

**CHAPA DE ACERO LAMINADA EN CALIENTE, CHAPA DE ACERO
ENCHAPADA POR INMERSIÓN EN CALIENTE, Y MÉTODO PARA
FABRICACIÓN DE CHAPA DE ACERO LAMINADA EN CALIENTE**

CAMPO DE LA TÉCNICA

[0001]

La presente divulgación se relaciona con una chapa de acero laminada en caliente, una chapa de acero revestida por inmersión en caliente obtenida mediante formación de una capa galvanizada por inmersión en caliente en la superficie de la chapa de acero laminada en caliente, y un método para producción de una chapa de acero laminada en caliente.

ARTE PREVIO

[0002]

Las chapas de acero laminadas en caliente se utilizan ampliamente para automóviles, maquinaria eléctrica, materiales de construcción y equipos de construcción y lo similar. Las chapas de acero laminadas en caliente que se utilizan para estas aplicaciones deben tener una alta resistencia. Por otro lado, las chapas de acero laminadas en caliente se procesan en diversas formas para poder utilizarse en las aplicaciones mencionadas anteriormente. Por lo tanto, las chapas de acero laminadas en caliente no sólo deben tener una alta resistencia, sino también una excelente trabajabilidad.

[0003]

En la Publicación de Solicitud de Patente Japonesa N.º 2018-003062 (Literatura de Patente 1) y Publicación de Solicitud de Patente Japonesa N.º 2017-179539 (Literatura de Patente 2) se proponen técnicas para incrementar la resistencia y trabajabilidad de chapas de acero laminadas en caliente.

[0004]

La Literatura de Patente 1 divulga una chapa de acero laminada en caliente que tiene una composición química que consiste de, en % en masa, C: 0,04 a 0,18%, Si: 0,2 a 2,0%, Mn: 1,0 a 3,0%, P: 0,03% o menos, S: 0,005% o menos, Al: 0,01 a 0,100%, N: 0,010% o menos, Ti: 0,03 a 0,15%, Cr: 0,10 a 0,50%, y B: 0,0005 a 0,0050%, siendo el balance con Fe e impurezas inevitables. En la microestructura de esta chapa de acero laminada en caliente, una fracción de área de una fase bainítica es de 85% o más, una fracción de área de una fase de austenita es de 1 a 8%, y una fracción de área de una fase de martensita es de 3% o menos.

Adicionalmente, en la fase de austenita, granos con un diámetro de 0,8 μm o menos representan 70% o más de toda la fase de austenita.

[0005]

En Literatura de Patente 1, la microestructura de la chapa de acero laminada en caliente se encuentra compuesta principalmente de una fase bainítica, y una fase de austenita fina está dispersa en la fase bainítica. La Literatura de Patente 1 describe que, por este medio, se obtiene una alta resistencia y una excelente trabajabilidad.

[0006]

La Literatura de Patente 2 divulga una chapa de acero laminada en caliente con una composición química que consiste de, en % en masa, C: 0,03 a 0,08%, Si: 0,01 a 1,50%, Mn: 0,1 a 1,5%, Ti: 0,05 a 0,15%, B: 0,0002 a 0,0030%, P: 0,1% o menos, S: 0,005% o menos, Al: 0,5% o menos, N: 0,009% o menos, Nb, Mo y V: 0 a 0,02% en total, y Ca y REM: 0 a 0,01% en total, con el balance siendo con Fe e impurezas. Adicionalmente, una relación de masa (Ti/C) del contenido de Ti con respecto al contenido de C en la composición química es de 0,625 a 3,000. En esta chapa de acero laminada en caliente, además, la densidad de dislocación es de 1×10^{14} a $1 \times 10^{16} \text{m}^{-2}$. Además, el diámetro promedio de precipitados TiC dentro de los granos es de 2,0 nm o menos, y la densidad numérica promedio de precipitados TiC dentro de los granos es de 1×10^{17} a 5×10^{18} piezas/ cm^3 . Adicionalmente, dentro de los granos, el contenido de Ti presente como precipitados TiC que precipitó en la fase matriz que no está en dislocaciones es de 30% o más en masa del contenido total de Ti en la chapa de acero.

[0007]

En la chapa de acero laminada en caliente de la Literatura de Patente 2, una alta resistencia a la tracción de 780 MPa o más se obtiene aumentando la densidad de dislocación y provocando que los precipitados TiC que se formará en la fase matriz que no está en dislocaciones. Adicionalmente, la Literatura de Patente 2 describe que disminuyendo el contenido de elementos de aleación, se puede incrementar la trabajabilidad de la chapa de acero laminada en caliente.

[0008]

Con respecto a las chapas de acero laminadas en caliente, además, en algunos casos se forma una capa galvanizada por inmersión en caliente sobre la superficie de las chapas de acero laminadas en caliente para aumentar la resistencia a la corrosión. En lo sucesivo, una chapa de acero laminada en caliente sobre la cual se ha formado una capa galvanizada por

inmersión en caliente también se la refiere como una "chapa de acero revestida por inmersión en caliente".

[0009]

Una chapa de acero laminada en caliente en la cual se ha formado una capa galvanizada por inmersión en caliente (chapa de acero revestida por inmersión en caliente) en algunos casos puede soldarse a otro miembro de acero. Durante la soldadura, una parte de la capa galvanizada por inmersión en caliente se funde. Además, en algunos casos el metal de inmersión en caliente (zinc) puede penetrar en los límites de grano de la chapa de acero laminada en caliente, provocando la aparición de fisuras. Estas fisuras se denominan fragilización por metal líquido (LME, abreviado del inglés "Liquid Metal Embrittlement").

[0010]

A las chapas de acero laminadas en caliente se les exige no sólo que tengan una alta resistencia y una excelente trabajabilidad, sino que también tengan una propiedad tal que pueda suprimir la aparición de LME en un caso en donde se forma una capa galvanizada por inmersión en caliente en la superficie de la chapa de acero laminada en caliente (En lo sucesivo, esta propiedad se denominará "resistencia LME").

[0011]

La Publicación de Solicitud de Patente Japonesa N.º 2018-145500 (Literatura de Patente 3) propone una chapa de acero enchapada en base a Zn-Al-Mg por inmersión en caliente que tiene alta resistencia y excelente trabajabilidad y también resulta excelente por cuanto a resistencia LME.

[0012]

La chapa de acero enchapada en base a Zn-Al-Mg por inmersión en caliente de la Literatura de Patente 3 incluye una chapa de acero en bruto y una capa de enchapado de aleación en base a Zn-Al-Mg por inmersión en caliente. La chapa de acero en bruto tiene una composición química que consiste de, en % en masa, C: 0,01 a 0,08%, Si: 0,8% o menos, Mn: 0,5 a 1,8%, P: 0,05% o menos, S: 0,005% o menos, N: 0,001 a 0,005%, Ti: 0,02 a 0,2%, B: 0,0005 a 0,010%, y Al: 0,005 a 0,1%, siendo el balance con Fe e impurezas inevitables. En la composición química de arriba, una relación de equivalencia Ti/C ($= (\text{Ti}/48)/(\text{C}/12)$) es de 0,4 a 1,5. En la chapa de acero en bruto, adicionalmente, la densidad de dislocación es de $1,8 \times 10^{14}/\text{m}^2$ a $5,7 \times 10^{14}/\text{m}^2$. En la chapa de acero en bruto, ya sea una fase de ferrita bainítica o una fase de ferrita es una sola fase, o una fase que contiene una fase de ferrita bainítica y una fase de ferrita es una fase principal, y la fracción de área de una segunda fase

dura y cementita es de 3% o menos. Adicionalmente, los carburos que contienen Ti que tienen un diámetro medio de partícula de 20 nm o menos se dispersan y precipitan en la chapa de acero en bruto.

[0013]

La Literatura de Patente 3 describe que por tener la composición química y microestructura antes mencionadas, se obtienen alta resistencia, excelente trabajabilidad, y excelente resistencia LME en la chapa de acero enchapada en base a Zn-Al-Mg por inmersión en caliente.

LISTADO DE CITACIÓN

LITERATURA DE PATENTE

[0014]

Literatura de Patente 1: Publicación de Solicitud de Patente Japonesa N.º 2018-003062

Literatura de Patente 2: Publicación de Solicitud de Patente Japonesa N.º 2017-179539

Literatura de Patente 3: Publicación de Solicitud de Patente Japonesa N.º 2018-145500

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

PROBLEMA TÉCNICO

[0015]

A este respecto, a las chapas de acero laminadas en caliente se les puede exigir, no sólo una alta resistencia, excelente trabajabilidad, y excelente resistencia LME en un caso en donde se forma una capa galvanizada por inmersión en caliente, sino que también se les exige una gran rigidez. Aunque las mencionadas, Literatura de Patente 1 a Literatura de Patente 3, discuten una alta resistencia, excelente trabajabilidad, y excelente resistencia LME en un caso en donde se forma una capa galvanizada por inmersión en caliente, no se discuten las técnicas para obtener también gran rigidez junto con estas características.

[0016]

Un objetivo de la presente divulgación es proveer una chapa de acero laminada en caliente que tenga excelente rigidez junto con una alta resistencia, excelente trabajabilidad, y excelente resistencia LME, una chapa de acero revestida por inmersión en caliente, y un método para producción de una chapa de acero laminada en caliente.

SOLUCIÓN AL PROBLEMA

[0017]

Una chapa de acero laminada en caliente, una chapa de acero revestida por inmersión en caliente, y un método para producción de una chapa de acero laminada en caliente de acuerdo con la presente divulgación son como sigue.

[0018]

Una chapa de acero laminada en caliente de acuerdo con la presente divulgación consiste de, en % en masa,

C: 0,040 a 0,120%,

Si: 0,01 a 0,60%,

Mn: 0,50 a 1,50%,

P: 0,025% o menos,

S: 0,010% o menos,

Al: 0,010 a 0,070%,

N: 0,0070% o menos,

Ti: 0,055 a 0,200%, y

B: 0,0010 a 0,0050%,

con el balance siendo con Fe e impurezas,

en donde:

en la microestructura, una fracción de área de ferrita bainítica es de 85% o más,

una densidad de dislocación es de $8,0 \times 10^{13}$ a $100,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$,

un diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti en la chapa de acero laminada en caliente es de 10 nm o menos, y

un diámetro circular equivalente promedio de granos de la ferrita bainítica es de 15 μm o menos.

[0019]

Una chapa de acero laminada en caliente de acuerdo con la presente divulgación contiene, en % en masa,

C: 0,040 a 0,120%,

Si: 0,01 a 0,60%,

Mn: 0,50 a 1,50%,

P: 0,025% o menos,

S: 0,010% o menos,

Al: 0,010 a 0,070%,

N: 0,0070% o menos,

Ti: 0,055 a 0,200%, y

B: 0,0010 a 0,0050%,

y además contiene uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste de un primer grupo y un segundo grupo, con el balance siendo con Fe e impurezas, en donde:

en la microestructura, una fracción de área de ferrita bainítica es de 85% o más,

una densidad de dislocación es de $8,0 \times 10^{13}$ a $100,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$,

un diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti en la chapa de acero laminada en caliente es de 10 nm o menos, y

un diámetro circular equivalente promedio de granos de la ferrita bainítica es de 15 μm o menos;

[primer grupo]

uno o varios tipos de elementos seleccionados desde un grupo que consiste en:

Nb: 0,20% o menos, y

V: 0,20% o menos;

[segundo grupo]

uno o varios tipos de elementos seleccionados desde un grupo que consiste en:

Cr: 1,0% o menos, y

Mo: 1,0% o menos.

[0020]

Una chapa de acero revestida por inmersión en caliente de acuerdo con la presente divulgación incluye:

la chapa de acero laminada en caliente descrita arriba, y

una capa galvanizada por inmersión en caliente que se forma en una superficie de la chapa de acero laminada en caliente y que contiene Zn en una cantidad de 65,00% o más en masa.

[0021]

Un método para producción de una chapa de acero laminada en caliente de acuerdo con la presente divulgación incluye:

un proceso de laminación en bruto de sometimiento de un material de partida a laminación en bruto utilizando un desbastador para producir una barra en bruto,

un proceso de laminación de acabado de sometimiento de la barra en bruto a laminación de acabado utilizando una acabadora para producir una chapa de acero, en la cual una temperatura de acabado FT de la laminación se establece en un rango de 850 a 950°C,

un proceso de enfriamiento, de enfriamiento de la chapa de acero luego que se completó el laminación de acabado, y

un proceso de bobinado, de bobinado de la chapa de acero luego del proceso de enfriamiento, a una temperatura de bobinado de 470 a 620°C,

en donde, en el proceso de enfriamiento:

el enfriamiento de la chapa de acero utilizando equipo de enfriamiento se inicia dentro de los tres segundos luego que se completó el laminación de acabado,

y cuando un período desde cuando se enfría utilizando el equipo de enfriamiento se inicia hasta que la temperatura de la chapa de acero alcanza una temperatura de conmutación ST se define como un período de enfriamiento en fase inicial, y un período hasta que la temperatura de la chapa de acero alcanza la temperatura de bobinado desde la temperatura de conmutación ST se define como un período de enfriamiento de fase final,

una velocidad de enfriamiento de fase inicial CR1 que es una velocidad de enfriamiento en el período de enfriamiento en fase inicial se establece en menos de 25°C/seg,

la temperatura de conmutación ST se establece en 730 a 830°C, y

una velocidad de enfriamiento de fase final CR2 que es una velocidad de enfriamiento en el período de enfriamiento de fase final se establece en 25°C/seg o más.

EFFECTOS VENTAJOSOS DE LA INVENCION

[0022]

La chapa de acero laminada en caliente y la chapa de acero revestida por inmersión en caliente de acuerdo con la presente divulgación tienen, cada una, una excelente rigidez así como una alta resistencia, excelente trabajabilidad, y excelente resistencia LME. El método para producción de una chapa de acero laminada en caliente de acuerdo con la presente divulgación puede producir la chapa de acero laminada en caliente mencionada arriba.

BREVE DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

[0023]

[FIG. 1] La FIG. 1 es un diagrama esquemático que ilustra un ensayo de evaluación de la resistencia LME realizado en los Ejemplos.

[FIG. 2] La FIG. 2 es una vista en sección transversal del ensayo de evaluación de la resistencia LME de la FIG. 1 visto de lado.

DESCRIPCIÓN DE FORMAS DE REALIZACIÓN

[0024]

En primer lugar, los presentes inventores realizaron estudios desde el punto de vista de la composición química con respecto a una chapa de acero laminada en caliente que tiene alta resistencia, excelente trabajabilidad, y excelente resistencia LME. Como resultado, los presentes inventores consideraron que si la composición química de una chapa de acero laminada en caliente consiste de, en % en masa, C: 0,040 a 0,120%, Si: 0,01 a 0,60%, Mn: 0,50 a 1,50%, P: 0,025% o menos, S: 0,010% o menos, Al: 0,010 a 0,070%, N: 0,0070% o menos, Ti: 0,055 a 0,200%, B: 0,0010 a 0,0050%, Nb: 0 a 0,20%, V: 0 a 0,20%, Cr: 0 a 1,0%, y Mo: 0 a 1,0%, con el balance siendo con Fe e impurezas, existe la posibilidad de que se pueda obtener la alta resistencia, excelente trabajabilidad, y excelente resistencia LME.

[0025]

Por lo tanto, con el objetivo de obtener alta resistencia, excelente trabajabilidad, y excelente resistencia LME, los presentes inventores realizaron nuevos estudios con respecto a la microestructura de una chapa de acero laminada en caliente en la cual el contenido de cada elemento en la composición química se encuentra dentro del rango de arriba. Como resultado, los presentes inventores descubrieron que si se satisfacen las siguientes características en la microestructura de la chapa de acero laminada en caliente, se obtendrán, alta resistencia, excelente trabajabilidad, y excelente resistencia LME.

Característica 1: La fracción de área de ferrita bainítica en la microestructura es de 85% o más.

Característica 2: La densidad de dislocación es de $8,0 \times 10^{13}$ a $100,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$.

Característica 3: El diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti en la chapa de acero laminada en caliente es de 10 nm o menos.

[0026]

Sin embargo, incluso cuando las chapas de acero laminadas en caliente tuvieron una composición química en la cual el contenido de cada elemento estaba dentro del rango mencionado y satisfacía la Característica 1 a la Característica 3, hubo algunos casos en los que la rigidez fue baja. Por lo tanto, los presentes inventores también realizaron estudios sobre los medios por los que, además de tener alta resistencia, excelente trabajabilidad, y

excelente resistencia LME, también pueda obtenerse una gran rigidez. Como resultado, los presentes inventores ha descubierto recientemente que, en una chapa de acero laminada en caliente en la cual el contenido de cada elemento en la composición química está dentro del rango mencionado y que tiene la Característica 1 a la Característica 3, adicionalmente a tener alta resistencia, excelente trabajabilidad, y excelente resistencia LME, también se puede obtener gran rigidez si la chapa de acero laminada en caliente también tiene la siguiente Característica 4.

Característica 4: El diámetro circular equivalente promedio de los granos de ferrita bainítica es de 15 μm o menos.

[0027]

Una chapa de acero laminada en caliente, una chapa de acero revestida por inmersión en caliente que utiliza la chapa de acero laminada en caliente, y un método para producción de una chapa de acero laminada en caliente de acuerdo con la presente forma de realización se completaron en base a la idea técnica descrita arriba, y son como sigue.

[0028]

[1]

Una chapa de acero laminada en caliente que consiste de, en % en masa,

C: 0,040 a 0,120%,

Si: 0,01 a 0,60%,

Mn: 0,50 a 1,50%,

P: 0,025% o menos,

S: 0,010% o menos,

Al: 0,010 a 0,070%,

N: 0,0070% o menos,

Ti: 0,055 a 0,200%, y

B: 0,0010 a 0,0050%,

con el balance siendo con Fe e impurezas,

en donde:

en la microestructura, una fracción de área de ferrita bainítica es de 85% o más,

una densidad de dislocación es de $8,0 \times 10^{13}$ a $100,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$,

un diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti en la chapa de acero laminada en caliente es de 10 nm o menos, y

un diámetro circular equivalente promedio de granos de la ferrita bainítica es de 15 μm o menos.

