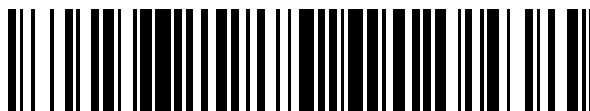


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 711 911**

51 Int. Cl.:

<b>C22C 38/00</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/06</b>	(2006.01)
<b>B21B 3/00</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/04</b>	(2006.01)
<b>C21D 9/46</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/02</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/60</b>	(2006.01)	<b>C21D 8/02</b>	(2006.01)
<b>C23C 2/02</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/38</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/26</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/18</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/14</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/12</b>	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.02.2013 PCT/JP2013/053312**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **29.08.2013 WO13125399**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.02.2013 E 13751364 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.11.2018 EP 2818568**

54 Título: **Chapa de acero laminado en frío y método de fabricación de ésta**

30 Prioridad:

**22.02.2012 JP 2012036474**

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

**08.05.2019**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**HATA, KENGO;  
TOMIDA, TOSHIRO;  
IMAI, NORIO;  
HAGA, JUN y  
NISHIO, TAKUYA**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 711 911 T3

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

**DESCRIPCIÓN**

Chapa de acero laminado en frío y método de fabricación de ésta

**Campo técnico**

5 La presente invención se refiere a una chapa de acero laminado en frío y a un proceso para su fabricación. Más particularmente, la presente invención se refiere a una chapa de acero laminado en frío que tiene excelente aptitud para ser trabajado, además de una alta resistencia, y a un proceso para su fabricación con excelente estabilidad.

**Técnica anterior**

10 Con respecto a las técnicas para mejorar las propiedades mecánicas de las chapas de acero laminado en frío, el siguiente Documento de patente 1 indicado describe una chapa de acero de alta resistencia que tiene ferrita bainítica como fase principal, y que contiene al menos 3 % de austenita de tipo listón y 1 % a (relación de ocupación de área de austenita retenida de tipo listón×1/2) de austenita de tipo bloque, describiéndose la chapa de acero por tener excelente ductilidad y rebordeado por estiramiento. Sin embargo, la austenita de tipo bloque en esta chapa de acero tiene diámetros del grano de aproximadamente 2,2 µm a 20 µm y así es gruesa y, por tanto, se puede considerar que afecta adversamente la conformabilidad de la chapa de acero.

15 El Documento de patente 2 describe un método para realizar el laminado en frío usando una chapa de acero laminado en caliente fabricada por laminado en caliente y luego empezando el enfriamiento en un corto periodo de tiempo después del laminado en caliente. Por ejemplo, el Documento de patente 2 describe que una chapa de acero laminado en caliente que tiene una estructura fina que contiene ferrita que tiene un pequeño diámetro medio del grano como fase principal se fabrica realizando enfriamiento hasta como máximo 720 °C a una velocidad de enfriamiento de al menos 400 °C/s en el plazo de 0,4 segundos después del laminado en caliente y la chapa de acero laminado en caliente se somete a laminado en frío y recocido habituales para fabricar una chapa de acero laminado en frío. En lo sucesivo, el proceso de producción anterior de chapas de acero laminado en caliente también se puede denominar método de enfriamiento intermedio.

**Documentos del estado de la técnica**

25 Documento de patente

Documento de patente 1: JP 2007-321236 A

Documento de patente 2: WO2007/015541 A.

30 El documento EP2258886 describe un método para la fabricación de una chapa de acero galvanizado con alta resistencia con excelente conformabilidad que tiene una microestructura que incluye 20 % o más de fase de ferrita, 10 % o menos (incluyendo 0 %) de fase de martensita y 10 % a 60 % de fase de martensita revenida, basándose en el porcentaje de área, y 3 % a 10 % de fase de austenita retenida basándose en el porcentaje en volumen, y la fase de austenita retenida tiene un tamaño de grano medio de 2,0 µm o menos. El método comprende las etapas de: laminar en caliente un desbaste para formar una chapa de acero; en recocido continuo, calentar la chapa de acero hasta una temperatura en el intervalo de 750 °C a 900 °C a una velocidad media de calentamiento de al menos 10 °C/s en el intervalo de temperatura de 500 °C a un punto de transformación A1, mantener esa temperatura durante al menos 10 segundos, enfriar la chapa de acero desde 750 °C hasta una temperatura en el intervalo de (punto Ms - 100 °C) a (punto Ms - 200 °C) a una velocidad media de enfriamiento de al menos 10 °C/s, recalentar la chapa de acero hasta una temperatura en el intervalo de 350 °C a 600 °C, y mantener esa temperatura durante 10 a 600 segundos; y galvanizar la chapa de acero.

**Compendio de la invención**

40 Según el método descrito en el Documento de patente 2, la estructura se puede refinar sin inclusión de elementos precipitantes y así se puede fabricar una chapa de acero laminado en frío que tiene excelente ductilidad. La chapa de acero laminado en frío fabricada también tiene una estructura fina incluso después del laminado en frío y la recristalización debido a que una chapa de acero laminado en caliente, que es un material de partida de la chapa de acero laminado en frío, tiene una estructura fina. Así, la austenita producida también se vuelve fina y como resultado se puede obtener una chapa de acero laminado en frío que tiene una estructura fina. Sin embargo, puesto que el recocido habitual se realiza después del laminado en frío, la recristalización ocurre en un proceso de calentamiento durante el recocido, y después de finalizar la recristalización, ocurre la transformación de austenita como límites de grano en la estructura después de la función de recristalización como sitios formadores de núcleo. En otras palabras, después de que hayan desaparecido durante el calentamiento en el recocido los sitios formadores de núcleo más preferidos para la transformación de austenita tales como los límites de grano de alto ángulo, los granos de carburo fino y una fase de transformación de baja temperatura que existe en la chapa de acero laminado en caliente, ocurre la transformación de austenita. Por consiguiente, aunque una chapa de acero laminado en frío obtenida por el método descrito en el Documento de patente 2 tenga una estructura fina, el refinado del grano de austenita en un proceso de recocido se basa restringidamente en la estructura después de la recristalización, y así no se puede

obtener fácilmente la estructura fina después del laminado en frío y el recocido aunque la chapa de acero laminado en caliente tenga la estructura fina. En particular, cuando el recocido se lleva a cabo para una región de austenita unifásica, es difícil utilizar la estructura fina de la chapa de acero laminado en caliente para refinar la estructura después del laminado en frío y recocido.

5 Es un objeto de la presente invención proporcionar una chapa de acero laminado en frío que tenga excelente ductilidad y rebordeado por estiramiento, además de una alta resistencia, permitiendo refinar eficazmente una estructura después del laminado en frío y recocido aunque no se añada una gran cantidad de elementos precipitantes, tales como Ti y Nb, que se conocen por ser eficaces para el refinado de la estructura, y un proceso para su fabricación.

10 Los presentes inventores emplearon una estructura de material compuesto que tenía una fase principal de cualquiera o ambas de martensita y bainita, que son fases de transformación de baja temperatura, y se basaron en la supresión del crecimiento de una textura particular, para obtener una estructura para proporcionar excelente ductilidad y rebordeado por estiramiento, además de alta resistencia.

15 Además, generalmente, se refiere a una disminución en el rebordeado por estiramiento (conformabilidad por expansión de agujero) para una estructura que contiene una fase blanda, tal como ferrita, y austenita retenida entremezclada en la misma, y así la investigación se realiza basándose en el concepto de diseño de la calidad del material tal que se minimice dicha disminución en el rebordeado por estiramiento por el refinado de ferrita y/o el control de la forma de austenita retenida.

20 Para obtener dicha estructura, los presentes inventores concibieron el nuevo concepto de promover la transformación austenítica antes de finalizar la recristalización en un proceso de recocido, después del laminado en frío, a diferencia del método de recocido convencional en el que la transformación austenítica se promueve después de finalizar la recristalización, y realizar el recocido en un intervalo adecuado de alta temperatura para la supresión del crecimiento de una textura particular, y ensayo realizado.

Como resultado, los presentes inventores obtuvieron el siguiente nuevo conocimiento.

25 1) En el método de recocido convencional para promover la transformación austenítica después de finalizar la recristalización, puesto que la transformación austenítica ocurre con límites de granos en la estructura después de la recristalización como sitios formadores de núcleos, el refinado de los granos de austenita (granos de austenita previos después del recocido; en lo sucesivo también denominados "granos de austenita previos") en el proceso de recocido recibe una restricción tal que el refinado se basa en la realización de la transformación austenítica a partir de la estructura después de la recristalización.

30 Por otra parte, en el método de recocido para promover la transformación austenítica por calentamiento rápido hasta un intervalo de temperatura en el que se produce austenita antes de finalizar la recristalización, puesto que la transformación austenítica ocurre a partir de límites de granos de alto ángulo, granos de carburo finos y fases de transformación a baja temperatura, que son sitios formadores de núcleos preferidos para la transformación austenítica, en la chapa de acero laminado en caliente, los granos de austenita se refinan espectacularmente durante el proceso de recocido. Como resultado, se refina eficazmente la estructura de la chapa de acero laminado en frío después del recocido.

35 2) En dicho método de recocido para promover la transformación austenítica por calentamiento rápido hasta un intervalo de temperatura en el que se produce austenita antes de finalizar la recristalización, puesto que tiende a retener una estructura de ferrita trabajada, crece una textura particular, como resultado, tienden a reducirse  $\sigma$  y la aptitud para ser trabajado de la chapa de acero.

40 Por otra parte, si el recocido se lleva a cabo en un intervalo adecuado de alta temperatura, se promueven la recristalización y la austenización de la estructura de ferrita trabajada, por lo que mientras que se mantiene la estructura fina, se suprime el crecimiento de la textura particular a propósito del refinado de la estructura para permitir el aseguramiento de excelente ductilidad y rebordeado por estiramiento.

45 3) Aunque el contener ferrita que tiene una excelente ductilidad permite la mejora en la ductilidad de la chapa de acero laminado en frío, en general, una preocupación sobre una estructura que contiene una fase blanda tal como ferrita es una disminución en el rebordeado por estiramiento debido a que cuando se trabaja la chapa de acero, ocurre fácilmente la fisuración en una interfase entre la fase blanda y una fase dura.

50 Sin embargo, como se ha establecido anteriormente, por el refinado de la estructura de la chapa de acero laminado en frío después del recocido, también se refina la ferrita. Por consiguiente, se suprimen eficazmente la formación y el desarrollo de finas fisuras en el momento de trabajar una chapa de acero, por lo que se previene la disminución en el rebordeado por estiramiento. Así, el contener ferrita fina permite la mejora de la ductilidad y el aseguramiento del excelente rebordeado por estiramiento.

55 4) La ductilidad de la chapa de acero laminado en frío mejora además por el contenido de austenita retenida que presenta un efecto de mejora de la ductilidad debido a la transformación inducida por deformación. Sin embargo, se

refiere generalmente a que una estructura que contiene austenita retenida da como resultado la disminución del rebordeado por estiramiento debido a que la austenita retenida se transforma en martensita dura debido a la transformación inducida por deformación, que puede causar la fisuración cuando se trabaja la chapa de acero.

5 A este respecto, en el caso de una chapa de acero obtenida por el método de recocido para promover la transformación austenítica antes de finalizar la recristalización en un proceso de recocido después del laminado en frío, aumenta una fracción de austenita retenida de tipo grumo que tiene una relación de aspecto inferior a 5 en toda la austenita retenida. Esto es debido a que al refinar el grano de austenita previo, aumenta una austenita retenida que existe en los límites de granos de austenita previa, los límites de paquete y los límites de bloque, y disminuye una austenita retenida producida entre los listones de bainita y/o martensita. Dicha austenita retenida de tipo grumo  
10 tiene mayor estabilidad contra la deformación de trabajo que la austenita retenida producida entre los listones de bainita y/o martensita y así aumenta el coeficiente de endurecimiento de trabajo en regiones de alta deformación. Así, se puede mejorar eficazmente la ductilidad de la chapa de acero.

Entonces, como se ha descrito anteriormente, el refinar la austenita retenida y aumentar la fracción de austenita retenida de tipo grumo que tiene una relación de aspecto inferior a 5 resultante del eficaz refinado de la estructura de una chapa de acero laminado en frío después del recocido previene una disminución en el rebordeado por estiramiento de la chapa de acero laminado en frío. Así, conteniendo austenita retenida fina y de baja relación de aspecto, se puede mejorar la ductilidad y se puede mantener el excelente rebordeado por estiramiento de la chapa de acero laminado en frío.

5) Como se ha establecido anteriormente, en el método de recocido en el que se promueve la transformación austenítica antes de finalizar la recristalización en una etapa de recocido después del laminado en frío, los granos de austenita previa se refinan eficazmente debido a que se forman núcleos de transformación austenítica a partir de límites de granos de alto ángulo, granos de carburo finos y fases de transformación a baja temperatura, que son sitios formadores de núcleos preferidos de transformación austenítica, en la chapa de acero laminado en caliente. Así, como un proceso para la fabricación de una chapa de acero laminado en caliente, es preferible el método de producción descrito en el Documento de patente 2, que proporciona una chapa de acero laminado en caliente que contiene sitios formadores de núcleos preferidos de transformación austenítica en alta densidad. El empleo del método de recocido anterior para una chapa de acero laminado en caliente obtenida por el método de producción descrito en el Documento de patente 2 proporciona el refinado adicional de los granos de austenita en el proceso de recocido y el refinado adicional de la estructura de la chapa de acero laminado en frío después del recocido.

Los presentes inventores encontraron que como resultado del refinado anterior de estructura, mejora significativamente la ductilidad de la chapa de acero laminado en frío y el equilibrio entre la ductilidad y el rebordeado por estiramiento.

