se realiza a alta temperatura utilizando un metal de soldadura fuerte que contiene Ni, y con un proceso para producir el acero inoxidable ferrítico.

Antecedentes

10 En los últimos años, ha habido una demanda de mejoras adicionales en la eficiencia del combustible de los automóviles y la purificación de los gases de escape desde un punto de vista de protección ambiental. En consecuencia, la adopción de unidades de recuperación de calor de escape y refrigeradores EGR (Recirculación de Gases de escape) en automóviles continúa aumentando.

15 Una unidad de recuperación de calor de escape es un aparato que mejora la eficiencia del combustible mediante, por ejemplo, el uso de calor del refrigerante del motor para calentar automóviles y el uso de calor de los gases de escape para calentar el refrigerante del motor a fin de reducir el tiempo de calentamiento cuando el motor se pone en marcha. La unidad de recuperación de calor del escape normalmente está ubicada entre un convertidor catalítico y un silenciador, e incluye una parte de intercambiador de calor formada por una combinación de tuberías, placas, aletas, placas laterales, etc., y partes de tuberías de entrada y salida. Usualmente, las aletas, las placas y similares tienen un espesor de lámina pequeño (aproximadamente 0.1 mm a 0.5 mm) para reducir la resistencia a la contrapresión, y las placas laterales, tuberías y similares tienen un espesor de lámina grande (aproximadamente 0.8 mm a 1.5 mm) para asegurar la fuerza. El gas de escape ingresa a la parte del intercambiador de calor a través del tubo de entrada, transfiere su calor a un refrigerante a través de una superficie de transferencia de calor, tal como una aleta, y se descarga desde el tubo de salida. La unión y el ensamblaje de placas, aletas, etc., que forman la parte del intercambiador de calor de una unidad de recuperación de calor de escape, tal como se explicó anteriormente, se llevan a cabo principalmente mediante soldadura fuerte utilizando un metal de soldadura fuerte que contiene Ni.

20

25

30 Un enfriador EGR incluye un tubo para la entrada de gases de escape desde un colector de escape o similares, un tubo para devolver los gases de escape a un lado de admisión de gas de un motor y un intercambiador de calor para enfriar los gases de escape. El enfriador EGR tiene más específicamente una estructura en la que un intercambiador de calor que incluye tanto un paso de flujo de agua como un paso de flujo de gases de escape está ubicado en una trayectoria a lo largo de la cual los gases de escape regresan al lado de admisión de gas del motor desde el colector de escape. A través de la estructura descrita anteriormente, el intercambiador de calor enfría el gas de escape de alta temperatura en el lado de escape y el gas de escape enfriado se devuelve al lado de admisión de gas para reducir la temperatura de combustión del motor. En consecuencia, esta estructura forma un sistema para inhibir la producción de NO<sub>x</sub>, que tiende a ocurrir a altas temperaturas. La parte del intercambiador de calor del enfriador EGR se realiza mediante la superposición de aletas y placas finas, para reducir el peso, tamaño, coste, etc. La unión y el ensamblaje de estas placas finas se realiza principalmente mediante soldadura fuerte utilizando un metal de soldadura fuerte que contiene Ni.

35

40 Dado que la unión y el ensamblaje para una parte del intercambiador de calor en una unidad de recuperación de calor de escape o un enfriador de EGR tal como el descrito anteriormente se llevan a cabo mediante soldadura fuerte utilizando un metal de soldadura fuerte que contiene Ni, se espera que los materiales utilizados en la parte del intercambiador de calor tengan buenas propiedades de soldadura fuerte respecto al metal de soldadura fuerte que contiene Ni. Además, se espera que una parte del intercambiador de calor, tal como se describe anteriormente, sea altamente resistente a la oxidación causada por los gases de escape de alta temperatura que pasan a través de la parte del intercambiador de calor. El gas de escape incluye pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) e hidrocarburos (HC) que pueden condensarse en el intercambiador de calor para formar un condensado fuertemente ácido y corrosivo. Por lo tanto, se espera que los materiales utilizados en una parte del intercambiador de calor, tal como se describe anteriormente, tengan resistencia a la corrosión a temperaturas normales. En particular, debido a que el tratamiento térmico de soldadura fuerte se lleva a cabo a alta temperatura, es necesario evitar la formación de una capa de agotamiento de Cr debido a la reacción preferencial de Cr en los límites de grano con C y N, lo que se denomina sensibilización, para garantizar que se obtiene resistencia a la corrosión.

45

50

55 Por la razón descrita anteriormente, las partes del intercambiador de calor de las unidades de recuperación de calor de escape y los enfriadores de EGR se hacen normalmente utilizando un acero inoxidable austenítico como el SUS316L o el SUS304L que tiene un contenido de carbono reducido y es resistente a la sensibilización. Sin embargo, los aceros inoxidables austeníticos sufren problemas como el alto coste debido a su alto contenido de Ni, y también sus pobres propiedades de fatiga y sus pobres propiedades de fatiga térmica a altas temperaturas debido a su gran expansión térmica cuando se utilizan en un entorno en el que se recibe una fuerza de restricción a

temperatura alta y con vibraciones severas, tal como cuando se usa como un componente ubicado periféricamente a un colector de escape.

Por lo tanto, se están considerando otros aceros diferentes a aceros inoxidable austeníticos para uso en partes de intercambiadores de calor de unidades de recuperación de calor de escape y enfriadores EGR.

5 Por ejemplo, PTL 1 divulga, como un componente de intercambiador de calor de una unidad de recuperación de calor de escape, un acero inoxidable ferrítico en el que se añaden Mo, Ti o Nb y se reduce el contenido de Si y Al. PTL 1 divulga que la adición de Ti o Nb previene la sensibilización al estabilizar C y N en el acero como carbonitruros de Ti y Nb y que la reducción del contenido de Si y Al mejora las propiedades de soldadura fuerte.

10 La PTL 2 divulga, como un componente para un intercambiador de calor de una unidad de recuperación de calor de escape, un acero inoxidable ferrítico que tiene una excelente resistencia a la corrosión del condensado en el que el contenido de Mo se define por el contenido de Cr, y el contenido de Ti y Nb se define por el contenido C y de N.

Además, PTL 3 divulga, como un material para un enfriador de EGR, un acero inoxidable ferrítico en el que cantidades añadidas de componentes tales como Cr, Cu, Al y Ti satisfacen una cierta relación.

15 Además, PTL 4 y 5 divulgan, como un componente de un enfriador EGR y un material para una parte del intercambiador de calor de un enfriador EGR, un acero inoxidable ferrítico que contiene 0.3% en masa a 0.8% en masa de Nb y un acero inoxidable ferrítico que contiene 0.2% en masa a 0.8% en masa de Nb.

Lista de citas

Literatura de patentes

PTL 1: JP H7-292446 A

20 PTL 2: JP 2009-228036 A

PTL 3: JP 2010-121208 A

PTL 4: JP 2009-174040 A

PTL 5: JP 2010-285683 A

25 El documento JP 2009 197293 A busca abordar el problema de cómo proporcionar un material de acero inoxidable ferrítico de bajo coste que muestre una resistencia superior a la corrosión para un miembro que constituye un silenciador o un miembro de equipo de agua caliente que tiene una parte soldada formada en el mismo. Se propone como una solución un material de acero inoxidable ferrítico que incluye, en % en masa, 0.025% o menos de C, 2% o menos de Si, 1% o menos de Mn, 0.045% o menos de P, 0.01% o menos de S, 16 a 25 % de Cr, menos de 0.04% de Al, 0.025% o menos de N, uno o más elementos de 1% o menos de Ni, 1% o menos de Cu, menos del 1% de Mo, 0.5% o menos de Nb, 0.4% o menos de Ti y 0.5% o menos de V, y el equilibrio Fe e impurezas inevitables; y  
30 tiene una película de recubrimiento de óxido en la superficie, de la cual la capa más externa tiene la composición que incluye, en una proporción atómica que contiene oxígeno, 15 a 40 % atómico en total de Si y Cr y 5% atómico o menos de Fe, cuando se mide por XPS (espectroscopia de fotoelectrones de rayos X).

