

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 744 905**

51 Int. Cl.:

C25D 11/34	(2006.01)
C22C 38/00	(2006.01)
C22C 38/28	(2006.01)
H01M 8/02	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01)
C22C 38/06	(2006.01)
C22C 38/26	(2006.01)
C22C 38/44	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.07.2010 PCT/JP2010/062739**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **27.01.2011 WO11010746**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.07.2010 E 10802366 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.06.2019 EP 2458038**

54 Título: **Acero inoxidable para celdas de combustible que tienen excelente resistencia a la corrosión y método para producir las mismas**

30 Prioridad:

23.07.2009 JP 2009172307
30.07.2009 JP 2009177465

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.02.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

IDE, SHINSUKE;
ISHII, TOMOHIRO;
NISHIYAMA, NAOKI;
ISHIKAWA, SHIN;
UJIRO, TAKUMI y
MAKIISHI, NORIKO

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 744 905 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 para celdas de combustible que tienen excelente resistencia a la corrosión y método para producir las mismas

Campo técnico

5 La presente invención se relaciona con un acero inoxidable para una celda de combustible, que tiene una buena resistencia a la corrosión en un entorno operativo de una celda de combustible y un método para producir el acero inoxidable.

Antecedentes de la técnica

10 Los últimos años han visto el desarrollo de celdas de combustible que tienen buena eficiencia de generación de energía y no emiten dióxido de carbono desde el punto de vista de preservar el medio ambiente global. Esta celda de combustible genera energía al hacer que el hidrógeno y el oxígeno reaccionen entre sí. Una estructura básica de una celda de combustible se asemeja a un sándwich y está constituida por una membrana de electrolito (es decir, membrana de intercambio iónico), dos electrodos (es decir, un electrodo de combustible y un electrodo de aire), una capa de difusión para difundir hidrógeno y oxígeno (aire), y dos separadores. Las celdas de combustible de ácido fosfórico, las celdas de combustible de carbonato fundido, las celdas de combustible de óxido sólido, las celdas de combustible alcalinas, las celdas de combustible de membrana de intercambio de protones y similares se han desarrollado de acuerdo con el tipo de electrolito utilizado.

15 De estas celdas de combustible, las celdas de combustible de membrana de intercambio de protones en particular tienen las siguientes ventajas sobre las celdas de combustible de carbonato fundido, las celdas de combustible de ácido fosfórico y similares:

(a) La temperatura de operación es significativamente baja, es decir, aproximadamente de 80°C.

(b) Es posible reducir el peso y el tamaño del cuerpo principal de la celda de combustible.

(c) El tiempo necesario para el arranque es corto y la eficiencia del combustible y la densidad de salida son altas.

20 Por consiguiente, las celdas de combustible de membrana de intercambio de protones son una de las celdas de combustible más prospectivas en la actualidad, para suministros de energía a bordo para vehículos eléctricos y sistemas de energía portátiles y compactos dispersos para uso doméstico (generador eléctrico compacto de tipo estacionario).

30 Una celda de combustible de membrana de intercambio de protones se basa en el principio de extraer energía del hidrógeno y el oxígeno a través de una membrana de polímero y tiene una estructura que se muestra en la Fig. 1, en la que un conjunto 1 de membrana-electrodo se intercala por las capas 2 y 3 de difusión de gas, tal como las telas de carbono, y estas forman un solo elemento constitucional (también conocido como una sola celda). La fuerza electromotriz se genera entre los separadores 4 y 5.

35 El conjunto 1 de membrana-electrodo también se conoce como MEA (Conjunto de Membrana-Electrodo) y se fabrica integrando una membrana de polímero y un material de electrodo tan como el negro carbón que lleva un catalizador de platino, donde el material del electrodo se proporciona en las superficies frontal y posterior de la membrana polimérica. El espesor del conjunto 1 de membrana-electrodo es de entre diez a varios cientos de micrómetros. Las capas 2 y 3 de difusión de gas están frecuentemente integradas con el conjunto 1 de membrana-electrodo.

40 Cuando las celdas de combustible de membrana de intercambio de protones se aplican a los usos descritos anteriormente, varias decenas a varios cientos de celdas individuales descritas anteriormente se conectan en serie para formar un apilamiento de celdas de combustible, y se utiliza el apilamiento de celdas de combustible.

Los separadores 4 y 5 deben tener

(A) una función de un separador que separa entre celdas individuales entre sí, así como

(B) una función de un conductor eléctrico que transporta electrones generados;

45 (C) una función de un canal para oxígeno (aire) e hidrógeno (canales 6 de aire y canales 7 de hidrógeno en la Fig. 1); y

(D) una función de un canal de descarga para descargar el agua y el gas generado (los canales 6 de aire y los canales 7 de hidrógeno también sirven como este canal de descarga).

Con el fin de usar una celda de combustible de membrana de intercambio de protones en aplicaciones prácticas, se deben usar separadores que tengan buena durabilidad y conductividad.

La durabilidad esperada es de aproximadamente 5000 horas para celdas de combustible para vehículos eléctricos y aproximadamente 40000 horas para generadores eléctricos de tipo estacionario utilizados como sistemas compactos de energía dispersa para uso doméstico y similares.

5 Las celdas de combustible de membrana de intercambio de protones que se han puesto en práctica hasta ahora utilizan materiales de carbono como separadores. Sin embargo, dado que los separadores que usan materiales de carbono son susceptibles de fracturarse en el momento del impacto, tienen los inconvenientes de que no solo la reducción de tamaño es difícil, sino que también el coste del proceso para formar canales es alto. En particular, el problema del coste ha sido el mayor impedimento para la propagación de las celdas de combustible.

10 En respuesta, se han hecho intentos para usar un material metálico, en particular, acero inoxidable, en lugar de materiales de carbono como el material para separadores.

15 El entorno operativo al que están expuestos los separadores es característico porque el ambiente es ácido y tiene una temperatura alta de 70°C o más y el intervalo de potencial esperado es tan amplio como de aproximadamente 0 V vs SHE a 1.0 V vs SHE o más alto (en lo sucesivo, todos los potenciales son contra SHE y simplemente denotados como V). Con el fin de utilizar acero inoxidable, la resistencia a la corrosión en el intervalo de potencial esperado debe mejorarse. En particular, a 1.0 V y cerca, ocurre la disolución transpasaiva de Cr, que es el elemento principal del acero inoxidable, y por lo tanto es difícil mantener la resistencia a la corrosión únicamente por Cr por un lado. Por otro lado, Cr es el principal responsable de mantener la resistencia a la corrosión a 0.6 V o menos. Por lo tanto, de acuerdo con la técnica convencional, la resistencia a la corrosión no podría mantenerse en un amplio intervalo de potencial desde un bajo potencial a un alto potencial.

