

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 765 674**

51 Int. Cl.:

C21D 9/46	(2006.01)
C22C 38/00	(2006.01)
C22C 38/60	(2006.01)
C21D 8/02	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01)
C22C 38/06	(2006.01)
C22C 38/12	(2006.01)
C22C 38/14	(2006.01)
C22C 38/18	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.08.2011 PCT/JP2011/068854**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **01.03.2012 WO12026419**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.08.2011 E 11819882 (9)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.12.2019 EP 2610357**

54 Título: **Lámina de acero laminado en frío y procedimiento para la producción de la misma**

30 Prioridad:

23.08.2010 JP 2010186146

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

10.06.2020

73 Titular/es:

**NIPPON STEEL CORPORATION (100.0%)
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku
Tokyo 100-8071, JP**

72 Inventor/es:

**HATA KENGO;
TOMIDA TOSHIRO y
IMAI NORIO**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 765 674 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

Lámina de acero laminado en frío y procedimiento para la producción de la misma

Campo técnico

5 Esta invención se refiere a una lámina de acero laminado en frío y a un procedimiento para producir la misma. Más particularmente, la presente invención se refiere a una lámina de acero laminado en frío que tiene excelente trabajabilidad además de una alta resistencia y a un procedimiento para la fabricación de una lámina de acero laminado en frío con excelente estabilidad de las propiedades del material.

Antecedentes de la técnica

10 En el pasado, ha habido muchos estudios de métodos de refinado de la estructura de una lámina de acero laminado en frío para mejorar las propiedades mecánicas de la lámina de acero.

Estos métodos se pueden dividir generalmente en las siguientes categorías (1) - (3).

15 (1) Un primer método es un método en el que una gran cantidad de elementos que suprimen el crecimiento de grano tales como Ti, Nb, y Mo se añaden para refinar granos de austenita que se forman en el tiempo de recocido después del laminado en frío, refinando por ello los granos de ferrita que se forman por transformación de austenita en el enfriamiento subsecuente.

(2) Un segundo método es un método en el que el calentamiento a una región austenítica de una sola fase en el recocido anteriormente descrito se lleva a cabo mediante calentamiento rápido seguido de estabilización térmica durante un período de tiempo extremadamente corto para prevenir el engrosamiento de la estructura.

20 (3) Un tercer método es un método en el que el laminado en frío y el recocido se llevan a cabo en una lámina de acero laminado en caliente fabricada por enfriamiento rápido inmediatamente después del laminado en caliente. A continuación, este método de fabricación de una lámina de acero laminado en caliente se denominará método de enfriamiento inmediato.

25 Con respecto al primer método descrito anteriormente, el Documento de patente 1, por ejemplo, describe una lámina de acero laminado en frío que tiene una estructura de acero que comprende principalmente ferrita con un diámetro medio de grano de como mucho 3.5 μm . El Documento de patente 2 describe una lámina de acero laminado en frío que tiene una estructura que comprende ferrita y una fase de transformación a baja temperatura constituida por una o más seleccionadas de martensita, bainita, y γ retenida (austenita retenida). El diámetro medio de grano de la fase de transformación a baja temperatura es como mucho 2 μm y su fracción de volumen es 10 - 50%.

30 Con respecto al segundo método, el Documento de patente 3, por ejemplo, describe un método en el que una lámina de acero laminado en caliente que se enrolló a 500°C o más se lamina en frío y a continuación se recuece por calentamiento rápido a una velocidad de por lo menos 30°C por segundo en el intervalo de temperatura de temperatura ambiente a 750°C y limitando el tiempo de estabilización térmica a una temperatura de recocido en el intervalo de 750-900°C, provocando por ello la transformación de ferrita no recristalizada a austenita fina, de la que se forma ferrita fina en el tiempo de enfriamiento. El Documento de patente 4 describe un método de fabricación de una lámina de acero laminado en frío de alta resistencia endurecible por calentamiento que comprende laminar en frío una lámina de acero laminado en caliente obtenida por el usual laminado en caliente, y a continuación, someter la lámina de acero a recocido continuo por calentamiento a un intervalo de temperatura de 730-830°C a una velocidad de 300- 2000°C por segundo en una región de temperatura de por lo menos 500°C seguido de estabilización en el intervalo de temperatura durante como mucho 2 segundos.

40 En cuanto al tercer método, el Documento de patente 5 describe un método en el que el laminado en frío se lleva a cabo en una lámina de acero laminado en caliente producida por el método de enfriamiento rápido inmediato en el que el enfriamiento se inicia un corto tiempo después del laminado en caliente. Por ejemplo, una lámina de acero laminado en caliente que tiene una estructura fina y que comprende predominantemente ferrita con un diámetro medio de grano pequeño se produce por enfriamiento a una temperatura de 720°C o inferior a una velocidad de enfriamiento de por lo menos 400°C por segundo 0.4 segundos después de la finalización del laminado en caliente y se usa como material de partida para laminado en frío, y el laminado en frío y el recocido se llevan a cabo de una manera usual.

50 En el Documento de patente 5, una región que está rodeada por un borde de grano de alto ángulo para la que la desorientación (también denominada ángulo de inclinación) es por lo menos 15° se define como un solo grano (cristal). En consecuencia, una lámina de acero laminado en caliente que tiene una estructura fina descrita por el Documento de Patente 5 se caracteriza por tener un gran número de bordes de grano de alto ángulo.

Documentos de la técnica anterior

Documentos de patente

Documento de patente 1: JP 2004-250774 A

Documento de patente 2: JP 2008-231480 A

5 Documento de patente 3: JP 2007-92131 A

Documento de patente 4: JP 7-34136 A

Documento de patente 5: WO 2007/015541

Sumario de la invención

10 Como se indica anteriormente, en la técnica anterior, ha habido muchos estudios de métodos para refinar la estructura de una lámina de acero laminado en frío con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas de la lámina de acero. Sin embargo, como se indica a continuación, ninguno de los métodos convencionales era completamente satisfactorio.

15 En el método descrito en el Documento de patente 1 y el Documento de patente 2, debido a la adición de Ti, Nb, o elemento similar que es esencial, los problemas permanecen desde el punto de vista de la conservación de recursos.

20 En el método descrito en el Documento de patente 3, como se muestra por los ejemplos, para obtener una estructura que tiene granos finos tal como una estructura que comprende granos de ferrita con un diámetro medio de grano de menos de 3.5 μm , es necesario hacer el tiempo de estabilización térmica en el momento del recocido un tiempo breve de como mucho alrededor de 10 segundos. Se muestran en él los ejemplos en los que el tiempo de estabilización térmica en el momento del recocido es de 30 segundos o 200 segundos, pero el diámetro medio de grano después del recocido se convierte en 3.8 μm o 4.4 μm , lo que indica que tiene lugar un crecimiento de grano abrupto. Para incrementar la estabilidad de fabricación de una lámina de acero, se ha considerado normalmente necesario que el tiempo de estabilización térmica en una etapa de recocido sea por lo menos varias decenas de segundos. Por lo tanto, con el método descrito en el Documento de patente 3, es difícil de obtener tanto la estabilidad de fabricación como una estructura extremadamente fina de menos de 3.5 μm .

25 De manera similar, el método descrito en el Documento de Patente 4 limita el tiempo de estabilización térmica durante el recocido a como mucho 2 segundos. De este modo, se hace necesario llevar a cabo el recocido en un tiempo extremadamente corto y tiene los mismos problemas que el método descrito en el Documento de patente 3.

30 Un método que emplea enfriamiento rápido inmediato descrito en el Documento de Patente 5 es excelente como un medio para refinar la microestructura de una lámina de acero laminado en frío. Sin embargo, el diámetro de grano de ferrita de una lámina de acero laminado en frío es aproximadamente igual o mayor en 1 - 3 μm que el diámetro de grano de ferrita de una lámina de acero laminado en caliente que es el material de partida. Por lo tanto, hay un límite para refinar la microestructura de una lámina de acero laminado en frío.

35 El objetivo de la presente invención es resolver los problemas anteriormente descritos de la técnica anterior con respecto a una lámina de acero laminado en frío que tiene una estructura refinada. Más específicamente, el objetivo de la presente invención es proporcionar una lámina de acero laminado en frío que tiene una estructura fina incluso si no se añade Ti, Nb, o similares e incluso si el tiempo de estabilización térmica de recocido se hace suficiente largo para obtener un material estable y que tiene un diámetro de grano de ferrita o que es igual o mayor que el diámetro de grano de ferrita de una lámina de acero laminado en caliente y un procedimiento para la fabricación de tal lámina de acero laminado en frío.

40 Los presentes inventores realizaron investigaciones detalladas con el objetivo de resolver los problemas descritos anteriormente.

45 En primer lugar, investigaron la causa de por qué el diámetro de grano de ferrita de la lámina de acero laminado en frío descrita en el Documento de patente 5, que es excelente como medio para refinar la microestructura de una lámina de acero laminado en frío, es aproximadamente igual o 1 - 3 μm mayor que el diámetro de grano de ferrita de una lámina de acero laminado en caliente, y obtuvieron el siguiente conocimiento (a) - (c).

50 (a) El método descrito en el Documento de Patente 5 se basa en el concepto técnico de que cuando el laminado en frío y el recocido se llevan a cabo en una lámina de acero laminado en caliente que se obtiene mediante el método de enfriamiento rápido inmediato y que tiene una estructura de grano fino térmicamente estable que tiene un gran número de bordes de grado de alto ángulo, un gran número de núcleos de recristalización se forman en los bordes de grano de la lámina de acero laminado en caliente, refinando por ello la estructura después del laminado en frío y recocido.

(b) Sin embargo, la velocidad de crecimiento de grano de los granos recristalizados que crecen a partir de núcleos de recristalización que se forman en los bordes de grano de una lámina de acero laminado en caliente en el momento del recocido se incrementa notablemente a medida que se refina la estructura de una lámina de acero laminado en caliente.

5 (c) El efecto de refinar la estructura de una lámina de acero laminado en frío por el método descrito en el Documento de patente 5 se disminuye por el crecimiento de grano activo descrito anteriormente de los granos recristalizados, y el diámetro de grano de ferrita de una lámina de acero laminado en frío termina siendo casi igual o 1 - 3 μm más grande que el diámetro de grano de ferrita de una lámina de acero laminado en caliente.

10 Por consiguiente, los presentes inventores investigaron cómo suprimir el crecimiento de grano activo de granos recristalizados y adquirieron el siguiente nuevo conocimiento (d) - (i).

15 (d) Cuando se efectúa el laminado en frío seguido de recocido en una lámina de acero laminado en caliente que tiene una estructura fina, llevando a cabo recocido mediante un calentamiento rápido para llegar a una temperatura a la que la ferrita y austenita coexisten antes de que la recristalización de ferrita (que tiene una textura deformada debido al laminado en frío) es completa, se obtiene una estructura fina que tiene un diámetro de grano de ferrita que es igual o menor que el diámetro de grano de ferrita de la lámina de acero laminado en caliente.

20 (e) Esto es debido a que el recocido por calentamiento rápido hace que se forme una gran cantidad de granos de austenita refinada de localizaciones que eran bordes de grano de alto ángulo de la lámina de acero laminado en caliente (bordes de grano anteriores) en un estado en el que queda ferrita no recristalizada. Debido a la presencia de la gran cantidad de granos de austenita refinada, se suprime el crecimiento de granos de ferrita recristalizada más allá de los bordes de grano anteriores de la lámina de acero laminado en caliente.

25 (f) Refinando la estructura de una lámina de acero laminado en caliente, es posible refinar la estructura en el tiempo de recocido después del laminado en frío. Sin embargo, cuanto más refinada la estructura de una lámina de acero laminado en caliente, más se incrementa la velocidad de crecimiento de grano de granos recristalizados. Por lo tanto, para obtener una estructura refinada después de recocido, es necesario realizar el recocido por calentamiento rápido a una velocidad de incremento de temperatura incrementada adicionalmente.

30 (g) Usando este mecanismo de supresión del crecimiento de grano, incluso si el tiempo de estabilización térmica durante el recocido se extiende a, por ejemplo, de 30 segundos a varios cientos de segundos, se suprime el crecimiento de grano, y se mantiene una estructura fina. Como resultado, las variaciones de propiedades del material causadas por variaciones de las condiciones de fabricación tales como la velocidad de movimiento de la línea, se pueden suprimir, y se puede obtener una lámina de acero laminado en frío que tiene propiedades estables del material.

35 (h) Una lámina de acero laminado en frío que se fabrica mediante tal procedimiento de fabricación tiene una textura que se caracteriza por el hecho de que la intensidad media de rayos X para las orientaciones {111} <145>, {111} <123>, y {554} <225> a una profundidad de 1/2 del grosor de la lámina es por lo menos 4.0 veces la intensidad media de rayos X de una estructura al azar que no tiene una textura. Una lámina de acero laminado en frío que tiene tal textura tiene buen rebordeado por estirado (conformabilidad de expansión de orificios).

(i) Es suficiente que una lámina laminada en caliente que se somete a laminado en frío tenga una estructura fina, pero es preferible que tenga excelente estabilidad térmica.