[0029]

[2]

Una chapa de acero laminada en caliente que contiene, en % en masa,

C: 0,040 a 0,120%,

Si: 0,01 a 0,60%,

Mn: 0,50 a 1,50%,

P: 0,025% o menos,

S: 0,010% o menos,

Al: 0,010 a 0,070%,

N: 0,0070% o menos,

Ti: 0,055 a 0,200%, y

B: 0,0010 a 0,0050%,

y además contiene uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste de un primer grupo y un segundo grupo, con el balance siendo con Fe e impurezas, en donde:

en la microestructura, una fracción de área de ferrita bainítica es de 85% o más,

una densidad de dislocación es de $8,0 \times 10^{13}$ a $100,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$,

un diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti en la chapa de acero laminada en caliente es de 10 nm o menos, y

un diámetro circular equivalente promedio de granos de la ferrita bainítica es de 15 μm o menos;

[primer grupo]

uno o varios tipos de elementos seleccionados desde un grupo que consiste en:

Nb: 0,20% o menos, y

V: 0,20% o menos;

[segundo grupo]

uno o varios tipos de elementos seleccionados desde un grupo que consiste en:

Cr: 1,0% o menos, y

Mo: 1,0% o menos.

[0030]

[3]

La chapa de acero laminada en caliente de acuerdo con [2], que contiene:
el primer grupo.

[0031]

[4]

La chapa de acero laminada en caliente de acuerdo con [2] o [3], que contiene:
el segundo grupo.

[0032]

[5]

Una chapa de acero revestida por inmersión en caliente, que incluye:
la chapa de acero laminada en caliente de acuerdo con una cualquiera de [1] a [4], y
una capa galvanizada por inmersión en caliente que se forma en una superficie de la
chapa de acero laminada en caliente y que contiene Zn en una cantidad de 65,00% o más en
masa%.

[0033]

[6]

Un método para producción de la chapa de acero laminada en caliente de acuerdo con
una cualquiera de [1] a [4], que incluye:

un proceso de laminación en bruto de sometimiento de un material de partida a
laminación en bruto utilizando un desbastador para producir una barra en bruto,

un proceso de laminación de acabado de sometimiento de la barra en bruto a
laminación de acabado utilizando una acabadora para producir una chapa de acero, en la cual
una temperatura de acabado FT de la laminación se establece en un rango de 850 a 950°C,

un proceso de enfriamiento, de enfriamiento de la chapa de acero luego que se
completó el laminación de acabado, y

un proceso de bobinado, de bobinado de la chapa de acero luego del proceso de
enfriamiento, con una temperatura de bobinado de 470 a 620°C,

en donde, en el proceso de enfriamiento:

el enfriamiento de la chapa de acero utilizando un equipo de enfriamiento se inicia
dentro de los tres segundos luego que se completó el laminación de acabado,

y cuando un período desde cuando inicial el enfriamiento utilizando el equipo de
enfriamiento hasta que la temperatura de la chapa de acero alcanza una temperatura de
conmutación ST (abreviado del inglés, “Switching Temperature”) se identifica como un
período de enfriamiento en fase inicial, y un período hasta que la temperatura de la chapa de

acero alcanza la temperatura de bobinado desde la temperatura de conmutación ST se define como un período de enfriamiento de fase final,

una velocidad de enfriamiento de fase inicial CR1 que es una velocidad de enfriamiento en el período de enfriamiento en fase inicial se establece en menos de 25°C/segundo,

la temperatura de conmutación ST se establece en 730 a 830°C, y

una velocidad de enfriamiento de fase final CR2 que es una velocidad de enfriamiento en el período de enfriamiento de fase final se establece en 25°C/segundo o más.

[0034]

A continuación, se describen en detalle la chapa de acero laminada en caliente y la chapa de acero revestida por inmersión en caliente de acuerdo con la presente forma de realización.

El símbolo "%" en relación con un elemento significa porcentaje en masa, a menos que se indique otra cosa.

[0035]

[Chapa de acero laminada en caliente]

[Composición química]

La composición química de la chapa de acero laminada en caliente de acuerdo con la presente forma de realización contiene los siguientes elementos.

[0036]

C: 0,040 a 0,120%

El carbono (C) se combina con Ti para formar carburos de Ti. Los carburos de Ti incrementan la resistencia de la chapa de acero laminada en caliente por el fortalecimiento de las precipitaciones, e incrementa la trabajabilidad. Adicionalmente, en un caso en donde el contenido de Ti en la composición química es de 0,055 a 0,200%, el C facilita la formación de ferrita bainítica. Si el contenido de C es menor de 0,040%, no se obtendrá alta resistencia incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente implementación. Específicamente, será difícil para la resistencia a la tracción TS de la chapa de acero laminada en caliente llegar a ser de 780 MPa o más. Adicionalmente, la densidad de dislocación será excesivamente alta y disminuirá la trabajabilidad de la chapa de acero laminada en caliente.

Por otra parte, si el contenido de C es de más de 0,120%, incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente implementación, se formará fácilmente

ferrita poligonal en la microestructura. Consecuentemente, disminuirá la fracción de área de ferrita bainítica en la chapa de acero laminada en caliente. Además, disminuirá la densidad de dislocación de la chapa de acero laminada en caliente. Adicionalmente, el diámetro circular equivalente promedio de granos de ferrita bainítica será grande. Como resultado, disminuirá la rigidez de la chapa de acero laminada en caliente.

Por lo tanto, el contenido de C ha de ser de 0,040 a 0,120%.

Un límite inferior preferible del contenido de C es de 0,042%, más preferiblemente es de 0,044%, y más preferiblemente es de 0,046%.

Un límite superior preferible del contenido de C es de 0,115%, más preferiblemente es de 0,110%, y más preferiblemente es de 0,105%.

[0037]

Si: 0,01 a 0,60%

El silicio (Si) desoxida el acero. El Si también aumenta la resistencia de la chapa de acero laminada en caliente por fortalecimiento de la solución sólida. Si el contenido de Si es menor de 0,01%, no se obtendrán suficientemente los efectos ventajosos antes mencionados incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente implementación.

Por otro lado, si el contenido de Si es de más de 0,60%, incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente implementación, se formará fácilmente ferrita poligonal en la chapa de acero laminada en caliente. Consecuentemente, disminuirá la fracción de área de ferrita bainítica en la chapa de acero laminada en caliente. Además, disminuirá la densidad de dislocación de la chapa de acero laminada en caliente. Adicionalmente, el diámetro circular equivalente promedio de granos de ferrita bainítica será grande. Como resultado, disminuirá la rigidez de la chapa de acero laminada en caliente.

Por lo tanto, el contenido de Si ha de ser de 0,01 a 0,60%.

Un límite inferior preferible del contenido de Si es de 0,02%, más preferiblemente es de 0,03%, y más preferiblemente es de 0,04%.

Un límite superior preferible del contenido de Si es de 0,55%, más preferiblemente es de 0,50%, y más preferiblemente es de 0,45%.

[0038]

Mn: 0,50 a 1,50%

El manganeso (Mn) incrementa la resistencia de la chapa de acero laminada en caliente por refuerzo de la solución sólida. Si el contenido de Mn es menor de 0,50%, el mencionado

efecto ventajoso no se obtendrá suficientemente incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente implementación.

Por otro lado, si el contenido de Mn es de más de 1,50%, incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente implementación, se producirá fácilmente la segregación de Mn en la chapa de acero laminada en caliente. Adicionalmente, si el contenido de Mn es de más de 1,50%, la bainita se formará fácilmente en la chapa de acero laminada en caliente. Consecuentemente, disminuirá la fracción de área de ferrita bainítica en la chapa de acero laminada en caliente, y la densidad de dislocación será excesivamente alta. Por lo tanto, disminuirá la trabajabilidad de la chapa de acero laminada en caliente.

Por lo tanto, el contenido de Mn ha de ser de 0,50 a 1,50%.

Un límite inferior preferible del contenido de Mn es de 0,55%, más preferiblemente es de 0,60%, y más preferiblemente es de 0,65%.

Un límite superior preferible del contenido de Mn es de 1,40%, más preferiblemente es de 1,30%, y más preferiblemente es de 1,20%.

[0039]

P: 0,025% o menos

El fósforo (P) es una impureza. El P se segrega en los límites de los granos y disminuye la trabajabilidad de la chapa de acero laminada en caliente. El P también disminuye la soldabilidad de la chapa de acero laminada en caliente. Si el contenido de P es de más de 0,025%, la trabajabilidad y soldabilidad de la chapa de acero laminada en caliente disminuirá notablemente incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente implementación.

Por lo tanto, el contenido de P ha de ser de 0,025% o menos.

El contenido de P es preferiblemente lo más bajo posible. Sin embargo, reducir excesivamente el contenido de P disminuirá la productividad y aumentará el costo de producción. Por lo tanto, cuando se tiene en cuenta la producción industrial normal, un límite inferior preferible del contenido de P es de más de 0%, más preferiblemente es de 0,001%, más preferiblemente es de 0,002%, y más preferiblemente es de 0,003%.

Un límite superior preferible del contenido de P es de 0,023%, más preferiblemente es de 0,020%, y más preferiblemente es de 0,015%.

[0040]

S: 0,010% o menos

El azufre (S) es una impureza. El S se segrega en los límites de los granos y disminuye la trabajabilidad de la chapa de acero laminada en caliente. Si el contenido de S es de más de 0,010%, la trabajabilidad de la chapa de acero laminada en caliente disminuirá notablemente incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente implementación.

Por lo tanto, el contenido de S ha de ser de 0,010% o menos.

El contenido de S es preferiblemente lo más bajo posible. Sin embargo, al reducir excesivamente el contenido de S disminuirá la productividad y aumentará el costo de producción. Por lo tanto, cuando se tiene en cuenta la producción industrial normal, un límite inferior preferible del contenido de S es de más de 0%, más preferiblemente es de 0,001%, más preferiblemente es de 0,002%, y más preferiblemente es de 0,003%.

Un límite superior preferible del contenido de S es de 0,009%, y más preferiblemente es de 0,008%.

[0041]

Al: 0,010 a 0,070%

El aluminio (Al) desoxida el acero. El Al también se combina con el N para formar nitruros de Al. Por este medio, el Al suprime la combinación de B con N. Si el contenido de Al es menor de 0,010%, no se obtendrán suficientemente los efectos ventajosos antes mencionados incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente implementación.

Por otro lado, si el contenido de Al es de más de 0,070%, se formarán nitruros gruesos de Al de manera excesiva incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente implementación. Consecuentemente, disminuirá la trabajabilidad de la chapa de acero laminada en caliente.

Por lo tanto, el contenido de Al ha de ser de 0,010 a 0,070%.

Un límite inferior preferible del contenido de Al es de 0,012%, más preferiblemente es de 0,014%, y más preferiblemente es de 0,016%.

Un límite superior preferible del contenido de Al es de 0,065%, más preferiblemente es de 0,060%, y más preferiblemente es de 0,055%.

[0042]

N: 0,0070% o menos

El nitrógeno (N) es una impureza. El N se combina con B para formar BN, y de este modo se reduce la cantidad de B disuelto en la chapa de acero laminada en caliente. El N

también se combina con Ti para formar TiN, y de este modo inhibe la formación de carburos de Ti. Si el contenido de N es de más de 0,0070%, se formarán cantidades excesivas de BN y TiN incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente implementación. Como resultado, disminuirá la resistencia LME de la chapa de acero laminada en caliente. Adicionalmente, disminuirá la resistencia de la chapa de acero laminada en caliente.

Por lo tanto, el contenido de N ha de ser de 0,0070% o menos.

El contenido de N es preferiblemente lo más bajo posible. Sin embargo, al reducir excesivamente el contenido de N disminuirá la productividad y aumentará el costo de producción. Por lo tanto, cuando se tiene en cuenta la producción industrial normal, un límite inferior preferible del contenido de N es de más de 0%, más preferiblemente es de 0,0001%, más preferiblemente es de 0,0005%, y más preferiblemente es de 0,0010%.

Un límite superior preferible del contenido de N es de 0,0060%, más preferiblemente es de 0,0050%, y más preferiblemente es de 0,0040%.

[0043]

Ti: 0,055 a 0,200%

El titanio (Ti) se combina con C para formar carburos de Ti. Los carburos de Ti incrementan la resistencia de la chapa de acero laminada en caliente por el refuerzo de las precipitaciones. Adicionalmente, en un caso en donde el contenido de C es de 0,040 a 0,120%, si el contenido de Ti es el adecuado, será fácil que se forme ferrita bainítica en la chapa de acero laminada en caliente. Si el contenido de Ti es menor de 0,055%, incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente implementación, se formará fácilmente ferrita poligonal. Consecuentemente, disminuirá la fracción de área de ferrita bainítica en la chapa de acero laminada en caliente, y también disminuirá la densidad de dislocación de la chapa de acero laminada en caliente. Adicionalmente, el diámetro circular equivalente promedio de los granos de ferrita bainítica será grande. Como resultado, disminuirá la rigidez de la chapa de acero laminada en caliente.

Por otro lado, si el contenido de Ti es de más de 0,200%, incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente implementación, la densidad de dislocación en la chapa de acero laminada en caliente resultará excesivamente alta. Como resultado, disminuirá la trabajabilidad de la chapa de acero laminada en caliente.

Por lo tanto, el contenido de Ti ha de ser de 0,055 a 0,200%.

Un límite inferior preferible del contenido de Ti es de 0,060%, más preferiblemente es de 0,065%, más preferiblemente es de 0,070%, más preferiblemente es de 0,075%, más preferiblemente es de 0,080%, y más preferiblemente es de 0,085%.

Un límite superior preferible del contenido de Ti es de 0,190%, más preferiblemente es de 0,180%, y más preferiblemente es de 0,170%.

[0044]

B: 0,0010 a 0,0050%

El boro (B) se disuelve en la chapa de acero laminada en caliente, y se segrega en los límites de grano de austenita primaria. El B segregado aumenta la resistencia del límite de grano. Por lo tanto, el B incrementa la resistencia LME de la chapa de acero laminada en caliente. El B también incrementa la endurecibilidad del acero. Si el contenido de B es menor de 0,0010%, la resistencia LME de la chapa de acero laminada en caliente no se obtendrá suficientemente incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente implementación. Adicionalmente, debido a que la templabilidad será insuficiente, disminuirá la densidad de dislocación. Además, disminuirá la fracción de área de ferrita bainítica. Adicionalmente, la temperatura a la que comienza la transformación de austenita a ferrita aumentará. En tal caso, la temperatura a la cual comienza la precipitación de carburos de Ti también aumentará. Consecuentemente, se engrosarán los carburos de Ti. Como resultado, disminuirá la resistencia de la chapa de acero laminada en caliente, y también disminuirá la rigidez.

Por otro lado, si el contenido de B es de más de 0,0050%, la endurecibilidad será excesivamente alta incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente implementación. En tal caso, la densidad de dislocación de la chapa de acero laminada en caliente será excesivamente alta. Adicionalmente, disminuirá la fracción de área de ferrita bainítica. Como resultado, disminuirá la trabajabilidad de la chapa de acero. Adicionalmente, si el contenido de B es de más de 0,0050%, disminuirá la resistencia LME.

Por lo tanto, el contenido de B ha de ser de 0,0010 a 0,0050%.

Un límite inferior preferible del contenido de B es de 0,0015%, más preferiblemente es de 0,0020%, y más preferiblemente es de 0,0025%.

Un límite superior preferible del contenido de B es de 0,0045%, más preferiblemente es de 0,0040%, y más preferiblemente es de 0,0035%.

[0045]

El balance de la composición química de la chapa de acero laminada en caliente de la presente forma de realización es con Fe e impurezas. Aquí, el término "impurezas" se refiere a los elementos que se mezclan a partir del mineral y la chatarra como materia prima o del entorno de producción o similares cuando se produce industrialmente la chapa de acero laminada en caliente, y que no se contengan intencionadamente, sino que se permitan dentro de un rango que no afecte negativamente a la chapa de acero laminada en caliente de la presente forma de realización.

[0046]

[Elementos opcionales]

La composición química de la chapa de acero laminada en caliente de la presente forma de realización puede contener además uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste de un primer grupo y un segundo grupo en lugar de una parte de Fe.

[Primer grupo]

Uno o más tipos de elementos seleccionados del grupo que consiste en:

Nb: 0,20% o menos, y

V: 0,20% o menos.

[Segundo grupo]

Uno o más tipos de elementos seleccionados del grupo que consiste en:

Cr: 1,0% o menos, y

Mo: 1,0% o menos.

Cada uno de esos elementos es un elemento opcional. A continuación se describen el primer grupo y el segundo grupo.

[0047]

[Primer grupo: Nb y V]

La chapa de acero laminada en caliente de la presente forma de realización puede contener el primer grupo en lugar de una parte de Fe. Cada uno de esos elementos se combina con C para formar carburos, y mediante lo cual se incrementa la resistencia de la chapa de acero laminada en caliente. Cada elemento se describe a continuación.

[0048]

Nb: 0,20% o menos

El niobio (Nb) es un elemento opcional, y no tiene por qué estar contenido. Esto es, el contenido de Nb puede ser de 0%.

Cuando se encuentra contenido, esto es, cuando el contenido de Nb es de más de 0%, el Nb se combina con C para formar carburos de Nb. Los carburos de Nb incrementan la resistencia de la chapa de acero laminada en caliente por el refuerzo de las precipitaciones. Si se contiene incluso una pequeña cantidad de Nb, el mencionado efecto ventajoso se obtendrá en cierta medida.