20 Por ejemplo, el documento de Patente 1 divulga un acero inoxidable para un separador en el que la resistencia a la corrosión se mejora desde el aspecto de la composición al aumentar los contenidos de Cr y Mo.

25 El documento de Patente 2 divulga un método para producir un separador para una celda de combustible de tipo de baja temperatura, caracterizado porque una lámina de acero inoxidable que contiene 0.5% en masa o más de Cu se somete a grabado electrolítico por alternación para realizar electrolización anódica alternativamente en un potencial de +0.5 V o más y electrolización catódica a un potencial entre -0.2 V y -0.8 V en una solución acuosa de cloruro férrico.

El documento de Patente 3 divulga una parte conductora de acero inoxidable y un método para producir la misma que tiene una excelente conductividad y baja resistencia eléctrica de contacto formada al modificar una película pasiva sobre una superficie de acero inoxidable mediante la inyección de flúor en la película pasiva.

30 El documento US2003/170526A1 divulga placas de metal para ser utilizadas en celdas electroquímicas, por ejemplo celdas de combustible, tratadas sometiendo una superficie o superficies de la misma a una corriente eléctrica en la presencia de un electrolito ácido, donde la aleación es de acero inoxidable o una que contiene más del 14% en peso de níquel, por ejemplo superior al 15% en peso de níquel.

35 El documento WO2008/130078A1 divulga un método para el tratamiento superficial de un separador de acero inoxidable para una celda de combustible que comprende preparar una lámina de acero inoxidable que contiene níquel, cromo y hierro, y que tiene una película pasiva sobre una superficie de la lámina de acero inoxidable, y sumergir la lámina de acero inoxidable en una solución de grabado mixto de ácido nítrico (HNO₃) y ácido sulfúrico (H₂SO₄) a una temperatura de 50-70°C durante 30 segundos a 30 minutos para disminuir selectivamente una cantidad de Fe en la película pasiva formada sobre la superficie de la lámina de acero inoxidable.

40 El documento JPH06173085A divulga un método para formar una película excelente en adhesión con una capa de recubrimiento de material orgánico mediante el impacto de un potencial eléctrico de onda cuadrada en el acero inoxidable sumergido en un baño de electrolitos.

45 El documento WO2009/016969A1 divulga un método para tratar la superficie de un material de base metálica, que comprende: un paso de reducción para reducir de una película de óxido formada sobre el material de base metálica; y un paso de oxidación para oxidar la película de óxido reducida.

50 El documento WO02/13300A1 divulga componentes de acero inoxidable para ser utilizados en celdas electroquímicas, por ejemplo celdas de combustible, tratadas mediante un tratamiento de oxidación electroquímica y/o química, por ejemplo voltametría cíclica, con el fin de modificar las características de la superficie, es decir composición superficial y/o morfología, y de ese modo reducen la resistencia interfacial asociada con la superficie del componente.

El documento US4818572A divulga un proceso para la producción de un material compuesto recubierto con compuesto de fosfato de calcio, que comprende oxidar un sustrato metálico para formar una capa del óxido del componente metálico del sustrato metálico en su superficie, y formar una capa de recubrimiento de un compuesto de fosfato de calcio en la superficie de la capa de óxido.

5 El documento US5000828A divulga una lámina de acero electrogalvanizado en un lado con una susceptibilidad notable a un tratamiento con sal de fosfato y una apariencia notable en el lado no electrogalvanizado producido al someter el lado no electrogalvanizado de una lámina de acero después de la electrogalvanización de un lado en un baño de galvanizado, a un tratamiento de desprendimiento electrolítico utilizando el lado no electrogalvanizado de la lámina de acero electrogalvanizada de un lado como un ánodo en un baño de tratamiento de desprendimiento electrolítico que contiene 5 a 30% en peso de sulfato de sodio como agente electroconductor y al menos 0.1% en peso de ácido bórico como agente de control del pH a un pH ajustado a un intervalo de 5.0 a menos de 9.0 como tratamiento posterior del lado no electrogalvanizado.

Lista de citas

10 Documento de patente

Documento de patente 1: Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada No. 2000-239806

Documento de patente 2: Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada No. 2003-297379

Documento de patente 3: Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada No. 2008-277146

Resumen de la invención

15 Problema técnico

Sin embargo, el potencial esperado en la técnica divulgada en el documento de patente 1 está limitado a 0.2 V y, por lo tanto, la resistencia a la corrosión es presumiblemente insuficiente, por ejemplo, en y cerca de 1.0 V en el que ocurre la disolución transpasiva.

20 Además, de acuerdo con la técnica divulgada en el documento de patente 2, dado que se caracteriza por que se forma un recubrimiento compuesto principalmente por Cr que incorpora Cu, la disolución pasiva de Cr descrita anteriormente se produce fácilmente y la resistencia a la corrosión disminuye en un entorno de alto potencial ácido donde Cu también está corroído.

25 La técnica divulgada en el documento de patente 3 no espera su uso en un entorno corrosivo severo como las celdas de combustible. Como la concentración de Cr es alta en las películas pasivas, la disolución transpasiva ocurre fácilmente y la resistencia a la corrosión es insuficiente.

Teniendo en cuenta los problemas anteriores de la técnica relacionada, la presente invención busca proporcionar un acero inoxidable para una celda de combustible que tenga buena resistencia a la corrosión en un amplio intervalo potencial. Además, la presente invención tiene como objetivo proporcionar un método ventajoso para producir el acero inoxidable.

30 Solución al problema

Los inventores han llevado a cabo investigaciones exhaustivas sobre formas de mejorar la resistencia a la corrosión en un amplio intervalo potencial.

35 Como resultado, los inventores han descubierto que la resistencia a la corrosión se mejora en un amplio intervalo potencial desde un potencial bajo a un potencial alto al mejorar los enlaces oxidantes en un recubrimiento de superficie y que controla la relación Cr-a-Fe en un intervalo adecuado mediante la realización de electrolización anódica de un acero inoxidable que tiene 16% en masa o más de Cr y además se ajusta la composición del componente del mismo, en una solución electrolítica que contiene sulfato de sodio.

La presente invención se ha basado en este hallazgo y está definida por las reivindicaciones 1 a 4.

