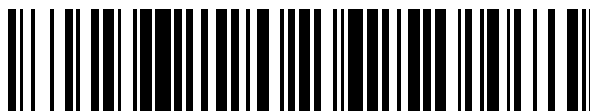


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 756 584**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00	(2006.01) C22C 38/26	(2006.01)
B21B 1/26	(2006.01) C22C 38/28	(2006.01)
C21D 9/46	(2006.01) C22C 38/38	(2006.01)
C22C 38/60	(2006.01)	
C21D 8/04	(2006.01)	
C21D 8/02	(2006.01)	
C22C 38/02	(2006.01)	
C22C 38/06	(2006.01)	
C22C 38/22	(2006.01)	
C22C 38/24	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.05.2010** **PCT/JP2010/059013**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.12.2011** **WO11148490**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.05.2010** **E 10852160 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.10.2019** **EP 2578711**

54 Título: **Chapa de acero y un método para su fabricación**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.04.2020

73 Titular/es:
FOR ALL DESIGNATED STATES (100.0%)
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku
Tokyo 100-8071, JP

72 Inventor/es:
TANAKA YASUAKI;
TOMIDA TOSHIRO y
KAWANO KAORI

74 Agente/Representante:
ISERN JARA, Jorge

ES 2 756 584 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Chapa de acero y un método para su fabricación

5 Campo técnico

Esta invención se refiere a una chapa de acero que tiene una resistencia a la tracción de al menos 750 MPa, así como excelentes propiedades de deformación dinámica y deformación a presión y a un método para su fabricación.

10 Técnica antecedente

Con el fin de promover una disminución en el peso de los automóviles y aumentar la seguridad en colisiones de automóviles, las chapas de acero de alta resistencia a la tracción se usan ampliamente como material para los miembros que soportan una carga en el momento del impacto (denominados a continuación como miembros resistentes a impactos) que se encuentran entre los componentes de las carrocerías de automóviles. En general, la resistencia de una chapa de acero está influenciada por la velocidad de deformación. A medida que aumenta la tasa de deformación de una chapa de acero en el momento de la deformación, aumenta el esfuerzo de deformación de la chapa de acero. Una chapa de acero que tiene una resistencia a la tracción significativamente alta en el momento de una alta tasa de deformación es adecuada como material para miembros resistentes a impactos.

20 El documento de patente 1 desvela una chapa de acero laminada en frío con resistencia al impacto mejorada que tiene una estructura de ferrita de doble fase y el 10 - 50 % en volumen de martensita. Esta chapa de acero laminada en frío se mejora en las propiedades de deformación dinámica (la diferencia entre la resistencia a la tracción a una alta tasa de deformación por tracción y la resistencia a la tracción a una baja tasa de deformación por tracción) reduciendo el contenido de elementos de solución sólida disueltos en la ferrita. Como resultado, tiene un límite elástico aumentado cuando se somete a una deformación por tracción de alta velocidad de deformación. Aunque no se especifica en el documento de patente 1, se cree que la resistencia a la tracción de una chapa de acero que tiene la composición química y las propiedades desveladas en el documento de patente 1 es de aproximadamente 590 MPa.

30 El documento de patente 2 desvela un método para fabricar una chapa de acero de alta resistencia que tiene una estructura ultrafina y excelentes propiedades de deformación dinámica y que tiene granos de ferrita refinados hasta el punto de que tienen un tamaño del orden de nanómetros llevando a cabo repetidamente la laminación sobre una pluralidad de chapas de acero que están apiladas. Sin embargo, debido a que este método requiere realizar la laminación una pluralidad de veces en una pluralidad de chapas de acero apiladas, su productividad es extremadamente deficiente.

40 El documento de patente 3 desvela un método para fabricar una chapa recocida laminada en frío que tiene una estructura ferrítica ultrafina llevando a cabo la laminación en frío con una reducción general por laminación de al menos el 20 % y menos del 80 % en una chapa de acero laminada en caliente que contiene al menos el 90 % de una fase martensítica seguida de recocido a baja temperatura a 500 - 600 °C. Sin embargo, debido a que este método usa una chapa de acero laminada en caliente que tiene una fase martensítica como material para trabajar, el material que está siendo laminado adquiere una alta resistencia y se endurece durante la laminación en frío, y la fiabilidad en frío empeora notablemente, lo que conduce a una baja productividad.

45 Los documentos de patente 4 y 5 desvelan métodos de fabricación de chapas de acero laminadas en caliente o laminadas en frío de alta resistencia que tienen una microestructura fina de ferrita. La chapa de acero laminada en caliente del documento de patente 5 tiene las características especificadas en el preámbulo de la reivindicación 1.

50 Como se desvela en el documento no de patente 1, se sabe que el alargamiento uniforme de una chapa de acero disminuye notablemente a medida que se refinan los granos.

Documentos de la técnica anterior

55 Documentos de patente

Documento de patente 1: JP 3 458 416 B
Documento de patente 2: JP 2000-73152 A
Documento de patente 3: JP 2002-285278 A
60 Documento de patente 4: US 2008/0202639 A1
Documento de patente 5: JP 2008-231480 A

Documentos no patentados

65 Documento no de patente 1: Mater. Trans., 45 (2004), Nº. 7, págs. 2272-2281

Divulgación de la invención

La técnica anterior no puede proporcionar una chapa de acero que tenga una resistencia a la tracción de al menos 750 MPa, así como excelentes propiedades de conformabilidad por prensado y excelentes propiedades de deformación dinámica.

De acuerdo con la presente invención, se proporciona una chapa de acero que tiene una resistencia a la tracción de al menos 750 MPa, así como una excelente capacidad de conformabilidad por prensado y excelentes propiedades de deformación dinámica haciendo que la fase principal de la estructura metalográfica de la chapa de acero sea una estructura ferrítica fina y controlando adecuadamente el tipo y el estado disperso de una segunda fase. Específicamente, (a) las propiedades de deformación dinámica de una chapa de acero se mejoran suprimiendo la precipitación de los elementos de refuerzo contenidos en la chapa de acero, refinando los granos de ferrita y dispersando uniforme y finamente una segunda fase, y (b) el efecto descrito anteriormente en (a) se obtiene no solo con respecto a una chapa de acero que ha sido laminada en caliente, sino también con respecto a una chapa de acero que ha sido laminada en frío y recocida después de la laminación en caliente.

La presente invención es una chapa de acero laminada en caliente que tiene la composición química y la estructura metalográfica definidas en la reivindicación 1.

La presente invención también se refiere, como se define en la reivindicación 6, al uso de la chapa de acero laminada en caliente para producir una chapa de acero laminada en frío mediante laminación en frío.

Desde otro punto de vista, la presente invención es un método de fabricación de una chapa de acero que tiene las características definidas en la reivindicación 7.

En un método de fabricación de acuerdo con la presente invención, después de llevar a cabo el bobinado, la laminación en frío se puede llevar a cabo con una reducción por laminación de 40 – 80 % seguido de recocido manteniendo durante 10 - 300 segundos en un intervalo de temperatura de A_{c1} a $(A_{c3} + 10\text{ }^{\circ}\text{C})$.

Una chapa de acero de acuerdo con la presente invención y una chapa de acero fabricada mediante un método de acuerdo con la presente invención tienen las siguientes propiedades mecánicas.

Propiedades mecánicas: la resistencia a la tracción es de al menos 750 MPa, el producto de la resistencia a la tracción y el alargamiento a la rotura es de al menos 13.000 MPa · %, y la diferencia entre la resistencia a la tracción dinámica medida a una tasa de deformación por tracción de 103 s^{-1} y la resistencia a la tracción estática medida a una tasa de deformación por tracción de $0,01\text{ s}^{-1}$ es como máximo 80 MPa.

De acuerdo con la presente invención, se proporciona una chapa de acero que tiene una resistencia a la tracción de al menos 750 MPa, así como excelentes propiedades de conformabilidad por prensado y excelentes propiedades de deformación dinámica sin empeorar la productividad.