Un aspecto de la presente invención proporciona una chapa de acero laminado en frío caracterizada por que tiene: una composición química que consiste en % en masa de C: 0,06 a 0,3 %, Si: 0,6 a 2,5 %, Mn: 0,6 a 3,5 %, P: como máximo 0,1 %, S: como máximo 0,05 %, Ti: 0 a 0,08 %, Nb: 0 a 0,04 %, un total de Ti y Nb: 0 a 0,10 %, Al sol.: 0 a 2,0 %, Cr: 0 a 1 %, Mo: 0 a 0,3 %, V: 0 a 0,3 %, B: 0 a 0,005 %, Ca: 0 a 0,003 %, REM : 0 a 0,003 %, opcionalmente uno o más elementos seleccionados de Ti: 0,005 a 0,08 %, Nb: 0,003 % al 0,04 %, Al sol.: 0,1 a 2,0 %, Cr: 0,03 a 1 %, Mo: 0,01 a 0,3 %, V: 0,01 a 0,3 %, B: 0,0003 a 0,005 %, Ca: 0,0005 % al 0,003 % y REM: 0,0005 a 0,003 %, el resto Fe e impurezas; una microestructura que tiene una fase principal de cualquiera o ambas de martensita y bainita que comprende al menos 40 % de área en total; y una textura en la que la relación de la intensidad media de rayos X para las orientaciones {100}<011> a {211}<011> con respecto a la intensidad media de rayos X de una estructura al azar que no tiene una textura a una profundidad de 1/2 del espesor de chapa es inferior a 6.

Una fase principal en una microestructura significa una fase que tiene una fracción de área más grande, y una segunda fase significa cualquiera de las fases distintas de la fase principal.

Es preferible que la chapa de acero laminado en frío según la presente invención proporcione además una o más de las siguientes características (1) a (8).

(1) La microestructura tiene la segunda fase de ferrita que comprende al menos 3 % y cumple la Ecuación (1):

$$d_F \leq 4,0 \quad \dots (1).$$

donde  $d_F$  es un diámetro medio del grano (unidad:  $\mu\text{m}$ ) de ferrita definido por límites de granos de alto ángulo que tienen un ángulo de inclinación de al menos  $15^\circ$ .

(2) La microestructura tiene la segunda fase de austenita retenida que comprende al menos 3 % de área, y cumple las Ecuaciones (2) y (3):

$$d_{As} \leq 1,5 \quad \dots (2); \text{ y}$$

$$r_{As} \geq 50 \quad \dots (3),$$

donde  $d_{As}$  es un diámetro medio del grano (unidad:  $\mu\text{m}$ ) de austenita retenida que tiene una relación de aspecto inferior a 5 y  $r_{As}$  es una fracción de área (%) de la austenita retenida que tiene una relación de aspecto inferior a 5 con respecto a toda la austenita retenida.

- 5 (3) La composición química contiene, en % en masa, uno o dos seleccionados de Ti: 0,005 a 0,08 % y Nb: 0,003 a 0,04 %.
- (4) La composición química contiene, en % en masa, Al sol.: 0,1 a 2,0 %.
- (5) La composición química contiene uno o más seleccionados de, en % en masa, de Cr: 0,03 a 1 %, Mo: 0,01 a 0,3 % y V: 0,01 a 0,3 %.
- (6) La composición química contiene, en % en masa, B: 0,0003 a 0,005 %.
- 10 (7) La composición química contiene uno o dos seleccionados de, en % en masa, 0,0005 a 0,003 % y REM: 0,0005 a 0,003 %.
- (8) La chapa de acero laminado en frío tiene una capa de recubrimiento en baño sobre la superficie.

Otro aspecto de la presente invención proporciona el proceso para la fabricación de una chapa de acero laminado en frío caracterizado por que comprende las siguientes etapas (A) y (B):

- 15 (A) una etapa de laminado en frío en la que una chapa de acero laminado en caliente que tiene la composición química anterior se somete al laminado en frío para obtener una chapa de acero laminado en frío; y
- (B) una etapa de recocido en la que la chapa de acero laminado en frío obtenida en la etapa (A) se somete a tratamiento térmico en condiciones tales que la chapa de acero laminado en frío se calienta a una condición de velocidad media de calentamiento de al menos 15 °C/segundo de manera que la proporción de la no recristalización con respecto a una región no transformada en austenita cuando se alcanza la temperatura (punto  $Ac_1 + 10$  °C) es al menos 30 % de área, y entonces se mantiene en un intervalo de temperatura de al menos (0,3  $\times$  punto  $Ac_1 + 0,7 \times$  punto  $Ac_3$ ) y como máximo (punto  $Ac_3 + 100$  °C) durante al menos 30 segundos, y la chapa de acero se enfría entonces a una velocidad media de enfriamiento de al menos 10 °C/segundo durante un intervalo de temperatura de como máximo 650 °C y al menos 500 °C.
- 20
- 25

Es preferible que el proceso para la fabricación de la chapa de acero laminado en frío según la presente invención proporcione una o más de las siguientes características (9) a (13).

- 30 (9) La chapa de acero laminado en caliente se obtiene por bobinado a una temperatura de como máximo 300 °C después de finalizar el laminado en caliente y el posterior tratamiento térmico en un intervalo de temperatura de 500 °C a 700 °C.
- (10) La chapa de acero laminado en caliente es una chapa de acero con diámetro medio del grano de una fase BCC definida por límites de granos de alto ángulo que tienen un ángulo de inclinación de al menos 15° es como máximo 6  $\mu\text{m}$ , obteniéndose la chapa de acero por una etapa de laminado en caliente de enfriamiento a una velocidad de enfriamiento (velocidad E) que cumple la siguiente Ecuación (4) para un intervalo de temperatura desde una temperatura al finalizar el laminado de (temperatura al finalizar el laminado -100 °C) después de finalizar el laminado en caliente en el que el laminado en caliente se finaliza en al menos un punto  $Ar_3$ .
- 35

$$IC(T) = 0,1 - 3 \times 10^{-3} \cdot T + 4 \times 10^{-5} \cdot T^2 - 5 \times 10^{-7} \cdot T^3 + 5 \times 10^{-9} \cdot T^4 - 7 \times 10^{-11} \cdot T^5$$

$$40 \int_0^{-100} \frac{-dT}{\text{Velocidad E}(T) \cdot IC(T)} < 4 \quad (4)$$

En la ecuación anterior, velocidad E (T) es una velocidad de enfriamiento (°C/s) (valor positivo),

T es una temperatura relativa con la temperatura al finalizar el laminado como cero (T = (temperatura de la chapa de acero durante el enfriamiento - temperatura al finalizar el laminado) °C, valor negativo), y

45 si existe una temperatura a la que la velocidad E es cero, se añade un valor obtenido dividiendo un tiempo de mantenimiento ( $\Delta t$ ) a la temperatura entre IC (T) como una integral para la sección.

(11) El enfriamiento para el intervalo de temperatura en (10) anterior incluye empezar el enfriamiento a una velocidad de enfriamiento de al menos 400 °C/segundo y el enfriamiento a la velocidad de enfriamiento durante un intervalo de temperatura de al menos 30 °C.

(12) El enfriamiento para el intervalo de temperatura en (10) anterior incluye empezar el enfriamiento con agua a una velocidad de enfriamiento de al menos 400 °C/segundo y enfriar a la velocidad de enfriamiento durante un intervalo de temperatura de al menos 30 °C y como máximo 80 °C, y entonces detener un enfriamiento con agua durante 0,2 a 1,5 segundos para medir una forma de la chapa durante la parada del enfriamiento con agua, y posteriormente enfriar a una velocidad de al menos 50 °C/segundos.

(13) El proceso para la fabricación de la chapa de acero laminado en frío tiene además la etapa de recubrir en baño la chapa de acero laminado en frío después de la etapa (B).

La presente invención proporciona refinar eficazmente una estructura después del laminado en frío y recocido sin adición de una gran cantidad de elementos que precipitan tales como Ti y Nb, y así proporciona una chapa de acero laminado en frío de alta resistencia que tiene excelente ductilidad y rebordado por estiramiento y un proceso para su fabricación. Puesto que se adopta en la presente invención el mecanismo de refinado de la estructura que es diferente al del método convencional, se puede obtener una estructura fina incluso si se hace lo suficiente largo un tiempo de mantenimiento para el recocido para obtener un material estable.

### Descripción de la realización

Se describirán a continuación la chapa de acero laminado en frío según la presente invención y el proceso para su fabricación. En la siguiente descripción, cada uno de los "%" en las composiciones químicas es "% en masa". Por tanto, cada uno de los diámetros medios del grano en la presente invención significa un valor de diámetro medio de Heywood obtenido según la Ecuación (4), que se describirá después, usando SEM-EBSD.

#### 1. Chapa de acero laminado en frío

##### 1-1: Composición química

[C: 0,06 a 0,3 %]

El C tiene el efecto de aumentar la resistencia del acero. También cuando el C se concentra en la austenita, el C tiene el efecto de obtener la austenita estable, aumentando la fracción de área de austenita retenida en la chapa de acero laminado en frío y aumentando así la ductilidad. Además, en el proceso de laminado en caliente y el proceso de recocido, C tiene el efecto de refinado de la microestructura.

En otras palabras, C tiene el efecto de reducir un punto de transformación. Como resultado, en el proceso de laminado en caliente, el laminado en caliente se puede finalizar en un intervalo de temperatura más baja para refinar la microestructura de la chapa de acero laminado en caliente. En una etapa de recocido, debido al efecto de C por el que se suprime la recristalización de ferrita en el transcurso del aumento de la temperatura, se facilita alcanzar un intervalo de temperatura de al menos (punto  $Ac_1 + 10\text{ °C}$ ) por el rápido calentamiento, mientras se mantiene un estado con un alto porcentaje de ferrita no recristalizada. Como resultado, es posible refinar la microestructura de una chapa de acero laminado en frío.

Si el contenido de C es inferior a 0,06 %, es difícil obtener los efectos anteriormente descritos. Por consiguiente, el contenido de C se hace de al menos 0,06 %. Es preferiblemente al menos 0,08 % y más preferiblemente al menos 0,10 %. Si el contenido de C supera 0,3 %, existe una marcada disminución en la aptitud para ser trabajado y la soldabilidad. Por consiguiente, el contenido de C se hace como máximo de 0,3 %. Preferiblemente es como máximo 0,25 %.

[Si: 0,6 a 2,5 %]

El Si tiene el efecto de promover la formación de fases duras tales como martensita y bainita, que es una fase principal de una chapa de acero laminado en frío según la presente invención, y así aumentar la resistencia del acero. Además, el Si tiene el efecto de promover la producción de austenita retenida y así aumentar la ductilidad del acero.

Si el contenido de Si es inferior a 0,6 %, es difícil obtener los efectos anteriormente descritos. Por tanto, el contenido de Si es al menos 0,6 %, preferiblemente al menos 0,8 %, además preferiblemente al menos 1,0 %. Por otra parte, si el contenido de Si supera 2,5 %, puede ocurrir una disminución sustancial de la ductilidad o se puede deteriorar la capacidad de recubrimiento en baño. Por consiguiente, el contenido de Si es como máximo 2,5 %, preferiblemente como máximo 2,0 %.

[Mn: 0,6 a 3,5 %]

El Mn tiene el efecto de aumentar la resistencia del acero. El Mn también tiene el efecto de disminuir una temperatura de transformación. Como resultado, durante una etapa de recocido, se facilita alcanzar un intervalo de temperatura de al menos (punto  $Ac_1 + 10\text{ °C}$ ) por el rápido calentamiento, mientras se mantiene un estado con un alto porcentaje de ferrita no recristalizada, y llega a ser posible refinar la microestructura de una chapa de acero laminado en frío.

## ES 2 711 911 T3

Si el contenido de Mn es inferior a 0,6 %, llega a ser difícil obtener los efectos anteriormente descritos. Por consiguiente, el contenido de Mn se hace de al menos 0,6 %. Por otra parte, si el contenido de Mn supera 3,5 %, la resistencia del acero es excesivamente elevada, que puede dar como resultado la sustancial pérdida de ductilidad. Por tanto, el contenido de Mn es como máximo 3,5 %.

5 [P: Como máximo 0,1 %]

El P, que está contenido como una impureza, tiene la acción de fragilizar el material por segregación en los límites de granos. Si el contenido de P supera 0,1 %, llega a ser notable la fragilización debida a la acción anterior. Por consiguiente, el contenido de P se hace de como máximo 0,1 %. Preferiblemente, es como máximo 0,06 %. El contenido de P es preferiblemente tan bajo como sea posible, así no es necesario establecer un límite inferior para el mismo. Desde el punto de vista de los costes, es preferiblemente al menos 0,001 %.

10

[S: Como máximo 0,05 %]

El S, que está contenido como una impureza, tiene la acción de reducir la ductilidad del acero, formando inclusiones de tipo sulfuro en el acero. Si el contenido de S supera 0,05 %, puede haber una notable disminución en la ductilidad debido a la acción anteriormente descrita. Por consiguiente, el contenido de S se hace de como máximo 0,05 %. Es preferiblemente como máximo 0,008 % y más preferiblemente como máximo 0,003 %. El contenido de S es preferiblemente tan bajo como sea posible, así no es necesario establecer un límite bajo para el mismo. Desde el punto de vista de los costes, es preferiblemente al menos 0,001 %.

15

[Ti: 0 a 0,08 %, Nb: 0 a 0,04 % y un total de Ti y Nb: 0 a 0,10 %]

El Ti y Nb tienen cada uno el efecto de precipitar en el acero como carburos o nitruros y suprimir el crecimiento de granos de austenita en la etapa de recocido, promoviendo así del refinado de la estructura del acero. Por tanto, la composición química del acero puede contener cualquiera o ambos de Ti y Nb, según se desee.

20

Sin embargo, si el contenido de cada uno de los elementos supera el valor límite superior anterior o el contenido total supera el valor límite superior anterior, puede disminuir notablemente la ductilidad. Por tanto, el contenido de cada uno de los elementos y el contenido total se establecen como antes. Aquí, el contenido de Ti es preferiblemente como máximo 0,05 %, además preferiblemente como máximo 0,03 %. Por tanto, el contenido de Nb es preferiblemente como máximo 0,02 %. El contenido total de Ti y Nb es preferiblemente como máximo 0,05 %, además preferiblemente como máximo 0,03 %. Para obtener el efecto anterior con mayor certeza, es preferible cumplir cualquiera de las condiciones de al menos 0,005 % de Ti y al menos 0,003 % de Nb.

25

[Al sol.: 0 a 2,0 %]

El Al tiene el efecto de aumentar la ductilidad del acero. Por consiguiente, el Al puede estar contenido en la composición de acero. Sin embargo, puesto que el Al tiene el efecto de aumentar un punto de transformación  $Ar_3$ , si el contenido de Al sol. supera 2,0 %, llega a ser necesario finalizar el laminado en caliente en un intervalo de temperatura más alta. Como resultado, llega a ser difícil refinar la estructura de una chapa de acero laminado en caliente y, por tanto, llega a ser difícil refinar la estructura de una chapa de acero laminado en frío. Además, la colada continua llega a ser difícil algunas veces. Por consiguiente, el contenido de Al de sol. se hace de como máximo 2,0 %. Para obtener el efecto anteriormente descrito de Al con mayor certeza, el contenido de Al de sol. es preferiblemente al menos 0,1 %.

