

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 767 406**

51 Int. Cl.:

B23K 1/00	(2006.01)	C22C 38/28	(2006.01)	B23K 103/04	(2006.01)
C21D 9/46	(2006.01)	C22C 38/32	(2006.01)		
C22C 38/18	(2006.01)	C22C 38/42	(2006.01)		
C22C 38/60	(2006.01)	C22C 38/48	(2006.01)		
C22C 38/02	(2006.01)	C22C 38/50	(2006.01)		
C22C 38/04	(2006.01)	F28F 21/08	(2006.01)		
C22C 38/06	(2006.01)	B23K 1/008	(2006.01)		
C22C 38/22	(2006.01)	B23K 1/19	(2006.01)		
C22C 38/24	(2006.01)	C22C 38/44	(2006.01)		
C22C 38/26	(2006.01)	B23K 101/14	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.07.2015 PCT/JP2015/070402**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.01.2016 WO16013482**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.07.2015 E 15824703 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.11.2019 EP 3173502**

54 Título: **Acero inoxidable ferrítico y método para producirlo, e intercambiador de calor equipado con acero inoxidable ferrítico como un componente**

30 Prioridad:

22.07.2014 JP 2014149100

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

17.06.2020

73 Titular/es:

**NIPPON STEEL & SUMIKIN STAINLESS STEEL CORPORATION (100.0%)
6-1, Otemachi 2-chome Chiyoda-ku
Tokyo 100-0004, JP**

72 Inventor/es:

**MATSUHASHI TOORU y
TAMURA YUUICHI**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 767 406 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 método para producirlo, e intercambiador de calor equipado con acero inoxidable ferrítico como un componente

Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere a un acero inoxidable ferrítico que tiene excelentes propiedades de intercambio de calor, resistencia a la corrosión y propiedades de soldadura fuerte, y a un intercambiador de calor que utiliza el acero inoxidable ferrítico como un componente.

Antecedentes de la técnica

10 En general, el intercambiador de calor es un dispositivo para transferir el calor generado en la combustión de diversos combustibles al medio, que consiste principalmente en agua, y se utiliza como un componente de sistemas en diversos campos que incluyen desde la planta de energía nuclear hasta el dispositivo de suministro de agua caliente en el hogar en general. La solicitud de reutilización del calor del gas de escape que se genera en muchos tipos de combustiones ha aumentado en particular debido a una mayor conciencia de los recientes problemas ambientales. Por lo tanto, las demandas de dichos intercambiadores de calor están aumentando. Como propiedades del material requeridas para estos dispositivos cuando se usa gas de escape de combustión se mencionan la corrosión acuosa por el agua condensada en el caso de una temperatura relativamente baja de aproximadamente 200 °C o menos, y la oxidación por vapor y la oxidación a alta temperatura en el caso de gases de escape a temperaturas todavía más altas. Si estas propiedades son insuficientes, se producen problemas. El acero inoxidable es sobresaliente en las propiedades arriba descritas y es muy utilizado para estos intercambiadores de calor. Cuando se trata de un intercambiador de calor para recuperar el calor latente de vapor incluido en el gas de escape, el agua condensada arriba descrita se genera en el intercambiador de calor porque la temperatura del gas de escape después de recuperar el calor es inferior a 100 °C. Generalmente, dado que el NOx y/o el SOx en los gases de escape, que se forman en la combustión, se disuelven en el agua condensada, el pH del agua condensada adquiere un valor de 3 o menos en muchos casos. En el pH de dicho entorno, es posible que el cobre (que se corroe a un pH de 6,5 o menos), el acero común (que se corroe a un pH de aproximadamente 7 o menos) y el aluminio (que se corroe a un pH de aproximadamente 3 o menos) se corroan. Por lo tanto se eligen el acero al titanio y el acero inoxidable como materiales que tienen resistencia a la corrosión en este intervalo de pH.

30 Como acero inoxidable para los intercambiadores de calor, en vista de la resistencia a la corrosión, principalmente se ha utilizado SUS316L (18Cr-10Ni-2Mo). El SUS316L satisface la resistencia a la corrosión requerida del intercambiador de calor. Sin embargo, la materia prima incluye una gran cantidad de Ni, cuya estabilidad de precios es sumamente inestable. En particular, el Ni es un metal raro y un elemento cuyo uso se desea reducir. Además, hay casos en los que se produce una turbulencia especulativa en el precio. Por lo tanto, se desea reducir el uso de Ni en términos de estabilidad de precios. Dado que con la creciente conciencia ambiental se espera que el material estructural del intercambiador de calor sea muy utilizado en el futuro, existe una fuerte demanda de una mayor reducción de costes, y se esperan propuestas de materiales alternativos con un menor coste por necesidad. Además, en lo que respecta a la resistencia a la corrosión, en el caso del acero inoxidable austenítico se puede producir el agrietamiento por corrosión bajo tensión, que es un punto débil del acero inoxidable austenítico, debido a la corrosión, cuando se usa en un entorno con alta concentración de cloruro flotante en las proximidades de la costa. Además se ha señalado que, en un entorno de agua condensada con alta concentración de cloruro, la resistencia a la corrosión del acero inoxidable austenítico es inferior a la resistencia a la corrosión del acero inoxidable ferrítico que en ocasiones contiene niveles equivalentes de Cr y Mo. Por ello se ha desarrollado el empleo del acero inoxidable ferrítico como el material del intercambiador de calor utilizado en entornos en los que se forma el agua condensada.

45 En el intercambiador de calor, los dos medios fluyen sin mezclarse, separados por una pared divisoria en forma de tubería o placa, generalmente. Entre los mismos se produce un intercambio de calor: haciendo fluir un medio a alta temperatura por una ruta de fluido, y haciendo fluir un líquido o gas a baja temperatura por otra ruta de fluido. Cuando el calor del gas de escape se recupera como medio de alta temperatura, hay casos en los el medio incluye diversos gases corrosivos, como NOx, SOx y similares, tal como se ha descrito más arriba. Cuando se recupera el calor latente del vapor incluido en los medios, el líquido condensado incluye un componente corrosivo, como ácido nítrico, ácido sulfúrico y similares. Por lo tanto, una alta resistencia a la corrosión en el medio arriba descrito y unas propiedades de alto intercambio de calor en la superficie del material son importantes como propiedades requeridas para los intercambiadores de calor. En lo que respecta a las propiedades de intercambio de calor, es deseable disponer de una superficie en la que el agua condensada tenga propensión a aglomerarse en la superficie del material. Por ejemplo, para aumentar la eficiencia se puede mencionar una mejora del carácter hidrófilo de la superficie del material y un aumento del área superficial.

55 El acero inoxidable ferrítico tiene propiedades de alta conductividad térmica, bajo coeficiente de dilatación térmica, y similares, además de la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión en comparación con el acero inoxidable austenítico. Tener una alta conductividad térmica significa una alta eficiencia de intercambio de calor como un intercambiador de calor. Tener un bajo coeficiente de dilatación térmica significa menos fluctuación de tensión debida a cambios de temperatura en todo el intercambiador de calor. Por lo tanto, el acero inoxidable ferrítico tiene numerosas

ventajas, como una mayor precisión de diseño y similares, en comparación con el acero inoxidable austenítico como material para intercambiadores de calor. Debido a las propiedades arriba descritas, se han realizado intentos de emplear el acero inoxidable ferrítico en el componente de intercambiadores de calor.

5 En la bibliografía de patentes (PTL 1) se describe que mediante el empleo de SUS436J1L, SUS436L, SUS444, que son aceros inoxidables ferríticos, en el intercambiador de calor para recuperar el calor latente se puede obtener un intercambiador de calor para recuperar calor latente que tiene una excelente conductividad térmica, resistencia a la corrosión y propiedades de soldadura fuerte, y que incluye la tubería y las aletas relativamente económicas.

10 Además, en la bibliografía de patentes 2 (PTL 2) se definen los contenidos de Cr, Mo, Si y Al por la relación entre el espesor de la placa y la temperatura ambiental de operación como un acero inoxidable ferrítico que presenta durabilidad en el entorno de vapor a alta temperatura en los entornos de los intercambiadores de calor.

En la bibliografía de patentes 3 (PTL 3) se describe un equipo para la producción de agua caliente del tipo de recuperación de calor latente que tiene una resistencia a la corrosión mejorada mediante el uso de un acero inoxidable ferrítico sobre cuya capa superficial está formada una capa de óxido que incluye un 25% o más de Ti (en la relación atómica catiónica).

15 Por otro lado, en la bibliografía de patentes 4 (PTL 4) se describe el ajuste de la concentración media de Si + Mn en un 5,0% en masa o más sobre la parte de la capa superficial del material de acero ferrítico como método para mejorar el carácter hidrófilo del acero inoxidable.

20 Además, en la bibliografía de patentes 5 (PTL 5) se describe un equipo para la producción de agua caliente del tipo de recuperación de calor latente. En el equipo para la producción de agua caliente del tipo de recuperación de calor latente descrito en PTL 5, sobre la capa superficial se forma una película de óxido de cromo, que incluye una concentración de Cr de un 80% o más en la relación catiónica, controlando la composición del material del acero inoxidable ferrítico y la atmósfera durante la soldadura fuerte.