Breve explicación de los dibujos

La figura 1 es una vista explicativa que muestra la forma de una pieza de prueba para una prueba de tracción de alta tasa de deformación.

Modos para llevar a cabo la invención

1. Composición química

[C: 0,05 - 0,20 %]

C disminuye la temperatura de transformación de austenita a ferrita y disminuye la temperatura de acabado en laminación en caliente, y por lo tanto promueve efectivamente el refinado de granos de ferrita. Además, C garantiza la resistencia del acero. Por lo tanto, el contenido de C es al menos el 0,05 %. Para promover un mayor refinamiento de los granos de ferrita, el contenido de C es preferentemente al menos del 0,08 %. Sin embargo, si el contenido de C supera el 0,20 %, se retrasa una transformación de ferrita después de la laminación en caliente, disminuyendo así el porcentaje de volumen de ferrita, y la soldabilidad se deteriora. Por lo tanto, el contenido de C es como máximo del 0,20 %, y es preferentemente como máximo del 0,17 % para aumentar la trabajabilidad de las soldaduras.

[Si: 0,02 - 3,0 %]

Si aumenta la resistencia de una chapa de acero. Por lo tanto, el contenido de Si es al menos el 0,02 %, preferentemente al menos el 0,1 %, y más preferentemente al menos el 0,3 %. Sin embargo, si el contenido de Si supera el 3,0 %, la ductilidad de una chapa de acero se deteriora notablemente y la oxidación de la superficie de un material que está siendo laminado se produce durante la laminación en caliente. Por lo tanto, el contenido de Si se

hace como máximo del 3,0 %, preferentemente como máximo del 2,0 %, y más preferentemente como máximo del 1,8 %. Al formar austenita retenida en una estructura ferrítica, el contenido total de Si y Al sol. es preferentemente al menos el 1,0 %.

5 [Mn: 0,5 - 3,0 %]

Mn garantiza la resistencia de una chapa de acero. Además, Mn reduce tanto la temperatura de transformación de austenita a ferrita como la temperatura de acabado para la laminación en caliente, promoviendo así el refinamiento de los granos de ferrita. Por lo tanto, el contenido de Mn es al menos el 0,5 %, preferentemente al menos el 1,0 % y más preferentemente al menos el 1,5 %. Sin embargo, si el contenido de Mn supera el 3,0 %, la transformación de ferrita después de la laminación en caliente se retrasa, disminuyendo así el porcentaje de volumen de ferrita. Por lo tanto, el contenido de Mn se hace como máximo del 3,0 % y preferentemente como máximo del 2,5 %.

15 [P: como máximo el 0,5 %]

P está contenido como una impureza inevitable. Si el contenido de P excede el 0,5 %, el P se segrega en los límites del grano y las propiedades de rebordeado de las chapas de acero se deterioran. Por lo tanto, el contenido de P es como máximo del 0,5 %, preferentemente como máximo del 0,2 % y más preferentemente como máximo del 0,05 %.

20 [S: como máximo el 0,05 %]

S está contenido como una impureza inevitable. Si el contenido de S supera el 0,05 %, se forman inclusiones de sulfuro y disminuye la trabajabilidad de una chapa de acero. Cuanto más bajo es el contenido de S, mejor es la trabajabilidad de una chapa de acero. Por lo tanto, el contenido de S es como máximo del 0,05 %, preferentemente como máximo del 0,008 %, y más preferentemente como máximo del 0,003 %.

[Cr: 0,05 - 1,0 %]

Cr fortalece la ferrita. Además, aumenta la templabilidad de una chapa de acero y forma martensita y bainita en ferrita. Además, Cr suprime la formación de perlita gruesa y contribuye a formar una estructura finamente dispersa, lo que aumenta la resistencia dinámica. Por lo tanto, el contenido de Cr es al menos el 0,05 % y más preferentemente al menos el 0,1 %. Sin embargo, si el contenido de Cr supera el 1,0 %, el estado de la superficie y la ductilidad de una chapa de acero se deterioran. Por lo tanto, el contenido de Cr es como máximo del 1,0 % y preferentemente como máximo del 0,8 %.

35 [Al sol.: 0,01 - 1,0 %]

Al aumenta la ductilidad de una chapa de acero. Por lo tanto, el contenido de Al sol. es al menos el 0,01 %. Sin embargo, si el contenido de Al sol. supera el 1,0 %, la austenita se vuelve inestable a altas temperaturas. Como resultado, se hace necesario aumentar excesivamente la temperatura de acabado en la laminación en caliente, y ya no es posible realizar una colada continua de manera estable. Por lo tanto, el contenido de Al sol. es como máximo del 1,0 % y preferentemente como máximo del 0,5 %.

45 Cuando se forma austenita retenida en una estructura ferrítica, el contenido total de Si y Al sol. es preferentemente al menos el 1,0 %.

[Uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en Ti, Nb, Mo, V y W: un total del 0,002 - 0,03 %]

50 Cada uno de Ti, Nb, Mo, V y W es eficaz para suprimir el engrosamiento de granos o refinar granos debido a la formación de carbonitruros y para algunos elementos debido a la presencia en acero en forma de una solución sólida. Por lo tanto, uno o más de Ti, Nb, Mo, V y W están contenidos en un total de al menos el 0,002 %. Sin embargo, si el contenido total de uno o más elementos de Ti, Nb, Mo, V y W excede el 0,03 %, las dislocaciones móviles se desarrollan fácilmente en ferrita y las propiedades de deformación dinámica de una chapa de acero empeoran. Por lo tanto, el contenido total de uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en Ti, Nb, Mo, V y W es como máximo del 0,03 %.

[Uno o más de Ca, Mg y REM: un total de como máximo el 0,0050 %]

60 Ca, Mg y los elementos de tierras raras (REM) mantienen la solidez de una colada de acero al refinar los óxidos y carburos que precipitan en el momento de la solidificación de una colada de acero, por lo que se pueden añadir como elementos opcionales. Si el contenido total de uno o más de estos elementos excede el 0,0050 %, se forman inclusiones de manera que la conformabilidad de una chapa de acero se deteriora y los costes de fabricación de una chapa de acero aumentan. Por lo tanto, el contenido total de uno o más de estos elementos es como máximo del 0,0050 %. Para obtener con certeza los efectos descritos anteriormente, el contenido total de uno o más de estos elementos es preferentemente al menos el 0,0005 %.

El resto aparte de los elementos anteriores es Fe e impurezas. Un ejemplo de impurezas que no sean los elementos descritos anteriormente es N. N está presente como una impureza inevitable. Si el contenido de N excede el 0,01 %, la trabajabilidad de una chapa de acero disminuye. Por lo tanto, el contenido de N es preferentemente como máximo del 0,01 % y más preferentemente como máximo del 0,006 %.

2. Estructura metalográfica

La absorción de energía de impacto por un miembro resistente a impactos de un automóvil a menudo se produce produciendo localmente deformación por flexión en una pluralidad de ubicaciones de un miembro resistente a impactos que normalmente tiene una sección transversal cerrada en forma de sombrero o en forma poligonal similar cuando una carga externa se aplica al miembro en la dirección axial o en la dirección transversal. Por consiguiente, las propiedades mecánicas en la vecindad de la superficie en la dirección del grosor de la chapa de una chapa de acero, que es un material para formar un miembro resistente a impactos, son importantes para que el miembro resistente a impactos exhiba propiedades de absorción de energía mejoradas.

En general, en la fabricación de una chapa de acero, la descarburación y la concentración de elementos fácilmente oxidables tienen lugar en la capa más externa en la dirección del grosor de la chapa de una chapa de acero debido a las influencias de la atmósfera en el horno de calentamiento y la temperatura de bobinado de una chapa de acero laminada en caliente. Como resultado, la estructura y las propiedades mecánicas de la capa más externa de una chapa de acero varían fácilmente con la ubicación en la dirección del grosor de la chapa de acero. En contraste, la estructura y las propiedades mecánicas en una ubicación que está a una distancia ínfima en la dirección del grosor de la chapa desde la capa más externa de una chapa de acero (100-200 μm) son estables.

