

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 727 833**

51 Int. Cl.:

<b>C22C 38/00</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/32</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/02</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/44</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/04</b>	(2006.01)	<b>C23G 1/08</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/06</b>	(2006.01)	<b>B21B 1/28</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/18</b>	(2006.01)	<b>H01M 8/02</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/20</b>	(2006.01)	<b>H01M 8/021</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/22</b>	(2006.01)	<b>H01M 8/1018</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/24</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/26</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/28</b>	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.10.2011 PCT/JP2011/073596**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **12.04.2012 WO12046879**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.10.2011 E 11830806 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.02.2019 EP 2626440**

54 Título: **Acero inoxidable ferrítico que tiene excelente resistencia a la corrosión y conductividad eléctrica, método para producir el mismo, separador de celdas de combustible de polímero sólido y celda de combustible de polímero sólido**

30 Prioridad:

**04.10.2011 JP 2011219755**  
**08.10.2010 JP 2010228344**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**21.10.2019**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**ISHII, TOMOHIRO;**  
**ISHIKAWA, SHIN y**  
**UJIRO, TAKUMI**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 727 833 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 que tiene excelente resistencia a la corrosión y conductividad eléctrica, método para producir el mismo, separador de celdas de combustible de polímero sólido y celda de combustible de polímero sólido.

5 [Campo técnico]

La presente invención se relaciona con acero inoxidable ferrítico excelente en resistencia a la corrosión y conductividad tal como es, a pesar de no haberse sometido a un tratamiento de superficie tal como enchapado y con un método de fabricación del mismo. Un separador de una celda de combustible de intercambio de protones que se fabrica utilizando el acero inoxidable, y una celda de combustible de intercambio de protones que se fabrica utilizando dicho separador.

10

[Antecedentes de la técnica]

En la actualidad, las celdas de combustible que son excelentes en eficiencia de generación de energía y que no emiten CO<sub>2</sub> se están desarrollando desde el punto de vista de la conservación del medio ambiente global. Las celdas de combustible se clasifican en tipos tales como una celda de combustible de ácido fosfórico, una celda de combustible de óxido sólido y una celda de combustible de membrana de intercambio de protones en función del tipo de electrolito que se usa para la celda de combustible. Entre estas celdas de combustible, las celdas de combustible de membrana de intercambio de protones se aplican a generadores eléctricos de tipo estacionario para uso doméstico, las fuentes de alimentación a bordo de los vehículos eléctricos de celda de combustible, etc., ya que las celdas de combustible de membrana de intercambio de protones pueden funcionar a una temperatura baja de 100° C o inferior, se puede iniciar en poco tiempo y se puede reducir adecuadamente en tamaño.

15

20

En el caso de las celdas de combustible de membrana de intercambio de protones, la potencia deseada se obtiene conectando muchas celdas, que consisten en membranas de intercambio de protones que se colocan entre separadores, en serie. El grafito se ha utilizado para separadores hasta ahora, porque se requiere buena conductividad y resistencia a la corrosión bajo condiciones de alto potencial para los separadores. Sin embargo, existe un problema porque el grafito tiene una baja resistencia al impacto y con el grafito no es fácil manufacturar. Por lo tanto, se está investigando la aplicación de acero inoxidable, que tiene una alta resistencia al impacto y capacidad de trabajo, a los separadores.

25

Sin embargo, es difícil usar acero inoxidable como un separador, ya que el acero inoxidable tiene una alta resistencia de contacto debido a una película de pasivación que se forma en la superficie del acero inoxidable.

30

Para resolver el problema, centrándose en una película de pasivación de acero inoxidable, se están investigando métodos para disminuir la resistencia de contacto mediante el reformado de la película de pasivación (por ejemplo, los documentos de patente 1 a 3).

El Documento de Patente 1 divulga el acero inoxidable que se utilizará para un separador de una celda de combustible de membrana de intercambio de protones que tiene una composición química que contiene, en % en masa, C≤0.03%, N≤0.03%, 20% ≤Cr≤45 % y 0.1% ≤Mo≤5.0%, la proporción atómica de Cr a Fe Cr/Fe en una película de pasivación es 1 o más.

35

El Documento de Patente 2 divulga un separador para una celda de combustible de membrana de intercambio de protones, que está hecha de acero inoxidable, que tiene una composición química que contiene, en % en masa, 15% ≤Cr≤40% y 1% ≤Mo≤5 %, y Mo/(Mo+Cr+Fe) en términos de proporciones atómicas que comprenden Mo, Cr y Fe en una película de pasivación que es 0.3 o menos y 1.5 veces o más el valor de Mo/(Mo+Cr+Fe) en un sustrato.

40

El Documento de Patente 3 divulga un separador para una celda de combustible de membrana de intercambio de protones que tiene una composición química que contiene, en % en masa, 16% ≤Cr≤40% y 1% ≤Mo≤5%, micropuntos con un diámetro de 0.01. μm o más y 1 μm o menos formándose en toda la región de la superficie y la proporción atómica de Cr a Fe Cr/Fe en una película de pasivación de 4 o más.

45

El Documento de Patente 4 divulga una lámina de acero inoxidable ferrítica que tiene resistencia tanto a la abrasión como a la corrosión y que contiene: C: 0.030% en masa o menos, Si: 0.20~1.0% en masa, Mn: 0.3% en masa o menos, P: 0.04% en masa o menos, S: 0.02% en masa o menos, Cr: 20.0~25.0% en masa, Mo: 0.01~0.15% en masa, Ti: 0.10~0.5% en masa, N: menos de 0.025% en masa, Ni: 0.05~0.5% en masa, Cu: 0.2~1.0% en masa, el balance de la lámina laminada en frío es Fe e impurezas inevitables. Después de generar el recocido final a la película de óxido, la lámina de acero se sumerge en una solución de ácido fluorhídrico nítrico para dejar la película de óxido con un espesor de 30 a 100 nm. Se divulga una solución de ácido fluorhídrico nítrico de ácido nítrico de 5 g/l y ácido fluorhídrico de 20 o 30 g/l.

50

El Documento de Patente 5 divulga un material metálico para un separador de celdas de combustible de electrolito polimérico que tiene buena resistencia a la corrosión y pequeña resistencia de contacto en el cual se forma una película pasiva de acero inoxidable, titanio, una aleación de titanio o similares, en el que un intervalo promedio de

55

cumbres locales en una superficie del material metálico tiene la propiedad de que la película pasiva formada es de 0.3 micrómetros o menos.

[Lista de citas]

[Documento de patente]

5 [Documento de patente 1] Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada No. 2004-149920  
(Publicación Internacional N° WO2005-035816A1)

[Documento de patente 2] Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada No. 2006-253107

[Documento de patente 3] Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada No. 2008-91225

[Documento de patente 4] Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada No. 2008-303445

10 [Documento de patente 5] Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada No. 2005-302713

[Resumen de la invención]

[Problemas a resolver por la invención]

15 Sin embargo, incluso al usar estos métodos, existe el problema de que no siempre es posible garantizar la resistencia a la corrosión en un posible intervalo de potencial para que una celda de combustible alcance durante la generación de energía, en dicho intervalo de potencial, que Cr muestre una disolución transpasiva.

