

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 606 207**

51 Int. Cl.:

H01M 8/021	(2006.01)
C22C 38/00	(2006.01)
C22C 38/18	(2006.01)
C22C 38/50	(2006.01)
C21D 8/02	(2006.01)
C21D 6/00	(2006.01)
H01M 8/10	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.11.2012 PCT/JP2012/007626**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **06.06.2013 WO13080533**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.11.2012 E 12853172 (0)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.09.2016 EP 2770567**

54 Título: **Acero inoxidable para separadores de pilas de combustibles**

30 Prioridad:

30.11.2011 JP 2011261797

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.03.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**NAGOSHI, MASAYASU;
IDE, SHINSUKE;
ISHIKAWA, SHIN y
MAKIISHI, NORIKO**

74 Agente/Representante:

FÚSTER OLAGUIBEL, Gustavo Nicolás

ES 2 606 207 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 separadores de pilas de combustible.

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un acero inoxidable para separadores de pilas de combustible con excelentes características de resistencia de contacto superficial (denominada en lo sucesivo resistencia de contacto).

10 Técnica anterior

Desde el punto de vista de la conservación del medio ambiente mundial, se están desarrollando pilas de combustible que tienen una alta eficiencia de generación de energía eléctrica y no emiten dióxido de carbono. Las pilas de combustible generan electricidad a través de una reacción del hidrógeno con el oxígeno. Una pila de combustible tiene, básicamente, una estructura de emparedado e incluye una membrana de electrolito (membrana de intercambio iónico), dos electrodos (un electrodo de combustible y un electrodo de aire), capas de difusión para el hidrógeno y el oxígeno (aire), y dos separadores. Se han desarrollado varias pilas de combustible, en términos de tipos del electrolito usado, tales como pilas de combustible de ácido fosfórico, pilas de combustible de carbonato fundido, pilas de combustible de óxido sólido, pilas de combustible alcalinas y pilas de combustible de polímero sólido.

Entre estas pilas de combustible, en comparación con las pilas de combustible de carbonato, las pilas de combustible de ácido fosfórico y similares, las pilas de combustible de polímero sólido tienen de forma ventajosa (1) una temperatura de funcionamiento significativamente baja de aproximadamente 80 °C, (2) pueden tener un cuerpo principal de batería ligero y pequeño, y (3) tienen un tiempo de transitorio corto, una eficiencia de combustible alta y una densidad de salida alta. De este modo, las pilas de combustible de polímero sólido son un tipo de pilas de combustible que reciben la mayor atención actualmente como fuentes de energía incorporadas para vehículos eléctricos y fuentes de energía distribuidas compactas para uso en el hogar (generadores eléctricos compactos de tipo estacionario) y para uso portátil.

Las pilas de combustible de polímero sólido, en sus principios de funcionamiento, generan electricidad a partir de hidrógeno y oxígeno a través de una membrana de polímero. Las pilas de combustible de polímero sólido tienen una estructura como se ilustra en la fig.1. Las pilas de combustible de polímero sólido ilustradas en la figura 1 incluyen un conjunto de membrana-electrodo (MEA con un grosor de varias decenas a varios cientos de micrómetros) 1 dispuesto entre capas de difusión de gas 2 y 3 formada cada una de una tela de carbono o similar, dispuesta entre los separadores 4 y 5. El conjunto de membrana-electrodo (MEA) 1 se compone de una membrana de polímero y un material de electrodo, como el negro de carbón que lleva un catalizador de platino, estando ambos integrados en los lados frontal y posterior de la membrana de polímero. Esta es una pila de unidad, es decir una sola pila y genera fuerza electromotriz entre los separadores 4 y 5. Aquí, las capas de difusión de gas a menudo se integran con el MEA. Varias decenas a varios centenares de tales pilas individuales están conectadas en serie para formar un apilamiento de pilas de combustible en el uso práctico.

Cada uno de los separadores sirve como una partición entre las pilas individuales y también debe tener funciones de (1) un conductor que lleva electrones generados, (2) un canal para el oxígeno (aire) o hidrógeno (un canal de aire 6 o un canal de hidrógeno 7 en la fig. 1), y (3) un canal para agua y gas de escape (el canal de aire 6 o el canal de hidrógeno 7 en la fig. 1).

Para desarrollar pilas de combustible de polímero sólido para el uso práctico, los separadores que se usen deben tener una alta durabilidad y electroconductividad. Algunas pilas de combustible de polímero sólido usadas de forma práctica hasta ahora incluyen separadores formados de un material carbonoso, tal como el grafito. Sin embargo, tales separadores carbonosos tienen la desventaja de que son susceptibles de romperse por el impacto, son difíciles de reducir en tamaño y requieren altos costes de procesamiento para la formación de canales. En particular, los altos costes son el mayor obstáculo para la difusión de pilas de combustible. Por lo tanto, se han hecho intentos de uso de materiales metálicos, tales como aleaciones de titanio, en particular acero inoxidable, en lugar de materiales carbonosos.

La Literatura de patente 1 divulga una técnica para el uso de un metal que puede formar fácilmente una película de pasivación para un separador. Sin embargo, la formación de una película de pasivación da como resultado una alta resistencia de contacto y baja eficiencia de generación de energía eléctrica. Por lo tanto, se han señalado como problemas a resolver que dicho material metálico tiene una resistencia de contacto mayor que los materiales carbonosos y baja resistencia a la corrosión.

Para resolver los problemas, la Literatura de patente 2 divulga una técnica para revestir una superficie de un separador metálico, por ejemplo, formado de SUS 304, con oro para reducir la resistencia de contacto y aumentar la producción. Sin embargo, es difícil prevenir la formación de un agujero de un poro en un revestimiento fino de oro. Un revestimiento grueso de oro requiere un mayor coste.

La Literatura de patente 3 divulga un procedimiento para dispersar un polvo de carbono en un sustrato de acero inoxidable ferrítico para fabricar un separador con una electroconductividad mejorada. Sin embargo, el tratamiento de superficie de un separador usando un polvo de carbono también es caro. También se ha señalado como problema que un posible daño producido en un separador con tratamiento superficial durante el montaje deteriora significativamente la resistencia a la corrosión del separador.

En tales situaciones, el mismo solicitante presentó la Literatura de patente 4, que divulga una técnica para usar directamente un acero inoxidable tal como es y controlar su perfil de superficie para lograr una resistencia de contacto baja y una resistencia a la corrosión alta. En la Literatura de patente 4 se describe una lámina de acero inoxidable con un intervalo de pico promedio de 0,3 μm o inferior en su perfil de rugosidad superficial y puede tener una resistencia de contacto de 20 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ o inferior. Esta técnica ha hecho posible proporcionar un material de separador de pilas de combustible hecho de un acero inoxidable. En el diseño de pilas de combustible, sin embargo, hay una demanda de mejora adicional en las características de resistencia de contacto y es deseable tener consistentemente una resistencia de contacto de 10 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ o inferior.

En las pilas de combustible, la resistencia de contacto de un electrodo positivo (electrodo de aire) sometido a un alto potencial eléctrico tiende a aumentar debido a la degradación de la superficie. Por lo tanto, es necesario que un separador mantenga una resistencia de contacto de 10 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ o inferior durante mucho tiempo en el entorno de funcionamiento.

Un porcentaje de área mayor de una sección con una rugosidad superficial predeterminada sobre el acero inoxidable es ventajosa para las características descritas anteriormente. Sin embargo, la fabricación de una lámina de acero inoxidable con un alto porcentaje de área de una sección con una rugosidad superficial predeterminada requiere un estricto control de las condiciones de fabricación y control de calidad, lo que da como resultado una lámina de acero inoxidable cara. Por lo tanto, es preferible industrialmente lograr el rendimiento deseado cuando el porcentaje de área de una sección con una rugosidad superficial predeterminada es menor al 100%, pero superior a un cierto porcentaje.

La Literatura de patente 5 divulga un acero inoxidable que contiene Mo con una resistencia de contacto superficial baja para separadores de pilas de combustible. El porcentaje de área de una región con una estructura de textura fina (micropit) en la superficie del acero es 50% o superior. Sin embargo, un estudio realizado por los presentes inventores muestra que tal estructura texturizada compuesta principalmente de hoyos no tiene una resistencia de contacto baja durante mucho tiempo.

En general, los separadores de pilas de combustible se forman por conformación en prensa de un material laminado. Es deseable que la resistencia de contacto no aumente significativamente por deslizamiento en contacto con un troquel de trabajo de prensado. En las Literaturas de patente 2 o 3 en las que se forma una película sobre una superficie, la película se separa en parte mediante el procesamiento y la sección separada debe someterse a un tratamiento por lotes después del trabajo de prensado. Esta aumenta desfavorablemente el número de procesos, reduce la eficiencia de la producción y aumenta el coste del separador. La Literatura de patente 6 se refiere a un material metálico para un miembro conductor con una resistencia a la corrosión excelente y una resistencia de contacto pequeña, específicamente a un material metálico, tales como acero inoxidable, titanio (titanio puro industrial, denominado en lo sucesivo «titanio») y aleación de titanio, los cuales tienen una propiedad para formar fácilmente una película pasiva sobre los mismos; un separador para una pila de combustible de membrana de intercambio de protones usando los mismos; y una pila de combustible de membrana de intercambio de protones usando el separador.

Lista de referencias

Literatura de patente

PTL 1: Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada N.º 8-180883
 PTL 2: Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada N.º 10-228914
 PTL 3: Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada N.º 2000-277133
 PTL 4: Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada N.º 2005-302713
 PTL 5: Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada N.º 2007-26694
 PTL 6: EP 1 726 674 A1

Resumen de la invención

Problema Técnico

La presente invención se ha realizado en vista de tales situaciones, y es un objetivo de la presente invención proporcionar un acero inoxidable con una resistencia de contacto superficial baja para separadores de pilas de combustible.

Solución al problema

Los autores de la presente invención estudiaron exhaustivamente un procedimiento para mejorar las características de resistencia de contacto superficial (denominado en lo sucesivo características de resistencia de contacto) de un acero inoxidable para separadores de pilas de combustible y el mantenimiento de la resistencia de contacto superficial durante mucho tiempo a través del control de la textura de la superficie del acero inoxidable, incluso cuando el porcentaje de área de una sección cuya estructura superficial controlada es inferior al 100%. Como resultado, los autores de la presente invención obtuvieron los siguientes resultados.

Las características de resistencia de contacto superficial del acero dependen en gran medida de las asperezas superficiales finas y mejoran de manera efectiva mediante la optimización de las asperezas superficiales finas. Para mejorar las características de resistencia de contacto superficial, es decir, reducir la resistencia de contacto superficial de una superficie de acero, es necesario proporcionar a la superficie del acero una región con una estructura de textura fina que incluya un intervalo promedio de secciones deprimidas o secciones elevadas de 20 nm o superior y 150 nm o inferior (una separación promedio de asperezas finas) y tener un porcentaje de área de la región con un cierto porcentaje o superior. Aquí, en la estructura de textura fina, la diferencia de altura entre la parte inferior de una sección deprimida y la parte superior de una sección elevada adyacente a la sección deprimida es 15 nm o superior.

El porcentaje de área de la región con tal estructura de textura fina debe incrementarse para tener las características de resistencia de contacto superficial durante más tiempo.

Los autores de la presente invención encontraron que cuando al menos la parte superior de una estructura de textura fina de acero tiene una estructura de pirámide triangular, la resistencia de contacto superficial del acero se reduce más y rara vez aumenta en el entorno de funcionamiento, y el acero tiene una resistencia de contacto baja durante mucho tiempo y una mayor durabilidad.

Los autores de la presente invención también encontraron que, además de la estructura de textura fina, las estructuras de saliente trapezoidales en el orden de micrómetros proporcionadas en una superficie de acero pueden suprimir significativamente un aumento de la resistencia de contacto debido al deslizamiento durante el procesamiento del acero.

La presente invención está basada en estos hallazgos y tiene las siguientes características.

[1] Un acero inoxidable con una resistencia de contacto superficial baja para separadores de pilas de combustible y un contenido de Cr en el intervalo de 16 a 40% en masa, en el que el acero inoxidable incluye una región con una estructura de textura fina en su superficie, siendo el porcentaje de área de la región del 50% o superior. La región con una estructura de textura fina es una región con una estructura con secciones deprimidas y secciones elevadas a un intervalo de promedio entre las secciones deprimidas o las secciones elevadas de 20 nm o superior y 150 nm o inferior cuando se observa con un microscopio electrónico de barrido, la estructura de textura fina con una diferencia de altura entre la parte inferior de una sección deprimida y la parte superior de una sección elevada adyacente a la sección deprimida siendo 15 nm o superior.

