

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 802 413**

51 Int. Cl.:

C22C 38/02 (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01)
C22C 38/42 (2006.01)
C22C 38/48 (2006.01)
C22C 38/44 (2006.01)
C22C 38/50 (2006.01)
C21D 8/02 (2006.01)
C21D 9/46 (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.06.2008 PCT/JP2008/061501**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **24.12.2008 WO08156195**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.06.2008 E 08765822 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.05.2020 EP 2163658**

54 Título: **Chapa de acero inoxidable ferrítico que tiene excelente resistencia a la corrosión frente al ácido sulfúrico, y método para la producción de la misma**

30 Prioridad:

21.06.2007 JP 2007163418
06.07.2007 JP 2007178097

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.01.2021

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

ISHII, TOMOHIRO;
FUNAKAWA, YOSHIMASA;
UJIRO, TAKUMI y
OHTA, MASAYUKI

74 Agente/Representante:

MILTENYI , Peter

ES 2 802 413 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 ferrítico que tiene excelente resistencia a la corrosión frente al ácido sulfúrico, y método para la producción de la misma

Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere a una chapa de acero inoxidable ferrítico que tiene una resistencia a la corrosión superior frente al ácido sulfúrico. Además, aparte de la resistencia a la corrosión anterior, la presente invención se refiere a una chapa de acero inoxidable ferrítico que tiene un bajo grado de superficie rugosa en una parte flexionada que se forma mediante un trabajo de flexión realizado formando un ángulo de 90° o más y a un método para fabricar la chapa de acero inoxidable ferrítico anterior.

10 **Técnica anterior**

- Los combustibles fósiles, tales como el petróleo y el carbón, contienen azufre (a continuación en el presente documento representado por "S"). Por tanto, cuando se quema un combustible fósil, el S se oxida y los óxidos de azufre tales como el SO₂ se mezclan en el gas de escape. Cuando la temperatura del gas de escape disminuye en un tubo, tal como un conducto de gas, un tubo de chimenea o un desulfurador de gas de escape, instalado en un aparato (tal como una caldera industrial) en el que se quema un combustible fósil, este gas SO_x reacciona con la humedad en el gas de escape para formar ácido sulfúrico, y como resultado, se forman gotas de rocío del mismo sobre una superficie interior del tubo. Este ácido sulfúrico en forma de gotas de rocío permite que progrese la corrosión (a continuación en el presente documento denominada "corrosión por sulfato") del tubo.

- 20 Se han investigado diversas técnicas para impedir la corrosión por sulfato, y por ejemplo, se ha usado una técnica en la que se forma un tubo para un gas de escape a partir de acero de baja aleación o una técnica en la que se controla la temperatura de un gas de escape a 150°C o más.

Sin embargo, mediante las técnicas descritas anteriormente, aunque puede suprimirse la corrosión por sulfato, es difícil detener la progresión de la misma.

- 25 En los últimos años, junto con una expansión del mercado del automóvil en Asia, el acero con interior de hierro ha tenido una demanda cada vez mayor, y la cantidad de combustibles fósiles consumidos en altos hornos, hornos de tratamiento térmico, y similares de la industria del acero también ha aumentado. Por lo tanto, el desarrollo de técnicas para impedir la corrosión por sulfato se ha convertido en una necesidad urgente en la industria del acero. Además, dado que la gasolina contiene S, también se genera la corrosión por sulfato en tubos para gases de escape emitidos por los motores de automóviles. En consecuencia, los tubos de gases de escape de los automóviles también requieren una técnica para impedir la corrosión por sulfato. Además, muchos de estos tubos están sometidos a un trabajo de flexión intenso.

- 30 Dado que los gases de escape a alta temperatura pasan a través de tubos de gases de escape de altos hornos, hornos de tratamiento térmico y automóviles, no se ha usado acero de baja aleación para impedir la oxidación a alta temperatura, sino que se ha usado acero inoxidable ferrítico en muchos casos. Por tanto, se han estudiado diversas técnicas para mejorar la resistencia frente a la corrosión por sulfato (a continuación en el presente documento denominada "resistencia a la corrosión por sulfato") del acero inoxidable ferrítico.

- 35 Por ejemplo, en la publicación de solicitud de patente japonesa no examinada n.º 56-146857, se ha dado a conocer una técnica en la que se mejora la resistencia al ácido disminuyendo el contenido en S del acero inoxidable ferrítico hasta el 0,005 por ciento en masa o menos. Sin embargo, en la publicación de solicitud de patente japonesa no examinada n.º 56-146857, la resistencia al ácido se investiga sumergiendo acero inoxidable ferrítico en ácido clorhídrico hirviendo, y no se da a conocer la resistencia a la corrosión por sulfato.

Se dan a conocer adicionalmente diferentes composiciones de acero en los documentos JP 9041094 A, JP 2002 02845 A, GB 2 075 549 A, EP 0 547 626 A1, JP 10 102212, JP 2001 294990, JP 2001 020046 A, JP 2001 181808, JP 201 254153 A, JP 2001 254153 A, JP 2001 003144, JP 10 298720 A y JP 8 199314 A.

- 45 En la publicación de solicitud de patente japonesa no examinada n.º 7-188866, se ha dado a conocer una técnica en la que para suprimir la corrosión intergranular producida por el ácido nítrico, se disminuye el contenido en C y N del acero inoxidable ferrítico, y también se definen el contenido en Mn, Ni y B. Sin embargo, según el mecanismo de generación de corrosión intergranular producida por el ácido nítrico, el potencial ambiental se vuelve positivo debido a la presencia de iones nítricos y, por tanto, el comportamiento de rotura de una película de pasivación de acero inoxidable y la estabilidad de los productos de corrosión son diferentes de los producidos por la corrosión por sulfato.
- 50 En consecuencia, para aplicar la técnica dada a conocer en la publicación de solicitud de patente japonesa no examinada n.º 7-188866 para impedir la corrosión por sulfato, deben llevarse a cabo estudios adicionales.

Un objeto de la presente invención es proporcionar una chapa de acero inoxidable ferrítico que tenga una resistencia a la corrosión por sulfato superior incluso en una atmósfera a alta temperatura.

También se proporciona una chapa de acero inoxidable ferrítico que tiene un bajo grado de superficie rugosa en una parte flexionada que se forma mediante un trabajo de flexión realizado formando un ángulo de 90° o más.

Con el fin de mejorar la conformabilidad de una chapa de acero inoxidable ferrítico, se ha investigado una técnica en la que las cantidades de C y N se disminuyen considerablemente en una etapa de afino de acero fundido que se usa como materia prima o una técnica en la que el C y/o el N se estabiliza mediante la formación de carburos y/o nitruros mediante la adición de Ti y/o Nb al acero fundido. Como resultado, se ha desarrollado una chapa de acero inoxidable ferrítico que tiene características de embutición profunda superiores a las de una chapa de acero inoxidable austenítico. Sin embargo, según una chapa de acero inoxidable ferrítico relacionada que tiene características de embutición profunda superiores, se mejora la conformabilidad mediante un trabajo de embutición profunda, que se evalúa, por ejemplo, mediante un valor de Lankford (denominado valor r).

Además, con el fin de reducir el grado de superficie rugosa (denominado piel de naranja) en una parte flexionada formada mediante conformación por estirado, se ha investigado una técnica para mejorar un método para conformar una chapa de acero inoxidable ferrítico para dar una forma predeterminada (por ejemplo, véase la publicación de solicitud de patente japonesa no examinada n.º 2005-139533). Sin embargo, la superficie rugosa en una parte flexionada no sólo se genera mediante conformación por estirado, sino que también se genera, por ejemplo, mediante un trabajo de flexión, y no se ha llevado a cabo investigación sobre una técnica para reducir el grado de superficie rugosa en una parte flexionada mejorando los componentes de una chapa de acero inoxidable ferrítico y un método de fabricación para la misma.