20 Específicamente, en el caso de un método de acuerdo con el documento de patente 1, hay un problema que queda en que la disolución de iones es significativa en el intervalo en el que Cr presenta una disolución transpasiva (por ejemplo, un entorno en el que el valor de pH es 3 y un potencial es 1.0 V (vs.SHE)) debido a los grandes contenidos de Cr y Mo y la disminución en el rendimiento de una membrana de electrolito es causada en el caso donde una celda de combustible alcanza el intervalo de potencial durante la generación de energía. Además, en el caso del método de acuerdo con el documento de patente 2, aunque la resistencia de contacto se mantiene a un nivel bajo durante mucho tiempo, al mantener una condición en la que una película de pasivación es delgada, hace que la película de pasivación contenga Mo. Pero en un entorno de una celda de combustible para aplicaciones automotrices o similares, donde la celda de combustible se pone en marcha y se detiene con frecuencia, existe un problema que queda en una película delgada de pasivación que no se puede mantener porque Mo en la película de pasivación se disuelve en un ambiente oxidante de alto potencial que se produce en el momento de la puesta en marcha. Además, en el caso del método de acuerdo con el documento de patente 3, en el cual el área de contacto con un papel carbón se incrementa mediante la creación de micropuntos, queda un problema porque la disolución de iones de una película de pasivación es significativa en un intervalo de potencial en el cual Cr exhibe disolución transpasiva. Debido a que el Cr está enriquecido en una película de pasivación y hay un aumento en el área de la superficie debido a la creación de micropuntos.

35 La presente invención se ha completado en vista de la situación descrita anteriormente. Y un objeto de la presente invención es proporcionar acero inoxidable ferrítico excelente en resistencia a la corrosión y conductividad que se puede usar idealmente para un separador de una celda de combustible de membrana de intercambio de protones. Dicha celda de combustible de membrana de intercambio de protones tiene una baja resistencia de contacto y permite alcanzar una resistencia a la corrosión en un intervalo de potencial en el que el Cr exhibe una disolución transpasiva. Un separador de una celda de combustible de membrana de intercambio de protones está hecha de acero inoxidable ferrítico y una celda de combustible de membrana de intercambio de protones que consiste en dicho separador.

40 [Solución al problema]

45 Para resolver los problemas descritos anteriormente, los presentes inventores llevaron a cabo investigaciones sobre las influencias de una composición química de un acero inoxidable ferrítico y sumergieron el acero inoxidable ferrítico en ácido, en una resistencia de contacto y en una disolución transpasiva. Como resultado, al especificar la composición química y al reformar una película de pasivación utilizando un tratamiento de inmersión en una solución que contiene principalmente un ácido específico, es posible lograr no solo una baja resistencia de contacto sino también una resistencia a la corrosión en un intervalo de potencial en el que Cr exhibe la disolución transpasiva.

La presente invención se ha completado sobre la base del conocimiento descrito anteriormente. La invención se define en las reivindicaciones, referencia a la que se debe hacer ahora. Las características en las realizaciones de la divulgación incluyen los siguientes elementos (1) a (13).

50 (1) Acero inoxidable ferrítico de excelente resistencia a la corrosión y conductividad, el acero inoxidable que tiene una composición química que contiene, en % en masa C: 0.001% o más y 0.05% o menos, Si: 0.001% o más y 0.5% o menos, Mn: 0.001% o más y 1.0% o menos, Al: 0.001% o más y 0.5% o menos, N: 0.001% o más y 0.05% o

5 menos, Cr; 17% o y 23% o menos, Mo: 0.1% o menos y el balance que es Fe e impurezas inevitables, y el acero inoxidable que tiene una película de pasivación en la superficie del acero inoxidable, dicha película se obtiene sumergiendo el acero inoxidable en una solución para un tratamiento de inmersión, dicha solución contiene principalmente ácido fluorhídrico o una mezcla líquida de ácido fluorhídrico y ácido nítrico, y en dicha solución se satisface la relación representada por la siguiente expresión (1), donde [HF] denota la concentración de ácido fluorhídrico (% en masa) y [HNO<sub>3</sub>] denota la concentración de ácido nítrico (% en masa).

$$[HF] \geq [HNO_3] \dots (1)$$

10 ([HNO<sub>3</sub>] incluye cero)

(2) El acero inoxidable ferrítico excelente en resistencia a la corrosión y conductividad de acuerdo con el ítem (1), la concentración de ácido fluorhídrico (% en masa) [HF] y la concentración de ácido nítrico (% en masa) [HNO<sub>3</sub>] en la solución para un tratamiento de inmersión que satisfaga la relación representada por la siguiente expresión (2).

15  $[HF] \geq 2.5[HNO_3] \dots (2)$

([HNO<sub>3</sub>] incluye cero)

(3) El acero inoxidable ferrítico es excelente en resistencia a la corrosión y conductividad de acuerdo con el punto (1) o (2), la proporción atómica de Mn a Fe Mn/Fe en la película es de 0.01 o menos.

20 (4) El acero inoxidable ferrítico es excelente en resistencia a la corrosión y conductividad de acuerdo con cualquiera de los puntos (1) a (3), donde el acero inoxidable tiene una composición química que además contiene, en % en masa, uno, dos o más de Ti: 0.6% o menos, Nb: 0.6% o menos, Zr: 0.6% o menos, Cu: 1.00% o menos y Ni: 1.00% o menos.

25 (5) El acero inoxidable ferrítico es excelente en resistencia a la corrosión y conductividad de acuerdo con cualquiera de los puntos (1) a (4), donde el acero inoxidable tiene una composición química que además contiene, en % en masa, uno o dos o más de V: 1.0% o menos, W: 1.0% o menos, Ca: 0.1% o menos, Mg: 0.1% o menos, REM (Metales de tierras raras): 0.1% o menos y B: 0.1% o menos.

(6) Un separador de una celda de combustible de membrana de intercambio de protones que consiste en el acero inoxidable ferrítico de acuerdo cualquiera de los puntos (1) a (5).

30 (7) Una celda de combustible de membrana de intercambio de protones que utiliza el acero inoxidable ferrítico de acuerdo con cualquiera de los elementos (1) a (5) para un separador.

35 (8) Un método para fabricar acero inoxidable ferrítico, donde el método incluye someter una lámina de acero inoxidable laminada en frío o una lámina de acero inoxidable laminada en frío recocida que tiene la composición química de acuerdo con cualquiera de los elementos (1), (4) o (5) a un tratamiento de inmersión en una solución para el tratamiento de inmersión, dicha solución contiene principalmente ácido fluorhídrico o una mezcla líquida de ácido fluorhídrico y ácido nítrico y dicha solución se ajusta de manera que la relación entre la concentración de ácido fluorhídrico (% en masa) [HF] y la concentración de ácido nítrico (% en masa) [HNO<sub>3</sub>] se convierte en  $[HF] \geq [HNO_3]$  ([HNO<sub>3</sub>] incluye cero).

40 (9) Un método para fabricar acero inoxidable ferrítico, la concentración de ácido fluorhídrico (% en masa) [HF] y la concentración de ácido nítrico (% en masa) [HNO<sub>3</sub>] en la solución para el tratamiento de inmersión de acuerdo el ítem (8) satisfaciendo la relación representada por la siguiente expresión (2).

$$[HF] \geq 2.5[HNO_3] \dots (2)$$

([HNO<sub>3</sub>] incluye cero)

45 (10) Un acero inoxidable ferrítico que tiene una composición química que contiene, en % en masa, C: 0.001% o más y 0.05% o menos, Si: 0.001% o más y 0.5% o menos, Mn: 0.001% o más y 1.0. % o menos, Al: 0.001% o más y 0.5% o menos, N: 0.001% o más y 0.05% o menos, Cr; 17% o más y 23% o menos, Mo: 0,1% o menos y el balance que es Fe e impurezas inevitables, siendo el acero inoxidable sumergido en una solución para un tratamiento de inmersión, dicha solución contiene principalmente ácido fluorhídrico o una mezcla líquida de ácido fluorhídrico y ácido nítrico y dicha solución se ajusta de modo que la relación entre la concentración de ácido fluorhídrico (% en

50

masa) [HF] y la concentración de ácido nítrico (% en masa) [HNO<sub>3</sub>] se convierta en [HF] ≥ [HNO<sub>3</sub>] ([HNO<sub>3</sub>] incluye cero).