35 El documento JP H01 176094 A busca obtener un acero inoxidable excelente en capacidad de moldeo y resistencia a la corrosión al someter el acero inoxidable ferrítico que tiene una composición que consiste en componentes prescritos a recocido brillante en la atmósfera no oxidativa en un intervalo dentro de los puntos de rocío especificados y, posteriormente, tratarlo electrolíticamente en una solución de ácido nítrico. Divulga un acero inoxidable ferrítico que consiste en 0.015-0.03 (a continuación se muestra en % en peso) de C, 0.1-1.0 de Si,  $\leq 1$  de Mn,  $\leq 0.01$  de S, 20-25 de Cr, 0.3-1.0 de Mo, 0.1-1.5 de Ni 0.04-0.5 de Cu, 0.015-0.03 de N,  $8(C + N)-20(C + N)$   
40 (proporción en peso) de Nb y además incorpora Ti y/o Zr a 0.02-0.1 como cantidades totales de  $(Ti+Zr/2)$  y que se trata térmicamente por el siguiente método. Este acero inoxidable se somete a recocido brillante a 925-975°C en la atmósfera no oxidativa en un intervalo dentro del punto de rocío de -60 - -45°C, por ejemplo en el gas de descomposición NH<sub>3</sub>. Luego, se somete el acero inoxidable mencionado anteriormente a recocido brillante y se trata electrolíticamente a 2-30 coulomb/dm<sup>2</sup> de cantidad de electricidad en un baño electrolítico de solución acuosa de ácido nítrico al 5-30% en peso para obtener el acero inoxidable pretendido ferrítico/con alto contenido de cromo.  
45

El documento JP S60 13060 A busca obtener un material de acero inoxidable de recocido brillante con una resistencia superior al óxido y un brillo especular superior al restringir las cantidades de impurezas en un acero inoxidable que tiene una composición específica y al especificar la relación entre C, N y S y aquella entre Nb, C y N. Se divulga un material de acero inoxidable ferrítico de recocido brillante que tiene una composición que consiste, en

peso, en 0.01-5.00% de Si, 0.01-5.00% de Mn, 8.0-35.0% de Cr, 0.20-1.00% de Nb y el equilibrio Fe con impurezas inevitables que incluyen  $\leq 0.05\%$  de C,  $\leq 0.05\%$  de N,  $\leq 0.05\%$  de P,  $\leq 0.010\%$  de S y  $\leq 0.02\%$  de O y ecuaciones satisfactorias:

$$C\% + N\% + 5xS\% \leq 0.060 \quad \text{y} \quad Nb\% \geq 8x(C\%+N\%) + 0.15$$

- 5 La composición puede contener además uno o más entre 0.30-1.00% de Cu, 0.20-3.00% de Ni y 0.1- 4.0% de Mo, y 0.01-0.20% de Ti y/o 0.01-1.00% de Zr. Por la composición, el material de acero inoxidable de recocido brillante tiene  $\geq 1,000$  de brillo especular y resistencia superior al óxido.

10 El documento JP S58 61220 A busca obtener el acero del título que tiene una película de óxido que contiene Nb y Cr formados en la superficie recociendo un acero que contiene cantidades específicas de Si, Mn, Cr y Nb y cantidades específicas o menos de C, N, P, S y O como impurezas en un horno de recocido brillante bajo condiciones específicas. Se propone como una solución un acero compuesto de, en peso, 0.01-5% de Si, 0.01-5% de Mn, 8-35% de Cr, 0.2-1% de Nb ( $Nb\% \geq 8xC\% + 0.15\%$ ) y el balance Fe con impurezas inevitables que incluyen  $< 0.05\%$  de C,  $< 0.05\%$  de N,  $< 0.05\%$  de P,  $< 0.01\%$  de S y  $< 0.02\%$  de O<sub>2</sub>. Este acero se recuece en la atmósfera gaseosa no oxidante de un horno de recocido brillante a un punto de rocío interno de -35 - -55°C y una temperatura interna del  
15 horno de 800-1,000°C.

El documento US 2014/069619 A1 divulga un acero inoxidable ferrítico que contiene, en % en masa: C: 0.03% o menos; N: 0.03% o menos; Si: más de 0.1% a 1% o menos; Mn: 0.02% a 1.2%; Cr: 15% a 23%; Al: 0.002% a 0.5%; y uno o ambos de Nb y Ti, siendo el resto Fe e impurezas inevitables, en el que se satisfacen la Expresión (1) y la Expresión (2) ilustradas a continuación, se forma una película de óxido en una superficie de la misma, y la película de óxido contiene Cr, Si, Nb, Ti y Al en una fracción catiónica total del 30% o más,  
20

$$8(C+N)+0.03 \leq Nb+Ti \leq 0.6 \quad (1)$$

$$Si+Cr+Al+[Nb+Ti-8(C+N)] \geq 15.5 \quad (2).$$

25 El documento JP H01 168811 busca fabricar un acero inoxidable ferrítico excelente en resistencia a la oxidación sometiendo un acero inoxidable ferrítico de contenidos específicos de Mn bajo y Si alto para recocido brillante en una atmósfera de bajo punto de rocío bajo condiciones específicas. Divulga un acero inoxidable ferrítico, que contiene, en peso,  $\leq 0.2\%$  de Mn y  $\geq 0.4\%$  de Si y que se somete a recocido brillante a 960-1050°C durante  $\geq 30$  segundos mientras se regula el punto de rocío de un gas atmosférico a  $\leq 43$  °C. Una película de óxido reducida en contenido de MnCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> e incrementada en contenido de SiO<sub>2</sub> se forma mediante el recocido brillante anterior, mediante el cual se puede obtener el acero inoxidable ferrítico excelente en resistencia al óxido.

### 30 Resumen

(Problema técnico)

35 Sin embargo, el acero divulgado en cada uno de PTL 1 y PTL 2 tiene el problema de ser costoso, ya que el Mo, que es una materia prima de alto coste, necesita ser contenido. Además, en el caso donde se utilice un metal de soldadura fuerte que contiene Ni (por ejemplo, BNi-2, BNi-5, o similar en el documento JIS (JIS Z 3265)) que tiene una alta temperatura de soldadura fuerte para tal acero, puede producirse una falla de soldadura fuerte o no se puede lograr suficiente propiedad de soldadura fuerte.

40 Los documentos PTL 3, PTL 4 y PTL 5 divulgan cada uno acero que contiene Cu, que es menos costoso que Mo. Con acero que contiene Cu, sin embargo, no siempre se obtiene una propiedad de soldadura fuerte suficiente como se ve, por ejemplo, en el caso donde el metal de soldadura fuerte no penetra lo suficiente en la hendidura entre las láminas de acero superpuestas cuando se superponen y no se alcanzan soldadura fuerte de las láminas de acero o una fuerza de unión satisfactoria. Esto parece ser debido a que, con acero que contiene Cu, una capa de óxido de Cr que disminuye la propiedad de soldadura fuerte tiende a formarse cuando se realiza soldadura fuerte a alta temperatura utilizando un metal de soldadura fuerte que contiene Ni.

45 Además, cada documento PTL 4 y PTL 5 divulga acero que no contiene Mo ni Cu. Tal acero, sin embargo, carece de resistencia a la corrosión después de la soldadura fuerte.

Podría ser útil proporcionar acero inoxidable ferrítico que, sin contener una gran cantidad de un elemento costoso como Mo, tenga una propiedad de soldadura fuerte favorable al realizar la soldadura fuerte a alta temperatura utilizando un metal de soldadura fuerte que contiene Ni y también tiene una excelente resistencia a la corrosión, y un proceso para producir el mismo.

(Solución al problema)

5 Asumiendo que el Cu está contenido desde el punto de vista de ahorrar costes de producción y asegurar la resistencia a la corrosión, se realizó una investigación diligente en la que se produjo acero inoxidable ferrítico que contiene Cu utilizando varias composiciones químicas y condiciones de producción diferentes, y se investigaron varias propiedades del mismo, particularmente propiedades de soldadura fuerte cuando la soldadura fuerte se realiza a alta temperatura utilizando un metal de soldadura fuerte que contiene Ni.