[2] El acero inoxidable con una resistencia de contacto superficial baja para separadores de pilas de combustible de acuerdo con [1], en el que el porcentaje de área es 80% o superior.

[3] El acero inoxidable con una resistencia de contacto superficial baja para separadores de pilas de combustible de acuerdo con [1] o [2], en los que las secciones elevadas de la estructura de textura fina tienen una parte superior piramidal triangular con un ángulo promedio de 80 grados o superior y 100 grados o inferior.

[4] El acero inoxidable con una resistencia de contacto superficial baja para separadores de pilas de combustible de acuerdo con [3], en el que las partes superiores piramidales triangulares de las secciones elevadas están dispuestas a un intervalo promedio de 100 nm o inferior.

[5] El acero inoxidable con una resistencia de contacto superficial baja para separadores de pilas de combustible de acuerdo con [3] o [4], en los que el acero inoxidable incluye estructuras de saliente trapezoidales con una altura promedio de 0,15 μm o superior y 2 μm o inferior y un diámetro promedio de 3 μm o superior y 50 μm o inferior, el porcentaje de área de las estructuras de saliente trapezoidales dispersas siendo 5% o superior y 30% o inferior.

[6] El acero inoxidable con una resistencia de contacto superficial baja para separadores de pilas de combustible de acuerdo con [5], en el que las estructuras de saliente trapezoidales se corresponden con los granos de cristal del acero inoxidable.

Ventajas de la invención

La presente invención proporciona un acero inoxidable con una resistencia de contacto superficial baja para separadores de pilas de combustible. Un acero inoxidable para separadores de pilas de combustible de acuerdo con la presente invención tiene buenas características de resistencia de contacto superficial. Un acero inoxidable para separadores de pilas de combustible de acuerdo con la presente invención puede mantener la resistencia de contacto superficial durante mucho tiempo y tiene gran utilidad práctica. Un aumento en la resistencia de contacto de un acero inoxidable para separadores de pilas de combustible de acuerdo con la presente invención puede minimizarse incluso después del procesamiento, como el trabajo de prensado, del acero inoxidable. Según la presente invención se puede utilizar un acero inoxidable como separador en lugar de un revestimiento conocido de

carbono u oro costoso para la fabricación de pilas de combustible de bajo coste y de ese modo fomentar la difusión de pilas de combustible.

Breve descripción de los dibujos

- 5 [Figura 1] La fig. 1 es una vista esquemática que muestra la estructura básica de una pila de combustible.
 [Figura 2] La fig. 2 es una imagen que muestra el resultado de una observación con microscopio electrónico de barrido de una superficie de SUS 304L en la que se forma una región con una estructura de textura fina de acuerdo con el ejemplo 2 de la presente invención.
- 10 [Figura 3] La fig. 3 es una imagen que muestra el resultado de una observación con microscopio electrónico de barrido de una superficie de SUS 443CT en la que se forma una región con una estructura de textura fina de acuerdo con el ejemplo 11 de la presente invención.
 [Figura 4] La fig. 4 es una imagen que muestra el resultado de una observación con microscopio electrónico de barrido de una superficie de SUS 304L en la que se forma una región con una estructura de textura fina.
- 15 [Figura 5] La fig. 5 es un gráfico que muestra la relación entre la separación promedio de asperezas finas, el porcentaje de área de una región con una estructura de textura fina y la resistencia de contacto superficial según la presente invención.
 [Figura 6] La fig. 6 es un gráfico que muestra la relación entre la separación promedio de asperezas finas, el porcentaje de área de una región con una estructura de textura fina y la resistencia de contacto superficial según la presente invención.
- 20 [Figura 7] La fig. 7 es una imagen que muestra el resultado de una observación con microscopio electrónico de barrido de una superficie de estructura con textura fina de SUS 443CT con secciones piramidales triangulares elevadas de acuerdo con el ejemplo 20 de la presente invención.
 [Figura 8] La fig. 8 es una imagen que muestra el resultado de una observación con microscopio electrónico de transmisión de una sección transversal de estructura de textura fina de SUS 443CT con secciones piramidales triangulares elevadas de acuerdo con el ejemplo 20 de la presente invención.
- 25 [Figura 9] La fig. 9 es una imagen que muestra un resultado de medición del perfil de superficie de una superficie con estructuras de saliente trapezoidales de SUS 443CT de acuerdo con el ejemplo 36 de la presente invención.
 [Figura 10] La fig. 10 es una imagen que muestra un resultado de medición del perfil de superficie de una superficie de lámina de acero pulida de SUS 443CT que no tiene estructuras de saliente trapezoidales.
- 30 [Figura 11] La fig. 11 es una imagen que muestra un resultado de medición del perfil de superficie de una superficie de lámina de SUS 443CT con estructuras de saliente trapezoidales de acuerdo con el ejemplo 20 de la presente invención.
 [Figura 12] La fig. 12 es una imagen que muestra un resultado de medición del perfil de superficie de una superficie de lámina de SUS 443CT con estructuras de saliente trapezoidales de acuerdo con el ejemplo 26 de la presente invención.
- 35 [Figura 13] La fig. 13 es una imagen que muestra un resultado de observación con microscopio electrónico de barrido de una superficie de SUS 443CT con estructuras de saliente trapezoidales de acuerdo con el ejemplo 19 visto con un ángulo oblicuo. Las estructuras de saliente trapezoidales se indican mediante una flecha. La observación de ampliación alta muestra estructuras de saliente finas piramidales triangulares en la superficie.

Descripción de modos de realización

La presente invención se describirá más adelante en detalle.

En primer lugar, a continuación se describirá un acero inoxidable al que va dirigido la presente invención.

Un acero inoxidable de acuerdo con la presente invención usado como un material no se limita a un tipo particular de acero, con la condición de que el acero inoxidable tenga la resistencia a la corrosión requerida en el entorno de funcionamiento de las pilas de combustible. Para tener la resistencia a la corrosión esencial, el contenido de Cr debe ser 16% en masa o superior. Un contenido de Cr inferior al 16% en masa da como resultado un separador con insuficiente durabilidad para el uso a largo plazo. El contenido de Cr es preferentemente un 18% en masa o superior. Un contenido de Cr de más del 40% en masa da como resultado un coste excesivamente superior del acero inoxidable. Por lo tanto, el contenido de Cr es un 40% en masa o inferior.

Los otros componentes y sus concentraciones no están particularmente limitados. Un acero inoxidable según la presente invención puede contener los siguientes elementos suficientes para el uso práctico o para mejorar su resistencia a la corrosión.

C: 0,03% o inferior

C se combina con el cromo en el acero inoxidable y precipita carburo de cromo en los límites de grano, por lo que C puede afectar negativamente a la resistencia a la corrosión del acero inoxidable. Por lo tanto, el contenido de C se reduce preferentemente. La resistencia a la corrosión no se deteriora de manera significativa con un contenido de C de 0,03% o inferior. Por lo tanto, el contenido de C es preferentemente 0,03% o inferior, más preferentemente 0,015% o inferior.

ES 2 606 207 T3

Si: 1,0% o inferior

5 Si es un elemento eficaz para la desoxidación y se añade al acero inoxidable en un proceso de fundición. La adición de una cantidad excesiva de Si, sin embargo, causa el endurecimiento de una lámina de acero inoxidable y puede reducir la ductilidad. Por lo tanto, el contenido de Si es preferentemente 1,0% o inferior.

Mn: 1,0% o inferior

10 En combinación con azufre incidental, Mn es un elemento eficaz para la reducción de azufre disuelto en forma de sólido-soluto en el acero inoxidable, suprimiendo la segregación del azufre en los límites de grano y previniendo la formación de grietas en una lámina de acero durante la laminación en caliente. Sin embargo, la adición de más de 1,0% de Mn no mejora significativamente estos efectos. Tal adición excesiva aumenta el coste del acero inoxidable. Por lo tanto, el contenido de Mn es preferentemente 1,0% o inferior.

15 S: 0,01% o inferior

20 S se combina con manganeso y forma sulfuro de manganeso, deteriorando con ello la resistencia a la corrosión. Por lo tanto, el contenido de S es preferentemente bajo. Un contenido de S de 0,01% o inferior no deteriora significativamente la resistencia a la corrosión. Por lo tanto, el contenido de S es preferentemente 0,01% o inferior.

P: 0,05% o inferior

25 Puesto que P deteriora la ductilidad del acero inoxidable, es deseable reducir P. Sin embargo, un contenido de P de 0,05% o inferior no deteriora significativamente la ductilidad del acero inoxidable. Por lo tanto, el contenido de P es preferentemente 0,05% o inferior.

Al: 0,20% o inferior

30 Al se usa como elemento de desoxidación. Sin embargo, un contenido excesivo de Al da como resultado una ductilidad baja del acero inoxidable. Por lo tanto, el contenido de Al es preferentemente 0,20% o inferior.

N: 0,03% o inferior

35 N es un elemento eficaz para suprimir la corrosión local, tal como la corrosión por fisura, del acero inoxidable. Sin embargo, la adición de más de 0,03% de N al acero inoxidable en un proceso de fundición tarda mucho tiempo, reduce la productividad del acero inoxidable y puede deteriorar la conformabilidad del acero. Por lo tanto, el contenido de N es preferentemente 0,03% o inferior.

40 Al menos una unidad de Ni: 20% o inferior, Cu: 0,6% o inferior, y Mo: 2,5% o inferior de Ni: 20% o inferior

Ni es un elemento que estabiliza la fase austenita y se añade en la fabricación de un acero inoxidable austenítico. Un contenido de Ni de más de 20% da como resultado un aumento del coste del acero inoxidable debido al consumo excesivo de Ni. Por lo tanto, el contenido de Ni es preferentemente 20% o inferior.

45 Cu: 0,6% o inferior

50 Cu es un elemento eficaz para mejorar la resistencia a la corrosión del acero inoxidable. Sin embargo, un contenido de Cu de más de 0,6% puede provocar una disminución de procesabilidad en caliente y puede causar una productividad baja. Además, la adición de una cantidad excesiva de Cu aumenta el coste del acero inoxidable. Por lo tanto, el contenido de Cu es preferentemente 0,6% o inferior.

Mo: 2,5% o inferior

55 Mo es un elemento eficaz para suprimir la corrosión local, tal como la corrosión por fisura, del acero inoxidable. Por lo tanto, la adición de Mo es eficaz en los casos en los que el acero inoxidable se usa en un ambiente agresivo. Sin embargo, un contenido de Mo de más de 2,5% puede dar como resultado una fragilización del acero inoxidable, baja productividad y un aumento del coste del acero inoxidable debido al consumo excesivo de Mo. Por lo tanto, el contenido de Mo es preferentemente 2,5% o inferior.

60 Contenido total de Nb, Ti y/o Zr de 1,0% o inferior

65 Además de los elementos descritos anteriormente, un acero inoxidable de acuerdo con la presente invención puede contener al menos una unidad de Nb, Ti y Zr para mejorar la resistencia a la corrosión intergranular. Sin embargo, el contenido total de Nb, Ti, Zr y de más de 1,0% puede dar como resultado una ductilidad baja. Además, para evitar un aumento de coste debido a la adición de estos elementos, el contenido total de Ti, Nb, Zr y es preferentemente 1,0% o inferior, cuando se añaden estos elementos.

El resto son Fe e impurezas incidentales.

A continuación se describirán las características necesarias de un acero inoxidable para separadores de acuerdo con la presente invención. Un acero inoxidable según la presente invención incluye una región con una estructura de textura fina con un intervalo promedio entre las secciones deprimidas o secciones elevadas (distancia promedio entre asperezas finas) de 20 nm o superior y 150 nm o inferior (también denominada simplemente en lo sucesivo «región con una estructura de textura fina») en su superficie cuando se observa con un microscopio electrónico de barrido (también denominado en lo sucesivo SEM). El porcentaje de área de la región con una estructura de textura fina es 50% o superior, preferentemente 80% o superior. En la estructura de textura, la diferencia de altura entre la parte inferior de una sección deprimida y la parte superior de una sección elevada adyacente a la parte deprimida es 15 nm o superior. Un intervalo de promedio superior definido por encima de su límite superior o un porcentaje de área superior definido por debajo de su límite inferior da como resultado una reducción insuficiente de la resistencia de contacto del acero inoxidable. Esto es probablemente debido a una disminución del número de puntos de contacto. Un intervalo promedio de menos de 20 nm no es deseable en términos de durabilidad. En una prueba de durabilidad para estimar la durabilidad llevada a cabo en un entorno de funcionamiento de pilas de combustible, se descubrió que con el tiempo se formó materia extraña sobre la superficie del acero inoxidable y aumentó la resistencia de contacto del acero inoxidable. Esto es probablemente porque cuando una estructura texturizada es excesivamente fina, la resistencia de contacto es susceptible a la formación de materia extraña.