La presente invención que está basada en estos nuevos hallazgos es la siguiente:

40 (1) Una lámina de acero laminado en frío caracterizada por tener:

una composición química que comprende, en % en masa C: 0.01 - 0.3%, Si: 0.01 - 2.0%, Mn: 0.5 - 3.5%, P: como mucho 0.1%, S: como mucho 0.05%, Nb : 0 - 0.03% , Ti : 0 - 0.06%, V: 0 - 0.3%, Al sol.: 0 - 2.0%, Cr: 0 - 1.0%, Mo: 0 - 0.3%, B: 0 - 0.003%, Ca: 0 - 0.003%, REM: 0 - 0.003%, y un resto de Fe e impurezas;

45 una microestructura que tiene una fase principal de ferrita que comprende por lo menos 50% de área y una segunda fase que contiene un total de por lo menos 10% de área de una fase de transformación a baja temperatura que incluye una o más de martensita, bainita, perlita y cementita y 0 - 3% de área de austenita retenida, y que satisface las siguientes ecuaciones (1) - (3); y

50 una textura en la que la intensidad media de rayos X para las orientaciones {111} <145>, {111} <123> y {554} <225> a una profundidad de 1/2 del grosor de la lámina es por lo menos 4.0 veces la intensidad media de rayos X de una estructura al azar que no tiene una textura:

$$d_m < 2.7 + 10000/(5+300 \times C + 50 \times Mn + 4000 \times Nb + 2000 \times Ti + 400 \times V)^2 \dots (1)$$

$$d_m < 4.0 \dots (2)$$

$$d_s \leq 1.5 \quad \dots \quad (3)$$

en las que

C, Mn, Nb, Ti y V indican los contenidos (% en masa) de los elementos respectivos,

d_m es el diámetro medio de grano (μm) de ferrita definido por un borde de grano de alto ángulo que tiene un ángulo de inclinación de por lo menos 15° , y

d_s es el diámetro medio de grano (μm) de la segunda fase,

y en las que

cuando la lámina de acero tiene una resistencia a la tracción de menos de 800 MPa, se satisface la siguiente Ecuación (8), y cuando la lámina de acero tiene una resistencia a la tracción de por lo menos 800 MPa, se satisface la siguiente Ecuación (9):

$$3 \times \text{TS} \times \text{El} + \text{TS} \times \lambda > 105000 \quad \dots \quad (8),$$

$$3 \times \text{TS} \times \text{El} + \text{TS} \times \lambda > 85000 \quad \dots \quad (9),$$

en las que TS es la resistencia a la tracción (MPa), El es la elongación total, medida como la elongación en la rotura (%), y λ es el porcentaje de expansión del orificio (%) definido en JFS T 1001-1996 de los Japan Iron and Steel Federation Standards.

2. Una lámina de acero laminado en frío como se describe anteriormente en (1), en la que la composición química contiene, en porcentaje en masa, uno o más elementos seleccionados de Nb: por lo menos 0.003%, Ti: por lo menos 0.005% y V: por lo menos 0.01 %, y la microestructura satisface la siguiente ecuación (4):

$$d_m < 3.5 \quad \dots \quad (4)$$

en la que d_m es como se define anteriormente.

3. Una lámina de acero laminado en frío como se describe anteriormente en (1) o (2) en la que la composición química contiene, en porcentaje en masa, Al sol.: por lo menos 0.1%.

4. Una lámina de acero laminado en frío como se describe anteriormente en cualquiera de (1) – (3), en la que la composición química contiene, en porcentaje en masa, uno o más elementos seleccionados de Cr: por lo menos 0.03%, Mo: por lo menos 0.01%, y B: por lo menos 0.0005%.

5. Una lámina de acero laminado en frío como se describe anteriormente en cualquiera de (1) – (4), en la que la composición química contiene, en porcentaje en masa, uno o dos elementos seleccionados de Ca: por lo menos 0.0005% y REM: por lo menos 0.0005%.

6. Una lámina de acero laminado en frío como se describe anteriormente en cualquiera de (1) – (5) que tiene una capa de chapado en la superficie de la lámina de acero.

7. Un procedimiento para fabricar una lámina de acero laminado en frío que se caracteriza por comprender las siguientes etapas (A) y (B):

(A) una etapa de laminado en frío en la que una lámina de acero laminado en caliente que tiene una composición química como se describe anteriormente en cualquiera de (1) – (5) y que tiene una microestructura que satisface las siguientes ecuaciones (5) y (6) se somete a laminado en frío para obtener una lámina de acero laminado en frío, y

(B) una etapa de recocido en la que la lámina de acero laminado en frío obtenida en la etapa (A) se somete a recocido incrementando la temperatura de la lámina de acero hasta un intervalo de temperatura de por lo menos (punto $A_{e1} + 10^\circ\text{C}$) hasta como mucho ($0.95 \times$ punto $A_{e3} + 0.05 \times$ punto A_{e1}) a una velocidad de incremento de temperatura de por lo menos 50°C/s y como mucho 1500°C/s en condiciones tales que la proporción de ferrita no recristalizada es por lo menos 30% de área cuando se alcanza la temperatura (punto $A_{e1} + 10^\circ\text{C}$) y a continuación manteniendo la lámina de acero en este intervalo de temperatura durante por lo menos 30 segundos y menos de 10 minutos:

$$d < 2.5 + 6000 / (5 + 350 \times C + 40 \times \text{Mn})^2 \quad \dots \quad (5)$$

$$d < 3.5 \quad \dots \quad (6)$$

en las que,

C y Mn son los contenidos de los elementos respectivos (porcentaje de masa); y

d es el diámetro medio de grano (μm) de ferrita definido por un borde de grano de alto ángulo que tiene un ángulo de inclinación de por lo menos 15° ,

5 en el que la lámina de acero laminado en caliente se obtiene mediante una etapa de laminado en caliente que comprende realizar el laminado en caliente con una temperatura al finalizar el laminado de por lo menos el punto Ar_3 en una plancha que tiene la composición química descrita anteriormente y a continuación realizar el enfriamiento hasta un intervalo de temperatura de 750°C o menor a una velocidad media de enfriamiento de por lo menos 400°C por segundo 0.4 segundos después de la finalización el laminado.

10 8. Un procedimiento para fabricar una lámina de acero laminado en frío como se describe anteriormente en (7), que incluye además una etapa de aplicar un chapado sobre la lámina de acero laminado en frío después de la etapa (B).

En esta descripción, la principal fase quiere decir la fase o estructura que tiene el mayor porcentaje de volumen (en la presente invención, el porcentaje de volumen en realidad se evaluada mediante el porcentaje de área en una sección transversal), y una segunda fase quiere decir una fase o estructura distinta de la fase principal

15 La ferrita incluye ferrita poligonal y ferrita bainítica. Una fase de transformación a baja temperatura (una fase formada por transformación a baja temperatura) incluye martensita, bainita, perlita y cementita. La martensita incluye martensita templada, y la bainita incluye bainita templada.

20 Una lámina de acero laminado en frío según la presente invención tiene una estructura que se refina en el mismo nivel o más en comparación con la lámina de acero laminado en caliente usada como material de partida. Por lo tanto, tiene excelente trabajabilidad, mientras tiene una alta resistencia, y es apropiada como lámina de acero para automóviles. Además, no requiere la adición de una gran cantidad de metales raros tales como Nb o Ti, que es ventajoso desde el punto de vista de la conservación de recursos. Dado que esta lámina de acero laminado en frío se fabrica por un procedimiento según la presente invención que no hace el tiempo de recocido una corta longitud de tiempo, tiene propiedades estables del material.

25 **Breve explicación de los dibujos**

La Figura 1 es un gráfico que muestra la relación entre el diámetro medio de grano de una lámina de acero laminado en frío y la velocidad de incremento de temperatura para láminas de acero laminado en frío hechas de acero de tipo A, B y C que se usaron en los ejemplos y que se recoció por calentamiento a 750°C a varias velocidades de incremento de temperatura y a continuación manteniéndolas a esa temperatura durante 60 segundos.

30 La Figura 2 es un gráfico que muestra la relación entre la resistencia a la tracción de una lámina de acero laminado en frío y la velocidad de incremento de temperatura para láminas de acero laminado en frío hechas de acero de tipos B y C que se usaron en los ejemplos y que se recoció por calentamiento a 750°C a varias velocidades de incremento de temperatura y manteniéndolas durante 60 segundos a esa temperatura, mostrando el eje de ordenadas el incremento del porcentaje de resistencia a la tracción en comparación a cuando la velocidad de incremento de temperatura era 10°C por segundo.

35 La Figura 3 es un gráfico que muestra la relación entre el valor de $\text{TS} \times \text{EL}$ (resistencia a la tracción multiplicada por la elongación total) y el tiempo de estabilización durante el recocido de acero B que se usó en los ejemplos y que se recoció por calentamiento a de 750°C a 500°C por segundo y a continuación estabilizando térmicamente (manteniendo la temperatura) durante de 15 segundos a 300 segundos seguido de enfriamiento a temperatura ambiente a 50°C por segundo.

40 **Modos de llevar a cabo la invención**

A continuación, se describirá una lámina de acero laminado en frío según la presente invención y un procedimiento para la fabricación de la misma. En la siguiente explicación, el porcentaje con respecto a la composición química quiere decir porcentaje en masa.

45 1. Lámina de acero laminado en frío

1.1 - Composición química

C: 0.01 - 0.3%

50 El C tiene el efecto de incrementar la resistencia del acero. Además, tiene el efecto de refinar la microestructura durante una etapa de laminado en caliente y una etapa de recocido. A saber, el C tiene el efecto de bajar el punto de transformación. Por lo tanto, durante una etapa de laminado en caliente, hace posible completar el laminado en caliente en un intervalo más bajo de temperatura, haciendo posible por ello refinar la microestructura de una lámina de acero laminado en caliente. En una etapa de recocido, debido al efecto del C por el que la recristalización de ferrita se suprime en el curso del incremento de temperatura, se facilita llegar a un intervalo de temperatura de por lo

ES 2 765 674 T3

menos (punto $Ae_1 + 10^\circ C$) por calentamiento rápido, mientras se mantiene un estado con un alto porcentaje de ferrita no recristalizada. Como resultado, se hace posible refinar la microestructura de una lámina de acero laminado en frío. Si el contenido de C es menos de 0.01%, es difícil obtener los efectos anteriormente descritos. En consecuencia, el contenido de C se hace por lo menos 0.01%. Es preferentemente por lo menos 0.03% y más preferentemente por lo menos 0.05%. Si el contenido de C excede de 0.3%, hay una marcada disminución de la trabajabilidad y soldabilidad. En consecuencia, el contenido de C se hace como mucho 0.3%. Preferentemente es como mucho 0.2% y más preferentemente como mucho 0.15%.

Si: 0.01 - 2.0%

El Si tiene el efecto de incrementar la ductilidad y resistencia del acero. Además, cuando se añade junto con Mn, promueve la formación de una segunda fase dura tal como martensita (una fase que es más dura que la ferrita que forma la principal fase), y tiene el efecto de incrementar la resistencia del acero. Si el contenido de Si es menor de 0.01%, es difícil obtener los efectos anteriormente descritos. En consecuencia, el contenido de Si se hace por lo menos 0.01%. Preferentemente es por lo menos 0.03% y más preferentemente por lo menos 0.05%. Por otra parte, si el contenido de Si excede de 2.0%, se forman óxidos en la superficie del acero durante el laminado en caliente o el recocido y el estado de la superficie a veces empeora. En consecuencia, el contenido de Si se hace como mucho 2.0%. Preferentemente es como mucho 1.5% y más preferentemente como mucho 0.5%.

Mn: 0.5 - 3.5%

El Mn tiene el efecto de incrementar la resistencia del acero. Además, tiene el efecto de disminuir la temperatura de transformación. Como resultado, durante una etapa de recocido, se facilita llegar a un intervalo de temperatura de por lo menos (punto $Ae_1 + 10^\circ C$) por calentamiento rápido, mientras se mantiene un estado con un alto porcentaje de ferrita no recristalizada, y se hace posible refinar la microestructura de una lámina de acero laminado en frío. Si el contenido de Mn es menos de 0.5%, se hace difícil obtener los efectos anteriormente descritos. En consecuencia, el contenido de Mn se hace por lo menos 0.5%. Preferentemente es por lo menos 0.7% y más preferentemente por lo menos 1%. Sin embargo, si el contenido de Mn excede de 3.5%, la transformación de ferrita se retrasa excesivamente, y puede que no sea posible garantizar el deseado porcentaje de área de ferrita. En consecuencia, el contenido de Mn se hace como mucho 3.5%. Preferentemente es como mucho 3.0% y más preferentemente como mucho 2.8%.

P: como mucho 0.1%

El P, que está contenido como impureza, tiene la acción de fragilizar el material por segregación en los bordes de grano. Si el contenido de P excede del 0.1%, la fragilidad debida a la acción anterior se vuelve notable. En consecuencia, el contenido de P se hace como mucho 0.1%. Preferentemente es en como mucho 0.06%. El contenido de P es preferentemente tan bajo como sea posible, de modo que no es necesario establecer un límite inferior para el mismo. Desde el punto de vista de los costes, es preferentemente por lo menos 0.001%.

S: como mucho 0.05%

El S, que está contenido como impureza, tiene la acción de reducir la ductilidad del acero por la formación de inclusiones de tipo sulfuro en el acero. Si el contenido de S excede de 0.05%, puede haber una notable disminución de la ductilidad debido a la acción anteriormente descrita. En consecuencia, el contenido de S se hace como mucho 0.05%. Es preferentemente como mucho 0.008% y más preferentemente como mucho 0.003%. El contenido de S es preferentemente tan bajo como sea posible, de modo que no es necesario establecer un límite inferior para el mismo. Desde el punto de vista de los costes, que es preferentemente por lo menos 0.001%.