Sin embargo, si el contenido de Nb es de más de 0,20%, incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente implementación, se formarán carburos de Nb excesivamente. En tal caso, disminuirá la trabajabilidad de la chapa de acero laminada en caliente.

Por lo tanto, el contenido de Nb ha de ser de 0 a 0,20%, y cuando se encuentra contenido, el contenido de Nb ha de ser de 0,20% o menos.

Un límite inferior preferible del contenido de Nb es de 0,01%, más preferiblemente es de 0,05%, y más preferiblemente es de 0,08%.

Un límite superior preferible del contenido de Nb es de 0,18%, más preferiblemente es de 0,16%, y más preferiblemente es de 0,14%.

[0049]

V: 0,20% o menos

El vanadio (V) es un elemento opcional, y no tiene por qué estar contenido. Esto es, el contenido de V puede ser de 0%.

Cuando se encuentra contenido, esto es, cuando el contenido de V es de más de 0%, el V se combina con C para formar carburos de V. Los carburos de V incrementan la resistencia de la chapa de acero laminada en caliente por el refuerzo de las precipitaciones. Si incluso se contiene una pequeña cantidad de V, el mencionado efecto ventajoso se obtendrá en cierta medida.

Sin embargo, si el contenido de V es de más de 0,20%, carburos de V se formará excesivamente incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente implementación. En tal caso, disminuirá la trabajabilidad de la chapa de acero laminada en caliente.

Por lo tanto, el contenido de V ha de ser de 0 a 0,20%, y cuando se encuentra contenido, el contenido de V ha de ser de 0,20% o menos.

Un límite inferior preferible del contenido de V es de 0,01%, más preferiblemente es de 0,05%, y más preferiblemente es de 0,08%.

Un límite superior preferible del contenido de V es de 0,18%, más preferiblemente es de 0,16%, y más preferiblemente es de 0,14%.

[0050]

[Segundo grupo: Cr y Mo]

La chapa de acero laminada en caliente de la presente forma de realización puede contener el segundo grupo en lugar de una parte de Fe. Cada uno de esos elementos incrementa la resistencia LME de la chapa de acero laminada en caliente. Cada elemento se describe a continuación.

[0051]

Cr: 1,0% o menos

El cromo (Cr) es un elemento opcional, y no tiene por qué estar contenido. Esto es, el contenido de Cr puede ser de 0%.

Cuando se encuentra contenido, esto es, cuando el contenido de Cr es de más de 0%, Cr se segrega en los límites de grano de austenita primaria, y por ese medio incrementa la resistencia LME de la chapa de acero laminada en caliente. Si se contiene incluso una pequeña cantidad de Cr, el mencionado efecto ventajoso se obtendrá en cierta medida.

Sin embargo, si el contenido de Cr es de más de 1,0%, disminuirá la trabajabilidad de la chapa de acero laminada en caliente incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente implementación.

Por lo tanto, el contenido de Cr ha de ser de 0 a 1,0%, y cuando se encuentra contenido, el contenido de Cr ha de ser de 1,0% o menos.

Un límite inferior preferible del contenido de Cr es de 0,1%, más preferiblemente es de 0,2%, y más preferiblemente es de 0,3%.

Un límite superior preferible del contenido de Cr es de 0,9%, más preferiblemente es de 0,8%, y más preferiblemente es de 0,7%.

[0052]

Mo: 1,0% o menos

El molibdeno (Mo) es un elemento opcional, y no tiene por qué estar contenido. Esto es, el contenido de Mo puede ser de 0%. Cuando se encuentra contenido, esto es, cuando el contenido de Mo es de más de 0%, el Mo se segrega en los límites de grano de austenita primaria, y por ese medio incrementa la resistencia LME de la chapa de acero laminada en caliente. Si se contiene incluso una pequeña cantidad de Mo, el mencionado efecto ventajoso se obtendrá en cierta medida.

Sin embargo, si el contenido de Mo es de más de 1,0%, disminuirá la trabajabilidad de la chapa de acero laminada en caliente incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente implementación.

Por lo tanto, el contenido de Mo ha de ser de 0 a 1,0%, y cuando se encuentra contenido, el contenido de Mo ha de ser de 1,0% o menos.

Un límite inferior preferible del contenido de Mo es de 0,1%, más preferiblemente es de 0,2%, y más preferiblemente es de 0,3%.

Un límite superior preferible del contenido de Mo es de 0,9%, más preferiblemente es de 0,8%, y más preferiblemente es de 0,7%.

[0053]

[Método para medición de la composición química de una chapa de acero laminada en caliente]

La composición química de la chapa de acero laminada en caliente de la presente forma de realización puede medirse mediante un método conocido de análisis de la composición de acuerdo con la JIS G0321: 2017. Específicamente, se recogen virutas mecanizadas de la chapa de acero laminada en caliente utilizando una herramienta de corte como un taladro. Las virutas mecanizadas recogidas se disuelven en ácido para obtener una solución líquida. La solución líquida se somete a ICP-MAS (Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente) para realizar el análisis elemental de la composición química. El contenido de C y el contenido de S se determinan mediante un método de combustión de alta frecuencia bien conocido (método de absorción de infrarrojos por combustión). El contenido de N se determina utilizando un método de conductividad térmica por fusión de gas inerte bien conocido.

[0054]

Nótese que, para el contenido de cada elemento definido en la presente realización, se adopta un valor numérico hasta el dígito menos significativo del contenido de cada elemento definido en la presente realización que se obtiene redondeando una fracción del valor numérico medido basado en los dígitos significativos definidos en la presente realización. Por ejemplo, el contenido de C en el material de acero de la presente forma de realización se define como un valor numérico hasta la cifra de la milésima. Por lo tanto, el contenido de C se toma como valor numérico hasta la cifra de la milésima que se obtiene redondeando la diezmilésima parte del valor numérico medido.

De manera similar, para el contenido de cada elemento más allá del contenido de C en el material de acero de la presente forma de realización también, un valor obtenido redondeando una fracción del valor numérico medido hasta el dígito menos significativo definido en la presente forma de realización se toma como el contenido del elemento pertinente.

Nótese que, el término "redondeo" significa redondear hacia abajo si la fracción es menor de 5, y redondear hacia arriba si la fracción es igual o superior a 5.

[0055]

[Características que no sean la composición química de chapa de acero laminada en caliente de la presente implementación]

En la chapa de acero laminada en caliente de la presente forma de realización, el contenido de cada elemento en la composición química está dentro del rango de la presente forma de realización, y se satisfacen las siguientes Característica 1 a Característica 4.

Característica 1: La fracción de área de ferrita bainítica en la microestructura es de 85% o más.

Característica 2: La densidad de dislocación es de $8,0 \times 10^{13}$ a $100,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$.

Característica 3: El diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti en la chapa de acero laminada en caliente es de 10 nm o menos.

Característica 4: El diámetro circular equivalente promedio de los granos de ferrita bainítica es de 15 μm o menos.

Cada característica se describe a continuación.

[0056]

[Característica 1: Fracción de área de ferrita bainítica]

En la microestructura de la chapa de acero laminada en caliente de la presente forma de realización, la fracción de área de ferrita bainítica es de 85% o más. La microestructura de la chapa de acero laminada en caliente de la presente forma de realización puede ser una microestructura monofásica de ferrita bainítica. En un caso en donde la microestructura de la chapa de acero laminada en caliente de la presente forma de realización se compone de ferrita bainítica y una u otras fases más, las otras fases son, por ejemplo, uno o más tipos seleccionados del grupo que consiste de ferrita poligonal, perlita, bainita, y cementita.

[0057]

Una ferrita bainítica se puede distinguir de una ferrita poligonal y bainita en los siguientes aspectos.

[0058]

[Distinción entre ferrita bainítica y ferrita poligonal]

La ferrita bainítica es una agregación de granos con orientaciones cristalinas ligeramente diferentes entre sí. Por lo tanto, resulta perceptible una diferencia en el contraste dentro de los granos. Por otro lado, la ferrita poligonal es una estructura en la que casi no hay diferencia de orientación cristalina dentro de los granos. Por lo tanto, los interiores de los granos se observan con un contraste uniforme. Por lo tanto, la ferrita bainítica se puede distinguir de ferrita poligonal basado en el contraste atribuible a las diferencias de orientación de los cristales.

[0059]

[Distinción entre ferrita bainítica y bainita]

La estructura cristalina de ferrita bainítica es una estructura bcc (cúbica centrada en el cuerpo y abreviado del inglés “body-centered cubic”), similar a la estructura cristalina de la bainita. Por lo tanto, es difícil distinguir ferrita bainítica de bainita en base a la estructura cristalina. Adicionalmente, es difícil distinguir ferrita bainítica de bainita en base a la diferencia de orientación de los cristales. Sin embargo, la ferrita bainítica se puede distinguir de bainita en base a la presencia o no de carburos de Fe dentro de los granos y en los límites de los granos. Aquí, el término "Carburos de Fe" se refiere a los carburos que contienen Fe, como la cementita.

[0060]

Específicamente, en la ferrita bainítica, los carburos de Fe no están presentes dentro de los granos ni en los límites de los granos. Por otro lado, en la bainita, los carburos de el Fe está presente dentro de las láminas y/o en los límites de las láminas. Por lo tanto, ferrita bainítica se puede distinguir de bainita en base a la presencia o no de carburos de Fe dentro de los granos y en los límites de los granos.

[0061]

[Efectos ventajosos producidos por una fracción de área de ferrita bainítica]

En la microestructura de una chapa de acero laminada en caliente en la cual el contenido de cada elemento en la composición química está dentro del rango de la presente forma de realización, si la fracción de área de ferrita bainítica es de 85% o más, con la condición previa de que se satisfagan las otras Características 2 a 4, se obtendrá alta resistencia y gran rigidez.

[0062]

Un límite inferior preferible de la fracción de área de ferrita bainítica es de 88%, más preferiblemente es de 90%, más preferiblemente es de 92%, más preferiblemente es de 94%, y más preferiblemente es de 96%.

[0063]

[Método para medición de fracción de área de ferrita bainítica]

La fracción de área de ferrita bainítica puede determinarse por el siguiente método.

Se realiza observación de microestructura utilizando un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FE-SEM, abreviado del inglés “Field Emission Scanning Electron Microscope”). La observación de microestructura se realiza utilizando una imagen de contraste de canalización de electrones (ECCI, abreviado del inglés “Electron Channeling Contrast Image”). Las condiciones de observación se han de establecer como sigue: voltaje de aceleración de 20 kV, inclinación (T) = 0°, y modo de electrones retrodispersados. Difracción de electrones retrodispersados (EBSD, abreviado del inglés “Electron Back Scatter Diffraction”) se utiliza como método para medir la orientación del cristal.

[0064]

Un espécimen de ensayo se toma desde una posición central del ancho de la chapa de acero laminada en caliente. La posición de medición ha de ser una posición a una profundidad de 1/4 del espesor en la dirección del espesor de la chapa de acero laminada en caliente desde la superficie del espécimen de ensayo, con el rango de medición establecido en $100\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$, y el intervalo de medición establecido a $0,1\ \mu\text{m}$. El rango de medición es a una sección longitudinal que incluye una dirección L (dirección longitudinal de chapa de acero laminada en caliente) y una dirección T (dirección del espesor de chapa de acero laminada en caliente).

[0065]

Los datos de medición se analizan mediante los siguientes procedimientos utilizando programas informáticos de análisis para identificar y cuantificar ferrita poligonal y ferrita bainítica.

(Procedimiento 1)

Una región rodeada por límites de grano de 15° o más se define como un único grano. Nótese que, en un caso en el que el diámetro circular equivalente de una región rodeada por límites de grano de 15° o más es de $1,0\ \mu\text{m}$ o menos, se determina que la región es ruido de medición, y la región no se reconoce como un grano. En otras palabras, las regiones que se determinan como ruido de medición se excluyen del análisis.

(Procedimiento 2)

Se calcula un valor promedio de las diferencias de orientación cristalina dentro de cada grano (desviación media de grano: denominado en lo sucesivo como "valor GAM"). Los granos en los que el valor GAM es de $0,5^\circ$ o menos se definen como ferrita poligonal. Los granos en los cuales el valor GAM es de más de $0,5^\circ$ se definen como ferrita bainítica.

[0066]

Nótese que, en la observación de microestructura descrita arriba, las fases que son diferentes de la ferrita bainítica y ferrita poligonal (esto es, perlita, bainita, y cementita) pueden distinguirse fácilmente por contraste.

[0067]

La ferrita bainítica identificada se cuantifica. La fracción de área de ferrita bainítica (%) se determina en base al área de la ferrita bainítica cuantificada y el área total del rango de medición ($100\text{ }\mu\text{m} \times 100\text{ }\mu\text{m}$). Nótese que, las regiones que se determinaron que son ruido de medición se excluyen del área total del rango de medición.

[0068]

Nótese que, resulta suficiente utilizar un programa bien conocido como un programa de análisis de EBSD para determinar los valores GAM. Por ejemplo, puede utilizarse "OIM Data Collection/Analysis 6.2.0" fabricado por TSL Solutions KK.

[0069]

[Característica 2: Densidad de dislocación]

En la chapa de acero laminada en caliente de la presente forma de realización, adicionalmente, la densidad de dislocación es de $8,0 \times 10^{13}$ a $100,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$.

[0070]

Cuanto mayor es la densidad de dislocación, mayor será la rigidez de la chapa de acero laminada en caliente. Como se menciona arriba, la cantidad de deformación de ferrita bainítica es superior a la cantidad de deformación de ferrita poligonal. Por lo tanto, la densidad de dislocación de ferrita bainítica es mayor que la densidad de dislocación de ferrita poligonal. Por lo tanto, en la microestructura de una chapa de acero laminada en caliente, si la fracción de área de ferrita bainítica es de 85% o más, la densidad de dislocación será alta y la resistencia de la chapa de acero laminada en caliente será alta. Sin embargo, incluso si una chapa de acero laminada en caliente en la cual el contenido de cada elemento en la composición química está dentro del rango de la presente forma de realización satisface la

Característica 1, Característica 3, y Característica 4, si la densidad de dislocación es demasiado baja, la rigidez no será suficientemente alta.

[0071]

Por otro lado, incluso si una chapa de acero laminada en caliente en la cual el contenido de cada elemento en la composición química está dentro del rango de la presente forma de realización satisface la Característica 1, Característica 3, y Característica 4, si la densidad de dislocación es demasiado alta, disminuirá la trabajabilidad de la chapa de acero laminada en caliente.

[0072]

Si la densidad de dislocación de una chapa de acero laminada en caliente en la cual el contenido de cada elemento en la composición química está dentro del rango de la presente forma de realización es de $8,0 \times 10^{13}$ a $100,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$, con la condición previa de que se satisfacen la Característica 1, Característica 3, y Característica 4, se obtendrá excelente trabajabilidad y excelente resistencia LME, y también se obtendrá alta resistencia y gran rigidez.

[0073]

Un límite inferior preferible de la densidad de dislocación es de $10,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$, más preferiblemente es de $15,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$, y más preferiblemente es de $20,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$.

Un límite superior preferible de la densidad de dislocación es de $90,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$, más preferiblemente es de $80,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$, y más preferiblemente es de $70,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$.

[0074]

[Método de medición de densidad de dislocación]

La densidad de dislocación de la chapa de acero laminada en caliente de la presente forma de realización puede determinarse por el siguiente método.

[0075]

Un espécimen de ensayo para medición de densidad de dislocación se toma desde una posición central del ancho de la chapa de acero laminada en caliente. Las dimensiones del espécimen de ensayo han de ser de 20 mm de ancho $\times$ 20 mm de longitud $\times$ el mismo espesor que el espesor de la chapa.

[0076]

La superficie del espécimen de ensayo se somete a pulido utilizando papel de lija #80 a #1500 desde la superficie hasta una posición a una profundidad de 1/4 del espesor, y a continuación se realiza el pulido para obtener un acabado de espejo. Adicionalmente, el

espécimen de ensayo después del pulido espejo se somete a electropulido de 50 μm o más en la dirección del espesor utilizando ácido perclórico al 10 % en vol. (solvente de ácido acético) para eliminar la deformación de la capa exterior del espécimen de ensayo. La superficie del espécimen de ensayo (superficie de observación) después del electropulido se somete a difracción de rayos X (XRD) para determinar un ancho del valor mitad ΔK de picos de los (110), (211), y (220) planos de la estructura cúbica centrada en el cuerpo (estructura bcc).

[0077]

En el XRD, la medición del ancho del valor mitad ΔK se realiza empleando rayos $\text{CoK}\alpha$ como la fuente de radiación, 30 kV como el voltaje de tubo, y 100 mA como la corriente de tubo. Adicionalmente, se utiliza LaB_6 en polvo (hexaboruro de lantano) para medir un ancho del valor mitad originado por el difractómetro de rayos X.

[0078]

La deformación heterogénea ε del espécimen de ensayo se determina en base al ancho del valor mitad ΔK determinado por el método antes mencionado y la ecuación de Williamson-Hall (Ecuación (I)).

$$\Delta K \times \cos\theta / \lambda = 0,9/D + 2\varepsilon \times \sin\theta / \lambda \quad (\text{I})$$

En donde, en la Ecuación (I), θ representa el ángulo de difracción ($^\circ$), λ representa la longitud de onda (nm) del rayo X, y D representa el tamaño del cristalito (nm).

[0079]

La densidad de dislocación ρ ($/\text{m}^2$) se determina utilizando la deformación heterogénea ε determinada y la Ecuación (II).

$$\rho = 14,4 \times \varepsilon^2 / b^2 \quad (\text{II})$$

En donde, en la Ecuación (II), b representa el vector de Burgers ($b = 0,248$ (nm)) de la estructura cúbica centrada en el cuerpo (hierro).