Como resultado de una investigación diligente de la influencia de diversos factores en una región de 100 - 200 μm en la dirección del grosor de la chapa desde la superficie de una chapa de acero sobre las propiedades mecánicas de una chapa de acero, los inventores de la presente invención descubrieron que los factores se explican a continuación son importantes. Estos factores serán explicados.

[Diámetro medio del grano de ferrita al menos en una región de 100 - 200 μm en la dirección del grosor de la chapa desde la superficie de una chapa de acero: como máximo 3,0 μm]

Es necesario que el diámetro medio de grano de ferrita al menos en una región de 100 - 200 μm en la dirección del grosor de la chapa desde la superficie de una chapa de acero sea como máximo de 3,0 μm para proporcionar una chapa de acero (incluyendo no solo una chapa de acero laminada en caliente, sino también una chapa de acero laminada en frío que ha sufrido laminación en frío y recocido) con propiedades de deformación dinámica adecuadas. Este diámetro de grano promedio es preferentemente como máximo de 2,5 μm , más preferentemente como máximo de 2,0 μm , y de la manera más preferente como máximo de 1,5 μm .

El diámetro medio de grano de ferrita es preferentemente lo más pequeño posible. Sin embargo, es difícil hacer que el diámetro promedio de grano de ferrita sea inferior a 0,3 μm usando los procesos de fabricación existentes para una chapa de acero. Por consiguiente, el diámetro medio de grano de ferrita es preferentemente al menos 0,3 μm . Teniendo en cuenta la productividad, es más preferentemente de al menos 0,5 μm .

[Fracciones de área en la estructura al menos en una región de 100 - 200 μm en la dirección del grosor de la chapa desde la superficie de una chapa de acero: 30 - 80 % de ferrita y estructura restante]

Si la fracción de área de ferrita en la región descrita anteriormente de una chapa de acero es inferior al 30 %, la chapa de acero no tiene propiedades de deformación dinámica adecuadas. Por otro lado, si esta fracción de área excede el 80 %, aunque las propiedades de deformación dinámica de la chapa de acero mejoran aún más, la resistencia a la tracción estática de la chapa de acero empeora. Por lo tanto, la fracción de área de ferrita en esta región se hace del 30 al 80 %. Esta fracción de área es preferentemente al menos 40 % y más preferentemente al menos 50 %. Esta fracción de área es preferentemente como máximo del 75 % y más preferentemente como máximo del 70 %.

[Separación media en la dirección del grosor de la chapa de la estructura restante al menos en una región de 100 - 200 μm en la dirección del grosor de la chapa desde la superficie de la chapa de acero: como máximo 3,0 μm]

La separación media en la dirección del grosor de la chapa de la estructura restante distinta de la ferrita en la región descrita anteriormente es como máximo de 3,0 μm . Esta separación media en la dirección del grosor de la chapa es preferentemente como máximo de 2,5 μm , más preferentemente como máximo de 2,0 μm , y de la manera más preferente como máximo de 1,6 μm .

No existe una limitación particular sobre el tipo de estructura restante y, dependiendo de la resistencia a la tracción estática exigida a la chapa de acero, puede ser, por ejemplo, bainita, martensita, austenita retenida, cementita granular o similares. La estructura restante es preferentemente bainita, martensita templada, bainita y martensita

templada, o cementita granular.

La separación media en la dirección del grosor de la chapa se determina sometiendo una sección transversal en la dirección de laminación de la chapa de acero a pulido espejo y después a grabado Nital, a continuación se obtiene una imagen digital de una región de 100 a 200 μm de la capa superficial en aumento de 1.000 - 2.000x usando un microscopio electrónico de barrido, dibujando una línea en la imagen digital con una longitud de 40 - 80 μm en la dirección del grosor de la chapa, midiendo el espacio de la estructura restante en la dirección del grosor de la chapa en 5 ubicaciones arbitrarias, y tomando la media de estas medidas.

Cuando el diámetro medio de grano de ferrita en la región descrita anteriormente es como máximo del 3,0 μm y la fracción de área de ferrita en esta región es el 30 - 80 %, si la separación media en la dirección del grosor de la chapa de la estructura restante que no sea ferrita excede 3,0 μm , la estructura restante existe localmente y en forma de bandas, lo que indica que la estructura restante, que es una fase secundaria, ya no se dispersa uniforme y finamente. Como resultado, la conformabilidad por prensado y la resistencia dinámica de la chapa de acero disminuyen.

Además, si la estructura restante de la chapa de acero está presente localmente en forma de bandas, la estructura restante de una chapa de acero recocido laminado en frío fabricada mediante la laminación en frío y el recocido de esta chapa de acero estará en forma de bandas, y la resistencia dinámica de la chapa de acero recocido laminado en frío será inadecuada.

Por las razones anteriores, la separación media en la dirección del grosor de la chapa de la estructura restante que no sea ferrita en una región de 100 - 200 μm en la dirección del grosor de la chapa desde la superficie de la chapa de acero es como máximo de 3,0 μm , preferentemente como máximo 2,5 μm , más preferentemente como máximo 2,0 μm , y de la manera más preferente como máximo 1,6 μm .

A la luz del diámetro medio del grano de ferrita que es eficaz para mejorar las propiedades de deformación dinámica, el límite inferior de la separación media en la dirección del grosor de la chapa de la estructura restante es preferentemente al menos 0,3 μm y más preferentemente al menos 0,5 μm .

La separación media en la dirección de laminación de la estructura restante en una región de 100-200 μm en la dirección del grosor de la chapa desde la superficie de la chapa de acero es preferentemente como máximo 3,0 μm . Como resultado, el grado de planitud (relación de aspecto) de la estructura ferrítica que forma la fase madre de la chapa de acero disminuye, lo que indica que existen más granos de ferrita isodiamétricos en una forma finamente dispersa. Por consiguiente, se imparten deformaciones más uniformes a la ferrita no solo en el momento de la deformación estática sino también en el momento de la deformación dinámica, y como resultado, se incrementa el alargamiento estático y la resistencia dinámica. La separación media en la dirección de laminación de la estructura restante en esta región es preferentemente como máximo de 2,5 μm , más preferentemente como máximo de 2,0 μm , y de la manera más preferente como máximo de 1,6 μm .

Cuando la estructura restante incluye austenita retenida, si la fracción de área de austenita retenida es el 5 - 30 %, la conformabilidad por prensado de una chapa de acero después de la finalización de la laminación en caliente mejora notablemente. Si la fracción de área de austenita retenida es inferior al 5 %, la conformabilidad por prensado no aumenta adecuadamente, mientras que si la fracción de área de austenita retenida supera el 30 %, la naturaleza inestable de la austenita reduce el efecto de aumentar la conformabilidad por prensado. Por lo tanto, para mejorar la conformabilidad por prensado de una chapa de acero, la fracción de área de austenita retenida en la estructura restante es preferentemente del 5 al 30 %.

3. Propiedades mecánicas

[Resistencia a la tracción: al menos 750 MPa]

La resistencia a la tracción es de al menos 750 MPa. La resistencia a la tracción se mide preparando una pieza de prueba de tracción JIS No. 5 y realizando una prueba de tracción sobre la misma.

[Producto de resistencia a la tracción y alargamiento a la rotura: al menos 13.000 MPa · %]

El producto de la resistencia a la tracción y el alargamiento a la rotura es de al menos 13.000 MPa · %. Al hacer que el producto tenga este valor, se obtiene una excelente conformabilidad por prensado. Cuando un miembro resistente a impactos tiene una forma complicada, es preferible que el producto de la resistencia a la tracción y el alargamiento a la rotura sea de al menos 14.000 MPa · %. Cuando se desea un mayor grado de conformabilidad por prensado por razones tales como formar integralmente un miembro resistente a impactos con otros miembros estructurales, el producto de la resistencia a la tracción y el alargamiento a la rotura es preferentemente al menos 16.000 MPa · % y más preferentemente al menos 17.000 MPa · %

[Diferencia entre la resistencia a la tracción dinámica a una tasa de deformación por tracción de 103 s^{-1} y la resistencia a la tracción estática a una tasa de deformación por tracción de $0,01 \text{ s}^{-1}$: al menos 80 MPa]

La figura 1 es un diagrama explicativo que muestra la forma de una pieza de prueba para una prueba de tensión de alta tasa de deformación. Esta diferencia de resistencia se define como la diferencia ΔTS entre la resistencia a la tracción dinámica medida a una tasa de deformación por tracción de 103 s^{-1} y la resistencia a la tracción estática medida a una tasa de deformación por tracción de $0,01 \text{ s}^{-1}$ usando un aparato de prueba de tracción de alta tasa de deformación del tipo de bloque de detección de tensiones en una pieza de prueba minúscula que tiene la forma mostrada en la figura 1. Tener excelentes propiedades de deformación dinámica significa que la diferencia de resistencia ΔTS es al menos 80 MPa, preferentemente al menos 100 MPa, y de la manera más preferente al menos 120 MPa.