25 La bibliografía de patentes 6 (PTL 6) se refiere a un acero inoxidable ferrítico para una parte de un sistema de suministro de biocombustible, que comprende, en % en masa: C: 0,03% o menos; N: 0,03% o menos; Si: de más de un 0,1% a un 1% o menos; Mn: de un 0,02% a un 1,2%; Cr: de un 15% a un 23%; Al: de un 0,002% a un 0,5%; y Nb o Ti, o ambos, consistiendo el resto en Fe e impurezas inevitables, en donde se satisfacen la Expresión (1) y la Expresión (2) ilustradas más abajo, y en donde se forma una película de óxido sobre una superficie del mismo, y la película de óxido contiene Cr, Si, Nb, Ti y Al en una fracción catiónica total de un 30% o más, $8(C+N)+0,03\leq Nb+Ti\leq 0,6$ (1); $Si+Cr+Al+\{Nb+Ti-8(C+N)\}\geq 15,5$ (2); cada símbolo de elemento representa el contenido (% en masa) del elemento en la Expresión (1) y la Expresión (2).

30

Lista de citas

Bibliografía de patentes

PTL 1: Solicitud de Patente Japonesa No Examinada, Primera Publicación N° 2002-106970 (A)

PTL 2: Solicitud de Patente Japonesa No Examinada, Primera Publicación N° 2003-328088 (A)

35 PTL 3: Solicitud de Patente Japonesa No Examinada, Primera Publicación N° 2012-117691 (A)

PTL 4: Solicitud de Patente Japonesa No Examinada, Primera Publicación N° 2001-279389 (A)

PTL 5: Solicitud de Patente Japonesa No Examinada, Primera Publicación N° 2013-152068 (A)

PTL 6: US 2014/069619 A1

Compendio de la invención

40 Problema técnico

En PTL 1, el componente de clase de acero solo se define en los intervalos amplios dentro de la norma JIS, y PTL 1 no dice nada sobre una manera de mejorar la eficiencia de recuperación de calor latente del agua condensada. Además, la composición química solo incluye los elementos descritos en la norma JIS, PTL 1 no dice nada sobre el uso eficaz de los elementos, tales como Ti, Al y similares, para las propiedades obtenidas en la presente invención, que se describen más adelante.

45

En PTL 2 se describe claramente que las propiedades que suprimen la oxidación del vapor son necesarias como las propiedades del propio material, y la temperatura esperada en el entorno de uso es muy alta, como de 700 °C a 1.150 °C en el ejemplo. Para obtener las propiedades, PTL 2 se caracteriza por tener la estructura de dos capas, en la que el óxido protector basado en Cr se forma en el lado de la capa exterior en la superficie del material, y el óxido protector basado en Si-Al altamente protector se forma como la capa interna del óxido protector basado en Cr. Por otro lado, las propiedades necesarias para el intercambiador de calor previsto principalmente para la presente invención son la

50

resistencia a la corrosión y las propiedades de intercambio de calor contra el medio a 200 °C o menos. Por lo tanto, no es necesario que la película de revestimiento requerida en la presente invención sea una estructura de óxido de dos capas, y la película de revestimiento en la presente invención consiste en óxidos principalmente de Ti y/o Al. Por lo tanto, las características demandadas en la presente invención son diferentes de las de PTL 2.

5 En PTL 3 se describe que el enriquecimiento del óxido de Ti en la superficie del acero inoxidable ferrítico utilizado para el equipo para la producción de agua caliente del tipo de recuperación de calor latente es eficaz para mejorar la resistencia a la corrosión. Sin embargo, PTL 3 no dice nada sobre una película de revestimiento de óxido de otro elemento. Además, la concentración de Ti sobre la capa superficial es de un 25% o más (en la relación atómica catiónica) y es alta. En la producción del intercambiador de calor del tipo de recuperación de calor latente generalmente se realiza soldadura fuerte. Sin embargo, el enriquecimiento excesivo de Ti en la superficie, como en el caso de PTL 10 3, deteriora las propiedades de soldadura fuerte. Por lo tanto, en la fabricación real puede surgir un problema en el tratamiento de soldadura fuerte, incluso con la excelente resistencia a la corrosión.

15 En PTL 4 se describe que disponer de la película de revestimiento de óxido de Si y Mn es eficaz para impartir carácter hidrófilo al acero inoxidable ferrítico. Sin embargo, PTL 4 no dice nada sobre el uso de Ti y/o Al. Además, PTL 4 se caracteriza por formar la película de revestimiento de óxido de Si y Mn mediante recocido brillante. Estas condiciones son un tratamiento de menor tiempo y menor temperatura que el tratamiento térmico de soldadura fuerte en la presente invención, que se describe más adelante. Por lo tanto, la composición y el espesor de la película de revestimiento en PTL 4 son fundamentalmente diferentes de los de la presente invención.

20 En PTL 5, como una forma de aumentar la concentración de Cr en la superficie del acero inoxidable ferrítico, se describen las condiciones en las que el calentamiento se realiza a una temperatura de 1.000 °C a 1.200 °C durante un intervalo de tiempo no superior a 120 minutos, y la atmósfera de la temperatura de calentamiento de 900 °C o más se ajusta en la atmósfera de vacío de 10^{-1} Pa a 10^{-2} Pa o la atmósfera de hidrógeno que tiene el punto de condensación de -80 °C a -90 °C. Sin embargo, en las anteriores condiciones de vacío se plantea el problema de no poder realizar la soldadura fuerte, ya que son las condiciones en las que el Cr se oxida y el material de base y el material de soldadura fuerte no pueden reaccionar entre sí debido a la presencia de la película de revestimiento de Cr. La soldadura fuerte se realizaría en las últimas condiciones de punto de condensación sumamente bajo. Sin embargo, es posible que el coste de fabricación aumente, ya que es necesario que el punto de condensación se ajuste a una temperatura aún más baja que la atmósfera de soldadura fuerte estándar para enriquecer el Cr en la película de revestimiento superficial.

30 Tal como se ha explicado más arriba, el acero inoxidable ferrítico adecuado para componentes de intercambiadores de calor no ha sido suficientemente descrito. La presente invención está realizada en las circunstancias arriba descritas. El objeto de la presente invención consiste en proporcionar un acero inoxidable ferrítico y un intercambiador de calor que se puedan fabricar en las condiciones de soldadura fuerte para acero inoxidable, y que se puedan utilizar adecuadamente como un componente de intercambiadores de calor económico con una excelente resistencia a la 35 corrosión.

Solución al problema

Para resolver los problemas técnicos arriba descritos, los inventores de la presente invención han realizado intensos estudios sobre el acero inoxidable ferrítico que tiene las propiedades necesarias para el intercambiador de calor, que son (1) propiedades de intercambio de calor, (2) resistencia a la corrosión, y (3) propiedades de soldadura fuerte 40 excelentes. Como resultado de ello, los inventores de la presente invención han descubierto que: (1) en lo que respecta a las propiedades de intercambio de calor, las propiedades de intercambio de calor a gas o líquido del medio se mejoran estimulando la condensación de vapor del gas de escape en la superficie, y es necesario que la película de revestimiento de óxido de Al o la película de revestimiento de óxido de Ti y Al estén presentes sobre la capa más externa en una partícula fina; (2) la película de revestimiento de óxido de Al o la película de revestimiento de óxido de 45 Ti y Al mejoran la resistencia a la corrosión en el entorno; y (3) para asegurar las propiedades de soldadura fuerte es necesario controlar apropiadamente la formación de la película de revestimiento de óxido de Al o de la película de revestimiento de óxido de Ti y Al.

La presente invención se refiere al acero inoxidable ferrítico y está definida en las reivindicaciones adjuntas.

Efectos ventajosos de la invención

50 De acuerdo con la presente invención, en lugar del acero inoxidable austenítico complementado con una gran cantidad de Ni y Mo costosos, se puede proporcionar un acero inoxidable ferrítico para un intercambiador de calor que tiene excelentes propiedades de intercambio de calor, resistencia a la corrosión y propiedades de soldadura fuerte. En particular, el acero inoxidable ferrítico puede presentar excelentes propiedades como el material de intercambiador de calor y el intercambiador de calor que utiliza el calor latente del agua condensada, como el intercambiador de calor secundario del dispositivo de suministro de agua caliente por gas y la unidad de recuperación de calor de un automóvil. 55

Descripción de realizaciones

Los inventores de la presente invención han realizado intensos estudios para proporcionar un acero inoxidable ferrítico

con excelentes propiedades como intercambiador de calor. Como resultado de ello, han obtenido los siguientes hallazgos.

(1) En lo que respecta a las propiedades de intercambio de calor resulta eficaz una formación de rugosidades sumamente finas en la capa más externa, en particular en el tipo de intercambiador de calor que utiliza el calor latente del agua condensada. Estas rugosidades finas se pueden obtener precipitando óxido de aluminio u óxido de aluminio y titanio de forma apropiada.

(2) La resistencia a la corrosión se mejora mediante la película de revestimiento de óxido de Al o la película de revestimiento de Ti y Al precipitada sobre la capa superficial en el apartado (1) arriba descrito.

(3) En lo que respecta a las propiedades de soldadura fuerte esenciales para fabricar la estructura del intercambiador de calor, las mismas se inhiben por la formación excesiva de la película de revestimiento de óxido de Al o la película de revestimiento de óxido de Ti y Al. Por lo tanto, no solo es necesario controlar apropiadamente el espesor y la composición del óxido, sino también el tiempo de la formación del óxido.