- 5 (11) Un acero inoxidable ferrítico, la concentración de ácido fluorhídrico (% en masa) [HF] y la concentración de ácido nítrico (% en masa) [HNO<sub>3</sub>] en la solución para un tratamiento de inmersión de acuerdo con el ítem (10) que satisface la relación representada por la siguiente expresión (2).

$$[\text{HF}] \geq 2.5[\text{HNO}_3] \dots \quad (2)$$

([HNO<sub>3</sub>] incluye cero)

- 10 (12) El acero inoxidable ferrítico de acuerdo con el ítem (10) o (11), donde el acero inoxidable tiene una composición química que además contiene, en % en masa, uno, o dos o más de Ti: 0.6% o menos, Nb: 0.6 % o menos, Zr: 0.6% o menos, Cu: 1.00% o menos y Ni: 1.00% o menos.

(13) El acero inoxidable ferrítico de acuerdo con cualquiera de los ítems (10) a (12), donde el acero inoxidable tiene una composición química que contiene, además, en % en masa, uno o dos o más de V: 1.0% o menos, W: 1.0% o menos, Ca: 0.1% o menos, Mg: 0.1% o menos, REM (Metales de tierras raras): 0.1% o menos y B: 0.1% o menos.

- 15 [Efectos ventajosos de la invención]

De acuerdo con la presente invención, es posible obtener acero inoxidable ferrítico que se puede usar idealmente para un separador de una celda de combustible de membrana de intercambio de protones que suprima un aumento en la resistencia de contacto durante un largo tiempo de generación de energía, lo que garantiza una resistencia a la corrosión en un intervalo de potencial en el que Cr exhibe una disolución transpasiva a pesar de no haber sido sometido a un tratamiento de superficie como el recubrimiento. De acuerdo con la presente invención, es posible obtener un método para fabricar acero inoxidable, un separador de una celda de combustible de membrana de intercambio de protones que está hecha de acero inoxidable y una celda de combustible de membrana de intercambio de protones que consiste en tal separador.

[Breve descripción de los dibujos]

- 25 La Fig. 1 es un gráfico que ilustra la influencia de la concentración de ácido fluorhídrico y la concentración de ácido nítrico en la resistencia de contacto después de la inmersión en una mezcla líquida de ácido fluorhídrico y ácido nítrico.

- 30 La Fig. 2 es una gráfica que ilustra la influencia del contenido de Cr y el contenido de Mo en el acero sobre la resistencia de contacto después de que se haya realizado una prueba de resistencia en un intervalo de potencial en el que Cr muestra una disolución transpasiva.

[Descripción de las realizaciones]

La presente invención se describirá en detalle a continuación.

- 35 El acero inoxidable ferrítico de acuerdo con la presente invención tiene una composición química específica y una película de pasivación en la superficie del acero inoxidable, dicha película se obtiene al sumergir el acero inoxidable en una solución para un tratamiento de inmersión, dicha solución contiene principalmente ácido fluorhídrico o una mezcla líquida de ácido fluorhídrico y ácido nítrico y en dicha solución se satisface la relación representada por la siguiente expresión (1), donde [HF] denota la concentración de ácido fluorhídrico y [HNO<sub>3</sub>] denota la concentración de ácido nítrico.

$$[\text{HF}] \geq [\text{HNO}_3] \dots \quad (1)$$

- 40 Además, es más preferible que se cumpla la siguiente expresión (2).

$$[\text{HF}] \geq 2.5[\text{HNO}_3] \dots \quad (2)$$

Además, la concentración de ácido fluorhídrico [HF] y la concentración de ácido nítrico [HNO<sub>3</sub>] en la presente invención se dan en unidades de % en masa.

- 45 Los presentes inventores realizaron varias investigaciones sobre una resistencia de contacto sumergiendo acero inoxidable ferrítico que tiene varias composiciones químicas en diversos tipos de ácido, tales como ácido clorhídrico, ácido sulfúrico y una mezcla líquida de ácido fluorhídrico y ácido nítrico, y, como resultado, se encontró que una película, que se obtiene reformando una película de pasivación sumergiendo acero inoxidable ferrítico que tiene una composición química específica en una solución para un tratamiento de inmersión, en dicha solución la relación [HF]

$\geq [\text{HNO}_3]$  se satisface como se describió anteriormente, reduce la resistencia de contacto hasta un valor que es ideal para un separador de una celda de combustible de membrana de intercambio de protones.

El conocimiento descrito anteriormente se derivó del Ejemplo 1, que se describirá a continuación. Es decir, en referencia a la Fig. 1 en la que se resume el Ejemplo 1, se derivaron los siguientes resultados:

5 1) La resistencia de contacto es inferior a un valor objetivo de  $20 \text{ m}\Omega\cdot\text{cm}^2$  al sumergir el acero inoxidable ferrítico en una solución para un tratamiento de inmersión, en dicha solución la concentración de ácido fluorhídrico [HF] y la concentración de ácido nítrico [ $\text{HNO}_3$ ] satisfacen la relación representada por la expresión (1) descrita anteriormente, es decir,  $[\text{HF}] \geq [\text{HNO}_3]$ .

10 2) Además, la resistencia de contacto se reduce aún más hasta un valor inferior a  $10 \text{ m}\Omega\cdot\text{cm}^2$  sumergiendo acero inoxidable ferrítico en una solución para un tratamiento de inmersión en el que la relación representada por la expresión (2) descrita anteriormente, es decir,  $[\text{HF}] \geq 2.5 [\text{HNO}_3]$  está satisfecha.

15 En base a estos resultados, de acuerdo con la presente invención, un requisito esencial para asegurar la resistencia de contacto del acero inoxidable ferrítico que se puede usar como separador de una celda de combustible de membrana de intercambio de protones es que el acero inoxidable ferrítico tenga una película de pasivación que se forme sumergiendo el acero inoxidable ferrítico en una solución para un tratamiento de inmersión en el que se cumple la expresión (1) descrita anteriormente, y un requisito preferible es que el acero inoxidable ferrítico tenga una película de pasivación que se forme al sumergir el acero inoxidable ferrítico en una solución para un tratamiento de inmersión, en dicha solución se satisface la expresión (2) descrita anteriormente.

20 Además, el significado de "una solución para un tratamiento de inmersión contiene principalmente ácido fluorhídrico o una mezcla líquida de ácido fluorhídrico y ácido nítrico" es que el ácido clorhídrico, el ácido sulfúrico, el ácido orgánico, un acelerador, un inhibidor, etc. pueden estar contenidos en la solución para un tratamiento de inmersión, además de ácido fluorhídrico y ácido nítrico. En el caso de que estén contenidos, se prefiere que los contenidos de ácido clorhídrico, ácido sulfúrico y ácido orgánico sean 20% en masa o menos cada uno y 50% en masa o menos en total. En el caso de que se agreguen un acelerador y un inhibidor, es preferible que su contenido sea 3.0 % en volumen o menos cada uno.

25 La composición química del acero inoxidable para un separador de una celda de combustible de membrana de intercambio de protones de acuerdo con la presente invención se describirá a continuación. El acero inoxidable de acuerdo con la presente invención es acero inoxidable ferrítico que tiene una composición química que contiene los componentes químicos en los intervalos que se describen a continuación, respectivamente. Aquí, con respecto a un componente químico, "%" indicará "% en masa", a menos que se indique lo contrario.

