

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 748 699**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00	(2006.01)	C22C 38/14	(2006.01)
C21D 9/46	(2006.01)	C22C 38/24	(2006.01)
C22C 38/38	(2006.01)	C22C 38/28	(2006.01)
C21D 1/06	(2006.01)		
C21D 8/02	(2006.01)		
C23C 8/26	(2006.01)		
C22C 38/02	(2006.01)		
C22C 38/04	(2006.01)		
C22C 38/06	(2006.01)		
C22C 38/12	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.06.2015 PCT/JP2015/067217**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **17.12.2015 WO15190618**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.06.2015 E 15807136 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.08.2019 EP 3141627**

54 Título: **Lámina de acero para tratamiento de nitruración suave, método para fabricarla y acero con nitruración suave**

30 Prioridad:

13.06.2014 JP 2014122568
14.10.2014 JP 2014209974

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.03.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

TANIGUCHI, SHUNSUKE y
SAKURADA, EISAKU

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 748 699 T3

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

DESCRIPCIÓN

Lámina de acero para tratamiento de nitruración suave, método para fabricarla y acero con nitruración suave

Campo técnico

5 La presente invención hace referencia a una lámina de acero para tratamiento de nitruración suave y un método para fabricarla y, en particular, una lámina de acero para tratamiento de nitruración suave que se someterá a un tratamiento de nitruración suave después de someterse a trabajo de prensado y un método para su fabricación. Además, la presente invención hace referencia a acero con nitruración suave y, en particular, a un acero con nitruración suave que tiene excelente aptitud para el moldeo por prensado antes del tratamiento de nitruración y excelentes características de fatiga después del tratamiento de nitruración.

10 Antecedentes de la técnica

El tratamiento de endurecimiento de superficie es un tratamiento para generar tensión residual en una superficie de acero para mejorar la resistencia a la abrasión y resistencia a la fatiga simultáneamente con el endurecimiento de la superficie del acero. Los ejemplos de método para tratamiento de endurecimiento de superficie típico que se usan actualmente en la práctica incluyen tratamiento de carburización y tratamiento de nitruración.

15 El tratamiento de carburización es un tratamiento que implica aumentar la temperatura del acero a una región y difundir y permear carbono sobre la superficie del acero. Después de la carburización, se temple para intentar el endurecimiento de la superficie. Dado que la temperatura del acero se aumenta a la región de alta temperatura en el tratamiento de carburización, se puede lograr un endurecimiento profundo. Sin embargo, dado que es necesario realizar el temple y revenido después de la carburización, es probable que se genere tensión. Por lo tanto, el acero sometido al tratamiento de carburización no se puede usar para las partes que se usan para componentes que acompañan la rotación, como la transmisión de un automóvil. Aunque la tensión puede eliminarse mediante la realización de tratamiento especial tal como tratamiento de revenido en prensa después del temple, no se puede evitar la pérdida de tiempo y costo que acompaña al tratamiento especial.

20 Por otro lado, el tratamiento de nitruración es tratamiento que implica difundir y permear nitrógeno a temperatura menor o igual que un punto A₁. Dado que la temperatura de calentamiento del tratamiento de nitruración es de 500 a 550 °C, que es baja, para que no se produzca transformación de fase debida al calentamiento, por lo tanto, no se genera tensión en el acero mientras que sí es el caso con el tratamiento de carburización. Sin embargo, el tiempo que toma el tratamiento es de 50 a 100 horas, que es notablemente largo, y también es necesario eliminar una capa de compuesto frágil que se ha generado en la superficie después del tratamiento. Tampoco en este caso puede evitarse la pérdida de tiempo y costo.

25 Por consiguiente, se ha desarrollado un método denominado tratamiento de nitruración suave. En el tratamiento de nitruración suave, la lámina de acero se calienta a temperatura menor o igual que la temperatura de transformación A₁, y se realiza difusión y permeación de nitrógeno desde la superficie de la lámina de acero. En este caso, al usar una atmósfera de carburización, también se difunde y permea carbono adicionalmente. Dado que no es necesario el temple como en el caso del tratamiento de carburización, no se genera tensión debida a la transformación de fase. Además, dado que el tratamiento se lleva a cabo a temperatura relativamente baja, la tensión térmica es pequeña. Por consiguiente, la capa superficial de la lámina de acero puede endurecerse sin deteriora la precisión de una forma de una parte. Por otra parte, el tiempo que toma el tratamiento es aproximadamente la mitad del tiempo que toma el tratamiento de nitruración. Por lo tanto, recientemente el tratamiento de nitruración suave se ha extendido amplia y rápidamente como un método de tratamiento de endurecimiento de la superficie para partes usadas en una estructura mecánica.