En primer lugar se explican las propiedades de intercambio de calor del apartado (1) arriba descrito. En el intercambiador de calor, en particular en el tipo de intercambiador de calor que utiliza el calor latente del agua condensada, se utiliza el calor latente durante la licuefacción del vapor incluido en el gas por el material del intercambiador de calor a baja temperatura, además del calor de gas de alto calor, como el gas de combustión. El calor latente es la energía térmica generada en la transformación de fase del vapor de gas a líquido después de enfriarse en la superficie del material. Por lo tanto, el vapor de gas se aglomera en la superficie del material del intercambiador de calor en el nivel molecular. Para mejorar la eficiencia térmica del calor latente, es claro aumentar el área superficial del intercambiador de calor. Una forma de lograrlo es simplemente aumentar el tamaño de la parte de intercambio de calor. Sin embargo, la estrategia no es aplicable en la mayoría de los casos debido a la limitación de su lugar de instalación o el coste. Por lo tanto, es preferible aumentar el área superficial del intercambiador de calor. Un ejemplo para lograrlo consiste en realizar un pulido en bruto en la superficie del intercambiador de calor. Sin embargo, en el pulido, la superficie es rugosa y la parte de valle es profunda, con lo que surge el inconveniente de la dificultad de descargar el agua condensada formada debido a la tensión superficial. En consecuencia, los inventores de la presente invención han descubierto que tanto la formación como la descarga del agua condensada se estimulan formando los óxidos de Al u óxidos de Ti y Al sumamente finos, como una forma de retirar rápidamente las gotas de agua condensada formada de la superficie del intercambiador de calor, y para aumentar el área superficial. Los detalles del mecanismo de este fenómeno todavía se están investigando, pero se supone que la rugosidad sumamente fina de estos óxidos aumenta el área superficial y se convierten en los puntos de inicio de la formación del agua condensada en el nivel molecular, y la descarga desde la superficie se estimula cuando el agua condensada crece hasta alcanzar el tamaño del nivel de gota por su propia tensión superficial. Específicamente, los inventores de la presente invención han descubierto que es preferible que la rugosidad de la superficie en Ra medida con láser rojo sea de 0,010 μm a 0,15 μm .

Por lo tanto, en la presente invención, está previsto que la rugosidad de la superficie en Ra medida por láser rojo sea de 0,010 μm a 0,15 μm .

Incluso si la rugosidad de la superficie superara los 0,15 μm , la eficiencia de captura del agua condensada aumentaría aún más. Sin embargo, cuando la rugosidad de la superficie supera los 0,15 μm , los óxidos formados en la superficie tienen un efecto adverso en las propiedades de soldadura fuerte. Por lo tanto, este valor se establece como el límite superior.

A continuación se explica la resistencia a la corrosión del apartado (2) arriba descrito. Se sabe que el óxido de aluminio o el óxido de titanio y aluminio tienen una alta resistencia a la corrosión. Sin embargo, en el acero inoxidable utilizado como intercambiador de calor, si se formara una gran cantidad de estos óxidos en la superficie, las propiedades de soldadura fuerte, que se explican más adelante, se deteriorarían. Por lo tanto, en lo que respecta al óxido de aluminio o el óxido de titanio y aluminio formados en la superficie del acero inoxidable, los inventores de la presente invención han llevado a cabo extensos estudios sobre la morfología mínimamente requerida y el espesor capaz de contribuir a mejorar la resistencia a la corrosión. Como resultado de ello, han descubierto que no es necesario que el óxido de aluminio o el óxido de titanio y aluminio cubran por completo toda la superficie del acero inoxidable para mejorar la resistencia a la corrosión necesaria para el dispositivo. Específicamente, han descubierto que esto se puede lograr previendo que la relación requerida de cobertura superficial por el óxido sea de un 5% a un 70%, y que el espesor desde la superficie hasta un punto que incluye el valor de medio pico del contenido de Al o del contenido de Ti y Al en la superficie sea de 5 a 300 nm, obteniéndose el valor de medio pico del contenido de Al o del contenido de Ti y Al a partir del perfil elemental expresado por la relación catiónica, y siendo el contenido de Al o el contenido de Ti y Al en la superficie uno de los más altos.

Por lo tanto, en la presente invención está previsto que los óxidos de Al o los óxidos de Ti y Al estén presentes en la superficie del material, que la relación de cobertura superficial por el óxido de Al sea de un 5% a un 70%, y que el espesor desde la superficie hasta el punto que incluye el valor de medio pico del contenido de Al o del contenido de Al en la superficie sea de 5 a 300 nm, obteniéndose el valor de medio pico del contenido de Al o del contenido de Ti y Al a partir de un perfil elemental expresado por la relación catiónica.

A continuación, se explican las propiedades de soldadura fuerte del apartado (3) arriba descrito. Se sabe que la formación de óxidos de Ti, Al o similares, que tienen más probabilidades de oxidarse que el Cr, formados en la superficie del material tiene un efecto adverso sobre las propiedades de soldadura fuerte dependiendo del tipo de material de soldadura fuerte. Por lo tanto, después de realizar extensos estudios sobre el Ti y el Al en cuanto a las condiciones que causan el efecto adverso sobre las propiedades de la soldadura fuerte, han descubierto que las propiedades de la soldadura fuerte disminuyen cuando los óxidos de Ti y/o Al se forman a una temperatura inferior a la temperatura a la que el material de soldadura fuerte se funde durante la soldadura fuerte. También han descubierto que es importante mantener el nivel de vacío en menos de 1×10^{-2} Pa durante el calentamiento hasta que la temperatura alcance los 400 °C para mejorar las propiedades de la soldadura fuerte. Además han descubierto que, una vez que el material de soldadura fuerte está fundido, el impacto que tiene la formación de óxidos de Ti y/o Al en la superficie del material en las propiedades de soldadura fuerte es pequeño, y también han descubierto que se forman óxidos traza de Ti y/o Al en la capa superficial cuando se reduce un poco el nivel de vacío en el intervalo de temperatura de mantenimiento en el que la temperatura del material de soldadura fuerte alcanza el punto de fusión o una temperatura superior para obtener la atmósfera en la que el Ti y/o el Al tienen probabilidades de oxidarse.

Los inventores de la presente invención han descubierto que la soldadura fuerte se puede realizar mientras se mantienen las propiedades de (1) y (2), controlando el espesor de la película de revestimiento a través de la atmósfera arriba descrita en la soldadura fuerte además de la optimización de las cantidades de Ti y Al.

Sobre la base de los resultados arriba descritos, las cantidades de Al y Ti contenidas en el acero se configuran tal como se describe más abajo. En lo que respecta al contenido de componentes, % significa % en masa.

El Al es un elemento importante en la presente invención y forma óxidos finos durante el tratamiento térmico de soldadura fuerte para mejorar la humectabilidad contra el agua condensada. Además es importante como elemento desoxidante y tiene el efecto de miniaturizar la estructura al controlar la composición de las inclusiones no metálicas. Sin embargo, si se añadiera en exceso, no solo reduciría las propiedades de soldadura fuerte, sino que también conduciría al engrosamiento de las inclusiones no metálicas como el material en sí, posiblemente convirtiéndose en el punto de partida de la aparición de arañazos en el producto. Por lo tanto, los límites inferior y superior se establecen en un 0,003% y un 0,30%, respectivamente. Preferiblemente, el contenido está en el intervalo de un 0,005% a un 0,20%. Más preferiblemente, está en el intervalo de un 0,008% a un 0,15%.

Cuando se añade Ti, el Ti es un elemento muy importante que suprime la corrosión intergranular y mejora la docilidad al fijar C y N junto con Nb en la parte soldada del acero inoxidable ferrítico en general. Además se trata de un elemento importante para mejorar la humectabilidad contra el agua condensada para mejorar las propiedades del intercambiador de calor junto con el Al en el entorno de corrosión. El Ti forma la película de revestimiento superficial del acero inoxidable con Cr, y es muy eficaz para suprimir la formación de corrosión por picaduras. Sin embargo, una adición excesiva de Ti, que reduce las propiedades de soldadura fuerte, provoca la formación de arañazos en la superficie durante la producción. Por lo tanto, cuando se añade Ti, el intervalo del contenido de Ti se ajusta en un 0,001% a un 0,30%. Preferiblemente, el contenido está en el intervalo de un 0,07% a un 0,26%. Más preferiblemente, está en el intervalo de un 0,08% a un 0,22%.

Los efectos arriba descritos de la presente invención se confirmaron realizando los experimentos descritos más abajo. Como materiales se produjeron por fusión al vacío 11 tipos de acero inoxidable ferrítico, en los que los contenidos de Cr eran de un 18% a un 19% y los contenidos de Al variaban tal como se muestra en los números 1 a 11 en la Tabla 1, y el acero inoxidable austenítico SUS316L, que se muestra en el número 12 en la Tabla 1, y un material comparativo. Los contenidos de otros componentes de los aceros inoxidables ferríticos se mantuvieron en valores casi constantes dentro de los intervalos de la presente invención, que se describen más abajo.

A partir de los materiales arriba descritos se produjeron placas de acero de 1,5 mm de espesor realizando una eliminación de incrustaciones por rectificado y mediante laminado en frío después de un laminado al espesor de 4 mm por forjado y laminado en caliente, y realizando el tratamiento térmico a 980 °C durante 1 minuto. Después se sometieron al tratamiento térmico como el recocido final: en condiciones de 950 °C a 1.000 °C durante 1 minuto en el caso de las muestras nº 1 a 11, y en condiciones de 1.100 °C durante 1 minuto en el caso del acero inoxidable austenítico nº 12, basado en cada uno de los comportamientos de recristalización. Después de eliminar las incrustaciones formadas en el tratamiento térmico realizando una eliminación por decapado, se llevaron a cabo los tratamientos de pulido en húmedo con nº 1.000 para obtener los materiales de muestra.