35

[Cr: 0 a 1 %, Mo: 0 a 0,3 % y V: 0 a 0,3 %]

El Cr, Mo y V tienen cada uno el efecto de aumentar la resistencia del acero. Por tanto, el Mo tiene el efecto de suprimir el crecimiento de granos y refinar la estructura, y el V tiene el efecto de promover la transformación en ferrita y aumentar la ductilidad de la chapa de acero. Por tanto, pueden estar contenidos uno o más de Cr, Mo y V.

40

Sin embargo, si el contenido de Cr supera 1 %, la transformación de ferrita se puede suprimir excesivamente, y como resultado, es imposible garantizar una estructura deseada. Por tanto, si el contenido de Mo supera 0,3 % o si el contenido de V supera 0,3 %, puede aumentar una cantidad de precipitados en la etapa de calentamiento en el proceso de laminado en caliente, que puede disminuir sustancialmente la ductilidad. Por consiguiente, el contenido de los elementos respectivos se establece como antes. El contenido de Mo es preferiblemente como máximo 0,25 %. Para obtener los efectos anteriores con mayor certeza, es preferible cumplir cualquiera de las condiciones de al menos 0,03 % de Cr, al menos 0,01 % de Mo y al menos 0,01 % de V.

45

[B: 0 a 0,005 %]

El B tiene el efecto de aumentar la capacidad de endurecimiento del acero y promover la formación de fases de transformación a baja temperatura, aumentando así la resistencia del acero. Por tanto, puede estar contenido B. Sin embargo, si el contenido de B supera 0,005 %, el acero puede endurecer excesivamente, que puede dar como resultado una significativa disminución de la ductilidad. Por tanto, el contenido de B es como máximo 0,005 %. Para obtener los efectos anteriores con mayor certeza, el contenido de B es preferiblemente al menos 0,0003 %.

50

[Ca: 0 a 0,003 % y REM: 0 a 0,003 %]

El Ca y REM tienen cada uno el efecto de refinar óxidos y nitruros precipitados durante la solidificación del acero fundido y así aumentar la solidez de un desbaste. Por consiguiente, pueden estar contenidos uno o más de estos elementos. Sin embargo, cada uno de estos elementos es caro, así el contenido de cada elemento se hace de como máximo 0,003 %. El contenido total de estos elementos es preferiblemente como máximo 0,005 %. Para obtener con mayor certeza los efectos anteriormente descritos, el contenido de cualquier elemento es preferiblemente al menos 0,0005 %.

REM indica el total de 17 elementos que incluyen Sc, Y y lantanoides. Los lantanoides se añaden industrialmente en forma de un metal de Misch. El contenido de REM en la presente invención significa el contenido total de estos elementos.

El resto distinto de los anteriores es Fe e impurezas.

1-2: Microestructura y textura

[Fase principal]

Una microestructura tiene una fase principal de cualquiera o ambas de martensita y bainita que comprende al menos 40 % de área en total, que son fases de transformación dura de baja temperatura.

Como resultado de la fase principal de cualquiera o ambas de martensita y bainita, que son fases de transformación dura de baja temperatura, se puede aumentar la resistencia de la chapa de acero, y además, se iguala la distribución de dureza en la microestructura, se puede aumentar el rebordeado por estiramiento de la chapa de acero laminado en frío.

Si la fracción de área de la fase principal es inferior a 40 %, la distribución de dureza en la estructura llega a ser en cambio grande, haciendo que se produzcan fácilmente fisuras finas durante la deformación de trabajo, dando como resultado la dificultad de lograr el excelente rebordeado por estiramiento. Por tanto, la fracción de área de la fase principal (martensita y/o bainita) es al menos 40 %. La fracción de área es preferiblemente al menos 50 %, más preferiblemente al menos 60 %. La fase principal no necesita contener tanto martensita como bainita, y puede contener solo cualquiera de ellas o ambas. La bainita incluye ferrita bainítica.

[Segunda fase]

Una segunda fase contiene preferiblemente al menos 3 % de área de ferrita y cumple la Ecuación (1) anterior. La segunda fase contiene preferiblemente además al menos 3 % de área de austenita retenida y cumple las Ecuaciones (2) y (3) anteriores.

Si la segunda fase contiene al menos 3 % de área de ferrita, se puede aumentar la ductilidad de la chapa de acero laminado en frío. En este caso, puesto que un diámetro medio del grano de ferrita definido por límites de granos de alto ángulo con un ángulo de inclinación de al menos 15° es como máximo 4,0 μm y así, finos (es decir, cumple la Ecuación (1) anterior), se pueden suprimir eficazmente la formación y el desarrollo de fisuras finas durante el trabajo de una chapa de acero, por lo que aumenta adicionalmente el rebordeado por estiramiento de la chapa de acero laminado en frío. En lo sucesivo, el diámetro medio del grano de ferrita definido por los límites de granos de alto ángulo se denomina simplemente "diámetro medio del grano" de ferrita.

Puesto que la austenita retenida (y retenida) tiene el efecto de aumentar la ductilidad de la chapa de acero, la ductilidad se puede aumentar aumentando la fracción de área de la austenita retenida. El establecimiento de la fracción de área de austenita retenida hasta al menos 3 % facilita garantizar la excelente ductilidad, y así la segunda fase contiene preferiblemente al menos 3 % por fracción de área de la austenita retenida. La fracción de área de austenita retenida es además preferiblemente al menos 5 %. En este caso, la austenita retenida de tipo grumo que tiene una relación de aspecto inferior a 5 (denominada simplemente en lo sucesivo "austenita de tipo grumo") cumple las Ecuaciones (2) y (3) anteriores (es decir, una alta fracción de área, es decir, está contenida al menos 50 % por fracción de área de austenita de tipo grumo con respecto a toda la austenita retenida y un diámetro medio del grano de la misma es fino, es decir, como máximo 1,5 μm), y además se puede garantizar el excelente rebordeado por estiramiento.

Debido a que la austenita retenida de tipo grumo que ocupa la mayor parte de la austenita retenida es fina, después de la transformación de la austenita retenida en martensita durante el trabajo de la chapa de acero laminado en frío, la martensita formada es fina. Así, se previene la disminución en el rebordeado por estiramiento causado por la transformación de martensita. Por tanto, puesto que la austenita retenida de tipo grumo se tiende a producir adyacente a la ferrita, aparece además notablemente el endurecimiento de trabajo causado por la transformación inducida por deformación. Así, la austenita retenida de tipo grumo tiene la altamente eficaz de aumentar la ductilidad, en particular, la ductilidad uniforme y el valor n, en comparación con las alargadas que tienen una relación de aspecto que supera 5, que se forman entre los listones de, por ejemplo, martensita. Puesto que la austenita retenida de tipo grumo que tiene dichas propiedades ocupa la mayor parte de la austenita retenida, se puede



mejorar la aptitud para ser trabajado de la chapa de acero laminado en frío. Por los motivos anteriores, la austenita retenida contenida en la segunda fase cumple preferiblemente las Ecuaciones (2) y (3) anteriores, y más preferiblemente cumple las siguientes Ecuaciones (2a) y (3a):

$$d_{As} \leq 1,0 \quad \dots (2a); y$$

$$r_{As} \geq 60 \quad \dots (3a).$$

Aquí, aunque la segunda fase puede estar contaminada por perlita y/o cementita, se permite dicha contaminación si una fracción total de área suya es como máximo 10 %.

Se determina un diámetro medio del grano de ferrita que puede estar contaminado como la segunda fase usando un SEM-EBSD para los granos de ferrita que están rodeados por límites de granos de alto ángulo que tienen un ángulo de inclinación de al menos 15°. SEM-EBSD es un método de llevar a cabo la medición de la orientación de una región mínima por difracción de retrodispersión de electrones (abreviadamente en lo sucesivo EBSD por la expresión inglesa *Electron Backscatter Diffraction*) en un microscopio electrónico de barrido (abreviadamente en lo sucesivo SEM por la expresión inglesa *Scanning Electron Microscope*). Es posible medir el diámetro del grano del mapa de orientación resultante.

Se puede calcular el diámetro medio del grano de la austenita retenida de tipo grumo que tiene una relación de aspecto inferior a 5 por un método similar al anterior.

Las fracciones de área de la fase principal y la ferrita se pueden medir por análisis estructural usando SEM-EBSD. Por tanto, se usa la fracción de volumen de la austenita retenida determinada por difracción de rayos X como la fracción de área de la austenita retenida tal cual.

En la presente invención, el diámetro medio del grano y la fracción de área anteriormente descritos son los valores medidos a una profundidad de 1/4 del espesor de chapa de la chapa de acero.

[Textura]

La chapa de acero laminado en frío según la presente invención tiene una textura donde la relación de la media de las intensidades de rayos X para orientaciones  $\{100\}\langle 011 \rangle$  a  $\{211\}\langle 011 \rangle$  con respecto a una media de las intensidades de rayos X de una estructura al azar que no tiene una textura es inferior a 6 a una profundidad de 1/2 del espesor de chapa.

Si crece la textura para la orientación  $\{100\}\langle 011 \rangle$  a  $\{211\}\langle 011 \rangle$ , disminuye la aptitud para ser trabajado del acero. Así, disminuye la relación de intensidades de rayos X del grupo de orientación para reducir la aptitud para ser trabajado del acero. Si la media de las intensidades de rayos X para el grupo de orientación con respecto al promedio de las intensidades de rayos X de la estructura al azar que no tiene una textura es al menos 6, es difícil garantizar la buena ductilidad y rebordeado por estiramiento.

Por tanto, la relación de la media de las intensidades de rayos X de las orientaciones con respecto al promedio de las intensidades de rayos X de la estructura al azar que no tiene una textura es inferior a 6. La relación es preferiblemente inferior a 5, más preferiblemente inferior a 4. Aquí,  $\{hkl\}\langle uvw \rangle$  de una textura representan una orientación del cristal en la que una dirección vertical de la hoja y la normal a  $\{hkl\}$  son paralelas entre sí y una dirección de laminado y  $\langle uvw \rangle$  son paralelas entre sí.

La intensidad de rayos X de la orientación particular se puede obtener puliendo químicamente la chapa de acero hasta la profundidad de 1/2 del espesor de chapa usando ácido fluorhídrico y posteriormente midiendo figuras de polos de los planos  $\{200\}$ ,  $\{110\}$  y  $\{211\}$  de la fase de ferrita sobre la chapa y analizando una función de distribución de la orientación (ODF) por el método de expansión en serie usando los valores de medición.

Las intensidades de rayos X de la estructura al azar que no tiene una textura se determinan por medición como la descrita anteriormente usando una muestra en polvo del acero.

### 1-3: Capa de recubrimiento en baño

Con el objeto de mejorar la resistencia a la corrosión y similares, se puede proporcionar una capa de recubrimiento en baño sobre la superficie de la chapa de acero laminado en frío anteriormente descrita para obtener una chapa de acero tratada en la superficie. La capa de recubrimiento en baño puede ser una capa recubierta en baño electrolítico o una capa de recubrimiento en baño por inmersión en caliente. Ejemplos de un recubrimiento en baño electrolítico son el electrogalvanizado y el recubrimiento en baño electrolítico con aleación de Zn--Ni. Ejemplos de un recubrimiento en baño por inmersión en caliente son galvanizado por inmersión en caliente, galvanizado y recocido, recubrimiento en baño de aluminio por inmersión en caliente, recubrimiento en baño de aleación de Zn--Al por inmersión en caliente, recubrimiento en baño de aleación de Zn--Al--Mg por inmersión en caliente y recubrimiento en baño de aleación de Zn--Al--Mg--Si por inmersión en caliente. El peso del recubrimiento en baño no está limitado, y puede ser un valor usual. También es posible formar un recubrimiento adecuado de tratamiento por conversión química sobre la superficie recubierta en baño (tal como uno formado aplicando una disolución de conversión

química libre de cromo basada en silicato, seguido por secado) para mejorar además la resistencia a la corrosión. También es posible cubrir el recubrimiento en baño con un recubrimiento de resina orgánica.

## 2. Proceso para la fabricación de

### 2-1: Laminado en caliente y enfriamiento después del laminado

5 En la presente invención, la estructura de la chapa de acero laminado en frío se refina por el recocido descrito más adelante, y así se puede llevar a cabo de un modo convencional una chapa de acero laminado en caliente proporcionada para el laminado en frío. Sin embargo, para refinar adicionalmente la estructura de la chapa de acero laminado en frío, es preferible refinar la estructura de una chapa de acero laminado en caliente proporcionada para el laminado en frío para aumentar los sitios formadores de núcleos para la transformación austenítica. Más específicamente, esto significa refinar los granos rodeados por límites de granos de alto ángulo que tienen un ángulo de inclinación de al menos 15° y dispersión refinada de la segunda fase tal como cementita y/o martensita.

10 Cuando una chapa de acero laminado en caliente que tiene una estructura fina se somete a laminado en frío y luego a recocido por calentamiento rápido, se puede suprimir la desaparición de sitios formadores de núcleos debido a la recristalización en un proceso de calentamiento por el rápido calentamiento, y así aumenta el número de núcleos formados en austenita y ferrita recristalizada, y se facilita refinar la estructura final.

15 En la presente invención, una chapa de acero laminado en caliente que es preferible para un material de partida para una chapa de acero laminado en frío tiene específicamente un diámetro medio del grano de la fase BCC definida por límites de granos de alto ángulo que tienen un ángulo de inclinación de al menos 15°, concretamente como máximo 6 µm. El diámetro medio del grano de la fase BBC es además preferiblemente como máximo 5 µm. Este diámetro medio del grano también se puede obtener por SEM-EBSD.

20 Si el diámetro medio del grano de la fase BBC en la chapa de acero laminado en caliente es como máximo 6 µm, la chapa de acero laminado en frío se puede refinar más para mejorar más la propiedad mecánica. Aquí, puesto que el diámetro medio del grano de la fase BBC en la chapa de acero laminado en caliente es preferiblemente tan pequeño como sea posible, no se cita un límite inferior, pero el diámetro medio del grano normalmente es al menos 1,0 µm. La fase BBC mencionada aquí puede incluir ferrita, bainita y martensita, y consiste en una o más de ferrita, bainita y martensita. La martensita no es precisamente una fase BCC, pero se incluye en una fase BBC en la descripción considerando que el diámetro medio de granos anteriormente mencionado se obtiene por un análisis de SEM-EBSD.