La durabilidad del acero inoxidable mejora aún más cuando las secciones elevadas de la estructura de textura fina tienen una parte superior piramidal triangular con un ángulo promedio de 80 grados o superior y 100 grados o inferior. El ángulo promedio se refiere al promedio de los ángulos en la parte superior de tres planos que forman la parte superior de la pirámide triangular. En la presente invención, los tres planos se corresponden en general con planos 110 de cristal cúbico. En tal caso, los ángulos en los tres planos son de aproximadamente 90 grados y el ángulo promedio es de aproximadamente 90 grados ($= (90 + 90 + 90)/3$). La parte superior de la forma de la pirámide triangular no tiene que ser necesariamente afilada a nivel atómico. La fig. 8 muestra un ejemplo de salientes piramidales triangulares en una sección transversal de un acero inoxidable.

La ventaja de la estructura de pirámide triangular en la parte superior de cada sección elevada es probablemente como sigue, aunque la presente invención no se limita al siguiente mecanismo.

(1) Se forma una capa oxidada con un grosor de varios nanómetros en un acero inoxidable. A pesar de ser delgada, la capa oxidada puede ser un factor que aumenta la resistencia de contacto del acero inoxidable. Por lo tanto, es deseable que dicha capa oxidada se rompa cuando la superficie del acero inoxidable entra en contacto con, por ejemplo, un papel de carbón opuesto en una pila de combustible. En particular, después de una prueba de durabilidad, el grosor o la composición de la capa oxidada se puede cambiar, y la resistencia se puede aumentar. La estructura de pirámide triangular en la parte superior del saliente tiene un radio de curvatura pequeño. Esto aumenta la presión de contacto y facilita la rotura de la película de óxido. Por lo tanto, se considera que después de la prueba de durabilidad, la resistencia de contacto del acero inoxidable se reduce.

(2) Según se describió anteriormente, con el tiempo se forma materia extraña sobre el acero inoxidable en el entorno de funcionamiento y aumenta la resistencia de contacto del acero inoxidable. Cuando la parte superior del saliente tiene la estructura de pirámide triangular, la resistencia de contacto no es susceptible a la formación de materia extraña. Incluso en presencia de una cierta cantidad de materia extraña, el aumento de la resistencia de contacto del acero inoxidable se suprime, ya que la parte de pirámide triangular es la que mantiene localmente la presión de contacto. Cuando el intervalo promedio entre las partes superiores de las secciones de pirámide triangular es 150 nm o inferior, preferentemente 100 nm o inferior, esto da como resultado un rendimiento mejorado del acero inoxidable.

La estructura de textura fina como se describe anteriormente se observa con un microscopio electrónico de barrido (SEM). El SEM usado para observar la estructura de textura fina es, aunque no en sentido limitativo, un aparato que puede proporcionar imágenes claras de electrones secundarios en un voltaje de aceleración de incidente de electrones de 5 kV o inferior, deseablemente 1 kV o inferior, y con un aumento de decenas de miles de veces. La separación promedio de asperezas finas se puede determinar a partir de tal imagen de electrones secundarios. Por ejemplo, el número de salientes finos o secciones deprimidas cruzando una línea de una longitud dada se calcula con tal SEM y la longitud se divide por el número. En el caso de las partes superiores piramidales triangulares, se cuenta el número de partes superiores piramidales triangulares en un área determinada. El intervalo promedio entre los salientes se calcula simplemente mediante $1000/(N^{0.5})$ nm, en donde N indica el número de partes superiores por micrómetro cuadrado. Alternativamente, la distancia entre las partes elevadas y la distancia de pico a pico se puede determinar a partir de una imagen transformada de Fourier. El promedio de los ángulos en la parte superior de tres planos que forman la parte superior de la pirámide triangular es 80 grados o superior y 100 grados o inferior. Aquí, los ángulos en la parte superior de tres planos son ángulos vistos en una dirección perpendicular al plano correspondiente. A continuación se muestran ejemplos de resultados de observación con SEM. La fig. 2 es una observación con SEM de una superficie de SUS 304L en la que se forma una región con una estructura de textura fina de acuerdo con un ejemplo de la presente invención que se describe a continuación. La fig. 3 es una observación con microscopio electrónico de barrido de una superficie de SUS 443CT en la que se forma una región con una estructura de textura fina de acuerdo con un ejemplo de la presente invención que se describe a continuación. La separación promedio de asperezas finas fue 25 nm en la fig. 2 y 150 nm en la fig. 3. Para fines de

comparación, la fig. 4 es una observación con microscopio electrónico de barrido de una superficie de SUS 304L en la que no se forma una región con una estructura de textura fina.

5 La fig. 7 es una observación con microscopio electrónico de barrido de una superficie de SUS 443CT en la que se forma una región con una estructura texturizada que incluye secciones elevadas de una forma de pirámide triangular de acuerdo con un ejemplo de la presente invención que se describe a continuación. En particular, la fig. 7 muestra que una estructura de textura que incluye muchas secciones elevadas de una forma de pirámide triangular con un borde afilado se forma en la superficie, a diferencia de las fig. 2 y 3. En la figura superior de la fig. 7, el número de secciones elevadas es 150 por micrómetro cuadrado. Esto corresponde a un intervalo de saliente promedio de 82
10 nm. En la presente invención, la región con una estructura de textura fina no incluye una estructura de escalón formada mediante recocido, un saliente debido a un precipitado en la superficie y un hueco en un límite de grano o grano de cristal formado mediante tratamiento térmico como se muestra en la fig. 4.

15 El intervalo promedio entre las secciones deprimidas o secciones elevadas es necesario que sea 20 nm o superior y 150 nm o inferior, preferentemente 120 nm o inferior, más preferentemente 100 nm o inferior. Se estudió la relación entre la distancia promedio de asperezas finas, el porcentaje de área de una región con una estructura de textura fina, la resistencia de contacto superficial y la resistencia de contacto superficial después de una prueba de durabilidad. El porcentaje de área se puede determinar mediante la observación con SEM y se determinó en un 100 μm cuadrado. Una región con una estructura de textura fina se muestra como una parte ligera en contraste debido al aumento de la emisión de electrones secundarios. El porcentaje de área de una región con una estructura de textura fina se determinó a través de la conversión binaria de una imagen de electrones secundarios usando software disponible comercialmente.

25 Se midieron la resistencia de contacto superficial y la resistencia de contacto superficial después de una prueba de durabilidad, al tiempo que un papel de carbón CP120 fabricado por Toray Industries, Inc. permanecía en contacto con un acero a una carga de 2 MPa (20 kgf/cm^2).

30 En una prueba de durabilidad, una muestra se sumergió en una solución de ácido sulfúrico a un pH de 3 a 0,6 V frente a un electrodo de referencia de Ag-AgCl a temperatura ambiente durante 24 horas. La fig. 5 muestra la relación entre la separación promedio de asperezas finas, el porcentaje de área de una región con una estructura de textura fina, y la resistencia de contacto superficial (antes de la prueba de durabilidad) basada en los resultados así obtenidos. A partir de la fig. 5 se descubrió la obtención de una resistencia de contacto superficial tan baja como 10 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ o inferior cuando el porcentaje de área de una región con una estructura de textura fina era del 50% o superior y la separación promedio de asperezas finas variaba de 15 a 230 nm. La fig. 6 muestra la relación entre la separación promedio de asperezas finas, el porcentaje de área de una región con una estructura de textura fina y la resistencia de contacto superficial después de la prueba de durabilidad. A partir de la fig. 6 se descubrió la obtención de una resistencia de contacto superficial tan baja como 10 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ o inferior cuando el porcentaje de área de una región con una estructura de textura fina era del 50% o superior y la separación promedio de asperezas finas variaba de 20 a 150 nm. El porcentaje de área de una región con una estructura de textura fina puede determinarse usando otro procedimiento. Por ejemplo, en el caso de que la estructura de textura fina se forme solo en cristales con una orientación cristalina particular, el área se mide de manera eficiente en cada uno de los granos de cristal.

40 Por lo tanto, para lograr una resistencia de contacto superficial lo suficientemente baja (10 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ o inferior) de un acero inoxidable, es necesario proporcionar 50% o más de superficie de acero inoxidable con una región con una estructura de textura fina que incluye asperezas finas con un intervalo promedio de 20 nm o superior y 150 nm o inferior. Cuando el porcentaje de área de la región con una estructura de textura fina es inferior al 50%, esto da como resultado un efecto insuficiente de aumento del número de puntos de contacto con un electrodo por asperezas finas del acero inoxidable y el acero inoxidable no tiene una resistencia de contacto superficial lo suficientemente bajo (10 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ o inferior).
50

Además, para mantener la resistencia de contacto superficial durante mucho tiempo en el entorno de funcionamiento de las pilas de combustible, es decir, para suprimir un aumento de la resistencia de contacto superficial en el entorno de funcionamiento de las pilas de combustible, el porcentaje de área de la región con una estructura de textura fina es 50% o superior como se describe a continuación. Aunque el motivo de esto no está claro, a continuación se expone una posible razón. En el entorno de funcionamiento, la conductividad eléctrica de una capa oxidada fina sobre una superficie de acero disminuye debido a un aumento en el grosor de la capa oxidada o a variaciones en la composición de la capa oxidada. La influencia de este efecto en la resistencia de contacto superficial es probablemente mayor en una superficie lisa sin asperezas finas que en una superficie con asperezas finas. Por lo tanto, para mantener una resistencia de contacto superficial baja en el entorno de funcionamiento, la superficie lisa se debe reducir en la medida de lo posible y se debe aumentar el porcentaje de área de la superficie con asperezas finas.
55
60

65 En los ejemplos descritos anteriormente, la estructura de textura fina tiene una forma de pendiente suave o granular fina ([fig. 2], [fig. 3]) y una estructura de textura fina que incluye secciones elevadas con una parte superior piramidal triangular ([fig. 7]) que mejoran aún más la durabilidad del acero inoxidable. El aumento de la resistencia de contacto de las muestras que tienen secciones elevadas en un intervalo promedio de 150 nm o inferior debido a que la prueba de durabilidad durante 24 horas descrita anteriormente fue significativamente menor en las muestras con

secciones elevadas de una forma de pirámide triangular que las muestras sin secciones elevadas de una forma de pirámide triangular ($2.0 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ o superior). La resistencia de contacto inicial se discernió independiente del perfil de secciones elevadas.

5 Los autores de la presente invención también estudiaron la relación entre el perfil de la superficie observada en el orden de micrómetros, la resistencia de contacto, la resistencia de contacto después de una prueba de durabilidad y la resistencia de contacto después de una prueba de deslizamiento sobre una superficie con una estructura de textura fina descrita anteriormente. Tal perfil de superficie puede medirse fácilmente con un microscopio de láser confocal o un perfilómetro interferotipo óptico. De la [fig. 9] a la [fig. 12] se muestran los perfiles de la superficie de un acero inoxidable ferrítico 443CT (un acero inoxidable ferrítico clasificado en la norma JIS SUS 443J1, por ejemplo, «JFE 443CT» fabricado por JFE Steel Corp.) medido con un perfilómetro interferotipo óptico. El tamaño del campo es de 0,35 mm x 0,26 mm. La potencia de resolución es 0,55 μm .

10 Se descubrió que aunque los ejemplos de la presente invención tienen estructuras de saliente trapezoidales en las [fig. 9] y [fig. 11], los ejemplos comparativos de la presente invención no tienen estructuras de saliente trapezoidales en las [fig. 10] y [fig. 12]. La [fig. 9] muestra un acero inoxidable pulido sometido a un tratamiento y muestra claramente la presencia de estructuras de saliente trapezoidales. La [fig. 11] muestra una lámina de acero inoxidable sometida a un tratamiento y muestra la presencia de estructuras de saliente trapezoidales superponiendo asperezas sobre las estrías en la dirección de laminado formadas durante la formación de la lámina. Una superficie de estos ejemplos después de la medición del perfil se examinó en el mismo campo con SEM y mediante un procedimiento de dispersión de difracción de electrones por retrodispersión (EBSD). Se descubrió que las estructuras de saliente trapezoidales en las [fig. 9] y [fig. 11] correspondieron a los granos de cristal en la superficie de acero inoxidable. La altura promedio de las estructuras de saliente trapezoidales, el diámetro promedio de las estructuras de saliente trapezoidales vistas en una dirección perpendicular a la superficie y el porcentaje de área de las estructuras de saliente trapezoidales se calcularon a partir de los datos obtenidos.

