

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 546 412**

51 Int. Cl.:

**C22C 38/00** (2006.01)

**C22C 38/58** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.09.2010 E 10834432 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.08.2015 EP 2508639**

54 Título: **Chapa de acero inoxidable austenítico, de grano fino, que exhibe una excelente resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y capacidad de tratamiento**

30 Prioridad:

**01.12.2009 JP 2009273868**

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

**23.09.2015**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**HATANO, MASAHARU;  
ISHIMARU, EIICHIRO y  
TAKAHASHI, AKIHIKO**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 546 412 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

Chapa de acero inoxidable austenítico, de grano fino, que exhibe una excelente resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y capacidad de tratamiento

**Campo técnico**

5 La presente invención se refiere a una chapa de acero inoxidable austenítico que tiene una estructura de grano fino (estructura que incluye granos cristalinos finos) con un tamaño medio de grano de 10  $\mu\text{m}$  o menos, y que es excelente en la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión (resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión) y en la capacidad de conformado (aptitud para ser trabajado).

10 La presente solicitud reivindica prioridad sobre la Solicitud de Patente Japonesa Nº 2009-273868, presentada el 1 de diciembre de 2009, cuyo contenido se incorpora en la presente memoria descriptiva como referencia.

**Antecedentes de la técnica**

15 En los últimos años, en lo que se refiere al material de acero, es bien conocido que el afino de los granos cristalinos es el método más eficaz para aumentar la resistencia y la tenacidad sin añadir un elemento de aleación. En lo que se refiere a una chapa de acero inoxidable austenítico, el Documento 1, No-Patente, y el Documento 2, No-Patente, describen el afino de granos cristalinos utilizando una transformación de fase desde la martensita inducida por deformación a austenita, en SUS304, definido en el documento JIS G4305. Según este método, se forma una estructura de grano fino con tamaños de grano de 1 a 5  $\mu\text{m}$ , y como un efecto del afino, en el Documento 1, No-Patente, se informa de un aumento de límite elástico convencional (con deformación remanente del 0,2%), y en el Documento 2, No-Patente, se informa de la exhibición de una superplasticidad en un intervalo de temperatura de 20 650 a 750°C.

25 En lo que se refiere al acero inoxidable austenítico, como una tecnología que usa el efecto del afino de los granos cristalinos, el Documento 1 de Patente describe una junta metálica de estanqueidad, un material suyo, y un método para fabricar la junta metálica de estanqueidad. En el Documento 1 de Patente, en el SUS301L definido en el documento JIS G4305, se forma una estructura de grano fino con tamaños de grano de 5  $\mu\text{m}$ , o menos, utilizando la transformación de fase desde martensita inducida por deformación a austenita y precipitación de nitruros de cromo. Se intenta realizar un aumento de la resistencia hasta 500 Hv, o más, mediante una combinación de la formación de la estructura de grano fino y un laminado de temple.

30 En la tecnología de afino de los granos cristalinos de un acero inoxidable austenítico en la técnica relacionada, como se describió anteriormente, en lo que se refiere al SUS304 o al SUS301L, los tamaños de grano se ajustaron entre 1 y 5  $\mu\text{m}$ ; y por ello, se imparte un aumento en límite elástico del 0,2% y un alto aumento de la resistencia.

35 En la técnica relacionada, en lo que se refiere a la chapa de acero inoxidable austenítico, es bien conocido que el agrietamiento por corrosión bajo tensión se produce en un ambiente corrosivo que incluye iones cloruro. En el Documento 3, No-Patente, como contrapartida, se describe que es fiable cambiar a un acero inoxidable ferrítico que contenga Ni. Además, se describe también que en el caso en el que es difícil usar el acero inoxidable ferrítico, desde el punto de vista de la capacidad de conformado y de la soldabilidad, es eficaz que los aceros austeníticos de la serie SUSXM15J1 tengan altos contenidos de Ni (11,5 al 15%), contenidos aumentados de Si, y contenidos aumentados de Cu.

40 En lo que se refiere a la mejora del agrietamiento por corrosión bajo tensión que se origina a partir de la corrosión por picaduras y de la corrosión por hendiduras, la adición de los elementos de aleación anteriormente descritos funciona de una manera eficaz. El Documento 2 de Patente describe un acero inoxidable austenítico excelente en su resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y en su resistencia a la corrosión por picaduras, que incluye sustancialmente el 9% de Ni, más del 1,5% a menos del 2,5% de Cu, y pequeñas cantidades de Mo y de N. El Documento 3 de Patente describe una aleación austenítica excelente en la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, caracterizado porque la aleación austenítica incluye 18 a 35% de Cr, 25 a 50% de Ni, 8% o menos de Mo, 6% o menos de Mn, 0,5% o menos de N, y 0,03% o menos de C, en los que se incluyen grandes cantidades de Cr y de Ni. El Documento 4 de Patente describe un acero inoxidable austenítico excelente en la resistencia a los fenómenos meteorológicos, resistencia a la corrosión en hendiduras, y resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, caracterizado porque el acero inoxidable austenítico incluye 0,08% o menos de C, 0,1 a 3% de Si, 18 a 23% de Cr, 8,5 a 12% de Ni, 0,2 a 2% de Mo, 0,2 a 3,5% de Cu, 0,03 a 0,25% de N, en el que se ajusta el contenido de Mn y el contenido de S, se añade Cu y N de una manera combinada, y se añaden pequeñas cantidades de Co, W, V, y Nb.

45 Además, ya que el agrietamiento en los límites de grano tiene lugar como el agrietamiento por corrosión bajo tensión, los Documentos 5 a 7 de Patente describen mejoras en el agrietamiento por corrosión bajo tensión de tipo límites de grano. El Documento 5 de Patente describe un acero inoxidable austenítico excelente en resistencia a la corrosión en los límites de grano y en resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión en los límites de grano, caracterizado porque el acero inoxidable austenítico incluye o uno cualquiera, o ambos, de Mo y Nb. Los Documentos 6 y 7 de Patente describen aceros inoxidables austeníticos, excelentes en la resistencia al

- 5 agrietamiento por corrosión bajo tensión en los límites de grano, y métodos de producción de los mismos, caracterizados porque el contenido de C está restringido al 0,03% o menos, se incluye un 0,15% o menos de N, y se ajusta la temperatura de la plancha y el tiempo de calentamiento de la plancha; y por ello, se reduce la cantidad de precipitación de carburos, y se reduce la cantidad de agotamiento de Cr en, o en las proximidades de, los límites de grano.
- Todos los aceros inoxidable austeníticos anteriormente descritos en el Documento 3, No-Patente, y en los Documentos 2 a 7 de Patente incluyen más del 8% de Ni, y se añaden Cu, Mo, y Si, con Nb, Co, W, V, o similares, como elementos minoritarios; y por ello, se mejora la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión.
- 10 En los Documentos 3 y 4, No-Patentes se describe una temperatura de recocido en una producción industrial. Además, en el Documento 5, No-Patente, se describe un tamaño de grano. Se describe que, comúnmente, incluso cuando un acero inoxidable es sometido a recocido a una temperatura de 1000 a 1100°C y se ajustan sus componentes, el límite de afino de grano no alcanza un tamaño de grano N° 10, es decir, los tamaños de grano llegan a ser del orden de más de 10 µm.
- 15 En las tecnologías de afino de los granos cristalinos de un acero inoxidable austenítico de la técnica relacionada, todavía no está claro, de forma evidente, el efecto del afino de los granos cristalinos en lo que se refiere a la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión.
- 20 Además, comúnmente, como se describió anteriormente, incluso cuando el acero inoxidable austenítico es sometido a recocido a una temperatura de 1000 a 1100°C y se ajustan sus componentes, los tamaños de grano llegan a ser del orden de más de 10 µm. En los Documentos 2 a 7 de Patente, no se describe concretamente un método (temperatura de recocido) de producción ni los tamaños de grano. Por lo tanto, en lo que se refiere a los aceros descritos en los Documentos 2 a 7 de Patente, en tanto en cuanto que no se describe un método concreto de producción diferente a un método normal, se puede suponer fácilmente que sus tamaños de grano son del orden de más de 10 µm, similarmente al acero del Documento 3, No-Patente. El documento JP 2006 257536 describe un acero inoxidable austenítico que tiene un tamaño de grano de  $\leq 7,5$  µm.
- 25 Como se describió anteriormente, en lo que se refiere al acero inoxidable austenítico, no se encuentra un examen que intente mejorar la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión con un contenido de Ni del 8% o menos. Además, no hay una descripción relacionada con una idea técnica de intentar lograr una compatibilidad entre la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y la capacidad de conformado, reduciendo el agrietamiento por corrosión bajo tensión, que es un defecto del acero inoxidable austenítico, mediante el afino de los
- 30 granos cristalinos con un contenido de Ni del 8% o menos y sin añadir el costoso Mo.

#### **Documentos de la técnica anterior**

##### Documentos de Patente

- Documento 1 de Patente: Publicación Internacional PCT N° WO 02/088410
- Documento 2 de Patente: Solicitud de Patente Japonesa no examinada, Primera Publicación N° S61-9557
- 35 Documento 3 de Patente: Solicitud de Patente Japonesa no examinada, Primera Publicación N° S62-180037
- Documento 4 de Patente: Solicitud de Patente Japonesa no examinada, Primera Publicación N° S62-247048
- Documento 5 de Patente: Solicitud de Patente Japonesa no examinada, Primera Publicación N° S62-287051
- Documento 6 de Patente: Solicitud de Patente Japonesa no examinada, Primera Publicación N° H08-269550
- Documento 7 de Patente: Solicitud de Patente Japonesa no examinada, Primera Publicación N° H10-317104
- 40 Documento 8 de Patente: Solicitud de Patente Japonesa N° 2008-157717 (Solicitud de Patente Japonesa no examinada, Primera Publicación N° 2009-299171)

##### Documentos, No-Patente

- Documento 1, No-Patente: Iron and Steel, 78 (1992), 141 a 148
- Documento 2, No-Patente: Iron and Steel, 80 (1992), 249 a 253
- 45 Documento 3, No-Patente: Stainless Steel Handbook, tercera edición, 560
- Documento 4, No-Patente: Sishiyama Memorial Technology Course "Recent Advances in Technology of Producing of Stainless Steel" 115, (Incorporated Association) Iron and Steel Inst. of Japan.
- Documento 5, No-Patente: Nippon Kokan Technical Report, N° 87 (1980), 51 a 60

Documento 6, No-Patente: OIM ACADEMY, (inc.) TSL Solutions

**Descripción de la invención**

Problemas que van a ser resueltos por la invención

5 La presente invención tiene por objeto superar el agrietamiento por corrosión bajo tensión, que es un defecto del acero inoxidable austenítico, afinando los granos cristalinos con un contenido de Ni del 8% o menos y sin añadir el costoso Mo; y por ello, se proporciona una chapa de acero inoxidable austenítico que tiene una estructura de grano fino con un tamaño medio de grano de 10 µm o menos, en la que se asegura la compatibilidad entre la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y la capacidad de conformado.