25 Dicha chapa de acero laminado en caliente que tiene una estructura fina se puede fabricar realizando laminado en caliente y enfriando por el método descrito a continuación.

30 Un desbaste que tiene la composición química anteriormente descrita se fabrica por colada continua, y se proporciona para laminado en caliente. Aquí, el desbaste se puede usar en un estado de alta temperatura después de la colada continua o se puede enfriar primero hasta temperatura ambiente y luego recalentar.

35 La temperatura del desbaste que se somete a laminado en caliente es preferiblemente al menos 1000 °C. Si la temperatura de calentamiento del desbaste es inferior a 1000 °C, se impone excesiva carga sobre un laminador, y además, la temperatura del acero puede disminuir hasta una temperatura de transformación de ferrita durante el laminado, por lo que el acero se puede laminar en un estado en el que la ferrita transformada esté contenida en la estructura. Por tanto, la temperatura de calentamiento del desbaste es preferiblemente suficientemente alta de manera que se pueda finalizar el laminado en caliente en el intervalo de temperatura de austenita.

40 El laminado en caliente se lleva a cabo preferiblemente usando un molino inverso o un molino en tándem. Desde el punto de vista de la productividad industrial, es preferible usar un molino en tándem durante al menos el número final de cajas. Puesto que es necesario mantener la chapa de acero en el intervalo de temperatura de austenita durante el laminado, se hace que la temperatura a la finalización del laminado sea preferiblemente al menos el punto Ar<sub>3</sub>.

45 La reducción por laminado en el laminado en caliente es preferiblemente tal que el porcentaje de reducción en el espesor de chapa cuando la temperatura del desbaste está en el intervalo de temperatura desde el punto Ar<sub>3</sub> hasta (punto Ar<sub>3</sub> +150 °C) sea al menos 40 %. El porcentaje de reducción en el espesor es más preferiblemente al menos 60 %. No es necesario llevar a cabo el laminado en un pase, y el laminado se puede llevar a cabo por una pluralidad de pases secuenciales. Es preferible el aumento de la reducción del laminado debido a que puede introducir una gran cantidad de energía de deformación en la austenita, aumentando así la fuerza conductora para la transformación en fase BBC y refinando la fase BBC más enormemente. Sin embargo, el hacer esto aumenta la carga sobre el equipo de laminado, así el límite superior en la reducción del laminado por pase es preferiblemente 60 %.

50 El enfriamiento después de la finalización del laminado se lleva a cabo preferiblemente por el método descrito en detalle a continuación.

55 El enfriamiento desde la temperatura al finalizar el laminado se lleva a cabo preferiblemente a una velocidad de enfriamiento (velocidad E) que cumple la siguiente Ecuación (4) en un intervalo de temperatura desde la temperatura

al finalizar el laminado hasta (temperatura al finalizar el laminado -100 °C).

$$IC(T) = 0,1 - 3 \times 10^{-3} \cdot T + 4 \times 10^{-5} \cdot T^2 - 5 \times 10^{-7} \cdot T^3 + 5 \times 10^{-9} \cdot T^4 - 7 \times 10^{-11} \cdot T^5$$

$$\int_0^{-100} \frac{-dT}{\text{Velocidad } E(T) \cdot IC(T)} < 4 \quad (4)$$

Se han establecido anteriormente los significados de los símbolos en la ecuación.

5 La Ecuación (4) anterior indica una condición que se enfría hasta un intervalo de temperatura de no recristalización de austenita (temperatura al finalizar el laminado -100 °C) antes de que la energía de deformación acumulada en la chapa de acero durante el laminado en caliente se consuma por la recuperación y recristalización después de finalizar el laminado en caliente. Más específicamente, IC (T) es un valor que se puede obtener por cálculo de la difusión de cuerpo de átomos de Fe, y representa un periodo de tiempo desde la finalización del laminado en caliente hasta un inicio de la recuperación de austenita. Además, (1/(velocidad E (T)·IC (T))) es un valor de un periodo de tiempo requerido para enfriar 1 °C a una velocidad de enfriamiento (velocidad E (T)), normalizándose el periodo de tiempo por IC (T), es decir, representa una fracción de tiempo de enfriamiento con respecto a un periodo de tiempo hasta la desaparición de la energía de deformación por recuperación y recristalización. Por tanto, un valor que se puede obtener integrando (1/velocidad E (T)·IC (T)) en un intervalo de T = 0 a -100 °C sirve de índice que representa una cantidad de energía de deformación desaparecida durante el enfriamiento. Limitando el valor, se requirieron condiciones de enfriamiento (velocidad de enfriamiento y tiempo de mantenimiento) para enfriar 100 °C antes de la desaparición de una cierta cantidad de energía de deformación. El valor del lado derecho de la Ecuación (4) es preferiblemente 3,0, más preferiblemente 2,0, adicionalmente preferiblemente 1,0.

20 En un método de enfriamiento preferido que cumple la Ecuación (4) anterior, el enfriamiento primario empieza preferiblemente a partir de la temperatura al finalizar el laminado a una velocidad de enfriamiento de al menos 400 °C/segundo y se lleva a cabo preferiblemente en un intervalo de temperatura de al menos 30 °C a esta velocidad de enfriamiento. El intervalo de temperatura es preferiblemente al menos 60 °C. Si no se establece un tiempo de parada del enfriamiento con agua que se describirá después, el intervalo de temperatura es además preferiblemente al menos 100 °C. La velocidad de enfriamiento para el enfriamiento primario es más preferiblemente al menos 600 °C/segundo, particularmente preferiblemente al menos 800 °C/segundo.

25 El enfriamiento primario puede empezar después de mantener a la temperatura al finalizar el laminado durante una corta longitud de tiempo de como máximo 5 segundos. El tiempo desde la finalización del laminado hasta el comienzo del enfriamiento primario es preferiblemente inferior a 0,4 segundos, de manera que cumpla la Ecuación (4) anterior.

30 Por tanto, el enfriamiento con agua empieza preferiblemente a una velocidad de enfriamiento de al menos 400 °C/segundo (preferiblemente al menos 600 °C/segundo, más preferiblemente al menos 800 °C/segundo), y se lleva a cabo a esta velocidad de enfriamiento en un intervalo de temperatura de al menos 30 °C y como máximo 80 °C, y entonces se establece un periodo de parada de enfriamiento con agua de al menos 0,2 segundos y como máximo 1,5 segundos (preferiblemente como máximo 1 segundo), y durante ese periodo, se mide la forma de la chapa tal como el espesor de chapa o la anchura de chapa, y después de eso, se lleva a cabo el enfriamiento (enfriamiento secundario) a una velocidad de al menos 50 °C/segundos. Puesto que la retroalimentación de la forma de la chapa se puede controlar por dicha medición de la forma de la chapa, mejora la productividad. Durante el periodo de parada del enfriamiento con agua, la chapa se puede someter a enfriamiento natural o enfriamiento con aire.

40 Industrialmente, el enfriamiento primario y el enfriamiento secundario anteriores se llevan a cabo por enfriamiento con agua.

45 Cuando las condiciones de enfriamiento para el enfriamiento desde la temperatura al finalizar el laminado hasta la temperatura de (temperatura al finalizar el laminado -100 °C) cumplen la Ecuación (4) anterior, se puede suprimir en la medida de lo posible el consumo de la deformación por recuperación y recristalización introducido en la austenita como resultado del laminado en caliente, como resultado, se puede usar la energía de deformación acumulada en el acero como una fuerza impulsora para la transformación desde austenita hasta la fase BBC a un grado máximo. Un motivo para hacer la velocidad de enfriamiento del enfriamiento primario desde la temperatura al finalizar el laminado al menos 400 °C/segundo también es el mismo que antes, es decir, un aumento en la fuerza impulsora de la transformación. Por consiguiente, aumenta una cantidad de núcleos formados para la transformación desde austenita hasta la fase BBC, refinándose así la estructura de la chapa de acero laminado en caliente. Usando una chapa de acero laminado en caliente que tiene una estructura fina fabricada como se ha descrito anteriormente para un material de partida, se puede refinar adicionalmente la estructura de la chapa de acero laminado en frío.

55 Después de haberse llevado a cabo el enfriamiento primario, o el enfriamiento primario y el enfriamiento secundario, como se ha descrito anteriormente, se puede llevar a cabo el control de estructura, tal como la transformación o precipitación de ferrita de granos finos que consiste en Nb y/o Ti, manteniendo la temperatura de la chapa de acero

en un intervalo de temperatura deseado durante una longitud de tiempo deseada antes de enfriar hasta una temperatura de bobinado. El "mantenimiento" mencionado aquí incluye enfriamiento natural y retención de calor. Considerando la temperatura y el tiempo de mantenimiento adecuados para el control de estructura, por ejemplo, el enfriamiento natural se lleva a cabo en un intervalo de temperatura desde 600 °C hasta 680 °C durante aproximadamente 3 a 15 segundos, que puede introducir ferrita fina en la estructura de chapa laminada en caliente.

Posteriormente, la chapa de acero se enfría hasta la temperatura de bobinado. Para un método de enfriamiento en esta etapa, el enfriamiento se puede llevar a cabo a una velocidad de enfriamiento deseada por un método seleccionado de enfriamiento con agua, enfriamiento con niebla y enfriamiento con gas (incluyendo enfriamiento con aire). La temperatura de bobinado para la chapa de acero es preferiblemente como máximo 650 °C desde el punto de vista del refinado de la estructura con mayor certidumbre.

La chapa de acero laminado en caliente fabricada por el proceso de laminado en caliente anterior tiene una estructura en la que se ha introducido un número suficientemente grande de límites de granos de alto ángulo, un diámetro medio del grano de granos definido por límites de granos de alto ángulo que tienen un ángulo de inclinación de al menos 15° es como máximo 6 µm y las segundas fases tales como martensita y/o cementita están finamente dispersas. Como se ha descrito anteriormente, es favorable que se someta al laminado en frío y recocido la chapa de acero laminado en caliente en la que existe un gran número de límites de granos de alto ángulo y se dispersan finamente las segundas fases. Esto es debido a que, puesto que estos límites de granos de alto ángulo y finas segundas fases son sitios formadores de núcleos preferidos para la transformación austenítica, la estructura se puede refinar produciendo un gran número de austenita y ferrita recristalizada a partir de estas posiciones por el rápido recocido por calentamiento.

La estructura de la chapa de acero laminado en caliente puede ser una estructura de ferrita que contiene perlita como segunda fase, una estructura que consiste en bainita y martensita, o una estructura de una mezcla de las mismas.

#### 2-2: Tratamiento térmico de la chapa de acero laminado en caliente

La chapa de acero laminado en caliente anterior se puede someter a recocido a una temperatura de 500 °C a 700 °C. El recocido es particularmente adecuado para una chapa de acero laminado en caliente bobinada a una temperatura de como máximo 300 °C.

El recocido se puede llevar a cabo por un método en el que una bobina laminada con calor se hace pasar a través de una línea continua de recocido o un método en el que la bobina se pone como tal en un horno de recocido discontinuo. En el calentamiento de la chapa de acero laminado en caliente, una velocidad de calentamiento hasta una temperatura de recocido de 500 °C puede ser una velocidad deseable en un intervalo desde calentamiento lento de aproximadamente 10 °C/hora hasta calentamiento rápido de 30 °C/segundo.

Una temperatura de inmersión (temperatura de recocido) está en un intervalo de temperatura de 500 °C a 700 °C. No se necesita limitar específicamente un tiempo de mantenimiento en este intervalo de temperatura; sin embargo, el tiempo de mantenimiento es preferiblemente al menos 3 horas. Desde el punto de vista de suprimir el engrosamiento del carburo, un límite superior del tiempo de mantenimiento es preferiblemente como máximo 15 horas, más preferiblemente como máximo 10 horas.

Como resultado de dicho recocido de la chapa de acero laminado en caliente, se pueden dispersar carburos finos en los límites de granos, los límites de paquete y los límites de bloque en la chapa de acero laminado en caliente, y los carburos se pueden dispersar además finamente por una combinación del recocido y enfriamiento rápido anteriormente descritos durante una longitud de tiempo extremadamente corta inmediatamente después de finalizar el laminado en caliente. Como resultado, se pueden aumentar los sitios formadores de núcleos de austenita durante el recocido para refinar una estructura final. El recocido de la chapa de acero laminado en caliente también tiene el efecto de reblandecer la chapa de acero laminado en caliente para reducir la carga sobre el equipo de laminado en frío.

#### 2-3: Decapado y laminado en frío

La chapa de acero laminado en caliente fabricada por el método anteriormente descrito se somete a decapado y luego al laminado en frío. Cada uno del decapado y laminado en frío se pueden llevar a cabo de un modo convencional. El laminado en frío se puede llevar a cabo usando aceite lubricante. La relación de laminado en frío no necesita ser específicamente determinada, pero normalmente es al menos 20 %. Si la reducción del laminado en frío supera 85 %, llega a ser grande la carga sobre el equipo de laminado en frío equipo, y así, la relación de laminado en frío es preferiblemente como máximo 85 %.

#### 2-4: Recocido

Se somete a recocido una chapa de acero laminado en frío que se obtiene por el laminado en frío anteriormente descrito calentando a una velocidad media de calentamiento de al menos 15 °C/segundo de manera que la relación de no recristalización de una región no transformada en austenita en el momento de tiempo de alcanzar (punto Ac<sub>1</sub> +

10 °C) sea al menos 30 %.

Como se ha descrito anteriormente, calentando hasta (punto  $Ac_1 + 10$  °C) en un estado en el que sigue la estructura de no recristalización, se forman un gran número de núcleos de austenita fina como los límites de granos de alto ángulo y/o las segundas fases de la chapa de acero laminado en caliente como sitios formadores de núcleos. Aquí, la chapa de acero laminado en caliente tiene preferiblemente una estructura fina debido a que se puede formar un gran número de núcleos. El aumento en el número de núcleos de austenita formados permite significativamente el refinado de los granos de austenita durante el recocido, que permite el refinado de ferrita, fases de transformación a baja temperatura y austenita retenida, que se producen posteriormente.