10 Como resultado de esta investigación, se descubrió que es posible prevenir la formación de una película de óxido de Cr durante la soldadura fuerte optimizando la composición química y sometiendo el acero a un tratamiento térmico en una atmósfera controlada antes de la soldadura fuerte, de manera que la capa enriquecida con nitrógeno se forma en una capa superficial que forma parte del acero. También se descubrió que a través de la formación de esta capa enriquecida con nitrógeno, se pueden obtener buenas propiedades de soldadura fuerte incluso cuando la soldadura fuerte se lleva a cabo a alta temperatura utilizando un metal de soldadura fuerte que contiene Ni.

En base a estos hallazgos, se realizó una investigación adicional que finalmente condujo a la presente divulgación.

Específicamente, las características principales de la presente divulgación son las siguientes.

15 1. Un acero inoxidable ferrítico de acuerdo con la reivindicación 1 adjunta.

En algunas realizaciones, el acero inoxidable ferrítico descrito anteriormente en 1, además contiene, en % en masa, uno o más de:

0.05% a 0.20% de Mo;

0.01% a 0.15% de Al;

20 0.01% a 0.15% de Ti;

0.01% a 0.20% de V;

0.0003% a 0.0030% de Ca; y

0.0003% a 0.0030% de B.

25 2. Un proceso para producir el acero inoxidable ferrítico descrito anteriormente en 1, de acuerdo con la reivindicación 2 adjunta.

(Efecto ventajoso)

De acuerdo con la presente descripción, se puede obtener un acero inoxidable ferrítico que tiene una excelente resistencia a la corrosión y que presenta buenas propiedades de soldadura fuerte cuando la soldadura fuerte se realiza a alta temperatura utilizando un metal de soldadura fuerte que contiene Ni.

30 Breve descripción de los dibujos

En los dibujos adjuntos:

La FIG. 1 es una vista esquemática que ilustra un material de prueba utilizado para evaluar la infiltración de la brecha de unión por un metal de soldadura fuerte; y

35 La FIG. 2 ilustra esquemáticamente una pieza de prueba de tracción utilizada para evaluar la resistencia de la unión de una parte soldada fuerte, en la que la FIG. 2A ilustra un lado de la pieza de prueba de tracción antes de la soldadura fuerte y la FIG. 2B ilustra la pieza de prueba de tracción completa después de la soldadura fuerte.

Descripción detallada

Lo siguiente proporciona una descripción específica de la presente divulgación.

40 En primer lugar, se explican las razones para limitar la composición química del acero al intervalo mencionado anteriormente en la presente divulgación. De aquí en adelante, la unidad "%" relacionada con el contenido de elementos en la composición química del acero se refiere a "% en masa" a menos que se especifique lo contrario.

## ES 2 721 541 T3

C: 0.003% a 0.025%

5 La resistencia del acero aumenta al aumentar el contenido de C, mientras que la capacidad de trabajo del acero aumenta al disminuir el contenido de C. Aquí, se requiere que el contenido de C sea 0.003% o mayor con el fin de obtener suficiente resistencia. Sin embargo, si el contenido de C es mayor que 0.025%, la capacidad de trabajo disminuye notablemente y la sensibilización tiende a ocurrir más fácilmente debido a la precipitación del carburo de Cr en los límites de granos, lo que promueve una disminución en la resistencia a la corrosión. En consecuencia, el contenido de C está en un intervalo de 0.003% a 0.025%. El contenido de C es preferiblemente 0.005% o más. El contenido de C es preferiblemente 0.020% o menos. El contenido de C es más preferiblemente 0.005% o más. El contenido de C es más preferiblemente de 0.015% o menos.

10 Si: 0.05% a 1.00%

Si es un elemento útil como desoxidante. Este efecto se obtiene a través de un contenido de Si de 0.05% o más. Sin embargo, si el contenido de Si es superior al 1.00%, la capacidad de trabajo disminuye notablemente y la formación se vuelve difícil. Por consiguiente, el contenido de Si está en el intervalo de 0.05% a 1.00%. El contenido de Si es preferiblemente 0.10% o más. El contenido de Si es preferiblemente 0.50% o menos.

15 Mn: 0.05% a 1.00%

20 Mn tiene un efecto desoxidante que se obtiene a través de un contenido de Mn de 0.05% o mayor. Sin embargo, la adición excesiva de Mn conduce a la pérdida de la capacidad de trabajo debido al fortalecimiento de la solución sólida. Además, el exceso de Mn disminuye la resistencia a la corrosión al promover la precipitación de MnS, que actúa como punto de partida para la corrosión. Por lo tanto, el contenido de Mn de 1.00% o menos es apropiado. Por consiguiente, el contenido de Mn está en el intervalo de 0.05% a 1.00%. El contenido de Mn es preferiblemente 0.15% o más. El contenido de Mn es preferiblemente 0.35% o menos.

P: 0.04% o menos

25 P es un elemento que incidentalmente se incluye en el acero. Sin embargo, el contenido excesivo de P reduce la soldabilidad y facilita la corrosión intergranular. Esta tendencia es notable si el contenido de P es mayor que 0.04%. Por consiguiente, el contenido de P es 0.04% o menos. El contenido de P es preferiblemente 0.03% o menos.

Sin embargo, dado que la desfosforización excesiva conduce a un aumento en el tiempo y costes de refinación, el contenido de P es preferiblemente 0.005% o más.

S: 0.01% o menos

30 S es un elemento que incidentalmente está contenido en el acero y que promueve la precipitación de MnS y disminuye la resistencia a la corrosión si el contenido de S es mayor que 0.01%. Por consiguiente, el contenido de S es 0.01% o menos. El contenido de S es preferiblemente 0.007% o menos. Mientras tanto, la desulfuración excesiva incurre en un tiempo de refinación más prolongado y un coste más alto, por lo que el contenido de S es preferiblemente 0.0005% o más.

Cr: 16.0% a 23.0%

35 El Cr es un elemento importante para garantizar la resistencia a la corrosión del acero inoxidable. No se obtiene una resistencia adecuada a la corrosión después de la soldadura fuerte si el contenido de Cr es inferior al 16.0%. Sin embargo, la adición excesiva de Cr provoca la formación de una capa de óxido de Cr cuando se realiza la soldadura fuerte a alta temperatura utilizando un metal de soldadura fuerte que contiene Ni, que degrada las propiedades de soldadura fuerte. Por consiguiente, el contenido de Cr está en el intervalo de 16.0% a 23.0%. El contenido de Cr es preferiblemente 18.0% o más. El contenido de Cr es preferiblemente 21.5% o menos.

Cu: 0.20% a 0.80%

45 El Cu es un elemento que mejora la resistencia a la corrosión. Este efecto se obtiene a través de un contenido de Cu de 0.20% o mayor. Sin embargo, el contenido de Cu superior al 0.80% reduce la capacidad de trabajo en caliente. Por consiguiente, el contenido de Cu está en el intervalo de 0.20% a 0.80%. El contenido de Cu es preferiblemente 0.22% o más. El contenido de Cu es preferiblemente 0.60% o menos. El contenido de Cu es más preferiblemente 0.30% o más. El contenido de Cu es más preferiblemente 0.50% o menos.

Ni: 0.05% a 0.60%

## ES 2 721 541 T3

5 El Ni es un elemento que contribuye efectivamente a mejorar la tenacidad y a mejorar la resistencia a la corrosión de grietas cuando está contenido en una cantidad de 0.05% o más. Sin embargo, el contenido de Ni mayor que 0.60% aumenta la sensibilidad de agrietamiento por corrosión bajo tensión. Además, Ni es un elemento costoso que conduce a un aumento de los costes. Por consiguiente, el contenido de Ni está en el intervalo de 0.05% a 0.60%. El contenido de Ni es preferiblemente 0.10% o más. El contenido de Ni es preferiblemente 0.50% o menos.

Nb: 0.20% a 0.70%

10 Nb es un elemento que se combina con C y N y suprime la degradación de la resistencia a la corrosión (sensibilización) debido a la precipitación de carbonitruro de Cr, de la misma manera que Ti que se describe más adelante. Nb también tiene el efecto de formar la capa enriquecida con nitrógeno mediante la combinación con nitrógeno. Estos efectos se obtienen a través de un contenido de Nb de 0.20% o mayor. Sin embargo, si el contenido de Nb supera el 0.70%, el agrietamiento de la soldadura se produce fácilmente en la soldadura. Por consiguiente, el contenido de Nb está en el intervalo de 0.20% a 0.70%. El contenido de Nb es preferiblemente 0.25% o más. El contenido de Nb es preferiblemente 0.60% o menos. El contenido de Nb es más preferiblemente 0.30% o más. El contenido de Nb es preferiblemente 0.50% o menos.