Efectos ventajosos de la invención

40 De acuerdo con la presente invención, se puede obtener a bajo coste un acero inoxidable para una celda de combustible que tiene buena resistencia a la corrosión en un amplio intervalo potencial en un entorno operativo de separadores.

Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 es un diagrama esquemático que muestra una estructura básica de una celda de combustible.

45 Descripción de las realizaciones

La invención se describirá ahora específicamente.

Primero, se describe un acero inoxidable abarcado por la presente invención.

ES 2 744 905 T3

De acuerdo con la presente invención, el acero inoxidable utilizó como base la resistencia a la corrosión del material requerida en el entorno operativo de las celdas de combustible. Con el fin de garantizar el nivel mínimo de resistencia a la corrosión, se debe contener 20% a 40% en masa de Cr.

- 5 En la presente invención, se prefiere un acero que forme un recubrimiento que tenga buena resistencia a la corrosión a través de un amplio intervalo potencial sobre una superficie del acero inoxidable mediante un tratamiento de electrolización anódica.

Tenga en cuenta que la notación "%" relacionada con los componentes es % en masa a menos que se indique lo contrario.

(1) Composición de componentes de acero inoxidable ferrítico

- 10 C: 0.03% o menos

El carbono se une a Cr en el acero y disminuye la resistencia a la corrosión y, por lo tanto, el contenido de C es preferiblemente lo más bajo posible. La resistencia a la corrosión no disminuye significativamente siempre que el contenido de carbono sea 0.03% o menos. Por consiguiente, en la presente invención, el contenido de C se limita a 0.03% o menos y preferiblemente 0.015% o menos.

- 15 Si: 1.0% o menos

El silicio es un elemento utilizado en la desoxidación, pero disminuye la ductilidad cuando está contenido en una cantidad excesivamente grande. Por lo tanto, el contenido de Si se limita a 1.0% o menos y preferiblemente 0.5% o menos.

Mn: 1.0% o menos

- 20 El manganeso se une a S para formar MnS y disminuye la resistencia a la corrosión. Por lo tanto, el contenido de Mn se limita a 1.0% o menos y específicamente 0.8% o menos.

S: 0.01% o menos

Como se describió anteriormente, S se une a Mn para formar MnS y disminuye la resistencia a la corrosión. Por lo tanto, el contenido de S se limita a 0.01% o menos y preferiblemente 0.008% o menos.

- 25 P: 0.05% o menos

El fósforo disminuye la ductilidad y el contenido de P es preferiblemente lo más bajo posible. La ductilidad no disminuye significativamente siempre que el contenido de P sea 0.05% o menos. Por lo tanto, el contenido de P se limita a 0.05% o menos y preferiblemente 0.04% o menos.

Al: 0.20% o menos

- 30 El aluminio es un elemento utilizado en la desoxidación, pero disminuye la ductilidad cuando está contenido en una cantidad excesivamente grande. Por lo tanto, el contenido de Al se limita a 0.20% o menos y preferiblemente 0.15% o menos.

N: 0.03% o menos

- 35 El nitrógeno se une a Cr en el acero y disminuye la resistencia a la corrosión y, por lo tanto, el contenido de N es preferiblemente lo más bajo posible. La resistencia a la corrosión no disminuye significativamente siempre que el contenido de N sea 0.03% o menos. Por lo tanto, el contenido de N se limita a 0.03% o menos y preferiblemente 0.015% o menos.

Cr: 20% a 40%

- 40 El cromo es un elemento esencial para que un acero inoxidable mantenga la resistencia a la corrosión y necesita estar contenido en una cantidad del 20% al 40%, particularmente desde el punto de vista de mejorar la resistencia a la corrosión en un amplio intervalo potencial. Esto se debe a que, con un contenido de Cr inferior al 20%, la resistencia a la corrosión de un material original en sí mismo disminuye, la corriente pasiva aumenta y, por lo tanto, la resistencia a la corrosión tiende a disminuir en un entorno de 0.6 V o menos en particular. Por el contrario, cuando el contenido de Cr supera el 40%, la disolución transpasiva se produce fácilmente a aproximadamente 1.0 V. El contenido de Cr es preferiblemente 24% a 35%.

- 45 Al menos uno seleccionado de Nb, Ti y Zr, en total: 1.0% o menos

Todos los Nb, Ti y Zr son elementos útiles que fijan C y N en el acero formando carburos, nitruros y carbonitruros, y mejoran la resistencia a la corrosión. Sin embargo, cuando el contenido supera 1.0%, la ductilidad disminuye significativamente. Por lo tanto, el contenido de los mismos está limitado a 1.0% o menos, independientemente de si

estos elementos se agregan solos o en combinación. Con el fin de que estos elementos exhiban suficientemente los efectos de la adición, el contenido es preferiblemente 0.02% o más.

Mientras que los componentes esenciales se describen anteriormente, los siguientes otros elementos se pueden agregar según sea necesario en la presente invención.

5 Mo: 4.0% o menos

El molibdeno es un elemento efectivo para mejorar la resistencia a la corrosión, en particular, la resistencia a la corrosión local, de un acero inoxidable. Con el fin de lograr este efecto, se agrega preferiblemente 0.02% o más de Mo. Sin embargo, dado que la ductilidad disminuye cuando el contenido de Mo excede 4.0%, el contenido de Mo se limita a 4.0% o menos y preferiblemente 2.0% o menos.

10 Además, puede contener 1.0% o menos de cada uno de Ni, Cu, V y W para mejorar la resistencia a la corrosión y 0.1% o menos de cada Ca, Mg, REM (Metales de Tierras Raras) y B puede estar contenido para mejorar la capacidad de trabajo en caliente.

El balance es Fe e impurezas inevitables. Entre las impurezas inevitables, el contenido de O (oxígeno) es preferiblemente del 0.02% o menos.

15 A continuación, se describen las características que debería tener el recubrimiento sobre una superficie de acero inoxidable.

La relación de intensidad [(OO/OH)/(Cr/Fe)] determinada por espectroscopia de fotoelectrones de rayos X (XPS) es 1.0 o más

20 Los estudios realizados por los inventores han encontrado que con el fin de controlar que el recubrimiento sea estable en un amplio intervalo potencial, la relación de intensidad (OO/OH)/(Cr/Fe) determinada por XPS debe estudiarse y es efectiva para controlar esta relación de intensidad a 1.0 o más.