La superficie rugosa es un término colectivo que incluye diversos defectos de superficie, y en una chapa de acero inoxidable ferrítico, con frecuencia se genera una superficie rugosa, que se denomina aparición de nervios. La aparición de nervios indica un defecto de superficie que se produce por la diferencia de deformación entre texturas individuales que se genera cuando las texturas se procesan en una dirección de laminación generada por la laminación. Aunque en muchos informes se ha dado a conocer acero que suprime la generación de nervios, incluso cuando se usa el acero descrito anteriormente, en algunos casos puede observarse de manera evidente una superficie rugosa en una parte flexionada. Por consiguiente, se cree que el mecanismo de generación de la superficie rugosa en una parte flexionada es diferente del de la aparición de nervios, y por tanto se requieren medidas adecuadas por separado para los problemas respectivos. En particular, cuando se realiza un trabajo de flexión formando un ángulo de 90° o más, la superficie rugosa se genera de manera evidente.

Por consiguiente, un objeto de la presente invención es proporcionar una chapa de acero inoxidable ferrítico y un método para fabricar la misma, teniendo la chapa de acero inoxidable ferrítico una resistencia a la corrosión por sulfato superior incluso en una atmósfera a alta temperatura y pudiendo tener además un bajo grado de superficie rugosa en una parte flexionada formada por un trabajo de flexión realizado formando un ángulo de 90° o más.

Divulgación de la invención

Los inventores de la presente invención llevaron a cabo una investigación intensiva sobre el mecanismo de generación de la corrosión por sulfato de una chapa de acero inoxidable ferrítico. Se ha entendido que las inclusiones que contienen S (a continuación en el presente documento denominadas "inclusiones que contienen azufre") funcionan como puntos de inicio de la corrosión por sulfato. Sin embargo, dado que las inclusiones que contienen azufre se disuelven cuando se ponen en contacto con ácido sulfúrico, las inclusiones que contienen azufre con frecuencia no se observan en las porciones en las que se produce la corrosión por sulfato. Por consiguiente, los inventores de la presente invención se centraron en las inclusiones que contienen azufre antes de que se produzca la corrosión por sulfato e investigaron la influencia del diámetro de grano de las inclusiones que contienen azufre sobre la progresión de la corrosión por sulfato.

Como resultado, se obtienen los siguientes hallazgos que son eficaces para impedir la corrosión por sulfato. Son:

(a) el contenido en S disminuye para suprimir la precipitación de las inclusiones que contienen azufre;

(b) los granos de NbC finos se dispersan y precipitan manteniendo el contenido en Nb en un intervalo apropiado, y se hace que las inclusiones que contienen azufre (tales como MnS) se adhieran a los granos de NbC precipitados de modo que las inclusiones que contienen azufre se afinan; y

(c) se modifica una película de pasivación manteniendo el contenido en Cu en un intervalo apropiado para suprimir la disolución de la fundición de base.

Además, los inventores de la presente invención también investigaron el mecanismo en el que se genera la superficie rugosa (diferente de la aparición de nervios) en una parte flexionada formada realizando un trabajo de flexión en una chapa de acero inoxidable ferrítico. Como resultado, se descubrió la relación entre el diámetro de grano promedio de los granos cristalinos de ferrita en una parte flexionada y la profundidad de la superficie rugosa. Es decir, se encontró que cuando disminuye el diámetro de grano promedio de los granos cristalinos de ferrita en una parte flexionada, disminuye la profundidad de la superficie rugosa en la parte flexionada.

Además, también se encontró que cuando se altera el movimiento de dislocación producido por un trabajo de flexión

dispersando los granos de NbC finos para generar endurecimiento por trabajo en una parte flexionada, la parte flexionada se procesa de manera uniforme, y se reduce el grado de superficie rugosa.

La presente invención se realizó basándose en los hallazgos descritos anteriormente.

5 Con el fin de resolver los problemas mencionados anteriormente, la presente invención proporciona una chapa de acero inoxidable ferrítico laminada en frío que tiene las características definidas en la reivindicación 1. En la reivindicación 2 se define una realización preferida adicional del acero inoxidable ferrítico. Además, un método para fabricar una chapa de acero inoxidable ferrítico laminada en frío, teniendo dicho método las características definidas en la reivindicación 3. En la reivindicación 4 se define una realización preferida adicional de este método.

10 La chapa de acero inoxidable ferrítico de la presente invención es una chapa de acero inoxidable ferrítico en la que en la composición descrita anteriormente, el contenido en Ni es del 0,3 por ciento en masa o menos, y el contenido en Nb es del 0,20 al 0,50 por ciento en masa.

Además, la chapa de acero inoxidable ferrítico de la presente invención es una chapa de acero inoxidable ferrítico en la que además de la composición anterior, se contiene al menos uno seleccionado del grupo que consiste en del 0,005 al 0,5 por ciento en masa de Ti, el 0,5 por ciento en masa o menos de Zr y el 1,0 por ciento en masa o menos de Mo.

Además, en el método para fabricar una chapa de acero inoxidable ferrítico de la presente invención, la temperatura de acabado es de 700°C a 900°C, y el bobinado se realiza a una temperatura de bobinado de 570°C o menos.

Según la presente invención, puede obtenerse una chapa de acero inoxidable ferrítico que tiene una resistencia a la corrosión por sulfato superior incluso en una atmósfera a alta temperatura.

20 Además, puede obtenerse una chapa de acero inoxidable ferrítico que tiene un bajo grado de superficie rugosa en una parte flexionada formada mediante un trabajo de flexión realizado formando un ángulo de 90° o más, así como las características descritas anteriormente.

Breve descripción de los dibujos

25 [Figura 1] La figura 1 es un gráfico que muestra la relación entre el diámetro de grano de inclusiones que contienen azufre y la probabilidad de disolución de hierro base.

[Figura 2] La figura 2 es una vista esquemática que muestra un método para medir la profundidad de la superficie rugosa en una parte flexionada.

Mejores modos para llevar a cabo la invención

30 En primer lugar se describirán los motivos para limitar los componentes de una chapa de acero inoxidable ferrítico de la presente invención.

C: del 0,001 al 0,02 por ciento en masa

35 El C es un elemento para aumentar la resistencia mecánica de una chapa de acero inoxidable ferrítico. Con el fin de obtener el efecto anterior, el contenido es del 0,001 por ciento en masa o más. Sin embargo, cuando el contenido en C es mayor del 0,02 por ciento en masa, dado que la chapa de acero inoxidable ferrítico se endurece, se degrada la conformabilidad por presión, y además, dado que el C se une a Nb y N, que se describirán posteriormente, para precipitar un carbonitrúro de Nb grueso, se degrada la resistencia a la corrosión por sulfato. Por tanto, el contenido en C se fija al 0,02 por ciento en masa o menos. Más preferiblemente, el contenido es del 0,015 por ciento en masa o menos.

40 Además, en vista del grado de superficie rugosa en una parte flexionada, cuando el contenido en C es menor del 0,001 por ciento en masa, se altera la precipitación de granos de NbC que funcionan como núcleos de producción de granos cristalinos de ferrita. Por otra parte, cuando el contenido en C es mayor del 0,02 por ciento en masa, no sólo se degradan la conformabilidad y la resistencia a la corrosión, sino que los granos de NbC también se hacen más gruesos. Por tanto, el contenido en C se fija en el intervalo del 0,001 al 0,02 por ciento en masa. Más preferiblemente, el contenido es del 0,002 al 0,015 por ciento en masa.

45 Si: del 0,05 al 0,8 por ciento en masa

50 El Si se usa como agente de desoxidación en un procedimiento de fabricación de acero para formar acero inoxidable ferrítico. Cuando el contenido en Si es menor del 0,05 por ciento en masa, no puede obtenerse un efecto de desoxidación suficiente. Por tanto, precipita una gran cantidad de óxidos sobre la chapa de acero inoxidable ferrítico fabricada, y se degradan la soldabilidad y la conformabilidad por presión. Por otra parte, cuando el contenido es mayor del 0,8 por ciento en masa, dado que la chapa de acero inoxidable ferrítico se endurece, se degrada la trabajabilidad, y como resultado, la fabricación de una chapa de acero inoxidable ferrítico puede presentar algunos problemas. Por tanto, el contenido en Si se fija en el intervalo del 0,05 al 0,8 por ciento en masa. Más

preferiblemente, el contenido es del 0,05 al 0,3 por ciento en masa. Incluso más preferiblemente, el contenido es del 0,06 al 0,28 por ciento en masa.