15 Se midieron la resistencia de contacto y la resistencia de contacto después de una prueba de durabilidad, al tiempo que un papel de carbón CP120 fabricado por Toray Industries, Inc. permanecía en contacto con un acero a una carga de 2 MPa (20 kgf/cm^2). La resistencia de contacto también se midió utilizando el mismo procedimiento después de una prueba de deslizamiento.

Los siguientes resultados se obtuvieron a partir de estos resultados.

20 - La formación de una estructura fina en un intervalo predeterminado sobre una superficie da como resultado una resistencia de contacto baja de $10 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ o inferior, como se describe anteriormente.
 35 - Cuando las estructuras de saliente trapezoidales tienen una altura promedio de 0,15 μm o superior y 2 μm o inferior y un diámetro promedio de 3 μm o superior y 50 μm o inferior cuando se ve desde la parte superior, y el porcentaje de área de las estructuras de saliente trapezoidales es 5% o superior y 30% o inferior, la resistencia de contacto del acero inoxidable es tan bajo como $10 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ o inferior incluso después de la prueba de deslizamiento.

40 El deslizamiento de un penetrador (DIE) sobre una superficie de una lámina de acero causa daños a las estructuras de textura fina en la superficie de la lámina de acero. En presencia de estructuras de saliente trapezoidales en la superficie, los salientes entran en contacto con el penetrador (DIE) después de la prueba de deslizamiento y la región dañada se limita a las estructuras de saliente trapezoidales. Por lo tanto, parece que la mayoría de las estructuras de textura fina permanecen después de la prueba de deslizamiento y mantienen la resistencia de contacto baja. Este efecto requiere la altura de 0,15 μm o superior. Las estructuras de saliente trapezoidales excesivamente altas tardan más tiempo en formarse y conllevan un coste mayor. Por lo tanto, la altura de las estructuras de saliente trapezoidales es preferentemente 2 μm o inferior. El porcentaje de área de las estructuras de saliente trapezoidales es 5% o superior y 30% o inferior. Cuando el porcentaje de área de las estructuras de saliente trapezoidales está fuera de este intervalo, la resistencia de contacto se incrementa desfavorablemente tras el procesamiento. Cuando el porcentaje de área es inferior a 5%, las estructuras de saliente trapezoidales se raspan fácilmente por deslizamiento y aumenta el área que no tiene estructura de textura fina. Cuando el porcentaje de área es superior al 30%, las estructuras de textura fina en la superficie de las estructuras de saliente trapezoidales se raspan fácilmente por deslizamiento y aumenta la resistencia de contacto. Las estructuras de saliente trapezoidales localizadas tienen poco efecto. Es deseable que las estructuras de saliente trapezoidales se dispersen uniformemente en la superficie.

45 Cuando el diámetro promedio de las estructuras de saliente trapezoidales es inferior a 3 μm , las estructuras de saliente trapezoidales colapsan fácilmente por contacto con un troquel. Cuando el diámetro promedio de las estructuras de saliente trapezoidales es superior a 50 μm , el área de contacto aumenta desfavorablemente. Por lo tanto, es deseable que el diámetro promedio de las estructuras de saliente trapezoidales sea 3 μm o superior y 50 μm o inferior. El término «estructuras de saliente trapezoidales», como se usa en el presente documento, se refiere a las regiones que son más altas que sus inmediaciones y tienen un área determinada. Las estructuras de saliente trapezoidales se pueden observar cuantitativamente usando el procedimiento de medición del perfil, como se describe anteriormente. Las estructuras de saliente trapezoidales pueden observarse cualitativamente con SEM, al tiempo que se inclina una muestra. La [fig. 13] muestra un ejemplo.

El siguiente es un ejemplo específico. El perfil de superficie se mide en un campo de 0,35 mm x 0,26 mm con un perfilómetro interferotipo óptico. En este campo, una estructura de saliente trapezoidal es una sección plana con una longitud de 2 μm o superior en al menos una de las cinco líneas rectas siendo establecida mediante medición paralela al lado largo de 0,35 mm y con una altura de al menos 0,05 μm más alta que las secciones izquierda y derecha adyacentes a la estructura de saliente trapezoidal. La parte superior de la estructura de saliente trapezoidal no es necesariamente paralela a la superficie de la muestra y no es necesariamente una superficie plana pero puede ser una superficie suavemente curvada. Además, una estructura de textura fina puede estar situada en la parte superior de la estructura de saliente trapezoidal. La altura de una estructura de saliente trapezoidal individual es una diferencia entre la altura promedio de 10 puntos en una sección plana de la estructura de saliente trapezoidal dispuesta sobre líneas rectas para la medición y la altura promedio de 5 puntos sobre líneas rectas para la medición en las secciones izquierda y derecha adyacentes a la estructura de saliente trapezoidal que no tiene una estructura de saliente trapezoidal. La altura promedio es el promedio de las alturas de todas las estructuras de saliente trapezoidales dispuestas en líneas rectas para la medición. El diámetro de una estructura de saliente trapezoidal individual es la longitud de una línea recta proyectada en la superficie de la muestra que corresponde a una sección plana de la estructura de saliente trapezoidal dispuesta sobre la línea recta. El diámetro promedio de las estructuras de saliente trapezoidales es el promedio de los diámetros de todas las estructuras de saliente trapezoidales dispuestas sobre líneas rectas que se usan para la medición. El porcentaje de área es la relación entre el diámetro total de las estructuras de saliente trapezoidales (el total de las longitudes de las partes superiores de las secciones planas de las estructuras de saliente trapezoidales) dispuestas sobre líneas rectas para la medición y la longitud de las líneas de medición (0,35 mm x 5). Si tres estructuras de saliente trapezoidales en el campo de observación se disponen sobre cinco líneas rectas, cada una con una longitud de 0,35 mm (350 μm) y con diámetros (las longitudes de las partes superiores de las secciones planas) de 20, 30 y 10 μm , el diámetro promedio es 20 μm $((20 + 30 + 10)/3)$ y el porcentaje de área es 3,4% $((20 + 30 + 10)/(350 \times 5))$.

A continuación se describe un procedimiento para la fabricación de un acero inoxidable de acuerdo con la presente invención con una resistencia de contacto superficial baja para separadores de pilas de combustible. Los siguientes son condiciones de fabricación adecuadas no limitantes.

Una losa con una composición adecuada se calienta a una temperatura de 1100 °C o superior y se lamina en caliente. La losa de laminado en caliente se recuece a una temperatura en el intervalo de 800 °C a 1100 °C y se lamina en frío y se recuece repetidamente para formar un acero inoxidable. La lámina de acero inoxidable tiene preferentemente un grosor en el intervalo de aproximadamente 0,02 a 0,8 mm. La lámina de acero inoxidable se somete a continuación a un recocido final y además, preferentemente, a tratamiento electrolítico y acidificación. Se puede usar ácido sulfúrico acuoso en el tratamiento electrolítico. En la acidificación se puede usar la inmersión en una solución de ácido fluorhídrico, por ejemplo. La formación y el ajuste del porcentaje de área de una región con una estructura de textura fina puede llevarse a cabo mediante el cambio de condiciones (la concentración y el tipo de la solución, la temperatura y el tiempo de inmersión) para estos tratamientos, en particular, la acidificación.

Las secciones elevadas de una forma de pirámide triangular se pueden formar mediante cualquier procedimiento. Es deseable usar la dependencia de orientación cristalina de grabado con una solución ácida, ya que puede tratar un amplio área sin usar un método complicado (tal como irradiación de iones). Los autores de la presente invención descubrieron que una forma de pirámide triangular se puede formar en una área amplia sobre una superficie mediante el control de las condiciones de orientación cristalina y de grabado. En un acero inoxidable ferrítico, las secciones elevadas de una forma de pirámide triangular compuesta de (001) micro facetas se pueden formar de granos de cristal, en las que la orientación perpendicular a la superficie está cerca de ND <111>, a una densidad alta. Aunque las secciones elevadas de una forma de pirámide triangular pueden estar formadas de facetas de cristal con una orientación diferente, el número de secciones elevadas es menor en este caso que en el caso de los granos de cristal con la orientación cerca de ND <111>. Por lo tanto, la laminación se lleva a cabo de tal manera que la textura contiene muchos granos de cristal en los que la orientación perpendicular a la superficie está cerca de ND <111>. Tal textura puede observarse fácilmente mediante la observación de la textura y obteniendo imágenes de dispersión de difracción de electrones por retrodispersión (EBSD). Es deseable que las secciones elevadas de una forma de pirámide triangular compuesta por (001) micro facetas se forme mediante la reducción de Fe en una solución de pretratamiento de electrolitos o mediante la inmersión en una solución que contiene cantidades minimizadas de ácido nítrico y Fe en ácido fluorhídrico usados para inmersión para un período de tiempo predeterminado (por HF acuoso al 5% en masa a 55 °C, el tiempo varía preferentemente de 80 a 600 segundos).

Las estructuras de saliente trapezoidales se pueden formar mediante cualquier procedimiento. Es deseable formar las estructuras de saliente trapezoidales que utilizan una diferencia en la orientación cristalina de los granos de cristal, porque esto puede obviar la necesidad de un proceso adicional, tal como el enmascaramiento y el grabado. La estructura de textura fina en la superficie descrita anteriormente puede estar formada en un período de tiempo relativamente corto. La diferencia de altura en diferentes orientaciones de cristal aumenta con el tiempo de tratamiento debido a una diferencia en la velocidad de grabado en las diferentes orientaciones cristalinas. Desde el plano ND <001> es difícil grabar, los granos que tienen esta orientación cristalina forman la estructura de saliente trapezoidal. Estos pueden controlarse mediante cambios en las condiciones de acidificación (la concentración y el tipo de la solución, la temperatura y el tiempo de inmersión). Bajo una cierta condición de solución, hay un tiempo de tratamiento mínimo para la formación de la estructura de textura fina. También hay un tiempo de tratamiento mínimo, que es más largo que el anterior tiempo de tratamiento mínimo, para la formación de la estructura de saliente

trapezoidal. También hay un tiempo de tratamiento máximo, después de la cual la estructura de saliente trapezoidal desaparece. Para HF acuoso al 5% en masa a 55 °C descrito anteriormente, el tiempo de tratamiento varía preferentemente de 80 a 450 segundos en términos de la altura de la estructura de saliente trapezoidal. La estructura de saliente trapezoidal desapareció cuando el tiempo de tratamiento fue de 600 segundos. Dado que el perfil de la superficie es fácil de medir como se describe anteriormente, en base a las indicaciones de acuerdo con la presente invención, las condiciones de tratamiento se pueden determinar mediante la medición del perfil de la superficie sin consideraciones indebidas.

EJEMPLO 1

Un acero inoxidable austenítico SUS 304L disponible comercialmente con un contenido de Cr del 18,1% en masa y un acero inoxidable ferrítico 443CT disponible comercialmente con un contenido de Cr del 21,1% en masa se sometieron repetidamente a laminación en frío, recocido y decapado, produciendo de este modo láminas de acero inoxidable con un grosor de 0,2 mm.

A continuación, la lámina de acero inoxidable se recoció y se sometió a tratamiento electrolítico y acidificación, que fue inmersión en una solución de decapado, en las condiciones que se muestran en la tabla 1. El tratamiento electrolítico se llevó a cabo usando una solución de electrolito que contiene sulfato de hierro (II) en una cantidad correspondiente a 1 g/l de iones de hierro disueltos en ácido sulfúrico acuoso del 3% en masa con corriente alterna a una densidad de corriente eléctrica de 5 A/dm² durante 4,5 segundos. Para fines de comparación, algunas muestras no se sometieron a tratamiento electrolítico y acidificación, que era inmersión en una solución de decapado, y algunas muestras se sometieron solo a tratamiento electrolítico. El acero inoxidable así obtenido se sometió a la medición de la resistencia de contacto superficial y la observación superficial con SEM (SUPRA 55VP fabricado por Carl Zeiss).