15 N: 0.005% a 0.020%

20 N es un elemento importante para prevenir la formación de película de óxido de Al o Ti durante la soldadura fuerte y mejorar las propiedades de soldadura fuerte debido a la formación de la capa enriquecida con nitrógeno. Se requiere que el contenido de N sea de 0.005% o más con el fin de formar la capa enriquecida con nitrógeno. Sin embargo, un contenido de N superior al 0.020% facilita la sensibilización y reduce la capacidad de trabajo. Por consiguiente, el contenido de N está en el intervalo de 0.005% a 0.020%. El contenido de N es preferiblemente 0.007% o más. El contenido de N es preferiblemente 0.015% o menos. El contenido de N es más preferiblemente 0.007% o más. El contenido de N es más preferiblemente 0.010% o menos.

Además de los componentes básicos descritos anteriormente, la composición química en la presente divulgación puede contener de manera apropiada adicionalmente los siguientes elementos según se requiera.

25 Mo: 0.05% a 0.20%

Mo mejora la resistencia a la corrosión al estabilizar una película de pasivación del acero inoxidable. Este efecto se obtiene a través de un contenido de Mo de 0.05% o mayor. Dado que Mo es un elemento costoso, el contenido de Mo es 0.20% o menos. Por consiguiente, en una situación en la que Mo está contenido en el acero, el Mo está en el intervalo de 0.05% a 0.20%.

30 Al: 0.01% a 0.15%

35 Al es un elemento útil para la desoxidación. Este efecto se logra cuando el contenido de Al es 0.01% o más. Sin embargo, si se forma una película de óxido de Al en la superficie del acero durante la soldadura fuerte, la propiedad de expansión y la adhesión del metal de soldadura fuerte disminuyen, lo que dificulta la soldadura fuerte. La formación de película de óxido de Al durante la soldadura fuerte se previene en la presente divulgación a través de la formación de la capa enriquecida con nitrógeno en la capa superficial del acero, pero no es posible prevenir adecuadamente la formación de película de óxido de Al si el contenido de Al es superior al 0.15%. Por consiguiente, en una situación en la que Al está contenido en el acero, el Al está en el intervalo de 0.01% a 0.15%. El contenido de Al es preferiblemente 0.05% o más. El contenido de Al es preferiblemente 0.10% o menos.

Ti: 0.01% a 0.15%

40 El Ti es un elemento que previene la precipitación de carbonitruro de Cr, lo que disminuye la resistencia a la corrosión (sensibilización), ya que Ti se combina con C y N preferentemente. Este efecto se obtiene a través de un contenido de Ti de 0.01% o mayor. Sin embargo, Ti no es un elemento preferible desde el punto de vista de las propiedades de soldadura fuerte. La razón de esto es que Ti es un elemento activo con respecto al oxígeno y, por lo tanto, las propiedades de soldadura fuerte disminuyen como resultado de la formación de una película de óxido de Ti durante la soldadura fuerte. La formación de película de óxido de Ti durante la soldadura fuerte se previene en la presente divulgación a través de la formación de una capa enriquecida con nitrógeno en una capa superficial del acero, pero las propiedades de la soldadura fuerte tienden a disminuir si el contenido de Ti es superior al 0.15%. Por consiguiente, en una situación en la que Ti está contenido en el acero, el Ti está en el intervalo de 0.01% a 0.15%. El contenido de Ti es preferiblemente 0.05% o más. El contenido de Ti es preferiblemente 0.10% o menos.

50 V: 0.01% a 0.20%

V se combina con C y N contenida en el acero y previene la sensibilización de la misma manera que Ti. V también tiene un efecto de formar la capa enriquecida con nitrógeno mediante la combinación con nitrógeno. Estos efectos

## ES 2 721 541 T3

se obtienen a través de un contenido de V de 0.01% o mayor. Por otro lado, un contenido de V superior al 0.20% reduce la capacidad de trabajo. Por consiguiente, en una situación en la que V está contenido en el acero, el V está en el intervalo de 0.01% a 0.20%. El contenido de V es preferiblemente 0.01% o más. El contenido de V es preferiblemente 0.15% o menos. El contenido de V es más preferiblemente 0.01% o más. El contenido de V es más preferiblemente 0.10% o menos.

Ca: 0.0003% a 0.0030%

Ca mejora la soldabilidad al mejorar la penetración de una parte soldada. Este efecto se obtiene a través de un contenido de Ca de 0.0003% o mayor. Sin embargo, un contenido de Ca superior a 0.0030% disminuye la resistencia a la corrosión al combinarse con S para formar Cas. Por consiguiente, en una situación en la que Ca está contenido en el acero, el Ca está en el intervalo de 0.0003% a 0.0030%. El contenido de Ca es preferiblemente 0.0005% o más. El contenido de Ca es preferiblemente 0.0020% o menos.

B: 0.0003% a 0.0030%

B es un elemento que mejora la resistencia a la fragilidad del trabajo secundario. Este efecto se exhibe cuando el contenido de B es 0.0003% o mayor. Sin embargo, un contenido de B superior al 0.0030% reduce la ductilidad debido al fortalecimiento de la solución sólida. Por consiguiente, en una situación en la que B está contenido en el acero, el B está en el intervalo de 0.0003% a 0.0030%.

A través de la descripción anterior, se ha explicado la composición química del acero inoxidable ferrítico actualmente divulgado.

En la composición química de acuerdo con la presente divulgación, los componentes distintos de los enumerados anteriormente son Fe e impurezas incidentales.

En el acero inoxidable ferrítico actualmente divulgado, es muy importante que la composición química del acero se controle adecuadamente para que esté en el intervalo descrito anteriormente y que se cree una capa enriquecida con nitrógeno como la que se describe a continuación en la parte de la capa superficial del acero realizando un tratamiento térmico en una atmósfera controlada antes de la soldadura fuerte.

Valor máximo de concentración de nitrógeno a una profundidad dentro de 0.05  $\mu\text{m}$  de la superficie: 0.03% en masa a 0.30% en masa

En el acero inoxidable ferrítico actualmente divulgado, se forma una capa enriquecida con nitrógeno que tiene un valor máximo de concentración de nitrógeno de 0.03% en masa a 0.30% en masa a una profundidad de 0.05  $\mu\text{m}$  de la superficie del acero. Esta capa enriquecida con nitrógeno puede suprimir la formación de una película de óxido de Cr o similares en la superficie del acero durante la soldadura fuerte y, como resultado, puede mejorar las propiedades de soldadura fuerte cuando se utiliza un metal de soldadura fuerte que contiene Ni.

N en la capa enriquecida con nitrógeno descrita anteriormente se combina con Cr, Nb, Ti, Al, V y similares en el acero. A continuación se describe un mecanismo que se considera responsable de que la capa enriquecida con nitrógeno suprima la formación de una película de óxido de Cr o similares durante la soldadura fuerte.

Específicamente, la formación de la capa enriquecida con nitrógeno hace que el Cr o similares presentes en la capa superficial del acero se combine con N, de modo que Ti y Al no puedan difundirse a la superficie del acero. Además, Cr o similares presentes hacia el interior de la capa enriquecida con nitrógeno no puede difundirse a la superficie del acero porque la capa enriquecida con nitrógeno actúa como una barrera. Por consiguiente, la formación de una película de óxido de Cr o similares se suprime como un resultado de Cr o similares en el acero que no se difunde a la superficie.

Aquí, la formación de una película de óxido de Cr o similares en la superficie del acero no se puede prevenir adecuadamente durante la soldadura fuerte si el valor máximo de la concentración de nitrógeno es inferior al 0.03% en masa. Por otro lado, la parte de la capa superficial se endurece si el valor máximo de concentración de nitrógeno es mayor que 0.30% en masa, lo que hace que sea más probable que ocurran defectos, tal como el agrietamiento de la placa de aleta debido a los ciclos de calor de un motor o similares.