Nb: 0 - 0.03%, Ti: 0 - 0.06%, V: 0 - 0.3%

Nb, Ti, y V precipitan en acero como carburos o nitruros, y durante el enfriamiento en una etapa de recocido, suprimen la transformación de austenita a ferrita y tienen por ello el efecto de incrementar el porcentaje de área de una segunda fase dura e incrementar la resistencia del acero. En consecuencia, uno o más de estos elementos puede estar contenido en la composición química del acero. Sin embargo, si los contenidos de estos elementos exceden de los límites superiores anteriormente descritos, hay a veces una notable disminución de la ductilidad. En consecuencia, el contenido de cada elemento es como se indica anteriormente. El contenido de Ti es preferentemente como mucho 0.03%. El contenido total de Nb y Ti es preferentemente como mucho 0.06% y más preferentemente como mucho 0.03%. Los contenidos de Nb, Ti, y V preferentemente satisfacen la siguiente Ecuación (7). Para obtener los efectos anteriormente descritos con mayor certeza, los contenidos preferentemente satisfacen uno cualquier de Nb: por lo menos 0.003%, Ti: por lo menos 0.005%, y V: por lo menos 0.01%.

$$(Nb + 0.5 \times Ti + 0.01 \times V) \leq 0.02 \quad \dots \quad (7)$$

en la que Nb, Ti, y V son los contenidos (porcentaje en masa) de los respectivos elementos.

Al sol.: 0 - 2.0%

El Al tiene el efecto de incrementar la ductilidad. En consecuencia, el Al puede estar contenido en la composición de acero. Sin embargo, el Al tiene la acción de incrementar el punto de transformación. Si el contenido de Al sol. excede de 2.0%, se hace necesario completar el laminado en caliente a un intervalo de temperatura más alta. Como resultado, se hace difícil refinar la estructura de una lámina de acero laminado en caliente y por lo tanto se hace difícil refinar la estructura de una lámina de acero laminado en frío. Además, la colada continua a veces se vuelve difícil. En consecuencia, el contenido de Al sol. es como mucho 2.0%. Para obtener el efecto anteriormente descrito de Al con mayor certeza, el contenido de Al sol. es preferentemente por lo menos 0.1%.

Cr: 0 - 1.0%, Mo: 0 - 0.3%, B: 0 - 0.003%

Cr, Mo y B tienen el efecto de incrementar la resistencia del acero incrementando la templabilidad del acero y promoviendo la formación de una fase de transformación a baja temperatura. Por consiguiente, uno o más de estos elementos pueden estar contenidos en la composición de acero. Sin embargo, si los contenidos de estos elementos exceden de los límites superiores descritos anteriormente, hay casos en los que la transformación de ferrita está excesivamente suprimida y no es posible garantizar el deseado porcentaje de área de ferrita. En consecuencia, los contenidos de estos elementos son como se establece anteriormente. El contenido de Mo es preferentemente como mucho 0.2%. Para obtener los efectos anteriormente descritos con mayor certeza, los contenidos preferentemente satisfacen uno cualquier de Cr: por lo menos 0.03%, Mo: por lo menos 0.01%, y B: por lo menos 0.0005%.

Ca: 0 - 0.003%, REM: 0 - 0.003%

Ca y REM tienen el efecto de refinar los óxidos y nitruros que precipitan durante la solidificación del acero fundido e incrementar por ello la solidez de una plancha. En consecuencia, cada uno de estos elementos pueden estar contenidos. Sin embargo, cada uno de estos elementos es caro, de modo que el contenido de cada elemento se hace como mucho 0.003%. El contenido total de estos elementos es preferentemente como mucho 0.005%. Para obtener los efectos anteriormente descritos con mayor certeza, el contenido de cualquier elemento es preferentemente por lo menos 0.0005%. REM indica el total de 17 elementos que incluyen Sc, Y y lantánidos. Los lantánidos se añaden industrialmente en la forma de un metal mish. El contenido de REM en la presente invención quiere decir el contenido total de estos elementos.

1.2 - Microestructura y textura

Fase principal: ferrita que está presente en una proporción de por lo menos 50% de área y que satisface las Ecuaciones (1) y (2) anteriores.

Al hacer la fase principal de ferrita que es blanda, es posible incrementar la ductilidad de una lámina de acero laminado en frío. Además, al hacer la fase principal de ferrita fina de modo que el diámetro medio de grano d_m de ferrita que se define por un borde de grano de alto ángulo con un ángulo de inclinación de por lo menos 15° satisface las Ecuaciones (1) y (2) anteriores, la formación y desarrollo de finas grietas en el momento de trabajo de una lámina de acero se suprime, y el rebordeado por estirado de la lámina de acero laminado en caliente se incrementa. Además, la resistencia del acero se incrementa por fortalecimiento por refinado de grano. La Ecuación (1) anteriormente descrita es un índice que representa el grado de refinado de ferrita teniendo en consideración los efectos de C, Mn, Nb, Ti, y V en el refinado de la estructura.

Si el porcentaje de área de ferrita es menos de 50%, se hace difícil garantizar una excelente ductilidad. En consecuencia, el porcentaje de área de ferrita se hace por lo menos 50%. El porcentaje de área de ferrita es preferentemente por lo menos 60% y más preferentemente por lo menos 70%.

Si el diámetro medio de grano d_m de ferrita no satisface por lo menos una de las Ecuaciones (1) y (2) anteriores, la fase principal no es suficientemente fina. Como resultado, se hace difícil garantizar un excelente rebordeado por estirado, y el efecto de incrementar la resistencia por fortalecimiento por refinado de grano no se obtiene suficientemente. Por consiguiente, se hace que el diámetro medio de grano d_m de ferrita satisfaga las Ecuaciones (1) y (2) anteriores.

El diámetro medio de grano de ferrita que está rodeado por un borde de grano de alto (grande) ángulo (inclinación) que tiene un ángulo de inclinación de por lo menos 15° se usa como un índice porque un borde de grano de ángulo pequeño con un ángulo de inclinación de menos de 15° tiene una pequeña diferencia de orientación entre granos adyacentes, y el efecto de acumular dislocaciones es pequeño, lo que conduce a una pequeña contribución al incremento de resistencia. A continuación, el diámetro medio de grano de ferrita definido por un borde de grano de alto ángulo con un ángulo de inclinación de por lo menos 15° se denomina simplemente diámetro medio de grano de ferrita.

Cuando el acero tiene una composición química que contiene uno o más elementos seleccionados de Nb: por lo menos 0.003%, Ti: por lo menos 0.005% y V: por lo menos 0.01%, el diámetro medio de grano d_m de ferrita satisface preferentemente la anteriormente descrita Ecuación (4).

Segunda Fase: Que contiene por lo menos 10% de área de una fase de transformación a baja temperatura que incluye martensita, bainita, perlita, y cementita y 0 - 3% de área de austenita retenida, y que satisface la Ecuación (3)

anterior.

5 Cuando la segunda fase contiene una fase dura o estructura que se forma por una transformación a baja temperatura, tal como martensita, bainita, perlita, y cementita, se hace posible incrementar la resistencia del acero. Además, la austenita retenida tiene la acción de rebajar la flangeability por estirado de una lámina de acero. Por lo tanto, es posible garantizar excelente flangeability por estirado limitando el porcentaje de área de austenita retenida. Además, refinando la segunda fase para satisfacer la Ecuación (3) anterior, se suprime la formación y desarrollo de finas grietas durante el trabajo de una lámina de acero y se incrementa el rebordeado por estirado de la lámina de acero. La resistencia del acero también se incrementa mediante el fortalecimiento por refinado de grano.

10 Si el porcentaje total de área de una fase de transformación a baja temperatura que incluye martensita, bainita, perlita, y cementita es menos de 10%, es difícil garantizar una alta resistencia. En consecuencia, el porcentaje total de área de una fase de transformación a baja temperatura se hace por lo menos 10%. No es necesario que la fase de transformación a baja temperatura contenga toda la martensita, bainita, perlita, y cementita, y es suficiente que contenga por lo menos una de estas fases.

15 Si el porcentaje de área de austenita retenida excede de 3%, es difícil de garantizar excelente rebordeado por estirado. En consecuencia, el porcentaje de área de austenita retenida se hace 0 - 3%. Preferentemente es como mucho 2%.

20 Si el diámetro medio de grano d_s de la segunda fase no satisface la Ecuación (3) anterior, la segunda fase no es suficientemente fina, y se hace difícil garantizar excelente rebordeado por estirado. Además, un efecto del incremento de la resistencia del acero por fortalecimiento por refinado de grano no se obtiene suficientemente. Por consiguiente, se hace que el diámetro medio de grano d_s de la segunda fase satisfaga la Ecuación (3) anterior.

25 Como se explica con mayor detalle en los ejemplos, el diámetro medio de grano de ferrita, que es la fase principal, se determina usando un SEM-EBSD para aquellos granos de ferrita que están rodeados por un borde de grano de alto ángulo que tiene un ángulo de inclinación de por lo menos 15°. El SEM-EBSD es un método para llevar a cabo la medida de la orientación de una diminuta región por difracción de electrones por retrodispersión (EBSD) en un microscopio electrónico (SEM). Es posible medir el diámetro medio de grano del mapa de orientación resultante.

El diámetro medio de grano de la segunda fase se puede determinar contando el número de partículas N de la segunda fase por la observación de una sección transversal de una lámina de acero con un SEM y calculando mediante la ecuación: $r = (A / N\pi)^{1/2}$ usando el porcentaje de área A de la segunda fase.

30 El porcentaje de área de la fase principal y el de la segunda fase se pueden medir mediante la observación de una sección transversal con un SEM. El porcentaje de área de la austenita retenida es el mismo que el porcentaje de volumen determinado por difracción de rayos X. Restando el porcentaje de área de austenita retenida que se determina de esta manera del porcentaje de área de la segunda fase, es posible encontrar el porcentaje total de área de la fase de transformación a baja temperatura en la segunda fase.

35 En la presente invención, el diámetro medio de grano anteriormente descrito y el porcentaje de área son los valores medidos a una profundidad de 1/4 del grosor de lámina de la lámina de acero.

Textura: a una profundidad de 1/2 del grosor de la lámina, el promedio de las intensidades de rayos X en las orientaciones $\{111\} \langle 145 \rangle$, $\{111\} \langle 123 \rangle$ y $\{554\} \langle 225 \rangle$ es por lo menos 4.0 veces la intensidad media de rayos X de una estructura al azar que no tiene una textura

40 Incrementando el grado de integración de las orientaciones $\{111\} \langle 145 \rangle$, $\{111\} \langle 123 \rangle$, y $\{554\} \langle 225 \rangle$ a una profundidad de 1/2 del grosor de la lámina de la manera anterior, se incrementa el rebordeado por estirado de la lámina de acero. Si el promedio de las intensidades de rayos X en las orientaciones $\{111\} \langle 145 \rangle$, $\{111\} \langle 123 \rangle$ y $\{554\} \langle 225 \rangle$ es menos de 4.0 veces la intensidad media de rayos X de una estructura aleatoria que no tiene una textura, es difícil garantizar un excelente rebordeado por estirado. En consecuencia, se hace que la lámina laminada en frío tenga la textura descrita anteriormente.

45 La intensidad de los rayos X para una orientación particular se determina mediante una función de distribución de orientación (ODF), que se obtiene mediante el pulido químico de una lámina de acero con ácido fluorhídrico a una profundidad de 1/2 del grosor de la lámina, midiendo una figura polar para cada uno de los planos $\{200\}$, $\{111\}$ y $\{211\}$ de la fase de ferrita en la superficie de la lámina, y analizando los valores medidos de la figura del polo usando el método de expansión en serie.

50 La intensidad de rayos X de una estructura aleatoria que no tiene una textura se determina por una medida como la que se describe anteriormente usando una muestra de polvo del acero.

55 Satisfaciendo la microestructura y la textura anteriormente descritas, se obtiene un alto grado de trabajabilidad que satisface la siguiente Ecuación (8) para una lámina de acero que tiene una resistencia a la tracción (TS) de menos de 800 MPa. Con una lámina de acero que tiene una resistencia a la tracción (TS) de por lo menos 800 MPa, se obtiene un alto grado de trabajabilidad que satisface la siguiente Ecuación (9).

$$3 \times TS \times EI + TS \times \lambda > 105000 \quad \dots \quad (8),$$

$$3 \times TS \times EI + TS \times \lambda > 85000 \quad \dots \quad (9),$$

En las anteriores ecuaciones, TS es la resistencia a la tracción (MPa), EI es la elongación total (elongación en la rotura en %), y λ es el porcentaje de expansión de orificios (%) definido en JFS T 1001 - 1996 de Japan Iron and Steel Federation Standards.

1.3 Capa de chapado

Con el objetivo de mejorar la resistencia a la corrosión y similares, se puede proporcionar una capa de chapado sobre la superficie de la anteriormente descrita lámina de acero laminado en frío para obtener un lámina de acero tratada en superficie. La capa de chapado puede ser una capa electrochapada o una capa chapada por inmersión en caliente. Los ejemplos de un electrochapado son el electrolgalvanizado y el electrochapado con aleación de Zn-Ni. Los ejemplos de un chapado por inmersión en caliente son galvanizado por inmersión en caliente, galvanorecocado, chapado de aluminio por inmersión en caliente, chapado de Zn-Al por inmersión en caliente, chapado de aleación de Zn-Al-Mg por inmersión en caliente, y chapado de aleación de Zn-Al-Mg-Si por inmersión en caliente. El peso del chapado no está limitado, y puede ser un valor usual. También es posible formar un revestimiento de tratamiento de conversión química apropiado sobre la superficie chapada (tal como uno formado por la aplicación de una disolución de conversión química libre de cromo basada en silicato seguido de secado) para mejorar adicionalmente la resistencia a la corrosión. También es posible cubrir el chapado con un revestimiento de resina orgánica.