• Cr: 17% o más y 23% o menos

30 El Cr es un elemento importante que determina la resistencia a la corrosión del acero inoxidable y, en el caso de que un potencial se encuentre en un intervalo de estado pasivo, cuanto mayor sea el contenido de Cr, mejor será la resistencia a la corrosión. Un entorno de servicio práctico de un separador de una celda de combustible está usualmente en un estado pasivo, donde se requiere una alta resistencia a la corrosión. En el caso de que el contenido de Cr sea inferior al 17%, no se puede garantizar una resistencia suficiente a la corrosión y hay un aumento en la resistencia de contacto debido a la generación de energía durante un largo tiempo. Por otro lado, se realizó una prueba de potencial constante en un estado transpasivo (por ejemplo, en un entorno de estar en una solución de ácido sulfúrico que tiene un valor de pH de 3 y un potencial aplicado de 1.0 V (vs.SHE) ) y se estimó la resistencia de contacto después de que se hubiera realizado la prueba de potencial constante, y, como resultado, se confirmó la tendencia a acelerar la disolución transpasiva junto con un aumento en el contenido de Cr en el acero. Es decir, en el caso donde el potencial aumenta hasta un estado transpasivo, el Cr se disuelve como iones hexavalentes y, por lo tanto, la disolución transpasiva se acelera junto con un aumento en el contenido de Cr. La aceleración de la disolución transpasiva fomenta el crecimiento de una película de pasivación o la formación de un producto de corrosión, lo que resulta en un aumento de la resistencia de contacto. Además, la disolución de un ion Cr produce una disminución en el rendimiento de una membrana electrolítica de una celda de combustible. La aceleración de la disolución transpasiva descrita anteriormente es significativa en el caso donde el contenido de Cr sea superior al 23%. Por lo tanto, el contenido de Cr en acero se establece para ser 17% o más y 23% o menos, preferiblemente 20% o más y 22% o menos.

50 • Mo: 0.1% o menos

55 Mo es generalmente un elemento químico que aumenta la resistencia a la corrosión del acero inoxidable. Es preferible que el contenido de Mo sea 0.005% o más para realizar este efecto. Sin embargo, en comparación con el contenido constante de Cr, se ha encontrado que un aumento en la resistencia de contacto después de que se haya realizado una prueba de potencial constante es más significativo en el caso del acero inoxidable que tiene un contenido de Mo de más de 0.1%, en comparación con el caso de acero inoxidable sin contenido de Mo. Se observó la resistencia de contacto del acero inoxidable con un contenido de Cr del 16% o más y del 21% o menos que se sumergió en una solución de HF al 12%+HN3 al 4% a una temperatura de 60°C durante una duración de 60 segundos, después de haber realizado una prueba de potencial constante en una solución de ácido sulfúrico de pH

3 y a un potencial aplicado de 1.0 V (vs.SHE) durante una hora como prueba de resistencia. Los resultados de la prueba se ilustran en la Fig. 2. Se encontró que, en el caso de acero inoxidable con un contenido de Cr del 17% o más, la resistencia de contacto era igual al valor objetivo de 20 mΩ·cm<sup>2</sup> o menos en el caso donde el contenido de Mo fue de 0.1% o menos. Y un aumento en la resistencia de contacto fue significativo en el caso donde el contenido de Mo fue más del 0.1%. Se piensa que el aumento en la resistencia de contacto fue significativo, porque la disolución transpasiva se aceleró debido a que había un contenido de Mo de más de 0.1%. Por lo tanto, es deseable que el contenido de Mo sea lo más pequeño posible, y que el contenido de Mo se establezca para ser de 0.1% o menos, preferiblemente 0.08% o menos, y más preferiblemente 0.02% o menos.

• C: 0.001% o más y 0.05% o menos

10 C es un elemento químico que está inevitablemente contenido en acero inoxidable y aumenta efectivamente la resistencia del acero mediante el fortalecimiento de soluto. Este efecto no se puede realizar con un contenido de C inferior al 0.001%. Por otro lado, un aumento en el contenido de C acelera la precipitación del carburo de Cr y disminuye localmente el contenido de Cr de una matriz de metal que rodea al carburo de Cr, lo que resulta en una disminución de la resistencia a la corrosión del acero inoxidable. Esta tendencia es significativa en el caso donde el contenido de C es superior al 0.05%. Por lo tanto, el contenido de C se establece para ser 0.001% o más y 0.05% o menos, preferiblemente 0.002% o más y 0.04% o menos.

• Si: 0.001% o más y 0.5% o menos

20 Si es un elemento químico que es efectivo para la desoxidación, y este efecto se realiza con un contenido de Si de 0.001% o más. Sin embargo, un contenido excesivo de Si dificulta la fabricación de un separador debido a una disminución en la capacidad de trabajo. Esta tendencia es significativa en el caso donde el contenido de Si sea superior al 0.5%. Por lo tanto, el contenido de Si se establece para ser 0.001% o más y 0.5% o menos, preferiblemente 0.002% o más y 0.4% o menos.

• Mn: 0.001% o más y 1.0% o menos

25 Mn es un elemento químico que está contenido inevitablemente en acero y es efectivo para reforzar el acero. Este efecto no se puede realizar con un contenido de Mn inferior al 0.001%. Sin embargo, dado que Mn provoca la precipitación de MnS, que se convierte en una fuente de corrosión, un contenido excesivo de Mn provoca una disminución en la resistencia a la corrosión. Además, se confirmó que existe una tendencia a un aumento en la resistencia de contacto debido a la existencia de Mn en una película de pasivación. Estos tipos de influencias negativas son significativas en el caso donde el contenido de Mn es superior al 1.0%. Por lo tanto, el contenido de Mn se establece para ser 0.001% o más y 1.0% o menos, preferiblemente 0.002% o más y 0.8% o menos.

• Al: 0.001% o más y 0.5% o menos

35 Es un elemento químico que es efectivo para la desoxidación, y este efecto se realiza con un contenido de Al de 0.001% o más. Sin embargo, el contenido excesivo de Al de más del 0.5% causa problemas no solo en la fabricación de un separador debido a una disminución en la capacidad de trabajo, sino también en la desincrustación por decapado en el caso de que se forme una película oxidada, lo que resulta en una disminución en la capacidad de fabricación. Por lo tanto, el contenido de Al se establece para ser 0.001% o más y 0.5% o menos, preferiblemente 0.002% o más y 0.4% o menos.

• N: 0.001% o más y 0.05% o menos

40 N es, además de C, un elemento químico que está inevitablemente contenido en acero y es efectivo para aumentar la resistencia del acero mediante el fortalecimiento de soluto. Además, N también es efectivo para aumentar la resistencia a la corrosión formando una solución sólida en acero. Estos efectos no se pueden realizar con un contenido de N inferior al 0.001%. Por otro lado, un contenido excesivo de N de más de 0.05% causa una disminución en la resistencia a la corrosión del acero inoxidable al precipitar el nitruro de Cr. Por lo tanto, el contenido de N se establece para ser 0.001% o más y 0.05% o menos, preferiblemente 0.002% o 0.04%.

45 Además de los elementos químicos esenciales descritos anteriormente, los siguientes elementos químicos pueden estar contenidos según sea necesario.