Después, los materiales de muestra obtenidos se sometieron al tratamiento en las mismas condiciones descritas más abajo como el tratamiento térmico que simula el tratamiento de soldadura fuerte. El tratamiento térmico se llevó a cabo utilizando un horno de vacío en las siguientes condiciones: el nivel de vacío hasta que la temperatura alcanzaba los 400 °C era de 2×10^{-3} Pa, la temperatura de mantenimiento era de 1.100 °C, y el tiempo de mantenimiento era de 10 minutos. Cuando la temperatura alcanzó la temperatura de mantenimiento, el nivel de vacío se ajustó a 1×10^0 Pa.

La relación de cobertura del óxido superficial formado en las muestras tratadas térmicamente se evaluó como la relación de área del óxido, utilizando el espectrómetro fotométrico Auger, AES, fabricado por Shimadzu Corporation, realizando un mapeo de elementos para Ti y Al en la capa más externa en el campo visual con 2.000 aumentos, y binarizando la imagen obtenida en el óxido y otros mediante un *software* de análisis de imágenes. Las concentraciones

más altas de Al y Ti en la superficie se midieron utilizando el AES del mismo modo, y midiendo el perfil de profundidad de los elementos. La profundidad del óxido se definió como la profundidad en la que la concentración de Al o Ti disminuyó al valor de medio pico de la concentración más alta de Al o Ti.

5 La rugosidad de la superficie se midió utilizando el microscopio láser rojo VK8550 fabricado por Keyence Corporation con 2.000 aumentos de medición. La medición de la rugosidad de la superficie se realizó en la dirección de medición paralela a la marca de pulido o a la dirección de laminado como la rugosidad bidimensional de más de 100 μm de longitud, y la rugosidad media $R_a/\mu\text{m}$ se definió como el parámetro de índice. La razón para establecer la dirección de medición en la marca de pulido o en la dirección de laminado consistía en excluir el efecto de la desigualdad de la marca de pulido y de la marca del rodillo de laminado en la mayor medida posible. En el análisis se utilizó el *software* VK8500 suministrado con el equipo. Para corregir el efecto de las formas de las muestras se realizaron apropiadamente correcciones de alisado e inclinación del *software* de análisis suministrado.

15 En la medición de la cantidad de agua condensada capturada se utilizó el método descrito más abajo. La cantidad de agua condensada capturada se obtuvo utilizando un dispositivo de suministro de agua caliente por gas general sin función de recuperación de calor latente, exponiendo el material tratado térmicamente al lado frontal del orificio de escape al suministrar agua caliente en el estado en el que el ajuste de temperatura del agua caliente estaba fijado en el nivel constante, y midiendo la cantidad de gotas adheridas a la superficie a partir del cambio de masa antes y después de la exposición. Específicamente, el experimento se realizó en un día nublado en las siguientes condiciones: la temperatura del agua caliente era de 50 ± 2 °C (el valor real observado, el dispositivo de suministro de agua caliente por gas era del tipo en el que la temperatura se ajustaba girando un dial, y no del tipo en el que la temperatura ajustada se introducía directamente), la temperatura del aire exterior era de 10 ± 2 °C, y la humedad relativa era de un 60% a un 70%. Las muestras eran muestras en las que se realizó el tratamiento térmico arriba descrito con unas dimensiones de 1,5t x 20 x 120 mm. La plantilla de fijación se colocó delante del orificio de escape del dispositivo de suministro de agua caliente de tal modo que las muestras arriba descritas se pudieron colocar con el intervalo de 30 mm perpendicular al orificio de escape. Después se encendió el dispositivo de suministro de agua caliente para la combustión, las muestras se dispusieron en el estado en el que la temperatura era constante, y las muestras se retiraron después de 10 segundos. En este momento, cada una de las muestras se colocó en una bolsa de plástico, que se pesó por adelantado y se cerró inmediatamente para evitar la evaporación del agua condensada por el aire exterior, y se midió el cambio de masa antes y después de la prueba. Las muestras antes de la prueba se sometieron a un tratamiento desengrasante con acetona a la temperatura equivalente al aire exterior. El tiempo se ajustó a 10 segundos ya que, si se superaban los 10 segundos, la temperatura de las propias muestras aumentaría, y el agua condensada comenzó a evaporarse. La cantidad de agua condensada capturada se expresó sobre la base del material comparativo SUS316L, expresándola como B, A, y C, cuando la mejora frente al SUS316L era de un 10% a un 50% (exclusive), de más de un 50%, y de menos de un 10%, respectivamente.

35 La resistencia a la corrosión de los materiales tratados térmicamente se evaluó mediante la prueba en húmedo y en seco utilizando el agua condensada simulada. Como materiales de prueba se utilizaron muestras que fueron sometidas a los tratamientos de pulido húmedo con nº 1.000 en todas sus superficies, que tenían unas dimensiones de 1,5t x 15 x 50 mm, y que se trataron térmicamente en las mismas condiciones que las del material de soldadura fuerte arriba descrito. Las soluciones de prueba incluían: 100 ppm de ion nitrato NO_3^- , 10 ppm de ion sulfato SO_4^{2-} , y 100 ppm de ion cloruro Cl^- , y el pH era de 2,5. La razón para ajustar la concentración de Cl^- en 100 ppm consistía en comparar la pérdida de peso por corrosión entre los tipos de acero y ajustar las condiciones de corrosión a unas condiciones más rigurosas. Un tubo de ensayo de 50 ml se llenó con 10 ml de la solución de prueba, y cada tipo de acero inoxidable tratado térmicamente se sumergió parcialmente. Después se repitió 14 veces un ciclo consistente en las siguientes etapas: mantener las muestras de prueba en un baño de agua a 80 °C durante 24 horas, sacar las muestras de las soluciones para secarlas por completo, lavar ligeramente las muestras secas con agua destilada, llenar otros tubos de ensayo con la solución de prueba del mismo modo, sumergir parcialmente las muestras en los tubos de ensayo, y mantenerlas a 80 °C durante 24 horas. Después de completar la repetición se evaluó la pérdida por corrosión y la resistencia a la corrosión se calificó como B, A y C, cuando era de $1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ o más y menor de $5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, menor de $1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, y mayor de $5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, respectivamente.

50 Las propiedades de soldadura fuerte se evaluaron en función de la extensión del flujo de soldadura fuerte de Ni en la parte de la grieta. Los materiales de muestra consistían en dos láminas de los tratamientos de pulido en húmedo con nº 1.000, teniendo una de ellas unas dimensiones de 1,5t x 30 x 100 mm y la otra unas dimensiones de 1,5t x 20 x 80 mm. Las dos láminas se apilaron con cada uno de los centros superpuestos entre sí, y se realizó una soldadura por puntos para la fijación temporal en dos lugares. Después se aplicaron 0,2 g de material de soldadura fuerte de Ni en forma de pasta, lo que correspondía a JIS B-Ni5, en la parte de la grieta sobre el centro del lado corto de la muestra que tenía unas dimensiones de 20 x 40 mm. Las condiciones de tratamiento térmico para la soldadura fuerte se ajustaron tal como se ha descrito más arriba.

60 Las propiedades de soldadura fuerte se evaluaron como A, B y C, cuando el material de soldadura fuerte llegó a toda la parte de la grieta, cuando el material de soldadura fuerte no llegó a toda la parte de la grieta pero fluyó en un 95% o más de la longitud de la grieta, y cuando el flujo del material de soldadura fuerte se interrumpió evidentemente en el camino, respectivamente. En la evaluación se cortaron secciones transversales en paralelo en la parte central en la dirección del lado corto de la muestra, y la longitud del material de soldadura fuerte existente en la parte de la grieta en la sección transversal se observó con un microscopio con 20 aumentos. Se confirmó que el intervalo de la parte de

la grieta era menor de 0,1 μm basado en la observación de la sección transversal de la muestra después de la soldadura fuerte en cada caso.

[Tabla 1]

Nº	Contenido de componente (% en masa)			Proceso de producción				Componente de superficie			Óxido superficial		Rugosidad Ra (µm)	Evaluación de calidad			Ejemplo Comparativo
	Cr	Al	Ti	Nivel de vacío (400 °C) (Pa)	Temperatura de mantenimiento (°C)	Nivel de vacío después del mantenimiento (Pa)	S _{Al} (%)	A _{Ti} (%)	Relación de cobertura (%)	Espesor (µm)	Cantidad de agua condensada capturada (g/m ²)	Prueba de corrosión		Propiedades de soldadura fuerte			
1	18,9	0,002	-	2×10 ⁻³	1.100	1×10 ⁰	1	-	1	3	1,04	C	A	C	A	Ejemplo Comparativo	
2	18,6	0,012	-	2×10 ⁻³	1.100	1×10 ⁰	6	-	6	60	1,32	B	A	B	A	Presente invención	
3	19,1	0,031	-	2×10 ⁻³	1.100	1×10 ⁰	13	-	13	120	1,51	A	A	A	A	Presente invención	
4	19,3	0,115	-	2×10 ⁻³	1.100	1×10 ⁰	59	-	59	250	1,68	A	A	A	B	Presente invención	
5	19,0	0,320	-	2×10 ⁻³	1.100	1×10 ⁰	75	-	75	460	1,30	B	A	A	C	Ejemplo Comparativo	
6	18,8	0,020	0,08	2×10 ⁻³	1.100	1×10 ⁰	6	5	11	110	1,42	B	A	B	A	Presente invención	
7	19,2	0,017	0,14	2×10 ⁻³	1.100	1×10 ⁰	8	19	27	180	1,51	A	A	A	A	Presente invención	
8	18,9	0,022	0,20	2×10 ⁻³	1.100	1×10 ⁰	7	36	43	240	1,66	A	A	A	B	Presente invención	
9	18,7	0,019	0,33	2×10 ⁻³	1.100	1×10 ⁰	8	66	74	330	1,32	B	A	A	C	Ejemplo Comparativo	
10	18,4	0,051	0,11	2×10 ⁻³	1.100	1×10 ⁰	22	20	42	190	1,61	A	A	A	B	Presente invención	