Mn: del 0,01 al 0,5 por ciento en masa

El Mn se usa como agente de desoxidación en un procedimiento de fabricación de acero para formar un acero inoxidable ferrítico. Con el fin de obtener el efecto anterior, el contenido es del 0,01 por ciento en masa o más. Cuando el contenido en Mn es mayor del 0,5 por ciento en masa, se degrada la trabajabilidad de una chapa de acero inoxidable ferrítico mediante endurecimiento por disolución sólida. Además, el Mn se une al S que se describirá posteriormente para facilitar la precipitación de MnS, y como resultado, se degrada la resistencia a la corrosión por sulfato. Por tanto, el contenido en Mn se fija al 0,5 por ciento en masa o menos. Más preferiblemente, el contenido es del 0,3 por ciento en masa o menos.

P: el 0,04 por ciento en masa o menos

Aunque no es responsable de la corrosión por sulfato, el P es un elemento que produce diversos tipos de corrosión, y por tanto, debe disminuirse el contenido del mismo. En particular, cuando el contenido en P es mayor del 0,04 por ciento en masa, además del problema de la corrosión, debido a la segregación de P en los límites de grano cristalinos, se degrada la trabajabilidad de una chapa de acero inoxidable ferrítico. Como resultado, la fabricación de una chapa de acero inoxidable ferrítico puede presentar algunos problemas. Por tanto, el contenido en P se fija al 0,04 por ciento en masa o menos. Más preferiblemente, el contenido es del 0,03 por ciento en masa o menos.

S: del 0,0005 al 0,010 por ciento en masa

El S es un elemento que se une a Mn o similares para generar inclusiones que contienen azufre (tales como MnS). Por tanto, es más preferible un contenido en S más bajo; sin embargo, cuando el contenido es menor del 0,0005 por ciento en masa, es difícil que se realice la desulfurización, y como resultado, aumenta la carga de fabricación. Por consiguiente, el contenido es del 0,0005 por ciento en masa o más. Cuando las inclusiones que contienen azufre están en contacto con ácido sulfúrico y se disuelven, se genera sulfuro de hidrógeno y el pH disminuye localmente. No se forma una película de pasivación justo debajo de las inclusiones que contienen azufre precipitadas sobre la superficie de una chapa de acero inoxidable ferrítico, e incluso después de que las inclusiones que contienen azufre se disuelvan, no se forma la película de pasivación dado que el pH es bajo. Como resultado, la fundición de base se expone al ácido sulfúrico, y progresa la corrosión por sulfato. Cuando el contenido en S es mayor del 0,010 por ciento en masa, precipita una gran cantidad de las inclusiones que contienen azufre, de modo que la corrosión por sulfato se produce de manera evidente. Por tanto, el contenido en S se fija al 0,010 por ciento en masa o menos. Más preferiblemente, el contenido es del 0,008 por ciento en masa o menos.

Al: del 0,005 al 0,10 por ciento en masa

El Al se usa como agente de desoxidación en un procedimiento de fabricación de acero para formar un acero inoxidable ferrítico. Además, en la presente invención, el Al se añade para precipitar N en el acero en forma de AlN que precipita a una temperatura superior a la que precipita el carbonitruro de Nb, y de ese modo disminuye la cantidad de N que se une a Nb, de modo que se suprime la precipitación de un carbonitruro de Nb grueso. Por tanto, el Nb precipita en forma de granos de NbC finos, y como resultado, se realizan eficazmente el afino de los granos cristalinos de ferrita y la supresión del crecimiento de grano de las inclusiones que contienen azufre. Además, dado que los granos de AlN precipitados son muy finos, se altera el movimiento de dislocación en un trabajo de flexión, y se facilita el endurecimiento por trabajo del acero, de modo que puede realizarse eficazmente la deformación uniforme de una parte flexionada. Con el fin de obtener el efecto anterior, el contenido es del 0,005 por ciento en masa o más. Sin embargo, cuando el contenido en Al es mayor del 0,10 por ciento en masa, dado que aumentan las inclusiones no metálicas a base de Al, se producen de ese modo defectos de superficie, tales como arañazos de superficie, de una chapa de acero inoxidable ferrítico, y también se degrada la trabajabilidad. Por consiguiente, el contenido en Al se fija al 0,10 por ciento en masa o menos. Más preferiblemente, el contenido es del 0,08 por ciento en masa o menos.

Cr: del 20,5 al 23 por ciento en masa

El Cr es un elemento para mejorar la resistencia a la corrosión por sulfato de una chapa de acero inoxidable ferrítico. Cuando el contenido en Cr es menor del 20 por ciento en masa, no puede obtenerse una resistencia a la corrosión por sulfato suficiente. Por otra parte, cuando el contenido es mayor del 24 por ciento en masa, es posible que se genere una fase σ , y se degrada la conformabilidad por presión de una chapa de acero inoxidable ferrítico. Por tanto, el contenido en Cr se fija en el intervalo del 20,5 al 23,0 por ciento en masa.

Cu: del 0,3 al 0,8 por ciento en masa

Después de producirse la corrosión por sulfato en una chapa de acero inoxidable ferrítico, el Cu tiene la función de suprimir la disolución de la fundición de base producida por una reacción anódica. Además, el Cu también tiene la función de modificar una película de pasivación presente alrededor de cada inclusión que contiene azufre. Según el estudio llevado a cabo por los inventores de la presente invención, el Cu presente en las proximidades de

inclusiones que contienen azufre genera distorsión en la red cristalina de fundición de base. Una película de pasivación formada en una red cristalina distorsionada se vuelve más densa que una película de pasivación formada en una red cristalina normal. Cuando la película de pasivación se modifica tal como se describió anteriormente, se mejora la resistencia a la corrosión por sulfato de una chapa de acero inoxidable ferrítico. Cuando el contenido en Cu es menor del 0,3 por ciento en masa, no puede obtenerse el efecto anterior. Por otra parte, cuando el contenido es mayor del 0,8 por ciento en masa, el Cu se corroe por ácido sulfúrico, y a partir del Cu corroído, progresa la corrosión por sulfato de una chapa de acero inoxidable ferrítico. Además, dado que se degrada la trabajabilidad en caliente, la fabricación de una chapa de acero inoxidable ferrítico puede presentar algunos problemas. Por tanto, el contenido en Cu se fija en el intervalo del 0,3 al 0,8 por ciento en masa. Más preferiblemente, el contenido es del 0,3 al 0,6 por ciento en masa.

Ni: del 0,05 al 0,5 por ciento en masa

El Ni tiene la función de suprimir una reacción anódica producida por ácido sulfúrico y mantener una película de pasivación incluso cuando el pH disminuye. Con el fin de obtener el efecto anterior, el contenido es del 0,05 por ciento en masa o más. Sin embargo, cuando el contenido en Ni es mayor del 0,5 por ciento en masa, la chapa de acero inoxidable ferrítico se endurece, y se degrada la conformabilidad por presión. Por tanto, el contenido en Ni se fija al 0,5 por ciento en masa o menos. Más preferiblemente, el contenido es del 0,3 por ciento en masa o menos. Incluso más preferiblemente, el contenido es del 0,2 por ciento en masa o menos.