30 Por consiguiente, se ha desarrollado un método denominado tratamiento de nitruración suave. En el tratamiento de nitruración suave, la lámina de acero se calienta a temperatura menor o igual que la temperatura de transformación A₁, y se realiza difusión y permeación de nitrógeno desde la superficie de la lámina de acero. En este caso, al usar una atmósfera de carburización, también se difunde y permea carbono adicionalmente. Dado que no es necesario el temple como en el caso del tratamiento de carburización, no se genera tensión debida a la transformación de fase. Además, dado que el tratamiento se lleva a cabo a temperatura relativamente baja, la tensión térmica es pequeña. Por consiguiente, la capa superficial de la lámina de acero puede endurecerse sin deteriora la precisión de una forma de una parte. Por otra parte, el tiempo que toma el tratamiento es aproximadamente la mitad del tiempo que toma el tratamiento de nitruración. Por lo tanto, recientemente el tratamiento de nitruración suave se ha extendido amplia y rápidamente como un método de tratamiento de endurecimiento de la superficie para partes usadas en una estructura mecánica.

35 Asimismo, el tratamiento de nitruración suave a menudo se lleva a cabo después de realizar trabajo de prensado para obtener una forma deseada de la parte. En particular, una parte usada en una estructura mecánica como una parte de transmisión de un automóvil se somete al trabajo de prensado desde el punto de vista de la productividad. Por consiguiente, aumenta la demanda de una lámina de acero para tratamiento de nitruración suave que tenga excelente aptitud para el moldeo y que sea adecuada para un material de una parte usada en una estructura mecánica tal como una parte de transmisión de un automóvil, y hasta ahora se han propuesto diversas técnicas.

40 Por ejemplo, la bibliografía de patente 1 describe un método de fabricación de un miembro de nitruro de acero que tiene forjabilidad en frío y características de fatiga excelentes y la bibliografía de patente 2 describe un método de fabricación de un miembro de nitruro de acero que tiene poca tensión producida por tratamiento de calor. Además, las bibliografías de patente 3 y 4 cada una describen una lámina de acero para nitruración que tiene excelente aptitud para el moldeo.

45 La bibliografía de patente 5 describe un acero para tratamiento de nitruración suave cuyo costo es bajo y que tiene aptitud para trabajo de prensado satisfactoria. Además, la bibliografía de patente 6 describe una lámina de acero fina para tratamiento de nitruración que puede obtener, después del tratamiento de nitruración, elevada dureza superficial y profundidad de endurecimiento suficiente. Aun adicionalmente, la bibliografía de patente 7 describe una lámina de acero para tratamiento de nitruración suave que tiene tanto procesabilidad como características de fatiga, y la

bibliografía de patente 8 describe una lámina de acero para tratamiento de nitruración suave que tiene excelente aptitud para el moldeo y estabilidad de resistencia después de tratamiento de nitruración suave.

TW 201333221 A describe una lámina de acero para nitruración de excelente resistencia a la fatiga.

US2014/0027022 A1 describe una lámina de acero laminada en caliente para nitrocarburoción gaseosa.

- 5 A K Rakhit: «Heat Treatment for Gears: A practical Guide for Engineers», 1.º de enero de 2000 describe una duración de tratamiento de nitruración suave.

Lista de citas

Bibliografía de patente

- Bibliografía de Patente 1: JP H7-286257A
- 10 Bibliografía de Patente 2: JP H8-49059A
- Bibliografía de Patente 3: JP H9-25543A
- Bibliografía de Patente 4: JP H9-25544A
- Bibliografía de Patente 5: JP 2003-105489A
- Bibliografía de Patente 6: JP 2003-277887A
- 15 Bibliografía de Patente 7: JP 2009-68057A
- Bibliografía de Patente 8: JP 2012-177176A

Compendio de la Invención

Problema técnico

- 20 Los miembros de nitruro de acero descritos en las bibliografías de patente 1 y 2 tienen cada uno el contenido de C mayor o igual que 0,10 %, lo cual es elevado, y también tienen contenidos elevados de Cr y V, y por lo tanto tienen poca procesabilidad incluido el alargamiento. El contenido de C en la bibliografía de patente 3 es de 0,01 a menos de 0,08 %, y el contenido de C en la bibliografía de patente 4 es menor o igual que 0,01 %, que son extremadamente bajos. Sin embargo, dado que las láminas de acero descritas en las bibliografías de patente 3 y 4 contienen grandes cantidades de elementos costosos tales como Cr y V, existe un problema de que el costo de fabricación aumenta.