[0080]

[Característica 3: Diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti]

En la chapa de acero laminada en caliente de la presente forma de realización, adicionalmente, el diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti en la chapa de acero laminada en caliente es de 10 nm o menos. Aquí, el término "diámetro circular equivalente" significa el diámetro de un círculo con la misma área que el área del carburo de Ti.

[0081]

Como se mencionó arriba, los carburos de Ti incrementan la resistencia de una chapa de acero laminada en caliente por el refuerzo de las precipitaciones. En una chapa de acero laminada en caliente en la cual el contenido de cada elemento en la composición química está dentro del rango de la presente forma de realización, si el diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti es de más de 10 nm, los carburos de Ti en la chapa de acero laminada en caliente se engrosarán. Si los carburos de Ti se engrosan, no se obtendrá un fortalecimiento suficiente de las precipitaciones. Como resultado, la resistencia de la chapa de acero laminada en caliente no será lo suficientemente alta.

[0082]

En una chapa de acero laminada en caliente en la cual el contenido de cada elemento en la composición química se encuentra dentro del rango de la presente forma de realización, si el diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti es de 10 nm o menos, con la condición previa de que se satisfagan las demás Características 1, 2, y 4, se obtendrá una alta resistencia y gran rigidez mientras se mantiene excelente trabajabilidad y excelente resistencia LME.

[0083]

Un límite superior preferible del diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti es de 9 nm, y más preferiblemente es de 8 nm.

El límite inferior del diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti no se encuentra particularmente limitado. Un límite inferior preferible del diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti es de 2 nm, más preferiblemente es de 3 nm, más preferiblemente es de 4 nm, y más preferiblemente es de 5 nm.

[0084]

[Método para medición de diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti]

El diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti puede determinarse por el siguiente método. Una muestra con el mismo espesor que la chapa de acero laminada en caliente se toma desde una posición central del ancho de la chapa de acero laminada en caliente. El esmerilado y el pulido se realizan desde ambos lados de la muestra utilizando papel esmeril para preparar una muestra con un espesor de 50 μm que se centra en una posición a una profundidad de 1/4 del espesor desde la superficie. Luego se extrae una muestra en forma de disco de 3 mm de diámetro. La muestra con forma de disco se sumerge

en solución al 10% de ácido perclórico y ácido acético anhidro para realizar electropulido y preparar así una muestra de película fina que tenga un espesor de 100 nm.

[0085]

Cinco campos visuales en la superficie de observación de la muestra de película fina preparada se observan con un microscopio electrónico de transmisión (TEM). El aumento se establece en $\times 600,000$. El tamaño de cada campo visual se establece en $200 \text{ nm} \times 170 \text{ nm}$.

[0086]

En cada campo visual, los precipitados se identifican en base al contraste. Los precipitados identificados se someten a un análisis de composición por EDS. Los precipitados en los que se detectan Ti y C como resultado del análisis por EDS se identifican como carburos de Ti. Se determina el diámetro circular equivalente de cada carburo de Ti identificado. Un valor promedio aritmético de los diámetros circulares equivalentes de todos los carburos de Ti confirmados en los cinco campos visuales se define como el diámetro circular equivalente promedio de los carburos de Ti (nm).

[0087]

[Característica 4: Diámetro circular equivalente promedio de granos de ferrita bainítica]

En la microestructura de la chapa de acero laminada en caliente de la presente forma de realización, adicionalmente, el diámetro circular equivalente promedio de los granos de ferrita bainítica es de $15 \mu\text{m}$ o menos. Aquí, el término "diámetro circular equivalente" significa el diámetro de un círculo que tiene la misma área que el área del grano.

[0088]

El tamaño de los granos de ferrita bainítica influye fuertemente en la rigidez. En una chapa de acero laminada en caliente en la cual el contenido de cada elemento en la composición química está dentro del rango de la presente forma de realización, incluso si se satisfacen la Característica 1 a la Característica 3, si el diámetro circular equivalente de los granos de ferrita bainítica es de más de $15 \mu\text{m}$, aunque se obtendrán alta resistencia, excelente trabajabilidad, y excelente resistencia LME, no se obtendrá la rigidez suficiente.

[0089]

En una chapa de acero laminada en caliente en la cual el contenido de cada elemento en la composición química está dentro del rango de la presente forma de realización, si el diámetro circular equivalente promedio de los granos de ferrita bainítica es de $15 \mu\text{m}$ o menos,

con la condición previa de que se satisfacen las otras Características 1 a 3, se obtendrá gran rigidez junto con alta resistencia, excelente trabajabilidad, y excelente resistencia LME.

[0090]

Un límite superior preferible del diámetro circular equivalente promedio de los granos de ferrita bainítica es de 14 μm , más preferiblemente es de 13 μm , y más preferiblemente es de 12 μm .

El límite inferior del diámetro circular equivalente promedio de los granos de ferrita bainítica no se encuentra particularmente limitado. Un límite inferior preferible del diámetro circular equivalente promedio de los granos de ferrita bainítica es de 1 μm , más preferiblemente es de 2 μm , más preferiblemente es de 3 μm , y más preferiblemente es de 5 μm .

[0091]

[Método para medición de diámetro circular equivalente de granos de ferrita bainítica]

El diámetro circular equivalente de los granos de ferrita bainítica en la chapa de acero laminada en caliente puede determinarse por el siguiente método. El diámetro circular equivalente de cada grano de ferrita bainítica identificado por observación de microestructura se determina mediante el método descrito arriba [Método para medición de fracción de área de ferrita bainítica]. El valor promedio aritmético de los diámetros circulares equivalentes obtenidos se define como el diámetro circular equivalente promedio (μm) de los granos de ferrita bainítica. Nótese que, en un caso en donde el diámetro circular equivalente de una región rodeada por límites de grano de 15° o más es de 1,0 μm o menos, se determina que la región es ruido de medición, y la región no se reconoce como un grano. En otras palabras, si el diámetro circular equivalente de una región rodeada por límites de grano de 15° o más es de 1,0 μm o menos, la región pertinente se excluye de los objetos de la medición.

[0092]

Tal como se describió arriba, la chapa de acero laminada en caliente de la presente forma de realización tiene una composición química en la cual el contenido de cada elemento se encuentra en el rango descrito arriba, y adicionalmente, satisface de la Característica 1 a la Característica 4. Por lo tanto, la chapa de acero laminada en caliente de la presente forma de realización tiene alta resistencia y excelente trabajabilidad, y en un caso en donde se forma una capa galvanizada por inmersión en caliente en la superficie de la chapa de acero laminada en caliente, tiene excelente resistencia LME y, adicionalmente, tiene gran rigidez.

[0093]

Específicamente, en la chapa de acero laminada en caliente de la presente forma de realización, la resistencia a la tracción, que es un índice de resistencia, es 780 MPa o más. Además, el alargamiento total, que es un índice de trabajabilidad, es de 14,0% o más. Adicionalmente, la relación de cedencia, que es un índice de rigidez, es de 85% o más.

[0094]

Un límite inferior preferible de la resistencia a la tracción de la chapa de acero laminada en caliente es de 785 MPa, más preferiblemente es de 790 MPa, más preferiblemente es de 795 MPa, y más preferiblemente es de 800 MPa. Aunque no está especialmente limitado, el límite superior de la resistencia a la tracción de la chapa de acero laminada en caliente es, por ejemplo, 950 MPa.

[0095]

Un límite inferior preferible del alargamiento total de la chapa de acero laminada en caliente es de 14,5%, más preferiblemente es de 15,0%, y más preferiblemente es de 15,5%. Aunque no está especialmente limitado, el límite superior del alargamiento total de la chapa de acero laminada en caliente es, por ejemplo, 20,0%.

[0096]

Un límite inferior preferible de la relación de cedencia de la chapa de acero laminada en caliente es de 86%, más preferiblemente es de 87%, más preferiblemente es de 88%, y más preferiblemente es de 89%.

[0097]

[Método para medición de resistencia a la tracción, alargamiento total, y relación de cedencia]

La resistencia a la tracción, alargamiento total, y relación de cedencia de una chapa de acero laminada en caliente se puede determinar por ensayo de tracción de acuerdo con la JIS Z 2241: 2011.

[0098]

Específicamente, un espécimen de ensayo de tracción con forma de chapa se corresponde con una probeta de ensayo JIS N.º 5 especificada en la JIS Z 2241: 2011 se toma desde una posición central del ancho de la chapa de acero laminada en caliente. La dirección longitudinal del espécimen de ensayo ha de ser de una dirección ortogonal a la dirección de laminación de la chapa de acero laminada en caliente. De acuerdo con la JIS Z 2241: 2011, se realiza un ensayo de tracción a temperatura normal en el aire, y se determinan, un límite

elástico Y_S , una resistencia a la tracción T_S , y un alargamiento total T_{EL} . En dicho momento, el límite elástico convencional del 0.2% se define como el límite elástico Y_S (MPa). El límite elástico Y_S (MPa) y resistencia a la tracción T_S (MPa) obtenidos se utilizan para determinar la relación de cedencia Y_R mediante la siguiente ecuación.

$$\text{Relación de cedencia } Y_R = Y_S/T_S$$

[0099]

[En lo que respecta a la chapa de acero revestida por inmersión en caliente que utiliza la chapa de acero laminada en caliente de la presente implementación]

La chapa de acero revestida por inmersión en caliente de la presente forma de realización incluye la chapa de acero laminada en caliente de la presente forma de realización que se describe arriba, y una capa galvanizada por inmersión en caliente que principalmente contiene Zn. La capa galvanizada por inmersión en caliente se forma en la superficie de la chapa de acero laminada en caliente. La capa galvanizada por inmersión en caliente tiene una composición conocida. A continuación, se describe la capa galvanizada por inmersión en caliente.

[0100]

[En lo que respecta a la capa galvanizada por inmersión en caliente]

Tal como se mencionó arriba, la capa galvanizada por inmersión en caliente principalmente contiene Zn. Específicamente, la capa galvanizada por inmersión en caliente contiene Zn en una cantidad de 65,00% en masa o más. La capa galvanizada por inmersión en caliente puede ser una capa compuesta de un denominado "revestimiento galvanizado por inmersión en caliente" (GI). Un revestimiento galvanizado por inmersión en caliente contiene elementos más allá del Zn en una cantidad de 1,00% en masa o menos, con el balance siendo con Zn. Mientras el contenido de Zn de la capa galvanizada por inmersión en caliente es de 65,00% o más en masa, se obtendrá suficiente resistencia a la corrosión. Un límite inferior preferible del contenido de Zn de la capa galvanizada por inmersión en caliente es de 70,00%, y más preferiblemente es de 73,00%.

[0101]

[En lo que respecta a la composición química de la capa galvanizada por inmersión en caliente]

La capa galvanizada por inmersión en caliente puede tener una composición química además de GI. Resulta suficiente que la composición química de la capa galvanizada por inmersión en caliente se encuentre dentro de un rango bien conocido. Por ejemplo, la

composición química de la capa galvanizada por inmersión en caliente contiene los siguientes elementos.

[0102]

[Elemento esencial]

Al: 0,05 a 35,00%

El aluminio (Al) es un elemento fácilmente oxidable, e incrementa la resistencia a la corrosión de la capa galvanizada por inmersión en caliente mediante protección por sacrificio. Si el contenido de Al es de 0,05 a 35,00%, el mencionado efecto ventajoso se obtendrá suficientemente.

Un límite inferior preferible del contenido de Al es de 0,08%, más preferiblemente es de 0,10%, y más preferiblemente es de 0,15%. Un límite superior preferible del contenido de Al es de 33,00%, más preferiblemente es de 30,00%, más preferiblemente es de 28,00%, más preferiblemente es de 25,00%, más preferiblemente es de 23,00%, y más preferiblemente es de 21,00%.

[0103]

El balance de la composición química de la capa galvanizada por inmersión en caliente de acuerdo con la presente implementación es con Zn e impurezas. Aquí, el término "impurezas" se refiere a sustancias que se mezclan a partir de la materia prima cuando se realiza un tratamiento de galvanizado por inmersión en caliente, y son sustancias que no están contenidas intencionadamente.

[0104]

[En lo que respecta a los elementos opcionales]

La composición química de la capa galvanizada por inmersión en caliente de acuerdo con la presente implementación puede contener además uno o más elementos seleccionados entre los siguientes primer grupo al séptimo grupo en lugar de una parte de Zn. A continuación, se describirán del primer grupo al séptimo grupo.

[Primer grupo] Mg: 30,0% o menos

[Segundo grupo (grupo Sn)] Uno o más tipos de elementos seleccionados del grupo que consiste en Sn: 2,00% o menos, Bi: 2,00% o menos, y In: 2,00% o menos

[Tercer grupo (grupo Ca)] Uno o más tipos de elementos seleccionados del grupo que consiste en Ca: 3,00% o menos, Y: 3,00% o menos, La: 3,00% o menos, y Ce: 3,00% o menos

[Cuarto grupo] Si: 2,50% o menos

[Quinto grupo (grupo Cr)] Uno o más tipos de elementos seleccionados del grupo que consiste en Cr: 0,5% o menos, Ti: 0,5% o menos, Ni: 0,5% o menos, Co: 0,5% o menos, V: 0,5% o menos, Nb: 0,5% o menos, Cu: 0,5% o menos, y Mn: 0,5% o menos

[Sexto grupo] Fe: 5,0% o menos

[Séptimo grupo (grupo Sr)] Uno o más tipos de elementos seleccionados del grupo que consiste en Sr: 0,5% o menos, Sb: 0,5% o menos, Pb: 0,5% o menos, y B: 0,5% o menos

[0105]

[Primer grupo (Mg)]

Mg: 30,0% o menos

El magnesio (Mg) es un elemento opcional, y no tiene por qué estar contenido. Esto es, el contenido de Mg puede ser de 0%.

El Mg es un elemento fácilmente oxidable, e incrementa la resistencia a la corrosión de la capa galvanizada por inmersión en caliente mediante protección por sacrificio. Si incluso se contiene una pequeña cantidad de Mg, el mencionado efecto ventajoso se obtendrá en cierta medida.

Sin embargo, si el contenido de Mg es demasiado alto, aumentará la escoria oxidada incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente implementación. En tal caso, disminuirá la calidad del aspecto exterior de la chapa de acero revestida por inmersión en caliente.

Por lo tanto, el contenido de Mg ha de ser de 0 a 30,0%, y cuando se encuentra contenido, el contenido de Mg ha de ser de 30,0% o menos.

Un límite inferior preferible del contenido de Mg es de más de 0%, más preferiblemente es de 0,1%, más preferiblemente es de 0,5%, más preferiblemente es de 1,0%, y más preferiblemente es de 2,0%.

Un límite superior preferible del contenido de Mg es de 25,0%, más preferiblemente es de 20,0%, más preferiblemente es de 15,0%, más preferiblemente es de 10,0%, más preferiblemente es de 8,0%, y más preferiblemente es de 7,0%.

[0106]

[Segundo grupo (Sn, Bi, y In)]

Uno o más tipos de elementos seleccionados del grupo que consiste en Sn: 2,00% o menos, Bi: 2,00% o menos, y In: 2,00% o menos

[0107]

El estaño (Sn), bismuto (Bi), e indio (In) son elementos opcionales, y no necesariamente tienen que estar contenidos. Esto es, el contenido de Sn, el contenido de Bi, y el contenido de In puede ser, para cada uno, de 0%.

En un caso en donde la capa galvanizada por inmersión en caliente contiene Mg, estos elementos forman compuestos intermetálicos con el Mg. Como resultado, se incrementa la resistencia a la corrosión de la chapa de acero revestida por inmersión en caliente. Si incluso se contiene una pequeña cantidad de uno o más elemento entre Sn, Bi, y In, el mencionado efecto ventajoso se obtendrá en cierta medida.

Sin embargo, si el contenido de estos elementos es demasiado alto, la viscosidad del baño de galvanizado por inmersión en caliente se incrementará incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente implementación. En tal caso, disminuirá la calidad del aspecto exterior de la chapa de acero revestida por inmersión en caliente.

Por lo tanto, el contenido de Sn ha de ser de 0 a 2,00%, el contenido de Bi ha de ser de 0 a 2,00%, y el contenido de In ha de ser de 0 a 2,00%. Cuando se encuentra contenido, el contenido de Sn ha de ser de 2,00% o menos, el contenido de Bi ha de ser de 2,00% o menos, y el contenido de In ha de ser de 2,00% o menos.

Un límite inferior preferible del contenido de cada uno de esos elementos es de más de 0%, más preferiblemente es de 0,01%, y más preferiblemente es de 0,05%.

Un límite superior preferible del contenido de cada uno de esos elementos es de 1,90%, más preferiblemente es de 1,80%, y más preferiblemente es de 1,70%.

[0108]

[Tercer grupo (Ca, Y, La, y Ce)]

Uno o más tipos de elementos seleccionados del grupo que consiste en Ca: 3,00% o menos, Y: 3,00% o menos, La: 3,00% o menos, y Ce: 3,00% o menos

[0109]

El calcio (Ca), itrio (Y), lantano (La), y cerio (Ce) son, cada uno, elementos opcionales, y no necesariamente tienen que estar contenidos. Esto es, el contenido de cada uno de esos elementos puede ser de 0%.

Estos elementos forman compuestos intermetálicos con Al y Zn en la capa galvanizada por inmersión en caliente. Como resultado, se incrementa la resistencia a la corrosión de la chapa de acero revestida por inmersión en caliente. Si incluso una pequeña cantidad de uno o más de estos elementos está contenida, el mencionado efecto ventajoso se obtendrá en cierta medida.

Sin embargo, si el contenido de estos elementos es demasiado alto, incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente implementación, aumentará la escoria oxidada. En tal caso, disminuirá la calidad del aspecto exterior de la chapa de acero revestida por inmersión en caliente.