Nb: del 0,20 a 0,55 por ciento en masa

El Nb fija el C y el N, y tiene la función de impedir la sensibilización a la corrosión por el carbonitrato de Cr. Además, el Nb también tiene la función de mejorar la resistencia a la oxidación a alta temperatura de una chapa de acero inoxidable ferrítico. Según la presente invención, además de los efectos descritos anteriormente, el Nb es un elemento importante que afina los granos cristalinos de ferrita dispersando inclusiones finas (es decir, NbC). Los granos de NbC funcionan como núcleos de producto de los granos de recristalización cuando se recuece una chapa de acero inoxidable ferrítico laminada en frío. Por tanto, cuando los granos de NbC se dispersan y precipitan, se generan granos cristalinos de ferrita finos. Además, el NbC altera el movimiento de los límites de grano en un proceso de generación de granos cristalinos de ferrita y altera el crecimiento de los mismos, y por tanto puede obtenerse el efecto de mantener granos cristalinos de ferrita finos. Es decir, cuando los granos de NbC finos se dispersan, puede lograrse el afino de los granos cristalinos de ferrita. Además, los granos de NbC finos dispersos en y precipitados sobre una chapa de acero inoxidable ferrítico alteran el movimiento de dislocación producido por un trabajo de flexión y producen endurecimiento por trabajo en una parte flexionada. Como resultado, dado que la deformación por un trabajo de flexión se desplaza secuencialmente a una región que tiene una resistencia a la deformación pequeña, la parte flexionada se procesa de manera uniforme, y se reduce el grado de superficie rugosa. Además, según el estudio llevado a cabo por los inventores de la presente invención, cuando los granos de NbC finos se dispersan y precipitan, las inclusiones que contienen azufre se adhieren a ellos y precipitan, y disminuye el diámetro de grano de las mismas. Incluso cuando se disuelve en ácido sulfúrico una inclusión que contiene azufre que tiene un diámetro de grano disminuido, dado que se suprime la disminución del pH, una disolución a su alrededor puede mantener un pH de límite inferior o más en el que el acero inoxidable puede formar una película de pasivación, y como resultado, el acero inoxidable justo por debajo de la inclusión que contiene azufre puede volver a pasivarse inmediatamente después de que se disuelva la inclusión que contiene azufre. Por tanto, la disolución de la inclusión que contiene S no inicia la corrosión, y por tanto se mejora la resistencia a la corrosión por sulfato. Cuando el contenido en Nb es menor del 0,20 por ciento en masa, no puede obtenerse el efecto anterior. Por otra parte, cuando el contenido es mayor del 0,55 por ciento en masa, los granos de NbC se hacen más gruesos, y los granos cristalinos de ferrita y las inclusiones que contienen azufre se hacen ambos más gruesos. Por tanto, el contenido en Nb se fija en el intervalo del 0,20 al 0,55 por ciento en masa. Más preferiblemente, el contenido es del 0,20 al 0,5 por ciento en masa. Incluso más preferiblemente, el contenido es del 0,25 al 0,45 por ciento en masa.

N: del 0,001 al 0,02 por ciento en masa

El N está disuelto en sólidos en una chapa de acero inoxidable ferrítico y tiene la función de mejorar la resistencia a la corrosión por sulfato. Con el fin de obtener el efecto anterior, el contenido es del 0,001 por ciento en masa o más. Sin embargo, cuando el contenido es excesivo, como en el caso del C, dado que se facilita la precipitación de un carbonitrato de Nb grueso, se degrada la resistencia a la corrosión por sulfato de una chapa de acero inoxidable ferrítico, y además, se degrada el grado de superficie rugosa en una parte flexionada. En particular, cuando el contenido en N es mayor del 0,02 por ciento en masa, además del problema de la corrosión por sulfato, también se degrada la conformabilidad por presión de una chapa de acero inoxidable ferrítico. Por tanto, el contenido en N se fija al 0,02 por ciento en masa o menos. Más preferiblemente, el contenido es del 0,015 por ciento en masa o menos.

Además, en la chapa de acero inoxidable ferrítico de la presente invención, se contiene preferiblemente al menos uno seleccionado del grupo que consiste en Ti, Zr y Mo.

Ti: del 0,005 al 0,5 por ciento en masa

Dado que el Ti se une al C y al N para formar un carbonitruro de Ti, el C y el N están fijos, y por tanto, el Ti tiene la función de impedir la sensibilización a la corrosión producida por el carbonitruro de Cr. Por tanto, mediante la adición de Ti, puede mejorarse adicionalmente la resistencia a la corrosión por sulfato. Cuando el contenido en Ti es menor del 0,005 por ciento en masa, no puede obtenerse el efecto anterior. Por otra parte, cuando el contenido es mayor del 0,5 por ciento en masa, la chapa de acero inoxidable ferrítico se endurece, de modo que se degrada la conformabilidad por presión. Por tanto, cuando se añade Ti, el contenido en Ti está en el intervalo de 0,005 al 0,5 por ciento en masa. Más preferiblemente, el contenido es del 0,1 al 0,4 por ciento en masa.

Zr: el 0,5 por ciento en masa o menos

Como en el caso del Ti, dado que el Zr se une al C y al N para formar un carbonitruro de Zr, el C y el N están fijos, y por tanto, el Zr tiene la función de impedir la sensibilización a la corrosión producida por el carbonitruro de Cr. Con el fin de obtener el efecto anterior, el contenido es preferiblemente del 0,01 por ciento en masa o más. Por tanto, mediante la adición de Zr, puede mejorarse adicionalmente la resistencia a la corrosión por sulfato. Sin embargo, cuando el contenido en Zr es mayor del 0,5 por ciento en masa, se genera una gran cantidad de óxidos de Zr (es decir, ZrO_2 y similares), y se degrada la pureza de superficie de una chapa de acero inoxidable ferrítico. Por tanto, cuando se añade Zr, el contenido en Zr es del 0,5 por ciento en masa o menos. Más preferiblemente, el contenido es del 0,4 por ciento en masa o menos.

Mo: el 1,0 por ciento en masa o menos

El Mo tiene la función de mejorar la resistencia a la corrosión por sulfato. Con el fin de obtener el efecto anterior, el contenido es preferiblemente del 0,1 por ciento en masa o más. Sin embargo, cuando el contenido en Mo es mayor del 1,0 por ciento en masa, el efecto se satura. Es decir, incluso cuando se añade más del 1,0 por ciento en masa de Mo, no puede esperarse una mejora en la resistencia a la corrosión por sulfato correspondiente a la cantidad de adición, y por otra parte, dado que se usa una gran cantidad de Mo costoso, aumenta el coste de fabricación de una chapa de acero inoxidable ferrítico. Por tanto, cuando se añade Mo, el contenido en Mo es del 1,0 por ciento en masa o menos. Más preferiblemente, el contenido es del 0,8 por ciento en masa o menos.

Además, dado que el Mg no tiene contribución en la presente invención, es más preferible un contenido inferior, y el contenido preferiblemente es equivalente a o menor que el de las impurezas inevitables.

El resto, aparte de los componentes descritos anteriormente, contiene Fe e impurezas inevitables.

A continuación se describirá la estructura de la chapa de acero inoxidable ferrítico de la presente invención.

Diámetro de grano máximo de las inclusiones que contienen azufre: 5 μm o menos

Los inventores de la presente invención fabricaron chapas de acero inoxidable ferrítico que tenían diversos componentes e investigaron la relación entre el tamaño de inclusiones que contienen azufre y la progresión de la corrosión por sulfato. Se describirán el método de investigación y los resultados de la investigación.

Después de formar acero inoxidable ferrítico que tiene los componentes mostrados en la tabla 1 mediante fusión y de conformarlo adicionalmente para dar un desbaste plano, se realizó laminación en caliente (temperatura de acabado: 800°C, temperatura de bobinado: 450°C y grosor de la chapa: 4 mm) calentando hasta 1.170°C, de modo que se formó una chapa de acero laminada en caliente. La velocidad de enfriamiento promedio desde la laminación de acabado hasta el bobinado (es decir, desde 800°C hasta 450°C) se fijó a 20°C/s.

La chapa de acero laminada en caliente así obtenida se recoció a de 900°C a 1.200°C durante de 30 a 300 segundos y se procesó adicionalmente mediante decapado. A continuación, una vez realizada la laminación en frío, se realizó recocido a 970°C durante de 30 a 300 segundos y se procesó adicionalmente mediante decapado, de modo que se formó una chapa de acero inoxidable ferrítico (grosor de la chapa: 0,8 mm).

Se cortó una probeta para ensayos (anchura: 30 mm y longitud: 50 mm) de la chapa de acero inoxidable ferrítico así obtenida, y se pulieron dos superficies de la probeta para ensayos con papel abrasivo n.º 600 y luego se observaron usando un microscopio electrónico de barrido (denominado SEM). El diámetro de grano del carbonitruro de Nb fue de aproximadamente varios micrómetros, y el diámetro de grano del carburo de Nb fue de aproximadamente 1 μm . Además, se confirmó que las inclusiones que contienen azufre (tal como MnS) se adhieren a la periferia del carbonitruro de Nb y el carburo de Nb y precipitan. Se midieron los diámetros de grano de todas las inclusiones que contienen azufre en un campo de visión arbitrario que tenía un tamaño de 10 mm cuadrados. El diámetro de grano se definió como la longitud máxima del eje longitudinal. El diámetro de grano de la inclusión que contiene azufre máxima entre los así medidos se consideró como el diámetro de grano máximo.