- 25 Además, aunque la bibliografía de patente 5 evalúa la dureza superficial, la profundidad de endurecimiento y plegabilidad de adhesión después del tratamiento de nitruración suave y deja claro que se obtienen resultados excelentes, no se lleva a cabo un análisis de las características de fatiga de las partes reales y, por lo tanto, deja margen de mejora. La tecnología descrita en la bibliografía de patente 6 apunta a mejorar la durabilidad, sin embargo, solo se lleva a cabo evaluación sobre la dureza superficial y profundidad de endurecimiento y las características de fatiga no se consideran lo suficiente.
- 30

- Aun adicionalmente, en cada una de las bibliografías de patente 7 y 8, una capa nitrurada se endurece por contener Cr como un elemento para formar un nitruro, y la resistencia de un material base se ajusta simultáneamente mediante el agregado de una cantidad extremadamente ínfima de Nb, mejorando de ese modo las características de fatiga. Sin embargo, las resistencias a la fatiga por plegado recto de las láminas de acero descritas en las bibliografías de patente 7 y 8 son aproximadamente de 300 a 420 MPa, y existe un problema de que las láminas de acero no pueden aplicarse a las partes usadas en una estructura mecánica que se usan en un estado en el que se les aplica un gran esfuerzo.
- 35

- La presente invención intenta mejorar las características de fatiga que no se mejoran lo suficiente mediante el uso de la tecnología convencional, y apunta a proporcionar una lámina de acero para tratamiento de nitruración suave que tenga tanto procesabilidad como características de fatiga después del tratamiento de nitruración suave, y un método para fabricarla. Además, la presente invención intenta mejorar las características de fatiga que no se mejoran lo suficiente mediante el uso de la tecnología convencional sin reducir la productividad y el costo, y apunta a proporcionar un acero con nitruración suave que tenga excelente procesabilidad antes del tratamiento de nitruración suave y también que tenga características de fatiga elevadas al someterlo al tratamiento de nitruración suave.
- 40

Solución al problema

- 45 Los inventores de la presente invención han realizado intensivos estudios en tecnología para obtener un acero con nitruración suave que tenga tanto procesabilidad antes del tratamiento de nitruración como características de fatiga después del tratamiento de nitruración suave. Como resultado, los inventores han logrado los siguientes hallazgos.

- (a) De modo de lograr tanto la procesabilidad antes del tratamiento de nitruración suave como las características

de fatiga después del tratamiento de nitruración suave, es necesario ajustar la composición de aleación y la estructura metálica de la lámina de acero de manera que se pueda obtener la dureza superficial, profundidad de endurecimiento y dureza de un material base deseadas mediante el tratamiento de nitruración suave, sin deteriorar la aptitud para el moldeo antes del tratamiento de nitruración suave.

- 5 (b) De modo de hacer que la procesabilidad de la lámina de acero antes del tratamiento de nitruración suave sea satisfactoria, es necesario tener una estructura metálica que contenga principalmente ferrita. La relación de área de ferrita puede establecerse como mayor o igual que una cantidad predeterminada al hacer que una cantidad adecuada de Mn y Al estén contenidos como componentes de composición de la lámina de acero, y al seleccionar adecuadamente condiciones de fabricación según los componentes de composición.
- 10 (c) En el tratamiento de nitruración suave se produce precipitación de nitruros (Mn, Al) y se puede obtener dureza superficial suficiente mediante el ajuste de los contenidos de Mn y Al dentro de un intervalo adecuado.
- (d) Es importante ajustar la densidad de dislocación de ferrita en la superficie de la lámina de acero para controlar la precipitación de nitruro en el tratamiento de nitruración suave. Esto se deba a que la precipitación de nitruro puede promoverse mediante el incremento de la densidad de dislocación de ferrita en la superficie de la lámina de acero.
- 15 (e) Además, la composición de cristal del nitruro que se precipita en este caso es M_3N_2 (M representa un elemento de aleación) que contiene principalmente Mn. La cantidad de nitrógeno necesaria para formar nitruro en el caso de M_3N_2 es menor que la cantidad de nitrógeno necesaria para formar nitruro en el caso de M_1N_1 con otra composición de cristal. Por lo tanto, el nitrógeno se difunde más profundo en la lámina de acero y por lo tanto hace posible obtener una gran profundidad de endurecimiento.
- 20 (f) Por otra parte, al permitir que los carburos precipiten dentro de la lámina de acero durante el tratamiento de nitruración suave, puede aumentarse la dureza del material base debido al fortalecimiento de la precipitación. Por consiguiente, es necesario que Ti, Nb, Mo, V y Cr, que son elementos para formar carburos, sean disueltos como una solución sólida en una cantidad mayor o igual que determinada cantidad en la lámina de acero antes del tratamiento de nitruración suave.
- 25 (g) De modo de mejorar las características de fatiga después del tratamiento de nitruración suave, es importante formar una capa endurecida que tenga una dureza en dureza Vickers a la profundidad de 50 μm desde la superficie más externa del acero mayor o igual que 600 HV y una profundidad de endurecimiento mayor o igual que 0,35 mm.
- 30 (h) De modo de obtener la profundidad de endurecimiento y dureza superficial deseadas, es particularmente necesario regular el contenido de elementos formadores de nitruro en el acero.
- (i) Adicionalmente, como un resultado del análisis de partes de capa superficial de varias piezas de acero con nitruración suave mediante el uso de un microscopio electrónico de transmisión (TEM, por sus siglas en inglés), se ha comprobado que es necesario controlar una forma de precipitación, una composición y una densidad numérica a una posición de profundidad de 50 μm desde la superficie más externa del acero, entre nitruros formados por el tratamiento de nitruración suave.
- 35