Medios para resolver los problemas

10 Según un aspecto de la presente invención, se proporciona una chapa de acero inoxidable austenítico, de grano fino, que exhibe una excelente resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y capacidad de conformado, la chapa de acero incluye: en términos de tanto por ciento en masa, C: 0,05% o menos; Cr: 14 a 19%; Si: 2% o menos; Mn: 4% o menos; Ni: 5 a 8%; Cu: 4% o menos; y N: 0,1% o menos, siendo el resto Fe y las impurezas inevitables, en la que los componentes del acero están incluidos de manera que el siguiente Md está en un intervalo de -20 a 40, y un tamaño medio de grano del orden de 10 µm o menos, una relación de ocupación de límites de grano de ángulo alto, que tienen ángulos de 15° o más, que es del orden de más del 80%.

$$Md = 551 - 462(C + N) - 9,2Si - 8,1Mn - 13,7Cr - 29(Ni + Cu) - 18,2Mo$$

20 En la chapa de acero inoxidable austenítico de grano fino que exhibe una excelente resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y capacidad de conformado, según el aspecto de la presente invención, los componen del acero pueden incluir además, en términos de tanto por ciento en masa, uno o más seleccionados del grupo consistente en Mo: 1% o menos, V: 1% o menos, B: 0,010% o menos, Nb: 0,5% o menos, Ti: 0,5% o menos, elementos de la tierras raras: 0,5% o menos, Al: 0,5% o menos, Mg: 0,005% o menos, y Ca: 0,005% o menos.

25 En la chapa de acero inoxidable austenítico de grano fino que exhibe una excelente resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y capacidad de conformado, según el aspecto de la presente invención, puede que no se produzca el agrietamiento en un ensayo de agrietamiento bajo tensión en el que la chapa de acero es sometida a un embutición cilíndrica profunda con una relación de estiramiento de 1,5 a 2,0, para obtener un producto moldeado por embutición, el producto moldeado por embutición es sumergido en una solución acuosa, a ebullición, de cloruro de magnesio al 42% durante cuatro horas, y se comprueba el hecho del agrietamiento en el producto moldeado por embutición.

30 Aquí, la relación de estiramiento es un valor obtenido dividiendo un diámetro de la pieza bruta por el diámetro del troquel.

35 En la chapa de acero inoxidable austenítico de grano fino que exhibe excelente resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y capacidad de conformado, según el aspecto de la presente invención, el límite elástico del 0,2% puede ser del orden de menos de 400 MPa, y la elongación uniforme puede ser del orden de más del 30%, los cuales se obtienen a partir de un ensayo de tracción.

Efectos de la invención

40 Según la chapa de acero inoxidable austenítico que tiene una estructura de grano fino según el aspecto de la presente invención, el agrietamiento por corrosión bajo tensión que es un defecto del acero inoxidable austenítico, se supera con un contenido de Ni del 8% o menos y sin añadir el costoso Mo; y por ello, se puede asegurar la compatibilidad entre la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y la capacidad de conformado.

**Breve descripción de los dibujos**

La Figura 1 muestra un gráfico que ilustra una relación entre el tamaño medio de grano y Md.

45 La Figura 2 muestra fotografías que ilustran los aspectos exteriores de los productos moldeados por embutición después de ser sumergidos en una solución acuosa, a ebullición, de cloruro de magnesio al 42% durante cuatro horas.

La Figura 3 muestra fotografías que ilustran microestructuras de acero mostrados en (i) y (ii) de la Figura 2.

La Figura 4 muestra un gráfico que ilustra una relación entre el tiempo de iniciación del agrietamiento en una solución acuosa, a ebullición, de cloruro de magnesio al 42%, un tamaño medio de grano, y Md.

50 La Figura 5 muestra un gráfico que ilustra una relación entre el tiempo de iniciación del agrietamiento de un material de grano fino (chapa de acero en el que los granos cristalinos son finos) en una solución acuosa, a ebullición, de cloruro de magnesio al 42%, y una proporción de límites de grano de ángulo alto.

Mejor modo de llevar a cabo la invención

5 Para resolver los problemas anteriormente descritos, los presentes inventores fijaron como objetivo un acero inoxidable austenítico que tenía un contenido de Ni del 8% o menos, y realizaron una investigación minuciosa sobre el balance óptimo de componentes para formar una estructura de grano fino, y sobre la compatibilidad entre la capacidad de conformado y una operación para mejorar el agrietamiento por corrosión bajo tensión debido al afino; y como resultado, llevaron a cabo la invención. Los resultados experimentales representativos se describirán más adelante.

Aquí, en la presente realización, la estructura de grano fino representa una estructura que tiene un tamaño medio de grano de 10  $\mu\text{m}$  o menos.

10 Se fundieron aceros inoxidables austeníticos que tienen los componentes del acero mostrados en la Tabla 1, y se realizó una laminación en caliente para producir chapas de acero laminadas en caliente que tenían un espesor de 3,0 mm. Las chapas laminadas en caliente se recoció a 1150°C, y se realizó un decapado ácido y una laminación en frío para producir chapas laminadas en frío que tenían un espesor de 0,5 mm.

Luego, se recoció las chapas laminadas en frío.

15 En la laminación en frío, se mantuvo la temperatura de la chapa de acero a 10°C mientras que se realizaba el enfriamiento con agua para suprimir la generación de calor durante el tratamiento. Por ello, se fomentó la generación de martensita inducida por deformación.

20 En el recocido de la chapa de acero laminada en frío (recocido final), se ajustó la temperatura en el intervalo de 600 a 1050°C, y se ajustó un tiempo de mantenimiento en el intervalo de un minuto a 24 horas, con el fin de formar una estructura de grano fino utilizando una transformación de fase desde martensita inducida por deformación a austenita.

25 Las chapas de acero que se obtuvieron realizando un recocido final después laminar en frío, fueron sometidas a un decapado en ácido. A continuación, en lo que se refiere a las chapas de acero obtenidas, se midieron sus tamaños medios de partícula, las relaciones de ocupación de los límites de grano de ángulo alto, y los tiempos de iniciación del agrietamiento.

Tabla 1  
(% en masa)

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	N	Md
A	0,029	0,29	1,2	14,3	7,0	2,5	0,020	43,0
B	0,024	0,90	1,8	15,9	7,1	2,0	0,010	29,5
C	0,040	0,60	1,5	16,1	6,4	2,2	0,060	15,3
D	0,043	0,41	1,0	17,2	6,5	2,3	0,058	-0,3
E	0,013	0,33	2,3	16,8	7,1	3,2	0,014	-13,4
F	0,021	0,28	2,0	15,6	8,4	2,9	0,009	-25,0
SUS304	0,055	0,60	1,1	18,2	8,3	0,1	0,035	0,6

30 En la medida del tamaño medio de partícula, se embebó en una resina una superficie del corte transversal de la chapa de acero, se pulió la superficie del corte transversal, y luego fue sometida a un ataque electrolítico con ácido nítrico. A continuación, se midió el tamaño de grano medio mediante un método de microscopio para determinar el tamaño de grano del acero, definido en el documento JIS G0551.

35 La relación de ocupación de los límites de grano de ángulo alto se midió mediante un mapa de límites de grano con un método EBSP. En el método EBSP, los límites de grano de ángulo bajo que tienen ángulos de menos de 15° y los límites de grano de ángulo alto de 15° o más, se pueden distinguir haciendo el mapa de los límites de grano, y se puede calcular la relación de ocupación de los límites de grano de ángulo alto en la totalidad de los límites de grano. Aquí, en el Documento 6, No-Patente, se informa de que un resultado de medir 3000 granos cristalinos, o más, refleja estadísticamente una propiedad representativa de la mayoría. Por lo tanto, se ajustó el aumento de la medida para que incluyera 3000 granos cristalinos o más.

40 En la medida del tiempo de iniciación del agrietamiento, la chapa de acero fue sometida un tratamiento de embutición cilíndrica profunda bajo condiciones en las que el diámetro de la pieza bruta era de 67,5 mm  $\phi$ , y el diámetro del troquel era de 35mm  $\phi$ , el diámetro de la matriz era de 37 mm  $\phi$ , la fuerza mantenida sobre la pieza bruta era de 1 tonelada, y la relación de estiramiento (valor obtenido dividiendo el diámetro de la pieza bruta por el diámetro del troquel) era de 1,9. Se dejó que el producto moldeado por embutición obtenido estuviera como estaba durante 48 horas, y se confirmó que no se producía el agrietamiento por envejecimiento. Luego, el producto moldeado por embutición se sumergió en una solución acuosa, a ebullición, de cloruro de magnesio al 42% que está definido en JIS G0576, y se midió el tiempo de iniciación del agrietamiento.

(a) La Figura 1 ilustra una relación entre el tamaño medio de grano y un balance de componentes (Md) de una chapa de acero que se obtuvo recociendo la chapa de acero laminada en frío a 800°C durante cuatro horas.

Md es un valor definido en la siguiente Ecuación (1). Aquí, cada símbolo de los elementos de la Ecuación (1) representa un contenido (% en masa) del elemento.

$$5 \quad Md = 551 - 462(C + N) - 9,2Si - 8,1Mn - 13,7Cr - 29(Ni + Cu) - 18,2Mo \quad (1)$$

A partir de la Figura 1, se puede comprender que a medida que Md aumenta, el tamaño medio de partícula se hace más pequeño. Debido al aumento de Md, aumenta la cantidad de martensita inducida por deformación que se genera mediante el laminado en frío. Por lo tanto, se considera que debido al aumento de Md, como se describe en el Documento 1, No-Patente, y al Documento 2, No-Patente, el afino utilizando la transformación de fase desde la martensita inducida por deformación se promueve durante el recocido posterior al laminado en frío. A partir de este examen, es eficaz establecer que Md esté en el intervalo de -20 o más, para afinar el tamaño medio de grano, a 10  $\mu\text{m}$  o menos, que es un valor perseguido.

Además, cuando el resultado de SUS304 (un símbolo en forma de rombo en la Figura 1) se comparó con el resultado del acero D, en el que Md es sustancialmente el mismo, se confirmó que los componentes del acero (acero D) en el que el contenido de Cr y el contenido de Ni se reducen y se añade Cu, son eficaces para el afino.