Posteriormente, tras sumergir la probeta para ensayos en ácido sulfúrico (concentración: el 10 por ciento en masa y temperatura: 50°C) durante 1 hora, se observó la superficie de la probeta para ensayos mediante un SEM. El carbonitruro de Nb y el carburo de Nb observados antes de la inmersión se disolvieron junto con las inclusiones que contienen azufre, y en las posiciones de las mismas, se generaron abollonados que se suponía que se formaron por la disolución de la fundición de base. Aunque algunas inclusiones permanecieron en la probeta para ensayos, no se

detectó S a partir de las inclusiones.

Tal como se describió anteriormente, se investigó la relación entre el diámetro de grano de las inclusiones que contienen azufre antes de la inmersión en ácido sulfúrico y la probabilidad de disolución de la fundición de base mediante la inmersión. Los resultados se muestran en la figura 1. En este caso, la probabilidad de solubilidad es un valor ($=100 \times M/N$) obtenido dividiendo un número M entre un número total N de inclusiones que tienen un tamaño predeterminado antes de la inmersión, siendo el número M el número de puntos de disolución de la función de base que se confirmaron en lugares en los que las inclusiones que tenían un tamaño predeterminado están presentes antes de la inmersión.

Tal como resulta evidente a partir de la figura 1, cuando el diámetro de grano máximo de las inclusiones que contienen azufre es de 5 μm o menos, la probabilidad de disolución de la fundición de base disminuye considerablemente. Este fenómeno indica que cuando el diámetro de grano máximo de las inclusiones que contienen azufre es de 5 μm o menos, puede impedirse la corrosión por sulfato. Por tanto, el diámetro de grano máximo de las inclusiones que contienen azufre se fija a 5 μm o menos.

A continuación, se describirá la estructura de la chapa de acero inoxidable ferrítico que tiene un bajo grado de superficie rugosa en una parte flexionada formada mediante un trabajo de flexión.

Diámetro de grano promedio de los granos cristalinos de ferrita: 30,0 μm o menos

La profundidad de la superficie rugosa en una parte flexionada formada mediante un trabajo de flexión tiene relación con el diámetro de grano promedio de los granos cristalinos de ferrita. Dado que los granos cristalinos de ferrita se forman cada uno para tener una forma similar a una tortita cuando reciben un esfuerzo de tracción mediante un trabajo de flexión, se generan espacios entre granos cristalinos de ferrita adyacentes, de modo que se genera la superficie rugosa. Cuando se realiza un trabajo de flexión a un nivel predeterminado, la razón del eje mayor de un grano cristalino de ferrita similar a una tortita deformada con respecto al eje menor del mismo es constante, independientemente del tamaño de los granos cristalinos de ferrita que tienen una forma aproximadamente esférica antes de que se realice un trabajo de flexión. La profundidad de la superficie rugosa es proporcional al eje menor de un grano cristalino de ferrita que tiene una forma similar a una tortita, y este eje menor es proporcional al tamaño del grano cristalino de ferrita antes de que se realice un trabajo de flexión. Es decir, cuando disminuye el diámetro de grano promedio de los granos cristalinos de ferrita, disminuye la profundidad de la superficie rugosa. Según el estudio llevado a cabo por los inventores de la presente invención, cuando el diámetro de grano promedio de los granos cristalinos de ferrita es de 30,0 μm o menos, aunque se realice un trabajo de flexión formando un ángulo de 90° o más, el grado de superficie rugosa en una parte flexionada puede reducirse hasta un nivel en el que no pueden producirse problemas. Por tanto, el diámetro de grano promedio de los granos cristalinos de ferrita se fija a 30,0 μm o menos. Más preferiblemente, el diámetro de grano promedio es de 20,0 μm o menos. Además, el diámetro de grano promedio se obtuvo según la norma ASTM E 112, y tras medir los diámetros de grano de los granos cristalinos de ferrita en campos de visión arbitrarios mediante un método de intercepción, se calculó el valor promedio de los diámetros de grano.

Diámetro de grano máximo de granos de NbC: 1 μm o menos

Tal como se describió anteriormente, cuando los granos de NbC finos se dispersan en una chapa de acero inoxidable ferrítico, dado que se facilita la recristalización de los granos cristalinos de ferrita, y se altera el crecimiento de los mismos, los granos cristalinos de ferrita pueden afinarse. Según el estudio llevado a cabo por los inventores de la presente invención, cuando el diámetro de grano máximo de los granos de NbC precipitados es de más de 1 μm , no puede obtenerse el efecto anterior. Además, cuando los granos de NbC se hacen más gruesos, se concentra tensión por el trabajo de flexión, y como resultado, es posible que se produzca deformación local. Por consiguiente, el diámetro de grano máximo de los granos de NbC se fija a 1 μm o menos. Se midió el diámetro de grano de la más grande entre las inclusiones de NbC observadas en un campo de visión arbitrario que tenía un tamaño de 10 mm cuadrados. La longitud máxima del eje largo se consideró como el diámetro de grano máximo.

A continuación en el presente documento se describirá un ejemplo de un método para fabricar la chapa de acero inoxidable ferrítico de la presente invención.

Después de formar acero inoxidable ferrítico que tiene componentes predeterminados mediante fusión y de conformarlo adicionalmente para dar un desbaste plano, se realiza laminación en caliente (temperatura de acabado: de 700°C a 950°C, más preferiblemente 900°C o menos, e incluso más preferiblemente 770°C o menos; temperatura de bobinado: 600°C o menos, preferiblemente 570°C o menos, e incluso más preferiblemente 450°C o menos; y grosor de la chapa: de 2,5 a 6 mm) calentando hasta de 1.100°C a 1.200°C, de modo que se obtiene una chapa de acero laminada en caliente. Con el fin de impedir que las inclusiones que contienen azufre y los granos cristalinos de ferrita se hagan más gruesos desde la laminación de acabado hasta el bobinado, se realiza enfriamiento desde la temperatura de acabado hasta la temperatura de bobinado a una velocidad de enfriamiento promedio de 20°C/s o más.

La velocidad de enfriamiento tras el bobinado no está limitada particularmente. Sin embargo, dado que la tenacidad

de la chapa de acero laminada en caliente se degrada a aproximadamente 475°C (denominada fragilidad a 475°C), la velocidad de enfriamiento promedio en un intervalo de temperatura de 525°C a 425°C es preferiblemente de 100°C/hora o más.

A continuación, la chapa de acero laminada en caliente se recuece a de 900°C a 1.200°C y más preferiblemente a de 900°C a 1.100°C durante de 30 a 240 segundos y se procesa adicionalmente mediante decapado. Además, después de realizar laminación en frío (preferiblemente con una reducción de sección del 50% o más), se realizan recocido y decapado para formar una chapa de acero inoxidable ferrítico. Con el fin de impedir que las inclusiones que contienen azufre se hagan más gruesas, el recocido tras la laminación en frío se realiza a menos de 1.050°C y más preferiblemente a menos de 900°C durante de 10 a 240 segundos. Cuando la temperatura de recocido es de 900°C o más, el tiempo en que la temperatura de calentamiento es de 900°C o más se fija preferiblemente a 1 minuto o menos.

La chapa de acero inoxidable ferrítico descrita anteriormente de la presente invención tiene una resistencia a la corrosión por sulfato superior incluso en una atmósfera a alta temperatura debido al efecto sinérgico de las características intrínsecas del acero inoxidable ferrítico, es decir, la resistencia a la corrosión superior en una atmósfera a alta temperatura, y las características intrínsecas según la presente invención, que se dan a conocer en los puntos (a) a (c) anteriores. Además, dado que los granos cristalinos de ferrita son finos, incluso cuando se realiza un trabajo de flexión formando un ángulo de 90° o más, el espacio entre granos cristalinos de ferrita adyacentes disminuye hasta un nivel en el que no pueden producirse problemas; por tanto, se reduce el grado de superficie rugosa.