Por lo tanto, el contenido de Ca ha de ser de 0 a 3,00%, el contenido de Y ha de ser de 0 a 3,00%, el contenido de La ha de ser de 0 a 3,00%, y el contenido de Ce ha de ser de 0 a 3,00%. Cuando se encuentra contenido, el contenido de Ca ha de ser de 3,00% o menos, el contenido de Y ha de ser de 3,00% o menos, el contenido de La ha de ser de 3,00% o menos, y el contenido de Ce ha de ser de 3,00% o menos.

Un límite inferior preferible del contenido de cada uno de esos elementos es de más de 0%, más preferiblemente es de 0,01%, más preferiblemente es de 0,05%, y más preferiblemente es de 0,10%.

Un límite superior preferible del contenido de cada uno de esos elementos es de 2,80%, más preferiblemente es de 2,50%, y más preferiblemente es de 2,00%.

[0110]

[Cuarto grupo (Si)]

Si: 2,50% o menos

El silicio (Si) es un elemento opcional, y no tiene por qué estar contenido. Esto es, el contenido de Si puede ser de 0%.

El Si incrementa la resistencia a la corrosión de la chapa de acero revestida por inmersión en caliente. Si se contiene incluso una pequeña cantidad de Si, el mencionado efecto ventajoso se obtendrá en cierta medida.

Sin embargo, si el contenido de Si es demasiado alto, se incrementará la viscosidad del baño de galvanizado por inmersión en caliente incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente implementación. En tal caso, disminuirá la calidad del aspecto exterior de la chapa de acero revestida por inmersión en caliente.

Por lo tanto, el contenido de Si ha de ser de 0 a 2,50%, y cuando se encuentra contenido, el contenido de Si ha de ser de 2,50% o menos.

Un límite inferior preferible del contenido de Si es de más de 0%, más preferiblemente es de 0,01%, más preferiblemente es de 0,05%, y más preferiblemente es de 0,10%.

Un límite superior preferible del contenido de Si es de 2,00%, más preferiblemente es de 1,50%, más preferiblemente es de 1,00%, y más preferiblemente es de 0,50%.

[0111]

[Quinto grupo (Cr, Ti, Ni, Co, V, Nb, Cu, y Mn)]

Uno o más tipos de elementos seleccionados del grupo que consiste en Cr: 0,5% o menos, Ti: 0,5% o menos, Ni: 0,5% o menos, Co: 0,5% o menos, V: 0,5% o menos, Nb: 0,5% o menos, Cu: 0,5% o menos, y Mn: 0,5% o menos

[0112]

El cromo (Cr), titanio (Ti), níquel (Ni), cobalto (Co), vanadio (V), niobio (Nb), cobre (Cu), y manganeso (Mn) son, cada uno, un elemento opcional, y estos elementos no necesariamente tienen que estar contenidos. Esto es, el contenido de esos elementos puede ser de 0%.

Estos elementos mejoran la calidad del aspecto exterior de la chapa de acero revestida por inmersión en caliente. Estos elementos también forman compuestos intermetálicos con Al en la capa galvanizada por inmersión en caliente. Como resultado, se incrementa la resistencia a la corrosión de la chapa de acero revestida por inmersión en caliente. Si se contiene incluso una pequeña cantidad de estos elementos, se obtendrán en cierta medida los efectos ventajosos antes mencionados.

Sin embargo, si el contenido de estos elementos es demasiado alto, la viscosidad del baño de galvanizado por inmersión en caliente se incrementará incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente implementación. En tal caso, disminuirá la calidad del aspecto exterior de la chapa de acero revestida por inmersión en caliente.

Por lo tanto, el contenido de Cr ha de ser de 0 a 0,5%, el contenido de Ti ha de ser de 0 a 0,5%, el contenido de Ni ha de ser de 0 a 0,5%, el contenido de Co ha de ser de 0 a 0,5%, el contenido de V ha de ser de 0 a 0,5%, el contenido de Nb ha de ser de 0 a 0,5%, el contenido de Cu ha de ser de 0 a 0,5%, y el contenido de Mn ha de ser de 0 a 0,5%. Cuando se encuentran contenidos, el contenido de Cr ha de ser de 0,5% o menos, el contenido de Ti ha de ser de 0,5% o menos, el contenido de Ni ha de ser de 0,5% o menos, el contenido de Co ha de ser de 0,5% o menos, el contenido de V ha de ser de 0,5% o menos, el contenido de Nb ha de ser de 0,5% o menos, el contenido de Cu ha de ser de 0,5% o menos, y el contenido de Mn ha de ser de 0,5% o menos.

Un límite inferior preferible del contenido de cada uno de esos elementos es de más de 0%, y más preferiblemente es de 0,1%.

Un límite superior preferible del contenido de cada uno de esos elementos es menor de 0,5%, y más preferiblemente es de 0,4%.

[0113]

[Sexto grupo (Fe)]

Fe: 5,0% o menos

El Hierro (Fe) es un elemento opcional, y no tiene por qué estar contenido. Esto es, el contenido de Fe puede ser de 0%.

El Fe incrementa la dureza de la capa galvanizada por inmersión en caliente, e incrementa la trabajabilidad de la chapa de acero revestida por inmersión en caliente. Si se contiene incluso una pequeña cantidad de Fe, el mencionado efecto ventajoso se obtendrá en cierta medida.

Sin embargo, si el contenido de Fe es demasiado alto, la dureza de la capa galvanizada por inmersión en caliente será demasiado alta incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente implementación. En tal caso, la trabajabilidad de la chapa de acero revestida por inmersión en caliente, por el contrario, disminuirá.

Por lo tanto, el contenido de Fe ha de ser de 0 a 5,0%, y cuando se encuentra contenido, el contenido de Fe ha de ser de 5,0% o menos.

Un límite inferior preferible del contenido de Fe es de más de 0%, más preferiblemente es de 0,1%, y más preferiblemente es de 0,5%.

Un límite superior preferible del contenido de Fe es de 4,5%, más preferiblemente es de 4,0%, y más preferiblemente es de 3,5%.

[0114]

[Séptimo grupo (Sr, Sb, Pb, y B)]

Uno o más tipos de elementos seleccionados del grupo que consiste en Sr: 0,5% o menos, Sb: 0,5% o menos, Pb: 0,5% o menos, y B: 0,5% o menos

[0115]

El estroncio (Sr), antimonio (Sb), plomo (Pb) y boro (B) son, cada uno, un elemento opcional, y estos elementos no necesariamente tienen que estar contenidos. Esto es, el contenido de estos elementos puede ser de 0%.

Estos elementos incrementan el lustre metálico de la capa galvanizada por inmersión en caliente, y por ese medio mejoran la calidad del aspecto exterior de la chapa de acero revestida por inmersión en caliente. Incluso si se contiene una pequeña cantidad de estos elementos, el mencionado efecto ventajoso se obtendrá en cierta medida.

Sin embargo, si el contenido de estos elementos es demasiado alto, aumentará la escoria oxidada incluso si el contenido de otros elementos está dentro del rango de la presente

implementación. En tal caso, disminuirá la calidad del aspecto exterior de la chapa de acero revestida por inmersión en caliente.

Por lo tanto, el contenido de Sr ha de ser de 0 a 0,5%, el contenido de Sb ha de ser de 0 a 0,5%, el contenido de Pb ha de ser de 0 a 0,5%, y el contenido de B ha de ser de 0 a 0,5%. Cuando se encuentran contenidos, el contenido de Sr ha de ser de 0,5% o menos, el contenido de Sb ha de ser de 0,5% o menos, el contenido de Pb ha de ser de 0,5% o menos, y el contenido de B ha de ser de 0,5% o menos.

Un límite inferior preferible del contenido de cada uno de esos elementos es de más de 0%, y más preferiblemente es de 0,1%.

Un límite superior preferible del contenido de cada uno de esos elementos es menor de 0,5%, y más preferiblemente es de 0,4%.

[0116]

[Método para medición de composición química de la capa galvanizada por inmersión en caliente]

La composición química de la capa galvanizada por inmersión en caliente puede determinarse por el siguiente método. La capa galvanizada por inmersión en caliente se disuelve con ácido clorhídrico que contiene un inhibidor. Por ejemplo, un producto con el nombre comercial "IBIT" fabricado por Asahi Chemical Co., Ltd. puede utilizarse como inhibidor. La solución se somete a análisis elemental de la misma manera que el análisis de composición química de la chapa de acero laminada en caliente descrito arriba. La composición química de la capa galvanizada por inmersión en caliente puede determinarse por el método de arriba.

[0117]

Una chapa de acero revestida por inmersión en caliente que incluye la chapa de acero laminada en caliente y la capa galvanizada por inmersión en caliente tal como se describió arriba no solo tiene alta resistencia, gran rigidez, y excelente trabajabilidad, sino que también tiene excelente resistencia LME.

[0118]

[Método para producción de chapa de acero laminada en caliente]

Ahora se describirá un ejemplo de un método para producción de la chapa de acero laminada en caliente de acuerdo con la presente forma de realización. El método para producción de una chapa de acero laminada en caliente descrito a continuación es un ejemplo de un método para producción de la chapa de acero laminada en caliente de acuerdo con la

presente forma de realización. Concordantemente, una chapa de acero laminada en caliente compuesta como se ha descrito anteriormente también puede producirse mediante un método de producción distinto del método de producción descrito a continuación. Sin embargo, el método de producción descrito a continuación es un ejemplo preferible de un método para producción de la chapa de acero laminada en caliente de acuerdo con la presente forma de realización.

[0119]

Un ejemplo de un método para producción de la chapa de acero laminada en caliente de la presente forma de realización incluye los siguientes procesos.

(Paso 1) Proceso de preparación de material de partida

(Paso 2) Proceso de laminación en caliente

(Paso 3) Proceso de enfriamiento

(Paso 4) Proceso de bobinado

Nótese que, el método de producción descrito arriba se lleva a cabo utilizando equipamiento para líneas de producción. El equipamiento para líneas de producción incluye, en orden desde el lado aguas arriba hacia el lado aguas abajo, un horno de recalentamiento, un desbastador, un acabador, equipo de refrigeración con mesa de salida, y un bobinador descendente. Una pluralidad de rodillos de transferencia se disponen entre cada pieza del equipamiento.

[0120]

Las principales condiciones de producción en el proceso de producción de arriba son como sigue.

(Paso 2) Proceso de laminación en caliente

- Temperatura de acabado FT del laminado: 850 a 950°C

(Paso 3) Proceso de enfriamiento

- Velocidad de enfriamiento de fase inicial CR1: menos de 25°C/segundo
- Temperatura de conmutación ST desde la velocidad de enfriamiento de fase inicial

hasta la velocidad de enfriamiento de fase final: 730 a 830°C

- Velocidad de enfriamiento de fase final CR2: 25°C/segundo o más

(Paso 4) Proceso de bobinado

- Temperatura de bobinado CT: 470 a 620°C

A continuación se describe cada proceso.

[0121]

[(Paso 1) Proceso de preparación de material de partida]

En el proceso de preparación de material de partida, se prepara un material de partida en el cual el contenido de cada elemento en la composición química está dentro del rango de la presente forma de realización. Se produce el material de partida, por ejemplo, mediante el siguiente método. Se produce un acero por inmersión en caliente en el cual el contenido de cada elemento en la composición química está dentro del rango de la presente forma de realización. El acero por inmersión en caliente se utiliza para producir un material de partida (una plancha o un lingote) mediante un proceso de colada. Por ejemplo, el acero por inmersión en caliente se utiliza para producir una plancha mediante un proceso de colada continua bien conocido. Alternativamente, el acero por inmersión en caliente se utiliza para producir un lingote mediante un proceso de fabricación de lingote bien conocido.

[0122]

[(Paso 2) Proceso de laminación en caliente]

El material de partida preparado (plancha o lingote) se somete a laminación en caliente para producir una chapa de acero. El proceso de laminación en caliente incluye un proceso de laminación en bruto de sometimiento del material de partida a laminación en bruto para producir una barra en bruto (chapa de acero intermedia), y un proceso de laminación de acabado de sometimiento de la barra en bruto a laminación de acabado para producir una chapa de acero.

[0123]

En el proceso de laminación en bruto, el material de partida (plancha o lingote) se calienta en un horno de recalentamiento. El material de partida calentado se somete a laminación utilizando un desbastador para producir una barra en bruto. La temperatura de calentamiento del material de partida en el proceso de laminación en bruto es, por ejemplo, 1250 a 1300°C. El tiempo en el horno de material de partida en el horno de recalentamiento es de 30 minutos o más, y preferiblemente es de 60 minutos o más. El límite superior del tiempo en el horno no se encuentra particularmente limitado, y por ejemplo es de 240 minutos.

[0124]

En el proceso de laminación de acabado, la barra en bruto se somete a más laminación (laminación de acabado) utilizando una acabadora para producir una chapa de acero. La acabadora incluye una pluralidad de cajas de soporte dispuestas en fila. Cada caja de soporte incluye un par de rodillos de trabajo. La temperatura superficial de la chapa de acero en el

lado de salida de la caja de soporte que, entre la pluralidad de cajas de soporte del acabador, es la última caja de soporte para realizar laminación de la chapa de acero se define como la temperatura de acabado FT de la laminación (°C). En la presente forma de realización, la temperatura de acabado FT de la laminación es como sigue.

- Temperatura de acabado FT del laminado: 850 a 950°C

[0125]

[Temperatura de acabado FT del laminado: 850 a 950°C]

Si la temperatura de acabado FT de la laminación es de más de 950°C, granos de austenita en la chapa de acero se volverá excesivamente grueso durante el laminación de acabado. Consecuentemente, se engrosarán los granos de la ferrita bainítica de la chapa de acero laminada en caliente producida. Por otro lado, si la temperatura de acabado FT de la laminación es menor de 850°C, se aplicará una carga excesiva a la caja de soporte.

Si la temperatura de acabado FT de la laminación es de 850 a 950°C, con la condición previa de que se satisfagan las demás condiciones de producción, el diámetro circular equivalente promedio de ferrita bainítica en la chapa de acero laminada en caliente producida será de 15 µm o menos.

[0126]

[(Paso 3) Proceso de enfriamiento]

En el proceso de enfriamiento, la chapa de acero en la cual se completó el laminación de acabado se enfría rápidamente utilizando equipo de refrigeración con mesa de salida. Específicamente, desde el punto de vista de la productividad, el enfriamiento de la chapa de acero luego de la laminación de acabado es, por ejemplo, comenzar utilizando equipo de enfriamiento dentro de los tres segundos luego que se completó el laminación de acabado. En el equipo de enfriamiento, la chapa de acero se enfría utilizando un medio de enfriamiento. El medio de enfriamiento es, por ejemplo, agua.

[0127]

La velocidad de enfriamiento de la chapa de acero difiere entre el lado aguas arriba y el lado aguas abajo del equipo de enfriamiento. Las condiciones de producción en el proceso de enfriamiento utilizando el equipo de enfriamiento son como sigue.

- Velocidad de enfriamiento de fase inicial CR1: menos de 25°C/segundo
- Temperatura de conmutación ST desde la velocidad de enfriamiento de fase inicial hasta la velocidad de enfriamiento de fase final: 730 a 830°C
- Velocidad de enfriamiento de fase final CR2: 25°C/segundo o más

[0128]

Aquí, un periodo desde que se inicia el enfriamiento utilizando el equipo de enfriamiento hasta que la temperatura de la chapa de acero alcanza la temperatura de conmutación ST se denomina "período de enfriamiento en fase inicial", y un período hasta que la temperatura de la chapa de acero alcanza una temperatura de bobinado CT desde la temperatura de conmutación ST se denomina "período de enfriamiento de fase final".

[0129]

En el proceso de enfriamiento de la presente forma de realización, en el período de enfriamiento en fase inicial, se promueve la recrystalización de austenita en la chapa de acero, y se forman granos de austenita recrystalizados finos. Por este medio, se reducen regiones de no recrystalización de la austenita tanto como sea posible en la chapa de acero, y la microestructura de la chapa de acero pasa a ser una estructura compuesta por granos de austenita recrystalizados finos. Posteriormente, en el período de enfriamiento de fase final, la austenita fina se transforma en ferrita bainítica. A continuación, se describen las condiciones de producción mencionadas anteriormente (velocidad de enfriamiento de fase inicial CR1, temperatura de conmutación ST, y velocidad de enfriamiento de fase final CR2).

[0130]

[Velocidad de enfriamiento de fase inicial CR1: menos de 25°C/segundo]

En el proceso de enfriamiento, primero, la chapa de acero luego de finalizar la laminación de acabado se enfría con una velocidad de enfriamiento de fase inicial CR1. Esto es, en el período de enfriamiento en fase inicial, la chapa de acero se enfría a la velocidad de enfriamiento de fase inicial CR1. Si la velocidad de enfriamiento de fase inicial CR1 es de 25°C/segundo o más, permanecerán regiones de no recrystalización de la austenita en la chapa de acero en el momento en que la temperatura de la chapa de acero alcanza la temperatura de conmutación ST (°C). Regiones de no recrystalización de la austenita será susceptible de convertirse en ferrita poligonal en el período de enfriamiento de fase final. Consecuentemente, en la chapa de acero laminada en caliente producida, la fracción de área de ferrita bainítica será baja. En este caso, adicionalmente, la densidad de dislocación también será baja.

[0131]

Si la velocidad de enfriamiento de fase inicial CR1 es menor de 25°C/segundo, se puede promover la recrystalización de la austenita. Por lo tanto, se pueden reducir las regiones de no recrystalización de la austenita en la chapa de acero. Como resultado, en la

microestructura de la chapa de acero laminada en caliente, se puede incrementar la fracción de área de ferrita bainítica, y la densidad de dislocación se puede hacer que se sitúe dentro del rango adecuado.