La presente invención se ha logrado en base a los hallazgos que anteceden, y la presente invención se refiere al siguiente material de acero, método para su fabricación, acero con nitruración suave y el uso indicado en la reivindicación 7.

40 [1]

Una lámina de acero para tratamiento de nitruración suave que tiene una composición química que consiste, en % de masa, en,

C: mayor o igual que 0,02 % y menor que 0,07 %.

Si: menor o igual que 0,10 %,

45 Mn: 1,1 a 1,8 %,

P: menor o igual que 0,05 %,

S: menor o igual que 0,01 %,

Al: 0,10 a 0,45 %,

N: menor o igual que 0,01 %,

Ti: 0,01 a 0,10 %,

Nb: 0 a 0,1 %,

Mo: 0 a 0,1 %,

V: 0 a 0,1 %,

5 Cr: 0 a 0,2 %, y

el resto: Fe e impurezas,

satisface la siguiente fórmula (i), y

tiene un contenido total de Ti, Nb, Mo, V y Cr presentes como precipitados en la lámina de acero menor que 0,03 % en % de masa,

10 en donde la lámina de acero para tratamiento de nitruración suave tiene una estructura metálica en la que una relación de área de ferrita es mayor o igual que 80 % y una densidad de dislocación de ferrita a una posición de 50 μm desde la superficie de la lámina de acero es 1×10^{14} a $1 \times 10^{16} \text{ m}^{-2}$,

$$\text{Mn} + \text{Al} \geq 1,5 \quad (\text{i})$$

15 donde cada símbolo químico incluido en la fórmula representa un contenido (% de masa) de cada elemento contenido en la lámina de acero.

[2]

La lámina de acero para tratamiento de nitruración suave según [1],

en donde la composición química incluye, en % de masa, uno o más seleccionados de

Nb: 0,005 a 0,1 %,

20 Mo: 0,005 a 0,1 %,

V: 0,005 a 0,1 %, y

Cr: 0,005 a 0,2 %

[3]

25 Un método para fabricar una lámina de acero para tratamiento de nitruración suave según [1] o [2], en el que el método incluye:

iniciar el laminado de una materia prima de acero que tiene una composición química mencionada en [1] o [2] después de que la materia prima de acero se calienta a una temperatura mayor o igual que 1150 °C, y finalizar el laminado a la temperatura de acabado mayor o igual que 900 °C;

30 realizar el enrollado, después del enfriamiento, en una región de temperatura de 470 a 530 °C para hacer que la relación de área de ferrita sea mayor o igual que 80 %,

en donde el enfriamiento se realiza en la condición de que una tasa de enfriamiento CR (por sus siglas en inglés) (°C/s) satisface la siguiente fórmula (iii), en la que la fórmula (iii) tiene una relación con un valor de CeqIIW definido en la siguiente fórmula (ii),

$$\text{CeqIIW} = \text{C} + \text{Mn}/6 + (\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V})/5 \quad (\text{ii})$$

$$35 \quad 80 - 190 \times \text{CeqIIW} \leq \text{CR} \leq 115 - 230 \times \text{CeqIIW} \quad (\text{iii})$$

donde cada símbolo químico incluido en la fórmula representa un contenido (% de masa) de cada elemento contenido en la materia prima de acero;

a continuación someter la materia prima de acero a decapado; y

40 someter la materia prima de acero a laminación de temple después del decapado en condiciones en las que una relación de reducción de laminado es de 0,5 a 5,0 %, y F/T (mm), es mayor o igual que 8000, y dicha F/T (mm) es una relación de una carga lineal F (kg/mm), determinada mediante la división de una carga de laminador por un ancho de la lámina de acero, a una carga T (kg/mm²) por unidad de área aplicada en una dirección longitudinal de la lámina de acero.