Por lo tanto, el valor máximo de la concentración de nitrógeno a una profundidad dentro de 0.05  $\mu\text{m}$  de la superficie tiene un valor en un intervalo de 0.03% en masa a 0.30% en masa. El contenido del valor máximo de concentración de nitrógeno es preferiblemente 0.05% en masa o más. El valor máximo de concentración de nitrógeno es preferiblemente 0.20% en masa o menos.

Nótese que el valor máximo de la concentración de nitrógeno a una profundidad dentro de 0.05  $\mu\text{m}$  de la superficie mencionada aquí se calcula midiendo la concentración de nitrógeno en el acero en una dirección de profundidad por

espectroscopia de emisión óptica de descarga luminiscente, dividiendo un valor máximo para la concentración de nitrógeno a una profundidad dentro de 0.05  $\mu\text{m}$  de la superficie del acero por un valor medido para la concentración de nitrógeno a una profundidad dentro de 0.50  $\mu\text{m}$ , y multiplicando el valor resultante por la concentración de nitrógeno del acero obtenida a través del análisis químico.

- 5 Además, la capa enriquecida con nitrógeno descrita aquí se refiere a una región en la que el nitrógeno está enriquecido debido a la permeación de nitrógeno desde la superficie del acero. La capa enriquecida con nitrógeno se forma en la parte de la capa superficial del acero, en una región que abarca una profundidad de 0.005  $\mu\text{m}$  a 0.05  $\mu\text{m}$  en la dirección de la profundidad desde la superficie del acero.

- 10 A continuación se describe un proceso de producción adecuado para el acero inoxidable ferrítico actualmente divulgado.

El acero fundido que tiene la composición química descrita anteriormente se prepara mediante la fabricación de acero a través de un proceso comúnmente conocido, tal como el uso de un convertidor, un horno de calentamiento eléctrico o un horno de fundición al vacío, y se somete a colada continua o colada de lingotes para obtener una materia prima de acero (placa).

- 15 La materia prima de acero se lamina en caliente para obtener una lámina laminada en caliente, ya sea directamente sin calentamiento previo o después de calentarla de 1100°C a 1250°C durante 1 hora a 24 horas. La lámina laminada en caliente se somete a recocido de lámina laminada en caliente a 900°C a 1100°C durante 1 minuto a 10 minutos.

- 20 A continuación, la lámina laminada en caliente se somete a una combinación de laminación en frío y recocido para obtener una lámina de acero producida.

La laminación en frío se realiza con una tasa de reducción de laminación del 50% o más con el fin de mejorar el ajuste de la forma, la ductilidad, la curvatura y la capacidad de formación de la prensa. Además, el proceso de laminado en frío y recocido se puede repetir dos o más veces.

- 25 Aquí, es necesario formar la capa enriquecida con nitrógeno descrita anteriormente con el fin de obtener el acero inoxidable ferrítico actualmente divulgado. El tratamiento para formar la capa enriquecida con nitrógeno se realiza en la lámina después de la sujeción al laminado en frío durante el recocido final (recocido finalizado) realizado después del laminado en frío final.

- 30 Nótese que el tratamiento para formar la capa enriquecida con nitrógeno se puede realizar en un paso separado para recocer, tal como, por ejemplo, después de que un componente se haya cortado de la hoja de acero. Sin embargo, es ventajoso en términos de eficiencia de producción para formar la capa enriquecida con nitrógeno durante el recocido final (recocido final) realizado después del laminado en frío final porque esto permite que la capa enriquecida con nitrógeno se forme sin aumentar el número de pasos de producción.

Lo siguiente describe las condiciones en el tratamiento para formar la capa enriquecida con nitrógeno.

Punto de rocío: -55 ° C a -20 ° C

- 35 Si el punto de rocío es más alto que -20 ° C, no se forma una capa enriquecida con nitrógeno porque el nitrógeno de la atmósfera circundante no penetra en el acero debido a la formación de una película de óxido en la superficie del acero. Por consiguiente, el contenido del punto de rocío es -20°C o inferior. El punto de rocío es preferiblemente -30°C o inferior, y más preferiblemente, -40°C o inferior. El límite inferior es -55°C.

Concentración de nitrógeno de la atmósfera de tratamiento: 5 % en volumen o superior.

- 40 Si la concentración de nitrógeno de la atmósfera de tratamiento es inferior al 5% en volumen, no se forma una capa enriquecida con nitrógeno debido a que una cantidad insuficiente de nitrógeno impregna el acero. Por consiguiente, el contenido de la concentración de nitrógeno de la atmósfera de tratamiento es del 5% en volumen o mayor. La concentración de nitrógeno de la atmósfera de tratamiento es preferiblemente 10 % en volumen o mayor. El resto de la atmósfera de tratamiento, además del nitrógeno, es hidrógeno. La concentración de nitrógeno de la atmósfera de tratamiento puede ser del 100% en volumen.

45

Temperatura de tratamiento: 900°C a 1100°C.

Si la temperatura de tratamiento es inferior a 900°C, no se forma una capa enriquecida con nitrógeno porque el nitrógeno en la atmósfera de tratamiento no penetra en el acero. Por consiguiente, el contenido de la temperatura de tratamiento es 900°C o superior. La temperatura de tratamiento es preferiblemente 950°C o superior. Sin embargo,

la temperatura de tratamiento es de 1100°C o más baja porque una temperatura de tratamiento superior a 1100°C conduce a la deformación del acero. La temperatura de tratamiento es más preferiblemente 1050°C o inferior.

5 El tiempo de tratamiento está en el intervalo de 5 segundos a 3600 segundos. La razón de esto es que el nitrógeno en la atmósfera de tratamiento no penetra suficientemente en el acero si el tiempo de tratamiento es inferior a 5 segundos, mientras que los efectos del tratamiento alcanzan la saturación si el tiempo de tratamiento es superior a 3600 segundos. El tiempo de tratamiento es preferiblemente 30 segundos o más. El tiempo de tratamiento es preferiblemente 300 segundos o menos.

10 Aunque las condiciones del tratamiento de formación de la capa enriquecida con nitrógeno se han descrito anteriormente, es importante controlar adecuadamente no solo las condiciones del tratamiento de formación de la capa enriquecida con nitrógeno, sino también la condición de calentamiento en el recocido final (es decir, el calentamiento antes del tratamiento de creación de capa enriquecida con nitrógeno), para formar una capa enriquecida con nitrógeno deseada.

Punto de rocío de la atmósfera en el intervalo de temperatura de 600°C a 800°C durante el calentamiento en el recocido final: -55 ° C a -20 ° C

15 Si el punto de rocío de la atmósfera en el intervalo de temperatura de 600°C a 800°C durante el calentamiento en el recocido final es alto, se forma un óxido en la superficie del acero. Dicho óxido previene la permeación de nitrógeno en la atmósfera en el acero durante el tratamiento de formación de capa enriquecida con nitrógeno mencionado anteriormente. Si tal óxido existe en la superficie del acero, la nitruración de la capa superficial del acero no progresa incluso cuando las condiciones del tratamiento de formación de la capa enriquecida con nitrógeno se controlan adecuadamente, lo que dificulta la formación de una capa enriquecida con nitrógeno deseada. El punto de rocío de la atmósfera en el intervalo de temperatura de 600°C a 800°C durante el calentamiento en el recocido final es por lo tanto de -20°C o inferior, y preferiblemente de -35°C o inferior. El límite inferior es -55°C.

25 Aunque la desincrustación se puede realizar después del recocido final (recocido final) mediante decapado o pulido normal, desde un punto de vista de la eficiencia de producción, es preferible realizar la desincrustación adoptando el proceso de decapado de alta velocidad en el que se realiza la molienda mecánica utilizando un rodillo de cepillo, un polvo para pulir, granallado o similares, y el decapado se realiza posteriormente en una solución de ácido nitroclorhídrico.

30 En una situación en la que el tratamiento para formar la capa enriquecida con nitrógeno se realiza durante el recocido final (recocido final), se debe tener cuidado en ajustar la cantidad de decapado o pulido para que la capa enriquecida con nitrógeno que se ha formado no se elimine.