El perfil de la superficie de una región con una estructura de textura fina se determinó a partir de una imagen de electrones secundarios tomada con un detector de cámara con un voltaje de aceleración de 0,5 kV y un aumento en el intervalo de 20.000 a 50.000. Más específicamente, se dibujaron cinco líneas rectas separadas, con una longitud cada una de 1 μm, con una dirección determinada en cinco posiciones en el campo visual. La separación promedio de asperezas finas se calculó dividiendo 5 μm por el número total de salientes finas cruzando las líneas rectas. El porcentaje de área de la región con una estructura de textura fina se calculó a partir de una imagen tomada con un detector de lente con un voltaje de aceleración de 0,5 kV. El área de una región brillante con asperezas finas se calculó a través de la conversión binaria de una imagen de electrones secundarios usando software disponible comercialmente (Photoshop).

Se midió la resistencia de contacto superficial al tiempo que un papel de carbón CP120 fabricado por Toray Industries, Inc. permanecía en contacto con un acero a una carga de 2 MPa (20 kgf/cm²). Después de la medición de la resistencia de contacto superficial, las muestras con una resistencia de contacto superficial baja se sometieron además a la medición de la resistencia de contacto superficial después de una prueba de durabilidad. En la prueba de durabilidad, una muestra se sumergió en una solución de ácido sulfúrico a un pH de 3, a la se añadió fluoruro de sodio de tal manera que la concentración de iones de fluoruro era 0,1 ppm, a 0,6 V frente a un electrodo de referencia de Ag-AgCl a 80 °C durante 24 horas. La resistencia de contacto superficial se midió usando el procedimiento descrito anteriormente. Se calculó un aumento de la resistencia de contacto superficial debido a la prueba de durabilidad (resistencia de contacto superficial después de la prueba de durabilidad - resistencia de contacto superficial antes de la prueba de durabilidad). La tabla 1 muestra la separación promedio de asperezas finas, el porcentaje de área de la región con una estructura de textura fina, la resistencia de contacto superficial antes y después de la prueba de durabilidad, y un aumento de la resistencia de contacto superficial debido a la prueba de durabilidad.

[Tabla 1]
Tabla 1

N.º	Tipo de acero	Electrólisis en ácido sulfúrico	Inmersión en ácido		Porcentaje de área de la región con estructura de textura fina (%)	Separación de promedio de asperezas finas (nm)	Resistencia de contacto (mΩ·cm ²) 20 kgf por lado	Resistencia de contacto después de la prueba de durabilidad (mΩ·m ²) 20 kgf por lado	Aumento de la resistencia de contacto debido a la prueba de durabilidad (mΩ·cm ²) 20 kgf por lado	Nota
			Solución	Tiempo (s)						
1	304L	3% H ₂ SO ₄ 1 g/l Fe	5% HF-2% HNO ₃ 55 °C	150	98	15	5,2	36,0	30,8	Ejemplo comparativo
2	304L		5% HF-1%HNO ₃ 55 °C	150	91	34	4,3	7,5	3,2	Ejemplo
3	304L		5% HF 55 °C	120	81	48	4,1	7,3	3,2	Ejemplo
4	304L		5% HF 55 °C	60	63	49	5,3	9,8	4,5	Ejemplo
5	443 CT	3% H ₂ SO ₄ 1 g/l Fe	5% HF-2%HNO ₃ 55 °C	40	40	80	7,1	18,0	10,9	Ejemplo comparativo
6	443 CT			90	71	114	5,0	9,2	4,2	Ejemplo
7	443 CT			120	74	120	5,2	9,5	4,3	Ejemplo
8	443 CT	3% H ₂ SO ₄ 1 g/l Fe	5% HF-4% HNO ₃	200	84	28	4,0	5,5	1,5	Ejemplo
9	443 CT			40	80	79	4,3	7,4	3,1	Ejemplo
10	443 CT			90	86	110	4,1	7,0	2,9	Ejemplo
11	443 CT	3% H ₂ SO ₄ 1 g/l Fe	5% HF-1%HNO ₃ 55 °C	120	96	120	4,0	6,9	2,9	Ejemplo
12	443 CT			200	93	148	4,3	8,1	4,2	Ejemplo
13	443 CT			500	85	230	5,7	16,0	10,3	Ejemplo comparativo
14	443 CT			10	40	120	7,8	42,0	34,2	Ejemplo comparativo
15	444 CT			20	46	150	10,5	48,0	37,5	Ejemplo comparativo

La tabla 1 muestra que los ejemplos en los que el porcentaje de área de la región con una estructura de textura fina fue de 50% o superior y la separación promedio de asperezas fina fue de 20 nm o superior y 150 nm o inferior tuvieron una resistencia de contacto superficial de $10 \text{ m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ o inferior. La resistencia de contacto superficial después de la prueba de durabilidad en los ejemplos fue también de $10 \text{ m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ o inferior. Por lo tanto, se confirma que los ejemplos mantuvieron una resistencia de contacto superficial baja incluso en el entorno de funcionamiento a largo plazo y presentaron buenas características de mantenimiento de resistencia de contacto superficial.

EJEMPLO 2

Un acero inoxidable austenítico SUS 304L disponible comercialmente con un contenido de Cr del 18,1% en masa y un acero inoxidable ferrítico SUS 443CT disponible comercialmente con un contenido de Cr del 21,1% en masa se sometieron repetidamente a laminación en frío, recocido y decapado, produciendo de este modo láminas de acero inoxidable con un grosor de 0,2 mm. En algunas muestras se usó una lámina con un grosor de 2 mm. La lámina con un grosor de 2 mm se sometió a un pulido a espejo mediante pulido de alúmina antes del tratamiento. Las muestras se trataron con las condiciones mostradas en la tabla 2. Se llevó a cabo un tratamiento electrolítico en ácido sulfúrico acuoso al 3% en masa. Se llevó a cabo un tratamiento de inmersión de ácido en ácido fluorhídrico al 5% en masa, en el que, dependiendo de la condición, se añadió sulfato de hierro (II) en una cantidad correspondiente a 3 g/l de iones de hierro. Además, dependiendo de la condición, el tratamiento de inmersión de ácido se llevó a cabo en ácido clorhídrico al 10% en masa.

El acero inoxidable obtenido de este modo se sometió a la medición de la resistencia de contacto y la observación de una estructura fina de superficie con SEM (SUPRA 55VP fabricado por Carl Zeiss). El perfil de las estructuras de saliente y el intervalo promedio entre los salientes se determinaron a partir de una imagen de electrones secundarios obtenida con un detector de cámara con un voltaje de aceleración de 0,5 kV y con un aumento en el intervalo de 20.000 a 100.000. Se juzgó si una sección elevada tenía una forma de pirámide triangular en función de la presencia de tres líneas rectas extendiéndose desde el centro de la sección elevada, que se corresponden con los lados de la forma de pirámide triangular (ver [fig. 7]). En la medición del intervalo promedio, se contó el número de secciones elevadas de una forma de pirámide triangular en un campo de observación de $1 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$. Se promediaron los números de secciones elevadas contadas en tres campos. El intervalo promedio entre los salientes se calculó a partir del número promedio N de salientes por micrómetros cuadrados por $1000/N^{0.5}$ nm. Las secciones elevadas que no tienen una forma de pirámide triangular, tales como secciones granulares elevadas, también se midieron de la misma manera.

Se midió la resistencia de contacto al tiempo que un papel de carbón CP120 fabricado por Toray Industries, Inc. permanecía en contacto con un acero a una carga de 2 MPa (20 kgf/cm^2). Después de la medición de la resistencia de contacto, las muestras que tienen una baja resistencia de contacto se sometieron adicionalmente a la medición de la resistencia de contacto después de una prueba de durabilidad. En la prueba de durabilidad, una muestra se sumergió en una solución de ácido sulfúrico a un pH de 3, a la que se añadió fluoruro de sodio de tal manera que la concentración de iones de fluoruro era 0,1 ppm, a 0,6 V frente a un electrodo de referencia de Ag-AgCl a $80 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 500 horas. La resistencia de contacto se midió usando el procedimiento descrito anteriormente. La tabla 2 muestra los resultados junto con las condiciones de preparación de la muestra.

[Tabla 2]
Tabla 2

N.º	Electrólisis en ácido sulfúrico		Inmersión en ácido		Textura superficial			Evaluación de los resultados					Nota	
	Tipo de acero	Solución	Corriente eléctrica	Solución	Tiempo (s)	Porcentaje de área de la región con estructura de textura fina (%)	Perfil de la estructura de textura fina	Intervalo promedio entre las secciones elevadas (intervalo promedio entre las partes superiores piramidales triangulares) (mm)	Resistencia de contacto debido a la durabilidad de 24 h (mΩ.cm ²), 20 kgf por lado.	Aumento de resistencia de contacto debido a la prueba de durabilidad de 24 h (mΩ.cm ²) 20 kgf por lado.	Resistencia de contacto debido a la prueba de durabilidad de 500 h (mΩ.cm ²) 20 kgf por lado.	Aumento de resistencia de contacto debido a la prueba de durabilidad de 500 h (mΩ.cm ²) 20 kgf por lado.		
16	443CT	-	-	-	-	-	Sin saliente	-	514	-	-	-	-	Ejemplo comparativo
17	443CT	3% H ₂ SO ₄	Corriente alterna, densidad de corriente eléctrica 5A/dm ² , 4,5 s	-	-	-	Sin saliente	-	35,8	-	-	-	-	Ejemplo comparativo
18	443CT	3% H ₂ SO ₄	Corriente alterna, densidad de corriente eléctrica 5A/dm ² , 4,5 s	5% HF 55 °C	60	83	Piramidal triangular	25	4,05	4,31	0,26	7,66	3,61	Ejemplo
19	443CT	3% H ₂ SO ₄	Corriente alterna, densidad de corriente eléctrica 5A/dm ² , 4,5 s	5% HF 55 °C	120	83	Piramidal triangular	50	4,28	4,42	0,14	6,36	2,08	Ejemplo
20	443CT	3% H ₂ SO ₄	Corriente alterna, densidad de corriente eléctrica 5A/dm ² , 4,5 s	5% HF 55 °C	240	86	Piramidal triangular	65	4,53	4,68	0,15	5,36	0,83	Ejemplo
21	443CT	3% H ₂ SO ₄	Corriente alterna, densidad de corriente eléctrica 5A/dm ² , 4,5 s	5% HF 55 °C	600	94	Piramidal triangular	145	5,45	5,80	0,35	9,02	3,57	Ejemplo
22	443CT*	3% H ₂ SO ₄	Corriente alterna, densidad de corriente eléctrica 5A/dm ² , 4,5 s	5% HF 55 °C	1800	98	Piramidal triangular	410	12,40	14,10	1,70	25,6	13,2	Ejemplo comparativo
23	304L*	3% H ₂ SO ₄	Corriente alterna, densidad de corriente eléctrica 5A/dm ² , 4,5 s	5% HF 55 °C	1800	99	Saliente granular	120	6,20	9,26	3,06	36,7	30,5	Ejemplo
24	304L	3% H ₂ SO ₄	Corriente alterna, densidad de corriente eléctrica 5A/dm ² , 4,5 s	5% HF 55 °C	240	87	Saliente granular	30	5,91	9,85	3,94	45,1	39,2	Ejemplo
25	443CT	3% H ₂ SO ₄	Corriente continua, densidad de corriente eléctrica 0,5A/dm ² , 80 s	5% HF 55 °C	240	91	Piramidal triangular	90	4,75	4,83	0,08	5,12	0,37	Ejemplo
26	443CT	3% H ₂ SO ₄	Corriente continua, densidad de corriente eléctrica 0,5A/dm ² , 80 s	5% HF 55 °C 3 g/l Fe	240	78	Saliente granular	250	8,92	23,76	14,84	30,1	21,2	Ejemplo comparativo
27	443CT	-	-	10% ácido clorhídrico 50 °C	240	97	Formación de hoyos	145	10,3	21,1	10,80	186	175,7	Ejemplo comparativo
28	Au sheet	-	-	-	-	-	-	-	4,00	-	-	-	-	Ejemplo referencia

*: lámina con un grosor de 2 mm

La tabla 2 muestra que la resistencia de contacto inicial y la resistencia de contacto después de la prueba de durabilidad de 500 horas en los ejemplos en los que los salientes de una forma de pirámide triangular se dispusieron sobre la superficie en un intervalo promedio de 150 nm o inferior fue de 10 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ o inferior. Por lo tanto, los ejemplos mantuvieron una resistencia de contacto baja, incluso en el entorno de funcionamiento a largo plazo. En particular, la resistencia de contacto después de la prueba de durabilidad en los ejemplos en los que el intervalo promedio entre las partes elevadas fue de 100 nm o inferior, fue de 8 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ o inferior. Por lo tanto, los ejemplos obtuvieron una durabilidad aún más mejorada.