4. Método de fabricación

[Etapa de laminación en caliente]

Una palanquilla de acero que tiene la composición química descrita anteriormente se lamina en caliente durante una pluralidad de pases. La temperatura de laminación del pase de laminación final en la laminación de acabado en la etapa de laminación en caliente es al menos el punto Ar_3 .

La laminación en caliente se lleva a cabo en un intervalo de temperatura de austenita, preferentemente a partir de una temperatura superior a 1.000°C usando un molino inversor o un molino en tándem. Desde el punto de vista de la productividad industrial, al menos las pocas etapas finales de laminación se llevan a cabo preferentemente usando un molino en tándem.

La palanquilla puede ser un empaquetado obtenido por colada continua o por colada y desbaste, una chapa de acero obtenida por colada en tiras, uno de estos miembros que, si es necesario, ha sido previamente trabajado en caliente o en frío, o similares. Cuando la temperatura de la palanquilla es baja, se inicia la laminación en caliente después de que la palanquilla se ha recalentado a una temperatura superior a 1000°C .

Si la temperatura de inicio de la laminación en caliente es de 1.000°C o menos, la carga de laminación no solo se vuelve excesiva y resulta difícil obtener una reducción por laminación adecuada, sino que también es imposible terminar la laminación en caliente con una reducción por laminación adecuada a una temperatura de al menos el punto Ar_3 . Como resultado, ya no se pueden obtener las propiedades mecánicas y la estabilidad térmica deseadas.

La temperatura de inicio para la laminación en caliente es más preferentemente de al menos 1025°C y aún más preferentemente de al menos 1050°C . Para suprimir el engrosamiento de los granos de austenita y restringir los costes del equipo y los costes de combustible de calentamiento, la temperatura de inicio para la laminación en caliente es preferentemente de cómo máximo 1350°C y más preferentemente como máximo 1280°C .

En el caso de un tipo de acero para el cual no es necesario disolver adecuadamente precipitados tales como TiC o NbC en austenita, la temperatura inicial para la laminación en caliente es preferentemente una temperatura relativamente baja en este intervalo de temperatura (tal como 1050 - 1250°C). Como resultado, el diámetro inicial del grano de austenita se refina y se hace más fácil refinar los granos de ferrita en la chapa de acero resultante.

La temperatura de acabado para la laminación en caliente se hace al menos el punto Ar_3 para transformar la austenita en ferrita después de la laminación en caliente. Desde el punto de vista de evitar un aumento en la carga de laminación, la temperatura de acabado es preferentemente de al menos 780°C .

La temperatura al finalizar la laminación en caliente, es decir, la temperatura de laminación en el lado de salida del pase de laminación final en la laminación en caliente en la etapa de laminación en caliente es al menos el punto Ar_3 , pero preferentemente es la temperatura más baja posible. Esto se debe a que cuanto menor es la temperatura al finalizar la laminación en caliente, mayor es el efecto de acumular tensiones residuales por el trabajo que se introducen en austenita por laminación en caliente, y se promueve el refinamiento de los granos de ferrita. El punto Ar_3 de los aceros usados en la presente invención es generalmente de 730°C a 950°C .

La laminación en caliente se lleva a cabo en una pluralidad de pases sucesivos. La reducción por laminación por pase es preferentemente del 15 al 60 %. Tener una gran reducción por laminación por pase acumula más deformaciones en austenita y refina los granos de ferrita que se producen por transformación. Por lo tanto, particularmente en tres pases consecutivos que incluyen el pase de laminación final de la laminación de acabado en laminación en caliente, la reducción por laminación por pase es preferentemente al menos del 20 %.

En los tres pases mencionados anteriormente, la reducción por laminación por pase es preferentemente inferior al 50 % para evitar aumentos en el tamaño del equipo de laminación debido a un aumento en la carga de laminación y para garantizar la controlabilidad de la forma de una chapa de acero. En particular, para facilitar el control de la

forma de una chapa de acero, la reducción por laminación en cada uno de estos pases es preferentemente como máximo del 40 % por pase.

[Etapa de enfriamiento]

Después de la finalización de la laminación en caliente, la chapa de acero resultante se enfría. Como resultado de este enfriamiento, sin liberar las bandas de deformación (deformaciones residuales por trabajo) que se introdujeron en austenita, la austenita se transforma en ferrita utilizando las bandas de deformación como sitios de nucleación para la ferrita. La chapa de acero resultante tiene una estructura metalográfica en la que la ferrita fina y la estructura restante se dispersan uniformemente.

Para obtener esta estructura metalográfica, la laminación en caliente se lleva a cabo de modo que el total del tiempo de laminación para los tres pases descritos anteriormente y el tiempo de enfriamiento desde la temperatura en la finalización de la laminación de acabado a 720 °C sea como máximo 4,0 segundos, y el enfriamiento se inicia dentro de los 0,5 segundos posteriores a la finalización de la laminación de acabado.

El tiempo total de laminación y el tiempo de enfriamiento a 720 °C se pueden determinar midiendo con un sensor el momento en que el extremo frontal de una chapa de acero alcanza el primer rodillo de los tres pases, midiendo la temperatura de la chapa de acero con los sensores de temperatura instalados en una zona de enfriamiento, y después calculando el tiempo total a partir de la relación entre estos valores medidos y la velocidad de desplazamiento de la chapa de acero. El tiempo desde la finalización de la laminación de acabado hasta el inicio del enfriamiento se puede calcular a partir de la velocidad de desplazamiento de la chapa de acero y la distancia entre el rodillo final y la zona de enfriamiento.

El tiempo mencionado anteriormente para tres pases afecta a la proporción de eliminación de las bandas de deformación, a saber, los sitios de nucleación que se han introducido por laminación en caliente. El tiempo de enfriamiento también afecta a la proporción de eliminación de las bandas de deformación durante el enfriamiento. Por lo tanto, la laminación en caliente y el enfriamiento posterior se llevan a cabo de tal manera que el tiempo total descrito anteriormente es como máximo de 4,0 segundos para mantener adecuadamente las bandas de deformación que se introdujeron mediante laminación en caliente.

La razón para controlar el tiempo para los últimos tres pases es la siguiente. Dado que estos pases son pases de laminación realizados en las inmediaciones del límite inferior de la temperatura de recrystalización, no se produce recrystalización de austenita durante estos pases. Además, dado que la laminación en caliente se lleva a cabo a aproximadamente una temperatura constante de 800 - 950 °C debido al calor de trabajo, el tiempo de laminación se convierte en un factor principal para retener las bandas de deformación.

Además, el tiempo de enfriamiento también afecta a la proporción de las bandas de deformación que desaparecen, concretamente, la formación de granos de ferrita finos. Por lo tanto, el enfriamiento se inicia tan pronto como sea posible después de completar la laminación de acabado y específicamente dentro de los 0,5 segundos posteriores a la finalización de la laminación de acabado. El enfriamiento se inicia preferentemente dentro de 0,3 segundos, más preferentemente dentro de 0,1 segundos, y de la manera más preferente dentro de 0,05 segundos de la finalización de la laminación de acabado.