2. Procedimiento para fabricar una lámina de acero laminado en frío.

2.1 - Composición química

La composición química es como se describe anteriormente en 1.1.

2.2 - Etapa de laminado en frío

Sometiendo una lámina de acero laminado en caliente que tiene una estructura fina en la que hay un gran número de bordes de grano de alto ángulo para satisfacer las Ecuaciones (5) y (6) anteriores a recocado por calentamiento rápido seguido de laminado en frío, se forma una gran cantidad de austenita fina de las localizaciones que eran bordes de grano de alto ángulo de la lámina de acero laminado en caliente en un estado en el que queda ferrita no recristalizada. Debido a que la gran cantidad de granos de austenita fina frena que los granos de ferrita recristalizada crezcan cruzando los anteriores bordes de grano de la lámina de acero laminado en caliente, es posible obtener una lámina de acero laminado en frío que tiene una estructura fina.

Cuando el diámetro medio de grano d de ferrita definido por el borde de grano de alto ángulo en una lámina de acero laminado en caliente que se somete a laminado en frío no satisface las Ecuaciones (5) o (6) anteriores, incluso si el recocado después del laminado en frío se realiza por recocado por calentamiento rápido, el número de sitios que forman núcleos es pequeño, y se forman un pequeño número de granos gruesos de austenita a partir de la textura de deformación. El pequeño número de granos gruesos de austenita no contribuye casi nada a suprimir el crecimiento de grano de ferrita recristalizada, y la estructura de la lámina de acero laminado en frío se vuelve gruesa.

En consecuencia, se hace que la estructura de una lámina de acero laminado en caliente que se va a someter a laminado en frío satisfaga las Ecuaciones (5) y (6) anteriores.

En la ecuación (5), el diámetro medio de grano d de ferrita está limitado por los contenidos de C y Mn porque a medida que los contenidos de C y Mn se incrementan, disminuye la ductilidad de una lámina de acero laminado en frío. Por lo tanto, haciendo que la estructura de una lámina de acero laminado en caliente que se somete a laminado en frío sea una estructura más fina, la estructura de la lámina de acero laminado en frío se vuelve más fina y se garantiza una excelente ductilidad.

El diámetro medio de grano d de ferrita en la lámina de acero laminado en caliente es preferentemente tan pequeño como sea posible, y por lo tanto no hay ninguna necesidad particular de especificar un límite inferior, pero normalmente es por lo menos 1.0 μm . De manera similar, con respecto a una lámina de acero laminada en frío, el diámetro medio de grano d_m de ferrita es normalmente por lo menos 1.0 μm .

El laminado en frío se puede llevar a cabo de una manera convencional. No hay límite determinado particular en la reducción en el laminado en frío (reducción por laminado en frío), pero desde los puntos de vista de la promoción de la recristalización durante el recocado y la mejora de la trabajabilidad de una lámina de acero laminado en frío, es preferentemente por lo menos 30%. Desde el punto de vista de la disminución de la carga en el equipo de laminado en frío, es preferentemente como mucho 85%.

Desde el punto de vista de la supresión de la acumulación de excesivas deformaciones en la superficie debido a la

fricción y la prevención del anormal crecimiento de grano en la superficie en el momento del recocido, el laminado en frío se puede llevar a cabo usando aceite lubricante.

2.3 - Etapa de recocido

5 Una lámina de acero laminado en frío que se obtiene mediante la etapa de laminado en frío descrito anteriormente se somete a recocido por calentamiento a un intervalo de temperatura de por lo menos (punto $Ae_1 + 10^\circ C$) a como mucho ($0.95 \times$ punto $Ae_3 + 0.05 \times$ punto Ae_1) en las condiciones en las que el porcentaje de área de ferrita que permanece no recristalizada cuando la temperatura alcanzada (punto $Ae_1 + 10^\circ C$) es por lo menos 30% de área, y a continuación la estabilización en el intervalo de temperatura durante por lo menos 30 segundos.

10 Si la temperatura de recocido es menor que (punto $Ae_1 + 10^\circ C$), no se forma una gran cantidad de granos de austenita para suprimir el crecimiento de los granos recristalizados, y es difícil obtener una lámina de acero laminado en frío que tiene una estructura fina, que es el objetivo de la presente invención. En consecuencia, la temperatura de recocido se hace por lo menos (punto $Ae_1 + 10^\circ C$). Preferentemente es por lo menos (punto $Ae_1 + 30^\circ C$).

15 Por otra parte, si la temperatura de recocido es mayor que ($0.95 \times$ punto $Ae_3 + 0.05 \times$ punto Ae_1), puede ocurrir un crecimiento repentino de granos de austenita, engrosando por ello la estructura final. En particular, dado que el recocido se lleva a cabo durante por lo menos 30 segundos para garantizar la estabilidad de fabricación, el engrosamiento de la estructura progresa fácilmente. En consecuencia, la temperatura de recocido se hace como mucho ($0.95 \times$ punto $Ae_3 + 0.05 \times$ punto Ae_1). Preferentemente es como mucho ($0.8 \times$ punto $Ae_3 + 0.2 \times$ punto Ae_1).

20 El calentamiento a la temperatura de recocido se lleva a cabo mediante calentamiento rápido. Las condiciones de calentamiento en este momento están basadas en los nuevos hallazgos descritos anteriormente. Dado que estos hallazgos se obtienen a partir del resultado del Ejemplo 2 descrito a continuación, este punto se describirá en detalle a continuación.

25 La Figura 1 muestra el diámetro medio de grano d_m de ferrita de una lámina de acero laminado en frío como una función de la velocidad de incremento de temperatura en el momento del recocido para algunas de las láminas de acero laminado en frío de los aceros de tipos A - C mostradas en la Tabla 5. Como se muestra en la Figura 1, a medida que la velocidad de incremento de temperatura se hace más alta, el diámetro medio de grano de ferrita de una lámina de acero laminado en frío disminuye. Como se indica anteriormente, a medida que el diámetro medio de grano de ferrita de una lámina de acero laminado en frío disminuye, la resistencia a la tracción de la lámina de acero se incrementa.

30 Con relación a esto, la Figura 2 muestra la relación entre el incremento de porcentaje en la resistencia a la tracción con relación a la resistencia a la tracción cuando la velocidad de incremento de temperatura era $10^\circ C$ por segundo y la velocidad de incremento de temperatura en el momento del recocido. Como se muestra en la Figura 2, si la velocidad de incremento de temperatura es por lo menos $50^\circ C$ por segundo, se consigue establemente un incremento de la resistencia a la tracción de por lo menos 2%. Es decir, si la velocidad de incremento de temperatura es de $50^\circ C$ por segundo, se puede conseguir establemente el efecto atribuido a un incremento en la velocidad de incremento de temperatura.

35 Cuanto más alta sea la velocidad de incremento de temperatura en el momento del recocido de una lámina de acero laminado en frío, más alta será la proporción de ferrita que permanece no recristalizada (el porcentaje de ferrita no recristalizada) cuando se llega a la temperatura de recocido. Como resultado de una investigación con respecto a la relación entre la velocidad de incremento de temperatura y el porcentaje de ferrita no recristalizada a una temperatura de (punto $Ae_1 + 10^\circ C$), se encontró que el porcentaje de ferrita no recristalizada era por lo menos 30% de área cuando la velocidad de incremento de temperatura era por lo menos $50^\circ C$ por segundo. En otras palabras, al elevar la temperatura al intervalo de temperatura de recocido descrito anteriormente en tales condiciones que el porcentaje de ferrita no recristalizada a una temperatura de (punto $Ae_1 + 10^\circ C$) es por lo menos 30% de área, se puede obtener establemente el efecto de refinado de la estructura formada por la realización del laminado en frío y subsiguiente recocido por calentamiento rápido en una lámina de acero laminado en caliente que tiene una estructura fina.

40 En consecuencia, una lámina de acero laminado en frío obtenida por la etapa de laminado en frío descrita anteriormente se calienta a un intervalo de temperatura para recocido que es por lo menos (punto $Ae_1 + 10^\circ C$) mediante calentamiento rápido que satisface las condiciones que el porcentaje de ferrita no recristalizada a una temperatura de (punto $Ae_1 + 10^\circ C$) es por lo menos 30% de área. No hay ningún límite superior particular en el porcentaje de ferrita no recristalizada en este momento. Si el porcentaje de ferrita no recristalizada cuando alcanza una temperatura de (punto $Ae_1 + 10^\circ C$) es menos de 30%, es difícil obtener establemente el efecto de refinar la estructura cuando el laminado en frío y el recocido por calentamiento rápido se llevan a cabo en una lámina de acero laminado en caliente que tiene una estructura fina. Es suficiente llevar a cabo recocido por calentamiento rápido hasta que la temperatura llega a (punto $Ae_1 + 10^\circ C$) a la que la ferrita y la austenita comienzan a coexistir, y después de esta temperatura, el calentamiento puede ser un calentamiento lento o la estabilización de temperatura isotérmica.

55 Dado que la velocidad de incremento de temperatura es un medio de ajuste del porcentaje de ferrita no

recristalizada a la temperatura de (punto $Ae_1 + 10^\circ C$), es por lo menos $50^\circ C$ por segundo, más preferentemente por lo menos $80^\circ C$ por segundo, particular y preferentemente por lo menos $150^\circ C$ por segundo, y lo más preferentemente por lo menos $300^\circ C$ por segundo. El límite superior de la velocidad de incremento de temperatura, desde el punto de vista de controlar la temperatura de recocido, es como mucho $1500^\circ C$ por segundo.

5 El calentamiento rápido descrito anteriormente puede comenzar desde una temperatura antes de alcanzar la temperatura de inicio de recristalización. Específicamente, si la temperatura para el inicio del ablandamiento que se mide en una velocidad de incremento de temperatura de $10^\circ C$ por segundo es T_s , es suficiente comenzar el calentamiento rápido desde ($T_s - 30^\circ C$). En realidad, es suficiente comenzar el calentamiento rápido desde $600^\circ C$, y la velocidad de incremento de temperatura antes de alcanzar esta temperatura puede ser cualquier valor deseado.
10 Incluso si el calentamiento rápido se inicia desde temperatura ambiente, no tiene un efecto adverso sobre la lámina de acero laminado en frío después del recocido.

15 No hay ningún límite particular en un método de calentamiento con tal de que se pueda conseguir la velocidad de incremento de temperatura necesaria. Es preferible usar calentamiento por resistencia o calentamiento por inducción, pero con tal de que se satisfagan las condiciones de incremento de temperatura descritas anteriormente, también es posible usar calentamiento por un tubo radiante. Usando tal dispositivo de calentamiento, el tiempo para calentar una lámina de acero disminuye enormemente, y es posible hacer equipo de recocido más compacto, por lo que se pueden esperar efectos tales como una disminución en la inversión en equipo. También es posible añadir un dispositivo de calentamiento a una línea de recocido continua existente o una línea de chapado por inmersión en caliente.

20 Cuando la temperatura de recocido es un intervalo de temperatura de por lo menos (punto $Ae_1 + 10^\circ C$) a como mucho ($0.95 \times$ punto $Ae_3 + 0.05 \times$ punto Ae_1), si el tiempo de recocido es inferior a 30 segundos, la recristalización no es completa, y la mayoría de los bordes de grano en la estructura están constituidos por bordes de grano de ángulo pequeño con un ángulo de inclinación de como mucho 15° o se produce un estado en el que permanecen las dislocaciones que se introducen por laminado en frío. En este caso, la trabajabilidad de una lámina de acero laminado en frío disminuye notablemente. En consecuencia, para promover suficientemente la recristalización, el tiempo de recocido se hace por lo menos 30 segundos. Preferentemente es por lo menos 45 segundos y más preferentemente por lo menos de 60 segundos.

25 Desde el punto de vista de suprimir el engrosamiento de los granos de ferrita recristalizada con mayor certeza, el tiempo de recocido se hace menos de 10 minutos.