(b) De manera similar a la medida del tiempo de iniciación del agrietamiento, el acero B(i) y el acero B(ii) en los que los tamaños medios de partícula (d) eran diferentes, y SUS316L(iii), fueron sometidos a un proceso de embutición cilíndrica profunda para producir productos moldeados por embutición (materiales sometidos a embutición cilíndrica profunda). Estos productos moldeados por embutición fueron sumergidos en una solución acuosa, a ebullición, de cloruro de magnesio al 42%, durante cuatro horas. La Figura 2 ilustra aspectos exteriores de los productos moldeados por embutición después de la inmersión. Además, la Figura 3 ilustra fotografías de microestructuras del acero B(i) y del acero B(ii) proporcionados para el experimento de la Figura 2.

Como se muestra en la Figura 2, en el acero (Figura 2(i)) en el que el tamaño medio de partícula se afinaba a 3  $\mu\text{m}$ , se podía ver que no se producía agrietamiento como resultado del experimento de sumergir el producto moldeado por embutición (el material sometido a embutición cilíndrica profunda) en la solución acuosa, a ebullición, de cloruro de magnesio al 42%, comparado con el acero (Figura 2(ii)) que tiene un tamaño medio de partículas de 28  $\mu\text{m}$ , que se produjo con un recocido normal (manteniendo a 1050°C durante un minuto).

El SUS316L (17Cr - 12Ni - 2Mo) (Figura 2 (iiii)) es un acero austenítico caro que contiene Ni y Mo en altos contenidos y es superior en resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión comparado con el SUS304 (18Cr - 8Ni) de uso general. Sin embargo, como se muestra en la Figura 2(iii), se produjo una pluralidad de agrietamientos en la porción del extremo de la abertura del producto moldeado por embutición.

A partir de este resultado, se encontró de nuevo que la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión (se produzca, o no, agrietamiento) mejoraba mucho afinando los granos cristalinos.

(c) La Figura 4 ilustra una relación entre el tiempo de iniciación del agrietamiento en la solución acuosa, a ebullición, de cloruro de magnesio al 42%, el tamaño medio de grano, y Md. Aquí, una flecha ( $\uparrow$ ) en la Figura 4 representa que el tiempo de iniciación del agrietamiento es superior al valor del punto marcado.

En una chapa (acero B) que tiene componentes del acero que cumplen que Md = 29,5, debido a un efecto de afino de los granos cristalinos (tamaño medio de grano de 10  $\mu\text{m}$  o menos), se puede ver que el tiempo de iniciación del agrietamiento aumenta mucho. Esta razón no está clara; sin embargo, se supone que va a ser como sigue. El agrietamiento por corrosión bajo tensión es básicamente un agrietamiento transgranular. Debido al afino de los granos cristalinos, la relación de áreas de los puntos de partida del agrietamiento en los granos disminuye mucho. Además, se sabe que la tenacidad a la fractura en el material de acero mejora mucho debido al afino de los granos cristalinos. Se considera que estos tres factores ejercen un efecto respecto a la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión.

En el acero SUS316L como ejemplo comparativo, el agrietamiento se produjo al ser sumergido durante 2 a 3 horas bajo las mismas condiciones de ensayo. En la presente realización, se establece que una propiedad en la que no se produce agrietamiento al ser sumergida durante 4 horas bajo las condiciones de ensayo es una propiedad buscada. Esta propiedad buscada representa que el tiempo de iniciación del agrietamiento es superior a 4 horas, y es claramente superior a la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión (tiempo de iniciación del agrietamiento) del acero SUS316L.

Aquí, en la Figura 4, las chapas de acero (chapas de acero que tienen componentes del acero B) en las que la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión está mejorada debido al afino de los granos cristalinos, son chapas de acero que fueron producidas sometiendo a las chapas laminadas en frío, después de la laminación en frío, a un recocido final a 800°C durante 4 a 24 horas.

Además, en la Figura 4, las chapas de acero en las que los tiempos de iniciación del agrietamiento son inferiores a 4 horas y los tamaños medios de partículas son superiores a 10  $\mu\text{m}$ , son chapas de acero que se produjeron sometiendo las chapas laminadas en frío, después de la laminación en frío, a un recocido final en un intervalo de temperaturas de 900 a 1050°C durante un minuto a cuatro horas. La chapa de acero en la que el tiempo de iniciación del agrietamiento es inferior a 4 horas y el tamaño medio de partícula es de 10  $\mu\text{m}$  o menos, es un acero que se produjo sometiendo una chapa laminada en frío, después de la laminación en frío, a un recocido final a 800°C durante 4 horas.

(d) La exhibición de un efecto debido al afino, en lo que se refiere a la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, se ve afectada por el balance de componentes (Md). Para la exhibición del efecto de suprimir el agrietamiento por corrosión bajo tensión debido al afino, es necesario que se establezca que Md esté en un intervalo de -20 a 40.

En la Figura 4, en las chapas de acero (acero A) que tienen componentes del acero que cumplen que Md = 43, los tiempos de iniciación del agrietamiento no aumentan mucho incluso cuando los granos cristalinos se han afinado. La razón se supone que es como sigue. O sea, se considera que el propio material se endurece debido al afino. Por ello, se supone que en la embutición cilíndrica profunda se genera una gran cantidad de martensita inducida por deformación, y el efecto de supresión del agrietamiento por corrosión bajo tensión no se ejerce (no se exhibe) debido a un aumento de la tensión residual en la pared de la taza. A partir de este examen, resulta eficaz establecer que Md sea del orden de 40 o menos para ejercer (exhibir) el efecto de suprimir el agrietamiento por corrosión bajo tensión debido al afino.

(e) En las chapas de acero (acero G) que tienen componentes del acero que cumplen de Md = -25, que es un valor bajo de Md, se hace difícil formar la estructura de grano fino, como se describió en el apartado (a). Por lo tanto, es difícil suprimir el agrietamiento por corrosión bajo tensión estableciendo que el tamaño medio de grano sea del orden de 10  $\mu\text{m}$  o menos (un efecto debido al afino). A partir de este resultado, resulta eficaz establecer que Md sea del orden de -20 o más para ejercer (exhibir) el efecto de suprimir el agrietamiento por corrosión bajo tensión debido al afino.

(f) Una relación de ocupación de límites de grano de ángulo alto en los límites de grano tiene también un efecto sobre la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión de un material de grano fino (una chapa de acero en la que los granos cristalinos son finos) además de Md. La Figura 5 muestra un gráfico que ilustra una relación entre el tiempo de iniciación del agrietamiento y una proporción de los límites de grano de ángulo alto que tienen ángulos de 15° o más, en una chapa de acero que tiene los componentes de acero del acero B. Aquí, una flecha ( $\uparrow$ ) en la Figura 5 representa que el tiempo de iniciación del agrietamiento es superior al valor del punto marcado. Como se muestra en la Figura 5, en lo que se refiere a la chapa de acero que tiene los componentes de acero del acero B, y en la que los granos cristalinos son finos, la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión descritos en los apartados (b) y (c) mejoran mucho en el caso en donde una proporción de límites de grano de ángulo alto, que tienen ángulos de 15° o más, es superior al 80%. La razón de esto se considera que es como sigue. Se produce un material de grano fino según un método en el que se genera una gran cantidad de martensita inducida por deformación mediante laminación en frío, y se realiza luego un recocido a temperatura inferior al recocido normal para utilizar una transformación inversa desde martensita inducida por deformación a austenita. La cantidad de deformaciones acumulada durante la laminación en frío es grande, y el recocido se realiza a baja temperatura; y, por ello, es apropiado que la cantidad de deformaciones residuales sea grande. En el caso donde se produce una chapa de acero bajo estas condiciones, se detiene la recristalización de los granos austeníticos durante el avance, y hay presente una gran cantidad de límites de grano de ángulo bajo que tienen ángulos de menos de 15° que no se reconocen como los límites de grano de ángulo alto. Por lo tanto, una disminución en la relación de ocupación de los límites de grano de ángulo alto significa que la cantidad las deformaciones residuales en el acero es grande, y se supone que las deformaciones residuales en el acero deterioran la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión.

En la Figura 5, las chapas de acero que tienen los componentes del acero B son chapas de acero que se produjeron sometiendo las chapas laminadas en frío, posterior a la laminación en frío, a un recocido final a 800°C durante 10 minutos a 24 horas. Se ajustaron los tiempos de calentamiento del recocido final y, por ello, se produjeron las chapas en las que las proporciones de límites de grano de ángulo alto eran diferentes. Las chapas de acero mostradas en la Figura 5, en las que las proporciones de los límites de grano de ángulo alto eran superiores al 80% son chapas de acero que se produjeron sometiendo las chapas laminadas en frío, posterior a la laminación en frío, a un recocido final de 800°C durante más de una hora.

(g) El afino de los granos cristalinos está afectado por las condiciones de fabricación con los componentes del acero. Para utilizar la transformación de fase desde martensita inducida por deformación a austenita, es eficaz promover una transformación de martensita inducida por deformación durante la laminación en frío. Para conseguir esto, es preferible que se establezca que la tasa de reducción sea grande en la laminación en frío y se suprime la generación de calor durante el tratamiento. Además, en el material de grano fino, con el fin de aumentar la proporción de límites de grano de ángulo alto para ejercer un efecto de mejora de la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, es preferible realizar el recocido final después de la laminación en frío a una temperatura tan baja como sea posible durante largo tiempo. Específicamente es eficaz realizar el recocido final en un intervalo de

temperatura de 700 a 900°C durante más de una hora. Además, el aumento en la proporción de los límites de grano de ángulo alto que tienen ángulos de 15° o más, es eficaz para la disminución del límite elástico del 0,2% y el aumento en la elongación. Lo que contribuye a la mejora de la capacidad de conformado.

5 En el Documento 8 de Patente, los presentes inventores han propuesto ya una chapa de acero inoxidable austenítico para moldeo por presión que tiene una estructura de grano fino con un tamaño medio de grano de 10 µm o menos, y un método para producir la misma. El Documento 8 de Patente tiene por objeto mejorar el "agrietamiento por envejecimiento", es decir, la fractura retardada, después de un tratamiento de embutición profunda; y por lo tanto, la tecnología del Documento 8 de Patente se refiere a un problema técnico diferente al "agrietamiento por corrosión bajo tensión" que se mejora en la presente realización, y el agrietamiento por corrosión bajo tensión es un fenómeno en el que están implicados la corrosión y la disolución. En el Documento 8 de Patente, no se hizo ningún examen con respecto a la proporción de los límites de grano de ángulo alto que tienen ángulos de 15° o más, lo que tiene el efecto sobre el agrietamiento por corrosión bajo tensión anteriormente descrito. Además el tiempo del recocido final era, sustancialmente, de una hora o menos.

15 En la presente realización, en lo que se refiere al acero de grano fino que se propuso en el Documento 8 de Patente, los presentes inventores hallaron el requisito del intervalo de la proporción de los límites de grano de ángulo alto que tienen ángulos de 15° o más, que es un factor influyente, para mejorar la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión. Además, los presentes inventores han hallado que es eficaz controlar que el tiempo del recocido final sea del orden de más de una hora.