25 Es decir, cuando la relación (OO/OH) del contenido (OO) de oxígeno que toma la forma de un óxido metálico y el contenido de oxígeno (OH) que toma la forma de un hidróxido metálico en un recubrimiento es pequeña, el recubrimiento se vuelve inestable y disminuye la resistencia a la corrosión. Cuando la relación entre el contenido de cromo (Cr) y el contenido de hierro (Fe) que toma la forma de un óxido o un hidróxido en un recubrimiento es grande, la resistencia a la corrosión disminuye debido a la seria disolución transpasiva de Cr a un alto potencial.

Sin embargo, se ha encontrado que cuando (OO/OH) es alto en tal caso, se puede suprimir la disolución transpasiva de Cr y, en particular, cuando (OO/OH)/(Cr/Fe) es 1.0 o más, la resistencia a la corrosión se puede mejorar en un amplio intervalo potencial.

30 Un intervalo preferible de relación (OO/OH) es $(OO/OH) \geq 0.6$. Cuando (Cr/Fe) es menor que 0.2, la resistencia a la corrosión a un potencial bajo en particular puede disminuir y cuando (Cr/Fe) es mayor a 1.0, la resistencia a la corrosión a un potencial alto puede disminuir. Por lo tanto, la relación (Cr/Fe) es preferiblemente 0.2 o más y 1.0 o menos.

35 La relación (OO/OH) y la relación (Cr/Fe) se determinan a partir de los resultados de XPS. Se empleó el valor más grande entre los puntos máximos o puntos de inflexión de la intensidad a una energía de unión de 528 a 531 eV para (OO), 531 a 534 eV para (OH), 575 a 578 eV para (Cr) y 709 a 713 eV para (Fe). En el caso donde el aumento o disminución fue monótono, se determinó que no había máximo y se empleó el valor del punto mínimo.

40 Un recubrimiento que tiene una relación (OO/OH)/(Cr/Fe) de 1.0 o más, tal como el descrito anteriormente puede formarse mediante un tratamiento de electrolización anódica de un acero inoxidable en una solución electrolítica. El tratamiento de electrolización anódica se refiere a un tratamiento de electrolización que incluye electrolización anódica. En el caso donde la electrolización anódica se realiza una pluralidad de veces, se supone que el tiempo total es el tiempo de tratamiento de electrolización anódica.

45 Con el fin de formar un recubrimiento que tenga una relación (OO/OH)/(Cr/Fe) de 1.0 o más, el tratamiento de electrolización anódica debe realizarse en una solución electrolítica que tenga una concentración de sulfato de sodio de 0.1 a 3.0 mol/L y pH de 7 o menos a un potencial de 0.5 V o más durante 10 segundos o más.

50 Cuando el potencial es inferior a 0.5 V en el tratamiento de electrolización anódica, la mejora de los enlaces oxidicos es insuficiente y, por lo tanto, la resistencia a la corrosión puede volverse deficiente, particularmente cuando se expone a un entorno de alto potencial. Por lo tanto, el potencial de contenido está limitado a 0.5 V o más. Con el fin de controlar el potencial a un nivel superior a 3.0 V, se necesita una densidad de corriente significativamente alta y el coste de energía aumentará a pesar de la saturación del efecto. Por lo tanto, el contenido potencial es preferiblemente 3.0 V o menos. Más preferiblemente, el potencial es de 0.8 a 1.8 V. Esto se debe a que a un potencial menor de 0.8 V, la relación (OO/OH) es pequeña y es difícil estabilizar la relación (OO/OH)/(Cr/Fe) a 1.0 o más, y con un potencial superior a 1.8 V se necesita una gran corriente para controlar el potencial, y el aumento en el coste de energía abruma el efecto obtenido de ese modo.

5 Cuando el tiempo de tratamiento de electrolización es inferior a 10 segundos, la mejora de los enlaces oxídicos es insuficiente y aumenta la probabilidad de que la resistencia a la corrosión sea deficiente cuando se expone a un entorno de alto potencial. Por lo tanto, el tiempo de tratamiento está limitado a 10 segundos o más. Además, la relación (OO/OH) disminuye y se hace difícil ajustar la relación (OO/OH)/(Cr/Fe) a 1.0 o más. Aunque el límite superior del tiempo de tratamiento no está particularmente limitado, el tiempo de tratamiento es preferiblemente de 300 segundos o menos porque la conductividad del recubrimiento puede disminuir si el tiempo de tratamiento es excesivamente largo.

10 La solución electrolítica tiene un pH de 7 o menos. Esto se debe a que a un pH > 7, la relación (OO/OH) disminuye y, por lo tanto, se hace difícil ajustar la relación (OO/OH)/(Cr/Fe) a 1.0 o más. Además, cuando el pH de la solución electrolítica excede 7, la mejora de los enlaces oxídicos se vuelve insuficiente.

El sulfato de sodio se usa como componente de la solución electrolítica. La concentración del sulfato de sodio es de 0.1 a 3.0 mol/L en cualquier caso. Esto se debe a que mientras la concentración sea 0.1 mol/L, el efecto se logra, pero el efecto se satura cuando la sal o las sales están contenidas en exceso más allá de 3.0 mol/L. La temperatura de tratamiento es preferiblemente de aproximadamente 50 a 90°C en cualquier caso.

15 En la presente invención, el método para producir un acero inoxidable utilizado como el material base no está particularmente limitado y puede emplearse cualquier método conocido. Sin embargo, las condiciones de producción preferibles son las siguientes.

20 Una placa que tiene una composición de componentes ajustada a un intervalo preferible se calienta a una temperatura de 1150°C o más, luego se lamina en caliente, se recoce posteriormente a una temperatura de 1000 a 1100°C y se somete a laminado en frío repetido y recocido para obtener una lámina de acero inoxidable. El espesor de la lámina de acero inoxidable obtenida es preferiblemente de aproximadamente 0.02 a 0.8 mm.

[Ejemplos]

Ejemplo 1

25 Un acero (acero inoxidable ferrítico) que tiene una composición química mostrada en la Tabla 1 se fundió en un horno de fusión al vacío y se calentó el lingote obtenido a 1150°C o más y luego se laminó en caliente en una lámina laminada en caliente que tenía un espesor de 5 mm. La lámina laminada en caliente se recoció a una temperatura de 1000°C a 1100°C, se decapó para eliminar las incrustaciones, y luego se sometió repetidamente a laminado en frío, recocido y decapado para formar una lámina recocida laminada en frío que tenía un espesor de 0.7 mm. La lámina recocida laminada en frío obtenida se sometió a un tratamiento de electrolización anódica en una solución acuosa de sulfato de sodio a 80°C (1.4 mol/L) durante 60 segundos a 1.4 V (60 mA/cm²).