[0132]

La velocidad de enfriamiento de fase inicial CR1 se determina mediante la siguiente ecuación utilizando la temperatura de acabado FT de la laminación (°C), la temperatura de conmutación ST (°C), una velocidad de laminación V (m/segundo) de la chapa de acero en el lado de salida de la última caja de soporte para realizar laminación de la chapa de acero, y una distancia L1 (m) entre un termómetro que mide la temperatura de acabado FT de la laminación y un termómetro que mide la temperatura de conmutación ST.

$$CR1 = (FT-ST)/(L1/V)$$

[0133]

Un límite superior preferible de la velocidad de enfriamiento de fase inicial CR1 es de 24°C/segundo, y más preferiblemente es de 23°C/segundo.

El límite inferior de la velocidad de enfriamiento de fase inicial CR1 no se encuentra particularmente limitado. Sin embargo, si la velocidad de enfriamiento de fase inicial CR1 es demasiado lenta, la eficiencia de la producción disminuirá notablemente. Por lo tanto, un límite inferior preferible de la velocidad de enfriamiento de fase inicial CR1 es de 5°C/segundo.

[0134]

[Temperatura de conmutación ST: 730 a 830°C]

En el equipo de refrigeración con mesa de salida, la temperatura de la chapa de acero en el momento en que la velocidad de enfriamiento se conmuta desde la velocidad de enfriamiento de fase inicial CR1 a la velocidad de enfriamiento de fase final CR2 se define como "temperatura de conmutación ST (°C)".

[0135]

Si la temperatura de conmutación ST es mayor de 830°C, procederá la recrystalización de la austenita y se producirá engrosamiento. Como resultado, se engrosarán los granos de ferrita bainítica en la chapa de acero laminada en caliente.

[0136]

Por otro lado, si la temperatura de conmutación ST es menor de 730°C, no se completará recrystalización de la austenita en el período de enfriamiento en fase inicial, y permanecerán regiones de no recrystalización de la austenita en el período de enfriamiento de

fase final. En tal caso, se formará ferrita poligonal en la chapa de acero laminada en caliente durante el período de enfriamiento de fase final. Como resultado, la fracción de área de ferrita bainítica en la chapa de acero laminada en caliente será baja. En este caso, adicionalmente, la densidad de dislocación será baja.

[0137]

Si la temperatura de conmutación ST es de 730 a 830°C, el período de enfriamiento en fase inicial será apropiado. Por lo tanto, se promoverá suficientemente la recrystalización de la austenita en la chapa de acero, y se puede iniciar el enfriamiento a la velocidad de enfriamiento de fase final CR2 después de que las regiones de no recrystalización de la austenita se hayan reducido lo suficiente.

[0138]

Un límite superior preferible de la temperatura de conmutación ST es de 820°C, y más preferiblemente es de 810°C.

Un límite inferior preferible de la temperatura de conmutación ST es de 740°C, y más preferiblemente es de 750°C.

[0139]

[Velocidad de enfriamiento de fase final CR2: 25°C/segundo o más]

Luego que la temperatura de la chapa de acero disminuye en el período de enfriamiento en fase inicial y alcanza la temperatura de conmutación ST, se inicia el enfriamiento a la velocidad de enfriamiento de fase final CR2 (el período de enfriamiento de fase final). Si la velocidad de enfriamiento de fase final CR2 es menor de 25°C/segundo, la velocidad de enfriamiento en el período de enfriamiento de fase final será demasiado lenta. En tal caso, se formará ferrita poligonal en la chapa de acero laminada en caliente durante el período de enfriamiento de fase final. Como resultado, la fracción de área de ferrita bainítica en la chapa de acero laminada en caliente será baja. Además, la densidad de dislocación será baja. Adicionalmente, se engrosarán los carburos de Ti.

[0140]

Si la velocidad de enfriamiento de fase final CR2 es de 25°C/segundo o más, la velocidad de enfriamiento en el período de enfriamiento de fase final será lo suficientemente rápida. Por lo tanto, con la condición previa de que se satisfagan las demás condiciones de producción, la fracción de área de ferrita bainítica en la chapa de acero laminada en caliente será de 85% o más, y el diámetro circular equivalente promedio de los granos de la ferrita bainítica será de 15 μm o menos.

[0141]

La velocidad de enfriamiento de fase final CR2 se determina mediante la siguiente ecuación utilizando la temperatura de conmutación ST (°C), la temperatura de bobinado CT (°C), una velocidad de laminación V (m/segundo) de la chapa de acero en el lado de salida de la última caja de soporte para realizar laminación de la chapa de acero, y una distancia L2 (m) entre un termómetro que mide la temperatura de conmutación ST y un termómetro que mide la temperatura de bobinado CT.

$$CR2 = (ST-CT)/(L2/V)$$

[0142]

Un límite inferior preferible de la velocidad de enfriamiento de fase final CR2 es de 30°C/segundo.

El límite superior de la velocidad de enfriamiento de fase final CR2 no se encuentra particularmente limitado. Cuando se tiene en consideración la capacidad de equipamiento, un límite superior preferible de la velocidad de enfriamiento de fase final CR2 es de 70°C/segundo.

[0143]

[(Paso 4) Proceso de bobinado]

En el proceso de bobinado, la chapa de acero que pasa a través del equipo de refrigeración con mesa de salida se enrolla en una forma de bobina mediante un bobinador descendente. En el proceso de bobinado, se forman carburos de Ti en la chapa de acero. Aquí, la temperatura superficial de la chapa de acero cuando se inicia el bobinado se define como "temperatura de bobinado CT (°C)". La temperatura de bobinado CT influye el diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti. La temperatura de bobinado CT también influye la microestructura de la chapa de acero laminada en caliente (las proporciones de ferrita bainítica, ferrita poligonal, y bainita). Por lo tanto, la temperatura de bobinado CT se ajusta para que se sitúe dentro del siguiente rango.

- Temperatura de bobinado CT: 470 a 620°C

[0144]

[Temperatura de bobinado CT: 470 a 620°C]

Si la temperatura de bobinado CT es mayor de 620°C, indica que la temperatura al final del período de enfriamiento de fase final en el proceso de enfriamiento es demasiado alto. En tal caso, el bobinado se iniciará antes de que se complete la transformación desde austenita a ferrita bainítica en la microestructura de la chapa de acero. Por lo tanto, una parte de

austenita se transformará en ferrita poligonal. Como resultado, la fracción de área de ferrita bainítica en la chapa de acero laminada en caliente será baja. Adicionalmente, la densidad de dislocación será baja. Si la temperatura de bobinado CT es mayor de 620°C, además, se engrosarán los carburos de Ti en la chapa de acero laminada en caliente.

[0145]

Por otro lado, si la temperatura de bobinado CT es menor de 470°C, indica que la temperatura al final del período de enfriamiento de fase final en el proceso de enfriamiento es demasiado baja. En tal caso, se formará bainita en la chapa de acero laminada en caliente. Por lo tanto, la fracción de área de ferrita bainítica en la chapa de acero laminada en caliente será baja.

[0146]

Si la temperatura de bobinado CT es de 470 a 620°C, con la condición previa de que se satisfagan las demás condiciones de producción, la fracción de área de ferrita bainítica en la microestructura de la chapa de acero laminada en caliente será de 85% o más. Adicionalmente, el diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti será de 10 nm o menos.

[0147]

La chapa de acero laminada en caliente de acuerdo con la presente forma de realización se produce mediante los procesos de producción descritos arriba. Tal como se menciona arriba, la chapa de acero laminada en caliente de la presente forma de realización también puede producirse mediante un método de producción distinto del método de producción descrito arriba. Siempre y cuando la chapa de acero laminada en caliente de la presente forma de realización tenga una composición química en la cual el contenido de cada elemento se encuentra dentro del rango de la presente forma de realización, y tenga la Característica 1 a la Característica 4, el método de producción no se encuentra particularmente limitado.

[0148]

[Otros procesos en método para producción de chapa de acero laminada en caliente]

El método para producción de una chapa de acero laminada en caliente de la presente forma de realización también puede incluir otros procesos además de los descritos arriba. Por ejemplo, un proceso de laminación con revenido se puede realizar en una etapa que es luego del proceso de enfriamiento y es antes del proceso de bobinado, o puede realizarse luego del proceso de bobinado. En el proceso de laminación con revenido, la chapa de acero

laminada en caliente se somete a laminación con revenido. El proceso de laminación con revenido ajusta la forma de la chapa de acero laminada en caliente, ajusta la rugosidad superficial, y ajusta el límite elástico. Un coeficiente de reducción del espesor de chapa en el proceso de laminación con revenido para obtener efectivamente los efectos ventajosos mencionados es, por ejemplo, 0,1% o más. Un límite superior preferible del coeficiente de reducción del espesor de chapa en el proceso de laminación con revenido es de 3,0%. En este caso, se suprime la introducción de excesiva deformación en la chapa de acero laminada en caliente, y se puede mantener una buena ductilidad, flexibilidad, y rebordeabilidad.

[0149]

[Método para producción de chapa de acero revestida por inmersión en caliente que incluye una chapa de acero laminada en caliente de la presente implementación]

Una chapa de acero revestida por inmersión en caliente que incluye la chapa de acero laminada en caliente de la presente forma de realización se puede producir realizando el siguiente proceso de tratamiento de inmersión en caliente bien conocido.

[0150]

[Proceso de tratamiento de inmersión en caliente]

En el proceso de tratamiento de inmersión en caliente, una capa galvanizada por inmersión en caliente con la composición química descrita arriba se forma en la superficie de la chapa de acero laminada en caliente. Específicamente, se prepara un baño de enchapado. La composición del baño de enchapado se ajusta de acuerdo con la composición de la capa galvanizada por inmersión en caliente a ser formada. Luego que la chapa de acero laminada en caliente ha sido sumergida en el baño de enchapado por un determinado período de tiempo, la chapa de acero laminada en caliente se levanta desde el baño de enchapado mediante un método bien conocido. Por ejemplo, un rodillo de inmersión se dispone en el baño de enchapado. El sentido de desplazamiento de la chapa de acero laminada en caliente que se sumerge en el baño de enchapado se cambia al sentido ascendente mediante el rodillo de inmersión.

[0151]

Un revestimiento en base a zinc por inmersión en caliente se adhiere a la superficie de la chapa de acero laminada en caliente que se levanta desde el baño de enchapado. La cantidad de revestimiento en base a zinc por inmersión en caliente adherido a la chapa de acero laminada en caliente se ajusta mediante un aparato de limpieza con gas conocido. El revestimiento en base a zinc por inmersión en caliente adherido a la chapa de acero laminada

en caliente se levanta desde el baño de enchapado se solidifica para formar una capa galvanizada por inmersión en caliente. La chapa de acero revestida por inmersión en caliente se produce mediante el proceso de arriba.

[0152]

[Otros procesos en método para producción de chapa de acero revestida por inmersión en caliente]

El método para producción de la chapa de acero revestida por inmersión en caliente de la presente forma de realización puede también incluir otros procesos de producción aparte del proceso de tratamiento de inmersión en caliente. Por ejemplo, el método para producción de la chapa de acero revestida por inmersión en caliente de la presente forma de realización puede incluir un proceso de pre-enchapado con Ni antes del proceso de tratamiento de inmersión en caliente. En el proceso de pre-enchapado con Ni, la chapa de acero laminada en caliente descrita arriba se somete a enchapado con Ni para formar una capa de enchapado de Ni en la superficie de la chapa de acero laminada en caliente. La chapa de acero laminada en caliente en la cual se ha formado la capa de enchapado de Ni se somete al proceso de tratamiento de inmersión en caliente. En este caso, se incrementa la adherencia de la capa galvanizada por inmersión en caliente a la chapa de acero laminada en caliente.

[0153]

El método para producción de la chapa de acero revestida por inmersión en caliente de la presente forma de realización puede también incluir un proceso de tratamiento químico luego del proceso de tratamiento de inmersión en caliente. En el proceso de tratamiento químico, la chapa de acero revestida por inmersión en caliente producida se somete a un tratamiento químico para formar un revestimiento químico sobre la capa galvanizada por inmersión en caliente. Cuando se realiza un proceso de tratamiento químico, el método de tratamiento químico no se encuentra particularmente limitado, y se puede utilizar un método bien conocido. Por ejemplo, un revestimiento químico con cromo bien conocido se puede formar como un revestimiento químico.

[0154]

En el método para producción de la chapa de acero revestida por inmersión en caliente de la presente forma de realización, adicionalmente, se puede realizar un proceso de laminación con revenido luego del proceso de tratamiento de inmersión en caliente. En el proceso de laminación con revenido, la chapa de acero revestida por inmersión en caliente producida se somete a laminación con revenido. En un caso en donde se realiza el proceso

de tratamiento químico mencionado anteriormente, la adherencia del revestimiento químico se puede incrementar realizando un proceso de laminación con revenido antes del proceso de tratamiento químico. Un coeficiente de reducción del espesor de chapa preferido en el proceso de laminación con revenido es de 0,1 a 3,0%.

[0155]

El método para producción de la chapa de acero revestida por inmersión en caliente puede también incluir otros procesos de producción. El método de producción descrito arriba es un ejemplo de un método de producción para la obtención de la chapa de acero revestida por inmersión en caliente de la presente forma de realización. Por lo tanto, un método para producción de la chapa de acero revestida por inmersión en caliente de la presente forma de realización no se limita al método de producción descrito arriba.

EJEMPLOS

[0156]

Ahora se describirán efectos ventajosos de un aspecto de la chapa de acero laminada en caliente y la chapa de acero revestida por inmersión en caliente de la presente forma de realización de manera más específica a modo de ejemplos. Las condiciones adoptadas en los siguientes ejemplos son un ejemplo de condiciones empleadas para confirmar la trabajabilidad y efectos ventajosos de la chapa de acero laminada en caliente y la chapa de acero revestida por inmersión en caliente de la presente forma de realización. Concordantemente, la chapa de acero laminada en caliente y la chapa de acero revestida por inmersión en caliente de la presente forma de realización no se limitan a este ejemplo de las condiciones.

[0157]

Se produjeron chapas de acero laminadas en caliente con las composiciones químicas mostradas en la Tabla 1.

[0158]

[Tabla 1]

Tabla 1

Número de Ensayo	Tipo de Acero	Composición química (unidad es masa%; balance es con Fe e impurezas)												
		C	Si	Mn	P	S	Al	N	Ti	B	Nb	V	Cr	Mo
1	A	0,071	0,36	1,10	0,020	0,003	0,035	0,0035	0,118	0,0014	-	-	-	-
2	B	0,110	0,28	0,95	0,018	0,004	0,040	0,0038	0,120	0,0020	-	-	-	-

3	C	0,050	0,33	1,06	0,015	0,003	0,033	0,0036	0,110	0,0024	-	-	-	-
4	D	0,070	0,55	1,00	0,018	0,005	0,028	0,0033	0,100	0,0018	-	-	-	-
5	E	0,080	0,02	1,29	0,018	0,003	0,035	0,0028	0,131	0,0015	-	-	-	-
6	F	0,110	0,10	0,60	0,018	0,004	0,035	0,0041	0,180	0,0013	-	-	-	-
7	G	0,060	0,35	0,70	0,016	0,003	0,022	0,0042	0,075	0,0045	-	-	-	-
8	C	0,050	0,33	1,06	0,015	0,003	0,033	0,0036	0,110	0,0024	-	-	-	-
9	C	0,050	0,33	1,06	0,015	0,003	0,033	0,0036	0,110	0,0024	-	-	-	-
10	C	0,050	0,33	1,06	0,015	0,003	0,033	0,0036	0,110	0,0024	-	-	-	-
11	C	0,050	0,33	1,06	0,015	0,003	0,033	0,0036	0,110	0,0024	-	-	-	-
12	C	0,050	0,33	1,06	0,015	0,003	0,033	0,0036	0,110	0,0024	-	-	-	-
13	C	0,050	0,33	1,06	0,015	0,003	0,033	0,0036	0,110	0,0024	-	-	-	-
14	C	0,050	0,33	1,06	0,015	0,003	0,033	0,0036	0,110	0,0024	-	-	-	-
15	C	0,050	0,33	1,06	0,015	0,003	0,033	0,0036	0,110	0,0024	-	-	-	-
16	C	0,050	0,33	1,06	0,015	0,003	0,033	0,0036	0,110	0,0024	-	-	-	-
17	C	0,050	0,33	1,06	0,015	0,003	0,033	0,0036	0,110	0,0024	-	-	-	-
18	C	0,050	0,33	1,06	0,015	0,003	0,033	0,0036	0,110	0,0024	-	-	-	-
19	R	0,055	0,25	0,70	0,018	0,004	0,040	0,0022	0,060	0,0022	0,11	-	-	-
20	S	0,061	0,21	0,78	0,022	0,004	0,038	0,0030	0,070	0,0025	-	0,09	-	-
21	H	0,060	0,35	1,00	0,013	0,004	0,033	0,0035	0,080	0,0021	-	-	0,4	-
22	I	0,055	0,20	0,80	0,011	0,003	0,028	0,0042	0,080	0,0019	-	-	-	0,3
23	A	0,071	0,36	1,10	0,020	0,003	0,035	0,0035	0,118	0,0014	-	-	-	-
24	A	0,071	0,36	1,10	0,020	0,003	0,035	0,0035	0,118	0,0014	-	-	-	-
25	A	0,071	0,36	1,10	0,020	0,003	0,035	0,0035	0,118	0,0014	-	-	-	-
26	T	0,048	0,18	1,46	0,021	0,006	0,048	0,0048	0,145	0,0015	-	-	-	-
27	U	0,070	0,35	1,15	0,018	0,009	0,044	0,0031	0,130	0,0020	-	-	-	-
28	V	0,058	0,53	1,31	0,018	0,004	0,038	0,0065	0,070	0,0033	-	-	-	-
29	W	0,055	0,41	0,98	0,015	0,005	0,067	0,0044	0,121	0,0030	-	-	-	-
30	L	0,130	0,04	1,12	0,015	0,004	0,044	0,0025	0,075	0,0025	-	-	-	-
31	M	0,035	0,10	1,40	0,018	0,003	0,033	0,0029	0,110	0,0040	-	-	-	-
32	N	0,060	0,75	0,70	0,017	0,003	0,044	0,0035	0,120	0,0030	-	-	-	-
33	O	0,110	0,35	1,60	0,016	0,003	0,044	0,0043	0,073	0,0020	-	-	-	-
34	K	0,090	0,45	1,40	0,015	0,004	0,035	0,0033	0,050	0,0035	-	-	-	-
35	P	0,060	0,35	1,10	0,018	0,003	0,035	0,0023	0,210	0,0022	-	-	-	-
36	J	0,070	0,22	1,10	0,018	0,005	0,040	0,0033	0,110	0,0008	-	-	-	-
37	X	0,091	0,35	0,72	0,013	0,003	0,044	0,0041	0,075	0,0005	-	0,16	-	-
38	Q	0,070	0,22	1,10	0,018	0,005	0,040	0,0020	0,110	0,0060	-	-	-	-
39	Y	0,072	0,26	0,95	0,022	0,004	0,045	0,0033	0,070	0,0058	0,05	-	-	-
40	A	0,071	0,36	1,10	0,020	0,003	0,035	0,0035	0,118	0,0014	-	-	-	-
41	I	0,055	0,20	0,80	0,011	0,003	0,028	0,0042	0,080	0,0019	-	-	-	0,3
42	E	0,080	0,02	1,29	0,018	0,003	0,035	0,0028	0,131	0,0015	-	-	-	-
43	I	0,055	0,20	0,80	0,011	0,003	0,028	0,0042	0,080	0,0019	-	-	-	0,3
44	A	0,071	0,36	1,10	0,020	0,003	0,035	0,0035	0,118	0,0014	-	-	-	-
45	I	0,055	0,20	0,80	0,011	0,003	0,028	0,0042	0,080	0,0019	-	-	-	0,3
46	A	0,071	0,36	1,10	0,020	0,003	0,035	0,0035	0,118	0,0014	-	-	-	-
47	I	0,055	0,20	0,80	0,011	0,003	0,028	0,0042	0,080	0,0019	-	-	-	0,3
48	A	0,071	0,36	1,10	0,020	0,003	0,035	0,0035	0,118	0,0014	-	-	-	-