• Ti: 0.6% o menos

50 Ti es un elemento químico que suprime la disminución de la resistencia a la corrosión al evitar la precipitación de carbonitruro de Cr, ya que el Ti se combina preferentemente con C y N. Sin embargo, un contenido excesivo de Ti de más del 0.6% provoca no solo una disminución de la capacidad de trabajo, sino también un aumento en el tamaño de partícula de carbonitruro de Ti, lo que resulta en la formación de defectos superficiales. Por lo tanto, en el caso donde está contenido Ti, el contenido de Ti se establece para ser 0.6% o menos. Es preferible que el contenido Ti sea 0.01% o más y 0.6% o menos, porque el efecto descrito anteriormente se realiza más efectivamente con un contenido de Ti de 0.01% o más. El contenido de Ti es más preferiblemente 0.05% o más y 0.4% o menos.

- Nb: 0.6% o menos

5 Nb es un elemento químico que suprime la disminución de la resistencia a la corrosión al prevenir la precipitación de carbonitruro de Cr, ya que Nb se combina preferentemente con C y N. Sin embargo, un contenido excesivo de Nb de más del 0.6% provoca un aumento de la resistencia al calor y la carga de laminación en caliente, lo que resulta en dificultad en la fabricación. Por lo tanto, en el caso donde está contenido Nb, el contenido de Nb se establece para ser 0.6% o menos. Es preferible que el contenido de Nb sea 0.01% o más y 0.6% o menos, porque el efecto descrito anteriormente se realiza más efectivamente con un contenido de Nb de 0.01% o más. El contenido de Nb es más preferiblemente 0.05% o más y 0.4% o menos.

- Zr: 0.6% o menos

10 Zr es un elemento químico que suprime una disminución de la resistencia a la corrosión al prevenir una precipitación de carbonitruro de Cr, ya que Zr se combina preferentemente con C y N. Sin embargo, un contenido excesivo de Zr de más del 0.6% provoca una disminución de la capacidad de trabajo. Por lo tanto, en el caso donde está contenido Zr, el contenido de Zr se establece para ser 0.6% o menos. Es preferible que el contenido de Zr sea 0.01% o más y 0.6% o menos, porque el efecto descrito anteriormente se realiza más efectivamente con un contenido de Zr de 0.01% o más. El contenido de Zr es más preferiblemente 0.05% o más y 0.4% o menos.

- Cu: 1.00% o menos

20 Cu es un elemento químico que es efectivo para aumentar la resistencia a la corrosión del acero inoxidable. Sin embargo, el contenido excesivo de Cu no es deseable, ya que causa una disminución en el rendimiento de una membrana electrolítica de una celda de combustible debido al aumento de la disolución de los iones metálicos, y esta tendencia es significativa con un contenido de Cu de más del 1.00%. Por lo tanto, en el caso donde está contenido Cu, el contenido de Cu se establece para ser 1.00% o menos. Es preferible que el contenido de Cu sea 0.05% o más y 1.00% o menos, porque el efecto descrito anteriormente se realiza más efectivamente con un contenido de Cu de 0.05% o más. El contenido de Cu es más preferiblemente 0.2% o más y 0.8% o menos.

- Ni: 1.00% o menos

25 Ni es un elemento químico que es efectivo para aumentar la resistencia a la corrosión del acero inoxidable. Sin embargo, un contenido excesivo de Ni de más del 1.00% causa una disminución en la resistencia a la corrosión en un estado transpasivo debido a la aceleración de la disolución transpasiva. Por lo tanto, en el caso donde está contenido Ni, el contenido de Ni se establece para ser 1.00% o menos. Es preferible que el contenido de Ni sea 0.05% o más y 1.00% o menos, porque el efecto descrito anteriormente se realiza más efectivamente con un contenido de Ni de 0.05% o más. El contenido de Ni es más preferiblemente 0.2% o más y 0.8% o menos.

Además, aparte de los elementos químicos descritos anteriormente, con el fin de aumentar la resistencia a la corrosión, se puede contener un 1.0% o menos de cada V y W. Con el fin de realizar estos efectos, es preferible que los contenidos de V y W sean respectivamente 0.01% o más y 0.01% o más.

35 Además, con el fin de aumentar la capacidad de trabajo en caliente, se puede contener un 0.1% o menos de Ca, Mg, REM (metales de tierra rara) y B. Con el fin de realizar estos efectos, es preferible que los contenidos de Ca, Mg, REM y B sean respectivamente 0.0005% o más, 0.0005% o más, 0.0005% o más y 0.0001% o más.

40 El equilibrio de la composición química es Fe e impurezas inevitables. Entre las impurezas inevitables, es preferible que un contenido de O sea 0.02% o menos, un contenido de P sea 0.05% o menos, un contenido de S sea 0.01% o menos y un contenido de Sn sea 0.5% o menos. Es más preferible que el contenido de O sea 0.01% o menos, el contenido de P sea 0.03% o menos, el contenido de S sea 0.008% o menos y el contenido de Sn sea 0.3% o menos.

A continuación se describirá una composición química de una película de pasivación que se obtiene sumergiendo acero inoxidable ferrítico en la solución para un tratamiento de inmersión descrito anteriormente.

45 En muchos casos en los que la inmersión en ácido no se realiza después de un tratamiento de recocido brillante en un proceso de recocido final, se detecta Mn en una película de pasivación de acero inoxidable ferrítico. De los resultados de las investigaciones sobre la correlación entre la existencia de Mn en una película de pasivación y la resistencia de contacto, se confirmó que existe una tendencia a que la resistencia de contacto sea alta en el caso donde se observe Mn en la película de pasivación. Por lo tanto, la cantidad de Mn se hace pequeña en una película que se obtiene reformando la película de pasivación sumergiendo acero inoxidable ferrítico en la solución para el tratamiento de inmersión descrito anteriormente. Por lo tanto, es preferible que el intervalo preferible de una proporción atómica Mn/Fe en una película de pasivación sea 0.01 o menos.

50 Un método ideal para fabricar el acero inoxidable ferrítico de acuerdo con la presente invención se describirá a continuación.

Aunque, de acuerdo con la presente invención, no hay limitaciones particulares sobre un método de fabricación para acero inoxidable ferrítico como un sustrato y pueden aplicarse métodos bien conocidos, las condiciones de fabricación ideales se describirán a continuación.

5 Después de que el acero inoxidable que tiene una composición química descrita anteriormente se produce por fusión y colada, el acero inoxidable se calienta a una temperatura de 1100°C o superior y 1300°C o inferior, luego el acero se lamina en caliente con una temperatura de acabado de 700°C o superior y 1000°C o inferior y una temperatura de bobinado de 400°C o superior y 700°C o inferior en una tira de acero laminado en caliente con un espesor de 2.0 mm o más y 5.0 mm o menos. La tira de acero laminada en caliente obtenida como se describe anteriormente se recuece a una temperatura de 800°C o superior y de 1200°C o inferior, luego la tira de acero se decapa, luego la tira de acero se lamina en frío y luego la tira de acero laminado en frío se recuece, luego, 10 opcionalmente, el laminado en frío y el recocido se realizan repetidamente, y luego se obtiene una tira laminada en frío que tiene un espesor específico. El decapado se puede realizar después del recocido de la tira de acero laminada en frío. Posteriormente, como recocido final, se realiza el recocido brillante a una temperatura de 700°C o superior y 1000°C o inferior en una atmósfera que contiene hidrógeno, y luego se realiza el decapado.