El aumento de la resistencia de contacto debido a la prueba de durabilidad de una estructura de textura fina granular con sustancialmente el mismo intervalo promedio entre las partes elevadas fue mayor que la de los ejemplos con estructura de textura fina de una forma de pirámide triangular. Las muestras que no tienen estructura de textura fina, pero que tienen una pequeña estructura de hoyos fuera del alcance de la presente invención tuvieron una durabilidad baja y no se pudieron usar.

En esta prueba, también se probó un acero inoxidable evaporado con Au para la comparación y se muestra su resultado. Los resultados de los ejemplos no son diferentes de los resultados del acero inoxidable evaporado con Au. Por lo tanto, se considera que los ejemplos tienen una resistencia de contacto muy baja. La relación entre la orientación cristalina de la superficie y la forma de pirámide triangular se estudió usando el procedimiento con EBSD en el presente ejemplo. Se confirmó que las secciones elevadas de una forma de pirámide triangular se formaron de tres (100) facetas de una estructura BCC. Por lo tanto, el ángulo promedio en la parte superior de las tres facetas es de aproximadamente 90 grados.

EJEMPLO 3

Un acero inoxidable ferrítico SUS 443CT del mismo lote (lote A) que en los ejemplos se sometió varias veces a laminación en frío, recocido, decapado y para producir una lámina de acero inoxidable con un grosor de 0,2 mm. La reducción de laminación o la temperatura de recocido se alteró para producir láminas de diferentes texturas (lotes B a E). Para preparar una muestra con estructuras de saliente trapezoidales en su superficie pulida, una lámina de acero laminado en frío «JFE 443CT» con un grosor de 1 mm se sometió a un pulido a espejo mediante pulido de alúmina para preparar un lote F. A continuación, las muestras se trataron bajo las condiciones mostradas en la tabla 3. Se llevó a cabo un tratamiento electrolítico en ácido sulfúrico acuoso al 3% en masa. Se llevó a cabo un tratamiento de inmersión de ácido en ácido fluorhídrico al 5-10% en masa, en el que, dependiendo de la condición, se añadió sulfato de hierro (II) en una cantidad correspondiente a 3 g/l de iones de hierro.

El acero inoxidable obtenido de este modo se sometió a la medición de la resistencia de contacto y la observación de una estructura fina de superficie con SEM (SUPRA 55VP fabricado por Carl Zeiss) del mismo modo que en el ejemplo 2. El perfil de la superficie se midió con un perfilómetro interferotipo óptico Zygo (Canon Marketing Japan Inc.). El campo de observación fue de 0,35 mm x 0,26 mm. Se determinó la presencia o ausencia de estructuras de saliente trapezoidales. Si está presente, la altura promedio y el diámetro promedio de las estructuras de saliente trapezoidales se midieron usando el procedimiento descrito anteriormente.

El porcentaje de área de la región de las estructuras de saliente trapezoidales se determinó en cada campo visual. La tabla 3 muestra el promedio de los porcentajes de área en dos campos visuales. En las muestras de láminas, se consideró que las estrías u hoyos de aceite de las secciones elevadas en la dirección de laminación eran planos y se incluyeron en el área de medición.

Se midió la resistencia de contacto al tiempo que un papel de carbón CP120 fabricado por Toray Industries, Inc. permanecía en contacto con un acero a una carga de 2 MPa (20 kgf/cm^2). Las muestras se sometieron a una prueba de deslizamiento. La resistencia de contacto de una sección frotada en la prueba de deslizamiento se midió del mismo modo que se describe anteriormente. Como prueba de deslizamiento se adoptó una prueba de deslizamiento de placa. Una microesfera con un área de contacto de 10 mm de ancho y 3 mm de largo en la dirección de deslizamiento (la curvatura en ambos extremos de la dirección de desplazamiento era de 4,5 mmR) se presiona contra una lámina de acero a una carga vertical de 1 kN (100 kgf). La lámina de acero se arrastró a lo largo de 30 mm a una velocidad de 100 cm/min sin aceite. Las muestras se clasificaron como «□: doble círculo», «○: círculo», «Δ: triángulo», y «x: cruz» en el caso de que el aumento de la resistencia de contacto debido a la prueba de deslizamiento fue de 1 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ o inferior, más de 1 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ y 3 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ o inferior, más de 3 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ y 10 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ o inferior y más de 10 $\text{m}\Omega\cdot\text{m}^2$, respectivamente. La tabla 3 muestra los resultados junto con las condiciones de preparación de la muestra.

[Tabla 3]
Tabla 3

N.º	Tipo de	Lote	Electrolisis en	Corriente eléctrica	Inmersión en ácido	Tiempo (s)	Textura superficial				Evaluación de los resultados					Nota			
							Porcentaje de área de la región con estructura de textura fina (%)	Perfil de la estructura de textura fina	Intervalo promedio de elevaciones (intervalo entre las partes superiores piramidales triangulares) (nm)	Altura promedio de saliente trapezoidal (µm)	Diámetro promedio de saliente trapezoidal (µm)	Porcentaje de saliente trapezoidal (1%)	Resistencia de contacto (mΩ·cm) 20 kgf por lado	Resistencia a contacto después de la prueba de durabilidad de 300 h (mΩ·cm) 20 kgf por lado	Aumento de la resistencia de contacto debido a la prueba de durabilidad de 300 h (mΩ·cm) 20 kgf por lado		Aumento de la resistencia de contacto después de la prueba de desplazamiento (mΩ·cm) 20 kgf por lado	Aumento de la resistencia de contacto debido a la prueba de desplazamiento (mΩ·cm) 20 kgf por lado	
18	443CT	A	3% H ₂ SO ₄	Corriente alterna, densidad de	Solución 5% HF 55 °C	60	83	Piramidal triangular	25	0,08	10,2	9,2	4,05	7,66	3,61	7,68	3,63	Δ	Ejemplo
19	443CT	A	3% H ₂ SO ₄	Corriente alterna, densidad de	5% HF 55 °C	120	83	Piramidal triangular	50	0,36	11,3	10,9	4,28	6,36	2,08	4,87	0,59	⊙	Ejemplo
20	443CT	A	3% H ₂ SO ₄	Corriente alterna, densidad de	55% HF 55 °C	240	86	Piramidal triangular	65	0,76	12,6	18,3	4,53	5,36	0,83	4,92	0,39	⊙	Ejemplo
21	443CT	A	3% H ₂ SO ₄	Corriente alterna, densidad de	5% HF 55 °C	600	94	Piramidal triangular	145	0	0	0	5,45	9,02	3,57	15,40	9,95	Δ	Ejemplo
26	443CT	A	3% H ₂ SO ₄	Corriente directa, densidad de	5% HF 55 °C 3 g/l Fe	240	78	Saliente granular	250	0	0	0	8,92	30,10	21,18	23,40	14,48	X	Ejemplo comparativo
29	443CT	A	3% H ₂ SO ₄	Corriente alterna, densidad de	5% HF 55 °C	80	83	Piramidal triangular	32	0,15	15,6	13,5	4,11	6,32	2,21	6,53	2,42	○	Ejemplo
30	443CT	A	3% H ₂ SO ₄	Corriente alterna, densidad de	5% HF 55 °C	300	87	Piramidal triangular	87	1,24	9,6	23,4	4,32	5,36	1,04	4,65	0,33	⊙	Ejemplo
31	443CT	A	3% H ₂ SO ₄	Corriente alterna, densidad de	59% HF 55 °C	450	90	Piramidal triangular	132	0,74	9,9	16,8	5,19	6,87	1,68	6,08	0,89	⊙	Ejemplo
32	443CT	B	3% H ₂ SO ₄	Corriente alterna, densidad de	5% HF 55 °C	240	93	Piramidal triangular	61	0,74	11,1	5,6	4,11	5,03	0,92	6,02	1,91	○	Ejemplo
33	443CT	C	3% H ₂ SO ₄	Corriente alterna, densidad de	5% HF 55DC	240	84	Piramidal triangular	58	0,65	4,5	9,5	4,56	5,31	0,75	6,89	2,33	○	Ejemplo
34	443CT	D	3% H ₂ SO ₄	Corriente alterna, densidad de	5% HF 55 °C	240	94	Piramidal triangular	71	0,57	8,7	3,4	4,23	5,16	0,93	8,93	4,70	Δ	Ejemplo
35	443CT	E	3% H ₂ SO ₄	Corriente alterna, densidad de	5% HF 55 °C	240	65	Piramidal triangular	67	0,63	10,1	33,2	5,37	7,25	1,88	11,30	5,93	Δ	Ejemplo
36	443CT	F	3% H ₂ SO ₄	Corriente alterna, densidad de	1094% HF 50 °C	600	97	Piramidal triangular	93	0,26	26,4	28,3	4,61	5,97	1,36	7,12	2,51	○	Ejemplo

La tabla 3 muestra que los ejemplos en los que una estructura de textura fina con una parte superior piramidal triangular se dispuso sobre la superficie de la misma y con el porcentaje de área de las estructuras de saliente trapezoidales dispersas con una altura promedio de 0,15 μm o superior y 2 μm o inferior, de 5% o superior y 30% o inferior, presentaron un pequeño aumento de la resistencia de contacto debido a la prueba de deslizamiento. Por lo tanto, los ejemplos mantienen una resistencia de contacto baja después del contacto de los materiales entre sí o del contacto del material con otro componente o similares, o después del procesamiento en un componente separador y, por lo tanto, son ventajosas desde un punto de vista práctico. Después de la medición del perfil, la observación con SEM de la superficie en el mismo campo visual mostró que las estructuras de saliente trapezoidales correspondían a granos de cristal en la superficie de acero inoxidable. Un examen de orientación cristalina mediante el procedimiento con EBSD mostró que el plano (100) de las estructuras de saliente trapezoidales era casi perpendicular a la superficie de la muestra. Aunque no se incluye en la lista un ejemplo comparativo con un diámetro promedio fuera del intervalo de la presente invención cuando se ve desde la parte superior, los ejemplos obtuvieron resultados satisfactorios cuando el diámetro promedio varió de al menos 4,5 a 15 μm .

15 Lista de signos de referencia

- | | | |
|----|---|-------------------------------|
| | 1 | montaje de membrana-electrodo |
| | 2 | capa de difusión de gas |
| | 3 | capa de difusión de gas |
| 20 | 4 | separador |
| | 5 | separador |
| | 6 | canal de aire |
| | 7 | canal de hidrógeno |

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un acero inoxidable con una resistencia de contacto superficial baja para separadores de pilas de combustible y un contenido de Cr en el intervalo de 16 a 40% en masa, en donde el acero inoxidable incluye una región con una estructura de textura fina en su superficie, siendo el porcentaje de área de la región del 50% o superior, y
- 10 la región con una estructura de textura fina es una región que tiene una estructura con secciones deprimidas y secciones elevadas a un intervalo promedio entre las secciones deprimidas o las secciones elevadas de 20 nm o superior y 150 nm o inferior cuando se observa con un microscopio electrónico de barrido, teniendo la estructura de textura fina una diferencia de altura entre la parte inferior de una sección deprimida y la parte superior de una sección elevada adyacente a la sección deprimida siendo de 15 nm o superior.
- 15 2. El acero inoxidable con una resistencia de contacto superficial baja para separadores de pilas de combustible según la reivindicación 1, en el que el porcentaje de área es 80% o superior.
- 20 3. El acero inoxidable con una resistencia de contacto superficial baja para separadores de pilas de combustible según la reivindicación 1 o 2, en el que las secciones elevadas de la estructura de textura fina tienen una tapa piramidal triangular con un ángulo promedio de 80 grados o superior y 100 grados o inferior.
- 25 4. El acero inoxidable con una resistencia de contacto superficial baja para separadores de pilas de combustible según la reivindicación 3, en el que las partes superiores piramidales triangulares de las secciones elevadas están dispuestas en un intervalo promedio de 100 nm o inferior.
- 30 5. El acero inoxidable con una baja resistencia de contacto superficial para separadores de pilas de combustible de acuerdo con la reivindicación 3 o 4, en el que el acero inoxidable incluye estructuras de saliente trapezoidales con una altura promedio de 0,15 μm o superior y 2 μm o inferior y un diámetro promedio de 3 μm o superior y 50 μm o inferior, el porcentaje de área de las estructuras de saliente trapezoidales dispersas siendo 5% o superior y 30% o inferior.
6. El acero inoxidable con una resistencia de contacto superficial baja para separadores de pilas de combustible según la reivindicación 5, en el que las estructuras de saliente trapezoidales corresponden a los granos de cristal del acero inoxidable.