### Ejemplos

35 Los aceros que tienen las composiciones químicas mostradas en la Tabla 1 se prepararon cada uno mediante la fabricación de acero usando un pequeño horno de fundición al vacío de 50 kg. Cada lingote de acero resultante se calentó a 1150°C en un horno purgado con gas Ar y posteriormente se sometió a laminación en caliente para obtener una lámina laminada en caliente que tiene un espesor de 3.5 mm. A continuación, cada una de las láminas laminadas en caliente se sometió a recocido de lámina laminada en caliente a 1030°C durante 1 minuto y se realizó un granallado de la superficie de la misma con perlas de vidrio. Posteriormente, se realizó la desincrustación realizando un decapado en el que la lámina se sumergió en una solución de ácido sulfúrico a 200 g/l a una temperatura de 80°C durante 120 segundos y posteriormente se sumergió en un ácido mixto de 150 g/l de ácido nítrico y 30 g/l de ácido fluorhídrico a una temperatura de 55°C durante 60 segundos.

45 A continuación, cada lámina laminada en caliente y recocida se sometió a laminación en frío a 0.8 mm de espesor de lámina y se sometió a recocido de lámina laminada en frío bajo las condiciones mostradas en la Tabla 2 para obtener una lámina laminada en frío y recocida. Excepto los No. 13 y No. 16, el gas atmosférico en todos los procesos de calentamiento y enfriamiento en el intervalo de temperatura de 200°C o más durante el recocido fue el mismo gas atmosférico que en el tratamiento de formación de la capa enriquecida con nitrógeno presentado en la Tabla 2. En los No. 13 y No. 16, el gas de la atmósfera en el proceso de calentamiento de 200°C a 800°C durante el recocido fue una atmósfera de gas H<sub>2</sub> al 100%, y el gas de la atmósfera en el proceso de calentamiento en el otro intervalo de temperatura y el proceso de enfriamiento a 200°C fue la misma atmósfera de gas que en el tratamiento de formación de capa enriquecida con nitrógeno presentado en la Tabla 2.

50 Nótese que en una situación en la que el aspecto externo de la lámina era de color amarillo intenso o azul, se juzgó que se había formado una película de óxido espesa y se realizó dos veces la selección electrofítica de +20 A/dm<sup>2</sup> → -20 A/dm<sup>2</sup>, con diferentes tiempos de electrólisis, en una solución ácida mixta de 150 g/l de ácido nítrico y 5 g/l de ácido clorhídrico a una temperatura de 55°C.

## ES 2 721 541 T3

La evaluación de (1) la ductilidad y la medición de (2) la concentración de nitrógeno en la capa enriquecida con nitrógeno se realizó como se describe a continuación para cada lámina laminada en frío y recocida obtenida como se describió anteriormente.

- 5 Además, la soldadura fuerte se llevó a cabo para cada lámina laminada en frío y recocida utilizando un metal de soldadura fuerte que contiene Ni y la lámina laminada en frío y recocida se evaluó después de la soldadura fuerte en términos de (3) resistencia a la corrosión y (4) propiedades de soldadura fuerte. Se realizó la evaluación de (4) las propiedades de soldadura fuerte como se describe a continuación para (a) infiltración de la brecha de unión del metal de soldadura fuerte y (b) resistencia de la unión de una parte soldada fuerte.

### (1) Evaluación de ductilidad

- 10 Se probó una pieza de prueba de tracción del documento JIS No. 13B en ángulo recto con la dirección de laminación de cada una de las láminas laminadas en frío y recocidas descritas anteriormente, se llevó a cabo una prueba de tracción de acuerdo con el documento JIS Z 2241, y la ductilidad se evaluó utilizando el siguiente estándar. Los resultados de la evaluación se muestran en la Tabla 2.

Buena (pasada): el alargamiento después de la fractura fue del 20% o mayor

- 15 Pobre (falla): el alargamiento después de la fractura fue inferior al 20%

### (2) Medición de la concentración de nitrógeno en la capa enriquecida con nitrógeno

- 20 La superficie de cada una de las láminas laminadas en frío y recocidas se analizó mediante espectroscopia de emisión óptica de descarga luminiscente (en lo sucesivo, GDS). Primero, se prepararon muestras con diferentes tiempos de pulverización de la capa superficial y se observaron cortes transversales de la misma por SEM para preparar una curva de calibración para una relación entre el tiempo de pulverización y la profundidad.

La concentración de nitrógeno se midió mientras se realizaba la pulverización desde la superficie del acero hasta una profundidad de 0.50  $\mu\text{m}$ . Aquí, los valores medidos de Cr y Fe se fijan a la profundidad de 0.50  $\mu\text{m}$  y, por lo tanto, se tomó el valor medido para la concentración de nitrógeno a la profundidad de 0.50  $\mu\text{m}$  como la concentración de nitrógeno del material base (sustrato de acero).

- 25 Un valor máximo más alto (valor máximo) entre los valores de concentración de nitrógeno medidos dentro de 0.05  $\mu\text{m}$  de la superficie del acero se dividió por el valor de concentración de nitrógeno medido a la profundidad de 0.50  $\mu\text{m}$  y el valor resultante se multiplicó por una concentración de nitrógeno del acero obtenido por análisis químico para dar un valor que se tomó como un valor máximo de concentración de nitrógeno a una profundidad de dentro de 0.05  $\mu\text{m}$  de la superficie. Los valores máximos de concentración de nitrógeno que se obtuvieron se muestran en la  
30 Tabla 2.

### (3) Evaluación de la resistencia a la corrosión

- Después de realizar la soldadura fuerte para cada una de las láminas laminadas en frío y recocidas, se tomó una muestra de 20 mm cuadrados de una parte a la que no se unió el metal de soldadura fuerte, y la pieza de prueba se cubrió con un material de sellado, pero dejando una superficie de medida de 11 mm cuadrados. Posteriormente, la  
35 pieza de prueba se sumergió en una solución de NaCl al 3.5% a 30°C y se realizó una prueba de resistencia a la corrosión de acuerdo con el documento JIS G 0577, con la excepción de la concentración de NaCl. Los potenciales de corrosión por picadura  $V_{c100}$  se midieron y evaluaron utilizando el siguiente estándar. Los resultados de la evaluación se muestran en la Tabla 2. Buena: el potencial de picadura  $V_{c100}$  fue de 100 (mV vs SCE) o más. Pobre: el potencial de picadura  $V_{c100}$  fue inferior a 100 (mV vs SCE).

- 40 (4) Evaluación de propiedades de soldadura fuerte

#### (a) Infiltración del metal de soldadura fuerte en la brecha de la junta

- Como se ilustra en la FIG. 1, se cortaron una lámina de 30 mm cuadrados y una lámina de 25 mm x 30 mm de cada una de las láminas laminadas en frío y recocidas, y estas dos láminas se superpusieron y sujetaron en su lugar utilizando una plantilla de sujeción con una fuerza de torque fija (170 kgf). A continuación, se aplicaron 1.2 g de un  
45 metal de soldadura fuerte sobre una superficie final de una de las láminas y se llevó a cabo la soldadura fuerte. Después de la soldadura fuerte, el grado en que el metal de soldadura fuerte se había infiltrado entre las láminas se confirmó visualmente desde una parte de la superficie lateral de las láminas superpuestas y se evaluó utilizando el siguiente estándar. Los resultados de la evaluación se muestran en la Tabla 2. Nótese que en los dibujos, el signo 1 de referencia indica la lámina laminada en frío y recocida y el signo 2 de referencia indica el metal de soldadura  
50 fuerte.

## ES 2 721 541 T3

Excelente (pasada, particularmente bueno): infiltración de metales de soldadura fuerte en el extremo opuesto en relación con el extremo de la aplicación

Satisfactorio (pasada): infiltración de metales de soldadura fuerte en al menos el 50% y menos del 100% de la longitud superpuesta de las dos hojas

5 No satisfactorio (falla): infiltración de metales de soldadura fuerte en al menos el 10% y menos del 50% de la longitud superpuesta de las dos hojas

Pobre (falla): infiltración de metales de soldadura fuerte en menos del 10% de la longitud de superposición de las dos láminas

(b) Fuerza conjunta de la pieza soldada.