30 La Figura 3 muestra el cambio en el valor de $TS \times EI$ como una función del tiempo de estabilización térmica para recocido cuando una lámina de acero laminado en frío hecha de acero de tipo B del Ejemplo 2 mostrada en la Tabla 5 se recoció por calentamiento a $750^\circ C$ a una velocidad de incremento de temperatura de $500^\circ C$ por segundo y a continuación estabilización térmica durante 15 - 300 segundos. De este resultado, se puede ver que incluso si una lámina de acero laminado en frío según la presente invención tiene un tiempo de recocido prolongado de alrededor de 300 segundos, se suprime el crecimiento de grano y se obtienen propiedades estables del material. Por otra parte, si el tiempo de recocido es menos de 30 segundos, la estructura de la lámina de acero no completa la recristalización, y aún progresa un incremento en el diámetro de grano, o la transformación de fase no llega a un estado de equilibrio permaneciendo la transformación de estructura en un estado intermedio. Como resultado, la trabajabilidad (elongación) es pobre, y en la operación real, se hace difícil obtener establemente una estructura uniforme.
35
40

El enfriamiento después del recocido se puede llevar a cabo a una velocidad de enfriamiento deseada, y controlando la velocidad de enfriamiento, es posible precipitar una segunda fase, tal como perlita, bainita, o martensita en el acero. El método de enfriamiento puede ser cualquier método deseado. Por ejemplo, es posible enfriar con un gas, una niebla o agua. Después de enfriar desde la temperatura de recocido hasta una temperatura apropiada, se puede realizar un tratamiento térmico excesivo mediante recalentamiento suplementario, si es necesario, y manteniendo a una temperatura de por lo menos $200^\circ C$ y como mucho $600^\circ C$. Alternativamente, después de enfriar la lámina de acero recocido a una temperatura apropiada, se puede someter a tratamiento de superficie tal como chapado. Específicamente, una lámina de acero que se ha sometido a recocido puede ser sometida a galvanizado por inmersión en caliente, galvarecocado (galvanizado por inmersión en caliente seguido de recocido para aleación), o electrogalvanizado para obtener una lámina de acero galvanizado (chapado con cinc).
45
50

2.3 - Etapa de laminado en caliente

Una lámina de acero laminado en caliente que se somete a laminado en frío tiene una microestructura que satisface las condiciones indicadas en la sección de laminado en frío, es decir, tiene la anteriormente descrita composición química y una microestructura que satisface las Ecuaciones (5) y (6) anteriores. La lámina de acero laminado en caliente que se usa preferentemente tiene una excelente estabilidad térmica. La lámina de acero laminado en caliente se fabrica mediante una etapa de laminado en caliente en la que una plancha que tiene la composición química anteriormente descrita se somete a laminado en caliente, siendo completado el laminado en el punto Ar_3 o superior, y a continuación, 0.4 segundos después de la finalización del laminado se enfría a un intervalo de temperatura de como mucho $750^\circ C$ a una velocidad media de enfriamiento de por lo menos $400^\circ C$ por segundo.
55

ES 2 765 674 T3

- 5 Empleado tal etapa de laminado en caliente, las deformaciones que se han introducido en la austenita durante el laminado se puede prevenir que se consuman por recuperación y recristalización tanto como sea posible. Como resultado, la energía de deformación acumulada en el acero se puede usar en la máxima medida como fuerza conductora para la transformación de austenita a ferrita, dando como resultado la formación de una cantidad incrementada de núcleos de transformación de austenita a ferrita, refinando por ello la estructura de la lámina de acero laminado en caliente e impartiendo excelente estabilidad térmica a la estructura.
- Al someter una lámina de acero laminado en caliente que se fabrica de esta manera a laminado en frío y a continuación al recocido descrito anteriormente, el refinado de una lámina de acero laminado en frío se puede conseguir efectivamente.
- 10 Desde el punto de vista de la productividad, una plancha que se somete a laminado en caliente se fabrica preferentemente por colada continua. La plancha se puede usar en un estado de alta temperatura después de la colada continua, o se puede enfriar primero a temperatura ambiente y a continuación recalentar. Desde los puntos de vista de la reducción de la carga en el equipo de laminado y garantizar fácilmente la temperatura en la finalización del laminado, la temperatura de la plancha que se somete a laminado en caliente es preferentemente por lo menos 1000°C. Desde el punto de vista de la supresión de una disminución del rendimiento debido a la pérdida de escala, la temperatura de una plancha que se somete a laminado en caliente es preferentemente como mucho 1400°C.
- 15 El laminado en caliente se lleva a cabo preferentemente usando un tren reversible o un tren en tándem. Desde el punto de vista de la productividad industrial, es preferible usar un tren en tándem en por lo menos el último número de rodillos.
- 20 Durante el laminado, debido a que es necesario mantener la lámina de acero en un intervalo de temperatura de austenita, la temperatura en la finalización del laminado se hace por lo menos el punto Ar_3 . Para suprimir tanto como sea posible la recuperación térmica de las deformaciones de trabajo que se introducen en austenita, la temperatura en la finalización del laminado está preferentemente justo por encima del punto Ar_3 y es específicamente como mucho (punto $Ar_3 + 50^\circ C$).
- 25 La reducción de laminado en laminado en caliente es preferentemente tal que el porcentaje de reducción en el grosor de lámina cuando la temperatura de la plancha está en el intervalo de temperatura desde el punto Ar_3 hasta el (punto $Ar_3 + 100^\circ C$) es por lo menos 40%. El porcentaje de reducción en el grosor en este intervalo de temperatura es más preferentemente por lo menos 60%.
- 30 No es necesario llevar a cabo el laminado en una pasada, y el laminado se puede llevar a cabo mediante una pluralidad de pasadas secuenciales. El incremento de la reducción por laminado es preferible porque puede introducir una gran cantidad de energía de deformación en la austenita, incrementando por ello mucho más la fuerza de conducción para la transformación de ferrita y el refinado de ferrita. Sin embargo, al hacerlo así se incrementa la carga en el equipo de laminado, de modo que el límite superior de la reducción por laminado por pasada es preferentemente 60%.
- 35 Como se indica anteriormente, el enfriamiento después de la finalización del laminado se lleva a cabo preferentemente por enfriamiento a un intervalo de temperatura de 750°C o inferior a una velocidad media de enfriamiento de por lo menos 400°C por segundo 0.4 segundos después de la finalización del laminado.
- 40 Es más preferible acortar adicionalmente el tiempo requerido para el enfriamiento desde de la finalización del laminado a 750°C o menos, incrementar adicionalmente la velocidad de enfriamiento, y enfriar a una temperatura más baja dado que puede refinar mucho más la estructura de la lámina de acero laminado en caliente. Específicamente, el tiempo para enfriar desde la finalización del laminado hasta un intervalo de temperatura de 750°C o inferior se hace preferentemente como mucho 0.2 segundos. La velocidad media de enfriamiento en el momento de enfriamiento 0.4 segundos después de la finalización del laminado a un intervalo de temperatura de 750°C o inferior se hace preferentemente por lo menos 600°C por segundo y es particular y preferentemente por lo menos 800°C por segundo. El enfriamiento 0.4 segundos después de la finalización del laminado a un intervalo de temperatura de 720°C o inferior a una velocidad media de enfriamiento de por lo menos 400°C es aún más preferible. El intervalo de temperatura para el enfriamiento es preferentemente por lo menos el punto M_s . El método de enfriamiento es preferentemente enfriamiento por agua.
- 45 Después de llevar a cabo el enfriamiento descrito anteriormente, la lámina de acero se puede mantener a una temperatura de 600-720°C durante un periodo de tiempo deseado para permitir que siga la transformación de ferrita y controlar el porcentaje de área de ferrita en la estructura. Para formar suficientemente granos equiaxiales de ferrita en la lámina de acero laminado en caliente, es preferible mantener la lámina de acero durante por lo menos 3 segundos a una temperatura de 600-720°C.
- 50 A continuación, hasta que se enrolla la lámina de acero, se puede llevar a cabo el enfriamiento a una velocidad de enfriamiento deseada mediante enfriamiento por agua, enfriamiento por niebla, o enfriamiento por gas. La lámina de acero se puede enrollar a una temperatura deseada.
- 55 La estructura de la lámina de acero laminado en caliente que se somete a laminado en frío preferentemente tiene

ferrita como fase principal, y puede contener por lo menos una fase dura seleccionada de perlita, bainita, y martensita como una segunda fase.

2.5 - Chapado

5 Con el objetivo de mejorar la resistencia a la corrosión y similares, se puede realizar una capa de chapado como la descrita anteriormente sobre la superficie de la lámina de acero laminado en frío que se obtiene por el procedimiento de fabricación descrito anteriormente para formar una lámina de acero tratada en superficie. El chapado se puede llevar a cabo de una manera convencional. Después del chapado, se puede llevar a cabo un tratamiento de conversión química apropiado.

Ejemplo 1

10 Este ejemplo ilustra láminas de acero laminado en frío según la presente invención.

15 Se prepararon lingotes de acero de tipos AA - AN que tienen las composiciones químicas mostradas en la Tabla 1 por fusión en un horno de inducción a vacío. La Tabla 1 muestra el punto Ae_1 y el punto Ae_3 de cada tipo de acero. Estas temperaturas de transformación se determinaron a partir de un gráfico de expansión térmica medido cuando una lámina de acero que se laminó en frío en las condiciones de fabricación descritas a continuación se calentó a 1000°C a una velocidad de incremento de temperatura de 5°C por segundo. La Tabla 1 también muestra los valores de $(\text{punto } Ae_1 + 10^\circ\text{C})$ y $(0.05Ae_1 + 0.95Ae_3)$ y los valores calculados de los lados derechos de las Ecuaciones (1) y (5) descritas anteriormente.

El lado derecho de la Ecuación (1) = $2.7 + 10000/(5 + 300xC + 50xMn + 4000xNb + 2000xTi + 400xV)^2$.

El lado derecho de la Ecuación (5) = $2.5 + 6000/(5 + 350xC + 40xMn)^2$

20

Tabla 1

Tipo de acero	Composición química (% en masa)													Ae ₁ (°C)	Ae ₂ (°C)	Ae ₁ +10 (°C)	0.95Ae ₂ +0.05Ae ₁ (°C)
	C	Si	Mn	P	S	Ti	Nb	sol. Al	Otros	(1)	(5)						
AA	0.108	0.05	1.48	0.005	0.001	-	-	-	-	-	3.506	3.077	703	838	713	831.25	
AB	0.102	0.05	1.27	0.005	0.001	-	-	0.3Cr	-	-	3.718	3.217	698	841	708	833.85	
AC	0.148	0.05	0.78	0.015	0.002	-	-	-	-	-	3.98	3.275	707	845	717	838.1	
AD	0.059	0.51	2.51	0.01	0.001	-	0.010	-	-	-	2.982	2.878	701	821	711	815	
AE	0.038	0.51	2.49	0.01	0.001	-	-	-	0.0022Ca	-	3.204	2.932	695	835	705	828	
AF	0.059	0.5	1.98	0.013	0.002	-	0.010	-	0.2Mo	-	3.082	3.046	703	827	713	820.8	
AG	0.068	0.04	<u>0.37</u>	0.017	0.002	-	-	-	-	-	7.889	5.656	715	872	725	864.15	
AH	0.082	1.47	3.15	0.004	0.001	0.03	-	-	-	-	2.872	2.757	712	872	722	864	
AI	0.073	0.51	2.78	0.004	0.001	-	0.003	-	0.1V	-	2.913	2.802	701	845	711	837.8	
AJ	0.077	0.50	2.78	0.004	0.001	-	-	-	0.1V	-	2.933	2.793	695	839	705	831.8	
AK	0.059	0.50	3.34	0.004	0.001	-	0.009	0.492	-	-	2.896	2.737	702	882	712	873	
AL	0.078	0.51	2.95	0.002	0.001	-	<u>0.052</u>	-	-	-	2.768	2.766	712	880	722	871.6	
AM	0.081	0.49	2.88	0.002	0.001	-	0.010	-	0.0019REM	-	2.92	2.772	704	872	714	863.6	
AN	0.121	0.51	1.92	0.006	0.001	0.015	-	-	0.0009B	-	3.057	2.889	702	852	712	844.5	

El subrayado indica valores fuera del rango de la presente invención

5 Los lingotes resultantes se sometieron a forjado en caliente, y a continuación se cortaron en la forma de planchas para someterlas a laminado en caliente. Estas planchas se calentaron durante aproximadamente una hora a una temperatura de por lo menos 1000°C, y a continuación se llevaron a cabo laminado en caliente y enfriamiento usando un pequeño tren de ensayo con la temperatura a la finalización del laminado, el tiempo de enfriamiento desde la finalización del laminado a 750°C, la velocidad de enfriamiento (enfriamiento por agua), y la temperatura de bobinado mostrada en la Tabla 2 para fabricar láminas de acero laminado en caliente que tienen un grosor de 1.5 - 3.0 mm.

10 El diámetro medio de grano d de ferrita en cada lámina de acero laminado en caliente se muestra en la Tabla 2. El diámetro de grano de ferrita en una lámina de acero laminado en caliente se midió en una sección transversal en una dirección a lo ancho a una profundidad de $1/4$ del grosor de la lámina de acero usando un aparato SEM-EBSD (modelo JSM-7001F fabricado por JEOL Ltd.) y se determinó mediante el análisis de los granos definidos por los bordes de grano de alto ángulo que tienen un ángulo de inclinación de por lo menos 15° .

15 Las láminas de acero laminado en caliente resultantes se decaparon con una disolución de ácido clorhídrico y se sometieron a laminado en frío con la reducción por laminado en frío que se muestra en la Tabla 2 (cada una por lo menos 30%) para reducir el grosor de lámina de las láminas de acero a 0.6 mm - 1.0 mm , y a continuación, se llevó a cabo el recocido de las mismas con la velocidad de calentamiento (velocidad de incremento de temperatura), temperatura de recocido (temperatura de estabilización térmica), y tiempo de estabilización para el recocido (tiempo de estabilización térmica) mostrados en la Tabla 2 usando un aparato de recocido a escala de laboratorio para obtener láminas de acero laminado en frío. El enfriamiento después de la estabilización térmica se llevó a cabo con helio gaseoso.