Por otra parte, si la relación de no recristalización de la región no transformada en austenita en el momento de alcanzar (punto  $Ac_1 + 10$  °C) es inferior a 30 %, en la mayoría de las regiones, se ha promovido la transformación austenítica después de finalizar la recristalización. Como resultado, en dichas regiones, la transformación austenítica se promueve desde los límites de granos de los granos recristalizados, y así, engrosan los granos de austenita durante el recocido y también engrosa la estructura final.

Por tanto, la velocidad media de calentamiento es al menos 15 °C/segundo de manera que la relación de no recristalización de las regiones no transformadas en austenita en el momento de alcanzar (punto  $Ac_1 + 10$  °C) llegue a ser al menos 30 % de área. La velocidad media de calentamiento es preferiblemente al menos 30 °C/segundo, adicionalmente preferiblemente al menos 80 °C/segundo, particularmente preferiblemente al menos 100 °C/segundo. No se define específicamente un límite superior de la velocidad media de calentamiento, pero es preferiblemente como máximo 1000 °C/segundo para evitar la dificultad del control de temperatura.

La temperatura anterior para empezar el rápido calentamiento a una velocidad de al menos 15 °C/segundo puede ser cualquier temperatura deseada si la recristalización no ha empezado todavía, y puede ser  $T_s - 30$  °C con respecto a una temperatura para el comienzo del reblandecimiento (la temperatura para el comienzo de la recristalización)  $T_s$  medida bajo una velocidad de calentamiento de 10 °C/segundo. Se puede determinar arbitrariamente la velocidad de calentamiento en el intervalo de temperatura antes de alcanzar dicha temperatura. Por ejemplo, aunque el rápido calentamiento empieza desde aproximadamente 600 °C, se puede obtener el efecto de refinar suficientemente el grano. Por tanto, aunque el rápido calentamiento empieza desde la temperatura ambiente, no tiene un efecto adverso sobre la chapa de acero laminado en frío después del recocido.

Es preferible usar calentamiento eléctrico, calentamiento por resistencia o calentamiento por inducción para obtener una velocidad de calentamiento suficientemente rápida, pero en tanto que se cumplan las condiciones de aumento de temperatura anteriormente descritas, también es posible adoptar el calentamiento por un tubo radiante. Usando dicho dispositivo de calentamiento, disminuye enormemente el tiempo para calentar una chapa de acero, y es posible hacer más compacto el equipo de recocido, 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 recubrimiento en baño por inmersión en caliente para llevar a cabo el calentamiento.

Después del calentamiento hasta (punto  $Ac_1 + 10$  °C), el calentamiento se lleva a cabo adicionalmente hasta una temperatura de recocido (temperatura de inmersión) en un intervalo de al menos  $(0,3 \times \text{punto } Ac_1 + 0,7 \times \text{punto } Ac_3)$  y como máximo (punto  $Ac_3 + 100$  °C). La velocidad de calentamiento en este intervalo de temperatura puede ser cualquier velocidad deseada. La disminución de una velocidad de calentamiento puede obtener tiempo suficiente para promover la recristalización de ferrita. Por tanto, se puede variar la velocidad de calentamiento de tal manera que se lleve a cabo primero el calentamiento rápido (por ejemplo, a una velocidad que es la misma que la del calentamiento rápido anterior) en cualquiera en el intervalo de temperatura y posteriormente se reduzca la velocidad de calentamiento.

En el proceso de recocido, la transformación en austenita se promueve suficientemente para eliminar la estructura de ferrita deformada y disolver carburos en la chapa de acero. Así, la temperatura de recocido es al menos  $(0,3 \times Ac_1 + 0,7 \times \text{punto } Ac_3)$ . Si se lleva a cabo el recocido a una temperatura que es inferior a la temperatura de recocido, no se consigue un estado de austenita de una única fase durante el recocido o no se produce la recristalización de ferrita y, como resultado, la retención de estructura de ferrita deformada. En este caso, en la textura de la chapa de acero laminado en frío, el grupo de orientación desde  $\{100\} \langle 011 \rangle$  hasta  $\{211\} \langle 011 \rangle$  llega a más fuerte, dando como resultado una disminución en la aptitud para ser trabajado de la chapa de acero. Por otra parte, si se lleva a cabo el recocido a una temperatura que supera (punto  $Ac_3 + 100$  °C), tiene lugar el súbito crecimiento de granos, dando como resultado el engrosamiento de la estructura final. Así, la temperatura de recocido es como máximo (punto  $Ac_3 + 100$  °C), preferiblemente (como máximo punto  $Ac_3 + 50$  °C).

Los puntos  $Ac_1$  y  $Ac_3$  en la presente invención son valores que se pueden determinar a partir de un diagrama de expansión térmica medido cuando la temperatura de la chapa de acero que se laminó en frío se calienta a 1100 °C a una velocidad de calentamiento de 2 °C/segundo.

Si un tiempo de mantenimiento del recocido (tiempo de mantenimiento de la inmersión) para el intervalo de temperatura es como máximo 30 segundos, no se promueven suficientemente la disolución de los carburos y la

5 transformación en austenita, dando como resultado una disminución en la aptitud para ser trabajado de la chapa de acero laminado en frío. Por tanto, se produce fácilmente la irregularidad de la temperatura durante el recocido, causando un problema en la estabilidad de producción. Por tanto, es necesario determinar un tiempo de mantenimiento del recocido de al menos 30 segundos para promover suficientemente la transformación en austenita. No se determina específicamente un límite superior del tiempo de mantenimiento; sin embargo, el mantenimiento de un tiempo excesivamente largo dificulta cumplir un diámetro final del grano de como máximo 5  $\mu\text{m}$ , que se requiere en la presente invención, debido al crecimiento de granos de austenita, y así, el tiempo de mantenimiento del recocido es preferiblemente inferior a 10 minutos.

10 El enfriamiento después de la inmersión se lleva a cabo a una velocidad de enfriamiento de al menos 10  $^{\circ}\text{C}/\text{segundo}$  durante un intervalo de temperatura de como máximo 650  $^{\circ}\text{C}$  y al menos 500  $^{\circ}\text{C}$ . El establecimiento de la velocidad de enfriamiento para el intervalo de temperatura hasta al menos 10  $^{\circ}\text{C}/\text{segundo}$  puede aumentar la fracción de área de fases de transformación de baja temperatura en la estructura de la chapa de acero laminado en frío. Por otra parte, si la velocidad de enfriamiento es inferior a 10  $^{\circ}\text{C}/\text{segundo}$ , se forma una gran cantidad de ferrita durante el enfriamiento, dando como resultado el deterioro en el rebordeado por estiramiento. Así, la velocidad de enfriamiento para el intervalo de temperatura después del recocido es al menos 10  $^{\circ}\text{C}/\text{segundo}$ , preferiblemente al menos 20  $^{\circ}\text{C}/\text{segundo}$ .

20 Durante el enfriamiento, se puede llevar a cabo el tratamiento térmico de sobre-envejecimiento o recubrimiento en baño por inmersión en caliente (por ejemplo, galvanizado por inmersión en caliente o galvanizado por inmersión en caliente con aleación). Controlando, por ejemplo, la temperatura de inmersión y el tiempo de mantenimiento, se forman fases de transformación de baja temperatura que tienen una fracción de área apropiada en la chapa de acero laminado en frío y se promueve la difusión de átomos de carbono hasta austenita no transformada para producir la austenita retenida. Las condiciones de tratamiento térmico preferibles para sobre-envejecer son un intervalo de temperatura de 300  $^{\circ}\text{C}$  hasta 500  $^{\circ}\text{C}$  y un intervalo de tiempo de mantenimiento de 100 a 600 segundos.

25 Debido a una velocidad de enfriamiento excesivamente baja y/o inmersión a alta temperatura y tiempo largo, es imposible obtener una fracción de estructura deseada y se deteriora la aptitud para ser trabajado de la chapa de acero debido a la transformación de austenita retenida en carburos.

Así, el tiempo de mantenimiento (incluyendo el recubrimiento en baño y/o sobre-envejecimiento) durante el enfriamiento es preferiblemente inferior a 2000 segundos. El método de enfriamiento puede ser diversos métodos tales como enfriamiento con gas, niebla o agua.

### 30 Ejemplos

35 Se fundió en un horno de inducción a vacío cada lingote de los tipos de acero A a M que tenía cada uno la composición química indicada en la Tabla 1. La Tabla 1 indica los puntos  $A_{c1}$  y  $A_{c3}$  para cada uno de los tipos de acero A a M. Estas temperaturas de transformación se determinan a partir de un gráfico de expansión térmica medido cuando una chapa de acero sometida al laminado en frío bajo las condiciones de fabricación descritas a continuación se calentó a 1100  $^{\circ}\text{C}$  a una velocidad de calentamiento de 2  $^{\circ}\text{C}/\text{segundo}$ . La Tabla 1 también indica cada valor de (punto  $A_{c1} + 10$   $^{\circ}\text{C}$ ),  $(0,3 \times \text{punto } A_{c1} + 0,7 \times \text{punto } A_{c3})$  y (punto  $A_{c3} + 100$   $^{\circ}\text{C}$ ).

[Tabla 1]

Tipo de acero	C	Si	Mn	P	S	Ti	Nb	Al sol.	Otros	Ac <sub>1</sub> (°C)	Ac <sub>3</sub> (°C)	Ac <sub>1</sub> + 10 (°C)	0,3Ac <sub>1</sub> + 0,7Ac <sub>3</sub> (°C)	Ac <sub>3</sub> +100 (°C)
A	0,175	1,22	2,51	0,008	0,001	-	0,010	-	-	721	838	731	802,9	938
B	0,179	1,23	1,92	0,010	0,002	-	0,010	-	Cr: 0,29	728	858	738	819	958
C	0,177	1,01	2,21	0,004	0,001	-	0,010	-	Mo: 0,20	723	829	733	797,2	929
D	0,176	1,13	2,49	0,003	0,001	-	0,011	0,15	-	721	844	731	807,1	944
E	0,148	1,78	2,49	0,009	0,002	-	-	-	Ca: 0,0011	719	863	729	819,8	963
F	0,201	1,23	2,19	0,003	0,002	0,03	-	-	-	713	843	723	804	943
G	0,182	1,27	1,93	0,010	0,001	-	0,011	-	REM: 0,0010	722	872	732	827	972
H	0,235	1,26	2,82	0,010	0,001	-	-	-	-	705	832	715	793,9	932
I	0,119	0,98	2,91	0,011	0,001	0,02	0,010	-	B: 0,0009	714	831	724	795,9	931
J	0,072	0,72	2,79	0,011	0,001	-	0,005	-	V: 0,20	711	842	721	802,7	942
K	0,181	1,03	2,23	0,011	0,001	-	<u>0,123</u>	-	-	722	849	732	810,9	949
L	0,143	<u>0,06</u>	0,71	0,011	0,001	-	-	-	-	712	836	722	798,8	936
M	0,062	1,01	3,15	0,004	0,001	-	0,010	-	-	701	792	711	764,7	892

Un subrayado significa que el tipo de acero relevante o valor se encuentra fuera del alcance de la invención.

Los lingotes resultantes se sometieron a forja en caliente, y luego se cortaron en la forma de desbastes para someterlos a laminado en caliente. Estos desbastes se calentaron durante aproximadamente una hora hasta una temperatura de al menos 1000 °C y entonces se llevó a cabo el laminado en caliente a la temperatura caliente al finalizar el laminado indicado en la Tabla 2, usando un pequeño laminador de ensayo para los ensayos. Después de finalizar el laminado, se fabricó una chapa de acero laminado en caliente que tenía un espesor de chapa de 2,0 a 2,6 mm en las condiciones de tiempo de enfriamiento, velocidad de enfriamiento con agua y temperatura de bobinado indicadas en la tabla.

El enfriamiento después de finalizar el laminado fueron todos enfriamiento con agua y cada uno se llevó a cabo por cualquiera de los siguientes métodos:

- 1) llevando a cabo solo enfriamiento primario para una cantidad de disminución de temperatura de al menos 100 °C inmediatamente después de finalizar el laminado;
- 2) llevando a cabo solo enfriamiento primario para una cantidad de disminución de temperatura de al menos 100 °C después de mantener (enfriamiento natural) a la temperatura al finalizar el laminado (FT) durante un periodo de tiempo predeterminado; y
- 3) llevando a cabo enfriamiento primario inmediatamente después de finalizar el laminado, parando el enfriamiento primario cuando la chapa de acero relevante se enfrió 30 °C hasta 80 °C desde la temperatura al finalizar el laminado (FT), y se mantuvo a la temperatura (permitida para enfriar naturalmente) durante una longitud de tiempo predeterminada, y luego llevando a cabo el enfriamiento secundario.

La chapa de acero se enfrió naturalmente durante 3 a 15 segundos después de parar el enfriamiento primario si el enfriamiento primario se llevó a cabo solo, y después de parar el enfriamiento secundario si el enfriamiento secundario se llevó a cabo, y posteriormente se enfrió con agua a una velocidad de enfriamiento de 30 °C a 100 °C/segundo hasta la temperatura de bobinado. Posteriormente, la chapa de acero se puso en un horno y se sometió a enfriamiento lento simulado para el bobinado. También se indican en la Tabla 2 un valor del lado izquierdo de la Ecuación (4) y un diámetro medio del grano de una fase BBC de la chapa de acero laminado en caliente.

La medición de un diámetro medio del grano de una fase BBC en la chapa de acero laminado en caliente se llevó a cabo analizando diámetros del grano de la fase BBC definida por límites de granos de alto ángulo que tienen un ángulo de inclinación de al menos 15° en una sección transversal de la estructura de la chapa de acero, siendo la sección transversal paralela a una dirección de laminado y la dirección del espesor de chapa de la chapa de acero, usando un aparato SEM-EBSD (JSM-7001F fabricado por JEOL Ltd.). El diámetro medio del grano  $d$  de la fase BBC se obtuvo usando la siguiente Ecuación (5). Aquí,  $A_i$  representa el área de un  $i$ -ésimo grano, y  $d_i$  representa un diámetro de Heywood del grano  $i$ -ésimo.

$$d = \frac{\sum_i A_i \times d_i}{\sum_i A_i} \quad (5)$$

Para algunas de las chapas de acero laminado en caliente, el recocido de la placa laminada en caliente se llevó a cabo en las condiciones indicadas en la Tabla 2 usando un horno de calentamiento.