30 Después del tratamiento de electrolización, se analizó una superficie (recubrimiento) de la lámina de acero resultante mediante análisis de espectroscopia de fotoelectrones de rayos X para determinar las relaciones de intensidad (OO/OH), (Cr/Fe), y (OO/OH)/(Cr/Fe).

Los resultados comparados con los casos cuando no se realizó electrolización se muestran en la Tabla 2.

35 Como se muestra en la Tabla 2, cuando el tratamiento de electrolización se realiza de acuerdo con la presente invención, se obtuvo un recubrimiento de superficie que tiene una relación de intensidad [(OO/OH)/(Cr/Fe)] de 1.0 o más determinado por análisis de espectroscopia de fotoelectrones de rayos X.

40 En la tabla, también se muestra la relación atómica (Cr/Fe) (unidad:% atómico) en el recubrimiento. Esta es la relación atómica Cr/Fe en el recubrimiento determinada por análisis de espectroscopia de fotoelectrones de rayos X. Este valor se calcula eliminando los máximos del hierro base en un estado metálico y usando solo las señales de un estado de óxido o hidróxido del recubrimiento. Para ser más específicos, los espectros de Fe2p y Cr2p se midieron y se sometieron a un tratamiento de fondo Shirley. Luego, los máximos de los metales y los máximos de los óxidos o hidróxidos se separaron entre sí. Dado que los máximos de los metales son señales generadas a partir de la porción de hierro base debajo del recubrimiento, se asume que el resto obtenido al eliminar los máximos metálicos de los máximos completos son los máximos generados por el recubrimiento. La relación del área de los máximos generados desde el recubrimiento al área de los máximos completos antes de la separación se calcula como Y.

45 La relación atómica Cr/Fe en el recubrimiento se puede calcular a partir de la fórmula a continuación, donde I_{Cr2p} es una intensidad para Cr2p e I_{Fe2p} es una intensidad para Fe2p en todo el espectro antes de la separación máxima, RSF_{Cr2p} y RSF_{Fe2p} son factores de sensibilidad relativos (en adelante denominado RFS) para Cr2p y Fe2p, respectivamente, Y_{Fe-O} es Y generado a partir del recubrimiento en el espectro Fe2p, e Y_{Cr-O} es Y generado a partir del recubrimiento en el espectro Cr2p:

$$\text{Cr/Fe en recubrimiento (proporción atómica)} = (I_{\text{Cr}}/\text{RSF}_{\text{Cr}}) / (I_{\text{Fe}}/\text{RSF}_{\text{Fe}})$$

$$\times (Y_{\text{Cr-O}}/Y_{\text{Fe-O}})$$

En los estudios de la presente invención, se usó XPS AXIS-HS producido por KRATOS y se realizó la medición usando una fuente de rayos X monocromática $AlK\alpha$. La región de medición fue de $250\ \mu\text{m} \times 500\ \mu\text{m}$. El factor de sensibilidad relativa RSF instalado en este instrumento se utilizó como RSF después de confirmar que se logra una precisión suficiente para cuantificar Fe y Cr mediante el uso de muestras de referencia con base en acero inoxidable. A partir de los resultados, se puede entender que la relación atómica (% atómico) Cr/Fe en el recubrimiento está fuera del intervalo de la invención del documento de patente 3 cuando se realiza el tratamiento de electrolización de acuerdo con la presente invención.

Ejemplo 2

Se cortó una pieza de prueba de $30\ \text{mm} \times 30\ \text{mm}$ de una lámina recocida laminada en frío y un material electrolizado y se muestra en la Tabla 2, se desengrasó con acetona y se sometió a un tratamiento de polarización en el siguiente orden a una velocidad de barrido de $60\ \text{mV/min}$ en ácido sulfúrico con un pH de 3 (80°C) que simula el entorno operativo de una celda de combustible para evaluar la resistencia a la corrosión desde un entorno de alto potencial a un entorno de bajo potencial:

- (1) corrosión potencial $\rightarrow 1.2\ \text{V} \rightarrow 0.8\ \text{V}$
- (2) $0.8\ \text{V} \rightarrow 1.2\ \text{V} \rightarrow 0.8\ \text{V}$
- (3) $0.8\ \text{V} \rightarrow 1.2\ \text{V} \rightarrow 0.8\ \text{V}$
- (4) $0.8\ \text{V} \rightarrow 1.2\ \text{V} \rightarrow 0.8\ \text{V}$
- (5) $0.8\ \text{V} \rightarrow 1.2\ \text{V} \rightarrow 0.7\ \text{V}$
- (6) $0.7\ \text{V} \rightarrow 1.2\ \text{V} \rightarrow 0.6\ \text{V}$
- (7) $0.6\ \text{V} \rightarrow 1.2\ \text{V} \rightarrow 0.5\ \text{V}$
- (8) $0.5\ \text{V} \rightarrow 1.2\ \text{V} \rightarrow 0.4\ \text{V}$
- (9) $0.4\ \text{V} \rightarrow 1.2\ \text{V} \rightarrow 0.3\ \text{V}$

La corriente que fluye incluye disolución, oxidación, reducción, etc. de los elementos respectivos. Sin embargo, es obvio que la resistencia a la corrosión del material que corresponde a una corriente de flujo más pequeña, es decir, que apenas sufre las reacciones descritas anteriormente, es alta. En consecuencia, se compararon los valores de la corriente que fluye. En particular, se determinó la densidad de corriente máxima (valor absoluto) de los ciclos (2) y (9).

Los resultados se muestran en la Tabla 3. Los casos donde ambos valores fueron $5.0\ \mu\text{A/cm}^2$ o menos se clasificaron como buena y los casos donde al menos uno de los valores fue más de $5.0\ \mu\text{A/cm}^2$ se clasificaron como pobre.

La Tabla 3 muestra que todos los ejemplos de la invención tenían densidades de corriente máximas bajas en los ciclos (2) y (9) y, por lo tanto, logran la buena resistencia a la corrosión en un amplio intervalo potencial.

Por el contrario, no se logra buena resistencia a la corrosión cuando el recubrimiento de la superficie no satisface el intervalo adecuado de la presente invención, aunque los componentes químicos satisfacen el intervalo adecuado de la presente invención. Además, la resistencia a la corrosión del No. 13 con un bajo contenido de Cr fue pobre, ya que carecía de resistencia a la corrosión básica, aunque el recubrimiento de la superficie del mismo fue satisfactorio.