20

Tabla 2

Lámina de acero No.	Tipo de acero	Condiciones de laminado en caliente				d (µm)	Condiciones de laminado en frío/recocido			
		Temp. en la finalización	Tiempo de enfriamiento ¹⁾ (s)	Velocidad de enfriamiento por agua (°C/s)	Temp. de enfriamiento (°C)		Reducción por laminado en frío (%)	Velocidad de calentamiento (°C/s)	Temp. de recocido (°C)	Tiempo de retención para recocido (s)
A1	AA	840	0.070	1300	RT	2.0	60	<u>10</u>	800	30
A2	AA	840	0.070	1300	RT	2.0	60	300	800	30
A3	AA	840	0.070	1300	RT	2.0	60	300	740	30
A4	AB	840	0.070	1300	RT	1.9	60	<u>10</u>	800	30
A5	AB	840	0.070	1300	RT	1.9	60	100	800	30
A6	AC	850	0.123	885	RT	2.1	50	<u>10</u>	800	60
A7	AC	850	0.123	885	RT	2.1	50	100	800	60
A8	AC	860	<u>8.000</u>	<u>130</u>	RT	<u>6.4</u>	50	<u>10</u>	800	60
A9	AC	860	<u>8.000</u>	<u>130</u>	RT	<u>6.4</u>	50	500	800	60
A10	AD	810	0.065	930	RT	2.3	55	500	800	30
A11	AE	810	0.065	930	550	1.9	55	<u>10</u>	800	30
A12	AE	810	0.065	930	550	1.9	55	500	800	30
A13	AF	810	0.065	930	RT	2.5	55	<u>10</u>	800	60
A14	AF	810	0.065	930	RT	2.5	55	500	800	60
A15	<u>AG</u>	850	0.123	885	RT	3.2	50	<u>10</u>	800	60
A16	<u>AG</u>	850	0.123	885	RT	3.2	50	100	800	60
A17	AH	820	0.076	920	RT	1.8	55	<u>10</u>	820	30
A18	AH	820	0.076	920	RT	1.8	55	100	820	30
A19	AI	810	0.072	840	RT	2.1	55	<u>10</u>	800	30
A20	AI	810	0.072	840	RT	2.1	55	500	800	30
A21	AJ	810	0.072	840	RT	2.3	55	<u>10</u>	800	30
A22	AJ	810	0.072	840	RT	2.3	55	500	800	30
A23	AK	810	0.072	840	RT	2.0	55	<u>10</u>	800	30
A24	AK	810	0.072	840	RT	2.0	55	500	800	30
A25	AK	810	0.072	840	550	2.0	55	<u>10</u>	800	30
A26	AK	810	0.072	840	550	2.0	55	500	800	30
A27	<u>AL</u>	810	0.072	840	550	2.2	55	<u>10</u>	760	30
A28	<u>AL</u>	810	0.072	840	550	2.2	55	500	760	30
A29	AM	810	0.072	840	RT	2.2	55	<u>10</u>	800	30
A30	AM	810	0.072	840	RT	2.2	55	500	800	30
A31	AN	820	0.084	840	RT	2.1	55	<u>10</u>	780	30
A32	AN	820	0.084	840	RT	2.1	55	500	780	30

El subrayado indica valores fuera del intervalo de la presente invención.

RT = temperatura ambiente

¹⁾ Tiempo de enfriamiento desde la finalización del laminado hasta 750°C

La microestructura y las propiedades mecánicas de las láminas de acero laminado en frío que se fabricaron de esta manera se investigaron como sigue.

- 5 El diámetro medio de grano d_m de ferrita de las láminas de acero laminado en frío se determinó de la misma manera que se describe con respecto a las láminas de acero laminado en caliente mediante el análisis de la estructura de una sección transversal en la dirección a lo ancho a una profundidad de 1/4 del grosor de una lámina de acero usando un aparato de SEM-EBSD. El diámetro medio de grano d_s de la segunda fase se determinó mediante el cálculo de la ecuación: $r = (A/N\pi)^{1/2}$ del número de granos N de la segunda fase y el área A de la segunda fase medida en la estructura de una sección transversal en dirección a lo ancho a una profundidad de 1/4 del grosor de una lámina de acero.
- 10 El porcentaje de área de ferrita y el porcentaje de área de la segunda fase que era una fase distinta de ferrita se determinaron por el método de recuento de puntos en una microfotografía SEM toma en dirección a lo ancho de una sección transversal a una profundidad de 1/4 del grosor de la lámina de acero. El porcentaje de volumen de la fase de austenita se determinó por difracción de rayos X, y este valor se tomó como el porcentaje de área de austenita retenida (y retenida). Restando este porcentaje de área del porcentaje de área descrito anteriormente de la segunda fase, se determinó el porcentaje de área de la fase de transformación a baja temperatura que era la segunda fase dura. Esta fase de transformación a baja temperatura contenía por lo menos una de martensita, bainita, perlita y cementita.
- 15 La medida de la textura de las láminas de acero laminado en frío se llevó a cabo por difracción de rayos X en un plano a una profundidad de 1/2 del grosor de la lámina de acero. El valor medio de las intensidades de rayos X en tres orientaciones, es decir, $\{111\} \langle 145 \rangle$, $\{111\} \langle 123 \rangle$, y $\{554\} \langle 225 \rangle$ se determinó usando ODF (función de distribución de orientación) que se obtuvo por el análisis de los resultados medidos de las figuras de polo de $\{200\}$, $\{110\}$ y $\{211\}$ de ferrita. Por separado, la intensidad media de rayos X de una estructura aleatoria que no tiene una textura se determinó por difracción de rayos X de un acero en polvo. Se calcula la relación de las intensidades medias de rayos X en las anteriormente descritas tres orientaciones a la intensidad media de rayos X de la estructura aleatoria, y esta relación se hizo la intensidad media de rayos X. El aparato que se usó era un RINT-2500HL/PC fabricado por Rigaku Corporation.
- 20 Las propiedades mecánicas de la lámina de acero laminado en frío después del recocido se investigaron mediante un ensayo de tracción y un ensayo de expansión de orificios. El ensayo de tracción se llevó a cabo usando una pieza de ensayo de tracción ASTM de tamaño medio, y se determinaron el límite elástico, la resistencia a la tracción (TS) y el alargamiento en la rotura (elongación total El). El ensayo de expansión de orificios se llevó a cabo mediante la expansión de un orificio con un diámetro perforado d_0 de 10 mm usando un punzón cónico que tiene un ángulo máximo de 60°, y el porcentaje de expansión del orificio λ (%) se determinó a partir del diámetro de orificio d_1 en el momento en el que se forma una grieta en la superficie del borde del orificio perforado que llega a ambas superficies de la lámina como $\lambda = (d_1 - d_0) / d_0 \times 100$.
- 25 La Tabla 3 muestra los resultados de la investigación de la estructura y las propiedades mecánicas de las láminas de acero laminado en frío. El cumplimiento de las Ecuaciones (1) - (4) se muestra por la marca \circ (cumplimiento de todas las ecuaciones) o \times (falta de cumplimiento de por lo menos una ecuación).
- 30
- 35

Tabla 3

Lámina de acero	Estructura de la lámina de acero laminado en frío					Propiedades de la lámina de acero laminado en frío **										Cumplimiento de las situaciones (1)-(4)	Categoría
	% de áreas de ferrita	% de área de fase de transformación de baja temperatura	% en volumen de γ retenida	d_m (μm)	d_s (μm)	Intensidad media de rayos X *	YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	λ (%)	TS x El (MPa x %)	TS x λ (MPa x %)					
A1	83	17	0	3,6	1,7	3,9	446,0	541,5	24,6	105,2	13321	56966	x	Comparativa			
A2	83	17	0	2,9	0,7	4,3	474,0	558,5	25,9	114,4	14409	63892	o	Invencción			
A3	83	17	0	2,1	0,4	4,6	550,5	595,0	22,8	109,2	13586	64974	o	Invencción			
A4	87	13	0	3,8	2,1	3,5	452,0	553,0	23,1	106,6	12774	58950	x	Comparativa			
A5	87	13	0	2,9	0,8	4,5	488,0	573,0	24,0	112,3	13752	64348	o	Invencción			
A6	86	14	0	4,8	1,6	3,5	372,0	458,5	37,0	114,0	16985	52269	x	Comparativa			
A7	87	13	0	3,4	0,9	4,3	404,5	480,0	37,2	123,7	17856	59376	o	Invencción			
A8	85	15	0	7,3	2,3	2,5	374,5	459,5	36,0	112,5	16542	51694	x	Comparativa			
A9	86	14	0	6,9	2,1	2,6	392,0	466,5	34,8	110,1	16234	51362	x	Comparativa			
A10	81	19	0	2,5	0,9	4,6	474,0	715,0	27,6	92,7	19734	68281	o	Invencción			
A11	87	13	0	3,3	1,7	3,5	423,0	610,0	26,5	88,2	16165	53802	x	Comparativa			
A12	87	13	0	2,6	0,8	4,7	438,0	628,0	26,6	95,3	16705	58848	o	Invencción			
A13	78	22	0	3,5	2,1	3,0	449,0	633,0	26,3	73,4	16648	46462	x	Comparativa			
A14	80	20	0	2,5	1,1	4,3	462,0	659,0	26,9	81,2	17727	53511	o	Invencción			
A15	93	7	0	7,4	2,4	2,8	333,0	412,5	39,8	112,0	16418	46200	x	Comparativa			
A16	92	8	0	6,4	2,3	4,4	337,5	422,0	39,8	113,2	16796	47770	x	Comparativa			
A17	53	46	1	3,6	1,9	3,2	580,0	949,0	14,8	38,0	14045	36062	x	Comparativa			
A18	54	45	1	2,5	0,9	4,9	597,0	981,0	17,1	44,1	16775	43262	o	Invencción			
A19	68	30	2	3,3	1,6	3,4	741,0	888,0	15,4	48,0	13675	42624	x	Comparativa			
A20	71	27	2	2,4	0,7	5,0	738,5	891,5	17,5	55,1	15566	49122	o	Invencción			
A21	71	27	2	3,5	1,7	3,6	758,5	895,0	14,8	49,5	13246	44303	x	Comparativa			
A22	73	25	2	2,4	0,9	4,9	758,5	905,5	15,6	68,0	14126	52519	o	Invencción			
A23	62	37	1	3,1	1,7	3,2	735,5	851,0	15,8	40,3	13446	34295	x	Comparativa			
A24	66	33	1	2,2	1,0	4,9	724,5	874,0	17,3	47,2	16120	41263	o	Invencción			
A25	53	45	2	3,0	1,8	2,4	701,0	890,0	15,4	45,3	13706	40317	x	Comparativa			
A26	53	45	2	2,2	1,1	5,3	673,5	887,0	16,2	51,0	14369	45237	o	Invencción			
A27	43	56	1	2,7	1,8	3,8	666,5	1006,0	13,2	25,0	13279	25150	x	Comparativa			
A28	47	52	1	2,4	1,1	4,7	684,5	1027,5	12,0	22,8	12330	23427	o	Comparativa			
A29	76	22	2	3,6	1,9	3,2	608,5	893,5	15,4	47,0	13760	41995	x	Comparativa			
A30	81	17	2	2,4	0,8	4,8	708,5	915,0	16,4	52,3	15006	47855	o	Invencción			
A31	68	31	1	3,6	1,8	3,1	543,0	812,5	19,8	33,1	16088	26894	x	Comparativa			
A32	65	34	1	2,6	1,1	5,4	598,2	823,1	21,5	41,3	17697	33994	o	Invencción			

* Intensidad media de rayos X en las orientaciones [111]<145>, [111]<123>, y <225>.

** Ys= límite elástico, T=resistencia a la tracción, EL=alargación total, λ =% de expansión de agujeros

5 Las láminas de acero Nos. A1 - A3 fabricadas de acero de tipo AA, con A2 y A3 en las que una lámina de acero laminado en caliente con un diámetro de grano de menos de 3.5 μm se usaron como un material de partida y la velocidad de calentamiento en el momento del recocido era por lo menos 50°C por segundo, se obtuvieron láminas de acero laminado en frío que tienen una microestructura según la presente invención. Por otra parte, con A1, debido a la velocidad de calentamiento en el momento del recocido que era baja, el diámetro de grano de ferrita y el de la segunda fase en la lámina de acero laminado en frío eran gruesos, y la intensidad media de rayos X en las anteriores orientaciones que es un indicador de una textura era menos de 4. Como resultado, con A2 y A3 que eran ejemplos de la presente invención, se obtuvo un alto grado de trabajabilidad que satisfacía la Ecuación (8) anterior.

10 Se obtuvieron resultados similares para los otros tipos de acero. Basado en si la resistencia a la tracción (TS) era menos de 800 MPa o por lo menos 800 MPa, se obtuvo un alto grado de trabajabilidad que satisfacía la Ecuación (8) o la Ecuación (9). Con A10, A13, A14, A17 - A20, A23 - A26, y A29 - A32 a las que se añadió uno o más de Nb, Ti, y V, cuando la velocidad de calentamiento era por lo menos 50°C por segundo, el diámetro de grano de ferrita satisfacía la Ecuación (4) (menos de 3.5 μm), y se obtuvo una lámina de acero laminado en frío que tiene una microestructura preferida.

15 En contraste, con A8 y A9, debido a las láminas de acero laminado en caliente usadas como material de partida que tenían granos gruesos con un diámetro de grano de 6.4 μm , a pesar de llevar a cabo recocido por un calentamiento rápido, se engrosó la microestructura de las láminas de acero laminado en frío, y el diámetro medio de grano de ferrita y el diámetro medio de grano de la segunda fase, excedían ambos de los límites superiores definidos por la presente invención. Además, la intensidad de rayos X de la textura cayó por debajo de 4.0. Como resultado, las propiedades mecánicas eran insuficientes.