Nº	Contenido de componente (% en masa)			Proceso de producción			Componente de superficie			Óxido superficial			Rugosidad Ra (µm)	Evaluación de calidad			
	Cr	Al	Ti	Nivel de vacío (400 °C) (Pa)	Temperatura de mantenimiento (°C)	Nivel de vacío después del mantenimiento (Pa)	S _{Al} (%)	A _{Ti} (%)	Relación de cobertura (%)	Espesor (µm)	Cantidad de agua condensada capturada (g/m ²)	Prueba de corrosión		Propiedades de soldadura fuerte			
11	18,6	0,160	0,26	2×10 ⁻³	1.100	1×10 ⁰	42	39	<u>81</u>	<u>550</u>	1,41	A	C	Ejemplo Comparativo			
12	<u>18,0(10Ni-2Mo)</u>	-	-	2×10 ⁻³	1.100	1×10 ⁰	<1	<1	<1	<1	0,98	C	A	Ejemplo Comparativo			
13	18,4	0,051	0,11	1×10 ⁻¹	1.100	1×10 ⁰	30	48	<u>78</u>	<u>390</u>	1,35	B	C	Ejemplo Comparativo			
14	18,4	0,051	0,11	1×10 ⁻²	1.100	1×10 ⁰	25	42	67	<u>310</u>	1,31	B	C	Ejemplo Comparativo			
15	18,4	0,051	0,11	2×10 ⁻³	1.100	5×10 ⁻³	1	3	<u>4</u>	<u>4</u>	1,02	C	A	Ejemplo Comparativo			
16	18,4	0,051	0,11	2×10 ⁻³	1.100	5×10 ¹	-(Principalmente óxido de Fe)		<u>800</u>	1,36	B	C	C	Ejemplo Comparativo			
17	18,4	0,051	0,11	Sin tratamiento térmico (pulido con nº 1.000)			<1	<1	<1	-	0,97	C	-	Ejemplo Comparativo			
18	18,4	0,051	0,11	Sin tratamiento térmico (pulido con nº 80)			<1	<1	<1	-	1,19	B	C	Ejemplo Comparativo			
19	18,4	0,051	0,11	0,5×10 ²			17	27	44	220	1,40	B	A	Presente invención			

Las relaciones se muestran en la Tabla 1. En la Tabla 1 y en la Tabla 2, que se describen más abajo, las configuraciones fuera del intervalo del alcance de la presente invención están subrayadas. En primer lugar, en el Ejemplo Comparativo nº 12, la película de revestimiento de óxido de Ti, Al no se formó en la superficie ni siquiera después del tratamiento térmico, ya que se trataba de acero inoxidable austenítico y los contenidos de Ti y Al eran sumamente bajos. La cantidad de agua condensada capturada en este material fue de $0,98 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, y la pérdida de peso por corrosión en la prueba de corrosión fue superior a $10 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ e inferior a los ejemplos de la presente invención. En lo que respecta a las propiedades de soldadura fuerte, la parte de la grieta estaba completamente llena, y las propiedades de soldadura fuerte eran excelentes.

A continuación se muestran los efectos de la concentración de Al en el acero en los números 1 a 5. Incluso en el acero inoxidable ferrítico, cuando el contenido de Al en el material era inferior al valor predeterminado como en el nº 1, tanto la relación de cobertura como el espesor del óxido de Al en la superficie después de realizar el tratamiento térmico predeterminado eran bajos, y la rugosidad Ra era baja. Además, la cantidad de agua condensada capturada era equivalente al nivel en el nº 12 en la prueba, y la cantidad de corrosión era alta en la prueba de corrosión ya que no tenía formación de película de revestimiento. Por otro lado, en los números 2 a 4, en los que el contenido de Al estaba dentro del alcance de la presente invención, la relación de cobertura y el espesor de óxido de Al aumentaron en el mismo intervalo de tratamiento térmico para estar dentro del alcance de la presente invención. La cantidad de agua condensada capturada aumentó más de un 10% en comparación con el nº 12 en las pruebas. Además, la cantidad de corrosión era baja y excelente en la prueba de corrosión. Además, las propiedades de soldadura fuerte en la parte de la grieta eran excelentes. En el nº 5, en el que el contenido de Al era superior al alcance de la presente invención, la relación de cobertura del óxido de Al era superior a un 70%, y el espesor de la película de revestimiento en la superficie era superior a 300 nm. Por lo tanto, la resistencia a la corrosión estaba asegurada, pero las propiedades de soldadura fuerte, que eran una de las características importantes como componente del intercambiador de calor, se reducían de forma significativa.

A continuación, en los números 6 a 11 se muestran los casos en los que se añadieron Al y Ti al acero. Cuando los contenidos de Al y Ti estaban en el intervalo apropiado, la relación de cobertura superficial y el espesor de la película de revestimiento del óxido de Al y Ti aumentaban en las condiciones de la atmósfera en la presente invención. Además se obtuvieron resultados excelentes en la cantidad de agua condensada capturada y en la resistencia a la corrosión. Por otro lado, en el nº 9, en el que el contenido de Ti estaba fuera del alcance de la presente invención, y en el nº 11, en el que la relación de cobertura estaba fuera del alcance de la presente invención debido a que ambos contenidos de Al y Ti estaban demasiado cerca de sus límites superiores, la resistencia a la corrosión estaba asegurada, pero las propiedades de soldadura fuerte, que eran una de las características importantes como componente del intercambiador de calor, se reducían de forma significativa.

A continuación se investigó el efecto de la atmósfera de tratamiento térmico. Específicamente, la investigación se realizó en las condiciones en las que se utilizó el nº 10 de la Tabla 1 como material de prueba, y el nivel de vacío durante el calentamiento hasta que la temperatura alcanzó los $400 \text{ }^\circ\text{C}$ en el tratamiento térmico se redujo a $1 \times 10^{-1} \text{ Pa}$, $1 \times 10^{-2} \text{ Pa}$, y $0,5 \times 10^{-2} \text{ Pa}$. Los resultados se muestran en los números 13 a 14 y 19 en la Tabla 1. Cuanto menor es el nivel de vacío durante el calentamiento, más pronto comienza la oxidación en la superficie antes de la fusión del material de soldadura. Por lo tanto, el Ti y el Al se enriquecieron excesivamente en la superficie, y se redujeron las propiedades de soldadura fuerte. Además, para investigar el efecto de la atmósfera en el intervalo de temperatura de mantenimiento, solo se cambió el nivel de vacío a la temperatura de mantenimiento utilizando el material de prueba nº 10 mostrado en la Tabla 1. Como resultado de ello, en el nº 15, en el que el nivel de vacío en la temperatura de mantenimiento se mantuvo en un alto vacío de $5 \times 10^{-3} \text{ Pa}$, se suprimió la formación de óxido de Ti y Al, y las propiedades de soldadura fuerte fueron excelentes. Sin embargo, la resistencia a la corrosión y la relación de captura del agua condensada no mejoraron particularmente en comparación con el nº 10 formado en las condiciones correspondientes al alcance de la presente invención. Cuando el nivel de vacío en la temperatura de mantenimiento se redujo a $5 \times 10^1 \text{ Pa}$, la superficie tenía el color marrón más oscuro en la apariencia, no se detectaron Ti y Al en la capa superficial de la película de revestimiento, y la composición de la película de revestimiento consistía principalmente en óxido de Fe de forma predominante. Debido a esto, la resistencia a la corrosión en el nº 15 se redujo significativamente en comparación con el nº 10 formado en las condiciones correspondientes al alcance de la presente invención.

Por último, para demostrar el efecto de la forma de la superficie, las muestras se compararon con los materiales sometidos a tratamiento de pulido. Específicamente, al utilizar el material de prueba del nº 10, el tratamiento de pulido se realizó utilizando papeles de lija húmedos con tamaños de grano del nº 1.000 o el nº 80 como variación. La rugosidad Ra en cada uno era de aproximadamente $0,008 \text{ }\mu\text{m}$ y $0,35 \text{ }\mu\text{m}$. Estos materiales pulidos se sometieron a cada una de las evaluaciones sin realizar el tratamiento térmico. Por lo tanto, estas muestras no eran comparables en lo que respecta a las propiedades de soldadura fuerte. Los resultados se muestran en los números 17 y 18 en la Tabla 1. Entre estas muestras pulidas, la relación de captura del agua condensada fue mayor en el pulido más grueso con nº 80 que en el pulido con nº 1.000. Sin embargo, en ambas muestras, la relación de captura del agua condensada fue menor que en las que se realizó el tratamiento térmico, y la resistencia a la corrosión también era baja, ya que no había película de revestimiento de Ti y Al formada sobre la superficie.

Sobre la base de los resultados arriba explicados se ha demostrado que el acero inoxidable ferrítico, que muestra excelentes propiedades como intercambiador de calor, se podría prever mediante la realización del tratamiento térmico

adecuado.