Ejemplo 3

La lámina recocida laminada en frío obtenida en el Ejemplo 1 se sometió a un tratamiento de electrolización bajo diferentes condiciones, y el análisis y la evaluación se realizaron como en los Ejemplos 1 y 2. Los resultados se muestran en la Tabla 4.

Como se muestra en la Tabla 4, no se puede obtener un recubrimiento de superficie que tenga una relación de intensidad $[(\text{OO}/\text{OH})/(\text{Cr}/\text{Fe})]$ de 1.0 o más determinada por análisis de espectroscopia de fotoelectrones de rayos X cuando las condiciones de electrolización no satisfacen el intervalo adecuado de la presente invención y, por lo tanto, no se logra buena resistencia a la corrosión.

Ejemplo 4 (comparativo)

Los aceros que tienen las composiciones químicas mostradas en la Tabla 5 (tipos de acero k, l, m, n, o, p y q son aceros inoxidables austeníticos, el tipo de acero r es un acero inoxidable de doble fase) se fundieron en un horno de fusión al vacío y cada uno de los lingotes resultantes se calentó a 1150°C o más y luego se laminó en caliente en una lámina laminada en caliente que tenía un espesor de $5\ \text{mm}$. La lámina laminada en caliente se recoció a 1000°C a 1100°C , se decapó para eliminar las incrustaciones y luego se sometió repetidamente a laminado en frío, recocido

y decapado para obtener una lámina recocida en frío que tenía un espesor de 0.7 mm. La lámina recocida laminada en frío resultante se sometió a un tratamiento de electroización anódica en una solución acuosa de sulfato de sodio a 80°C (1.4 mol/L) durante 60 segundos a 1.4 V (60 mA/cm²).

5 Después del tratamiento de electroización, se analizó una superficie (recubrimiento) de la lámina de acero resultante mediante análisis de espectroscopia de fotoelectrones de rayos X para determinar las relaciones de intensidad (OO/OH), (Cr/Fe) y (OO/OH)/(Cr/Fe).

10 Los resultados en comparación con los casos donde no se realizó la electroización se muestran en la Tabla 6. Como se muestra en la Tabla 6, cuando el tratamiento de electroización se realizó de acuerdo con la presente invención, un recubrimiento de superficie que tiene una relación de intensidad [(OO/OH)/(Cr/Fe)] de 1.0 o más determinado por análisis de espectroscopia de fotoelectrones de rayos X.

Ejemplo 5 (comparativo)

15 Se cortó una pieza de prueba de 30 mm x 30 mm de un material electroizado y una lámina laminada en frío que se muestra en la Tabla 6, se desengrasó con acetona y se sometió a un tratamiento de polarización en el siguiente orden a una velocidad de barrido de 60 mV/min en ácido sulfúrico con un pH de 3 (80°C) que simula el entorno operativo de una celda de combustible para evaluar la resistencia a la corrosión de un entorno de alto potencial a un entorno de bajo potencial:

(1) corrosión potencial → 1.2 V → 0.8V

(2) 0.8 V → 1.2 V → 0.8 V

(3) 0.8 V → 1.2 V → 0.8 V

20 (4) 0.8 V → 1.2 V → 0.8 V

(5) 0.8 V → 1.2 V → 0.7 V

(6) 0.7 V → 1.2 V → 0.6 V

(7) 0.6 V → 1.2 V → 0.5 V

(8) 0.5 V → 1.2 V → 0.4 V

25 (9) 0.4 V → 1.2 V → 0.3 V

30 La corriente que fluye incluye la disolución, oxidación, reducción, etc. de los elementos respectivos. Sin embargo, es obvio que la resistencia a la corrosión del material que corresponde a una corriente de flujo más pequeña, es decir, que apenas sufre las reacciones descritas anteriormente, es alta. En consecuencia, se compararon los valores de la corriente que fluye. En particular, se determinó la densidad de corriente máxima (valor absoluto) de los ciclos (2) y (9).

Los resultados se muestran en la Tabla 7. Los casos donde ambos valores fueron 5.0 μA/cm² o menos se clasificaron como Buena y los casos en los que al menos uno de los valores fue más de 5.0 μA/cm² se clasificaron como Pobre.

35 La Tabla 7 muestra que todos los ejemplos tenían densidades de corriente máximas bajas en los ciclos (2) y (9) y, por lo tanto, logran la buena resistencia a la corrosión en un amplio intervalo potencial. Además, la resistencia a la corrosión del No. 35 con un bajo contenido de Cr fue Pobre, ya que carece de resistencia a la corrosión básica, aunque el recubrimiento de la superficie del mismo fue satisfactorio.

Capacidad de aplicación industrial

40 De acuerdo con la presente invención, se puede obtener un acero inoxidable para una celda de combustible que tiene buena resistencia a la corrosión en un amplio intervalo potencial, de modo que se pueda proporcionar un separador de acero inoxidable de bajo coste a una celda de combustible que ha estado utilizando carbono costoso y separadores chapados en oro, y así se puede acelerar la propagación de las celdas de combustible.

Tabla 1

Tipo de Acero	Composición química (% en masa)												Nota
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Cr	Nb	Ti	Zr	Mo	

ES 2 744 905 T3

a	0.004	0.23	0.19	0.028	0.005	0.11	0.008	30.0	0.18	-	-	2.00	Acero preferido
b	0.002	0.22	0.28	0.023	0.007	0.13	0.010	30.2	0.30	-	-	1.00	Acero preferido
c	0.005	0.21	0.17	0.027	0.006	0.09	0.009	30.1	0.51	-	-	-	Acero preferido
d	0.004	0.23	0.18	0.027	0.005	0.09	0.008	25.1	0.48	-	-	1.98	Acero preferido
e	0.004	0.22	0.18	0.027	0.005	0.10	0.008	25.2	-	-	0.23	1	Acero preferido
f	0.008	0.24	0.15	0.035	0.002	0.06	0.005	25.3	-	0.35	-	-	Acero preferido
g	0.004	22	0.12	0.025	0.003	0.09	0.006	<u>14.9</u>	0.54	0.54	-	1.56	Ejemplo comparativo
h	0.006	0.20	0.22	0.020	0.003	0.08	0.003	21.7	0.44	-	-	0.81	Acero preferido
i	0.005	0.26	0.19	0.029	0.003	0.07	0.007	38.4	0.47	-	-	1.23	Acero preferido
j	0.005	0.23	0.20	0.026	0.004	0.10	0.008	<u>42.9</u>	0.38	-	-	1.29	Ejemplo comparativo