Ejemplo 1

Después de formarse acero inoxidable ferrítico que tiene los componentes mostrados en la tabla 1 mediante fusión y de conformarlo adicionalmente para dar un desbaste plano, se realizó laminación en caliente (temperatura de acabado: 800°C, temperatura de bobinado: 450°C y grosor de la chapa: 4 mm) calentando hasta 1.170°C, de modo que se formó una chapa de acero laminada en caliente. La velocidad de enfriamiento promedio desde la laminación de acabado hasta el bobinado (es decir, desde 800°C hasta 450°C) se fijó a 20°C/s.

La chapa de acero laminada en caliente así obtenida se recoció a de 900°C a 1.200°C durante de 30 a 300 segundos y se procesó adicionalmente mediante decapado. A continuación, una vez realizada la laminación en frío, se realizó recocido a 970°C durante de 30 a 300 segundos y se procesó adicionalmente mediante decapado, de modo que se obtuvo una chapa de acero inoxidable ferrítico (grosor de la chapa: 0,8 mm).

La chapa de acero inoxidable ferrítico así obtenida se cortó para dar una chapa que tenía una anchura de 30 mm y una longitud de 50 mm, y se pulieron dos superficies de esta chapa con papel abrasivo n.º 600, de modo que se preparó una probeta para ensayos. Se observó esta probeta para ensayos usando un microscopio electrónico de barrido (denominado SEM), y se midieron los diámetros de grano de todas las inclusiones que contienen azufre presentes en un campo de visión arbitrario que tenía un tamaño de 10 mm cuadrados. La longitud máxima del eje largo se consideró como el diámetro de grano. El diámetro de grano de la más grande entre las inclusiones que contienen azufre medidas se consideró como el diámetro de grano máximo. Los resultados se muestran en la tabla 2. Además, se midió la masa de la probeta para ensayos.

A continuación, tras sumergir la probeta para ensayos en ácido sulfúrico (concentración: el 10 por ciento en masa y temperatura: 50°C) durante 48 horas, se midió la masa de la probeta para ensayos, de modo que se investigó la resistencia a la corrosión por sulfato. Para la resistencia a la corrosión por sulfato, se calculó el cambio en la masa de la probeta para ensayos antes y después de la inmersión. Cuando el cambio en la masa de la probeta para ensayos con respecto a la masa de la misma antes de la inmersión fue menor del 10%, se evaluó como Buena (O), y cuando el cambio en la masa fue del 10% o más, se evaluó como No buena (X). Los resultados se muestran en la tabla 2.

De A1 a A4 mostrados en la tabla 2 son ejemplos en los que se cambió el contenido en Cu. Según A2 y A3 que estaban dentro del intervalo de la presente invención, se obtuvo una resistencia a la corrosión por sulfato superior. De B1 a B4 mostrados en la tabla 2 son ejemplos en los que se cambió el contenido en S. Según de B2 a B3 que estaban dentro del intervalo de la presente invención, se obtuvo una resistencia a la corrosión por sulfato superior. De C1 a C5 mostrados en la tabla 2 son ejemplos en los que se cambió el contenido en Nb. Según de C2 a C4 que estaban dentro del intervalo de la presente invención, se obtuvo una resistencia a la corrosión por sulfato superior. De D1 a D4 mostrados en la tabla 2 son ejemplos en los que se cambió el diámetro de grano máximo de las inclusiones que contienen azufre. Según D1 y D2 que estaban dentro del intervalo de la presente invención, se obtuvo una resistencia a la corrosión por sulfato superior. De E1 a E7 mostrados en la tabla 2 son ejemplos en los que se añadió adicionalmente al menos uno de Ti, Zr y Mo como elemento adicional. Según de E1 a E3 que estaban dentro del intervalo de la presente invención, se obtuvo una resistencia a la corrosión por sulfato superior.

Por otra parte, A1 y A4 mostrados en la tabla 2 son ejemplos comparativos en los que el contenido en Cu estaba fuera del intervalo de la presente invención. B4 es un ejemplo comparativo en el que el contenido en S estaba fuera del intervalo de la presente invención. C1 y C5 son ejemplos comparativos en los que el contenido en Nb estaba

fuera del intervalo de la presente invención. D3 y D4 son ejemplos comparativos en los que el diámetro de grano máximo de las inclusiones que contienen azufre estaba fuera del intervalo de la presente invención. Además, de E8 a E10 son ejemplos comparativos en los que el contenido de al menos uno de Al, Cr, Nb y N estaba fuera del intervalo de la presente invención. Según los ejemplos comparativos que estaban fuera del intervalo de la presente invención, no pudo obtenerse una resistencia a la corrosión por sulfato superior.

Ejemplo 2 (Ejemplo de referencia)

Además de la confirmación del efecto sobre la resistencia a la corrosión por sulfato, se confirmó adicionalmente el efecto sobre el grado de superficie rugosa en una parte flexionada formada mediante un trabajo de flexión realizado formando un ángulo de 90° o más.

Después de formarse acero inoxidable ferrítico que tiene los componentes mostrados en la tabla 3 mediante fusión y de procesarse después mediante colada continua, se realizó laminación en caliente de un desbaste plano obtenido calentando hasta 1.170°C. La temperatura de acabado y la temperatura de bobinado se muestran en la tabla 4. Entre los desbastes planos de los n.ºs 1 a 29 mostrados en la tabla 3, el n.º 1 y el n.º 5 son ejemplos en los que el contenido en Nb estaba fuera del intervalo de la presente invención; el n.º 13 es un ejemplo en el que el contenido en Cu estaba fuera del intervalo de la presente invención; el n.º 28 es un ejemplo en el que el contenido en C estaba fuera del intervalo de la presente invención.

Se enfriaron las chapas de acero laminadas en caliente obtenidas desde la temperatura de acabado hasta la temperatura de bobinado de la laminación en caliente a una velocidad de enfriamiento promedio de 25°C/s. Las chapas de acero laminadas en caliente se recocieron a de 900°C a 1.100°C (sin embargo, sólo en n.º 9 se recoció a 1.150°C) y se procesaron adicionalmente mediante decapado para retirar la cascarilla. A continuación, una vez realizada la laminación en frío, se realizaron adicionalmente recocido (temperatura de calentamiento: 970°C y tiempo de calentamiento: 90 segundos) y decapado, de modo que se obtuvieron chapas de acero inoxidable ferrítico (grosor de la chapa: 0,8 mm). La temperatura de acabado de la laminación en caliente, la temperatura de bobinado de la misma y la reducción de sección de la laminación en frío se muestran en la tabla 4. Los n.ºs 9, 17, 21, 25 y 29 son ejemplos en los que al menos una de la temperatura de acabado de la laminación en caliente, la temperatura de bobinado de la misma, la temperatura de recocido para la chapa de acero laminada en caliente y la reducción de sección de la laminación en frío estaba fuera del intervalo de la presente invención.

Después del ataque químico de una sección transversal arbitraria de la chapa de acero inoxidable ferrítico con agua regia diluida, se midieron los diámetros de grano de granos cristalinos de ferrita en 3 campos de visión arbitrarios mediante un método de intercepción según la norma ASTM E 112, y se calculó el valor promedio de los diámetros de grano. Los resultados se muestran en la tabla 4.

Además, se observó una sección transversal arbitraria de la chapa de acero inoxidable ferrítico mediante un microscopio electrónico de barrido (denominado SEM), y se midió el diámetro de grano máximo de los granos de NbC precipitados. Entre las inclusiones de NbC en un campo de visión arbitrario que tenía un tamaño de 10 mm cuadrados, se midió el diámetro de grano de la más grande. La longitud del eje largo máxima se consideró como el diámetro de grano máximo. Los resultados se muestran en la tabla 4.

Además, tras cortar una muestra que tenía una anchura de 20 mm y una longitud de 70 mm de la chapa de acero inoxidable ferrítico, se pulieron dos superficies de la muestra con papel abrasivo n.º 600, y luego se realizó un trabajo de flexión. El trabajo de flexión se realizó de tal manera que la muestra se sometió a flexión formando un ángulo de 180° presionando una parte central de la misma con un punzón que tenía un radio de 10 mm.