Cada una de las chapas de acero laminado en caliente obtenida como se ha descrito anteriormente se sometió a decapado usando un ácido clorhídrico y laminado en frío en la reducción por laminado indicada en la Tabla 2 de un modo convencional para hacer que la chapa de acero tuviera un espesor de 1,0 a 1,2 mm. Posteriormente, usando un equipo de recocido a escala de laboratorio, el recocido se llevó a cabo a la velocidad de calentamiento, la temperatura de inmersión (temperatura de recocido) y el tiempo de inmersión (tiempo de mantenimiento) indicados en la Tabla 2, y el enfriamiento se llevó a cabo en una condición que hizo que la velocidad de enfriamiento durante un intervalo de temperatura de desde 650 °C hasta 500 °C llegara a ser la "velocidad de enfriamiento" indicada en la Tabla 2, por lo que se obtuvo la chapa de acero laminado en frío resultante. El enfriamiento después de la inmersión se llevó a cabo usando gas nitrógeno. Además, en un proceso de enfriamiento, como se indica en la Tabla 2, cada chapa de acero se sometió a cualquiera de los tratamientos térmicos indicados en A a I a continuación, que se simulan para sobrevejecimiento o galvanizado por inmersión en caliente con aleación, y luego se enfrió hasta temperatura ambiente a 2 °C/segundo, por lo que se obtuvo la chapa de acero laminado en frío resultante. Las condiciones para estos tratamientos térmicos se indicaron a continuación.

A: Mantenimiento a 375 °C durante 330 segundos

B: Mantenimiento a 400 °C durante 330 segundos

C: Mantenimiento a 425 °C durante 330 segundos

D: Mantenimiento a 480 °C durante 15 segundos, luego enfriamiento hasta 460 °C para la simulación del baño de galvanizado por inmersión en caliente, y calentamiento adicional hasta 500 °C para la simulación



de aleación

E: Mantenimiento a 480 °C durante 60 segundos, luego enfriamiento hasta 460 °C para la simulación del baño de galvanizado por inmersión en caliente, y calentamiento adicional hasta 520 °C para la simulación de aleación

5 F: Mantenimiento a 480 °C durante 60 segundos, luego enfriamiento hasta 460 °C para la simulación del baño de galvanizado por inmersión en caliente, y calentamiento adicional hasta 540 °C para la simulación de aleación.

10 La Tabla 2 indica una proporción de una no recristalización de regiones no transformadas en austenita en ferrita en el momento de alcanzar (punto  $Ac_1 + 10$  °C). Este valor se obtuvo por el siguiente método. En otras palabras, cada chapa de acero que se había sometido al laminado en frío según las condiciones de fabricación en la presente invención se calentó a la temperatura (punto  $Ac_1 + 10$  °C) a la velocidad de calentamiento indicada en el número relevante de chapa de acero y entonces se enfrió inmediatamente por enfriamiento con agua. La estructura de la chapa de acero se fotografió usando SEM, y sobre la fotografía de estructura, se midieron las fracciones de una estructura de recristalización y una estructura deformada de cada una de las regiones, excepto la martensita, es decir, regiones distintas de las regiones transformadas en austenita en el momento de alcanzar (punto  $Ac_1 + 10$  °C) para obtener la proporción de la no recristalización.

[Tabla 2-1]

Nº de chapa de acero	Tipo de acero	Laminado en caliente								Laminado en frío y recocido					Tratamiento después del recocido	Observaciones			
		Temperatura de finalización del laminado	Velocidad de enfriamiento primario con agua	Disminución de la temperatura de enfriamiento primario	Velocidad de enfriamiento secundario con agua	Temperatura de mantenimiento	Tiempo de mantenimiento	Valor del lado izquierdo de la Ecuación (4)	Diámetro medio del grano de la chapa laminada en caliente	Temperatura de bobinado	Temperatura de recocido	Periodo de detención para 500 °C a 700 °C	Velocidad de reducción por laminado en frío	Velocidad de calentamiento			Temperatura de inmersión	Tiempo de inmersión	Velocidad de enfriamiento
1	A	895	1210	235	-	-	0,23	4,9	500	-	-	50	30	850	95	40	85	C	Ejemplo de la invención
2	A	895	1210	235	-	-	0,23	4,9	500	-	-	50	200	850	95	40	100	C	Ejemplo de la invención
3	A	895	1210	235	-	-	0,23	4,9	500	-	-	50	30	820	95	40	85	B	Ejemplo de la invención
4	A	895	1210	235	-	-	0,23	4,9	500	-	-	50	150	950	95	40	100	C	Ejemplo comparativo
5	A	900	870	80	820	0,75	0,54	5,2	500	-	-	50	2	850	95	40	0	C	Ejemplo comparativo
6	A	900	870	80	820	0,75	0,54	5,2	500	-	-	50	30	850	95	40	85	C	Ejemplo de la invención

ES 2 711 911 T3

N° de chapa de acero	Tipo de acero	Laminado en caliente							Laminado en frío y recocido				Observaciones						
		Temperatura de finalización del laminado	Velocidad de enfriamiento primario con agua	Disminución de la temperatura de enfriamiento primario	Velocidad de enfriamiento secundario con agua	Temperatura de mantenimiento	Tiempo de mantenimiento	Valor del lado izquierdo de la Ecuación (4)	Díámetro medio del grano de la chapa laminada en caliente	Temperatura de bobinado	Temperatura de recocido	Periodo de detención para 500 °C a 700 °C		Velocidad de reducción por laminado en frío	Velocidad de calentamiento	Temperatura de inmersión	Tiempo de inmersión	Velocidad de enfriamiento	Proporción de no cristalización en el punto Act1 + 10 °C
7	A	900	870	80	170	820	0,75	0,54	5,2	500	-	50	30	830	95	40	85	C	Ejemplo de la invención
8	A	895	200	190	-	895	3,00	31,00	9,8	500	-	50	2	850	95	40	0	C	Ejemplo comparativo
9	A	895	200	190	-	895	3,00	31,00	9,8	500	-	50	30	850	95	40	85	C	Ejemplo de la invención
10	A	895	200	190	-	895	3,00	31,00	11,2	600	-	50	200	830	95	40	100	C	Ejemplo de la invención
11	B	900	920	190	-	-	-	0,30	5,1	500	-	50	2	865	95	20	0	E	Ejemplo comparativo

ES 2 711 911 T3

N° de chapa de acero	Tipo de acero	Laminado en caliente								Laminado en frío y recocido					Tratamiento después del recocido	Observaciones			
		Temperatura de finalización del laminado	Velocidad de enfriamiento primario con agua	Disminución de la temperatura de enfriamiento primario	Velocidad de enfriamiento secundario con agua	Temperatura de mantenimiento	Tiempo de mantenimiento	Valor del lado izquierdo de la Ecuación (4)	Diámetro medio del grano de la chapa laminada en caliente	Temperatura de bobinado	Temperatura de recocido	Periodo de detención para 500 °C a 700 °C	Velocidad de reducción por laminado en frío	Velocidad de calentamiento			Temperatura de inmersión	Tiempo de inmersión	Velocidad de enfriamiento
12	B	900	920	190	-	-	0,30	5,1	500	-	-	50	50	865	95	20	90	E	Ejemplo de la invención
13	B	900	920	190	-	-	0,30	5,1	500	-	-	50	50	845	95	20	90	F	Ejemplo de la invención
14	B	900	180	180	-	900	37,00	10,6	500	-	3,50	50	2	865	95	20	0	E	Ejemplo comparativo
15	B	900	180	180	-	900	37,00	10,6	500	-	3,50	50	50	865	95	20	90	E	Ejemplo de la invención
16	B	900	920	190	-	-	0,30	5,1	150	600	7,0	50	2	865	95	40	0	B	Ejemplo comparativo
17	B	900	920	190	-	-	0,30	5,1	150	600	7,0	50	30	865	95	40	85	A	Ejemplo de la invención

ES 2 711 911 T3

N° de chapa de acero	Tipo de acero	Laminado en caliente								Laminado en frío y recocido					Tratamiento después del recocido	Observaciones			
		Temperatura de finalización del laminado	Velocidad de enfriamiento primario con agua	Disminución de la temperatura de enfriamiento primario	Velocidad de enfriamiento secundario con agua	Temperatura de mantenimiento	Tiempo de mantenimiento	Valor del lado izquierdo de la Ecuación (4)	Diámetro medio del grano de la chapa laminada en caliente	Temperatura de bobinado	Temperatura de recocido	Periodo de detención para 500 °C a 700 °C	Velocidad de reducción por laminado en frío	Velocidad de calentamiento			Temperatura de inmersión	Tiempo de inmersión	Velocidad de enfriamiento
18	B	900	920	50	170	850	2,00	3,30	5,5	150	600	7,0	50	50	845	95	40	90	B
19	C	900	1130	240	-	-	-	0,24	5,0	500	-	-	50	2	850	95	40	0	B
20	C	900	1130	240	-	-	-	0,24	5,0	500	-	-	50	150	850	95	40	100	C
21	C	900	1130	240	-	-	-	0,24	5,0	500	-	-	50	150	830	95	40	100	C
22	D	900	1210	235	-	-	-	0,23	5,0	500	-	-	50	10	850	95	40	15	C
23	D	900	1210	235	-	-	-	0,23	5,0	500	-	-	50	30	850	95	40	85	C

ES 2 711 911 T3

N° de chapa de acero	Tipo de acero	Laminado en caliente								Laminado en frío y recocido				Observaciones	Ejemplo de la invención	Ejemplo comparativo	Ejemplo de la invención	Ejemplo comparativo
		Temperatura de finalización del laminado	Velocidad de enfriamiento primario con agua	Disminución de la temperatura de enfriamiento primario	Velocidad de enfriamiento secundario con agua	Temperatura de mantenimiento	Tiempo de mantenimiento	Valor del lado izquierdo de la Ecuación (4)	Díametro medio del grano de la chapa laminada en caliente	Temperatura de bobinado	Temperatura de recocido	Periodo de detención para 500 °C a 700 °C	Velocidad de reducción por laminado en frío					
24	D	900	1210	235	-	-	0,23	5,0	500	-	-	50	150	830	95	40	100	B
25	E	890	880	70	170	820	0,82	4,8	150	600	7,0	50	2	870	95	40	0	C
26	E	890	880	70	170	820	0,82	4,8	150	600	7,0	50	30	870	95	40	85	C
27	E	890	880	70	170	820	0,82	4,8	150	600	7,0	50	30	<u>770</u>	95	40	85	B

\*La temperatura de mantenimiento en un intervalo desde la temperatura de finalización del laminado en caliente (FT) hasta (FT - 100 °C)  
 Un subrayado significa que el tipo de acero relevante o valor se encuentra fuera del alcance de la invención

[Tabla 2-2]

Nº de chapa de acero	Tipo de acero	Laminado en caliente							Laminado en frío y recocido				Tratamiento después del recocido	Observaciones					
		Temperatura de finalización del laminado	Velocidad de enfriamiento primario con agua	Disminución de la temperatura de enfriamiento primario	Velocidad de enfriamiento secundario con agua	Temperatura de mantenimiento	Tiempo de mantenimiento*	Valor del lado izquierdo de la Ecuación (4)	Díametro medio del grano de la chapa laminada en caliente	Temperatura de bobinado	Temperatura de recocido laminada en caliente	Periodo de detención para 500 °C hasta 700 °C			Velocidad de reducción por laminado en frío	Velocidad de calentamiento	Temperatura de inmersión	Tiempo de inmersión	Velocidad de enfriamiento
		°C	°C/s	°C	°C	(s)		µm	°C	°C	h	%	°C/s	°C	(s)	°C/s	%		
28	F	895	1210	230	-	-	0,23	5,1	500	-	-	50	2	850	95	40	0	B	Ejemplo comparativo
29	F	895	1210	230	-	-	0,23	5,1	500	-	-	50	30	850	95	40	85	B	Ejemplo de la invención
30	F	895	1210	230	-	-	0,23	5,1	500	-	-	50	30	<u>950</u>	95	40	85	B	Ejemplo comparativo
31	F	895	1210	230	-	-	0,23	5,1	500	-	-	50	100	830	95	40	100	B	Ejemplo de la invención
32	F	895	1210	230	-	-	0,23	5,1	500	-	-	50	30	850	95	20	85	F	Ejemplo de la invención
33	F	895	1210	230	-	-	0,23	5,3	150	600	7,0	50	<u>10</u>	850	95	20	<u>15</u>	E	Ejemplo comparativo
34	F	895	1210	230	-	-	0,23	5,3	150	600	7,0	50	30	830	95	20	85	E	Ejemplo de la invención
35	G	900	980	250	-	-	0,28	5,6	400	-	-	50	2	880	95	40	23	C	Ejemplo comparativo
36	G	900	980	250	-	-	0,28	5,6	400	-	-	50	30	855	95	40	100	A	Ejemplo de la invención

ES 2 711 911 T3

Nº de chapa de acero	Tipo de acero	Laminado en caliente								Laminado en frío y recocido				Observaciones				
		Temperatura de finalización del laminado	Velocidad de enfriamiento primario con agua	Disminución de la temperatura de enfriamiento primario	Velocidad de enfriamiento secundario con agua	Temperatura de mantenimiento	Tiempo de mantenimiento de temperatura*	Valor del lado izquierdo de la Ecuación (4)	Diámetro medio del grano de la chapa laminada en caliente	Temperatura de bobinado	Temperatura de recocido laminada en caliente	Periodo de detención para 500 °C hasta 700 °C	Velocidad de reducción por laminado en frío		Velocidad de calentamiento	Temperatura de inmersión	Tiempo de inmersión	Velocidad de enfriamiento
		°C	°C/s	°C	°C	(s)		µm	°C	°C	h	%	°C/s	°C	(s)	°C/s	%	
37	H	900	1210	235	-	-	0,23	4,8	500	-	-	50	2	850	95	20	0	Tratamiento después del recocido
38	H	900	1210	235	-	-	0,23	4,8	500	-	-	50	30	850	95	20	85	Ejemplo de la invención
39	H	900	1210	235	-	-	0,23	4,8	500	-	-	50	30	820	95	20	85	Ejemplo de la invención
40	H	900	1210	235	-	-	0,23	5,0	150	600	7	50	30	820	200	20	85	Ejemplo de la invención
41	I	810	840	190	-	-	0,33	2,1	150	-	-	55	10	820	60	50	23	Ejemplo comparativo
42	I	810	840	190	-	-	0,33	2,1	150	-	-	55	100	820	60	50	100	Ejemplo de la invención
43	J	820	840	180	-	-	0,33	2,1	150	-	-	55	10	840	60	50	19	Ejemplo comparativo
44	J	820	840	180	-	-	0,33	2,1	150	-	-	55	50	840	60	50	55	Ejemplo de la invención
45	J	820	840	180	-	-	0,33	2,1	150	-	-	55	100	840	60	50	85	Ejemplo de la invención
46	K	900	980	250	-	-	0,28	4,5	500	-	-	50	30	865	95	40	95	Ejemplo comparativo