15 El decapado después de un recocido final se realiza en un baño de decapado usando la solución para un tratamiento de inmersión descrito anteriormente, dicha solución contiene principalmente ácido fluorhídrico o una mezcla líquida de ácido fluorhídrico y ácido nítrico, y en dicha solución la concentración de ácido fluorhídrico [HF] y la concentración de ácido nítrico [HNO<sub>3</sub>] se ajustan para satisfacer la relación [HF] ≥ [HNO<sub>3</sub>], preferiblemente [HF] ≥ 2.5 [HNO<sub>3</sub>], a una temperatura de 50°C o más y 70°C o más bajo y por una duración de 10 segundos o más y 300 20 segundos o menos. La concentración de ácido fluorhídrico [HF] es de 3.0% o más. Se puede realizar un tratamiento electrolítico además del tratamiento de inmersión. El acero inoxidable de acuerdo con la presente invención se obtiene mediante el método descrito anteriormente.

Con el fin de utilizar el acero inoxidable de acuerdo con la presente invención como un separador de una celda de combustible de membrana de intercambio de protones, después de obtener una tira de acero laminado en frío de 25 tipo lámina que tiene un espesor de 0.003 mm o más y 0.3 mm o menos repitiendo el laminado en frío y el recocido de una tira de acero laminado en frío como se describió anteriormente, se realiza el recocido brillante como se describió anteriormente como recocido final, luego se obtiene acero inoxidable para un separador de una celda de combustible de membrana de intercambio de protones realizando adicionalmente el decapado en una solución para un tratamiento de inmersión como se describe anteriormente, y luego se obtiene un separador de una celda de 30 combustible de membrana de intercambio de protones colocando el acero inoxidable en una forma final específica.

Una celda consiste en los separadores obtenidos como se describió anteriormente y una membrana de electrolito de polímero sólido que se coloca entre los separadores, y una celda de combustible de intercambio de protones se obtiene apilando muchas de las celdas obtenidas en serie.

### [Ejemplos]

35 Los ejemplos de la presente invención se describirán a continuación.

#### [Ejemplo 1]

El acero inoxidable indicado por el No. 3 en la Tabla 1 que se describe a continuación se produjo mediante fundición al vacío y colada, y luego se calentó hasta una temperatura de 1250°C. Posteriormente, se realizó el laminado en caliente, el recocido de la tira de acero laminado en caliente (850°C o superior y 1050°C o inferior) y el decapado. 40 Luego, se obtuvo una lámina de acero inoxidable que tiene un espesor de 0.3 mm realizando adicionalmente un laminado en frío adicional, recocido de la tira de acero laminado en frío (800°C o superior y 900°C o inferior), decapado y recocido brillante.

En primer lugar, se observó la resistencia de contacto entre un papel carbón y un acero inoxidable del No. 3 como recocido brillante con una presión de empuje de 1 MPa. Como un resultado, la resistencia de contacto fue de 289 45 mΩ·cm<sup>2</sup>, que fue mucho más grande que el valor objetivo de 20 mΩ·cm<sup>2</sup>. En segundo lugar, se observó una resistencia de contacto después de que el acero inoxidable del No. 3 se sumergiera en una mezcla líquida de ácido fluorhídrico y ácido nítrico en la que las concentraciones de ácido fluorhídrico y ácido nítrico se ajustaron a varios valores. En cuanto a las condiciones de inmersión, la temperatura del líquido fue de 60°C y el tiempo de inmersión fue de 60 segundos. Los resultados de observación de la resistencia de contacto después de haber realizado la 50 inmersión se ilustran en la Fig. 1. La Fig. 1 ilustra la relación entre la composición del líquido y la resistencia de contacto con la concentración de ácido nítrico en una mezcla líquida de ácido fluorhídrico y ácido nítrico en el eje horizontal y la concentración de ácido fluorhídrico en una mezcla líquida de ácido fluorhídrico y ácido nítrico en el eje vertical, indicando el líquido que causó resistencia de contacto 10 mΩ·cm<sup>2</sup> o menos por ●, el líquido que causó resistencia de contacto 20 mΩ·cm<sup>2</sup> o menos por ○ y el líquido que causó una resistencia de contacto de más de 20 55 mΩ·cm<sup>2</sup> por x.

En referencia a la Fig. 1, se entiende que la resistencia de contacto se convierte en el valor objetivo 20 mΩ·cm<sup>2</sup> o menos al sumergir el acero inoxidable en una solución para un tratamiento de inmersión en el que se satisface la relación concentración del ácido fluorhídrico [HF] ≥ la concentración de ácido nítrico [HNO<sub>3</sub>] (correspondiente al

intervalo por encima de la línea de puntos en la Fig. 1). Además, se entiende que la resistencia de contacto se convierte en  $10 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$  o menos, lo que significa que hay una disminución adicional en la resistencia de contacto, al sumergir el acero inoxidable en una mezcla líquida en la que se satisface la relación  $[\text{HF}] \geq 2.5 [\text{HNO}_3]$  (correspondiente al rango sobre la línea discontinua en la Fig. 1).

## 5 [Ejemplo 2]

Se produjeron los grados de acero No. 1 a 15 en la Tabla 1, por fusión y colada al vacío, y luego se calentaron hasta una temperatura de  $1250^\circ\text{C}$ . Posteriormente, se realizó el laminado en caliente, el recocido de la tira de acero laminado en caliente ( $850^\circ\text{C}$  o superior y  $1050^\circ\text{C}$  o inferior) y el decapado. Luego, se obtuvo una lámina de acero inoxidable que tenía un espesor de  $0.3 \text{ mm}$  realizando adicionalmente un laminado en frío, recocido de la tira de acero laminado en frío ( $800^\circ\text{C}$  o superior y  $900^\circ\text{C}$  o inferior), decapado y recocido brillante. Posteriormente, las muestras se prepararon sumergiendo la lámina obtenida en una solución de 7% en masa de HF + 5% en masa de  $\text{HNO}_3$  (solución A,  $[\text{HF}] = 1.4 \times [\text{HNO}_3]$ ) o una solución de 12% en masa de HF + 4% en masa de  $\text{HNO}_3$  (solución B,  $[\text{HF}] = 3 \times [\text{HNO}_3]$ ), luego se observó resistencia de contacto. En cuanto a las condiciones de inmersión, la temperatura del líquido fue de  $60^\circ\text{C}$  y el tiempo de inmersión fue de 60 segundos. Los resultados de observación para la solución A se dan en la Tabla 2, y para la solución B en la Tabla 3. Aquí, entre los grados de acero No. 1 a 15, los grados de acero No. 2 a 4, 6 a 8 y 11 a 13 tienen composiciones químicas dentro del intervalo de acuerdo con la presente invención, y los grados de acero No. 1, 5, 9, 10, 14 y 15 tienen composiciones químicas fuera del intervalo de acuerdo con la presente invención. En los casos de composiciones químicas del No. 1 al 14, la resistencia de contacto fue el valor objetivo de  $20 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$  o menos después de la inmersión en cualquiera de las soluciones A y B, pero en el caso de una composición química del No. 15, la resistencia de contacto fue mayor que el valor objetivo  $20 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$  después de la inmersión en cualquiera de las soluciones A y B.