La presente realización se llevó a cabo basándose en los hallazgos de (a) a (g).

20 De aquí en adelante, se describirán con detalle los respectivos requisitos de la presente realización. Además, una expresión de "%" en el contenido de cada elemento representa "% en masa".

(A) Las razones del por qué los componentes del acero de una chapa de acero están restringidos en la presente realización se describirán más adelante.

25 En la presente realización, se forma una estructura de grano fino con un tamaño medio de grano de 10 µm o menos, y se mejora la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión debido al efecto del afino. Por lo tanto, en una chapa de acero inoxidable austenítico de la presente realización, los componentes y el balance de componentes (Md) están definidos.

30 El C es un elemento de generación de austenita, y el C se añade con el fin de asegurar la estabilidad de la austenita. En el caso en el que se añade C en una gran cantidad, esto conduce al endurecimiento; y por ello, se deteriora la capacidad de conformado. Además, se promueve la precipitación de carburos; y por ello, se deteriora la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, que es un objeto de la presente realización. Por lo tanto, el límite superior del contenido de C se establece en el 0,05%. Este límite superior es, preferiblemente, del 0,03%. El límite inferior del contenido de C se establece, preferiblemente, en el 0,005% en lo que respecta a la facilidad de fabricación.

35 Es necesario incluir un 14%, o más, de Cr para obtener suficiente resistencia a la corrosión; y por lo tanto, el límite inferior del contenido de Cr se establece en el 14%. Este límite inferior es preferiblemente del 15%, y más preferiblemente del 16%. Por otro lado, en el caso en donde el Cr se añade en una gran cantidad, esto conduce a un endurecimiento y se forma ferrita δ; y por ello, se deteriora la capacidad de conformado. Además, se impide el afino de los granos cristalinos, que es un objeto de la presente realización. Por lo tanto, se establece el límite superior del contenido de Cr en el 19%. Este límite superior es, preferiblemente, del 18%.

40 El Si es eficaz como un agente desoxidante fuerte. Sin embargo, en el caso en donde el Si se añade en una gran cantidad, esto conduce al endurecimiento y al deterioro de la facilidad de fabricación. Por lo tanto, el límite superior de un contenido de Si se establece en el 2%. Este límite superior es, preferiblemente del 1,5%. Por otro lado, el Si tiene la función de mejorar la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión que es un objeto de la presente realización. Con el fin de obtener esta función, es preferible incluir 0,5%, o más, de Si. El límite inferior del contenido de Si se establece, preferiblemente, en el 0,1% en lo que respecta a la facilidad de fabricación.

45 El Mn es un elemento generador de austenita, y el Mn se añade con el fin de asegurar la estabilidad de la austenita y de mejorar la capacidad de conformado. En el caso en el que se añade Mn en gran cantidad, se genera MnS; y por ello, se deteriora la resistencia a la corrosión. Por lo tanto, la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, que es un objeto de la presente realización, se deteriora. Como resultado, se establece el límite superior del contenido de Mn en el 4%. Este límite superior es, preferiblemente, el 3%. El límite inferior del contenido de Mn se establece, preferiblemente, en el 0,5% para el objeto anteriormente descrito.

55 El Ni es un elemento que se requiere en el acero inoxidable austenítico, y el límite inferior del contenido de Ni se establece en el 5% con el fin de asegurar la estabilidad de la austenita y la capacidad de conformado. Este límite inferior es, preferiblemente, el 6%. Por otro lado, el Ni es un caro y raro, y el Ni tiene también la función de inhibir el afino de los granos cristalinos, que es un objeto de la presente realización. Por lo tanto, el límite superior del contenido de Ni se establece en el 8%. Este límite superior es, preferiblemente, del 7,5% o menos.

- De forma similar al Ni, el Cu se añade con el fin de asegurar la estabilidad de la austenita y el ablandamiento. Además, el Cu es un elemento preferible para reducir el contenido de Ni y para promover la mejora en la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y el afino de los granos cristalinos. Sin embargo, en el caso en el que se añade Cu en una gran cantidad, se deteriora la capacidad de trabajo en caliente. Además, la adición de Cu tiene un efecto adverso sobre las cualidades del acero fundido y sobre la escoria descargada en la que el Cu no es necesario, y sobre su uso eficaz; y por lo tanto, puede originar un problema. Por los tanto, el límite superior del contenido de Cu se establece en el 4%. Este límite superior es, preferiblemente, el 3%. Con el fin de obtener el efecto anteriormente descrito, el límite inferior del contenido de Cu es, preferiblemente, el 1%, y más preferiblemente el 1,5%.
- De forma similar al C, el N es un elemento generador de austenita, y el N se añade con el fin de asegurar la estabilidad de la austenita. Sin embargo, en el caso en el que se añade N en una gran cantidad, esto conduce a un endurecimiento; y por lo tanto, se deteriora la capacidad de conformado. Por lo tanto, se establece el límite superior del contenido de N en el 0,1%. Este límite superior es, preferiblemente, del orden del 0,06% o menos. El límite inferior del contenido de N es, preferiblemente el 0,005%, y más preferiblemente el 0,01%, desde el punto de vista de su relación con la facilidad de fabricación.
- El Mo no es un elemento que se requiera en la presente realización; sin embargo, el Mo se puede añadir según sea necesario para mejorar la resistencia a la corrosión y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, que es un objeto de la presente realización. Sin embargo, el Mo es un elemento raro y muy caro; y por lo tanto, en el caso de añadir Mo, se establece que el límite superior del contenido sea del 1%. Este límite superior es, preferiblemente, el 0,5%. Con el fin de obtener el efecto anteriormente descrito, el límite inferior del contenido de Mo es, preferiblemente, el 0,1%.
- El V no es un elemento que se requiera en la presente realización; sin embargo, el V se puede añadir según sea necesario para mejorar la resistencia a la corrosión y la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, que es un objeto de la presente realización, incluso aunque el efecto obtenido por el V es más pequeño que el efecto obtenido por el Mo. Sin embargo, el V es un elemento caro, y el V es un elemento que refuerza la solución sólida; y por ello, el V deteriora la capacidad de conformado. Por lo tanto, en el caso de añadir V, el límite superior del contenido de V se establece en el 1%. Este límite superior es, preferiblemente, del 0,5%. Con el fin de obtener el efecto anteriormente descrito, el límite inferior del contenido de V es, preferiblemente, del 0,1%.
- Se puede añadir B y un elemento de las tierras raras (REM) según sea necesario para mejorar la capacidad de trabajo en caliente. Sin embargo, en el caso en el que el contenido de B es del orden de más del 0,010%, la facilidad de fabricación y la resistencia a la corrosión se pueden deteriorar mucho. Por lo tanto, en el caso de añadir B, el límite superior del contenido de B se establece en el 0,010%. Este límite superior es, preferiblemente, del 0,005%. En el caso de añadir B, el límite inferior del contenido de B es, preferiblemente, del 0,0005%.
- Por otro lado, en el caso en el que el contenido de un elemento de las tierras raras sea superior al 0,5%, la facilidad de fabricación se puede deteriorar y la eficacia económica puede disminuir. Por lo tanto, el límite superior del contenido del elemento de las tierras rara se establece, preferiblemente, en el 0,5%. Este límite superior es, más preferiblemente, el 0,2%. En el caso de añadir el elemento de las tierras raras, el límite inferior del contenido de elemento de las tierras raras es, preferiblemente, del 0,005%.
- Aquí, el elemento de las tierras raras (REM) es uno, o más, seleccionado del grupo consistente en Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, y Lu.
- El Nb y el Ti generan carbonitruros; y por ello, se suprime la generación de carburos de Cr. Debido a esto, el Nb y el Ti contribuyen a la mejora de la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión. Por lo tanto, se puede añadir Nb y Ti según sea necesario. Sin embargo, en el caso en el que se añade Nb o Ti en una gran cantidad, la capacidad de conformado y la facilidad de fabricación se deterioran. Por lo tanto, cada límite superior del contenido de Nb y del contenido de Ti se establece en el 0,5%. Cada límite superior del contenido de Nb y del contenido de Ti es, preferiblemente, del 0,3. En el caso de añadir Nb o Ti, cada límite inferior del contenido de Nb y del contenido de Ti es, preferiblemente, del 0,005%, y más preferiblemente del 0,01%.
- El Al es un elemento eficaz como elemento desoxidante; y por lo tanto, el Al se puede añadir según sea necesario. Sin embargo, en el caso en el que el Al se añade excesivamente, esto conduce al deterioro de la capacidad de conformado y de la soldabilidad; y por lo tanto, el límite superior del contenido de Al se establece en el 0,5%. Este límite superior es, preferiblemente, del 0,3%, y más preferiblemente del 0,1%. En el caso de añadir Al, el límite inferior del contenido de Al es, preferiblemente, de 0,01%.
- El Mg y el Ca forman óxidos en el acero fundido junto con el Al; y por lo tanto, el Mg y el Ca operan como agentes desoxidantes. Por lo tanto, el Mg y el Ca se pueden añadir según sea necesario.
- El Ca fija el S para mejorar la capacidad de trabajo en caliente. Sin embargo, en el caso en el que el Mg y el Ca se añaden excesivamente, esto conduce al deterioro de la resistencia a la corrosión y a la soldabilidad; y por lo tanto, cada límite superior del contenido de Mg y del contenido de Ca se establece en el 0,005%. Cada límite superior del

contenido de Mg y del contenido de Ca es, preferiblemente, el 0,002%. En el caso de añadir Mg o Ca, cada límite inferior del contenido de Mg y del contenido de Ca es del 0,0001%, y más preferiblemente el 0,0003%.

Además de los componentes anteriormente descritos, el acero inoxidable austenítico, según la presente realización, puede contener P y S como una parte de las inevitables impurezas dentro de un intervalo descrito más adelante. El P y el S son elementos que son perjudiciales para la capacidad de trabajo en caliente y la resistencia a la corrosión. El P y el S son elementos que son perjudiciales para la capacidad de ser trabajado en caliente y la resistencia a la corrosión. Se establece que el contenido de P es del orden del 0,1% o menos. El contenido de P es más preferiblemente del orden de 0,05% o menos. Se establece que el contenido de S es del orden del 0,01% o menos. El contenido de S es más preferiblemente del orden del 0,005% o menos.

En la presente realización, además de los intervalos de los componentes anteriormente descritos, se define un balance de componentes, que es óptimo para la formación de una estructura de grano fino, mediante Md que se expresa por la Ecuación (1).

$$Md = 551 - 462(C + N) - 9,2Si - 8,1Mn - 13,7Cr - 29(Ni + Cu) - 18,2Mo \quad (1)$$

En un acero inoxidable austenítico metaestable, se origina una transformación martensítica mediante un tratamiento plástico incluso en un orden de temperatura correspondiente al punto Ms (temperatura de iniciación de la transformación martensítica) o más. La temperatura del límite superior a la cual se origina la transformación mediante un tratamiento se denomina punto Md. O sea, el punto Md es un índice que indica la estabilidad de la austenita.