ES 2 711 911 T3

Nº de chapa de acero	Tipo de acero	Laminado en caliente								Laminado en frío y recocido				Observaciones					
		Temperatura de finalización del laminado	Velocidad de enfriamiento primario con agua	Disminución de la temperatura de enfriamiento primario	Velocidad de enfriamiento secundario con agua	Temperatura de mantenimiento	Tiempo de mantenimiento de temperatura*	Valor del lado izquierdo de la Ecuación (4)	Dímetro medio del grano de la chapa laminada en caliente	Temperatura de bobinado	Temperatura de recocido laminada en caliente	Periodo de detención para 500 °C hasta 700 °C	Velocidad de reducción por laminado en frío		Velocidad de calentamiento	Temperatura de inmersión	Tiempo de inmersión	Velocidad de enfriamiento	Proporción de no cristalización en el punto Ac1 + 10 °C
		°C	°C/s	°C	°C	(s)		µm	°C	°C	h	%	°C/s	°C	(s)	°C/s	%		
47	K	900	980	250	-	-	0,28	4,5	500	-	-	50	100	865	95	40	100	A	Ejemplo comparativo
48	L	850	885	200	-	-	0,31	2,1	150	-	-	50	10	850	60	50	0	B	Ejemplo comparativo
49	L	850	885	200	-	-	0,31	2,1	150	-	-	50	100	850	60	50	66	B	Ejemplo comparativo
50	M	810	1080	160	-	-	0,25	3,8	100	-	-	55	2	800	95	40	8	B	Ejemplo comparativo
51	M	810	1080	160	-	-	0,25	3,8	100	-	-	55	100	800	95	40	92	B	Ejemplo de la invención
52	M	810	1080	160	-	-	0,25	3,7	100	600	7	55	2	800	95	40	11	B	Ejemplo comparativo
53	M	810	1080	160	-	-	0,25	3,7	100	600	7	55	100	800	95	40	94	B	Ejemplo de la invención
54	M	810	1080	160	-	-	0,25	3,7	100	600	7	55	200	800	95	40	98	B	Ejemplo de la invención

\*La temperatura de mantenimiento en un intervalo desde la temperatura de finalización del laminado en caliente (FT) hasta (FT - 100 °C)  
 Un subrayado significa que el tipo de acero relevante o valor se encuentra fuera del alcance de la invención

Se investigaron del siguiente modo la microestructura y propiedades mecánicas de cada una de las chapas de acero laminado en frío fabricadas como se ha descrito anteriormente. Los resultados de la investigación se indican conjuntamente en la Tabla 3.

5 Se obtuvieron un diámetro medio del grano de ferrita y un diámetro del grano de austenita retenida que tienen una relación de aspecto inferior a 5 en cada chapa de acero laminado en frío usando un equipo SEM-EBSD, por referencia a una estructura de una sección transversal en una dirección de laminado a una profundidad de 1/4 del espesor de chapa de la chapa de acero, como en el caso de las chapas de acero laminado en caliente. Para un análisis de EBSD de una estructura que contiene la fase de austenita retenida, la austenita retenida no se mide de manera interesada correctamente debido a la perturbación en el momento de la preparación de las muestras (por ejemplo, transformación de austenita retenida en martensita). Así, en el presente ejemplo, se proporcionó la premisa de evaluación de que una fracción de área de austenita retenida obtenida por un análisis de EBSD ( $\gamma$ EBSD) cumple ( $\gamma$ EBSD/ $\gamma$ XRD) > 0,7 con respecto a una fracción en volumen de austenita retenida obtenida por difracción de rayos X ( $\gamma$ XRD) para un índice de precisión de análisis.

10 Se obtuvieron las fracciones de área de ferrita y la fase de transformación de baja temperatura por un análisis estructural usando SEM-EBSD. Por tanto, se obtuvo una relación de volumen de la fase de austenita por medio de difracción de rayos X usando el equipo descrito después para usar la relación en volumen como una fracción de área de austenita retenida ( $\gamma$  retenida).

15 La medición de una textura de cada chapa de acero laminado en frío se llevó a cabo por difracción de rayos X en un plano a una profundidad de 1/2 del espesor de chapa de una chapa de acero. Se obtuvieron las intensidades en el grupo de orientación  $\{100\}\langle 011\rangle$  a  $\{211\}\langle 011\rangle$  usando ODF (función de distribución de orientaciones) obtenida analizando los resultados medidos de figuras de polos de  $\{200\}$ ,  $\{110\}$  y  $\{211\}$  de ferrita. A partir de los resultados del análisis, se obtuvo una relación en la intensidad de cada una de las orientaciones  $\{100\}\langle 011\rangle$ ,  $\{411\}\langle 011\rangle$  y  $\{211\}\langle 011\rangle$  con respecto a una estructura al azar que no tenía una textura, y se usó un valor promedio de las relaciones de la intensidad como una relación promedio de la intensidad en el grupo de orientación  $\{100\}\langle 011\rangle$  a  $\{211\}\langle 011\rangle$ . Se obtuvieron las intensidades de rayos X de la estructura al azar que no tenía una textura por difracción de rayos X de acero en polvo. El aparato usado para la difracción de rayos X fue RINT-2500HL/PC fabricado por Rigaku Corporation.

20 Se investigaron las propiedades mecánicas de cada chapa de acero laminado en frío después del recocido por un ensayo de tracción y un ensayo de extensión de orificio. El ensayo de tracción se llevó a cabo usando una pieza de ensayo de tracción JIS N° 5 para determinar una resistencia a la tracción (TS) y alargamiento a la rotura (alargamiento total, EI). El ensayo de extensión de orificio se llevó a cabo en conformidad con JIS Z 2256:2010 para determinar un porcentaje de expansión del orificio  $\lambda$  (%). Se calculó un valor de TS×EI como un índice para equilibrar la resistencia y la ductilidad, y se calculó un valor de TS× $\lambda$  como un índice para equilibrar entre la resistencia y el rebordeado por estiramiento. Los valores respectivos se indican en la Tabla 3.

ES 2 711 911 T3

[Tabla 3-1]

Chapa de acero N°	Tipo de acero	Estructura de la chapa de acero laminado en frío							Propiedades mecánicas de la chapa de acero laminado en frío					Observaciones
		Fracción de área (%)			Relación de y retenida esférica <sup>1)</sup> (%)	Diámetro del grano (µm)		Textura <sup>2)</sup>	Resistencia a la tracción (Mpa)	Alargamiento a la rotura (%)	Porcentaje de expansión de orificio (λ) (%)	TS × EI (MPax %)	TS × λ (MPax %)	
		Fase de transformación de baja temperatura	Ferrita	y retenida		Ferrita	y retenida esférica <sup>1)</sup>							
1	A	83	3	14	70	2,8	1,0	3,3	1025,5	22,6	47,3	23176	48468	Ejemplo de la invención
2	A	83	4	13	72	2,3	0,9	3,5	1021,2	23,4	46,1	23896	47077	Ejemplo de la invención
3	A	86	3	11	72	2,5	0,9	3,9	1090,8	19,5	56,0	21271	61044	Ejemplo de la invención
4	A	83	4	13	<u>42</u>	<u>8,2</u>	1,6	2,5	1025,6	18,7	47,2	19178	48406	Ejemplo comparativo
5	A	83	3	14	<u>49</u>	<u>4,8</u>	1,1	3,2	1018,2	18,3	54,8	18633	55818	Ejemplo comparativo
6	A	84	3	13	69	2,9	1,0	3,3	1012,2	21,1	50,4	21357	51015	Ejemplo de la invención
7	A	84	3	13	70	2,5	0,9	3,6	998,2	22,4	53,0	22360	52905	Ejemplo de la invención
8	A	83	3	14	<u>45</u>	<u>7,8</u>	1,4	2,8	1041,7	18,7	49,7	19480	51720	Ejemplo comparativo
9	A	83	4	13	61	3,6	1,0	3,2	1035,0	21,6	41,6	22356	43082	Ejemplo de la invención
10	A	81	5	14	55	3,7	1,0	3,3	1015,0	20,1	47,8	20402	48517	Ejemplo de la invención
11	B	77	11	12	51	<u>5,3</u>	1,1	3,0	987,2	19,8	45,5	11954 7	44918	Ejemplo comparativo
12	B	78	11	11	69	3,2	1,0	3,4	976,3	22,9	58,2	22357	56821	Ejemplo de la invención
13	B	77	12	11	71	2,9	0,9	3,4	915,2	27,8	42,4	25443	38804	Ejemplo de la invención
14	B	79	10	11	<u>43</u>	<u>9,2</u>	1,6	2,3	974,0	18,2	49,3	17727	48018	Ejemplo comparativo
15	B	79	11	10	57	3,5	1,0	3,5	970,9	22,1	55,8	21457	54176	Ejemplo de la invención
16	B	80	10	10	51	<u>5,4</u>	1,2	3,1	1013,0	18,2	56,3	18437	57007	Ejemplo comparativo
17	B	80	11	9	73	3,1	0,9	3,3	1019,7	20,2	66,6	20598	67887	Ejemplo de la invención

ES 2 711 911 T3

Chapa de acero N°	Tipo de acero	Estructura de la chapa de acero laminado en frío							Propiedades mecánicas de la chapa de acero laminado en frío					Observaciones
		Fracción de área (%)			Relación de y retenida esférica <sup>1</sup> (%)	Diámetro del grano (µm)		Textura <sup>2</sup>	Resistencia a la tracción (Mpa)	Alargamiento a la rotura (%)	Porcentaje de expansión de orificio (λ) (%)	TS x EI (MPax %)	TS x λ (MPax %)	
		Fase de transformación de baja temperatura	Ferrita	y retenida		Ferrita	y retenida esférica <sup>1</sup>							
18	B	80	11	9	61	3,1	0,9	3,5	944,0	22,7	55,9	21429	52758	Ejemplo de la invención
19	C	86	3	11	52	<u>4,2</u>	1,0	3,1	1110,5	15,4	48,8	17102	54151	Ejemplo comparativo
20	C	85	4	11	71	2,8	0,9	3,6	1023,5	20,4	48,4	20879	49499	Ejemplo de la invención
21	C	86	4	10	71	2,6	0,9	3,7	1022,2	21,1	49,0	21567	50060	Ejemplo de la invención
22	D	83	3	14	51	<u>4,4</u>	1,1	3,2	976,0	19,9	47,7	19422	46543	Ejemplo comparativo
23	D	84	4	12	69	3,2	0,9	3,3	982,5	21,9	46,4	21516	45537	Ejemplo de la invención
24	D	84	4	12	72	3,0	0,9	4,1	1016,8	20,9	48,6	21250	49427	Ejemplo de la invención
25	E	83	2	15	53	<u>4,4</u>	1,0	3,2	1108,2	17,1	51,3	18950	56851	Ejemplo comparativo
26	E	83	3	14	72	2,7	0,9	3,4	1096,3	20,8	49,4	22803	54157	Ejemplo de la invención
27	E	75	15	10	79	2,1	0,9	<u>8,2</u>	1132,7	17,5	31,2	19822	35340	Ejemplo comparativo
28	F	86	3	11	53	<u>4,1</u>	1,1	3,2	1082,1	15,4	58,3	16664	63032	Ejemplo comparativo
29	F	78	12	10	72	2,1	0,9	3,5	1016,1	21,4	53,4	21743	54244	Ejemplo de la invención
30	F	87	2	11	47	<u>6,2</u>	1,2	2,8	972,3	16,7	54,2	16237	52699	Ejemplo comparativo
31	F	71	19	10	75	2,0	0,9	4,3	988,7	23,8	49,9	23531	49348	Ejemplo de la invención
32	F	55	36	9	75	3,2	1,0	3,3	967,3	23,6	47,8	22828	46237	Ejemplo de la invención
33	F	63	27	10	55	<u>4,6</u>	1,1	3,1	1021,0	16,2	54,3	16540	55440	Ejemplo comparativo
34	F	57	34	9	79	2,8	0,9	3,6	981,0	22,4	56,2	21974	55132	Ejemplo de la invención

ES 2 711 911 T3

Chapa de acero N°	Tipo de acero	Estructura de la chapa de acero laminado en frío							Propiedades mecánicas de la chapa de acero laminado en frío					Observaciones
		Fracción de área (%)			Relación de $\gamma$ retenida esférica <sup>1)</sup> (%)	Diámetro del grano ( $\mu\text{m}$ )		Textura <sup>2)</sup>	Resistencia a la tracción (Mpa)	Alargamiento a la rotura (%)	Porcentaje de expansión de orificio ( $\lambda$ ) (%)	TS x EI (MPax %)	TS x $\lambda$ (MPax %)	
		Fase de transformación de baja temperatura	Ferrita	$\gamma$ retenida		Ferrita	$\gamma$ retenida esférica <sup>1)</sup>							
35	G	87	2	11	62	<u>4,5</u>	1,1	2,9	898,3	22,9	44,8	20571	40199	Ejemplo comparativo
36	G	88	2	10	73	2,8	0,9	3,3	879,9	27,6	48,7	24284	42871	Ejemplo de la invención

1)  $\gamma$  retenida de tipo grumo = austenita retenida de tipo grumo que tiene una relación de aspecto inferior a 5

2) Textura = intensidad media de rayos X de orientaciones  $\{100\}<011>$  a  $\{211\}<011>$

Un subrayado significa que el tipo de acero relevante o valor se encuentra fuera del alcance de la presente invención.