Posteriormente, como una prueba de resistencia, se realizó una prueba de potencial constante en las muestras preparadas, durante una hora, simulando un entorno de una celda de combustible, en una solución de ácido sulfúrico de pH 3 con un potencial de  $1.0 \text{ V}$  (vs.SHE) en la que Cr muestra una disolución transpasiva y luego se observó resistencia de contacto. La presión de empuje fue de  $1 \text{ MPa}$ . Los casos donde la resistencia de contacto después de la prueba de resistencia fue  $20 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$  o menos se estimaron satisfactorios de manera similar a como se hizo antes de la prueba de resistencia. Después de realizar la inmersión en la solución A o B, se analizó la composición química de la película de pasivación mediante espectroscopia fotoelectrónica de rayos X. En particular, se calculó una proporción atómica Mn/Fe sobre la base de los valores obtenidos dividiendo las áreas de los máximos de Fe y Mn por los respectivos factores de sensibilidad relativa, donde las áreas de los máximos se determinaron restando los máximos del estado metálico del máximo de la órbita  $2p_{3/2}$  de electrones de Mn correspondiente a una energía de enlace de  $638 \text{ eV}$  a  $645 \text{ eV}$  y el máximo de la órbita  $2p_{3/2}$  de electrones de Fe correspondiente a una energía de enlace de  $709 \text{ eV}$  a  $713 \text{ eV}$ , respectivamente. Estos resultados también se dan en las Tablas 2 y 3. Aquí, en las Tablas 2 y 3, los casos donde no se detectó Mn se indican mediante el valor de 0.000 para Mn/Fe.

En el caso de los ejemplos de la presente invención donde las muestras que tienen composiciones químicas de los números 2 a 4, 6 a 8 y 11 a 13 se sumergieron en solución A o solución B, la resistencia de contacto permaneció  $20 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$  o menos incluso después de haber realizado una prueba de resistencia. Además, entre estas muestras, la resistencia de contacto de las muestras sumergidas en la solución B fue menor que la de las muestras sumergidas en la solución A, y la cantidad creciente de la resistencia de contacto por la prueba de resistencia de las muestras anteriores es menor que la de las últimas muestras. Por lo tanto, se piensa que cuanto menor sea la resistencia de contacto antes de la prueba de resistencia, menor será la cantidad creciente de la resistencia de contacto por la prueba de resistencia. La resistencia de contacto de cualquiera de los ejemplos de la presente invención sumergida en la solución B fue de  $10 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$  o menos antes de la prueba de resistencia. Por lo tanto, se confirmó que el valor de la resistencia de contacto antes de la prueba de resistencia se torna más preferible por inmersión en la solución B en consideración de un aumento en la resistencia de contacto por la prueba de resistencia.

Las superficies de las muestras que tienen una alta resistencia de contacto eran amarillentas cuando se observaron después del ensayo de resistencia. Se cree que una película de pasivación creció o se formaron productos de corrosión manteniendo las muestras bajo condiciones de alto potencial.

Además, en el caso de las muestras en las que la proporción atómica Mn/Fe de una película de pasivación después de la inmersión en la solución A o solución B fue de 0.01 o más, un aumento en la resistencia de contacto después del ensayo de resistencia fue significativo. Aunque el mecanismo de cambio en la resistencia de contacto por inmersión en una mezcla líquida de ácido fluorhídrico y ácido nítrico y por una prueba de resistencia no se ha hecho suficientemente claro, se piensa que el crecimiento de una película y la formación de productos de corrosión se hacen fáciles debido a una disminución del rendimiento de protección de una película en el caso donde la cantidad de Mn en la película sea lo suficientemente grande como para generar una proporción atómica de Mn/Fe de 0.01 o más, lo que puede influir en el aumento de la resistencia de contacto.

[Capacidad de aplicación industrial]

5 El acero inoxidable ferrítico de acuerdo con la presente invención se puede usar idealmente para un separador de una celda de combustible de intercambio de protones, porque el acero inoxidable suprime un aumento en la resistencia de contacto durante un largo tiempo de generación de energía a pesar de no haber sido sometido a una tratamiento superficial tal como el enchapado y es posible asegurar la resistencia a la corrosión en un intervalo de potencial en el que el Cr exhibe una disolución transpasiva. Además, el acero inoxidable de acuerdo con la presente invención puede usarse ampliamente no solo para un separador de una celda de combustible de intercambio de protones sino también para partes eléctricas de acero inoxidable que tienen conductividad.

[Tabla 1]

Grado de acero No.	Composición química (% en masa)											
	C	Si	Mn	Al	N	Cr	Mo	Ti	Nb	Zr	Cu	Ni
1	0.003	0.22	0.14	0.020	0.005	<u>15.2</u>	-	-	0.25	-	-	-
2	0.003	0.24	0.14	0.019	0.005	17.6	-	-	0.25	-	-	-
3	0.003	0.24	0.14	0.019	0.004	19.9	-	-	0.26	-	-	-
4	0.003	0.23	0.15	0.020	0.004	21.8	-	-	0.25	-	-	-
5	0.003	0.24	0.15	0.020	0.004	<u>24.1</u>	-	-	0.25	-	-	-
6	0.009	0.09	0.10	0.042	0.011	20.6	0.02	0.31	-	-	-	0.28
7	0.008	0.10	0.11	0.042	0.011	20.8	0.05	0.31	-	-	-	0.27
8	0.008	0.10	0.11	0.041	0.012	20.8	0.08	0.31	-	-	-	0.27
9	0.007	0.10	0.10	0.042	0.011	20.8	<u>0.14</u>	0.32	-	-	-	0.28
10	0.008	0.11	0.12	0.042	0.011	20.6	<u>1.01</u>	0.32	-	-	-	0.27
11	0.009	0.09	0.10	0.042	0.010	20.8	-	0.26	-	-	0.39	0.28
12	0.010	0.25	0.26	0.101	0.014	22.5	-	-	0.31	-	0.44	0.32
13	0.004	0.11	0.15	0.038	0.008	18.4	0.03	-	-	0.18	-	0.19
14	0.008	0.26	0.18	0.080	0.011	21.6	<u>1.02</u>	-	0.29	-	-	0.20
15	0.002	0.19	0.22	0.013	0.005	<u>30.1</u>	<u>1.99</u>	-	0.19	-	-	-

Los valores subrayados están fuera del intervalo de acuerdo con la presente invención.

10

[Tabla 2]

Ensayo No.	Grado de acero No.	Resultado de la inmersión en la solución A			Nota
		Resistencia de contacto (mΩ·cm <sup>2</sup> )		Proporción atómica de Mn a Fe Mn/Fe en película	
		Antes del Ensayo de resistencia	Después del Ensayo de resistencia con 1.0 V		
A1	1	12.5	<u>50.1</u>	0.015	Ejemplo Comparativo
A2	2	11.4	19.2	0.006	Ejemplo de la invención
A3	3	10.2	18.4	0.000	Ejemplo de la invención

ES 2 727 833 T3

A4	4	11.7	19.8	0.007	Ejemplo de la invención
A5	5	12.2	<u>22.1</u>	0.011	Ejemplo Comparativo
A6	6	10.1	17.2	0.000	Ejemplo de la invención
A7	7	11.3	17.3	0.007	Ejemplo de la invención
A8	8	11.8	18.6	0.008	Ejemplo de la invención
A9	9	11.9	<u>24.7</u>	0.010	Ejemplo Comparativo
A10	10	12.6	<u>31.5</u>	0.012	Ejemplo Comparativo
A11	11	12.3	16.6	0.008	Ejemplo de la invención
A12	12	12.6	16.5	0.007	Ejemplo de la invención
A13	13	13.2	17.4	0.008	Ejemplo de la invención
A14	14	12.4	<u>30.8</u>	0.016	Ejemplo Comparativo
A15	15	<u>44.6</u>	<u>126.4</u>	0.032	Ejemplo Comparativo
Valor promedio entre el Ejemplo de la invención		11.6	17.9	0.006	
Solución A: 7 % en masa de HF+5 % en masa de HNO <sub>3</sub>					
Los valores subrayados están fuera del rango de acuerdo con la presente invención					

[Tabla 3]