Un intervalo de temperatura de 720 °C o inferior es un intervalo de temperatura de transformación en el que se activa la transformación de austenita a ferrita. Un intervalo de temperatura para la transformación de ferrita en el que se obtiene la estructura ferrítica fina deseada es 720-600 °C. Por lo tanto, una chapa de acero puede mantenerse en un intervalo de temperatura de 720-600 °C durante 1 a 10 segundos deteniendo temporalmente el enfriamiento o bajando la velocidad de enfriamiento después de que la temperatura de una chapa de acero alcance 720 °C o menos.

[Etapa de bobinado]

Una chapa de acero que se ha sometido a la etapa de laminación en caliente y la etapa de enfriamiento se bobina en una etapa de bobinado a 630 °C o menos. Como resultado, se controla la estructura restante de la chapa de acero distinta de ferrita.

Si la temperatura de bobinado supera los 630 °C, se forma una gran cantidad de perlita. Como resultado, el alargamiento de una chapa de acero disminuye y no se garantiza una resistencia a la tracción estática de al menos 750 MPa.

Cuando la estructura restante está hecha de martensita, es preferible realizar el enfriamiento en un intervalo de temperatura de 600 °C o inferior a una velocidad de enfriamiento de al menos 40 °C por segundo y realizar el bobinado en un intervalo de temperatura desde la temperatura ambiente hasta como máximo 200 °C. Si la temperatura de bobinado excede los 200 °C, la resistencia deseada de una chapa de acero no se puede obtener debido al temple de la martensita, y el equilibrio entre resistencia y ductilidad empeora. Cuando existe la

preocupación de que se forme óxido en una chapa de acero debido al agua de enfriamiento que queda en la chapa, la temperatura de bobinado se hace más preferentemente de 100-150 °C.

5 Cuando la estructura restante se hace bainita, el bobinado se lleva a cabo preferentemente a una temperatura de al menos 400 °C a menos de 600 °C. Cuando la estructura restante se hace para contener tanto bainita como austenita retenida, el bobinado se lleva a cabo más preferentemente a una temperatura de 400-450 °C.

10 Cuando la estructura restante se hace cementita granular, el bobinado se lleva a cabo preferentemente a una temperatura de al menos 600 °C a como máximo 630 °C. Para producir un mayor refinamiento de la estructura restante, la temperatura de bobinado se hace más preferentemente como máximo 620 °C.

[Etapa de laminación en frío]

15 Una chapa de acero que ha pasado a través de la etapa de bobinado puede ser sometida a laminación en frío y recocido. En este caso, antes de llevar a cabo la laminación en frío, la capa de óxido en la superficie de la chapa de acero puede eliminarse mediante decapado.

20 La laminación en frío se lleva a cabo con una reducción por laminación del 40 al 80 %. La reducción por laminación se define como $\{(\text{grosor de la chapa de acero antes de la laminación en frío} - \text{grosor de la chapa de acero después de la laminación en frío}) / \text{grosor de la chapa de acero antes de la laminación en frío}\} \times 100 \%$.

25 Si la reducción por laminación es inferior al 40%, no se imparten suficientes deformaciones a la ferrita, y el alargamiento estático de la chapa de acero después del recocido disminuye. La reducción por laminación es preferentemente al menos el 50 %. Sin embargo, si la reducción por laminación es un nivel alto superior al 80 %, se imparte una gran carga al laminador y la productividad de una chapa de acero disminuye.

30 Para impartir eficientemente deformaciones a la ferrita, se prefiere que la estructura restante distinta de ferrita de una chapa de acero que se somete a laminación en frío después de la laminación en caliente y enfriamiento descritos anteriormente sea una estructura que incluye martensita o bainita. Por ejemplo, la estructura restante de la chapa de acero se puede hacer una estructura que incluye martensita o bainita bobinando en un intervalo de temperatura desde la temperatura ambiente hasta un máximo de 200 °C después de enfriar en un intervalo de temperatura por debajo de 600 °C a una velocidad de enfriamiento de al menos 40 °C por segundo o bobinando en un intervalo de temperatura de al menos 400 °C a menos de 600 °C.

35 [Etapa de recocido]

40 Una chapa de acero de alta resistencia que tiene una alta resistencia a la tracción dinámica se obtiene sometiendo a una chapa de acero que tiene una estructura en la que la energía de deformación se ha acumulado por laminación en frío a recocido, es decir, calentando y manteniendo la chapa de acero a una temperatura fija seguida de enfriamiento.

45 La temperatura de mantenimiento se hace entre A_{c1} y $(A_{c3} + 10 \text{ °C})$ de la chapa de acero. Si la temperatura de mantenimiento es inferior a A_{c1} , entonces la segunda fase, que por naturaleza debería contribuir a la resistencia a la tracción estática, se convierte en cementita sola, y no se obtiene suficiente resistencia a la tracción estática. Además, incluso si se obtiene una resistencia a la tracción estática suficiente, la recuperación a una estructura normal y la recristalización a veces no progresan adecuadamente, el alargamiento a la tracción estática disminuye y la resistencia a la tracción dinámica disminuye debido a la presencia de tensiones residuales por el trabajo que permanece en ferrita. El límite inferior de la temperatura de mantenimiento es preferentemente de 750 °C desde el punto de vista de la productividad.

50 Por otro lado, si la temperatura de mantenimiento excede $(A_{c3} + 10 \text{ °C})$, la austenita se vuelve gruesa y la ferrita que precipita en la etapa de enfriamiento posterior también se vuelve gruesa, por lo que disminuyen tanto la resistencia a la tracción estática como la resistencia a la tracción dinámica. El límite superior de la temperatura de mantenimiento es preferentemente la temperatura A_{c3} .

55 El tiempo de mantenimiento es de 10 a 300 segundos. Si el tiempo de mantenimiento es inferior a 10 segundos, es difícil llevar a cabo el mantenimiento en un proceso de fabricación existente, y la estructura metalográfica se convierte fácilmente en forma de banda debido a la segregación de elementos de sustitución. Además, en los casos en que la temperatura de mantenimiento es una temperatura relativamente baja dentro del intervalo descrito anteriormente, se hace difícil eliminar las deformaciones residuales que se imparten al trabajar durante la laminación en frío, lo que conduce a una disminución en el alargamiento de una chapa de acero. Por otro lado, si el tiempo de mantenimiento excede los 300 segundos, la austenita se vuelve gruesa durante el mantenimiento y los granos de ferrita que precipitan en la etapa de enfriamiento posterior también se vuelven gruesos, lo que da como resultado una disminución tanto de la resistencia a la tracción estática como de la resistencia a la tracción dinámica.

65 El enfriamiento después de la retención influye en la estructura metalográfica de una chapa de acero. Al enfriar

hasta el punto Ms o por debajo sin cruzar el pico de colada de bainita en un diagrama CCT, la estructura restante que no sea ferrita se convierte en martensita. Si el pico de colada de bainita se cruza durante el enfriamiento o si el enfriamiento se detiene en la región de bainita, la estructura restante se convierte en bainita. Si la velocidad de enfriamiento es baja, el alargamiento de la chapa de acero disminuye debido a la precipitación de perlita. Por lo tanto, la velocidad de enfriamiento en un intervalo de 700 °C o inferior es preferentemente de al menos 20 °C por segundo.

De esta manera, se fabrica una chapa de acero que tiene las propiedades mecánicas de que su resistencia a la tracción es de al menos 750 MPa, el producto de la resistencia a la tracción y el alargamiento a la rotura es de al menos 13.000 MPa ·%, y la diferencia entre la resistencia a la tracción dinámica y la resistencia a la tracción estática es de al menos 80 MPa.

Ejemplo 1

Se fabricó una chapa de acero laminada en caliente a partir de palanquillas de acero que tenían composiciones químicas A - L mostradas en la tabla 1 en las condiciones mostradas en la tabla 2. Las composiciones químicas F - I en la tabla 1 son las que no satisfacen la composición química definida por la presente invención, y las series N°. 13 y 14 en la tabla 2 no satisfacen las condiciones de fabricación definidas por la presente invención. Las columnas F1 - F3 en la tabla 2 indican la reducción por laminación en cada montante del laminador, Δt indica el tiempo transcurrido desde la finalización de la laminación de acabado hasta el inicio del enfriamiento, y (tiempo de F1 a 720 °C) indica el tiempo total para tres pases consecutivos F1 - F3, incluyendo el pase de laminación de acabado y el tiempo de enfriamiento desde la temperatura hasta la finalización de la laminación de acabado a 720 °C.