ES 2 711 911 T3

[Tabla 3-2]

Chapa de acero N°	Tipo de acero	Estructura de chapa de acero laminado en frío							Propiedades mecánicas de chapa de acero laminado en frío					Observaciones
		Fracción de área (%)			Relación de y retenida esférica <sup>1</sup> (%)	Diámetro del grano (µm)		Textura <sup>2</sup>	Resistencia a la tracción (Mpa)	Alargamiento a la rotura (%)	Porcentaje de expansión de orificio (λ) (%)	TS x EI (MPax %)	TS x λ (MPax %)	
		Fase de transformación de baja temperatura	Ferrita	y retenida		Ferrita	y retenida esférica <sup>1</sup>							
37	H	65	22	13	56	<u>53</u>	1,4	2,7	1123,1	16,2	49,2	18194	55257	Ejemplo comparativo
38	H	59	29	12	71	2,8	0,9	3,2	1083,6	19,2	53,8	20805	58298	Ejemplo de la invención
39	H	55	34	11	78	2,3	0,9	3,4	1096,4	20,3	52,9	22257	58000	Ejemplo de la invención
40	H	56	33	11	78	2,4	0,9	3,3	1073,9	19,8	54,2	21263	58205	Ejemplo de la invención
41	I	89	2	9	<u>39</u>	<u>4,8</u>	1,3	2,7	845,5	20,1	58,2	16995	49208	Ejemplo comparativo
42	I	89	2	9	63	2,3	0,9	3,7	832,1	25,2	<u>57,3</u>	20969	47679	Ejemplo de la invención
43	J	88	5	7	58	<u>5,6</u>	1,3	2,9	888,0	15,4	65,2	13675	57898	Ejemplo comparativo
44	J	88	5	7	72	3,2	1,0	3,3	871,5	22,8	<u>63,1</u>	19870	54992	Ejemplo de la invención
45	J	87	6	7	75	2,7	0,9	3,3	862,1	22,9	62,6	19742	53967	Ejemplo de la invención
46	<u>K</u>	90	2	8	72	2,7	0,9	5,1	1069,0	17,2	44,2	18387	47250	Ejemplo comparativo
47	<u>K</u>	90	2	8	75	2,1	0,9	5,2	1073,0	16,3	<u>47,6</u>	17490	51075	Ejemplo comparativo

Chapa de acero N°	Tipo de acero	Estructura de chapa de acero laminado en frío							Propiedades mecánicas de chapa de acero laminado en frío					Observaciones
		Fracción de área (%)			Relación de y retenida esférica <sup>1)</sup> (%)	Diámetro del grano (µm)		Textura <sup>2)</sup>	Resistencia a la tracción (Mpa)	Alargamiento a la rotura (%)	Porcentaje de expansión de orificio (λ) (%)	TS x EI (MPa x %)	TS x λ (MPa x %)	
		Fase de transformación de baja temperatura	Ferrita	y retenida		Ferrita	y retenida esférica <sup>1)</sup>							
48	<u>L</u>	13	87	<u>0</u>	-	<u>6,4</u>	-	2,1	481,2	29,9	108,0	14388	51970	Ejemplo comparativo
49	<u>L</u>	11	89	<u>0</u>	-	<u>6,1</u>	-	2,2	489,3	30,1	109,0	14728	53334	Ejemplo comparativo
50	<u>M</u>	92	5	2	-	4,5	-	2,8	911,5	11,915	62,22	10860	56714	Ejemplo comparativo
51	M	91	7	1	-	2,4	-	3,3	901,5	15,926	71,21	14357	64196	Ejemplo de la invención
52	<u>M</u>	94	3	2	-	4,2	-	3,1	902	14,897	47,41	13437	42762	Ejemplo comparativo
53	<u>M</u>	92	5	2	-	2,3	-	3,6	909	14,56	71,99	13235	65438	Ejemplo de la invención
54	<u>M</u>	90	8	1	-	2,1	-	5,2	913	15,8	75,5	14425	68931	Ejemplo de la invención

1) y retenida de tipo grumo = austenita retenida de tipo grumo que tiene una relación de aspecto inferior a 5

2) Textura = intensidad media de rayos X de orientaciones {100}<011> a {211}<011>

Un subrayado significa que el tipo de acero relevante o valor se encuentra fuera del alcance de la presente invención.

- 5 De las chapas de acero N° 1 a 10 fabricadas a partir del tipo de acero A, en las chapas de acero N° 1 a 3 y 6, 7, 9 y 10 en las que las velocidades de calentamiento durante el recocido son al menos 15 °C/segundo, de cada una se obtuvo una chapa de acero laminado en frío que tenía una microestructura según la presente invención. En particular, en las chapas de acero N° 1 a 3, 6 y 7 que usan una chapa de acero laminado en caliente de grano fino que cumple las condiciones para el enfriamiento después del laminado en caliente en la Ecuación (4) como material base, se obtuvieron granos más finos de austenita retenida en comparación con las chapas de acero N° 9 y 10 que no cumplen la Ecuación (4).
- 10 Por otra parte, en la chapa de acero N° 4, la temperatura de inmersión durante el recocido fue alta, y en las chapas de acero N° 5 y 8, la velocidad de calentamiento durante el recocido fue baja, dando como resultado la proporción de y de tipo grumo retenida que tenía una relación de aspecto inferior a 5 con respecto a la austenita retenida (y retenida) que llegaba a ser inferior a 50 %, y así, no se cumplió la Ecuación (2) anterior y los diámetros del grano de ferrita, que es una segunda fase, fueron gruesos.
- 15 Se obtuvieron resultados similares a los anteriores para los otros tipos de acero, y se obtuvo alta aptitud para ser trabajado en cada uno de los ejemplos de la invención.
- 20 Por otra parte, en las chapas de acero N° 5, 8, 11, 14, 16, 19, 22, 25, 28, 33, 35, 37, 41, 43, 48, 50 y 52, la velocidad de calentamiento durante el recocido fue inferior a 15 °C/segundo, y así, la proporción de la no recristalización en Ac<sub>1</sub> + 10 °C fue inferior a 30 %. Así, engrosó la microestructura de la chapa de acero laminado en frío y el diámetro medio del grano de ferrita supera el límite superior especificado en la presente invención. Como resultado, las propiedades mecánicas fueron insuficientes.

En las chapas de acero N° 4 y 30, se llevó a cabo el rápido calentamiento durante el recocido, pero puesto que la temperatura de recocido superó  $Ac_3 + 100\text{ °C}$ , engrosó la microestructura de la chapa de acero laminado en frío y el diámetro del grano de ferrita superó el límite superior especificado en la presente invención. Como resultado, no se obtuvieron buenas propiedades mecánicas.

5 Puesto que para la chapa de acero N° 27 la temperatura de recocido fue inferior a  $(0,3 \times Ac_1 + 0,7 \times Ac_3)$ , y como resultado, la textura no cumplió el requisito de la presente invención. Por consiguiente, no se pudieron obtener buenas propiedades mecánicas.

10 Para las chapas de acero N° 46 y 47, que tenían un contenido de Nb de 0,123 %, el acero endureció excesivamente y así se deterioró la aptitud para ser trabajado. Como resultado, las propiedades mecánicas de la chapa de acero laminado en frío fueron bajas, independientemente de la velocidad de calentamiento.

Además, en las chapas de acero N° 48 y 49, que tenían un contenido de Si de 0,06 %, no se produjo austenita retenida en la chapa de acero laminado en frío. Así, la ductilidad sigue siendo baja independientemente de la baja resistencia. Como resultado, las propiedades mecánicas de la chapa de acero laminado en frío fueron bajas independientemente de la velocidad de calentamiento.

15



**REIVINDICACIONES**

1. Una chapa de acero laminado en frío caracterizada por que tiene:

5 una composición química que consiste en, en % en masa de C: 0,06 a 0,3, Si: 0,6 a 2,5 %, Mn: 0,6 a 3,5 %, P: como máximo 0,1 %, S: como máximo 0,05 %, Ti: 0 a 0,08 %, Nb: 0 a 0,04 %, total de Ti y Nb: 0 a 0,10 %, Al sol.: 0 a 2,0 %, Cr: 0 a 1 %, Mo: 0 a 0,3 %, V: 0 a 0,3 %, B: 0 a 0,005 %, Ca: 0 a 0,003 %, REM: 0 a 0,003 %, opcionalmente uno o más elementos seleccionados de Ti: 0,005 a 0,08 %, Nb: 0,003 a 0,04 %, Al sol.: 0,1 a 2,0 %, Cr: 0,03 a 1 %, Mo: 0,01 a 0,3 %, V: 0,01 a 0,3 %, B: 0,0003 a 0,005 %, Ca: 0,0005 a 0,003 % y REM: 0,0005 a 0,003 %, y el resto Fe e impurezas;

una microestructura que tiene

10 una fase principal de cualquiera o ambas de martensita y bainita que comprende al menos 40 % de área en total y una segunda fase de ferrita que comprende al menos 3 % de área y cumple la Ecuación (1):

$$d_F \leq 4,0 \quad \dots (1)$$

donde  $d_F$  es un diámetro medio del grano (unidad:  $\mu\text{m}$ ) de ferrita definido por límites de granos de alto ángulo que tienen un ángulo de inclinación de al menos  $15^\circ$ ; y

15 una textura en la que la proporción de una intensidad media de rayos X para orientaciones  $\{100\}\langle 011 \rangle$  a  $\{211\}\langle 011 \rangle$  con respecto a la intensidad media de rayos X de una estructura al azar que no tiene una textura a una profundidad de 1/2 de un espesor de chapa es inferior a 6.

2. La chapa de acero laminado en frío como se expone en la reivindicación 1, en donde la microestructura tiene una fase de austenita retenida que comprende al menos 3 % de área y cumple las Ecuaciones (2) y (3):

20

$$d_{As} \leq 1,5 \quad \dots (2); \text{ y}$$

$$r_{As} \geq 50 \quad \dots (3),$$

donde  $d_{As}$  es un diámetro medio del grano (unidad:  $\mu\text{m}$ ) de austenita retenida que tiene una relación de aspecto inferior a 5 y  $r_{As}$  es una fracción de área (%) de la austenita retenida que tiene una relación de aspecto inferior a 5 con respecto a toda la austenita retenida.

25 3. La chapa de acero laminado en frío como se expone en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, que comprende una capa de recubrimiento en baño sobre una superficie de chapa.

4. Proceso para la fabricación de una chapa de acero laminado en frío, caracterizado por que comprende las siguientes etapas (A) y (B):

30 (A) una etapa de laminado en frío en la que una chapa de acero laminado en caliente que tiene una composición química como se expone en la reivindicación 1 se lamina en frío para obtener una chapa de acero laminado en frío, en donde la chapa de acero laminado en caliente es una chapa de acero en la que el diámetro medio del grano de una fase BBC definida por límites de granos de alto ángulo que tienen un ángulo de inclinación de al menos  $15^\circ$  es como máximo  $6 \mu\text{m}$ , obteniéndose la chapa de acero por una etapa de laminado en caliente del enfriamiento a una velocidad de enfriamiento (velocidad E) que cumple la siguiente Ecuación (4) durante un intervalo de temperatura desde una temperatura al finalizar el laminado hasta (temperatura al finalizar el laminado  $-100^\circ\text{C}$ ) después de

35 finalizar el laminado en caliente en el que laminado en caliente finaliza en al menos el punto  $Ar_3$ :

$$IC(T) = 0,1 - 3 \times 10^{-3} \cdot T + 4 \times 10^{-5} \cdot T^2 - 5 \times 10^{-7} \cdot T^3 + 5 \times 10^{-9} \cdot T^4 - 7 \times 10^{-11} \cdot T^5$$

$$\int_0^{-100} \frac{-dT}{\text{Velocidad } E(T) \cdot IC(T)} < 4 \quad (4)$$

donde velocidad E (T) es una velocidad de enfriamiento ( $^\circ\text{C/s}$ ) (valor positivo),

40 T es una temperatura relativa ( $^\circ\text{C}$ , valor negativo) con la temperatura al finalizar el laminado como cero, y

si existe una temperatura a la que la velocidad E es cero, se añade un valor obtenido dividiendo un tiempo de mantenimiento ( $\Delta t$ ) a la temperatura entre IC (T) como una integral para la sección; y

45 (B) una etapa de recocido en la que la chapa de acero laminado en frío obtenida en la etapa (A) se calienta en condiciones tales que la chapa de acero laminado en frío se calienta a una condición de velocidad media de calentamiento de al menos  $15^\circ\text{C/segundo}$  de manera que una proporción de una no recristalización de una región no transformada en austenita en un tiempo de alcanzar (punto  $Ac_1 + 10^\circ\text{C}$ ) llega a ser al menos 30 % de área, y

entonces se mantiene en un intervalo de temperatura de al menos  $(0,3 \times \text{punto } A_{c1} + 0,7 \times \text{punto } A_{c3})$  y como máximo  $(\text{punto } A_{c3} + 100 \text{ }^\circ\text{C})$  durante al menos 30 segundos, y la chapa de acero se enfría entonces a una velocidad media de enfriamiento de al menos  $10 \text{ }^\circ\text{C/segundo}$  durante un intervalo de temperatura de como máximo  $650 \text{ }^\circ\text{C}$  y al menos  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- 5 5. El proceso para la fabricación de una chapa de acero laminado en frío como se expone en la reivindicación 4, en donde después de finalizar el laminado en caliente, la chapa de acero laminado en caliente se bobina a una temperatura de como máximo  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  y entonces se somete a tratamiento térmico en un intervalo de temperatura de  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $700 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- 10 6. El proceso para la fabricación de una chapa de acero laminado en frío como se expone en la reivindicación 4, en donde el enfriamiento en el intervalo de temperatura incluye empezar el enfriamiento a una velocidad de enfriamiento de al menos  $400 \text{ }^\circ\text{C/segundo}$  y el enfriamiento a la velocidad de enfriamiento en un intervalo de temperatura de al menos  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- 15 7. El proceso para la fabricación de una producción de chapa de acero laminado en frío como se expone en la reivindicación 4, en donde el enfriamiento en el intervalo de temperatura incluye empezar el enfriamiento con agua a una velocidad de enfriamiento de al menos  $400 \text{ }^\circ\text{C/segundo}$  y el enfriamiento a la velocidad de enfriamiento para una sección de temperatura de al menos  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  y como máximo  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ , y luego parar un tiempo de parada por enfriamiento con agua de 0,2 a 1,5 segundos para medir una forma de la chapa durante el tiempo, y posteriormente el enfriamiento a una velocidad de al menos  $50 \text{ }^\circ\text{C/segundo}$ .
- 20 8. El proceso para la fabricación de una producción de chapa de acero laminado en frío como se expone en cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7, que comprende además la etapa de recubrir en baño la chapa de acero laminado en frío después de la etapa (B).