20 A15 y A16 tenían un contenido de Mn de 0.37%, y la lámina de acero laminado en frío tenía granos gruesos porque la supresión del crecimiento de grano durante el recocido no funcionó suficientemente. Como resultado, no se obtuvieron buenas propiedades mecánicas.

25 A27 y A28 tenían un contenido de Nb de 0.052%, y debido a la supresión de la formación de núcleos de recristalización durante el recocido, quedó una textura de deformación en la lámina de acero laminado en frío. El grado en el que permaneció tal textura de deformación se volvió más pronunciado a medida que se incrementó el tiempo de recocido. Como resultado, las propiedades mecánicas de la lámina de acero laminado en frío eran pobres independientemente de la velocidad de calentamiento.

Ejemplo 2

30 Este ejemplo ilustra un procedimiento para la fabricación de una lámina de acero laminado en frío según la presente invención.

35 Se prepararon lingotes de acero de tipos A - K que tienen las composiciones químicas mostradas en la Tabla 4 por fusión en un horno de inducción a vacío. Los lingotes resultantes se forjaron en caliente y a continuación se cortaron en forma de planchas para ser sometidas a laminado en frío. Las planchas se calentaron durante aproximadamente 1 hora a una temperatura de por lo menos 1000°C, a continuación se sometieron a laminado en caliente usando un pequeño tren de ensayo con la temperatura a la terminación del laminado, el tiempo de enfriamiento desde la finalización del laminado hasta 750°C, la velocidad de enfriamiento (enfriamiento por agua), el tiempo de estabilización térmica, y la temperatura a la terminación del enfriamiento rápido mostrados en la Tabla 5, y a continuación se enfriaron a temperatura ambiente para la fabricación de láminas de acero laminado en caliente que tienen un grosor de lámina de 1.5 - 3.0 mm.

40 La Tabla 4 muestra el punto Ae_1 y el punto Ae_3 para cada tipo de acero que se determinó por el método descrito en el Ejemplo 1, el valor de (punto $Ae_1 + 10^\circ\text{C}$), el valor de $(0.05Ae_1 + 0.95Ae_3)$, y los valores calculados de los lados derechos de la Ecuación (1) y la Ecuación (5).

Tabla 4

Tipo de acero	Composición química (% en masa)										Ae ₁ (°C)	Ae ₃ (°C)	Ae ₁ +10 (°C)	0.95Ae ₃ + 0.05Ae ₁ (°C)	Lado derecho de la ecuación	
	C	Si	Mn	P	S	Ti	Nb	Al sol.	Otros	(1)					(5)	
A	0.038	0.51	2.49	0.010	0.001	-	-	0.031			659	812	669	804	3.2	2.9
B	0.096	0.04	1.02	0.017	0.002	-	-	0.016			708	849	718	842	4.1	3.5
C	0.097	0.05	1.95	0.015	0.002	-	-	-			685	833	695	826	3.3	2.9
D	0.149	0.05	1.01	0.015	0.002	-	-	0.015			698	827	708	821	3.7	3.1
E	0.201	0.06	1.00	0.015	0.002	-	-	0.017	Mo:0.15		689	816	699	810	3.5	3.0
F	0.059	0.51	2.49	0.010	0.002	-	0.03	0.034	Ca:0.0021 REM:0.0020		687	825	697	818	2.8	2.9
G	0.059	0.50	2.78	0.016	0.002	-	0.009	0.033	V:0.20		692	829	702	822	2.8	2.8
H	0.118	0.51	2.51	0.010	0.002	-	0.01	0.035	B:0.0016		685	835	695	828	2.9	2.8
I	0.021	0.49	2.50	0.010	0.001	0.02	-	0.036			704	841	714	834	3.0	3.0
J	0.175	0.51	1.98	0.018	0.001	-	-	1.480			711	859	721	852	3.1	2.8
K	<u>0.002</u>	0.05	<u>0.09</u>	0.020	0.001	0.05	0.01	0.030			887	912	897	911	3.1	71.9

El subrayado indica valores fuera del intervalo de la presente invención.

ES 2 765 674 T3

El diámetro medio de grano d de ferrita definido por bordes de grano de alto ángulo que tienen un ángulo de inclinación de por lo menos 15° de cada lámina de acero laminado en caliente, que se determinó de la misma manera que se describe en el Ejemplo 1, se muestra en la Tabla 5.

5 Después de que las láminas de acero laminado en caliente se decaparon con una disolución de ácido clorhídrico, se sometieron a laminado en frío con una de reducción por laminado de por lo menos 30% (mostrada en la Tabla 5) para reducir el grosor de las láminas de acero a 0.6 - 1.4 mm y a continuación, se recocieron usando un aparato de recocido a escala de laboratorio con la velocidad de calentamiento (velocidad de incremento de temperatura), la temperatura de recocido, y el tiempo de recocido mostrados en la Tabla 5 para obtener láminas de acero laminado en frío. El enfriamiento después de la estabilización térmica (recocido) se llevó a cabo de la misma manera que en el Ejemplo 1.

10 La Tabla 5 muestra el porcentaje de ferrita no recristalizada a una temperatura del punto $Ae_1 + 10^\circ C$ (denominado a continuación simplemente porcentaje de ferrita no recristalizada). Este valor se determinó por el siguiente método. Una lámina de acero que se sometió a procesado de laminado en frío según las condiciones de fabricación para cada número de acero se calentó a una temperatura de alrededor del punto $Ae_1 + 10^\circ C$ (error de $\pm 15^\circ C$) a la velocidad de calentamiento mostrada para cada número de acero, y se enfrió inmediatamente por enfriamiento con agua. La estructura se fotomicrografió con un SEM, y por la medida de las fracciones de ferrita recristalizada y ferrita deformada en la fotomicrografía resultante de la estructura, se determinó que el porcentaje de ferrita no recristalizada es igual a la fracción de ferrita deformada. Como se puede ver en la Tabla 5, el porcentaje de ferrita no recristalizada se correlaciona con la velocidad de calentamiento durante el recocido, y cuando la velocidad de calentamiento es de por lo menos $50^\circ C$ por segundo, el porcentaje de ferrita no recristalizada se convierte en por lo menos 40%. En el Ejemplo 1, el porcentaje de ferrita no recristalizada se no midió, pero es cierto que exhibe la misma tendencia que en el Ejemplo 2.

25 El límite elástico, la resistencia a la tracción, y la elongación en la rotura (elongación total) de las láminas de acero laminado en frío que se fabricaron de esta manera se determinaron sometiendo una pieza de ensayo de tracción ASTM de tamaño medio preparada de cada lámina de acero a un ensayo de tracción. La elongación total se evaluó como aceptable si es por lo menos 20%. Dado que la resistencia de una lámina de acero es altamente dependiente de su composición química, se comparó la resistencia de láminas de acero que se fabricaron a partir de los mismos tipos de acero pero por diferentes procedimientos de fabricación, y se evaluaron los procedimientos de fabricación basado en estos resultados. El diámetro medio de grano d_m de ferrita definido por bordes de grano de alto ángulo con una inclinación de ángulo de por lo menos 15° en las láminas de acero laminado en frío después del recocido se determinó de la misma manera que se describe en el Ejemplo 1. Los resultados de la medida se muestran en la tabla 5.

Tabla 5-1

Lámina de acero No.	Tipo de acero	Condiciones de laminado en caliente				Diámetro medio de grano de ferrita d de lámina de acero laminado en caliente(µm)	Condiciones de laminado en frío/recocido				Propiedades de la lámina de acero laminado en frío ³⁾				Categoría		
		Temp. de acabado (°C)	Tiempo de enfriamiento ¹⁾ (s)	Velocidad de enfriamiento (°C/s)	Tiempo de estabilización térmica ²⁾ (s)		Temp. al final del calentamiento rápido (°C)	% de reducción en laminado en frío	Velocidad de calentamiento (°C/s)	% de ferrita no cristalizada aAe+10°C	Temp. (°C)	Tiempo (s)	YS (MPa)	TS (MPa)		EI (%)	d _n
1	A	810	0.07	1030	9.4	660	2.5	60	30	23	750	60	422	659	27.0	3.2	Comparativo
2	A	810	0.07	1030	9.4	660	2.5	60	300	87	750	60	524	697	23.4	2.0	Invencción
3	A	810	0.07	1030	9.4	660	2.5	60	1000	97	750	60	506	703	22.3	1.7	Invencción
4	A	810	0.07	1030	9.4	660	2.5	60	1000	97	720	60	416	710	21.6	1.6	Invencción
5	A	810	0.07	1030	9.4	660	2.5	60	10	8	850	60	430	610	27.4	3.5	Comparativo
6	A	810	0.07	1030	9.4	660	2.5	60	100	87	850	60	454	607	23.0	3.3	Comparativo
7	A	810	0.07	1030	9.4	660	2.5	60	300	97	850	60	474	626	21.6	3.6	Comparativo
8	B	840	0.11	920	9.2	660	2.0	60	10	8	750	60	428	487	32.8	3.7	Comparativo
9	B	840	0.11	920	9.2	660	2.0	60	30	19	750	60	454	497	32.2	3.6	Comparativo
10	B	840	0.11	920	9.2	660	2.0	60	50	46	750	60	460	502	30.7	3.1	Invencción
11	B	840	0.11	920	9.2	660	2.0	60	100	72	750	60	466	499	29.6	2.7	Invencción
12	B	840	0.11	920	9.2	660	2.0	60	500	96	750	60	482	516	28.1	2.4	Invencción
13	B	840	0.11	920	9.2	660	2.0	60	1000	97	750	60	496	528	28.3	2.3	Invencción
14	B	840	0.11	920	9.2	660	2.0	60	500	96	750	15*	530	553	22.3	1.8	Comparativo
15	B	840	0.11	920	9.2	660	2.0	60	500	96	750	200	475	508	29.3	2.5	Invencción
16	B	840	0.11	920	9.2	660	2.0	60	500	96	750	300	468	505	29.8	2.6	Invencción
17	B	840	0.11	920	9.2	660	2.1	60	1000	-	650	60	426	462	30.0	4.1	Comparativo
18	B	840	0.11	920	9.2	660	2.1	60	10	8	850	60	404	482	31.5	4.7	Comparativo
19	B	840	0.11	920	9.2	660	2.1	60	1000	97	850	60	389	481	31.5	4.5	Comparativo
20	B	840	2.0	250	9.5	650	4.5	60	10	12	750	60	429	490	32.7	5.2	Comparativo
21	B	840	2.0	250	9.5	650	4.5	60	500	97	750	60	435	491	30.0	4.5	Comparativo
22	B	880	3.1	200	12	720	6.1	60	100	81	750	60	418	471	30.2	4.9	Comparativo
23	B	880	3.1	200	12	720	6.1	60	1000	96	750	60	409	468	35.0	4.8	Comparativo
24	C	800	0.06	920	9.4	630	2.0	60	10	21	800	60	534	619	25.9	3.8	Comparativo

El subrayado indica valores fuera del intervalo de la presente invención; * indica que el tiempo de retención para recocido fue demasiado corto y la fabricación fue inestable. 1) Tiempo de enfriamiento desde la finalización del laminado hasta 750°C; 2) Tiempo de estabilización en el intervalo de 720°C a 500°C; 3) YS = límite elástico, TS = resistencia a la tracción, EI = alargamiento total

Tabla 5-2

Lámina de acero No.	Tipo de acero	Condiciones de laminado en caliente				Diámetro medio de grano de ferrita d de lámina laminado en caliente(µm)	Condiciones de laminado en frío/recocido				Propiedades de la lámina de acero laminado en frío ³⁾				Categoría		
		Temp. de acabado (°C)	Tiempo de enfriamiento ¹⁾ (s)	Velocidad de enfriamiento (°C/s)	Tiempo de estabilización térmica ²⁾ (s)		Temp. al final del calentamiento rápido (°C)	% de reducción en laminado en frío	Velocidad de calentamiento (°C/s)	% de ferrita no cristalizada aAe1+10°C	Temp. (°C)	Tiempo (s)	YS (MPa)	TS (MPa)		EI (%)	d _m
25	C	800	0.06	920	9.4	630	2.0	60	300	92	800	0	563	681	21.4	1.8	Invencción
26	C	800	0.06	920	9.4	630	2.0	60	1000	98	800	60	571	692	21.1	1.7	Invencción
27	C	850	<u>5.2</u>	<u>100</u>	10.2	700	<u>5.1</u>	60	500	87	800	60	473	611	25.9	3.9	Comparativo
28	D	810	0.07	1130	9.8	640	2.3	60	300	84	750	60	511	552	26.5	2.6	Invencción
29	D	810	0.07	1130	9.8	640	2.3	60	1000	95	750	60		565	26.1	2.3	Invencción
30	D	810	0.07	1130	9.8	640	2.3	60	300	78	<u>850</u>	60	<u>527</u> <u>434</u>	539	26.4	<u>5.2</u>	Comparativo
31	E	810	0.07	1130	9.8	640	2.2	60	<u>10</u>	<u>18</u>	750	60	542	628	21.5	3.7	Comparativo
32	E	810	0.07	1130	9.8	640	2.2	60	1000	96	750	60	602	657	20.9	1.9	Invencción
33	F	810	0.07	1130	9.8	640	2.3	55	<u>10</u>	<u>16</u>	750	60	574	899	19.9	2.5	Comparativo
34	F	810	0.07	1130	9.8	640	2.3	55	500	97	800	60	503	732	23.8	1.7	Invencción
35	G	820	0.100	800	9.20	650	2.2	50	<u>10</u>	<u>24</u>	800	60	511	921	21.5	3.3	Comparativo
36	G	820	0.100	800	9.20	650	2.2	50	300	87	800	60	532	955	21.2	1.8	Invencción
37	H	810	0.075	950	10.00	650	2.1	55	<u>10</u>	<u>23</u>	800	60	582	866	22.1	3.4	Comparativo
38	H	810	0.075	950	10.00	650	2.1	55	500	97	800	60	641	896	20.8	1.7	Invencción
39	I	820	0.09	880	9.5	650	2.9	55	<u>10</u>	<u>22</u>	750	60	332	617	24.4	3.5	Comparativo
40	I	820	0.09	880	9.5	650	2.9	55	100	68	750	60	360	636	25.8	2.6	Invencción
41	I	820	0.09	880	9.5	650	2.9	55	<u>10</u>	<u>22</u>	<u>840</u>	60	421	593	31.6	3.6	Comparativo
42	I	820	0.09	880	9.5	650	2.9	55	500	97	<u>840</u>	60	470	605	29.4	3.5	Comparativo
43	J	910	0.22	740	10.2	680	1.7	53	<u>10</u>	43	800	60	624	848	28.8	3.2	Comparativo
44	J	910	0.22	740	10.2	680	1.7	53	100	89	800	60	582	876	26.8	1.6	Invencción
45	<u>K</u>	910	0.21	780	15	650	<u>11.4</u>	80	<u>10</u>	0	<u>750</u>	30	149	333	45.6	<u>10.6</u>	Comparativo
46	<u>K</u>	910	0.21	780	15	650	<u>11.4</u>	80	500	0	<u>750</u>	30	152	334.5	44.6	<u>8.9</u>	Comparativo
47	<u>K</u>	910	0.21	780	15	650	<u>11.4</u>	80	500	0	<u>940</u>	30	163	282	48.0	<u>49.7</u>	Comparativo