En el caso en el que se ajustan los componentes de manera que el Md expresado mediante la Ecuación (1) queda en el intervalo de -20 a 40, se puede obtener una función de mejora de la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, que es un objeto de la presente realización, debido a la formación de la estructura de grano fino y al afino. En el caso en donde el Md es inferior a -20, como se describe en los apartados (d) y (e), es difícil formar la estructura de grano fino y mejorar la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión. Por otro lado, en el caso en donde el Md es superior a 40, como se describe en los apartados (d) y (e), es eficaz para la formación de la estructura de grano fino; sin embargo, se inhibe la mejora de la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión. Un intervalo preferible del Md es de -5 a 35.

(B) A continuación se describirá un método de producir una chapa de acero según la presente realización.

En el caso de producir una chapa de acero inoxidable austenítico de grano fino según la presente realización, es preferible que estén contenidos los componentes del acero descritos en (A). Además, es preferible que se apliquen las siguientes condiciones de producción con el fin de hacer que el tamaño medio de grano sea del orden de 10 μm o menos, y hacer que la relación de ocupación de límites de grano de ángulo alto que tienen ángulos de 15°, o más sea, del orden de más del 80%, para mejorar de forma eficaz la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión.

El método para producir una chapa de acero según la presente realización incluye: un proceso de someter una plancha que tiene los componentes del acero del apartado (A) a una laminación en caliente para producir una chapa de acero laminada en caliente; un proceso de recocido de la chapa laminada en caliente (recocido de la chapa laminada en caliente); un proceso de someter la chapa de acero laminada en caliente y recocida a una laminación en frío para producir la chapa de acero laminada en frío; y un proceso de recocido de la chapa de acero laminada en frío (referido como recocido de chapa de acero laminada en frío o recocido final).

Los métodos de producción de los procesos hasta la laminación en caliente no están particularmente limitados, y se aplican condiciones bien conocidas.

Con el fin de formar la estructura de grano fino mediante el recocido final posterior a la laminación en frío, según se describe en el apartado (g), es eficaz promover la transformación martensítica inducida por deformación en la laminación en frío. Con el fin de hacer que el tamaño medio de grano sea del orden de 10 μm o menos, que es un objeto de la presente realización, es eficaz establecer la relación de volumen de la martensita inducida por deformación sea del orden del 50% o más, después de la laminación en frío. La relación de volumen de la martensita inducida por deformación es, preferiblemente, del orden de más del 60%. Las condiciones del recocido final, posterior a la laminación en frío, se ajustan para afinar los granos cristalinos y aumentar la proporción de límites de grano de ángulo alto que tienen ángulos de 15° o más. También es preferible ajustar las condiciones de la laminación en frío y, además, también es preferible ajustar las condiciones del recocido de la chapa de acero laminada en caliente.

Ahora se describirán las condiciones de los respectivos procesos

En el recocido de la chapa de acero laminada en caliente, es preferible establecer una temperatura de recocido de la chapa laminada en caliente que esté en el intervalo de 1050 a 1200°C con el fin de que los granos gruesos de austenita, que van a ser sometidos a la laminación en frío, sean del orden de 20 μm o más; y por ello, se promueve la transformación martensítica inducida por deformación en la laminación en frío. En el caso en el que la temperatura

5 del recocido de la chapa de acero laminada en caliente sea inferior a 1050°C, los tamaños de grano de la austenita pueden ser inferiores a 20 µm. En el caso en donde la temperatura del recocido de la chapa de acero laminada en caliente sea superior a 1200°C, la propiedad del decapado en ácido posterior al recocido se puede deteriorar; y por ello, se puede deteriorar la calidad de la superficie. Además, el recocido a una temperatura superior a 1200°C origina una gran carga en una instalación. La temperatura del recocido de la chapa de acero laminada en caliente está, más preferiblemente, en el intervalo de 1080 a 1180°C.

En la laminación en frío, es preferible que se establezca que la tasa de reducción de la laminación sea del orden del 70% o más, y la temperatura de laminación se establece que sea del orden de 50°C o menos, con el fin de promover la transformación martensítica inducida por deformación.

10 En el caso en el que la tasa de reducción por laminación es inferior al 70%, la relación de volumen de martensita inducida por deformación llega a ser inferior al 50%; y por ello, es difícil formar la estructura de grano fino como se describió anteriormente. La tasa de reducción por laminación es, más preferiblemente, del orden del 80% o más. El límite superior de la tasa de reducción por laminación no está particularmente limitado; sin embargo, el límite superior de la tasa de reducción por laminación es, preferiblemente, del orden del 90% o menos, teniendo en consideración la producción de la chapa de acero laminada en caliente y la capacidad de la instalación de laminación en frío.

15 En el caso en el que la temperatura de laminación es superior a 50°C, la relación de volumen de martensita inducida por deformación llega a ser inferior al 50%, y por ello, es difícil formar una estructura de grano fino, como se describió anteriormente. El límite inferior de la temperatura inferior de laminación no está particularmente limitado; sin embargo, es preferible que el límite sea del orden de 10°C o más, que es una temperatura alcanzada mediante la refrigeración industrial con agua. En el caso de producir la chapa de acero con una instalación de laminación de pequeño tamaño, la temperatura de laminación no está limitada a la temperatura de 10°C o más alta, se puede establecer a una temperatura baja (por ejemplo, -200°C) que se alcanza mediante refrigeración con nitrógeno líquido o similares.

25 En el recocido final, posterior a la laminación en frío, se establece que la temperatura del recocido final esté en el intervalo de 700 a 1050°C con el fin de hacer que el tamaño medio de partícula sea del orden de 10 µm o menos, y hacer que la proporción de límites de grano de ángulo alto sea del orden de más del 80%. En el caso en donde la temperatura del recocido final sea inferior a 700°C, se mantiene un estado en el que se acumulan las deformaciones durante la laminación en frío, y la recristalización de los granos de austenita llega a ser insuficiente; y por lo tanto, se deteriora mucho la capacidad de conformado. Además, la proporción de límites de grano de ángulo alto que tiene ángulos de 15° o más, es pequeña; y por ello, se deteriora la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión que es un objeto de la presente realización. Es preferible establecer que el límite inferior de la temperatura del recocido final sea del orden de 750°C o más. En el caso en donde la temperatura del recocido final sea superior a 1050°C, progresa el crecimiento de grano de austenita; y por ello, el tamaño medio de grano llega a ser superior al 10 µm. Es preferible establecer que la temperatura del recocido final sea del orden de 900°C o menos. Con el fin de obtener una estructura de grano fino en la que la proporción de límites de grano de ángulo alto sea superior al 80%, que es un objeto de la presente realización, es más preferible establecer que la temperatura del recocido final esté en el intervalo de 750 a 850°C.

30 En el caso en el que la temperatura del recocido final esté dentro de un intervalo de 700 a 900°C, es preferible establecer un tiempo de recocido del recocido final sea del orden de más de una hora con el fin de promover la recristalización de la austenita; y por ello, aumenta la proporción de los límites de grano de ángulo alto que tiene ángulos de 15° o más. El tiempo de recocido del recocido final es, más preferiblemente, del orden de dos horas o más.

35 El límite superior del tiempo de recocido (tiempo de mantenimiento) del recocido final no está limitado; sin embargo, es preferible establecer que el tiempo de recocido sea del orden de 24 horas o menos, suponiendo que se use un recocido en cajas de un acero inoxidable basado en cromo, bien conocido industrialmente. Con el fin de obtener una estructura de grano fino en el que la proporción de límites de grano de ángulo alto es superior al 80%, que es un objeto de la presente realización, es más preferible establecer el tiempo de recocido del recocido final esté en un intervalo de 4 a 24 horas. En el caso de producir la chapa de acero con una instalación de recocido a pequeña escala, el tiempo de recocido del recocido final no se limita a 24 o menos, y puede establecerse que sea del orden de más de 24 horas.

40 En el caso en el que la temperatura del recocido final esté en un intervalo de más de 900°C a 1050°C, es preferible establecer que el tiempo del recocido final sea del orden de 10 minutos o menos (un corto tiempo de mantenimiento) en consideración al tamaño de grano. Más preferiblemente, el tiempo de recocido (tiempo de mantenimiento) del recocido final puede ser del orden de un minuto o menos.

45 (C) La razón de por qué está restringida la estructura metálica de la chapa de acero según la presente realización se describirá más adelante.

En la chapa de acero austenítico de grano fino, según la presente realización, el tamaño medio de grano es del orden de 10  $\mu\text{m}$  o menos, y la proporción de límites de grano de ángulo alto, que tienen ángulos de 15° o más, es del orden de más del 80%. Esta estructura metálica se puede obtener sometiendo una plancha que tiene los componentes del acero del apartado (A) a procesos bajo las condiciones de producción preferidas del apartado (B).

5 En el caso en el que el tamaño medio de grano es superior a 10  $\mu\text{m}$ , es difícil obtener una excelente resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión debida al afino, que es un objeto de la presente realización. Además, incluso cuando el tamaño medio de grano es del orden de 10  $\mu\text{m}$  o menos, en el caso en el que la proporción de los límites de grano de ángulo alto, que tienen ángulos de 15° o más, es inferior al 80%, la mejora de la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión debida al afino disminuye, como se describe en el apartado (f).

10 Con el fin de mejorar de manera eficaz la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, que es un objeto de la presente realización, es preferible que el tamaño medio de grano sea del orden de 5  $\mu\text{m}$  o menos, y la proporción de límites de grano de ángulo alto, que tienen ángulos de 15° o más, sea del orden de más del 85%. El límite inferior del tamaño medio de grano no está particularmente limitado; sin embargo, a partir de los Documentos 1 y 2, No-Patentes, y del Documento 1 de Patente, se puede comprender que es difícil que el tamaño medio de grano sea inferior a 1  $\mu\text{m}$ . Por lo tanto, en consideración al aspecto práctico, es preferible establecer que el tamaño medio de grano esté en el intervalo de 1 a 5  $\mu\text{m}$ .

20 Se establece que la proporción de límites de grano de ángulo alto, que tienen ángulos de 15° o más, sea del orden de más del 80%, como se describió anteriormente, y preferiblemente del orden de más del 85%. El aumento de la proporción de límites de grano de ángulo alto es eficaz para la disminución del límite elástico del 0,2% y un aumento de la elongación en el material de grano fino (chapa de acero en la que los granos cristalinos son finos), y el aumento de la proporción de límites de grano de ángulo alto contribuye a la mejora de la capacidad de conformado.