Tabla 2

Muestra No.	Tipo de Acero	Tratamiento de electrolización	Relación (OO/OH) (relación de intensidad)	Relación (Cr/Fe) (relación de intensidad)	Relación (Cr/Fe) en el recubrimiento (% atómico)	Relación (OO/OH)/(Cr/Fe) (relación de intensidad)	Nota
1	a	Si	1.13	1.04	0.24	1.09	Ejemplo de la Invención
2	a	No	0.54	2.54	0.75	0.21	Ejemplo Comparativo
3	b	Si	1.17	0.96	0.23	1.22	Ejemplo de la Invención
4	b	No	0.56	2.47	0.69	0.23	Ejemplo Comparativo
5	c	Si	1.20	0.96	0.25	1.25	Ejemplo de la Invención
6	c	No	0.57	2.45	0,6	0 23	Ejemplo Comparativo
7	d	Si	1.31	0.58	0.12	226	Ejemplo de la Invención
8	d	No	0.62	2.25	0.59	0.28	Ejemplo Comparativo
9	e	Si	1.35	0.57	0.14	2.37	Ejemplo de la Invención

ES 2 744 905 T3

10	e	No	0.62	2.22	0.55	0.28	Ejemplo Comparativo
11	f	Si	1.38	0.55	0.14	2.51	Ejemplo de la Invención
12	f	No	0.67	2.10	0.49	0.32	Ejemplo Comparativo
13	g	Si	1.47	0.19	0.04	7.74	Ejemplo Comparativo
14	g	No	0.73	0.79	0.19	0.92	Ejemplo Comparativo
15	h	Si	1.41	0.43	0.14	3.28	Ejemplo de la Invención
16	h	No	0.69	1.20	0.35	0.58	Ejemplo Comparativo
17	i	Si	0.98	0.97	0.21	1.01	Ejemplo de la Invención
18	i	No	0.51	2.66	0.77	0.19	Ejemplo Comparativo
19	j	Si	0.58	1.18	0.31	0.69	Ejemplo Comparativo
20	j	No	0.42	2.73	0.94	0,15	Ejemplo Comparativo

[Tabla 3]

Tabla 3

Muestra No.	Densidad de corriente máxima en (2) ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Densidad de corriente máxima en (9) ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Clasificación	Nota
1	3.2	3.8	O:Buena	Ejemplo de la Invención
2	<u>5.7</u>	<u>5.3</u>	X : Pobre	Ejemplo Comparativo
3	2.8	3.6	O:Buena	Ejemplo de la Invención
4	<u>5.3</u>	<u>5.3</u>	X : Pobre	Ejemplo Comparativo
5	2.9	3.5	O:Buena	Ejemplo de la Invención
6	<u>5.6</u>	<u>5.1</u>	X : Pobre	Ejemplo Comparativo
7	2.3	3.3	O:Buena	Ejemplo de la Invención
8	<u>5.4</u>	<u>5.1</u>	X : Pobre	Ejemplo Comparativo

ES 2 744 905 T3

9	2.2	3.2	O:Buena	Ejemplo de la Invención
10	<u>5.4</u>	<u>5.1</u>	X : Pobre	Ejemplo Comparativo
11	2.0	3.0	O:Buena	Ejemplo de la Invención
12	<u>5.3</u>	4.9	X : Pobre	Ejemplo Comparativo
13	3.4	<u>8.7</u>	X : Pobre	Ejemplo Comparativo
14	4.8	<u>9.3</u>	X : Pobre	Ejemplo Comparativo
15	2.0	3.7	O:Buena	Ejemplo de la Invención
16	4.7	<u>5.1</u>	X : Pobre	Ejemplo Comparativo
17	4.1	4.3	O:Buena	Ejemplo de la Invención
18	<u>6.1</u>	<u>6.5</u>	X : Pobre	Ejemplo Comparativo
19	4.8	<u>5.1</u>	X : Pobre	Ejemplo Comparativo
20	<u>6.4</u>	<u>6.6</u>	X : Pobre	Ejemplo Comparativo

[Tabla 4]

Tabla 4

Muestra número	Tipo de acero	Condiciones de electroización					Relación (OO/OH) (relación de intensidad)	Relación (Cr/Fe) (relación de intensidad)	Relación (OO/OH)/H (relación de intensidad)	Densidad de corriente de máxima en (2) ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Densidad de corriente de máxima en (9) ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Clasificación	Nota
		Potencial de electroización (V vs SHE)	Tiempo de electroización (seg)	pH	Concentración de sulfato de sodio (mol/L)								
7	d	1.4	60	6.5	1.4	1.31	0.58	2.26	2.3	33	O:Buena	Ejemplo de la invención	
21	d	<u>0.4</u>	60	6.5	1.4	0.42	1.03	<u>0.41</u>	<u>5.5</u>	<u>5.1</u>	X : Pobre	Ejemplo comparativo	
22	d	0.8	60	6.5	1.4	1.05	0.62	169	27	35	O:Buena	Ejemplo de la invención	
23	d	1.4	<u>3</u> 10	6.5	1.4	0.87	1.05	<u>0.83</u>	<u>5.2</u>	4.9	X : Pobre	Ejemplo comparativo	
24	d	1.4	10	6.5	1.4	1.09	0.66	1.65	2.8	3.7	O:Buena	Ejemplo de la invención	
25	d	1.4	60	<u>7.5</u>	1.4	0.63	0.84	<u>0.75</u>	<u>5.4</u>	<u>5.1</u>	X : Pobre	Ejemplo comparativo	
26	d	1.4	60	2.5	1.4	1.37	0.59	2.32	2.3	3.2	O:Buena	Ejemplo de la invención	
27	d	1.4	60	6.5	<u>0.04</u>	0.96	1.02	<u>0.94</u>	<u>5.1</u>	4.9	X : Pobre	Ejemplo comparativo	
28	d	1.4	60	6.5	0.3	1.30	0.65	2.00	2.5	33	O:Buena	Ejemplo de la invención	

ES 2 744 905 T3

[Tabla 5]