A continuación se describen explicaciones de otros elementos en este acero inoxidable.

5 El Cr es el elemento más importante para asegurar la resistencia a la corrosión del acero inoxidable. Es necesario que el Cr esté incluido al menos en un 13% en las condiciones de uso, ya que estabiliza la estructura ferrítica. Cuanto mayor es el contenido de Cr, mayor es la resistencia a la corrosión. Sin embargo, un contenido muy alto de Cr reduce la docilidad y la facilidad de fabricación. Por lo tanto, el límite superior de Cr se establece en un 25%. Preferiblemente, el contenido de Cr se establece en el intervalo de un 14,0% a un 24,0%. Más preferiblemente, es de un 16,5% a un 23,5%.

10 El Si se puede añadir como un elemento desoxigenante y eficaz en la resistencia a la corrosión y la resistencia a la oxidación, en general. Sin embargo, el Si no solo tiene la acción estimulante del proceso de corrosión en las condiciones, sino que el Si añadido en exceso reduce la docilidad y la facilidad de fabricación. Intrínsecamente, el Si es un elemento reactivo al oxígeno. Sin embargo, en caso de presencia de Al y Ti, que son más activos, el nivel de oxidación es bajo en las condiciones de tratamiento térmico en la presente invención. No obstante, cuando las cantidades de Al y Ti son relativamente bajas, el Si se oxida en la superficie, lo que no es preferible. Por lo tanto, el contenido de Si se establece en un 10% o menos. Preferiblemente, es de un 0,50% o menos. Más preferiblemente, está en el intervalo de un 0,05% a un 0,3%. El Si puede no estar incluido.

20 El C tiene los efectos de mejorar la resistencia, suprimir el engrosamiento de los granos de cristal en combinación con los elementos estabilizadores, y similares. Sin embargo, reduce la resistencia a la corrosión intergranular y la docilidad. En el acero inoxidable ferrítico altamente puro es necesario reducir el contenido de C. Por lo tanto, el límite superior del contenido de C se establece en un 0,030%. Una reducción excesiva del C deteriora el coste de refinación. Por lo tanto, preferiblemente, el contenido está en el intervalo de un 0,002% a un 0,015%.

25 Existe la necesidad de reducir el contenido de N, ya que una adición grande de N reduce la resistencia a la corrosión intergranular y la docilidad, como en el caso del C. Por lo tanto, el límite superior de N se establece en un 0,030%. Sin embargo, reducir el contenido de N a un nivel extremo deteriora el coste de refinación. Por lo tanto, preferiblemente, el contenido de N está en el intervalo de un 0,002% a un 0,020%.

Se puede añadir Mn como elemento desoxidante. Sin embargo, una adición grande de Mn provoca una posible formación de MnS, que se convierte en el punto de partida de corrosión, y desestabilización de la estructura ferrítica. Por lo tanto, el contenido de Mn se establece en un 1,0% o menos. Preferiblemente, está en el intervalo de un 0,05% a un 0,3%. El Mn puede no estar incluido.

30 Existe la necesidad de reducir el contenido de P, ya que una adición grande de P no solo reduce la soldabilidad y la docilidad, sino que también facilita la aparición de corrosión intergranular. Por lo tanto, el contenido de P se establece en un 0,05% o menos. Preferiblemente, está en el intervalo de un 0,001% a un 0,04%.

35 Existe la necesidad de reducir el contenido de S, ya que una adición grande de S provoca la formación de inclusiones solubles en agua, que se convierten en los puntos de partida de corrosión debido al CaS, MnS o similares arriba descritos. Por lo tanto, el contenido de S se establece en un 0,01% o menos. Sin embargo, reducir el contenido de S a un nivel extremo deteriora el coste de refinación. Por lo tanto, preferiblemente, el contenido de S está en el intervalo de un 0,0001% a un 0,006%.

Además, a continuación se explican detalladamente otras composiciones químicas que se pueden añadir opcionalmente en la presente invención.

40 El Nb es un elemento que tiene el efecto de suprimir la corrosión granular en la parte soldada para mejorar la docilidad mediante la fijación de C y N, como en el caso de Ti, y se añade si es necesario. Sin embargo, una adición grande de Nb reduce la docilidad. Por lo tanto, el contenido de Nb se establece en el intervalo de un 0,05% a un 1,0%. Preferiblemente, está en el intervalo de un 0,1% a un 0,5%.

45 El Mo es un elemento que tiene el efecto de reparar la película de pasivado y un elemento muy eficaz para mejorar la resistencia a la corrosión. En particular, el Mo tiene el efecto de mejorar la resistencia a la corrosión por picaduras en combinación con Cr. Por lo tanto, cuando se añade Mo, es preferible incluir Mo en un 0,3% o más. Al aumentar el contenido de Mo, se mejora la resistencia a la corrosión. Sin embargo, una adición grande de Mo reduce la docilidad y aumenta el coste. Por lo tanto, el límite superior del contenido de Mo se establece en un 3%. Preferiblemente, el contenido de Mo está en el intervalo de un 0,4% a un 2,0%. Más preferiblemente, está en el intervalo de un 0,80% a un 1,6%.

55 El acero inoxidable ferrítico puede incluir Cu en un 0,01% o más como impurezas inevitables cuando se utiliza chatarra como material. El Cu tiene el efecto de disminuir la velocidad de corrosión cuando la corrosión ha progresado. Cuando se añade Cu, es preferible que el contenido de Cu esté en el intervalo de un 0,10% a un 1,0%. Sin embargo, una adición grande de Cu reduce la docilidad, lo que no es preferible. Por lo tanto, preferiblemente, el contenido está en el intervalo de un 0,20% a un 0,50%.

- 5 El Ni disminuye la velocidad de disolución activa y es muy eficaz en el pasivado. Por lo tanto, en caso necesario se añade Ni en un 0,1% o más. Sin embargo, una adición grande de Ni reduce la docilidad. Además, no solo desestabiliza la estructura ferrítica, sino que también deteriora el coste. Por lo tanto, el límite superior del contenido de Ni se establece en un 2,0%. Preferiblemente, el contenido está en el intervalo de un 0,30% a un 1,5%. Más preferiblemente, está en el intervalo de un 0,32% a un 1,20%.
- 10 Se pueden añadir cada uno de Sn, Sb, Zr, Co y W para mejorar la resistencia a la corrosión en caso necesario. Estos elementos son elementos importantes para disminuir la velocidad de corrosión. Sin embargo, una adición grande de estos elementos deteriora la facilidad de fabricación y el coste. Por lo tanto, los contenidos se establecen en el intervalo de un 0,005% a un 0,5% en cualquiera de estos elementos. Preferiblemente, están en el intervalo de un 0,05% a un 0,4%.
- 15 El B es un elemento que refuerza el límite de grano y que es eficaz para mejorar la fragilidad de trabajo secundaria. Por lo tanto, se puede añadir en caso necesario. Sin embargo, una adición grande de B refuerza la solución sólida de ferrita reduciendo la ductilidad. Por lo tanto, los límites superior e inferior se establecen en un 0,0001% y un 0,0030%, respectivamente. Preferiblemente, el contenido de B se establece en el intervalo de un 0,0002% a un 0,0020%.
- 20 Mediante la adición de V se mejoran la resistencia a la corrosión y la resistencia a la corrosión por grietas. Además, mediante la adición de V con cantidades reducidas de Cr y Mo se puede asegurar una excelente docilidad. Por lo tanto, en caso necesario se puede añadir V. Sin embargo, una adición grande de V no solo reduce la docilidad, sino que también satura el efecto de mejorar la resistencia a la corrosión. Por lo tanto, los límites inferior y superior se establecen en un 0,03% y un 1,0%, respectivamente. Preferiblemente, el contenido está en el intervalo de un 0,05% a un 0,50%
- 25 El Mg se comporta como un desoxidante mediante la formación de óxidos de Mg con Al en acero fundido y como núcleos de cristalización de TiN. El TiN se convierte en el núcleo de solidificación de la fase de ferrita durante el proceso de solidificación y estimula la cristalización de TiN formando las fases de ferrita finas en la solidificación. La miniaturización de la estructura solidificada permite prevenir la formación de defectos superficiales debidos a la estructura solidificada gruesa, tales como crestas, estrías y similares, y también contribuye a mejorar la docilidad. Por lo tanto, en caso necesario se puede añadir Mg. Cuando se añade Mg, el contenido de Mg se establece en un 0,0001%, en el que se ejercen los efectos arriba descritos. Sin embargo, si superara un 0,0050%, la facilidad de fabricación se deterioraría. Por lo tanto, el límite superior del contenido de Mg se establece en un 0,0050%. Preferiblemente, el contenido está en el intervalo de un 0,0003% a un 0,0020% teniendo en cuenta la facilidad de fabricación.
- 30 La adición de cada uno de La, Y, Hf y lantánidos mejora la docilidad en caliente y el índice de limpieza del acero, y son elementos eficaces para mejorar la resistencia a la corrosión en la presente invención. Por lo tanto, cualquiera de ellos se puede añadir en caso necesario. Cuando se añade uno de ellos, el contenido se establece en un 0,0001%, en el que se ejerce cada uno de los efectos arriba descritos. Sin embargo, una adición grande de estos elementos provoca un aumento del coste de la aleación y una reducción de la facilidad de fabricación. Por lo tanto, el límite superior de cada uno de estos elementos se establece en un 0,1%. Preferiblemente, el contenido está en el intervalo de un 0,001 a un 0,05% individualmente o en combinación de dos o más tipos teniendo en cuenta la relación coste-eficacia y la facilidad de fabricación. Los lantánidos son elementos que tienen los números atómicos del 57 al 71 e incluyen La, Ce y Nd, por ejemplo.
- 35 El Ga es un elemento que contribuye a mejorar la docilidad. Se puede añadir en el intervalo de un 0,001% a un 0,05%.
- 40 El Ca es un elemento que mejora la resistencia a la oxidación en una cantidad traza y se puede añadir en el intervalo de un 0,0001% a un 0,0050%.
- Además de los elementos arriba descritos se pueden añadir otros elementos en el intervalo que no influya negativamente en los efectos de la presente invención.
- 45 A continuación se explica el método para producir el acero inoxidable ferrítico de la presente invención. El acero inoxidable ferrítico de la presente invención se produce utilizando la placa de acero que contiene los componentes de acero definidos en la presente invención, estableciendo un nivel de vacío inferior a 1×10^{-2} Pa durante el calentamiento hasta que la temperatura alcance los 400 °C, realizando un tratamiento térmico a una temperatura de mantenimiento de 900 °C a 1.200 °C durante un tiempo de mantenimiento de 120 minutos o menos, y ajustando el vacío a un nivel de 10^{-2} Pa a 10^1 Pa después de que la temperatura alcance la temperatura de mantenimiento. En el acero inoxidable ferrítico de la presente invención, la superficie del material presenta óxido de aluminio u óxido de aluminio y titanio, o ambos, la relación de cobertura superficial por el óxido de Al es de un 5% a un 70%, la rugosidad de la superficie en Ra medida con láser rojo es de 0,010 μm a 0,15 μm , y el espesor desde la superficie hasta el punto que incluye el valor de medio pico de un contenido de Al o un contenido de Ti en la superficie es de 5 a 300 nm, obteniéndose el valor de medio pico del contenido de Al o del contenido de Ti a partir del perfil elemental expresado por la relación catiónica. El tiempo de mantenimiento se establece en 1 minuto o más. Cuando el acero incluye Ti y Al y tanto el contenido de Ti como el contenido de Al están en el intervalo de la presente invención pero al mismo tiempo cerca de sus límites superiores, es posible que la relación de cobertura del óxido superficial supere un 70%, que es el límite superior en la presente invención, o que el espesor de la capa de óxido supere los 300 nm, que es el límite superior
- 55