Una vez realizado el trabajo de flexión, se observó la sección transversal de la parte flexionada en 3 campos de visión arbitrarios y se midió la profundidad de la superficie rugosa. En la figura 2 se muestra un método para medir la profundidad de la superficie rugosa. Tras ampliar la sección transversal de la parte flexionada a un aumento de 1.000 usando un microscopio óptico, se tomó una fotografía de la sección transversal, y tal como se muestra en la figura 2, la mayor diferencia entre las porciones convexa y cóncava adyacentes de la superficie rugosa en la sección transversal de la parte flexionada observada se consideró como la profundidad de la superficie rugosa. Una profundidad de la superficie rugosa de 30 µm o menos se evaluó como Buena (O), y una profundidad de la superficie rugosa de más de 30 µm se evaluó como No buena (x). Los resultados se muestran en la tabla 4. Los aceros n.ºs 2-3, 7-8, 10, 14-16, 18-20, 22-24, 27 son ejemplos de referencia. Los aceros n.ºs 1, 5-6, 9, 11-13, 17, 21, 25-26, 28-29 son ejemplos comparativos.

Tal como resulta evidente a partir de la tabla 4, según los ejemplos de referencia, las profundidades de la superficie rugosa fueron todas ellas de 30 µm o menos; sin embargo, según los ejemplos comparativos 1, 5, 9, 13, 17, 21, 25, 28 y 29, las profundidades fueron de más de 30 µm.

Además, aunque no se describe en este caso, también se confirmó el efecto sobre la resistencia a la corrosión por sulfato, y también se confirmó un efecto similar al del ejemplo 1.

TABLA 1

	COMPOSICIÓN (porcentaje en masa)											OTROS ELEMENTOS	OBSERVACIONES
	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ni	Cu	Nb	N		
A1	0,011	0,11	0,17	0,032	0,002	0,028	20,6	0,28	0,23	0,24	0,010	-	EJEMPLO COMPARATIVO
A2	0,008	0,12	0,16	0,030	0,004	0,024	21,0	0,22	0,33	0,27	0,010	-	EJEMPLO DE LA INVENCION
A3	0,008	0,13	0,17	0,031	0,004	0,024	21,4	0,23	0,55	0,27	0,011	-	EJEMPLO DE LA INVENCION
A4	0,009	0,14	0,16	0,032	0,007	0,026	21,8	0,29	0,85	0,24	0,012	-	EJEMPLO COMPARATIVO
B1	0,007	0,14	0,18	0,022	0,001	0,029	20,3	0,27	0,42	0,42	0,010	-	EJEMPLO COMPARATIVO
B2	0,007	0,14	0,19	0,020	0,005	0,028	20,5	0,25	0,43	0,38	0,009	-	EJEMPLO DE LA INVENCION
B3	0,008	0,15	0,18	0,022	0,008	0,029	20,8	0,25	0,45	0,38	0,009	-	EJEMPLO DE LA INVENCION
B4	0,007	0,16	0,18	0,027	0,014	0,029	20,4	0,27	0,43	0,40	0,009	-	EJEMPLO COMPARATIVO
C1	0,008	0,13	0,17	0,031	0,004	0,033	22,4	0,28	0,23	0,16	0,011	-	EJEMPLO COMPARATIVO
C2	0,010	0,12	0,18	0,030	0,008	0,052	22,5	0,27	0,35	0,27	0,014	-	EJEMPLO DE LA INVENCION
C3	0,009	0,14	0,16	0,032	0,007	0,049	22,7	0,29	0,33	0,35	0,012	-	EJEMPLO DE LA INVENCION
C4	0,009	0,14	0,15	0,032	0,007	0,035	22,7	0,29	0,30	0,46	0,012	-	EJEMPLO DE LA INVENCION
C5	0,010	0,12	0,18	0,030	0,008	0,044	22,5	0,26	0,29	0,58	0,014	-	EJEMPLO COMPARATIVO
D1	0,012	0,24	0,28	0,028	0,008	0,025	20,8	0,28	0,32	0,39	0,013	-	EJEMPLO DE LA INVENCION
D2	0,011	0,25	0,25	0,027	0,008	0,016	21,0	0,29	0,57	0,41	0,015	-	EJEMPLO DE LA INVENCION
D3	0,009	0,24	0,28	0,028	0,009	0,022	20,9	0,28	0,46	0,40	0,008	-	EJEMPLO COMPARATIVO
D4	0,011	0,25	0,24	0,029	0,009	0,021	21,1	0,28	0,45	0,39	0,010	-	EJEMPLO COMPARATIVO
E1	0,011	0,16	0,17	0,029	0,002	0,021	22,1	0,22	0,48	0,25	0,010	Ti:0,08	EJEMPLO DE LA INVENCION
E2	0,016	0,18	0,16	0,030	0,003	0,083	22,2	0,24	0,47	0,28	0,019	Zr:0,03	EJEMPLO DE LA INVENCION
E3	0,014	0,22	0,17	0,030	0,004	0,072	20,8	0,20	0,33	0,33	0,016	Mo:0,14	EJEMPLO DE LA INVENCION
E4	0,011	0,16	0,15	0,029	0,002	0,046	20,1	0,29	0,45	0,27	0,013	Ti:0,23, Zr:0,37	EJEMPLO COMPARATIVO
E5	0,017	0,18	0,16	0,032	0,001	0,053	23,2	0,27	0,42	0,28	0,014	Zr:0,11, Mo:0,27	EJEMPLO COMPARATIVO
E6	0,015	0,20	0,17	0,031	0,005	0,022	23,8	0,25	0,38	0,22	0,011	Ti:0,02, Mo:0,71	EJEMPLO COMPARATIVO
E7	0,018	0,54	0,18	0,029	0,001	0,022	23,7	0,28	0,32	0,23	0,012	Ti:0,10, Zr:0,05, Mo:0,13	EJEMPLO COMPARATIVO
E8	0,032	0,17	0,16	0,030	0,002	0,023	24,3	0,31	0,55	0,27	0,044	-	EJEMPLO COMPARATIVO
E9	0,008	0,13	0,17	0,031	0,001	0,122	19,0	0,33	0,55	0,27	0,011	-	EJEMPLO COMPARATIVO
E10	0,010	0,12	0,32	0,030	0,015	0,038	24,5	0,32	0,72	0,53	0,014	-	EJEMPLO COMPARATIVO

TABLA 2

	MÁXIMO DIÁMETRO DE INCLUSIONES QUE CONTIENEN S (µm)	RESISTENCIA A LA CORROSIÓN EN ÁCIDO SULFÚRICO*1	OBSERVACIONES
A1	1,6	x	EJEMPLO COMPARATIVO
A2	2,7	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
A3	2,5	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
A4	3,2	x	EJEMPLO COMPARATIVO
B1	2,5	O	EJEMPLO COMPARATIVO
B2	3,1	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
B3	3,3	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
B4	4,9	x	EJEMPLO COMPARATIVO
C1	4,3	x	EJEMPLO COMPARATIVO
C2	2,4	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
C3	2,7	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
C4	3,1	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
C5	4,8	x	EJEMPLO COMPARATIVO
D1	2,3	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
D2	4,4	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
D3	7,5	x	EJEMPLO COMPARATIVO
D4	9,2	x	EJEMPLO COMPARATIVO
E1	1,5	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
E2	1,4	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
E3	1,8	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
E4	1,9	O	EJEMPLO COMPARATIVO
E5	1,8	O	EJEMPLO COMPARATIVO
E6	2,2	O	EJEMPLO COMPARATIVO
E7	0,7	O	EJEMPLO COMPARATIVO
E8	4,9	x	EJEMPLO COMPARATIVO
E9	3,6	x	EJEMPLO COMPARATIVO
E10	10,3	x	EJEMPLO COMPARATIVO

*1: Una cantidad disuelta de menos del 10% se representa mediante O, y una cantidad disuelta del 10% o más se representa por x.