10 Como se ilustra en la FIG. 2, porciones de una pieza de prueba de tracción del documento JIS No. 13B que se había dividido en el centro de la misma se superponían 5 mm y se sujetaban en su lugar utilizando una plantilla de sujeción. A continuación, se llevó a cabo la soldadura fuerte aplicando 0.1 g de un metal de soldadura fuerte a una parte superpuesta de una de las porciones. Después de la soldadura fuerte, se realizó una prueba de tracción a temperatura normal y se evaluó la resistencia de la unión de la parte soldada fuerte utilizando el siguiente estándar.  
15 Los resultados de la evaluación se muestran en la Tabla 2. Nótese que en los dibujos, el signo 3 de referencia indica la pieza de prueba de tracción.

Excelente (pasada, particularmente buena): Sin fractura de la parte soldada fuerte incluso al 95% o más de la resistencia a la tracción del material base (fractura de la parte del material base)

20 Satisfactorio (pasada): fractura de la parte soldada fuerte al 95% o más de la resistencia a la tracción del material base

No satisfactorio (falla): fractura de la parte soldada fuerte al 50% o más y menos del 95% de la resistencia a la tracción del material base

Pobre (falla): fractura de la parte soldada fuerte a menos del 50% de la resistencia a la tracción del material base

25 En cada evaluación de las propiedades de soldadura fuerte descritas anteriormente, el metal de soldadura fuerte era un metal BNi-5 de soldadura fuerte que contenía Ni máximo (19% de Cr y 10% de Si en una matriz de Ni) estipulado por los estándares industriales japoneses. La soldadura fuerte se realizó en un horno sellado. Además, la soldadura fuerte se llevó a cabo en una atmósfera de alto vacío de  $10^{-2}$  Pa y también se llevó a cabo en una atmósfera de gas portador Ar encerrando Ar con una presión de 100 Pa después de formar un alto vacío. Un patrón de temperatura del tratamiento térmico implicó realizar un tratamiento con una tasa de calentamiento de  $10^{\circ}\text{C/s}$ , un primer tiempo de remojo (paso de equilibrio de la temperatura global) de 1800 s a  $1060^{\circ}\text{C}$ , una tasa de calentamiento de  $10^{\circ}\text{C/s}$ , y un  
30 segundo tiempo de remojo (paso para llevar a cabo realmente la soldadura fuerte a una temperatura igual o superior al punto de fusión del metal de soldadura fuerte) de 600 s a  $1170^{\circ}\text{C}$ , seguido del enfriamiento del horno y la purga del horno con aire externo (atmósfera) una vez que la temperatura había descendido a  $200^{\circ}\text{C}$ .

[Tabla 1]

ID de acero	Composición química (% en masa)														Observaciones		
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	Nb	N	Mb	Al	Ti	V		Ca	B
AA	0.005	0.25	0.21	0.026	0.001	18.9	0.45	0.21	0.45	0.007	-	-	-	-	-	-	Acero conformado
AB	0.004	0.31	0.21	0.023	0.001	22.8	0.38	0.19	0.33	0.008	-	-	-	-	-	-	Acero conformado
AC	0.004	0.26	0.18	0.024	0.001	19.5	0.26	0.32	0.36	0.008	-	-	-	-	-	-	Acero conformado
AD	0.006	0.28	0.21	0.023	0.001	19.2	0.42	0.19	0.34	0.009	0.15	-	0.11	-	-	0.0004	Acero conformado
AE	0.007	0.21	0.22	0.027	0.001	22.5	0.68	0.28	0.20	0.009	-	-	0.15	-	0.0015	-	Acero conformado
AF	0.010	0.13	0.11	0.025	0.002	19.0	0.38	0.21	0.49	0.011	-	-	-	0.12	-	0.0006	Acero conformado
AG	0.006	0.15	0.13	0.023	0.001	22.7	0.20	0.38	0.36	0.006	-	0.09	-	0.08	-	-	Acero conformado
AH	0.006	0.22	0.35	0.025	0.002	17.5	0.44	0.29	0.43	0.007	0.18	-	-	-	-	-	Acero conformado
BA	0.007	0.15	0.23	0.022	0.001	15.5	0.21	0.25	0.33	0.006	-	-	-	-	-	-	Acero conformado
BB	0.005	0.22	0.12	0.023	0.002	18.6	0.16	0.18	0.34	0.008	-	-	-	-	-	-	Acero conformado
BC	0.006	0.18	0.22	0.020	0.001	19.3	0.28	0.21	0.16	0.008	-	-	-	-	-	-	Acero conformado

[Tabla 2]

Tabla 2

No.	ID de acero	Condiciones de recocido				Decapado postrecocido	Resultado de medición/evaluación				Observaciones			
		Punto de rocío en el intervalo de temperatura de 600°C a 800°C durante el calentamiento (DD)	Atmósfera de tratamiento de formación de capas enriquecidas con nitrógeno		Temperatura del tratamiento de formación de capas enriquecidas con nitrógeno (°C)		Tiempo de tratamiento de la capa enriquecida con nitrógeno (s)	Evaluación de ductilidad	Valor máximo de concentración de nitrógeno de la capa enriquecida con nitrógeno (% en masa)	Evaluación de resistencia a la corrosión		Evaluación de propiedades de soldadura fuerte (soldadura fuerte en la atmósfera de Ar)		
			H <sub>2</sub> (% en volumen)	N <sub>2</sub> (% en volumen)	Punto de rocío (°C)				Infiltración de metales de soldadura fuerte	Resistencia de unión de parte soldada fuerte	Infiltración de metales de soldadura fuerte	Resistencia de unión de parte soldada fuerte		
1	AA	-35	75	25	-35	960	30	No realizado	Buena	0.22	Excelente	Excelente	Excelente	Ejemplo
2	AA	-40	70	30	-40	960	30	No realizado	Buena	0.19	Excelente	Excelente	Satisfactoria	Ejemplo
3	AA	-45	5	95	-45	970	60	Realizado	Buena	0.08	Satisfactoria	Satisfactoria	Satisfactoria	Ejemplo
4	AB	-35	50	50	-25	950	30	No realizado	Buena	0.28	Excelente	Excelente	Satisfactoria	Ejemplo
5	AB	-45	75	25	-45	960	30	No realizado	Buena	0.21	Excelente	Excelente	Excelente	Ejemplo
6	AB	-36	10	90	-25	960	40	Realizado	Buena	0.06	Satisfactoria	Satisfactoria	Satisfactoria	Ejemplo
7	AC	-25	75	25	-20	960	40	No realizado	Buena	0.08	Satisfactoria	Satisfactoria	Satisfactoria	Ejemplo
8	AC	-39	85	15	-45	970	30	No realizado	Buena	0.18	Excelente	Satisfactoria	Excelente	Ejemplo
9	AD	-41	75	25	-35	960	30	No realizado	Buena	0.20	Satisfactoria	Satisfactoria	Satisfactoria	Ejemplo
10	AD	-45	75	25	-55	960	30	No realizado	Buena	0.29	Satisfactoria	Satisfactoria	Satisfactoria	Ejemplo

(continuación)