en la presente invención. En este caso, la relación de cobertura y/o el espesor del óxido superficial se pueden ajustar en los intervalos de la presente invención reduciendo el contenido de Ti o de Al dentro de los intervalos de la presente invención.

- 5 El acero inoxidable ferrítico de la presente invención se puede utilizar para un intercambiador de calor. Además, se puede prever que el acero inoxidable ferrítico de la presente invención esté incluido como un componente en un intercambiador de calor. Esto se debe a que el acero inoxidable ferrítico de la presente invención tiene excelentes propiedades de intercambio de calor, resistencia a la corrosión, y propiedades de soldadura fuerte, tal como se ha descrito más arriba.

Ejemplos

[Tabla 2]

Nº	Contenido de componente (% en masa) (ppm en parte)											Componente de superficie			Óxido de superficie		Rugosidad Ra (µm)	Evaluación de calidad			
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	N	Nb	Ti	Otros	S _{Al} (%)	S _{Ti} (%)	Relación de cobertura (%)	Espesor (%)	Cantidad de agua condensada capturada (g/m ²)		Prueba de corrosión	Propiedades de soldadura		
20	0,015	0,30	0,21	0,020	0,002	18,1	0,046	0,011	-	-	-	19	-	19	50	1,39	B	A	Presente invención		
21	0,005	0,14	0,12	0,019	0,001	17,0	0,037	0,009	0,18	-	-	16	26	42	140	1,48	B	A	Presente invención		
22	0,007	0,20	0,15	0,019	0,001	22,0	0,018	0,010	0,27	Ni:0,5	-	9	40	49	190	1,55	A	B	Presente invención		
23	0,010	0,22	0,14	0,020	0,001	16,1	0,34	0,009	0,32	-	-	15	-	15	50	0,022	B	A	Presente invención		
24	0,007	0,12	0,20	0,020	0,001	23,4	0,020	0,011	0,35	-	-	12	-	12	40	0,013	B	A	Presente invención		
25	0,007	0,35	0,20	0,020	0,001	19,2	0,045	0,012	0,45	-	-	22	-	22	140	0,025	B	A	Presente invención		
26	0,004	0,15	0,12	0,021	0,001	18,6	0,045	0,011	0,25	-	Mo:0,6	21	-	21	80	0,022	B	A	Presente invención		
27	0,009	0,17	0,20	0,018	0,001	17,5	0,080	0,013	0,36	-	Ni:0,32	41	-	41	210	0,060	A	B	Presente invención		
28	0,007	0,25	0,15	0,017	0,001	18,6	0,033	0,012	0,40	-	Mo:1,6,V:0,15	14	-	14	60	0,015	B	A	Presente invención		
29	0,004	0,12	0,15	0,017	0,001	19,9	0,016	0,010	0,20	0,12	Ni:0,27,Cu:0,41	10	25	35	170	0,057	B	A	Presente invención		
30	0,007	0,20	0,12	0,002	0,001	22,2	0,033	0,013	0,29	0,09	-	13	29	42	220	0,075	A	B	Presente invención		
31	0,003	0,26	0,15	0,020	0,001	18,7	0,052	0,010	0,17	0,15	Mo:0,9	25	27	52	240	0,090	A	B	Presente invención		
32	0,011	0,22	0,20	0,025	0,001	22,9	0,101	0,014	0,25	0,09	Mo:0,5,Ni:0,6	33	19	52	230	0,091	B	B	Presente invención		
33	0,007	0,20	0,15	0,021	0,001	14,1	0,020	0,009	0,10	0,20	Sn:0,05,Sb:0,05	13	30	43	200	0,084	B	B	Presente invención		

Nº	Contenido de componente (% en masa) (ppm en parte)											Componente de superficie		Óxido de superficie		Rugosidad Ra (µm)	Evaluación de calidad			
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	N	Nb	Ti	Otros	S _{Ti} (%)	S _{Al} (%)	Relación de cobertura (%)	Espesor (%)		Cantidad de agua condensada capturada (g/m ²)	Prueba de corrosión	Propiedad es de soldadura	
34	0,004	0,20	0,12	0,020	0,001	16,5	0,031	0,008	0,22	0,09	Sn:0,1, lantánidos:0,01	21	14	35	150	1,33	B	A	Presente invención	
35	0,012	0,25	0,15	0,022	0,001	18,9	0,120	0,011	0,40	0,21	Mo:0,89;B:8ppm	32	35	67	270	1,64	A	B	Presente invención	
36	0,005	0,19	0,19	0,017	0,001	23,5	0,008	0,012	0,19	0,15	Mo:0,51;V:0,3	25	8	33	120	1,30	B	A	Presente invención	
37	0,008	0,09	0,25	0,015	0,001	19,2	0,015	0,011	0,20	0,17	Co,W:0,1, lantánidos:0,01	27	9	36	130	1,31	B	A	Presente invención	
38	0,004	0,10	0,19	0,016	0,001	23,4	0,042	0,013	0,45	0,08	La, Y, Hf:0,01	19	15	34	110	1,32	B	A	Presente invención	
39	0,006	0,12	0,11	0,020	0,001	19,0	0,060	0,014	0,30	0,11	Zr:0,2;V:0,12;Mg:9ppm	22	33	55	190	1,54	A	B	Presente invención	
40	0,012	0,19	0,15	0,022	0,002	21,1	0,055	0,015	0,45		Mo:0,8;Ca:16ppm	29	29	29	180	1,42	B	A	Presente invención	
41	0,005	0,20	0,25	0,020	0,001	18,9	0,029	0,010	0,29	0,10	Ni:0,4;Ga:0,01%;V:0,04%	21	14	35	210	1,50	B	B	Presente invención	
42	0,008	0,14	0,19	0,030	0,003	12,4	0,050	0,009	0,29	0,16		25	19	44	150	1,41	B	C	Ejemplo comparativo	
43	0,005	0,27	0,15	0,020	0,001	17,5	<u>0,002</u>	0,012	0,36	-		<1	1	1	<u>3</u>	1,10	C	A	Ejemplo comparativo	
44	0,007	0,21	0,14	0,030	0,001	18,7	<u>0,510</u>	0,009	0,15	0,19	Mo:0,49	32	55	<u>87</u>	<u>380</u>	1,28	B	C	Ejemplo comparativo	
45	0,011	0,18	<u>1,14</u>	0,020	0,003	18,0	<u>0,001</u>	0,012	0,01	0,03	Mo:2,0;Ni:10,1	3	<1	3	<u><1</u>	1,01	C	A	Ejemplo comparativo	

Los aceros de los números 20 a 44, que tienen las composiciones químicas mostradas en la Tabla 2, se produjeron mediante el método estándar de producción de acero inoxidable ferrítico de alta pureza. Específicamente se produjeron lingotes con un espesor de 40 mm después de fusión en vacío, y éstos se laminaron al espesor de 4 mm mediante laminado en caliente. Después, tras realizar un tratamiento térmico a 980 °C durante 1 minuto en función de cada uno de los comportamientos de recristalización, las incrustaciones se eliminaron por rectificado, y se produjeron placas de acero con un espesor de 1,5 mm mediante laminado en frío. Después se sometieron al tratamiento térmico como el recocido final en condiciones de 900 °C a 1.000 °C durante 1 minuto en función de cada uno de los comportamientos de recristalización, y se sometieron a las pruebas explicadas más abajo. En el nº 45, que correspondía al acero inoxidable austenítico de SUS316L, la temperatura del tratamiento térmico se ajustó a 1.100 °C. En la tabla, "-" significa que no se añadió el elemento o que no se realizó la medición.