El subrayado indica valores fuera del intervalo de la presente invención; * indica que el tiempo de retención para recocido fue demasiado corto y la fabricación fue inestable. 1) Tiempo de enfriamiento desde la finalización del laminado hasta 750°C; 2) Tiempo de estabilización en el intervalo de 720°C a 500°C; 3) YS = límite elástico, TS = resistencia a la tracción, EI = alargamiento total

5 De las láminas de acero laminado en frío Nos. 1 - 7 que se fabricaron usando acero de tipo A, la resistencia a la tracción tenía un alto valor de 697 - 710 MPa para los Nos. 2 - 4 que se fabricaron según la presente invención. Además, la elongación total excedía del 20% para cada lámina de acero. Por otra parte, para el acero de la lámina de acero No. 1, la velocidad de enfriamiento en el momento del recocido después del laminado en frío era lenta, y el porcentaje de ferrita no recristalizada era menos de 30%. Por esta razón, el diámetro de grano de ferrita era grande, y la resistencia a la tracción disminuyó. Para las láminas de acero Nos. 5 - 7, debido a la temperatura de recocido que era demasiado alta, el diámetro de grano de ferrita no caía dentro del intervalo definido por la presente invención, y la resistencia a la tracción era alrededor de 100 MPa menor que para las láminas de acero 2 - 4.

10 La misma tendencia se observó con láminas de acero laminado en frío fabricadas usando acero de tipo B. Además, para la lámina de acero No. 14 de acero de tipo B, debido a que el tiempo de recocido era demasiado corto, la elongación total era menor que para otras láminas de acero laminado en frío usando el mismo acero de tipo B, e incluso cuando se fabricaron láminas de acero una pluralidad de veces bajo las mismas condiciones como para el No. 14, la fabricación estable no era posible con propiedades que varían desde una localización a otra dentro de la misma lámina de acero. Para la lámina de acero No. 17 de acero de tipo B, debido a la temperatura de recocido después del laminado en frío que era un valor bajo de 650°C, no se formó una cantidad suficiente de austenita, el diámetro de grano de ferrita se convirtió en grande, y a la resistencia a la tracción disminuyó. Para las láminas de
15 acero Nos. 20 - 23 de acero de tipo B, dado que el enfriamiento rápido después del laminado en caliente era insuficiente, la lámina de acero laminado en caliente que se sometió a laminado en frío tenía un gran diámetro de grano de ferrita. Como resultado, el diámetro de grano de ferrita después del laminado en frío se volvió grande, y la
20 resistencia a la tracción disminuyó.

La tendencia descrita anteriormente que se observó con láminas de acero laminado en frío de tipos A y B se observó de manera similar para láminas de acero laminado en frío que fueron fabricadas usando los restantes tipos de acero C - J que tienen una composición química en el intervalo de la presente invención.

25 Para las láminas de acero Nos. 45 - 47 que fueron fabricadas usando acero de tipo K, dado que no tenían una composición química definida por la presente invención, incluso si el laminado en caliente se llevó a cabo por enfriamiento rápido inmediato, el diámetro de grano de ferrita en las láminas de acero laminado en caliente se volvió grande. Como resultado, el diámetro de grano de ferrita en la lámina de acero laminado en frío no se podría refinar variando la temperatura de recocido, y la resistencia a la tracción se volvió extremadamente baja.

REIVINDICACIONES

1. Una lámina de acero laminado en frío caracterizada por tener:

una composición química que comprende, en % en masa, C: 0.01 - 0.3%, Si: 0.01 - 2.0%, Mn: 0.5 - 3.5%, P: como mucho 0.1%, S: como mucho 0.05%, Nb: 0 - 0.03% , Ti: 0 - 0.06%, V: 0 - 0.3%, Al sol.: 0 - 2.0%, Cr: 0 - 1.0%, Mo: 0 - 0.3%, B: 0 - 0.003%, Ca: 0 - 0.003%, REM: 0 - 0.003%, y un resto de Fe e impurezas;

una microestructura que tiene una fase principal de ferrita que comprende por lo menos 50% del área y una segunda fase que contiene un total de por lo menos 10% del área de una fase de transformación a baja temperatura que incluye una o más de martensita, bainita, perlita y cementita y 0 - 3% del área de austenita retenida, y que satisface las siguientes ecuaciones (1)-(3); y

una textura en la que la intensidad media de rayos X para las orientaciones {111} <145>, {111} <123> y {554} <225> a una profundidad de 1/2 del grosor de la lámina es por lo menos 4.0 veces la intensidad media de rayos X de una estructura aleatoria que no tiene textura,

y que satisface las siguientes ecuaciones (1)-(3):

$$d_m < 2.7 + 10000/(5+300 \times C + 50 \times Mn + 4000 \times Nb + 2000 \times Ti + 400 \times V)^2 \dots (1)$$

$$d_m < 4.0 \dots (2)$$

$$d_s \leq 1.5 \dots (3)$$

en las que

C, Mn, Nb, Ti y V indican los contenidos (% en masa) de los elementos respectivos,

d_m es el diámetro medio de grano (μm) de ferrita definido por un borde de grano de alto ángulo que tiene un ángulo de inclinación de por lo menos 15°, y

d_s es el diámetro medio de grano (μm) de la segunda fase,

y en las que

cuando la lámina de acero tiene una resistencia a la tracción de menos de 800 MPa, se satisface la siguiente Ecuación (8), y cuando la lámina de acero tiene una resistencia a la tracción de por lo menos 800 MPa, se satisface la siguiente Ecuación (9):

$$3 \times TS \times El + TS \times \lambda > 105000 \dots (8),$$

$$3 \times TS \times El + TS \times \lambda > 85000 \dots (9),$$

en las que TS es la resistencia a la tracción (MPa), El es la elongación total, medida como la elongación en la rotura (%), y λ es el porcentaje de expansión de orificios (%) definido en JFS T 1001-1996 de los Japan Iron and Steel Federation Standards.

2. Una lámina de acero laminado en frío según la reivindicación 1, en la que la composición química contiene, en porcentaje en masa, uno o más elementos seleccionados de Nb: por lo menos 0.003%, Ti: por lo menos 0.005% y V: por lo menos 0.01 %, y la microestructura satisface la siguiente ecuación (4):

$$d_m < 3.5 \dots (4)$$

en la que d_m es como se define en la reivindicación 1.

3. Una lámina de acero laminado en frío como se describe en la reivindicación 1 o 2, en la que la composición química contiene, en porcentaje en masa, Al sol.: por lo menos 0.1%.

4. Una lámina de acero laminado en frío como se describe en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que la composición química contiene, en porcentaje en masa, uno o más elementos seleccionados de Cr: por lo menos 0.03%, Mo: por lo menos 0.01%, y B: por lo menos 0.0005%.

5. Una lámina de acero laminado en frío como se describe en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en la que la composición química contiene, en porcentaje en masa, uno o dos elementos seleccionados de Ca: por lo menos 0.0005% y REM: por lo menos 0.0005%.

6. Una lámina de acero laminado en frío como se describe en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 que

tiene una capa de chapado sobre la superficie de la lámina de acero.

7. Un procedimiento para fabricar una lámina de acero laminado en frío caracterizado por comprender las siguientes etapas (A) y (B):

5 (A) una etapa de laminado en frío en la que una lámina de acero laminado en caliente que tiene una composición química como se describe en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 y que tiene una microestructura que satisface las siguientes Ecuaciones (5) y (6) se somete a laminado en frío para obtener una lámina de acero laminado en frío, y

10 (B) una etapa de recocido en la que la lámina de acero laminado en frío obtenida en la etapa (A) se somete a recocido incrementando la temperatura de la lámina de acero hasta un intervalo de temperatura de por lo menos (punto $Ae_1 + 10^\circ C$) hasta como mucho $(0.95 \times \text{punto } Ae_3 + 0.05 \times \text{punto } Ae_1)$ a una velocidad de incremento de temperatura de por lo menos $50^\circ C/s$ y como mucho $1500^\circ C/s$ en condiciones tales que la proporción de ferrita no recristalizada sea por lo menos 30% del área cuando se alcanza la temperatura (punto $Ae_1 + 10^\circ C$) y a continuación manteniendo la lámina de acero en este intervalo de temperatura durante por lo menos 30 segundos y menos de 10 minutos:

15
$$d < 2.5 + 6000/(5 + 350 \times C + 40 \times Mn)^2 \quad \dots \quad (5)$$

$$d < 3.5 \quad \dots \quad (6)$$

en las que,

C y Mn son los contenidos de los elementos respectivos (porcentaje de masa); y

20 d es el diámetro medio de grano (μm) de ferrita definido por un borde de grano de alto ángulo que tiene un ángulo de inclinación de por lo menos 15° ,

25 en el que la lámina de acero laminado en caliente se obtiene mediante una etapa de laminado en caliente que comprende realizar el laminado en caliente con una temperatura al finalizar el laminado de por lo menos el punto Ar_3 en una plancha que tiene la composición química descrita anteriormente y a continuación realizar el enfriamiento hasta un intervalo de temperatura de $750^\circ C$ o menor a una velocidad media de enfriamiento de por lo menos $400^\circ C$ por segundo 0.4 segundos después de la finalización del laminado.

8. Un procedimiento para fabricar una lámina de acero laminado en frío como se describe en la reivindicación 7, que además tiene una etapa de llevar a cabo un chapado sobre la lámina de acero laminado en frío después de la etapa (B).

30

Fig. 1

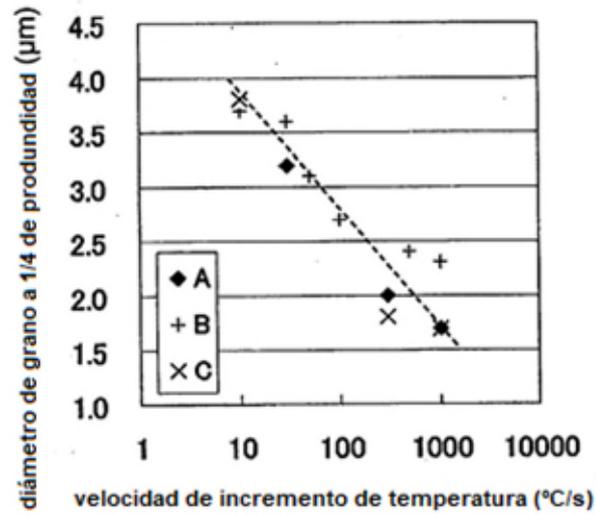


Fig. 2

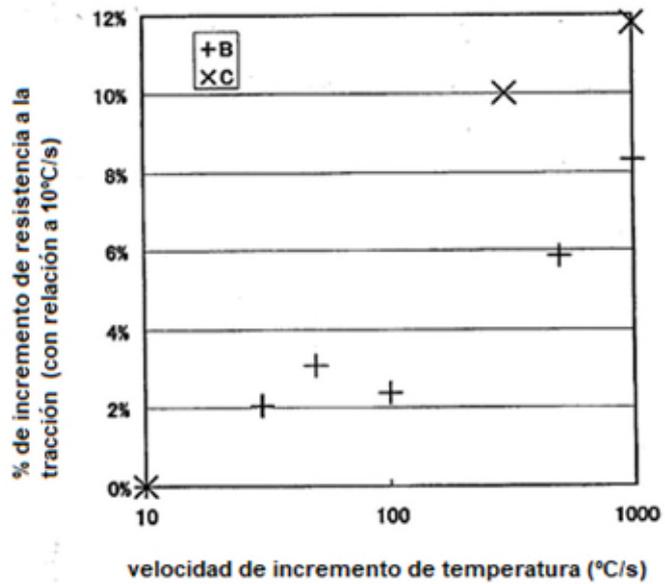


Fig. 3