FIG. 1

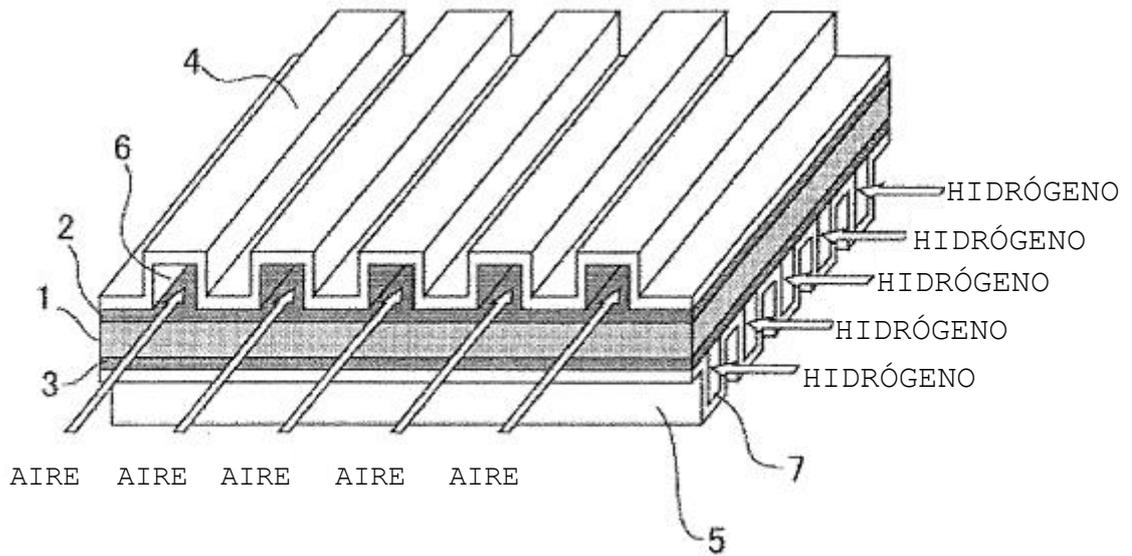
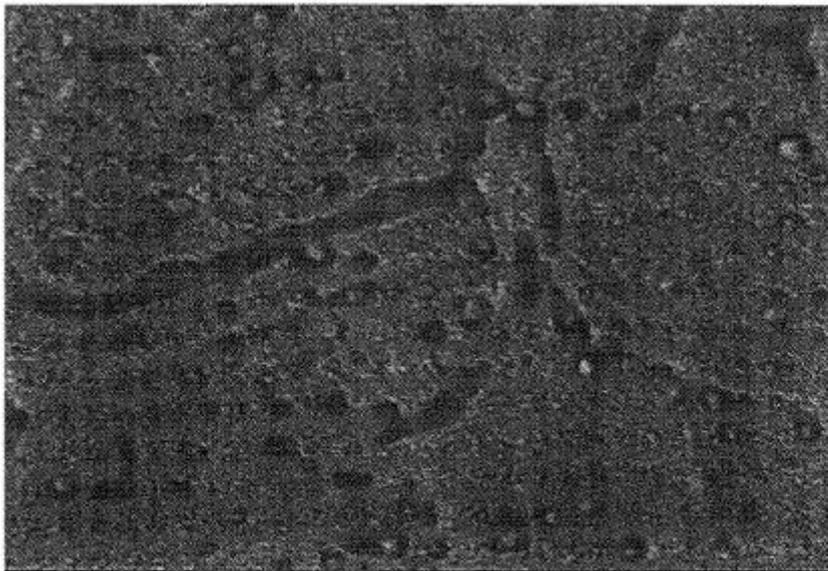
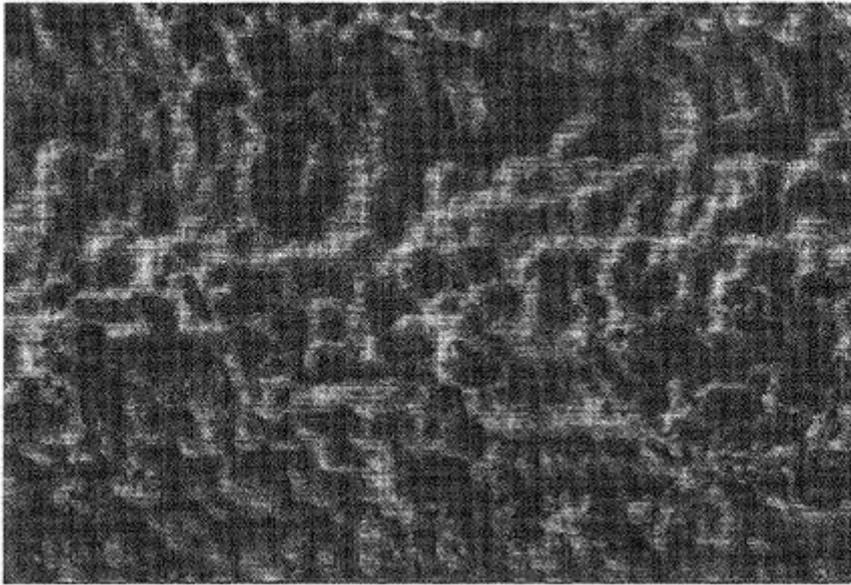


FIG. 2



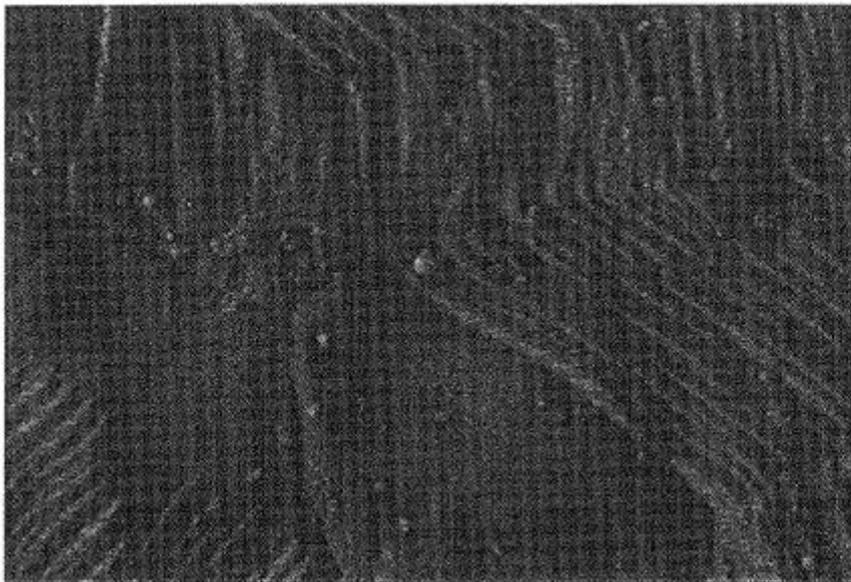
—
100 nm

FIG. 3



—
100 nm

FIG. 4



—
100 nm

FIG. 5

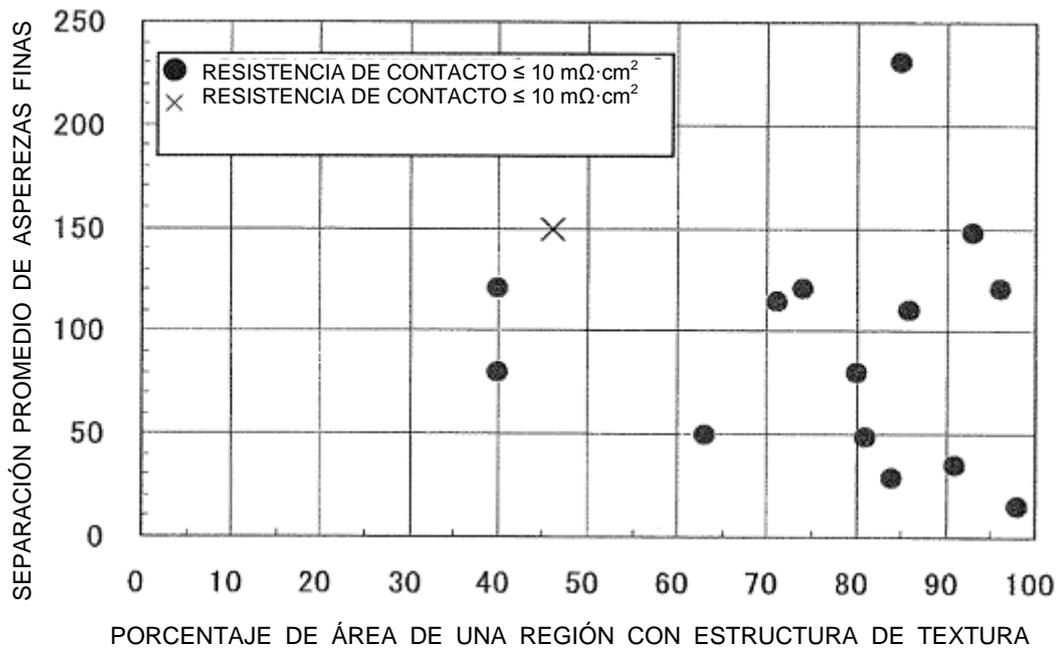


FIG. 6

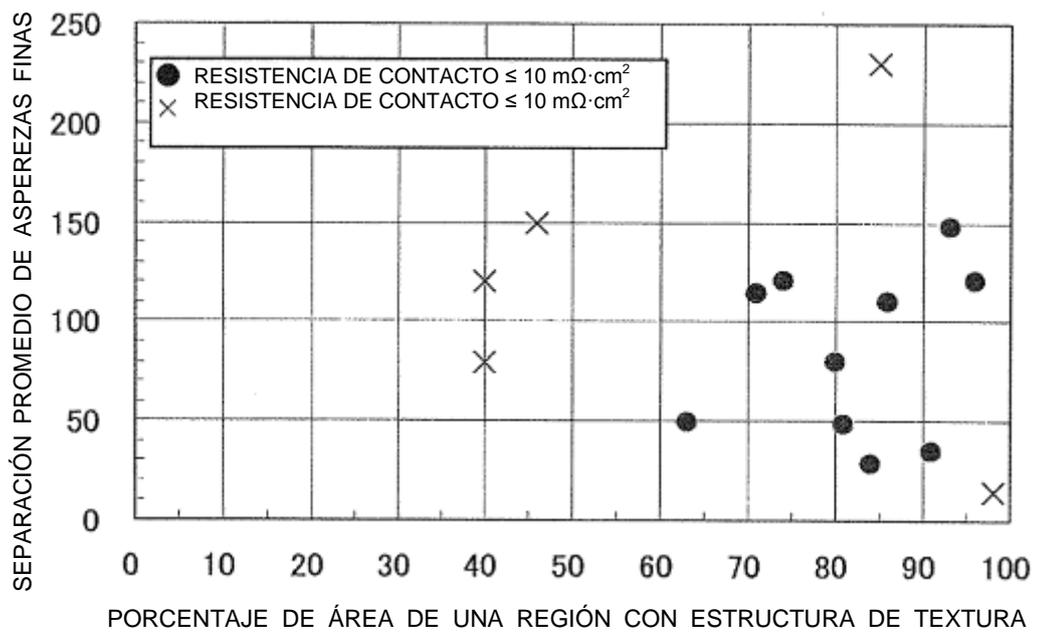
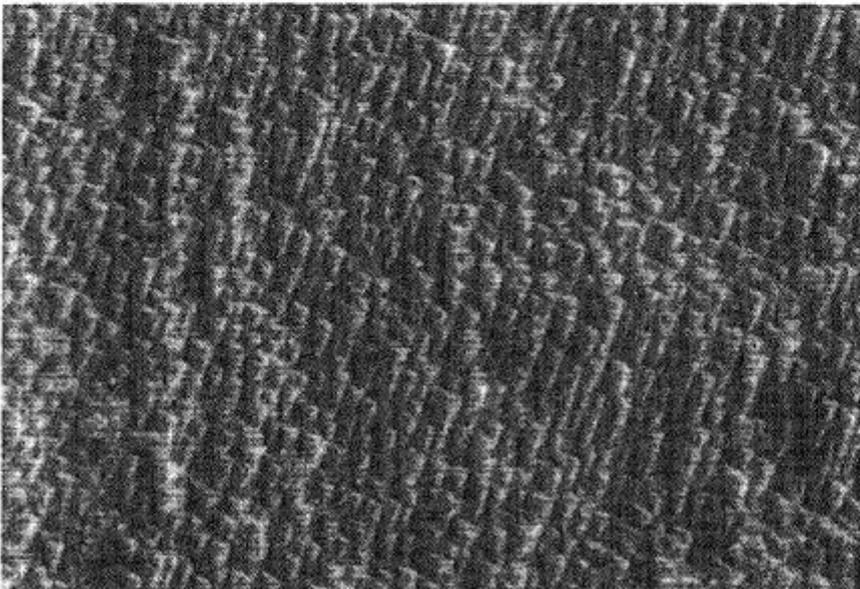
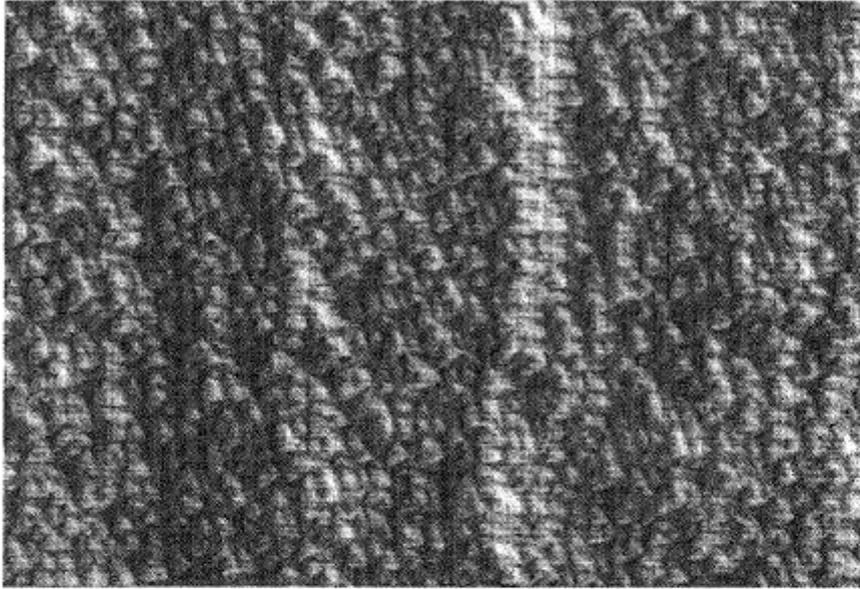