25 A partir de los antecedentes anteriormente descritos, es preferible que la capacidad de conformado, que es un objeto de la presente realización, sea superior a la capacidad de conformado de un acero inoxidable ferrítico y está cerca de la capacidad de conformado del acero inoxidable austenítico representado por SUS304 o similares. Por lo tanto, es preferible que el límite elástico del 0,2% sea del orden de menos de 400 MPa, y la elongación uniforme sea del orden de más del 30%.

Con el fin de alcanzar a la vez la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y la capacidad de conformado, la proporción de los límites de grano de ángulo alto, que tienen ángulos de 15° o más, sea preferiblemente del orden de más del 85%, y más preferiblemente del orden de más del 90%.

30 Aquí, en la presente realización, las propiedades mecánicas del límite elástico del 0,2% y la elongación uniforme se evalúan mediante el ensayo de tracción JIS N° 13 B.

### Ejemplos

De aquí en adelante, se describirán ejemplos de la presente invención.

35 Se sometieron a fusión planchas de acero austenítico que tenía los componentes del acero mostrados en la Tabla 2, y se realizó una laminación en caliente para producir una chapa de acero laminada en caliente que tenía un espesor de chapa de 4 mm. Los aceros números 1 a 23 cumplen las condiciones de los componentes del acero, definidas en la presente realización.

## ES 2 546 412 T3

Tabla 2  
(% en masa)

Acero N°	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	N	Otros	Md
1	0,023	0,88	1,8	16,0	7,1	2,1	0,011		25,3
2	0,047	0,89	1,7	16,1	6,9	2,0	0,010		22,2
3	0,007	0,90	1,8	16,1	7,1	2,1	0,011		30,9
4	0,040	0,88	1,8	14,2	7,2	2,1	0,011		38,9
5	0,023	0,88	1,8	18,8	6,9	2,0	0,011		-4,6
6	0,020	0,20	1,8	16,0	7,1	2,1	0,011		33,0
7	0,023	1,60	1,8	16,0	7,1	2,5	0,011	-	7,1
8	0,023	0,88	3,6	16,0	7,1	1,9	0,011		16,3
9	0,023	0,88	0,5	16,0	7,1	2,2	0,011		32,7
10	0,023	0,88	1,8	16,0	7,8	2,0	0,011		7,4
11	0,045	0,90	2,0	16,5	5,6	2,5	0,011		37,9
12	0,025	1,20	2,0	16,0	7,5	1,0	0,015		37,8
13	0,020	0,80	1,7	16,0	7,0	3,5	0,012		-10,4
14	0,023	0,90	1,8	16,0	7,1	1,6	0,090		2,9
15	0,023	0,90	1,9	16,0	7,0	2,0	0,007		31,5
16	0,025	0,90	1,8	16,1	7,0	2,0	0,010	Mo:0,8	15,8
17	0,023	0,88	1,8	16,0	7,0	2,1	0,011	B:0,0015	27,9
18	0,023	0,88	1,8	16,0	7,1	2,0	0,011	REM:0,12	28,2
19	0,025	0,90	2,0	16,0	7,1	2,1	0,011	Ti:0,05	22,4
20	0,023	0,88	2,0	15,8	7,1	2,1	0,011	Nb:0,2, Ti:0,01	26,2
21	0,023	0,90	2,0	15,9	7,1	2,1	0,011	Mg, Ca: 0,0007	24,7
22	0,025	0,90	2,0	15,8	7,1	2,1	0,011	Al:0,2	25,1
23	0,025	1,00	1,8	16,0	7,2	1,8	0,013	V:0,4	27,6
24	0,040	0,60	1,0	18,2	8,4	0,8	0,035		-15,2
25	0,011	0,50	0,6	18,1	8,2	0,1	0,01		41,8
26	0,060	0,55	0,9	16,8	10,0	0,2	0,015	Mo:2	-58,9
27	0,013	0,31	2,1	16,8	7,6	3,5	0,025		-39,9
28	0,010	0,55	1,0	16,2	7,0	2,0	0,01		43,8

- 5 Las chapas laminadas en caliente se recocieron, y después se realizó una laminación en frío y un recocido final. La laminación en frío y el recocido final se realizaron bajo las condiciones preferidas de la presente realización y otras condiciones. En particular, la laminación en frío se realizó o bien bajo la condición en la que la temperatura de laminación era inferior a 30°C (<30°C) mientras que se enfriaba con agua a temperatura ambiente, o la condición en la que la temperatura de laminación era superior a 50°C (>50°C) durante la laminación en frío debido al calor generado durante el tratamiento sin realizar una refrigeración con agua o similares.
- 10 Las chapas de acero producidas por laminación en frío y recocido final fueron decapadas con ácido, y luego se realizó la medida del tamaño medio de grano, la medida de la proporción de límites de grano de ángulo alto, que tienen ángulos de 15° o más según el método EBSP, la medida de la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión (tiempo de iniciación del agrietamiento), y la medida de las propiedades mecánicas (límite elástico del 0,2% y la elongación uniforme).
- 15 Se realizaron diversos métodos de evaluación bajo las condiciones anteriormente descritas.
- Específicamente, en la medida del tamaño de grano, la superficie del corte transversal de la chapa de acero se embebió en una resina y la superficie del corte transversal se pulió, y luego se sometió la superficie del corte transversal a un ataque electrolítico con ácido nítrico. A continuación, se midió el tamaño medio de grano mediante un método de ensayo con microscopio para ver el tamaño de grano del acero, definido en JIS G0551.
- 20 En la medida de la proporción de los límites de grano de ángulo alto, se ajustó el aumento de la medida para que incluyera 3000 granos cristalinos o más, y se midió un mapa de límites de grano de una microestructura de la chapa de acero mediante el método EBSP. Los límites de grano de ángulo bajo, de menos de 15°, y los límites de grano de ángulo alto, que tienen ángulos de 15° o más, se distinguieron mediante el mapa de límites de grano, y luego se calculó la relación de ocupación de los límites de grano de ángulo alto respecto a la totalidad de los límites de grano.
- 25 En la medida del tiempo de iniciación del agrietamiento, de forma similar al método de medida anteriormente descrito, la chapa de acero fue sometida a un tratamiento de embutición cilíndrica profunda bajo condiciones donde el diámetro de la pieza bruta era de 67,5 mm  $\phi$ , el diámetro, y el diámetro del troquel era de 35 mm  $\phi$ , el diámetro de la matriz era de 37 mm  $\phi$ , la fuerza mantenida sobre la pieza bruta fue de 1 tonelada, y la relación de estiramiento (un valor obtenido dividiendo el diámetro de la pieza bruta por el diámetro del troquel) era de 1,9. El producto

## ES 2 546 412 T3

5 moldeado por embutición obtenido se dejó como estaba durante 48 horas, y se confirmó que no se producía agrietamiento por envejecimiento. Luego el producto moldeado por embutición se sumergió en una solución acuosa, a ebullición, de cloruro de magnesio al 42% que está definida en el documento JIS G057, y luego se midió el tiempo de iniciación del agrietamiento (agrietamiento por corrosión bajo tensión). Mediante observación visual se determinó si se producía, o no, el agrietamiento.

Se evaluaron las propiedades mecánicas mediante un ensayo JIS N° 13 B,

En la Tabla 3 se muestra una relación entre las condiciones de producción y las propiedades.

10 En la Tabla 3, "HA" representa el recocido de la chapa de acero laminada en caliente, y "FA" representa el recocido final. "Tamaño de grano" representa el tamaño medio de grano, y "proporción de ángulo alto" representa la relación de ocupación (%) de límites de grano de ángulo alto (límites de grano de gran ángulo) (proporción de límites de grano de ángulo alto). "Tiempo de iniciación SCC" representa en tiempo en el que se produce el agrietamiento por corrosión bajo tensión. En el "tiempo de iniciación SCC" "↑" representa que el tiempo es superior a un valor descrito a su izquierda. Además, el símbolo "\*" representa un valor fuera de las condiciones requeridas o de las condiciones preferidas definidas en la presente realización.

Tabla 3

Ensayo Nº	Acero Nº	HA (°C)	FA		Laminado en frío		Tamaño de grano µm (Proporción de límites de grano de ángulo alto)	Tiempo (h) de iniciación SCC	Límite elástico del 0,2% (MPa)	Elongación uniforme (%)	Nota
			Temperatura (°C)	Tiempo	Reducción de laminación	Temperatura (°C)					
1	1	1150	800	4 h	85%	<30	3,5 (88)	12↑	330	41	Ejemplo presente
2	1	1150	800	2 h	85%	>50	7 (82)	8	350	39	Ejemplo presente
3	1	1150	950	1 min	85%	<30	9 (90)	8	310	43	Ejemplo presente
4	1	1150	800	12 h	68%	>50	7,5 (95)	8	310	43	Ejemplo presente
5	1	1150	800	1 h	85%	>50	6 (75*)	3*	320	42	Ejemplo comparativo
6	1	1150	680	24 h	85%	<30	1 (70*)	0,5*	460*	28*	Ejemplo comparativo
7	1	1080	1080	1 min	85%	>50	30* (98)	3*	260	49	Ejemplo comparativo
8	2	1150	800	4 h	85%	<30	2 (85)	8	370	38	Ejemplo presente
9	3	1150	800	4 h	85%	<30	4,5 (90)	12↑	290	43	Ejemplo presente
10	4	1150	800	4 h	85%	<30	3 (90)	10	310	40	Ejemplo presente
11	5	1150	800	4 h	85%	<30	5,5 (88)	12↑	350	37	Ejemplo presente
12	6	1150	800	4 h	85%	<30	3 (90)	10	320	44	Ejemplo presente
13	7	1150	800	4 h	85%	<30	6,5 (88)	12↑	370	37	Ejemplo presente
14	8	1150	800	4 h	85%	<30	6,5 (88)	9	340	40	Ejemplo presente
15	9	1150	800	4 h	85%	<30	4 (90)	12↑	320	41	Ejemplo presente
16	10	1150	800	4 h	85%	<30	6,5 (85)	9	340	40	Ejemplo presente
17	11	1150	800	4 h	85%	<30	3 (90)	8	320	37	Ejemplo presente
18	12	1150	800	4 h	85%	<30	3,5 (90)	8	320	36	Ejemplo presente
19	13	1150	800	4 h	85%	<30	6 (85)	12↑	350	36	Ejemplo presente

(Notas) HA: recocido de la chapa de acero laminada en caliente, FA: recocido final, Tamaño de grano: tamaño medio de grano  
 Proporción de límites de grano de ángulo alto: relación de ocupación de límites de grano de ángulo alto (%), SCC: agrietamiento por corrosión bajo tensión  
 Se describe un valor de la relación de ocupación de los límites de grano de ángulo alto (%) entre paréntesis, en paralelo al tamaño de grano.  
 En el tiempo de iniciación del SCC, "↑" representa que el tiempo es superior a un intervalo numérico.  
 "\*" representa un valor fuera de las condiciones definidas en la presente realización.