Ensayo No.	Grado de acero No.	Resultado de la inmersión en la solución B			Nota
		Resistencia de contacto (mΩ·cm <sup>2</sup> )		Proporción atómica de Mn a Fe Mn/Fe en película	
		Antes del Ensayo de resistencia	Después del Ensayo 1.0 V		
B1	1	9.3	<u>45.1</u>	0.012	Ejemplo Comparativo
B2	2	8.4	12.1	0.005	Ejemplo de la invención
B3	3	7.4	11.6	0.000	Ejemplo de la invención
B4	4	8.2	12.4	0.005	Ejemplo de la invención
B5	5	8.6	<u>20.2</u>	0.010	Ejemplo Comparativo

ES 2 727 833 T3

B6	6	7.9	9.9	0.000	Ejemplo de la invención
B7	7	8.2	10.5	0.000	Ejemplo de la invención
B8	8	8.5	11.8	0.006	Ejemplo de la invención
B9	9	8.6	<u>23.1</u>	0.011	Ejemplo Comparativo
B10	10	8.8	<u>29.7</u>	0.010	Ejemplo Comparativo
B11	11	9.2	11.2	0.006	Ejemplo de la invención
B12	12	9.7	11.2	0.006	Ejemplo de la invención
B13	13	9.8	11.8	0.006	Ejemplo de la invención
B14	14	8.8	<u>28.6</u>	0.013	Ejemplo Comparativo
B15	15	<u>37.1</u>	<u>124.8</u>	0.027	Ejemplo Comparativo
Valor promedio entre el Ejemplo de la invención		8.6	11.4	0.004	
Solución B: 12 % en masa de HF+ 4 % en masa de HNO <sub>3</sub>					
Los valores subrayados están fuera del rango de acuerdo con la presente invención					

## REIVINDICACIONES

1. Un método para fabricar acero inoxidable ferrítico, donde el método comprende someter una lámina de acero inoxidable laminada en frío o una lámina de acero inoxidable laminada en frío recocida que tiene la composición química que consiste, en % en masa, en C: 0.001% o más y 0.05% o menos, Si: 0.001% o más y 0.5% o menos, Cr: 17% o más y 23% o menos, Mo: 0.1% o menos; opcionalmente uno, o dos o más de Ti: 0.6% o menos, Nb: 0.6% o menos, Zr: 0.6% o menos, Cu: 1.00% o menos y Ni: 1.00% o menos, además opcionalmente uno, o dos o más de V: 1.0% o menos, W: 1.0% o menos, Ca: 0.1% o menos, Mg: 0.1% o menos, REM (Metales de Tierras Raras): 0.1% o menos y B: 0.1% o menos y el balance que es Fe e impurezas inevitables, para un tratamiento de inmersión a una temperatura de 50°C o superior y de 70°C o inferior y por una duración de 10 segundos o más y 300 segundos o menos en una solución para el tratamiento de inmersión, donde dicha solución consiste en ácido fluorhídrico o una mezcla líquida de ácido fluorhídrico y ácido nítrico y opcionalmente uno o dos o más de ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, ácido orgánico, un acelerador y un inhibidor, la concentración de ácido fluorhídrico, % en masa, es 3.0% o más y donde dicha solución se ajusta de modo que la relación entre la concentración de ácido fluorhídrico, % en masa, [HF] y la concentración de ácido nítrico, % en masa, [HNO<sub>3</sub>] se convierte en [HF] ≥ [HNO<sub>3</sub>], [HNO<sub>3</sub>] incluye cero.

2. El método para fabricar acero inoxidable ferrítico de acuerdo con la Reivindicación 1, donde la concentración de ácido fluorhídrico, % en masa, [HF] y la concentración de ácido nítrico, % en masa, [HNO<sub>3</sub>] en la solución satisface la relación representada por la siguiente expresión (2).

$$[HF] \geq 2.5 [HNO_3] \dots (2),$$

[HNO<sub>3</sub>] incluye cero.

3. Un acero inoxidable ferrítico fabricado de acuerdo con el método de la Reivindicación 1 o 2 y que tiene una película de pasivación que se forma mediante el tratamiento de inmersión.

4. El acero inoxidable ferrítico de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la proporción atómica Mn/Fe en la película de pasivación es de 0.01 o menos.

5. Un separador de una celda de combustible de membrana de intercambio de protones que consiste en el acero inoxidable ferrítico de acuerdo con la reivindicación 3 o 4.

6. Una celda de combustible de membrana de intercambio de protones que utiliza el acero inoxidable ferrítico de acuerdo con la reivindicación 3 o 4 para un separador.

30

FIG. 1

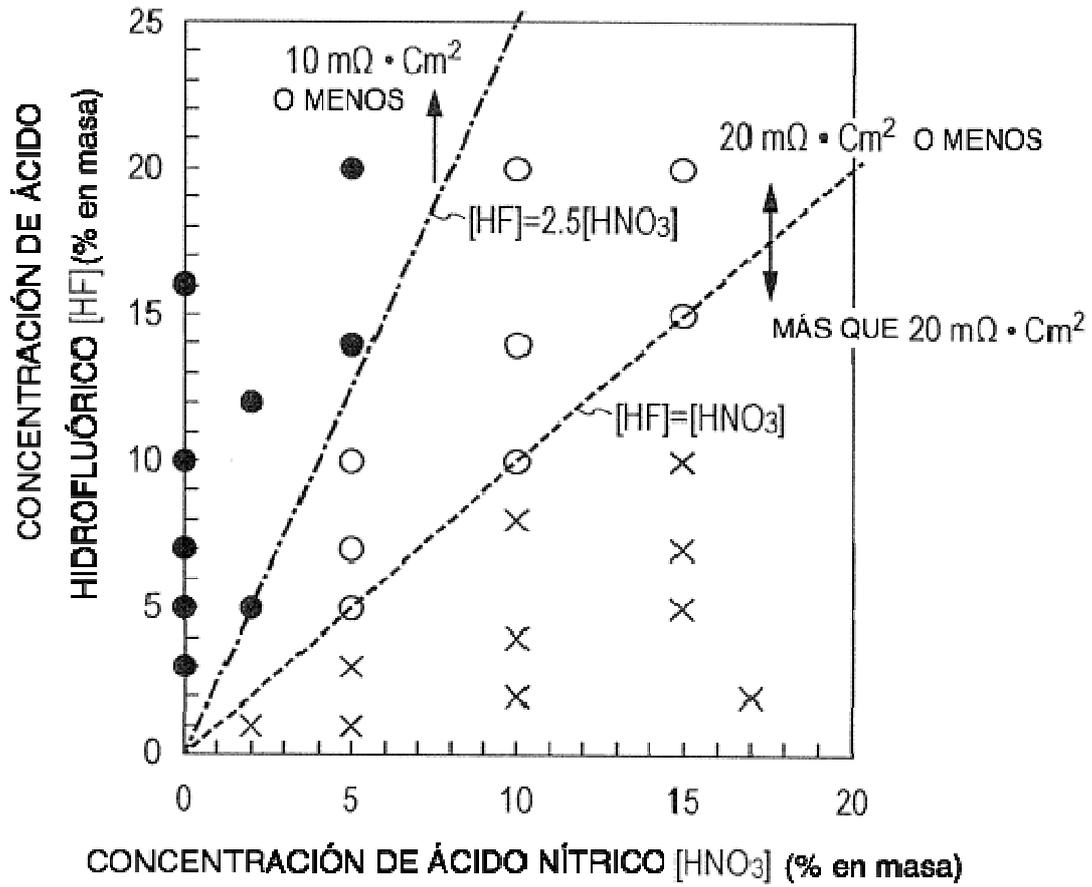


FIG. 2