Tabla 1

Acero	C	Si	Mn	Cr	P	S	Al sol.	Ti	Nb	V	Mo	W	N	Otros	Ar ₃	Ac ₃	Ac ₁
A	0,15	0,5	2,0	0,25	0,002	0,002	0,030	0,01	0,008				0,0025		741	831	733
B	0,16	1,0	2,0	0,25	0,002	0,002	0,500	0,01					0,0025		833	930	663
C	0,15	0,5	2,6	0,25	0,002	0,002	0,030	0,01					0,0032		724	812	726
D	0,15	0,51	2,01	0,50	0,001	0,0028	0,029	0,01					0,0041		739	828	739
E	0,13	1,0	2,5	0,05	0,008	0,004	0,032		0,01				0,0032		752	843	732
F	0,14	0,5	1,99	0,26	0,002	0,003	0,033	0,05					0,0031		749	839	733
G	0,025	1,01	2,46	0,01	0,005	0,001	0,190		0,01				0,0035		818	919	707
H	0,23	0,5	1,96	0,25	0,001	0,0027	0,031	0,01					0,0036		719	807	732
I	0,10	0,5	3,2	0,05	0,005	0,001	0,030	0,01					0,0035		714	801	715
J	0,15	0,5	2,0	0,20	0,002	0,001	0,035	0,01			0,01		0,0028	Mg: 20 ppm	744	833	731
K	0,14	0,5	2,0	0,18	0,003	0,001	0,029	0,01		0,01			0,0030	Ca: 20 ppm	747	837	732
L	0,16	0,5	2,0	0,25	0,005	0,001	0,033	0,01				0,01	0,0045	REM: 10ppm	736	825	733
(Nota) resto: Fe e impurezas																	

Tabla 2

Serie N°.	Acero	Ar ₃	Temp. de calentamiento (°C)	F1	F2	F3	Temp. de laminación de acabado	Δt (s)	Velocidad de enfriamiento (°C/s)	Tiempo desde F1 a 720 °C (s)	Temp. en la detención del enfriamiento (°C)	Duración del enfriamiento al aire (s)	Velocidad de enfriamiento secundaria (°C/s)	Temp. de bobinado (°C)	Observación
1	A	741	1250	29 %	29 %	31 %	830	0,043	>1000	2,44	678	3,5	72	400	De la invención
2	B	833	1250	29 %	29 %	31 %	885	0,043	>1000	2,56	681	3,5	75	400	De la invención
3	C	724	1250	33 %	33 %	33 %	802	0,045	>1000	3,90	670	3,5	80	TA	De la invención
4	D	739	1250	33 %	33 %	33 %	900	0,25	>1000	4,0	710	5,5	80	TA	De la invención
5	E	752	1200	32 %	26 %	22 %	838	0,045	>1000	2,31	670	10,0	60	500	De la invención
6	F	749	1250	33 %	33 %	33 %	780	0,055	850	2,46	650	3,5	70	TA	Compar.
7	G	818	1200	32 %	26 %	22 %	830	0,035	>1000	2,30	670	7,8	35	TA	Compar.
8	H	719	1250	33 %	33 %	33 %	835	0,051	>1000	3,12	630	5,0	70	TA	Compar.
9	I	714	1250	25 %	25 %	22 %	850	0,045	>1000	1,00	680	5,0	65	TA	Compar.
10	J	744	1250	30 %	30 %	30 %	815	0,046	>1000	2,48	640	3,5	100	TA	De la invención
11	K	747	1250	30 %	30 %	30 %	850	0,10	>1000	2,50	690	3,5	85	TA	De la invención
12	L	736	1250	32 %	32 %	32 %	830	0,035	>1000	2,45	650	3,5	80	TA	De la invención
13	A	741	1250	30 %	30 %	30 %	870	3,5	150	5,50	650	5,0	70	TA	Compar.
14	E	752	1200	20 %	20 %	11 %	826	0,45	>1000	3,90	700	5,0	40	650	Compar.
15	A	741	1200	30 %	30 %	30 %	826	0,045	>1000	2,45	650	1,0	40	TA	De la invención

La estructura metalográfica y las propiedades mecánicas de las chapas de acero laminadas en caliente de las series 1 a 15 se midieron mediante los procedimientos explicados a continuación.

[Estructura metalográfica]

5 La estructura metalográfica en una región de 100 - 200 μm desde la capa superficial de una sección transversal en la dirección longitudinal de laminación que se ha sometido a pulido espejo y grabada con una solución Nital se midió basándose en una imagen digital tomada por un microscopio electrónico de barrido a 1.000 - 2.000x.

10 El diámetro medio de grano de ferrita fue la media del diámetro de grano de ferrita obtenido por el método de la ordenada en el origen.

15 La separación media en la dirección del grosor de la chapa de la estructura restante se determinó dibujando una línea con una longitud de 80 μm en la dirección del grosor de la chapa, midiendo la separación en la dirección del grosor de la chapa entre las segundas enfrentadas, repitiendo estos procedimientos en 5 ubicaciones arbitrarias y calculando la media de los valores medidos.

20 La fracción de ferrita se determinó usando el hecho de que las fases de martensita y bainita son más oscuras que la ferrita en una imagen de MEB, es decir, convirtiendo la imagen digital en valores binarios mediante el procesamiento de la imagen y calculando el porcentaje de ferrita por área.

[Propiedades mecánicas]

25 La conformabilidad se evaluó llevando a cabo una prueba de tracción en una pieza de prueba de tracción JIS No. 5. Se consideraron aceptables las muestras que tenían un buen equilibrio de resistencia y conformabilidad, como lo indica un valor de al menos 13.000 MPa $\cdot\%$ para el producto de resistencia a la tracción y alargamiento a la rotura.

30 Las propiedades de deformación dinámica (diferencia estática-dinámica) se evaluaron preparando una pieza de prueba diminuta (TP) como se muestra en la figura 1 y midiendo la resistencia a la tracción usando un aparato de prueba de tracción de alta tasa de deformación del tipo de bloque de detección de tensiones. En vista del hecho de que la diferencia de resistencia ΔTS entre la resistencia a la tracción a una tasa de deformación por tracción de 103 s^{-1} y la resistencia a la tracción a una tasa de deformación por tracción de 0,01 s^{-1} para un acero convencional de un grado 780 - 980 MPa es generalmente de aproximadamente 60 MPa, los aceros que tenían una alta diferencia estática-dinámica ΔTS de al menos 80 MPa se consideraron aceptables.

35 Los resultados de las mediciones se muestran en la tabla 3.

Tabla 3

Serie N°.	Fracción de ferrita	Diámetro medio de grano de ferrita (μm)	Estructura restante (segunda fase o fases)	Separación de segunda fase en la dirección del grosor de la chapa (μm)	Separación de segunda fase en la dirección de laminación (μm)	TS estática (MPa)	EL estático (EL)	TSxEL estáticos (MPa-%)	$\Delta\text{TS a } \varepsilon 10^{-3}/\text{s}$ (MPa)	Observaciones
1	57 %	1,3	bainita, austenita retenida	1,4	1,5	903	15,0	13545	159	De la invención
2	70 %	1,2	bainita, austenita retenida	1,9	2	797	30,0	23910	120	De la invención
3	30 %	1,2	martensita	1,3	1,4	1400	12,0	16800	85	De la invención
4	54 %	2,2	martensita	2,4	2,6	1270	13,2	16764	100	De la invención
5	37 %	1,4	bainita, austenita retenida	1,8	2	804	17,1	13748	121	De la invención
6	42 %	0,75	martensita	0,73	0,9	956	15,4	14722	60	Compar.
7	90 %	2,9	martensita	6,9	7,5	705	20,0	14100	90	Compar.
8	25 %	1,8	martensita	2	2,4	1606	6,0	9636	40	Compar.
9	18 %	1,2	martensita	1,6	1,7	1580	4,5	7110	43	Compar.
10	47 %	1,1	martensita	1,9	2	1145	15,8	18091	125	De la invención
11	43 %	1,8	martensita	2,2	2,5	1164	15,6	18158	110	De la invención
12	42 %	1,3	martensita	1,8	1,9	1155	15,1	17441	120	De la invención
13	12 %	13,2	martensita	5,6	14,6	917	110,8	9904	65	Compar.
14	94 %	2,8	cementita, perlita	3	4,5	615	27,5	16913	115	Compar.
15	55 %	1,3	martensita	1,5	1,6	1090	19,5	21255	165	De la invención