Tabla 3 (continuación)

Ensayo Nº	Acero Nº	HA (°C)	FA		Laminado en frío		Tamaño de grano µm (Proporción de límites de grano de ángulo alto)	Tiempo (h) de iniciación SCC	Límite elástico del 0,2% (MPa)	Elongación uniforme (%)	Nota
			Temperatura (°C)	Tiempo	Reducción de laminación	Temperatura (°C)					
20	14	1150	800	4 h	85%	<30	7 (85)	12↑	380	33	Ejemplo presente
21	15	1150	800	4 h	85%	<30	3,5 (90)	10	300	42	Ejemplo presente
22	16	1150	800	4 h	85%	<30	6 (85)	12↑	340	37	Ejemplo presente
23	17	1150	800	4 h	85%	<30	3,5 (95)	12↑	300	43	Ejemplo presente
24	18	1150	800	4 h	85%	<30	3,5 (85)	12↑	320	39	Ejemplo presente
25	19	1150	800	4 h	85%	<30	3 (85)	12↑	280	44	Ejemplo presente
26	20	1150	800	4 h	85%	<30	3 (83)	12↑	350	39	Ejemplo presente
27	21	1150	800	4 h	85%	<30	3,5 (90)	12↑	300	43	Ejemplo presente
28	22	1150	800	4 h	85%	<30	3,5 (85)	12↑	310	42	Ejemplo presente
29	23	1100	920	1 min	85%	<30	7,5 (85)	12↑	340	39	Ejemplo presente
30	24	1150	800	4 h	85%	<30	6 (78*)	1*	450*	37	Ejemplo comparativo
31	24	1080	1080	1 min	85%	<30	28*(98)	1*	270	47	Ejemplo comparativo
32	25	1150	800	4 h	85%	<30	3,5 (75*)	1*	430*	35	Ejemplo comparativo
33	25	1080	1080	1 min	85%	<30	30*(98)	2*	240	50	Ejemplo comparativo
34	26	1150	800	4 h	85%	<30	15*(75*)	2*	410*	28*	Ejemplo comparativo
35	27	1150	800	4 h	85%	<30	12*(90)	3*	260	45	Ejemplo comparativo
36	27	1080	1080	1 min	85%	<30	30*(98)	3*	240	47	Ejemplo comparativo
37	28	1150	800	4 h	85%	<30	3 (90)	2*	300	43	Ejemplo comparativo

(Notas) HA: recocido de la chapa de acero laminada en caliente, FA: recocido final, Tamaño de grano: tamaño medio de grano  
 Proporción de límites de grano de ángulo alto: relación de ocupación de límites de grano de ángulo alto (%), SCC: agrietamiento por corrosión bajo tensión  
 Se describe un valor de la relación de ocupación de los límites de grano de ángulo alto (%) entre paréntesis, en paralelo al tamaño de grano.  
 En el tiempo de iniciación del SCC, "↑" representa que el tiempo es superior a un intervalo numérico.  
 "\*" representa un valor fuera de las condiciones definidas en la presente realización.

Los ensayos números 1, 3, 8 a 29, tenían componentes del acero de la presente realización, y se produjeron bajo las condiciones de producción preferidas. En estas chapas de acero, se obtuvieron los resultados de la evaluación descritos más adelante. Los tamaños medios de grano eran del orden de 10  $\mu\text{m}$  o menos, las proporciones de los límites de grano de ángulo alto, que tienen ángulos de 15° o más, eran del orden de más del 80%, y los tiempos de iniciación del agrietamiento por corrosión bajo tensión eran muy superiores a cuatro horas, que es un valor perseguido. Además, estas chapas de acero tenían propiedades mecánicas en las que el límite elástico del 0,2% era del orden de menos de 400 MPa, y las elongaciones uniformes eran del orden de más del 30%. Por lo tanto, la capacidad de conformado preferida lograba junto con una excelente resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión. A partir de esto, la chapa de hacer inoxidable austenítico que tenía los componentes del acero de la presente realización, y que se produjo bajo las condiciones de producción preferidas de la presente realización, exhibía una excelente resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión debida al afino de los granos cristalinos; y por ello, se logró la compatibilidad entre la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y la capacidad de conformado.

El ensayo N° 5 tenía los componentes del acero de la presente realización; sin embargo, el tiempo de recocido del recocido final era de una hora, lo cual era corto. Por lo tanto, la recrystalización de la austenita no se promovió suficientemente, y la proporción de los límites de grano de ángulo alto, que tienen ángulos de 15° o más, era del 75% y no alcanzaba el 80%. Como resultado, el tamaño medio de grano era de 6  $\mu\text{m}$ , que era pequeño; sin embargo, el tiempo de iniciación del agrietamiento por corrosión bajo tensión era de tres horas. Por lo tanto, no se obtuvo la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión.

El ensayo N° 6 tenía los componentes del acero de la presente realización; sin embargo, el ensayo N° 6 se produjo bajo las condiciones fuera de las condiciones de producción preferidas de la presente realización. Ya que la temperatura del recocido total era inferior a 700°C, y se mantuvo en un estado en el que se acumularon las deformaciones durante la laminación en frío, y la recrystalización de los granos de austenita fue insuficiente. Como resultado, la proporción de los límites de grano de ángulo alto, de 15° o más, no alcanzó el 80%. Además, el tamaño medio de grano era de 1  $\mu\text{m}$ , lo cual era pequeño; sin embargo, la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión no mejoró debido a las deformaciones residuales durante la laminación en frío, y el tiempo de iniciación del agrietamiento por corrosión bajo tensión era de 0,5 horas. Además, el límite elástico del 0,2% era de 400 MPa o más, y la chapa de acero se endureció; y por ello, se deterioró la capacidad de conformado.

El ensayo N° 7 tenía los componentes del acero de la presente realización; sin embargo, el ensayo N° 7 se realizó recociendo a una temperatura de recocido conocida, y la temperatura del recocido total era superior a 1050°C. Por lo tanto, el tamaño medio de grano era de 30  $\mu\text{m}$ . La proporción de los límites de grano de ángulo alto, de 15° o más, era del 98%; sin embargo, el tiempo de iniciación del agrietamiento era de tres horas, y no se halló la mejora de la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión debida al afino de los granos cristalinos.

Los ensayos números 30, 32, 34, 35, y 37 tenían componentes del acero que se salían de las condiciones de la presente realización; sin embargo, estos aceros se produjeron bajo las condiciones de conducción preferidas de la presente realización. En los ensayos 30, 32 y 37, se afinaron los granos cristalinos; y por ello, los tamaños medios de grano eran del orden de 10  $\mu\text{m}$  o menos.

Sin embargo, los tiempos de iniciación del agrietamiento por corrosión bajo tensión eran inferiores a cuatro horas, y no se halló la mejora en la resistencia al agrietamiento por deformación bajo tensión, que es un objetivo de la presente realización. En particular, en el ensayo N° 37, ya que Md era superior a 40, se consideró que se inhibía la exhibición de la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión. En los ensayos números 34 y 35, ya que Md es inferior a -20, fue difícil formar la estructura de grano fino; y por ello, los tamaños medios de grano eran superiores a los 10  $\mu\text{m}$ . Por lo tanto, los tiempos de iniciación del agrietamiento por corrosión bajo tensión se hicieron inferiores de las cuatro horas, y no se halló una la mejora de la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión, que es un objetivo de la presente realización.

Los ensayos números 31, 33, y 36 tenían componentes del acero que se salían de las condiciones de la presente realización, y estos aceros de los ensayos se produjeron bajo condiciones que se salían de las condiciones de producción preferidas de la presente realización. Los tamaños medios de grano de estas chapas de acero eran de 28  $\mu\text{m}$  a 30  $\mu\text{m}$ , y las resistencias al agrietamiento por corrosión bajo tensión no alcanzaron el valor perseguido de la presente realización, y se esperaban estos resultados de los componentes que eran conocidos a partir de la técnica relaciona

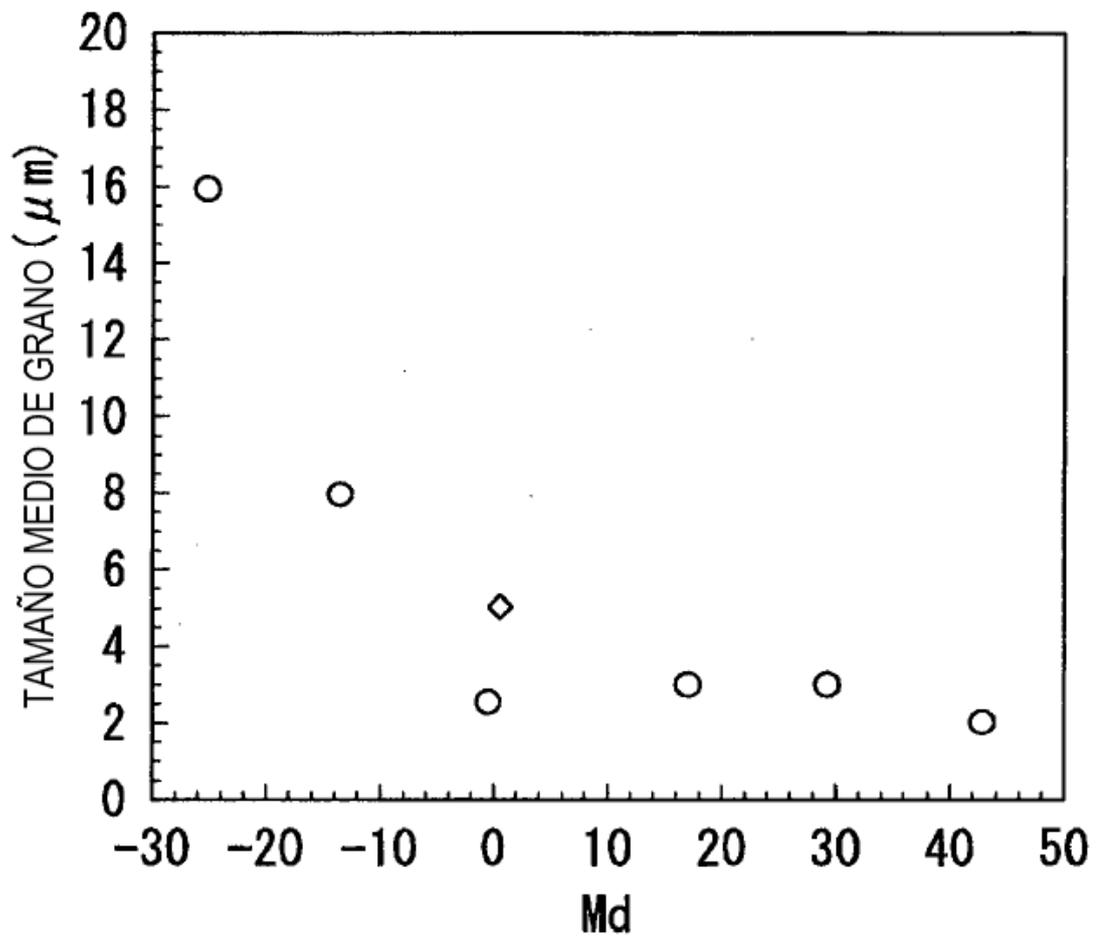
### **Aplicabilidad industrial**

Según la presente realización, los granos cristalinos se afinan bajo unas condiciones en las que el contenido de Ni es del orden del 8% o menos y no se incluye el costoso Mo; y por ello, es posible obtener un acero inoxidable austenítico en el que se supera el agrietamiento por corrosión bajo tensión, que es un defecto del acero inoxidable austenítico, y se promueve la compatibilidad entre la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y la capacidad de conformado. Por lo tanto, la chapa de acero austenítico según la presente realización se puede aplicar adecuadamente a los miembros que se usan bajo un ambiente corrosivo que incluye iones cloruro, o similares.