49	S	0,061	0,21	0,78	0,022	0,004	0,038	0,0030	0,070	0,0025	-	0,09	-	-
50	A	0,071	0,36	1,10	0,020	0,003	0,035	0,0035	0,118	0,0014	-	-	-	-
51	S	0,061	0,21	0,78	0,022	0,004	0,038	0,0030	0,070	0,0025	-	0,09	-	-
52	A	0,071	0,36	1,10	0,020	0,003	0,035	0,0035	0,118	0,0014	-	-	-	-
53	S	0,061	0,21	0,78	0,022	0,004	0,038	0,0030	0,070	0,0025	-	0,09	-	-
54	E	0,080	0,02	1,29	0,018	0,003	0,035	0,0028	0,131	0,0015	-	-	-	-

[0159]

El símbolo "-" en la Tabla 1 significa que el contenido del elemento correspondiente fue de 0% cuando una fracción del valor numérico medido se redondeó en función de la cifra significativa definido en la presente forma de realización.

Por ejemplo, el símbolo "-" significa que el contenido de Nb en el Ensayo N.º 1 fue de 0% cuando se redondea a dos cifras decimales. Además, el símbolo "-" significa que el contenido de Cr en el Ensayo N.º 1 fue de 0% cuando se redondea a una cifra decimal.

[0160]

Específicamente, el acero por inmersión en caliente se sometió a colada continua para producir una plancha. La plancha se sometió a un proceso de trabajo en caliente (proceso de laminación en bruto y proceso de laminación de acabado). La plancha se calentó durante 60 minutos a una temperatura de 1250 a 1300°C. Luego del calentamiento, la plancha se sometió a laminación con un desbastador para producir una barra en bruto. Además, la barra en bruto se sometió a laminación con una acabadora para producir una chapa de acero. La temperatura de acabado FT de la laminación (°C) de cada Número de Ensayo fue como se muestra en la columna "FT (°C)" en la Tabla 2.

[0161]

[Tabla 2]

Tabla 2

Número de Ensayo	FT (°C)	Condiciones de Enfriamiento			CT (°C)
		CR1 (°C/seg)	ST (°C)	CR2 (°C/seg)	
1	880	20	795	27	530
2	875	21	770	35	485
3	890	19	800	35	510
4	883	22	770	33	505
5	910	22	800	36	510
6	870	21	775	30	535
7	865	16	800	28	570
8	910	23	820	28	605

9	900	23	810	32	550
10	905	21	780	30	540
11	920	22	810	27	580
12	885	18	800	35	530
13	865	22	750	30	510
14	880	21	770	35	500
15	880	20	800	40	490
16	890	18	820	45	485
17	880	23	780	30	540
18	880	23	785	29	555
19	895	23	780	28	530
20	895	21	820	40	550
21	910	22	780	31	500
22	920	24	760	30	475
23	880	20	800	37	540
24	885	21	800	37	540
25	890	23	800	37	540
26	870	23	780	30	540
27	880	22	780	28	530
28	910	23	820	32	550
29	880	20	800	37	540
30	880	22	770	28	550
31	899	24	780	30	544
32	865	19	770	27	575
33	880	23	760	30	560
34	880	21	775	28	560
35	905	23	790	35	525
36	880	18	790	30	550
37	895	22	770	33	530
38	880	21	775	28	548
39	905	22	775	29	530
40	960	24	820	35	550
41	965	24	810	34	555
42	885	30	770	27	580
43	870	29	765	27	575
44	880	7	845	40	510
45	900	8	841	30	550
46	860	23	720	26	520
47	878	24	715	26	530
48	900	20	800	23	590
49	865	23	760	21	605
50	900	15	825	26	630
51	898	16	810	26	645
52	900	23	800	46	435
53	897	23	797	45	450
54	883	21	800	45	455

[0162]

La chapa de acero luego de laminación de acabado se somete a un proceso de enfriamiento. Específicamente, para cada Número de Ensayo, el enfriamiento que utilizó equipo de refrigeración con mesa de salida comenzó dentro de dos segundos luego de la finalización de la laminación de acabado. La velocidad de enfriamiento de fase inicial CR1 (°C/seg), temperatura de conmutación ST (°C), y velocidad de enfriamiento de fase final CR2 (°C/seg) para cada Número de Ensayo en el proceso de enfriamiento fueron los indicados, respectivamente, en "CR1 (°C/seg)", "ST (°C)", y "CR2 (°C/seg)" en la Tabla 2.

[0163]

Luego de pasar por el equipo de enfriamiento, mediante un bobinador descendente se enrolló la chapa de acero en forma de bobina. La temperatura de bobinado CT (°C) para cada Número de Ensayo fue como se muestra en la Tabla 2. La chapa de acero con forma de bobina después de enrollarse se dejó enfriar a temperatura normal, para así producir la chapa de acero laminada en caliente de cada Número de Ensayo mostrado en la Tabla 1. El espesor de la chapa de acero laminada en caliente de cada Número de Ensayo fue de 2,3 mm.

[0164]

[Ensayos de Evaluación]

La chapa de acero laminada en caliente de cada Número de Ensayo se sometió a los siguientes ensayos de evaluación.

(Ensayo 1) Ensayo para medición de fracción de área de ferrita bainítica, y diámetro circular equivalente promedio de granos de ferrita bainítica

(Ensayo 2) Ensayo para medición de diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti

(Ensayo 3) Medición de densidad de dislocación ensayo

(Ensayo 4) Ensayo de evaluación de propiedades mecánicas

(Ensayo 5) Ensayo para evaluar la resistencia LME de una chapa de acero revestida por inmersión en caliente

A continuación se describirán del Ensayo 1 al Ensayo 5.

[0165]

[(Ensayo 1) Ensayo para medición de fracción de área de ferrita bainítica, y diámetro circular equivalente promedio de granos de ferrita bainítica]

La fracción de área (%) de ferrita bainítica, y el diámetro circular equivalente promedio (μm) de los granos de ferrita bainítica se determinaron para la chapa de acero

laminada en caliente de cada Número de Ensayo mediante los métodos descritos en el [Método para medición de fracción de área de ferrita bainítica] y [Método para medición de diámetro circular equivalente de granos de ferrita bainítica] de arriba. La fracción de área de ferrita bainítica obtenida se muestra en la columna "BF Fracción de área (%)" en la Tabla 3. Además, el diámetro circular equivalente promedio de los granos de ferrita bainítica obtenido se muestra en la columna "BF Diámetro de Grano (μm)" en la Tabla 3.

[0166]

[Tabla 3]

Tabla 3

Número de Ensayo	Chapa de acero laminada en caliente								Observaciones
	Microestructura				Propiedades Mecánicas				
	Fracción de área BF (%)	Diámetro de Grano BF (μm)	Diámetro de Grano TiC (nm)	Densidad de dislocación (×10 ¹³ /m ²)	YS (MPa)	TS (MPa)	YR (%)	T.EL (%)	
1	95	8	7	15,0	722	820	88	17,3	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
2	97	9	6	89,0	790	870	91	16,5	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
3	94	10	8	18,0	710	799	89	16,3	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
4	94	11	7	38,0	698	805	87	18,8	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
5	93	11	7	40,0	742	812	91	15,9	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
6	89	9	6	32,0	815	865	94	14,8	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
7	87	8	8	9,8	710	800	89	16,5	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
8	88	13	9	12,0	750	830	90	18,0	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
9	92	10	7	21,0	775	825	94	16,0	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
10	91	10	7	23,0	765	800	96	16,3	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
11	88	11	8	15,0	710	810	88	17,3	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
12	93	9	8	25,0	750	823	91	16,3	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
13	94	9	5	40,0	733	813	90	16,3	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
14	94	10	5	55,0	710	808	88	16,3	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
15	96	8	5	75,0	800	833	96	15,2	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
16	94	8	5	90,0	801	840	95	15,8	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
17	88	10	7	18,0	710	799	89	16,3	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
18	89	10	7	25,0	710	799	89	16,3	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
19	93	7	8	75,0	800	860	93	16,0	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
20	91	8	8	50,0	798	855	93	16,0	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención

21	93	12	8	11,0	735	810	91	16,5	Ejemplo Inventivo de la Presente Invencción
22	94	13	8	99,0	722	812	89	16,1	Ejemplo Inventivo de la Presente Invencción
23	93	8	7	16,0	722	820	88	17,3	Ejemplo Inventivo de la Presente Invencción
24	93	8	7	16,3	730	823	89	17,3	Ejemplo Inventivo de la Presente Invencción
25	94	8	7	16,4	745	819	91	16,5	Ejemplo Inventivo de la Presente Invencción
26	88	10	7	20,0	750	830	90	15,0	Ejemplo Inventivo de la Presente Invencción
27	91	7	8	50,0	799	842	95	15,6	Ejemplo Inventivo de la Presente Invencción
28	88	13	6	44,0	750	823	91	16,2	Ejemplo Inventivo de la Presente Invencción
29	87	8	8	11,0	710	800	89	17,0	Ejemplo Inventivo de la Presente Invencción
30	80	17	7	3,2	660	790	84	17,2	Ejemplo Comparativo
31	97	10	8	230,0	745	777	96	12,8	Ejemplo Comparativo
32	30	18	7	0,3	650	820	79	18,8	Ejemplo Comparativo
33	78	11	9	140,0	820	850	96	13,5	Ejemplo Comparativo
34	50	16	7	5,2	680	820	83	17,1	Ejemplo Comparativo
35	93	9	9	200,0	820	870	94	13,1	Ejemplo Comparativo
36	84	8	15	1,8	600	730	82	18,0	Ejemplo Comparativo
37	81	8	14	1,5	630	766	82	17,9	Ejemplo Comparativo
38	82	10	7	360,0	850	890	96	13,0	Ejemplo Comparativo
39	81	10	7	390,1	844	885	95	13,0	Ejemplo Comparativo
40	86	19	8	12,0	700	830	84	16,2	Ejemplo Comparativo
41	86	18	9	11,0	660	795	83	16,9	Ejemplo Comparativo
42	75	13	9	4,0	650	785	83	19,0	Ejemplo Comparativo
43	80	13	9	5,3	660	791	83	17,1	Ejemplo Comparativo
44	87	20	8	25,0	680	829	82	17,0	Ejemplo Comparativo
45	87	19	9	24,3	665	799	83	16,8	Ejemplo Comparativo
46	75	13	8	5,0	630	810	78	16,1	Ejemplo Comparativo
47	77	14	8	5,8	610	785	78	16,2	Ejemplo Comparativo
48	75	13	13	5,0	630	760	83	19,0	Ejemplo Comparativo
49	74	12	12	6,1	625	775	81	19,5	Ejemplo Comparativo
50	78	12	12	6,5	635	775	82	17,0	Ejemplo Comparativo
51	77	11	13	5,3	640	769	83	17,5	Ejemplo Comparativo
52	55	10	8	320,5	830	860	97	12,1	Ejemplo Comparativo
53	61	11	8	280,0	832	871	96	12,9	Ejemplo Comparativo

54	58	9	7	430,3	830	880	94	12,0	Ejemplo Comparativo
----	----	---	---	-------	-----	-----	----	------	---------------------

[0167]

[(Ensayo 2) Ensayo para medición de diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti]

El diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti de la chapa de acero laminada en caliente de cada Número de Ensayo se determinó mediante el método descrito arriba [Método para medición de diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti]. El diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti obtenido se muestra en la columna "Diámetro de Grano TiC (nm)" en la Tabla 3.

[0168]

[(Ensayo 3) Medición de densidad de dislocación ensayo]

La densidad de dislocación de la chapa de acero laminada en caliente de cada Número de Ensayo se determinó mediante el método descrito en el [Método de medición de densidad de dislocación] de arriba. La densidad de dislocación obtenida se muestra en la columna "Densidad de dislocación ($\times 10^{13}/\text{m}^2$)" en la Tabla 3.

[0169]

[(Ensayo 4) Ensayo de evaluación de propiedades mecánicas]

La resistencia a la tracción TS, relación de cedencia YR, y alargamiento total T.EL de la chapa de acero laminada en caliente de cada Número de Ensayo se determinó mediante un ensayo de tracción de acuerdo con la JIS Z 2241: 2011.

[0170]

Específicamente, se tomó un espécimen de ensayo de tracción con forma de chapa correspondiente a una probeta de ensayo JIS N.º 5 especificada en la JIS Z 2241: 2011 desde una posición central del ancho de la chapa de acero laminada en caliente de cada Número de Ensayo. La dirección longitudinal del espécimen de ensayo se hizo una dirección ortogonal a la dirección de laminación de la chapa de acero laminada en caliente. De acuerdo con la JIS Z 2241: 2011, se realizó un ensayo de tracción a temperatura normal en el aire, y se determinaron el límite elástico YS, la resistencia a la tracción TS, y el alargamiento total T.EL. El límite elástico convencional del 0.2% se definió como el límite elástico YS (MPa). La relación de cedencia YR se determinó mediante la siguiente ecuación utilizando el límite elástico YS (MPa) y resistencia a la tracción TS (MPa) obtenidos.

$$\text{Relación de cedencia YR} = \text{YS/TS}$$

El límite elástico YS (MPa) obtenido, resistencia a la tracción TS (MPa), relación de cedencia YR(%), y alargamiento total T.EL (%) se muestran en las columnas "YS(MPa)", "TS(MPa)", "YR(%)", y "T.EL (%)" en la Tabla 3.

[0171]

[(Ensayo 5) Ensayo para evaluar la resistencia LME de una chapa de acero revestida por inmersión en caliente]

[Producción de una chapa de acero revestida por inmersión en caliente]

Con el objetivo de evaluar la resistencia LME de las chapas de acero revestidas por inmersión en caliente, primero, chapas de acero revestidas por inmersión en caliente se produjeron utilizando la chapa de acero laminada en caliente de cada Número de Ensayo. Específicamente, la chapa de acero laminada en caliente de cada Número de Ensayo se sometió a un tratamiento por inmersión en caliente bien conocido para formar una capa galvanizada por inmersión en caliente con una composición química mostrada en la Tabla 4 sobre la superficie de cada chapa de acero laminada en caliente. El número de enchapado de la capa galvanizada por inmersión en caliente formada sobre la chapa de acero laminada en caliente de cada Número de Ensayo se muestra en la columna "Número de enchapado" de la columna "Chapa de acero enchapada" en la Tabla 5. Los números de enchapado mostrados en la columna "Número de enchapado" de la columna "Chapa de acero enchapada" en la Tabla 5 se corresponden con los números de enchapado en la Tabla 4. Las chapas de acero revestidas por inmersión en caliente se produjeron mediante el proceso de producción de arriba.