Después de eliminar por decapado las incrustaciones del tratamiento térmico, se sometieron a tratamientos de pulido en húmedo con nº 1.000 para obtener los materiales de muestra. Como el tratamiento térmico simulaba la soldadura fuerte, se realizó el tratamiento abajo descrito. El tratamiento térmico se llevó a cabo utilizando un horno de vacío en las siguientes condiciones: el nivel de vacío hasta que la temperatura alcanzó los 400 °C era de 2×10^{-3} Pa, la temperatura de mantenimiento era de 1.100 °C, y el tiempo de mantenimiento era de 10 minutos. Cuando la temperatura alcanzó la temperatura de mantenimiento, el nivel de vacío se ajustó a 1×10^0 Pa.

Métodos de medición: las concentraciones de óxido de aluminio u óxido de titanio y aluminio en la superficie después del tratamiento térmico, la relación de cobertura de la película de óxido, el espesor de la película de óxido y la rugosidad de la superficie se realizaron como en las pruebas mostradas en la Tabla 1 arriba descrita. Además, la cantidad del agua condensada capturada, la prueba de corrosión con ciclos seco-húmedo repetitivos, las propiedades de soldadura fuerte en la grieta formada, y similares se evaluaron del mismo modo que en la Tabla 1 arriba descrita.

Los resultados se muestran en la Tabla 2. En los números 20 a 41, en los que la composición del material estaba en el intervalo de la presente invención, y la relación de cobertura del óxido de aluminio u óxido de titanio y aluminio, el espesor, y la rugosidad de la superficie estaban en los intervalos de la presente invención; cualquiera de los aspectos consistentes en la cantidad de agua condensada capturada, la prueba de corrosión y las propiedades de soldadura fuerte mostraba excelentes propiedades como intercambiador de calor.

Por otro lado, en el número 42, en el que el contenido de Cr estaba fuera del intervalo de la presente invención, la pérdida de peso por corrosión era alta, ya que la resistencia a la corrosión del material de base era inferior a la de un material con un contenido de Cr apropiado, incluso si se formaba la película de revestimiento de Al en la configuración definida. En el nº 43, en el que el contenido de Al era menor que límite inferior del intervalo de la presente invención, la resistencia a la corrosión en el agua condensada era insuficiente debido a la formación insuficiente de la película de revestimiento de Al y la relación de captura del agua condensada era pobre. En el nº 44, en el que se añadió mucho Al, la película de revestimiento de Al y Ti se formó de modo extenso, las propiedades de soldadura fuerte se redujeron, y la relación de captura del agua condensada no fue alta. El Ejemplo Comparativo nº 45, que correspondía a SUS316L, tenía unas excelentes propiedades de soldadura fuerte. Sin embargo, la película de revestimiento de Ti y Al no se formó en la superficie ya que los contenidos de Ti y Al estaban fuera de los intervalos de la presente invención, y la relación de captura del agua condensada se redujo. Además, la resistencia a la corrosión se redujo bajo el entorno riguroso en la prueba en comparación con los aceros inoxidables ferríticos que presentan la cantidad de corrosión en el intervalo de la presente invención.

Sobre la base de los resultados arriba descritos se demostró que de acuerdo con la presente invención se puede proporcionar un acero inoxidable ferrítico que tiene excelentes propiedades de tratamiento térmico, resistencia a la corrosión y propiedades de soldadura fuerte, para un intercambiador de calor.

Aplicabilidad industrial

La presente invención es adecuada como material para un intercambiador de calor. En particular, es adecuada para el intercambiador de calor que recupera el calor de escape del gas combustible y genera el agua condensada corrosiva a partir del gas de escape. Específicamente, es adecuada como material de intercambiador de calor secundario de un dispositivo de suministro de agua caliente del tipo de recuperación de calor latente de un dispositivo de suministro de agua caliente por gas, una máquina de recuperación de calor de escape de un automóvil y una RGE. Además, como se proporciona la ubicación adecuada, se puede proporcionar no solo para un caso del cuerpo del intercambiador de calor o una placa de partición, sino también para cualquier material como una tubería del intercambiador de calor. Adicionalmente, de modo similar, este material presenta propiedades excelentes no solo en los gases de escape de combustión de combustible de hidrocarburos, sino también en un entorno seco/húmedo repetitivo que está ampliamente expuesto a una solución de pH bajo que contiene iones nitrato, iones sulfato y similares. Específicamente, es adecuada para varios tipos de intercambiadores de calor, materiales exteriores para el aire libre expuestos a un entorno de lluvia ácida, materiales de construcción, materiales para tejados, equipos al aire libre, tanques de almacenamiento de agua/agua caliente, aparatos electrodomésticos posiblemente expuestos a diversos detergentes, bañeras, equipos de cocina y otros fines generales en interiores y exteriores.

REIVINDICACIONES

1. Un acero inoxidable ferrítico que consiste, en un % en masa, en
- C: un 0,030% o menos,
- N: un 0,030% o menos,
- 5 Si: un 1,0% o menos,
- Mn: un 1,0% o menos,
- P: un 0,05% o menos,
- S: un 0,01% o menos,
- Cr: de un 13% a un 25%,
- 10 Al: de un 0,003% a un 0,30%,
- Mo: un 3% o menos,
- Ni: un 2,0% o menos,
- Cu: un 1,0% o menos,
- Sn, Sb, Zr, Co, W: un 0,5% o menos,
- 15 V: un 1,0% o menos,
- B: un 0,0030% o menos,
- Mg: un 0,0050% o menos,
- La: un 0,1% o menos,
- Y: un 0,1% o menos,
- 20 Hf: un 0,1% o menos,
- lantánidos: un 0,1% o menos,
- Ga: un 0,05% o menos,
- Ca: un 0,0050 % o menos,
- opcionalmente Ti: de un 0,001% a un 0,30 %,
- 25 opcionalmente Nb: de un 0,05% a un 1.0%, y
- un resto de Fe e impurezas inevitables,
- en donde
- si no hay Ti presente, un óxido de Al está presente en una superficie de un material y, si hay Ti presente, un óxido de Al o un óxido de Ti, o ambos, están presentes en una superficie de un material;
- 30 una relación de cobertura de la superficie por el óxido de Al y el óxido de Ti es de un 5% a un 70%;
- una rugosidad de la superficie en Ra medida mediante láser rojo es de 0,010 μm a 0,15 μm , en donde la rugosidad de la superficie se mide en una medición de 2.000 aumentos en una dirección de medición paralela a una marca de pulido o a una dirección de laminado como la rugosidad bidimensional de más de 100 μm de longitud, y la rugosidad media $Ra/\mu\text{m}$ se define como un parámetro de índice; y
- 35 un espesor desde la superficie hasta un punto que incluye un valor de medio pico de un contenido de Al o de un contenido de Ti en la superficie es de 5 a 300 nm, obteniéndose el valor de medio pico del contenido de Al o del contenido de Ti a partir de un perfil elemental expresado por la relación catiónica, y siendo el contenido de Al o el contenido de Ti en la superficie uno de los más altos.
2. El acero inoxidable ferrítico según la reivindicación 1, que comprende, en un % en masa, Ti: de un 0,001% a
- 40 un 0,30%.

3. El acero inoxidable ferrítico según la reivindicación 1 o 2, que comprende Mo: de un 0,3% a un 3% o Nb: de un 0,05% a un 1,0% en % en masa, o ambos.
- 5 4. El acero inoxidable ferrítico según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende uno o más de Ni: de un 0,1% a un 2,0%, Cu: de un 0,01% a un 1,0%, y Sn, Sb, Zr, Co, W: de un 0,005% a un 0,5%, en % en masa.
5. El acero inoxidable ferrítico según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende uno o más de V: de un 0,03% a un 1,0%, B: de un 0,0001% a un 0,0030%, Mg: de un 0,0001% a un 0,0050%, La: de un 0,0001% a un 0,1%, Y: de un 0,0001% a un 0,1%, Hf: de un 0,0001% a un 0,1%, y lantánidos: de un 0,0001% a un 0,1%, en % en masa.
- 10 6. El acero inoxidable ferrítico según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende de un 0,001% a un 0,05% de Ga, en % en masa.
7. El acero inoxidable ferrítico según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende de un 0,0001% a un 0,0050% de Ca, en % en masa.
- 15 8. Un método para producir el acero inoxidable ferrítico según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, como un modo de formar el óxido, comprendiendo el método las etapas consistentes en:
- establecer un nivel de vacío menor de 1×10^{-2} Pa durante el calentamiento hasta que la temperatura alcance los 400 °C;
- realizar un tratamiento térmico a una temperatura de mantenimiento de 900 °C a 1.200 °C durante un tiempo de mantenimiento de 1 minuto o más y 120 minutos o menos, y
- 20 ajustar el vacío a un nivel de 10^{-2} Pa a 10^1 Pa después de que la temperatura alcance la temperatura de mantenimiento.
9. Uso de un acero inoxidable ferrítico según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 para un intercambiador térmico.
- 25 10. Un intercambiador térmico que comprende el acero inoxidable ferrítico según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 como un componente.