Tabla 5

Tipo de Acero	Composición química (% en masa)										Note
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N	
k	0.012	0.32	0.94	0.023	0.003	8.5	17.9	-	-	0.03	Ejemplo comparativo
l	0.019	0.42	0.88	0.013	0.001	12.5	17.4	2.15	-	0.02	Ejemplo comparativo
m	0.021	0.61	0.38	0.031	0.002	13.3	18.5	1.41	2.13	0.01	Ejemplo comparativo
n	0.042	0.72	0.97	0.019	0.001	19.2	24.8	-	-	0.03	Ejemplo comparativo
o	0.030	0.45	0.55	0.025	0.004	11.2	<u>15.6</u>	-	-	0.02	Ejemplo comparativo
p	0.057	0.33	0.99	0.040	0.007	8.7	18.4	-	-	0.05	Ejemplo comparativo
q	0.043	0.75	0.57	0.028	0.005	12.9	17.3	2.05	-	0.07	Ejemplo comparativo
r	0.057	0.36	0.80	0.032	0.004	4.4	24.4	1.93	-	0.06	Ejemplo comparativo

[Tabla 6]

Tabla 6

Muestra No.	Tipo de Acero	Tratamiento de electrolización	Relación (OO/OH) (relación de intensidad)	Relación (Cr/Fe) (relación de intensidad)	Relación (OO/OH)/(Cr/Fe) (relación de intensidad)	Nota
29	k	Si	1.02	0.75	1.36	
30	k	No	0.37	1.87	0.20	Ejemplo Comparativo
31	l	Si	1.05	0.81	1.30	Ejemplo Comparativo
32	l	No	0.41	2.03	0.20	Ejemplo Comparativo
33	m	Si	1.06	0.78	1.36	Ejemplo Comparativo
34	n	Si	1.05	0.94	1.12	Ejemplo Comparativo
35	o	Si	1.07	0.68	1.57	Ejemplo Comparativo
36	p	Si	1.05	0.74	1.42	Ejemplo Comparativo
37	q	Si	1.01	0.83	1.22	Ejemplo Comparativo
38	r	Si	1.04	0.89	1.17	Ejemplo Comparativo

[Tabla 7]

Tabla 7

Muestra No.	Densidad de corriente máxima en (2) ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Densidad de corriente máxima en (9) ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Clásificación	Nota
29	3.1	3.6	O:Buena	Ejemplo Comparativo
30	<u>5.4</u>	<u>5.2</u>	X : Pobre	Ejemplo Comparativo
31	3.1	3.4	O:Buena	Ejemplo Comparativo
32	<u>5.5</u>	<u>5.2</u>	X : Pobre	Ejemplo Comparativo
33	3.2	3.6	O:Buena	Ejemplo Comparativo
34	2.8	3.7	O : Buena	Ejemplo Comparativo
35	3.6	<u>8.5</u>	X : Pobre	Ejemplo Comparativo
36	3.0	3.7	O:Buena	Ejemplo Comparativo
37	2.9	3.6	O:Buena	Ejemplo Comparativo
38	2.8	3.6	O:Buena	Ejemplo Comparativo

REIVINDICACIONES

1. Un acero inoxidable para una celda de combustible, que comprende un recubrimiento que se forma sobre una superficie de un acero inoxidable que tiene una composición que incluye, en términos de porcentaje en masa, C: 0.03% o menos, Si: 1.0% o menos, Mn: 1.0% o menos, S: 0.01% o menos, P: 0.05% o menos, Al: 0.20% o menos, N: 0.03% o menos, Cr: 20 a 40%, al menos uno seleccionado de Nb, Ti, y Zr, en total: 1.0% o menos, opcionalmente 1.0% o menos de cada uno de Ni, Cu, V y W, opcionalmente 0.1% o menos de cada uno de Ca, Mg, Metales de tierras raras y B, opcionalmente Mo: 4.0% o menos, y siendo lo restante Fe e impurezas inevitables, al realizar un tratamiento de electrolización anódica en una solución electrolítica que tiene una concentración de sulfato de sodio de 0.1 a 3.0 mol/L y un pH de 7 o menos a un potencial de 0.5 V vs. SHE o más durante 10 segundos o más, y que tiene una relación de intensidad [(OO/OH)/(Cr/Fe)] de 1.0 o más determinada mediante análisis por espectroscopía de fotoelectrones de rayos X, en el que:

OO es el contenido de oxígeno que toma la forma de un óxido metálico;

OH es el contenido de oxígeno que toma la forma de un hidróxido metálico;

Cr y Fe en Cr/Fe se calculan utilizando solo las señales de un estado de óxido o hidróxido del recubrimiento separando los espectros de Fe2p y Cr2p en los máximos de metales y los máximos de óxidos o hidróxidos y eliminando los máximos metálicos de los máximos completos

2. El acero inoxidable para una celda de combustible de acuerdo con la reivindicación 1, para el cual el tratamiento de electrolización anódica se realiza a un potencial de 0.8 a 1.8 V frente a SHE durante 10 segundos o más.

3. Un método para producir un acero inoxidable para una celda de combustible, que comprende realizar un tratamiento de electrolización anódica en un acero inoxidable que contiene, en términos de porcentaje en masa, C: 0.03% o menos, Si: 1.0% o menos, Mn: 1.0% o menos, S: 0.01% o menos, P: 0.05% o menos, Al: 0.20% o menos, N: 0.03% o menos, Cr: 20 a 40%, al menos uno seleccionado de Nb, Ti y Zr, en total: 1.0% o menos, opcionalmente 1.0% o menos de cada uno de Ni, Cu, V y W, 0.1% o menos de cada uno de Ca, Mg, Metales de tierras raras y B, Mo: 4.0% o menos, y el resto es Fe e impurezas inevitables, en el que el tratamiento de electrolización anódica se realiza en una solución electrolítica que tiene una concentración de sulfato de sodio de 0.1 a 3.0 y un pH de 7 o menos a un potencial de 0.5 V vs. SHE o más durante 10 segundos o más largo y formando un recubrimiento que tiene una relación de intensidad [(OO/OH)/(Cr/Fe)] de 1.0 o más determinada por análisis de espectroscopia de fotoelectrones de rayos X en una superficie de acero inoxidable, y en el que:

OO es el contenido de oxígeno que toma la forma de un óxido metálico;

OH es el contenido de oxígeno que toma la forma de un hidróxido metálico;

Cr y Fe en Cr/Fe se calculan utilizando solo las señales de un estado de óxido o hidróxido del recubrimiento separando los espectros de Fe2p y Cr2p en los máximos de metales y los máximos de óxidos o hidróxidos y eliminando los máximos metálicos de los máximos completos.

4. El método para producir un acero inoxidable para una celda de combustible de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el tratamiento de electrolización anódica se realiza a un potencial de 0.8 a 1.8 V frente a SHE durante 10 segundos o más.

FIG. 1