En la Tabla 3, las series N°. 1 - 5, 10 - 12 y 15 usaron empaquetados que tenían composiciones químicas A - E y J - L que satisfacían la composición química de la presente invención, y también satisfacían las condiciones de fabricación de acuerdo con la presente invención. Se puede ver que, como resultado, tenían una alta resistencia de 750 MPa, mejor conformabilidad indicada por $TS \times EL \geq 13.000$ (MPa · %) y propiedades de deformación dinámica aumentadas (diferencia estática-dinámica) de al menos 80 MPa.

En contraste, la serie N°. 6 usó un empaquetado que tenía la composición química F que no satisfacía la composición química de acuerdo con la presente invención. Aunque exhibía una TS estática y un EL estático relativamente altos, contenía una gran cantidad de Ti, que es un elemento que fortalece la precipitación, por lo que la diferencia estática-dinámica fue un valor bajo como el de un material convencional.

Las series N°. 7 - 9 usaron empaquetados que tenían composiciones químicas G - I que no satisfacían la composición química de acuerdo con la presente invención. Como resultado, no tenían ni una alta resistencia estática y alargamiento ni una alta diferencia estática-dinámica.

La serie N°. 13 usó un empaquetado que tenía la composición química A que satisfacía la composición de acuerdo con la presente invención, pero las condiciones de laminación no satisfacían las condiciones de fabricación de acuerdo con la presente invención. Por consiguiente, no tuvo suficiente precipitación de ferrita fina, mostró un bajo alargamiento estático y una baja diferencia estática-dinámica.

La serie N°. 14 usó un empaquetado que tenía la composición química E que satisfacía la composición de acuerdo con la presente invención, pero las condiciones de bobinado no satisfacían las condiciones de fabricación de acuerdo con la presente invención. Como resultado, aunque se obtuvieron un alargamiento relativamente alto y una diferencia estática-dinámica, la resistencia estática fue un valor bajo de 615 MPa.

Ejemplo 2

Las chapas de acero de las series N°. 1 a 4, 6, 7, 13 y 15 que se laminaron en caliente y se enfriaron en el ejemplo 1 se sometieron a laminación en frío y recocido en las condiciones que se muestran en la tabla 4, y después se bobinaron a las temperaturas de bobinado mostradas en la tabla 2 para fabricar las chapas de acero laminadas en frío de las series N°. 18 - 31 en la tabla 4.

La tabla 5 muestra los resultados de la medición de la estructura metalográfica y las propiedades mecánicas de las chapas de acero laminadas en frío de las series N°. 18 a 31. Los métodos de medición de la estructura metalográfica y las propiedades mecánicas fueron los mismos que los métodos de medición del ejemplo 1.

Tabla 4

Serie N°.	Acero	Chapa de acero laminada en caliente N° (Serie N° en la tabla 3)	Ac ₃ (°C)	Ac ₁ (°C)	Tasa de reducción en laminación en frío	Temp. de recocido (°C)	Periodo de recocido (s)	Velocidad de enfriamiento lento (°C/s)	Temp. al comienzo del enfriamiento rápido (°C)	Velocidad de enfriamiento rápido (°C/s)	Temp. en la detención del enfriamiento rápido (°C)	Periodo de mantenimiento (s)	Observaciones
18	A	1	831	733	50	795	90	5	700	50	350	300	De la invención
19	B	2	930	663	65	800	90	2	700	50	350	300	De la invención
20	F	6	839	733	50	800	90	5	700	50	300	300	Compar.
21	A	13	831	733	50	800	90	5	700	50	350	300	Compar.
22	A	15	831	733	50	620	90	-	620	50	TA	-	Compar.
23	A	1	831	733	50	900	300	5	730	50	250	300	Compar.
24	D	4	828	739	70	780	120	5	700	50	320	300	De la invención
25	A	1	831	733	50	800	10	5	700	50	300	300	De la invención
26	G	7	919	707	50	850	90	5	730	50	400	300	Compar.
27	A	15	831	733	50	800	90	5	670	50	350	300	De la invención
28	A	1	831	733	50	810	90	5	700	50	400	300	De la invención
29	A	1	831	733	50	750	1000	6	700	50	370	300	Compar.
30	A	1	831	733	50	740	10	5	670	50	250	300	De la invención
31	C	3	812	726	25	800	50	5	700	50	370	300	Compar.

Tabla 5

Serie N°	Fracción de ferrita	Diámetro medio de grano de ferrita (μm)	Estructura restante (segunda fase o fases)	Separación de segunda fase en la dirección del grosor de la chapa (μm)	Separación de segunda fase en la dirección de laminación (μm)	TS estática (MPa)	EL estático (EL)	TSxEL estáticos (MPa-%)	$\Delta\text{TS a } \epsilon$ $10^3/\text{s}$ (MPa)	Observaciones
18	57 %	1,7	bainita, martensita templada	2,1	2,2	880	20,4	17952	132	De la invención
19	63 %	1,6	bainita, martensita templada	1,7	1,8	968	17,9	17327	128	De la invención
20	56 %	1,8	martensita templada	1,9	2,0	961	17,6	16914	65	Compar.
21	62 %	3,8	bainita, martensita templada	4,2	6,3	825	16,7	13778	72	Compar.
22	56 %	No medible*	cementita	No medible*	No medible*	1138	8,0	9104	38	Compar.
23	12 %	3,2	martensita templada	4,0	4,3	1250	10,0	12500	45	Compar.
24	59 %	1,5	martensita templada	1,8	1,9	980	14,4	14112	160	De la invención
25	57 %	1,9	martensita templada	2,1	2,2	937	20,0	18740	102	De la invención
26	90 %	3,0	bainita	6,8	7,1	583	29,0	16907	93	Compar.
27	64 %	2,9	bainita, martensita templada	2,2	2,3	885	20,7	18320	90	De la invención
28	68 %	1,8	bainita	2,5	2,7	775	24,8	19220	107	De la invención
29	51 %	4,5	bainita, martensita templada	4,8	5,8	820	18,2	14924	75	Compar.
30	63 %	1,0	martensita templada	1,2	1,8	856	15,5	13268	175	De la invención
31	60 %	5,6	bainita	6,2	7,4	813	14,8	12032	72	Compar.
*No medible debido a una textura deformada										

Como se muestra en la tabla 5, las chapas de acero laminadas en frío de las series N°. 18, 19, 24, 25, 27, 28 y 30 se fabricaron mediante laminación en frío y recocido en condiciones dentro del intervalo de la presente invención en chapas de acero laminadas en caliente fabricadas en las condiciones dentro del alcance de la presente invención. Se puede ver que las chapas de acero laminadas en frío de las series N°. 18, 19, 24, 25, 27, 28 y 30 tenían una alta resistencia de 750 MPa, mejor conformabilidad indicada por $TS \times EL \geq 13.000$ (MPa · %) y buenas propiedades de deformación dinámica (diferencia estática-dinámica) de al menos 80 MPa.

En contraste, la serie N°. 20 usó un empaquetado que tenía la composición F que no satisfacía la composición química de acuerdo con la presente invención. Aunque exhibía una TS estática y un EL estático relativamente altos, de la misma manera que la serie No. 6 en la tabla 3, su diferencia estática-dinámica fue un valor bajo como el de un material convencional debido a la presencia de una gran cantidad de Ti que es un elemento que fortalece la precipitación.