[4]

Un acero con nitruración suave que tiene una composición química que consiste, en % de masa, en

C: mayor o igual que 0,02 % y menor que 0,07 %,

Si: menor o igual que 0,10 %,

5 Mn: 1,1 a 1,8 %,

P: menor o igual que 0,05 %,

S: menor o igual que 0,01 %,

Al: 0,10 a 0,45 %,

Ti: 0,01 a 0,10 %,

10 Nb: 0 a 0,1 %,

Mo: 0 a 0,1 %,

V: 0 a 0,1 %,

Cr: 0 a 0,2 %, y

el resto: Fe e impurezas,

15 en donde, a una posición de profundidad de 50 μm desde una superficie más externa, los nitruros se precipitan en un plano {001} en un cristal de ferrita,

un valor promediado de longitudes máximas de los respectivos nitruros es 5 a 10 nm, y

una densidad numérica de nitruros es mayor o igual que $1 \times 10^{24} \text{ m}^{-3}$.

[5]

20 El acero con nitruración suave según [4],

en donde la composición química contiene, en % de masa, uno o más seleccionados de

Nb: 0,01 a 0,1 %,

Mo: 0,01 a 0,1 %,

V: 0,01 a 0,1 %, y

25 Cr: 0,01 a 0,2 %.

[6]

El acero con nitruración suave según [4],

en donde una concentración de Mn en elementos metálicos incluidos en los nitruros es mayor o igual que 80 %at.

30 Observar que la «lámina de acero para tratamiento de nitruración suave» según la presente invención incluye «fleje de acero» que es acero en forma de banda. Además, aunque exista el caso en que se forme una capa de nitruro de hierro que tenga un espesor de aproximadamente varias decenas de μm en la superficie del acero después del tratamiento de nitruración suave dependiendo de una condición de tratamiento de superficie, la «superficie más externa del acero» según la presente invención indica la superficie del acero que incluye la capa de nitruro de hierro anterior.

35 Efectos ventajosos de la invención

Según la presente invención, se puede proporcionar la lámina de acero para tratamiento de nitruración suave que tenga excelente aptitud para el moldeo tal como abocardabilidad y capacidad de expansión de orificios antes del tratamiento de nitruración suave sin deteriorar la productividad y eficiencia económica. Además, se puede proporcionar el acero con nitruración suave en el cual se forme una capa endurecida que tenga un espesor suficiente desde la superficie después del tratamiento de nitruración suave, y que sea excelente en características de fatiga. La lámina de acero para tratamiento de nitruración suave según la presente invención que tenga dichas características es adecuada para ser sometida al tratamiento de nitruración suave después de ser procesada en una forma de parte

predeterminada, y ser utilizada como parte para una estructura general tal como una parte para un automóvil. Además, el acero con nitruración suave según la presente invención es adecuado para usarse como una parte para una estructura general tal como una parte para un automóvil.

- 5 Aquí, el «trabajo de prensado» hace referencia a un método de procesamiento que representa en conjunto embutición profunda, plegado, planchado, corte y similares, y «excelente en trabajabilidad de prensado» hace referencia al caso en que el trabajo de prensado es posible sin aplicar una gran fuerza al material de acero y no se producen grietas o similares que pueden transformarse en defectos sustanciales en el cuerpo moldeado a presión en el caso de someterse a trabajo de prensado.

Breve descripción de los dibujos

- 10 [FIGURA 1] La Figura 1 es un diagrama que muestra una imagen de nitruros presentes en ferrita observados mediante el uso de un microscopio electrónico de transmisión (TEM).

[FIGURA 2] La Figura 2 es un diagrama que muestra espectros de espectrometría de rayos X por dispersión de energía (TEM-EDS) obtenidos de nitruros y una fase madre.

Descripción de las realizaciones

- 15 A continuación, se describirán en detalle los asuntos respectivos de la presente invención.

1. Composición química

Las razones para limitar los elementos respectivos son las siguientes. Observar que «%» usado para un contenido en la siguiente descripción representa «% de masa».

C: mayor o igual que 0,02 % y menor que 0,07 %

- 20 C es un elemento para mejorar la resistencia al combinarlo con un elemento formador de carburo y precipitar un carburo, y contribuye a la trabajabilidad de prensado del acero y dureza del material base después del tratamiento de nitruración suave. Con la disminución en el contenido de C, la densidad de precipitación de cementita disminuye y mejora la trabajabilidad de prensado, pero por otro lado, la cantidad de precipitación de carburos durante el tratamiento de nitruración suave disminuye, y no se puede obtener la dureza suficiente del material base en la lámina de acero
- 25 después del tratamiento de nitruración suave. Por consiguiente, el contenido de C es mayor o igual que 0,02 %. Por otro lado, en el caso en que el contenido de C en el acero sea mayor o igual que 0,07 %, la trabajabilidad de prensado del acero se deteriora y, por lo tanto, el contenido de C es menor que 0,07 %.

El contenido de C es preferiblemente mayor o igual que 0,03 %, y preferiblemente menor o igual que 0,06 %.