FIG. 7



—
200 nm

FIG. 8

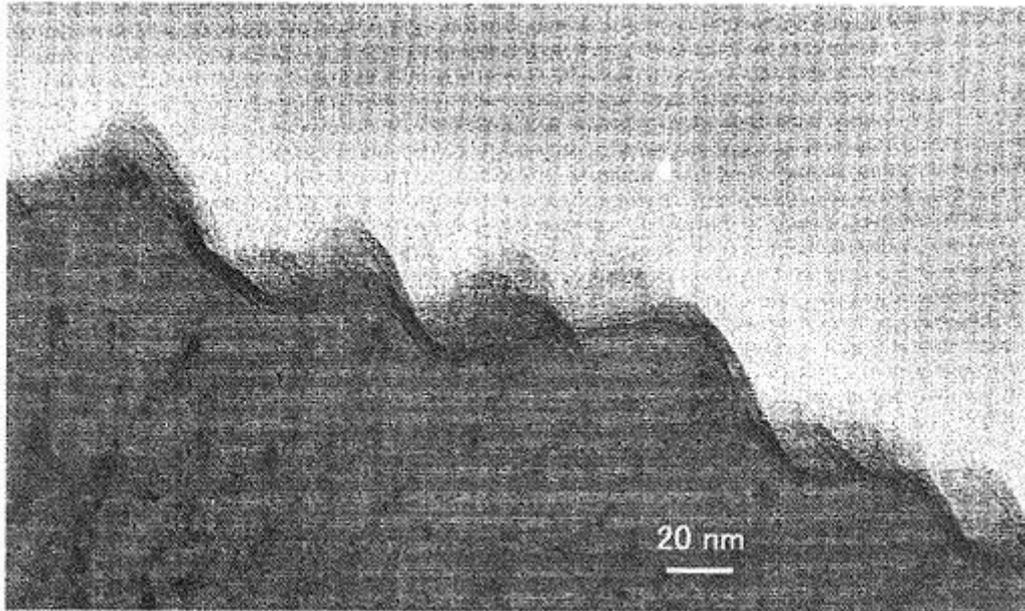


FIG. 9

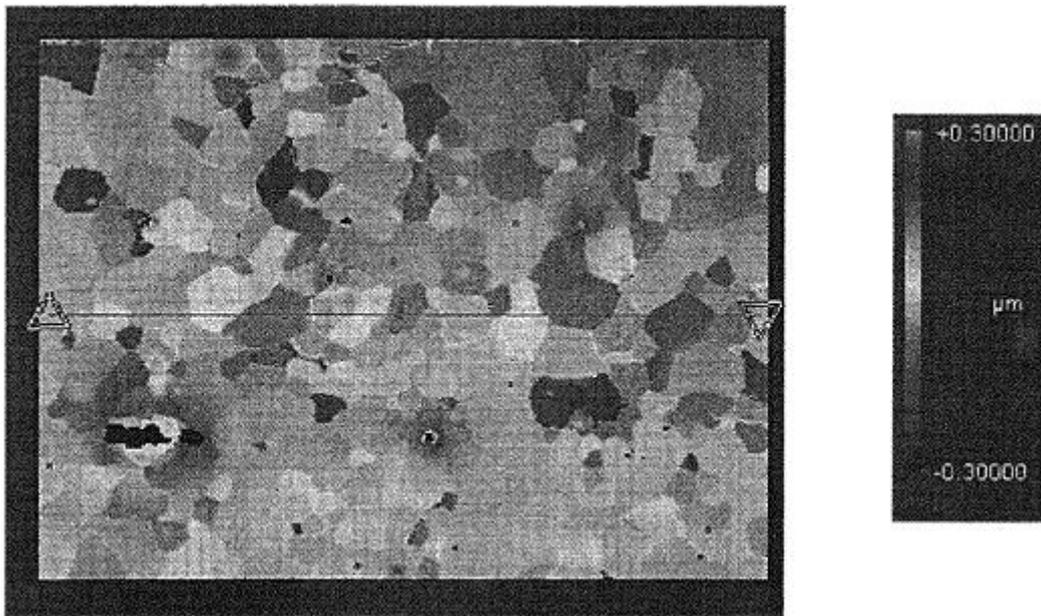


FIG. 10

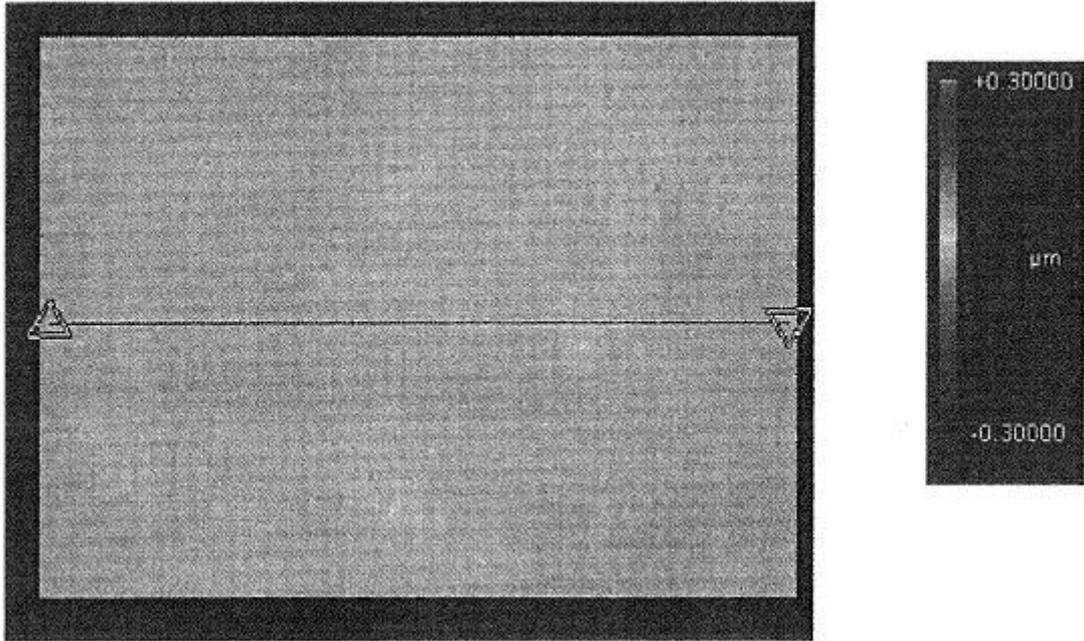


FIG. 11

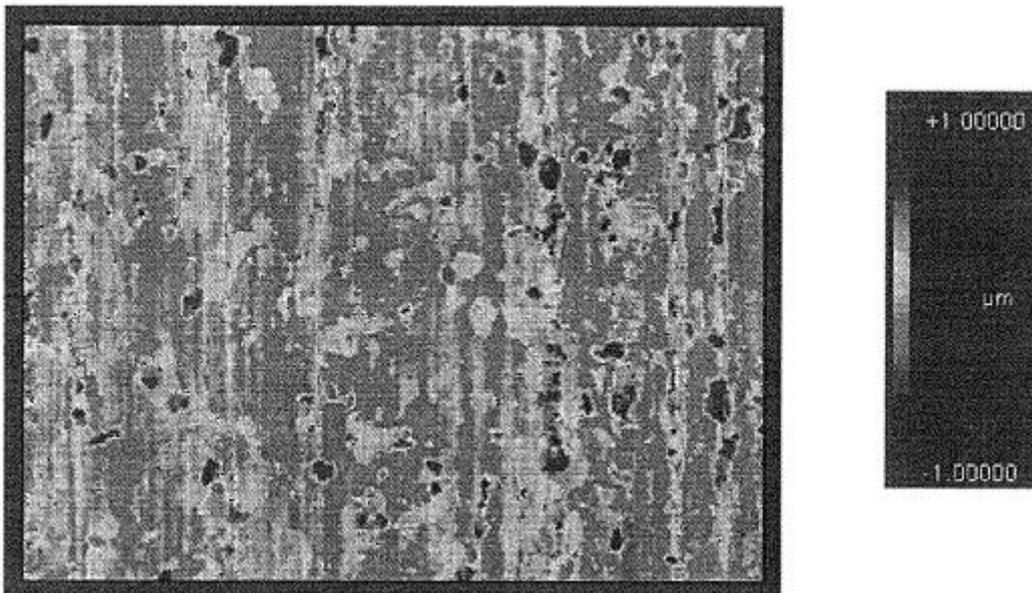


FIG. 12

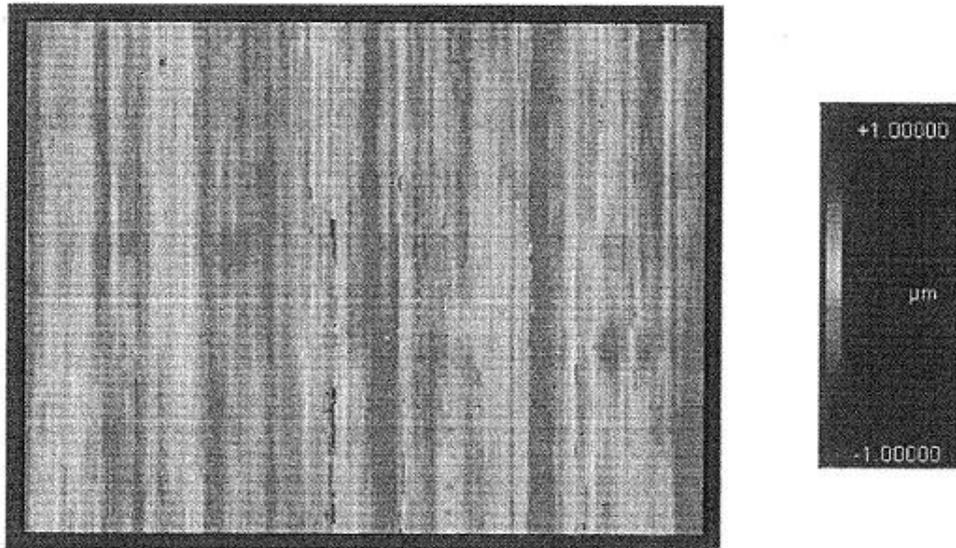


FIG. 13