[0172]

[Tabla 4]

Tabla 4

Número de enchapado	Composición de Enchapado (unidad es masa%; balance es con Fe e impurezas)								
	Zn	Al	Mg	Grupo Sn (Sn, Bi, In)	Grupo Ca (Ca, Y, La, Ce)	Si	Grupo Cr (Cr, Ti, Ni, Co, V, Nb, Cu, Mn)	Fe	Grupo Sr (Sr, Sb, Pb, B)
P1	73,70	19,50	6,8	-	-	-	-	-	-
P2	74,39	19,50	6,0	Sn:0,30	-	-	-	-	-
P3	74,91	19,20	5,8	Bi:0,21	-	-	-	-	-
P4	78,92	16,70	4,3	In:0,23	-	-	-	-	-
P5	74,58	18,90	6,4	-	Ca:0,31	-	-	-	-
P6	76,78	17,70	5,4	-	Y:0,12	-	-	-	-
P7	74,95	20,50	4,5	-	La:0,05	-	-	-	-

P8	77,93	17,20	4,8	-	Ce:0,07	-	-	-	-
P9	75,55	18,50	5,7	-	-	0,25	-	-	-
P10	73,70	19,80	6,4	-	-	-	Ni:0,1	-	-
P11	76,20	18,10	5,2	-	-	-	-	0,5	-
P12	75,00	18,80	6,1	-	-	-	-	-	Sr:0,1
P13	84,27	12,00	3,5	-	-	0,23	-	-	-
P14	90,75	6,50	2,7	-	-	0,05	-	-	-
P15	99,89	0,11	-	-	-	-	-	-	-
P16	65,05	24,90	10,0	-	-	0,05	-	-	-
P17	83,00	12,00	5,0	-	-	-	-	-	-
P18	82,95	12,00	5,0	-	-	0,05	-	-	-

[0173]

[Tabla 5]

Tabla 5

Número de Ensayo	Chapa de acero enchapada	Evaluación de Resistencia LME	Observaciones
	Número de enchapado		
1	P1	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
2	P1	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
3	P1	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
4	P1	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
5	P1	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
6	P1	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
7	P1	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
8	P2	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
9	P3	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
10	P4	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
11	P5	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
12	P6	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
13	P7	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
14	P8	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
15	P9	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
16	P10	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
17	P11	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
18	P12	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
19	P1	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
20	P1	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
21	P1	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
22	P1	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
23	P13	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
24	P14	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
25	P15	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
26	P16	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención

27	P17	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
28	P18	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
29	P3	E	Ejemplo Inventivo de la Presente Invención
30	P1	E	Ejemplo Comparativo
31	P1	E	Ejemplo Comparativo
32	P1	E	Ejemplo Comparativo
33	P1	E	Ejemplo Comparativo
34	P1	E	Ejemplo Comparativo
35	P1	E	Ejemplo Comparativo
36	P1	M	Ejemplo Comparativo
37	P1	M	Ejemplo Comparativo
38	P1	M	Ejemplo Comparativo
39	P1	M	Ejemplo Comparativo
40	P1	E	Ejemplo Comparativo
41	P1	E	Ejemplo Comparativo
42	P1	E	Ejemplo Comparativo
43	P1	E	Ejemplo Comparativo
44	P1	E	Ejemplo Comparativo
45	P1	E	Ejemplo Comparativo
46	P1	E	Ejemplo Comparativo
47	P1	E	Ejemplo Comparativo
48	P1	E	Ejemplo Comparativo
49	P2	E	Ejemplo Comparativo
50	P1	E	Ejemplo Comparativo
51	P2	E	Ejemplo Comparativo
52	P1	E	Ejemplo Comparativo
53	P2	E	Ejemplo Comparativo
54	P1	E	Ejemplo Comparativo

[0174]

Nótese que, el símbolo de un elemento escrito a la izquierda de un valor numérico en la Tabla 4 significa el elemento contenido. Por ejemplo, para el número de enchapado P2, significa que, como un elemento del grupo Sn, el Sn está contenido en una cantidad de 0,30% en masa.

[0175]

La resistencia LME de la chapa de acero revestida por inmersión en caliente producida de cada Número de Ensayo se evaluó con el siguiente método.

Se tomó una chapa de acero de muestra con dimensiones de 100 mm × 75 mm × el mismo espesor que el espesor de la chapa a partir de la chapa de acero revestida por inmersión en caliente de cada Número de Ensayo. Se realizó soldadura por arco tal como se ilustra en la FIG. 1 utilizando la chapa de acero de muestra. Específicamente, se preparó un miembro protuberante cilíndrico 1 con un diámetro de 20 mm y una longitud de 25 mm. El miembro

protuberante 1 se realizó de un material de acero equivalente a SS400 definido en la JIS G3101: 2015.

[0176]

Tal como se ilustra en la FIG. 1, el miembro protuberante 1 se dispuso en la posición central de la chapa de acero de muestra 2 de manera tal que la dirección axial del miembro protuberante 1 fue normal a la dirección de la superficie de la chapa de acero de muestra 2. El miembro protuberante 1 dispuesto se soldó a la chapa de acero de muestra 2 mediante soldadura por arco. El alambre de soldadura se utilizó alambre YGW-12 definido en la JIS Z 3312: 2009. En la soldadura por arco, un cordón de soldadura 3 se ejecutó alrededor de toda la circunferencia del miembro protuberante 1 una vez en el sentido horario desde el punto de partida de la soldadura en vista en planta, y después de pasar el punto de partida de la soldadura, la soldadura por arco se prosiguió con la soldadura hasta que se formó una región de solapamiento 4 del cordón de soldadura. El ancho de la región de solapamiento 4 fue de aproximadamente 15 mm.

[0177]

El valor de corriente durante la soldadura por arco se estableció en 190 A, y el valor de voltaje se estableció en 23 V. La velocidad de soldadura se estableció en 0,3 m/minuto. Una mezcla gaseosa compuesta de 20% en volumen de gas CO₂ y 80% en volumen de gas argón se utilizó como un gas protector durante la soldadura por arco. El caudal de gas protector durante la soldadura por arco se estableció en 20 L/minuto.

[0178]

Antes de realizar la soldadura por arco ilustrada en la FIG. 1, la chapa de acero de muestra 2 se unió por adelantado a una placa de restricción 5 tal como se ilustra en la FIG. 2. una chapa de acero equivalente a SS400 definido en la JIS G3101: 2015 con unas dimensiones de 120 mm × 95 mm × 4 mm de espesor se utilizó como la placa de restricción 5. La chapa de acero de muestra 2 se ubicó en la superficie de la placa de restricción 5. Toda la circunferencia de la chapa de acero de muestra 2 posicionada se soldó a la placa de restricción 5. El alambre de soldadura y condiciones de soldadura fueron los mismos que aquellos utilizados al soldar el miembro protuberante 1 a la chapa de acero de muestra 2.

[0179]

Antes de realizar la soldadura del miembro protuberante 1 ilustrado en la FIG. 1, tal como se utiliza en la FIG. 2, se posicionó la chapa de acero de muestra 2 soldada periféricamente a la placa de restricción 5 sobre una base 6, y la chapa de acero de muestra 2

y la placa de restricción 5 se fijaron a la base 6 mediante una pinza no mostrada. Luego que la chapa de acero de muestra 2 se ha fijado a la base 6 mediante la pinza, el miembro protuberante 1 se soldó a la chapa de acero de muestra 2 mediante soldadura por arco como se ilustra en la FIG. 1.

[0180]

Luego que el miembro protuberante 1 se soldó por arco a la chapa de acero de muestra 2, tal como se ilustra en la FIG. 1, el miembro protuberante 1, la chapa de acero de muestra 2, y la placa de restricción 5 se cortaron a lo largo de un plano de corte 7 que pasó por el eje central del miembro protuberante 1 y pasó a través de la región de solapamiento 4 del cordón de soldadura 3. El plano de corte 7 se observó a continuación con un aumento de $\times 100$ utilizando un microscopio óptico. En la observación, se confirmó la presencia o no de fisuras (fragilización por metal líquido) en la chapa de acero de muestra mediante observación visual. Si se observaron fisuras, se midieron las longitudes de fisura. Se identificó la mayor longitud de fisura entre las longitudes de fisura medidas. Si la mayor longitud de fisura fue de 1,0 mm o menos, se determinó que la chapa de acero de muestra resultó excelente por cuanto a resistencia LME (indicado por "E" (Excelente) en la columna "Evaluación de Resistencia LME" en la Tabla 5). Por otro lado, si la mayor longitud de fisura fue de más de 1,0 mm, se determinó que la resistencia LME fue baja (indicado por "M" (Malo) en la columna "Evaluación de Resistencia LME" en la Tabla 5).

[0181]

[Resultados de evaluación]

En referencia a, de la Tabla 1 a la Tabla 5, el contenido de cada elemento en la composición química de cada una de las chapas de acero laminadas en caliente de los Ensayos N.º 1 a 29 fue adecuado. Además, en las chapas de acero laminadas en caliente de los Ensayos N.º 1 a 29, la fracción de área de ferrita bainítica fue de 85% o más, y el diámetro circular equivalente promedio de los granos de ferrita bainítica fue de 15 μm o menos. Adicionalmente, en las chapas de acero laminadas en caliente de los Ensayos N.º 1 a 29, el diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti fue de 10 nm o menos, y la densidad de dislocación fue de 8,0 a $100,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$. Por lo tanto, en cada una de las chapas de acero laminadas en caliente de los Ensayos N.º 1 a 29, la resistencia a la tracción TS fue de 780 MPa o más. Además, la relación de cedencia YR fue de 85% o más, y así se exhibió una excelente rigidez. Adicionalmente, el alargamiento total T.EL fue de 14,0% o más, y así se exhibió una excelente trabajabilidad (ductilidad).

[0182]

Por otro lado, en el Ensayo N.º 30, el contenido de C fue demasiado alto. Por lo tanto, la ferrita poligonal formada en la microestructura de la chapa de acero laminada en caliente, y la fracción de área de ferrita bainítica fue menor de 85%. Además, el diámetro circular equivalente promedio de la ferrita bainítica fue mayor de 15 μm . Adicionalmente, la densidad de dislocación de la chapa de acero laminada en caliente fue menor de $8,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$. Por lo tanto, la relación de cedencia YR fue menor de 85%, y no se obtuvo suficiente rigidez.

[0183]

En el Ensayo N.º 31, el contenido de C fue demasiado bajo. Consecuentemente, la densidad de dislocación de la chapa de acero laminada en caliente fue mayor de $100,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$. Por lo tanto, el alargamiento total T.EL fue menor de 14,0%, y no se obtuvo suficiente trabajabilidad. Adicionalmente, la resistencia a la tracción TS de la chapa de acero laminada en caliente fue menor de 780 MPa, y no se obtuvo suficiente resistencia.

[0184]

En el Ensayo N.º 32, el contenido de Si fue demasiado alto. Por lo tanto, la ferrita poligonal formada en la microestructura de la chapa de acero laminada en caliente, y la fracción de área de ferrita bainítica fue menor de 85%. Además, el diámetro circular equivalente promedio de la ferrita bainítica fue mayor de 15 μm . Adicionalmente, la densidad de dislocación de la chapa de acero laminada en caliente fue menor de $8,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$. Por lo tanto, la relación de cedencia YR fue menor de 85%, y no se obtuvo suficiente rigidez.

[0185]

En el Ensayo N.º 33 el contenido de Mn fue demasiado alto. Por lo tanto, la bainita formada en la microestructura de la chapa de acero laminada en caliente, y la fracción de área de ferrita bainítica fue menor de 85%. Adicionalmente, la densidad de dislocación de la chapa de acero laminada en caliente fue de más de $100,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$. Por lo tanto, el alargamiento total T.EL fue menor de 14,0%, y no se obtuvo suficiente trabajabilidad.

[0186]

En el Ensayo N.º 34, el contenido de Ti fue demasiado bajo. Por lo tanto, la ferrita poligonal formada en la microestructura de la chapa de acero laminada en caliente, y la fracción de área de ferrita bainítica fue menor de 85%. Además, el diámetro circular equivalente promedio de la ferrita bainítica fue mayor de 15 μm . Adicionalmente, la densidad de dislocación de la chapa de acero laminada en caliente fue menor de $8,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$. Por lo tanto, YR fue menor de 85%, y no se obtuvo suficiente rigidez.

[0187]

En el Ensayo N.º 35, el contenido de Ti fue demasiado alto. Por lo tanto, la densidad de dislocación de la chapa de acero laminada en caliente fue mayor de $100,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$. Consecuentemente, el alargamiento total T.EL fue menor de 14,0%, y no se obtuvo suficiente trabajabilidad.

[0188]

En cada uno de los Ensayos N.º 36 y 37, el contenido de B fue demasiado bajo. Por lo tanto, en la microestructura de la chapa de acero laminada en caliente, la fracción de área de ferrita bainítica fue menor de 85%. Además, el diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti en la chapa de acero laminada en caliente fue mayor de 10 nm. Adicionalmente, la densidad de dislocación fue menor de $8,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$. Por lo tanto, la resistencia a la tracción TS fue menor de 780 MPa, y no se obtuvo suficiente resistencia. Además, la relación de cedencia YR fue menor de 85%, y no se obtuvo suficiente rigidez. Adicionalmente, no se obtuvo suficiente resistencia LME.

[0189]

En cada uno de los Ensayos N.º 38 y 39, el contenido de B fue demasiado alto. Por lo tanto, la densidad de dislocación de la chapa de acero laminada en caliente fue mayor de $100,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$. Consecuentemente, el alargamiento total T.EL fue menor de 14,0%, y no se obtuvo suficiente trabajabilidad. Adicionalmente, no se obtuvo suficiente resistencia LME.

[0190]

En cada uno de los Ensayos N.º 40 y 41, el contenido de cada elemento en la composición química de la chapa de acero laminada en caliente resultó adecuado. Sin embargo, la temperatura de acabado FT de la laminación en el proceso de producción fue demasiado alta. Por lo tanto, el diámetro circular equivalente promedio de los granos de ferrita bainítica en la chapa de acero laminada en caliente fue mayor de 15 μm . Como resultado, la relación de cedencia YR fue menor de 85%, y no se obtuvo suficiente rigidez.

[0191]

En cada uno de los Ensayos N.º 42 y 43, el contenido de cada elemento en la composición química de la chapa de acero laminada en caliente resultó adecuado. Sin embargo, la velocidad de enfriamiento de fase inicial CR1 en el proceso de enfriamiento del proceso de producción fue demasiado rápida. Por lo tanto, la ferrita poligonal formada en la microestructura de la chapa de acero laminada en caliente, y la fracción de área de ferrita bainítica fue menor de 85%. Adicionalmente, la densidad de dislocación de la chapa de

acero laminada en caliente fue menor de $8,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$. Como resultado, la relación de cedencia YR fue menor de 85%, y no se obtuvo suficiente rigidez.

[0192]

En cada uno de los Ensayos N.º 44 y 45, el contenido de cada elemento en la composición química de la chapa de acero laminada en caliente resultó adecuado. Sin embargo, la temperatura de conmutación ST en el proceso de enfriamiento del proceso de producción fue demasiado alta. Por lo tanto, los granos de austenita se engrosan, y el diámetro circular equivalente promedio de la ferrita bainítica en la chapa de acero laminada en caliente fue mayor de 15 μm . Como resultado, la relación de cedencia YR fue menor de 85%, y no se obtuvo suficiente rigidez.

[0193]

En cada uno de los Ensayos N.º 46 y 47, el contenido de cada elemento en la composición química de la chapa de acero laminada en caliente resultó adecuado. Sin embargo, la temperatura de conmutación ST en el proceso de enfriamiento del proceso de producción fue demasiado baja. Por lo tanto, la ferrita poligonal formada en la microestructura de la chapa de acero laminada en caliente, y la fracción de área de ferrita bainítica fue menor de 85%. Adicionalmente, la densidad de dislocación de la chapa de acero laminada en caliente fue menor de $8,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$. Como resultado, la relación de cedencia YR fue menor de 85%, y no se obtuvo suficiente rigidez.

[0194]

En cada uno de los Ensayos N.º 48 y 49, el contenido de cada elemento en la composición química de la chapa de acero laminada en caliente resultó adecuado. Sin embargo, la velocidad de enfriamiento de fase final CR2 en el proceso de enfriamiento del proceso de producción fue demasiado lenta. Por lo tanto, la ferrita poligonal formada en la microestructura de la chapa de acero laminada en caliente, y la fracción de área de ferrita bainítica fue menor de 85%. Además, la densidad de dislocación de la chapa de acero laminada en caliente fue menor de $8,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$. Adicionalmente, el diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti fue mayor de 10 nm. Por lo tanto, la resistencia a la tracción TS fue menor de 780 MPa, y no se obtuvo suficiente resistencia. Adicionalmente, la relación de cedencia YR fue menor de 85%, y no se obtuvo suficiente rigidez.

[0195]

En cada uno de los Ensayos N.º 50 y 51, el contenido de cada elemento en la composición química de la chapa de acero laminada en caliente resultó adecuado. Sin

embargo, la temperatura de bobinado CT en el proceso de bobinado fue demasiado alta. Por lo tanto, la ferrita poligonal formada en la microestructura de la chapa de acero laminada en caliente, y la fracción de área de ferrita bainítica fue menor de 85%. Además, el diámetro circular equivalente promedio de carburos de Ti fue mayor de 10 nm. Adicionalmente, la densidad de dislocación de la chapa de acero laminada en caliente fue menor de $8,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$. Por lo tanto, la resistencia a la tracción TS fue menor de 780 MPa, y no se obtuvo suficiente resistencia. Adicionalmente, la relación de cedencia YR fue menor de 85%, y no se obtuvo suficiente rigidez.

[0196]

En cada uno de los Ensayos N.º 52 a 54, el contenido de cada elemento en la composición química de la chapa de acero laminada en caliente resultó adecuado. Sin embargo, la temperatura de bobinado CT en el proceso de bobinado fue demasiado baja. Consecuentemente, se formó bainita en la microestructura de la chapa de acero laminada en caliente. Por lo tanto, la fracción de área de ferrita bainítica fue menor de 85%, y la densidad de dislocación de la chapa de acero laminada en caliente fue mayor de $100,0 \times 10^{13}/\text{m}^2$. Por lo tanto, el alargamiento total T.EL fue menor de 14,0%, y no se obtuvo suficiente trabajabilidad.

[0197]

Una forma de realización de la presente divulgación se ha descrito arriba. Sin embargo, la forma de realización descrita anteriormente es sólo un ejemplo para llevar a cabo la presente divulgación. Por lo tanto, la presente divulgación no se limita a la realización descrita anteriormente, y puede ser implementada modificando adecuadamente la forma de realización anterior dentro de un rango que no se aparta de la esencia de la presente divulgación.