No.	ID de acero	Condiciones de recocido					Decapado postrecocido	Resultado de medición/evaluación					Observaciones		
		Punto de rocío en el intervalo de temperatura de 600°C a 800°C durante el calentamiento (DC)	Atmósfera de tratamiento de formación de capas enriquecidas con nitrógeno		Temperatura del tratamiento de formación de capas enriquecidas con nitrógeno (°C)	Tiempo de tratamiento de la capa enriquecida con nitrógeno (s)		Evaluación de ductilidad	Valor máximo de concentración de nitrógeno enriquecida con nitrógeno (% en masa)	Evaluación de resistencia a la corrosión	Evaluación de propiedades de soldadura fuerte (soldadura fuerte en alto vacío)			Evaluación de propiedades de soldadura fuerte (soldadura fuerte en la atmósfera de Ar)	
			H <sub>2</sub> (% en volumen)	N <sub>2</sub> (% en volumen)							Punto de rocío (°C)	Infiltración de metales de soldadura fuerte		Resistencia de unión de parte soldada fuerte	Infiltración de metales de soldadura fuerte
11	AE	-40	90	10	-45	960	30	Buena	0.08	Buena	Satisfactoria	Satisfactoria	Satisfactoria	Satisfactoria	Ejemplo
12	AE	-32	10	90	-20	960	30	Buena	0.12	Buena	Satisfactoria	Satisfactoria	Satisfactoria	Satisfactoria	Ejemplo
13	AF	-35	90	10	-25	960	30	Buena	0.21	Buena	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Ejemplo
14	AF	-44	75	25	-45	930	30	Buena	0.18	Buena	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Ejemplo
15	AG	-47	75	25	-45	930	30	Buena	0.27	Buena	Satisfactoria	Satisfactoria	Satisfactoria	Satisfactoria	Ejemplo
16	AH	-46	75	25	-45	930	30	Buena	0.29	Buena	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Ejemplo
17	AA	-15	75	25	-10	960	30	Buena	0.02	Buena	No satisfactoria	Pobre	No satisfactoria	Pobre	Ejemplo comparativo
18	AB	-26	100	0	-25	970	30	Buena	0.01	Buena	No satisfactoria	Pobre	No satisfactoria	Pobre	Ejemplo comparativo
19	AC	-40	75	25	-45	860	30	Pobre	0.01	Buena	No satisfactoria	Pobre	No satisfactoria	Pobre	Ejemplo comparativo
20	BA	-40	75	25	-45	960	30	Buena	0.18	Pobre	Excelente	Satisfactoria	Satisfactoria	Satisfactoria	Ejemplo comparativo
21	BB	-25	5	95	-30	920	30	Buena	0.09	Pobre	Satisfactoria	Satisfactoria	Satisfactoria	Satisfactoria	Ejemplo comparativo
22	BC	-26	75	25	-25	960	30	Buena	0.12	Pobre	Excelente	Satisfactoria	Satisfactoria	Satisfactoria	Ejemplo comparativo
23	AB	-15	75	25	-25	960	30	Buena	0.02	Buena	No satisfactoria	Pobre	No satisfactoria	Pobre	Ejemplo comparativo

La tabla 2 muestra que para cada uno de los Ejemplos 1-16, la infiltración del metal de soldadura fuerte en la brecha de unión fue buena y la resistencia de la unión de la parte soldada fue buena. Por consiguiente, se demostró que estos ejemplos muestran buenas propiedades de soldadura fuerte incluso cuando se usa un metal de soldadura fuerte que contiene Ni. Además, estos ejemplos tenían buena resistencia a la corrosión y ductilidad.

- 5 En contraste, no se obtuvieron buenas propiedades de soldadura fuerte o buena resistencia a la corrosión en los Ejemplos comparativos 17-23 para los cuales la composición química o el valor máximo de concentración de nitrógeno estaban fuera del intervalo apropiado.

Capacidad de aplicación industrial

- 10 La presente divulgación permite obtener un acero inoxidable ferrítico que puede usarse adecuadamente para componentes de intercambiadores de calor y similares de unidades de recuperación de calor de escape y enfriadores de EGR que se ensamblan mediante soldadura fuerte, y por lo tanto es extremadamente útil en la industria.

Lista de signos de referencia

- |    |                                    |
|----|------------------------------------|
| 1  | lámina laminada en frío y recocida |
| 15 | 2 metal de soldadura fuerte        |
|    | 3 pieza de prueba de tracción      |

**REIVINDICACIONES**

1. Un acero inoxidable ferrítico que comprende

Una composición química que consiste, en % en masa:

0.003% a 0.025% de C;

5 0.05% a 1.00% de Si;

0.05% a 1.00% de Mn;

0.04% o menos de P;

0.01% o menos de S;

16.0% a 23.0% de Cr;

10 0.20% a 0.80% de Cu;

0.05% a 0.60% de Ni;

0.20% a 0.70% de Nb;

0.005% a 0.020% de N;

opcionalmente, en % en masa, uno o más de:

15 0.05% a 0.20% de Mo;

0.01% a 0.15% de Al;

0.01% a 0.15% de Ti;

0.01% a 0.20% de V;

0.0003% a 0.0030% de Ca; y

20 0.0003% a 0.0030% de B y

siendo el resto Fe e impurezas incidentales, en el que

una capa enriquecida con nitrógeno está presente en una región que abarca una profundidad de 0.005  $\mu\text{m}$  a 0.05  $\mu\text{m}$  en la dirección de la profundidad desde la superficie del acero, que tiene un valor máximo de concentración de nitrógeno de 0.03% en masa a 0.30% en masa a una profundidad dentro de 0.05  $\mu\text{m}$  de la superficie del acero, calculada midiendo la concentración de nitrógeno en el acero en una dirección de profundidad por espectroscopia de emisión óptica de descarga luminiscente, dividiendo un valor máximo para la concentración de nitrógeno a una profundidad dentro de 0.05  $\mu\text{m}$  de la superficie del acero por un valor medido para la concentración de nitrógeno a una profundidad de 0.50  $\mu\text{m}$ , y multiplicando el valor resultante por la concentración de nitrógeno del acero obtenida a través del análisis químico.

25 30 2. Un proceso para producir el acero inoxidable ferrítico de la reivindicación 1, donde el proceso comprende:

laminar en caliente una placa que tiene la composición química de la reivindicación 1 para formar una lámina laminada en caliente ya sea directamente sin calentamiento previo o después de calentar a 1100°C a 1250°C durante 1 hora a 24 horas;

35 realizar recocido de la lámina laminada en caliente en la lámina laminada en caliente a una temperatura de 900°C a 1100°C durante 1 minuto a 10 minutos; y

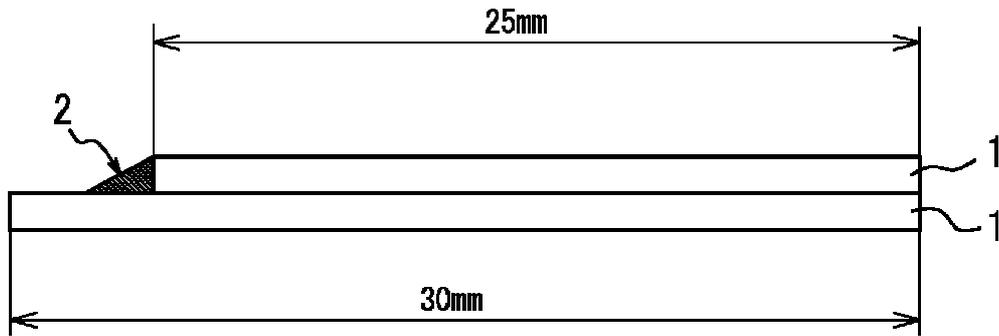
realizar una combinación de laminado en frío, con una rata de reducción de laminación del 50% o más, y recocido en la lámina una o más veces,

## ES 2 721 541 T3

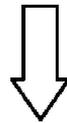
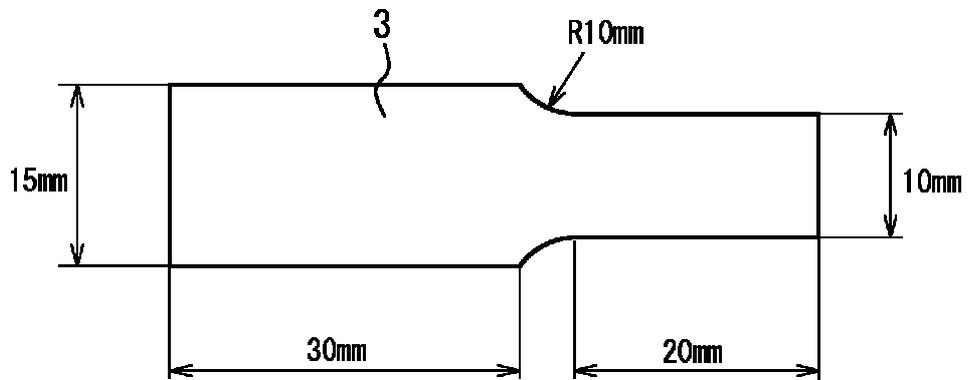
en el que una lámina laminada en frío después de someterla a laminación en frío final se calienta en recocido final con un punto de rocío de una atmósfera en un intervalo de temperatura de 600°C a 800°C, siendo de -55°C a -20° C, y se somete a un tratamiento de formación de capa enriquecida con nitrógeno a una temperatura de 900°C a 1100°C en una atmósfera de -55°C a -20°C en el punto de rocío y 5% en volumen más en la concentración de nitrógeno y el resto que es hidrógeno, por 5 segundos a 3600 segundos.

5

*FIG. 1*



**FIG. 2A**



**FIG. 2B**