TABLA 3|

Nº	COMPOSICIÓN (PORCENTAJE EN MASA)										
	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ni	Cu	Nb	N
1	0,011	0,18	0,18	0,027	0,008	0,016	22,0	0,29	0,57	0,17	0,015
2	0,009	0,13	0,17	0,031	0,005	0,025	21,5	0,30	0,48	0,28	0,011
3	0,012	0,18	0,18	0,029	0,001	0,021	20,7	0,28	0,32	0,44	0,010
4	0,014	0,18	0,16	0,032	0,003	0,031	21,2	0,31	0,47	0,52	0,014
5	0,011	0,16	0,17	0,029	0,009	0,021	23,1	0,28	0,45	0,59	0,010
6	0,011	0,16	0,17	0,029	0,002	0,021	23,1	0,28	0,45	0,38	0,010
7	0,007	0,16	0,18	0,033	0,008	0,029	22,3	0,27	0,43	0,37	0,009
8	0,007	0,14	0,19	0,031	0,005	0,028	22,5	0,25	0,43	0,39	0,009
9	0,011	0,18	0,18	0,027	0,008	0,016	22,0	0,29	0,57	0,38	0,014
10	0,008	0,13	0,17	0,031	0,004	0,024	21,4	0,33	0,55	0,52	0,011
11	0,012	0,19	0,16	0,028	0,008	0,025	23,8	0,33	0,32	0,53	0,013
12	0,011	0,22	0,17	0,031	0,005	0,022	23,8	0,30	0,33	0,49	0,011
13	0,011	0,11	0,17	0,032	0,002	0,028	20,6	0,28	0,23	0,51	0,013
14											
15	0,007	0,16	0,18	0,033	0,009	0,029	22,3	0,27	0,43	0,35	0,009
16											
17											
18											
19	0,008	0,12	0,16	0,030	0,004	0,024	21,0	0,31	0,33	0,35	0,010
20											
21											
22											
23	0,007	0,14	0,18	0,031	0,001	0,029	22,3	0,27	0,42	0,36	0,010
24											
25											
26	0,009	0,14	0,16	0,032	0,007	0,026	23,7	0,29	0,72	0,38	0,012
27	0,009	0,15	0,16	0,032	0,003	0,027	21,2	0,30	0,41	0,52	0,011
28	0,032	0,17	0,16	0,030	0,002	0,023	23,3	0,31	0,55	0,18	0,044
29	0,012	0,19	0,16	0,028	0,008	0,025	23,8	0,33	0,32	0,28	0,013

TABLA 4

N.º	DIÁMETRO DE GRANO DE FERRITA PROMEDIO (µm)	DIÁMETRO DE GRANO MÁXIMO DE NbC (µm)	TEMPERATURA DE ACABADO (°C)	TEMPERATURA DE BOBINADO (°C)	REDUCCIÓN DE SECCIÓN DE LA LAMINACIÓN EN FRÍO (%)	EVALUACIÓN DE SUPERFICIE RUGOSA EN LA PARTE FLEXIONADA*1
1	17,9	0,25	740	432	75	x
2	18,2	0,28	743	430	76	O
3	18,3	0,33	736	430	75	O
4	19,4	0,35	737	431	75	O
5	18,7	0,38	745	435	75	x
6	15,4	0,46	752	434	75	O
7	18,7	0,48	751	435	76	O
8	23,3	0,47	752	432	75	O
9	32,2	0,48	753	432	74	x
10	18,4	0,45	760	432	75	O
11	17,2	0,71	762	431	75	O
12	18,4	0,88	765	433	74	O
13	17,9	1,21	763	434	75	x
14	14,3	0,36	745	433	75	O
15	20,2	0,63	752	432	75	O
16	25,4	0,84	764	435	74	O
17	31,0	1,08	782	436	75	x
18	18,3	0,44	758	407	75	O
19	21,7	0,43	759	422	74	O
20	24,5	0,45	760	446	76	O
21	31,8	0,44	758	467	75	x
22	16,8	0,32	752	435	85	O
23	19,4	0,38	753	435	74	O
24	24,7	0,34	752	432	62	O
25	30,2	0,36	751	433	48	x
26	15,3	0,33	752	438	80	O
27	24,4	0,47	753	440	81	O
28	34,3	1,55	753	433	88	x
29	32,5	1,43	852	512	81	x

*1: La profundidad de la superficie rugosa en una parte flexionada de 30 µm o menos se representa mediante O, y la profundidad de la superficie rugosa de más de 30 µm se representa mediante x.

REIVINDICACIONES

1. Chapa de acero inoxidable ferrítico laminada en frío que consiste en:
5 del 0,001 al 0,02 por ciento en masa de C, del 0,05 al 0,8 por ciento en masa de Si, del 0,01 al 0,5 por ciento en masa de Mn, el 0,04 por ciento en masa de P, del 0,0005 al 0,010 por ciento en masa de S, del 0,005 al 0,10 por ciento en masa de Al, del 20,5 al 23 por ciento en masa de Cr, del 0,3 al 0,8 por ciento en masa de Cu, del 0,05 al 0,5 por ciento en masa de Ni, del 0,20 al 0,55 por ciento en masa de Nb, del 0,001 al 0,02 por ciento en masa de N; opcionalmente al menos uno seleccionado del grupo que consiste en del 0,005 al 0,5 por ciento en masa de Ti, el 0,5 por ciento en masa o menos de Zr y el 1,0 por ciento en masa o menos de Mo; y siendo el resto Fe e impurezas inevitables;
10 y que tiene una estructura en la que las inclusiones que contienen S tienen un diámetro de grano máximo de 5 µm o menos.
2. Chapa de acero inoxidable ferrítico laminada en frío según la reivindicación 1, en la que en la composición, el contenido en Ni es del 0,3 por ciento en masa o menos, y el contenido en Nb es del 0,20 al 0,5 por ciento en masa.
- 15 3. Método para fabricar una chapa de acero inoxidable ferrítico laminada en frío que comprende:
a) calentar un desbaste plano o un lingote hasta una temperatura en el intervalo de 1100°C y 1200°C,
b) realizar laminación en caliente de un desbaste plano o un lingote que consiste en del 0,001 al 0,02 por
20 ciento en masa de C, del 0,05 al 0,8 por ciento en masa de Si, del 0,01 al 0,5 por ciento en masa de Mn, el 0,04 por ciento en masa o menos de P, del 0,0005 al 0,010 por ciento en masa de S, del 0,005 al 0,10 por ciento en masa de Al, del 20,5 al 23 por ciento en masa de Cr, del 0,3 al 0,8 por ciento en masa de Cu, del 0,05 al 0,5 por ciento en masa de Ni, del 0,20 al 0,55 por ciento en masa de Nb, del 0,001 al 0,02 por ciento en masa de N,
opcionalmente al menos uno seleccionado del grupo que consiste en del 0,005 al 0,5 por ciento en masa de Ti, el 0,5 por ciento en masa o menos de Zr y el 1,0 por ciento en masa o menos de Mo;
25 y siendo el resto Fe e impurezas inevitables a una temperatura de acabado de 700°C a 950°C,
c) realizar enfriamiento a una velocidad de enfriamiento promedio de 20°C/s o más desde la temperatura de acabado hasta una temperatura de bobinado,
d) realizar bobinado a una temperatura de bobinado de 600°C o menos,
e) realizar recocido a de 900°C a 1200°C durante de 30 a 240 segundos y después realizar un primer
30 decapado,
f) realizar laminación en frío después del primer decapado,
g) realizar recocido después de la laminación en frío a menos de 1050°C durante de 10 a 240 segundos y realizar adicionalmente decapado.
- 35 4. Método para fabricar una chapa de acero inoxidable ferrítico laminada en frío según la reivindicación 3, en el que la temperatura de acabado es de 700°C a 900°C, y el bobinado se realiza a una temperatura de bobinado de 570°C o menos.

FIG. 1

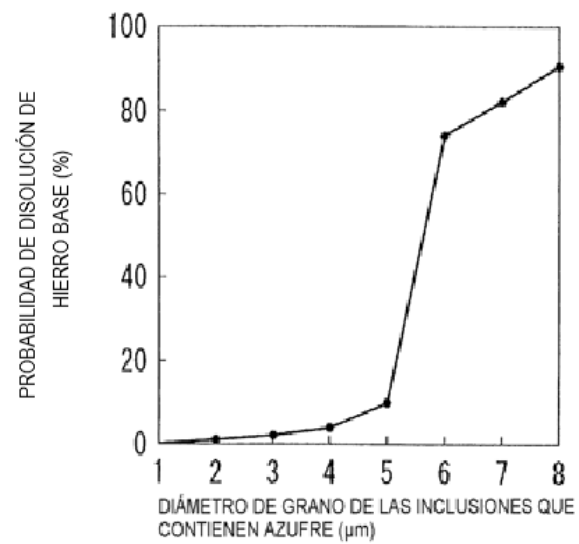


FIG. 2