**REIVINDICACIONES**

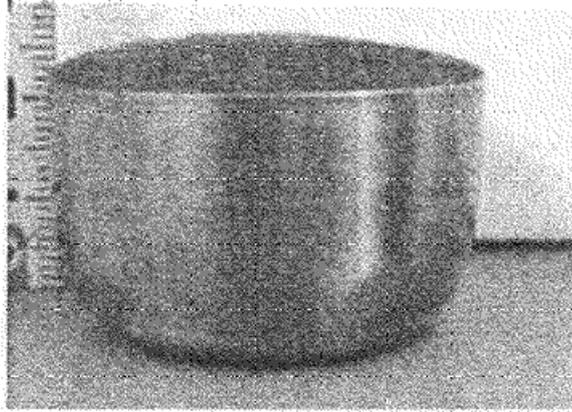
1. Una chapa de acero inoxidable austenítico que exhibe excelente resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y capacidad de conformado, comprendiendo la chapa de acero: en términos de tanto por ciento en masa,
- 5 C: 0,05% o menos;  
Cr: 14 a 19%;  
Si: 2% o menos;  
Mn: 4% o menos;  
Ni: 5 a 8%;
- 10 Cu: 4% o menos;  
N; 0,1% o menos;
- opcionalmente, uno o más seleccionado del grupo consistente en Mo: 1% o menos, V: 1% o menos, B: 0,010% o menos, Nb: 0,5% o menos, Ti: 0,5% o menos, elementos de las tierras raras: 0,5% o menos, Al: 0,5% o menos, Mg: 0,005% o menos, y Ca: 0,005% o menos; y siendo el resto Fe y las impurezas inevitables,
- 15 en el que los componentes del acero están incluidos de manera tal que el siguiente Md está en el intervalo de -20 a 40, y
- el tamaño de grano medio es del orden de 10  $\mu\text{m}$  o menos, la relación de ocupación de los límites de grano de ángulo alto, de 15° o más, es del orden de más del 80%.
- $$\text{Md} = 551 - 462(\text{C} + \text{N}) - 9,2\text{Si} - 8,1\text{Mn} - 13,7\text{Cr} - 29(\text{Ni} + \text{Cu}) - 18,2\text{Mo}$$
- 20 2. La chapa de acero austenítico de grano fino que exhibe excelente resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y capacidad de conformado, según la reivindicación 1, en la que no se produce el agrietamiento en el ensayo de agrietamiento bajo tensión, en el que la chapa de acero es sometida a una embutición cilíndrica profunda con una relación de estiramiento de 1,5 a 2,0 para obtener un producto moldeado por embutición, el producto
- 25 moldeado es sumergido en una solución acuosa, a ebullición, de cloruro de magnesio al 42%, durante cuatro horas, y se comprueba la formación de agrietamiento en el producto moldeado por embutición.
3. La chapa de acero inoxidable austenítico de grano fino que exhibe excelente resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y capacidad de conformado, según la reivindicación 1 ó 2, en la que el límite elástico del 0,2% es del orden de menos de 400 MPa, y la elongación uniforme es del orden de más del 30%, que se obtiene a
- 30 partir del ensayo de tracción.

FIG. 1

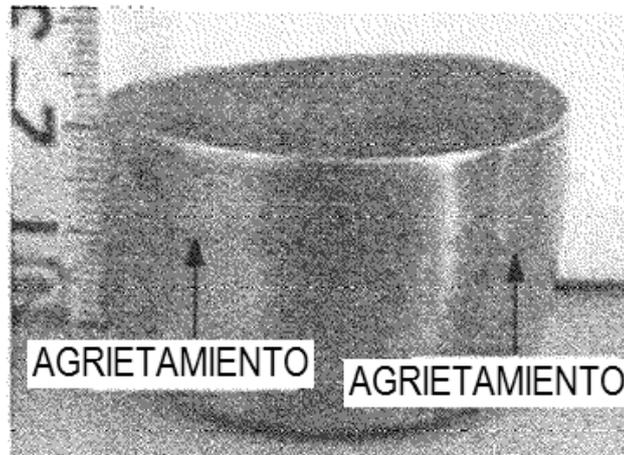


## FIG. 2

(i) ACERO  $B:d = 3 \mu\text{m}$



(ii) ACERO  $B:d = 28 \mu\text{m}$

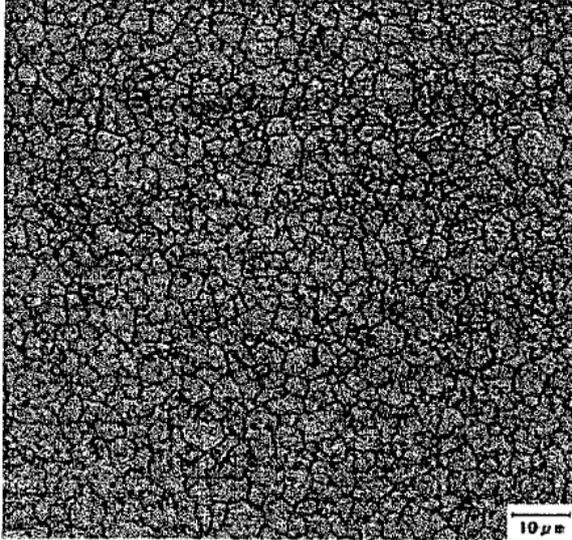


(iii) SUS316L:  $d = 30 \mu\text{m}$



FIG. 3

( i ) ACERO B:d = 3  $\mu$ m



( ii ) ACERO B:d = 28  $\mu$ m

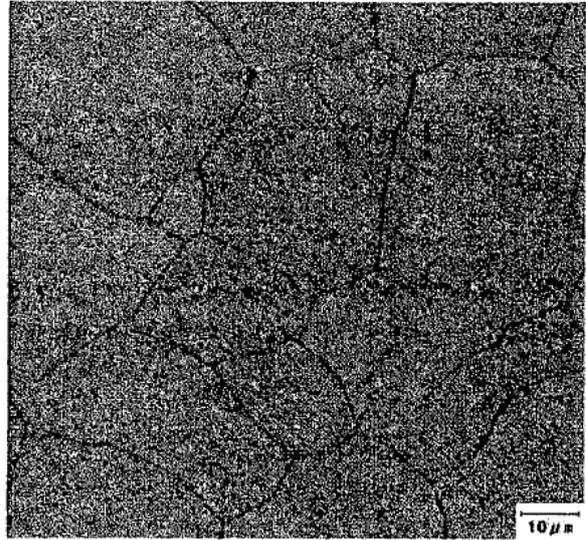


FIG. 4

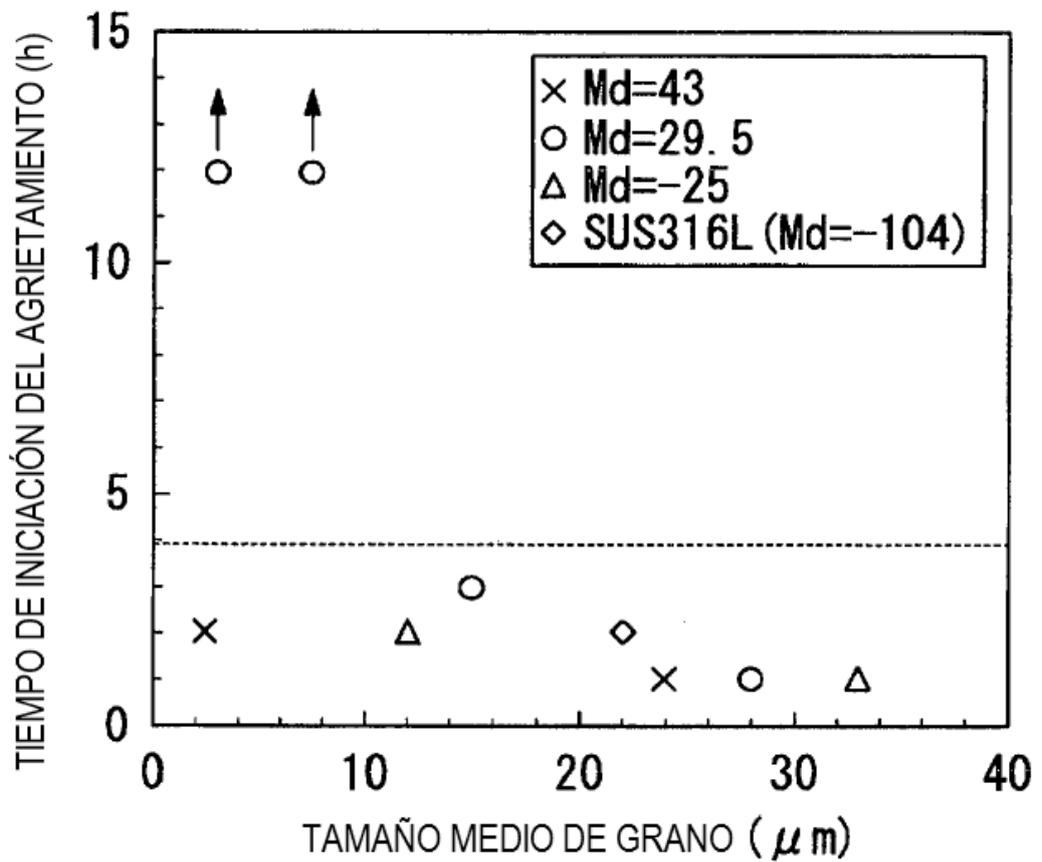


FIG. 5