Si: menor o igual que 0,10 %

- 30 Aunque Si es un elemento útil como desoxidante en una etapa del proceso de fabricación de acero, Si no contribuye a la mejora de la dureza superficial en el tratamiento de nitruración y disminuye la profundidad de endurecimiento. Por consiguiente, el contenido de Si es menor o igual que 0,10 %. El contenido de Si es preferiblemente menor o igual que 0,05 %. Observar que, en un intento de obtener un efecto como el desoxidante, el contenido de Si es preferiblemente mayor o igual que 0,01 %.

- 35 Mn: 1,1 a 1,8 %

- Mn tiene un efecto de mejorar la dureza superficial mediante la formación de un nitruro a través del tratamiento de nitruración suave, y es un elemento extremadamente importante en la presente invención. Cuando el contenido de Mn es menor que 1,1 %, el efecto de mejorar la dureza superficial debido a la formación de nitruro no es suficiente, la distribución de dureza deseada no puede obtenerse después del tratamiento de nitruración suave y, por lo tanto, es difícil obtener resistencia a la abrasión y características de fatiga satisfactorias. Por otro lado, cuando el contenido de Mn supera el 1,8 %, se hace notable una influencia de segregación central, y la procesabilidad de la lámina de acero se deteriora. Por consiguiente, el contenido de Mn es de 1,1 a 1,8 %. El contenido de Mn es preferiblemente mayor o igual que 1,2 %, y preferiblemente menor o igual que 1,7 %.

P: menor o igual que 0,05 %

- 45 P es una impureza contenida en el hierro fundido, se segrega a un límite de grano, y es un elemento que disminuye la tenacidad con aumento en el contenido. Por consiguiente, el contenido de P es preferiblemente lo más bajo posible. El contenido de P que supera 0,05 % tiene un efecto adverso en la procesabilidad, y por lo tanto se limita a 0,05 % o menos. En particular, tomando en cuenta la capacidad de expansión orificios y la soldabilidad, el contenido de P es de manera deseable menor o igual que 0,02 %. Observar que, dado que es difícil hacer que el contenido de P sea 0 %
- 50 en cuanto a la operación, 0 % no se incluye.

S: menor o igual que 0,01 %

S es una impureza contenida en hierro fundido, y cuando el contenido es demasiado, el S no solo disminuye la tenacidad y produce una grieta en un proceso de laminado en caliente, sino que también deteriora la capacidad de expansión de orificios. Por consiguiente, el contenido de S debería reducirse todo lo posible. Dado que el contenido de S está en un intervalo aceptable cuando es menor o igual que 0,01 %, el contenido de S se limita a 0,01 % o menos. Observar que, dado que es difícil hacer que el contenido de S sea 0 % en cuanto a la operación, 0 % no se incluye.

Al: 0,10 a 0,45 %

Al tiene un efecto de mejorar la dureza superficial mediante la formación de un nitruro a través del tratamiento de nitruración suave, y es un elemento extremadamente importante en la presente invención. Por consiguiente, es necesario que el contenido de Al sea mayor o igual que 0,10 %. Por otro lado, cuando el contenido de Al supera el 0,45 %, la profundidad de endurecimiento se hace pequeña, y las características de fatiga son malas. Por consiguiente, el contenido de Al es de 0,10 a 0,45 %. El contenido de Al es preferiblemente mayor o igual que 0,15 %, y preferiblemente menor o igual que 0,40 %.

N: menor o igual que 0,01 %

Cuando el contenido de N supera el 0,01 % antes del tratamiento de nitruración suave, N se combina con Al o Ti en la lámina de acero para formar un nitruro, con lo que se deteriora la procesabilidad de la lámina de acero. Además, dado que el Ti disuelto como solución sólida en la lámina de acero disminuye, no se puede obtener dureza suficiente del material base después del tratamiento de nitruración suave. Por consiguiente, el contenido de N es menor o igual que 0,01 %. El contenido de N es preferiblemente menor o igual que 0,008 %. Observar que después del tratamiento de nitruración suave, se genera un gradiente de densidad en la dirección del espesor de la lámina debido a la difusión de N durante el tratamiento. El N después del tratamiento de nitruración suave se disuelve como una solución sólida en Fe, y también forma precipitado de nitruro cuya densidad de precipitado depende de la concentración de N. Además, las características de fatiga no dependen del N disuelto como una solución sólida, y pueden asegurarse cuando la densidad de precipitación y el tamaño se satisfacen. El acero con nitruración suave incluye N disuelto como una solución sólida en Fe y N que forma el precipitado de nitruro. Sin embargo, en las reivindicaciones no se define la cantidad de N sino solo la densidad numérica de nitruros. Además, la Tabla 3, que se describirá más adelante, describe la cantidad de N disuelto como una solución sólida (EPMA) a una posición de profundidad de 50 μm desde la capa superficial, y hace comprensible que no hay dependencia de la cantidad de N.