En la serie N°. 21, dado que una chapa de acero laminada en caliente de grano grueso (la chapa laminada en caliente de la serie No. 13) que tenía un diámetro de grano de ferrita superior a $3,0 \mu m$ se usó como chapa de acero para laminación en frío, la ferrita todavía era gruesa después de la laminación en frío y el recocido, y la diferencia estática-dinámica fue un valor bajo como el de un material convencional.

En la serie N°. 22, se usó una chapa de acero de la serie N°. 15 que satisfacía la presente invención como una chapa de acero para laminación en frío, pero el recocido se realizó a baja temperatura. Como resultado, la estructura deformada formada por laminación en frío permaneció después del recocido, y no se pudo medir el diámetro medio de grano de ferrita y la separación media en la dirección del grosor de la chapa de la estructura restante. La chapa de acero de la serie N°. 22 tenía un alargamiento extremadamente bajo, y su diferencia estática-dinámica también era baja.

La serie N°. 23 usó una chapa de acero de la serie N°. 1 que satisfacía la presente invención como una chapa de acero para laminación en frío, y el recocido se llevó a cabo a una temperatura alta. Como resultado, la ferrita se volvió gruesa y la resistencia a la tracción dinámica fue baja.

La serie N°. 26 usó un empaquetado de composición G que no satisfacía la composición de acuerdo con la presente invención, por lo que la fracción de ferrita después de la laminación en frío fue alta y la resistencia estática fue baja.

La serie N°. 29 usó la serie N°. 1 que satisfacía la presente invención como una chapa de acero para laminación en frío, y el recocido se llevó a cabo durante un largo tiempo (tiempo de mantenimiento) que excedió los 300 segundos, engrosando así la ferrita. Además, la separación media en la dirección del grosor de la chapa de la estructura restante fue grande. Por lo tanto, la diferencia estática-dinámica fue baja.

En la serie n. ° 31, una chapa de acero de la serie n. ° 3 que satisfacía la presente invención se sometió a laminación en frío con una baja reducción de laminación del 25%. Como resultado, se observó ferrita gruesa que se considera una estructura recuperada, y la separación media en la dirección del grosor de la chapa de la estructura restante fue grande. Por lo tanto, la conformabilidad y la diferencia estática-dinámica fueron bajas.

Aplicabilidad industrial

Una chapa de acero de acuerdo con la presente invención tiene granos de ferrita ultrafinos, y la estructura restante (la segunda fase) se dispersa uniformemente. Por lo tanto, la chapa de acero es adecuada no solo para su uso como una chapa de acero laminada en caliente, sino también como material de partida para una chapa laminada en frío que tiene propiedades de deformación dinámica y de conformabilidad después de la laminación en frío y el recocido.

Una chapa de acero que tiene una resistencia a la tracción de al menos 750 MPa, así como excelentes propiedades de conformabilidad por prensado y deformación dinámica puede fabricarse fácilmente mediante un método de fabricación de acuerdo con la presente invención sin empeorar la productividad.

REIVINDICACIONES

1. Una chapa de acero laminada en caliente que tiene la siguiente composición química y estructura metalográfica:

- 5 composición química: consiste en, en porcentaje de masa, C: 0,05 - 0,20 %, Si: 0,02 - 3,0 %, Mn: 0,5 - 3,0 %, Cr: 0,05 - 1,0 %, Al sol.: 0,01 - 1,0 %, uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en Ti, Nb, Mo, V y W: un total del 0,002 - 0,03 %, opcionalmente uno o más de Ca, Mg y REM en una cantidad total de como máximo el 0,0050 %, y un resto de Fe e impurezas, incluyendo las impurezas P: como máximo el 0,5 % y S: como máximo el 0,05 %;
- 10 estructura metalográfica: una región de 100 μm a 200 μm en la dirección del grosor de la chapa desde la superficie de la chapa de acero consiste en ferrita y una estructura restante, siendo la estructura restante bainita, martensita, austenita retenida o cementita granular, preferentemente bainita, martensita templada, bainita y martensita templada, o cementita granular,
- 15 el diámetro medio de grano de ferrita es como máximo de 3,0 μm en la región de 100 μm a 200 μm en la dirección del grosor de la chapa desde la superficie de la chapa de acero, obteniéndose el diámetro medio de grano de ferrita mediante el método de la ordenada en el origen basándose en una imagen tomada por un microscopio electrónico de barrido en una sección transversal en la dirección longitudinal de la laminación que se ha sometido a pulido espejo y grabada con una solución Nital,
- 20 la región de 100 μm a 200 μm en la dirección del grosor de la chapa desde la superficie de la chapa de acero contiene el 30 - 80 % por área de ferrita, y
- la separación media en la dirección del grosor de la chapa y la separación media en la dirección de laminación de la estructura restante en la región de 100 μm a 200 μm en la dirección del grosor de la chapa desde la superficie de la chapa de acero es como máximo 3,0 μm , determinándose la separación media dibujando una línea con una longitud de 80 μm , midiendo la separación entre las fases enfrentadas de la estructura restante,
- 25 repitiendo estos procedimientos en 5 ubicaciones arbitrarias y calculando la media de los valores medidos.

2. Una chapa de acero laminada en caliente de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el contenido de Cr es al menos el 0,1 %.

- 30 3. Una chapa de acero laminada en caliente de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en la que la región de 100 μm a 200 μm en la dirección del grosor de la chapa desde la superficie de la chapa de acero contiene el 40 - 75 % por área de ferrita.

- 35 4. Una chapa de acero laminada en caliente de acuerdo con la reivindicación 3, en la que la región de 100 μm a 200 μm en la dirección del grosor de la chapa desde la superficie de la chapa de acero contiene el 50 - 70 % por área de ferrita.

- 40 5. Una chapa de acero laminada en caliente de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en la que la estructura restante incluye austenita retenida, y la fracción de área de austenita retenida en la estructura restante es del 5 al 30 % por área.

6. Uso de la chapa de acero laminada en caliente de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la producción de una chapa de acero laminada en frío mediante laminación en frío.

- 45 7. Un método de fabricación de una chapa de acero sometiendo una palanquilla de acero que tiene una composición química de acuerdo con la reivindicación 1 o 2 a laminación en caliente con al menos tres pases seguidos de enfriamiento, en el que la laminación en caliente y el enfriamiento se llevan a cabo en condiciones que satisfacen las siguientes condiciones 1 - 3:

- 50 Condición 1: la temperatura inicial de la laminación en caliente supera los 1000 °C;
Condición 2: la temperatura de laminación en el lado de salida del pase de laminación final de la laminación de acabado en la laminación en caliente es al menos el punto Ar₃; y
Condición 3: el enfriamiento se inicia dentro de los 0,5 segundos posteriores a la finalización de la laminación de acabado, en el que
- 55 la laminación en caliente y el enfriamiento se llevan a cabo en una condición que satisface la siguiente Condición 4, seguidos por el bobinado realizado en una condición que satisface la siguiente Condición 5, produciendo así una chapa de acero que tiene una estructura metalográfica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 3 a 5:

- 60 Condición 4: el tiempo total para tres pases consecutivos, incluido el pase de laminación final y el tiempo de enfriamiento desde la temperatura en la finalización de la laminación de acabado hasta 720 °C, es como máximo 4,0 segundos; y
Condición 5: el bobinado se lleva a cabo a una temperatura de 630 °C o inferior.

- 65 8. Un método de fabricación de una chapa de acero de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la reducción por

laminación por pase es del 20 al 40 % en los tres pases consecutivos, incluyendo el pase de laminación final.

- 5 9. Un método de fabricación de una chapa de acero de acuerdo con la reivindicación 7 u 8, llevando a cabo laminación en frío con una reducción por laminación del 40 - 80 % después de la finalización del bobinado y llevando a cabo a continuación el recocido manteniendo durante 10 - 300 segundos en un intervalo de temperatura de Ac_1 a $(Ac_3 + 10\text{ }^{\circ}\text{C})$.

Fig. 1