Ti: 0,01 a 0,1 %

El Ti tiene un efecto de mejorar la dureza del material base al precipitarse como un carburo en el material base durante el tratamiento de nitruración suave, y es un componente extremadamente importante en la presente invención. Cuando el contenido de Ti es menor que 0,01 %, el efecto anterior no se obtiene lo suficiente. Por otro lado, cuando el contenido de Ti supera el 0,1 %, la temperatura de calentamiento para tratamiento de solución de nitruro de titanio carbono en la laminación en caliente es elevada y la temperatura de calentamiento aumenta, lo cual eleva los costos de fabricación. Por lo tanto, el contenido de Ti es de 0,01 a 0,1 %. El contenido de Ti es preferiblemente mayor o igual que 0,02 % y preferiblemente menor o igual que 0,09 %.

Nb: 0 a 0,1 %

Mo: 0 a 0,1 %

V: 0 a 0,1 %

Cr: 0 a 0,2%

Nb, Mo, V y Cr son elementos que cada uno tiene un efecto de mejorar la dureza del material base al formar un carburo en el material base durante el tratamiento de nitruración suave. Por consiguiente, pueden estar contenidos uno o más elementos seleccionados de los elementos anteriores. Sin embargo, cuando el contenido de Nb, el contenido de Mo y el contenido de V cada uno supera el 0,1 %, y el contenido de Cr supera el 0,2 %, la temperatura de calentamiento para el tratamiento de solución de nitruro de carbono en laminado en caliente es alta y la temperatura de calentamiento aumenta, lo cual eleva los costos de fabricación. Por consiguiente, es necesario que el contenido de cada elemento sea menor o igual que 0,1 %. Al intentar obtener el efecto anterior, se prefiere que el contenido de uno o más elementos seleccionados de dichos elementos sea mayor o igual que 0,005 %. Observar que, en el caso de que dos o más elementos seleccionados de los elementos anteriores estén contenidos de una manera mixta, el contenido total es preferiblemente de 0,005 a 0,1 %.

Mn+Al \geq 1.5 (i)

donde cada símbolo químico incluido en la fórmula representa un contenido (% de masa) de cada elemento contenido en la lámina de acero.

De modo de obtener dureza superficial suficiente mediante el tratamiento de nitruración suave, no es suficiente que los contenidos de los elementos respectivos estén en los intervalos definidos anteriormente, respectivamente, y es

necesario que se satisfaga la fórmula anterior (i). Esto es porque la dureza superficial no se puede mejorar lo suficiente si la cantidad de precipitación de nitruro de (Mn, Al) formado en el tratamiento de nitruración suave es pequeña.

El material de acero según la presente invención tiene una composición química que comprende los elementos mencionados anteriormente de C a Cr, y el resto de Fe e impurezas.

- 5 Las «impurezas» representan componentes que se mezclan debido a diversos factores del proceso de fabricación y de materias primas tales como minerales y chatarra en la fabricación industrial de la lámina de acero, e indica los que está permitido que estén contenidos en un intervalo que no afecte de manera adversa la presente invención.

Contenido total de Ti, Nb, Mo, V y Cr presentes como precipitados en lámina de acero para tratamiento de nitruración suave antes del tratamiento de nitruración suave: menor que 0,03 %

- 10 En la presente invención, el contenido total de Ti, Nb, Mo, V y Cr presentes como precipitados en el acero es un índice importante desde el punto de vista de mejorar las características de fatiga de la lámina de acero después del tratamiento de nitruración suave. Para hacer que las características de fatiga sean satisfactorias, no solo la dureza de la superficie de la lámina de acero (dureza superficial), sino también la dureza del interior de la lámina de acero (dureza del material base) deben ser altas. Al hacer que los carburos se precipiten dentro de la lámina de acero durante el tratamiento de nitruración suave, es posible hacer que la dureza del material base sea alta debido al fortalecimiento de precipitación. Por consiguiente, es necesario que Ti, Nb, Mo, V y Cr, que son elementos para formar carburos, se disuelvan como una solución sólida a una cantidad mayor o igual que determinada cantidad en la lámina de acero para tratamiento de nitruración suave.

- 20 Cuando el contenido total de Ti, Nb, Mo, V y Cr presentes como precipitados, en % de masa, es mayor o igual que 0,03 %, la concentración de solución sólida disminuye, no se puede obtener suficiente fortalecimiento de precipitación, la dureza del material base disminuye y las características de fatiga también se deterioran. Por lo tanto, en la presente invención, el contenido total de Ti, Nb, Mo, V, y Cr incluido en los precipitados presentes en la lámina de acero, en % de masa, es menor que 0,03 %.

- 25 Observar que el contenido de cada uno de Ti, Nb, Mo, V y Cr, que están presentes como precipitados, se determina mediante el uso del siguiente análisis de residuo de extracción. Una pieza de prueba se obtiene de la lámina de acero para tratamiento de nitruración suave, se sumerge en una solución electrolítica (10 % of acetilacetona, 1 % de cloruro de trimetilamonio y el resto de metanol), se somete a electrólisis de corriente constante y luego se hace filtrar a través de un filtro que tiene un diámetro de filtración de 0,2 μm para obtener un residuo de extracción (carburo). Después de disolver el residuo de extracción para obtener una solución, la solución se analiza mediante el uso de espectrometría de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente (ICP-OES, por sus siglas en inglés), y se miden cada una de las concentraciones de Ti, Nb, Mo, V y Cr en la solución. Después, las concentraciones medidas se dividen cada una por la masa de la pieza de prueba electrolizada para calcular así el contenido de cada uno de Ti, Nb, Mo, V y Cr, que están presentes como precipitados en la lámina de acero.

- 35 2. Estructura metálica de lámina de acero para tratamiento de nitruración suave antes del tratamiento de nitruración suave

Además del componente de composición anterior, la lámina de acero según la presente invención tiene una estructura metálica en la que una relación de área de ferrita es mayor o igual que 80 %, y una densidad de dislocación de ferrita a una posición de 50 μm desde una superficie de lámina de acero es 1×10^{14} a $1 \times 10^{16} \text{ m}^{-2}$.

Relación de área de ferrita: mayor o igual que 80 %

- 40 En la presente invención, la relación de área de ferrita en un índice importante para hacer que la procesabilidad de la lámina de acero sea satisfactoria. Si estructuras metálicas distintas de la ferrita están contenidas y la relación de área de ferrita se vuelve menor a 80 %, se vuelve difícil lograr tanto el alargamiento como la capacidad de expansión de orificios de la lámina de acero. Las otras estructuras metálicas incluyen austenita, perlita, bainita y martensita. Además, de manera de lograr la resistencia, el alargamiento y la capacidad de expansión de orificios en un equilibrio adecuado, la granulometría de la ferrita es de manera deseable menor de 20 μm .

Densidad de dislocación de ferrita en la posición de 50 μm desde la superficie de la lámina de acero: 1×10^{14} a $1 \times 10^{16} \text{ m}^{-2}$

- 50 La densidad de dislocación de ferrita a una posición de 50 μm desde la superficie de la lámina de acero en un índice extremadamente importante para controlar la precipitación de un nitruro en el tratamiento de nitruración suave. Cuando la densidad de dislocación de la capa superficial de la lámina de acero se aumenta, el nitruro se produce preferencialmente en la dislocación, se puede promover la precipitación y se puede aumentar la dureza superficial. Sin embargo, cuando la densidad de dislocación de la capa superficial de la lámina de acero es demasiado alta, se deteriora la procesabilidad y se vuelve difícil formarla en una forma de una parte. Por consiguiente, en la presente invención, la densidad de dislocación en la posición de 50 μm desde la superficie de la lámina de acero es mayor o igual que $1 \times 10^{14} \text{ m}^{-2}$ de manera de obtener suficiente dureza superficial en el tratamiento de nitruración suave, y es menor o igual que $1 \times 10^{16} \text{ m}^{-2}$ de modo de asegurar la procesabilidad de la lámina de acero.

En el caso de aumentar la densidad de dislocación de ferrita de la superficie de la lámina de acero, si la dislocación se introduce hasta el centro en la dirección del espesor de la lámina, la procesabilidad puede deteriorarse. Por consiguiente, es deseable que la densidad de dislocación en el centro en la dirección del espesor de lámina no se aumente.

- 5 La densidad de dislocación puede determinarse de la siguiente manera. Después de someter la lámina de acero a pulido mecánico, la lámina de acero se pule adicionalmente hasta una posición predeterminada en la dirección del espesor de la lámina mediante pulido electrolítico. La tensión reticular ε se calcula mediante el uso de gráfico de Williamson-Hall a partir de intensidad integrada de pico {110}, {211}, {220} obtenida mediante un método de difracción de rayos X, y después de ello, se calcula la densidad de dislocación ρ en base a la siguiente fórmula. Aquí, b representa un vector de Burgers.

$$\rho = (14,4X\varepsilon^2)/b^2$$

El gráfico de Williamson-Hall se describe en un documento conocido «Tetsu-to-Hagane, Vol. 100 (2014) No. 10 Tanaka et al.», por ejemplo.

3. Nitruro de acero con nitruración suave después de tratamiento de nitruración suave

- 15 Como se describe anteriormente, de manera de mejorar las características de fatiga del acero con nitruración suave, es importante formar una capa endurecida que tenga dureza en dureza Vickers, en el caso de ajustar la fuerza de prueba a 0,3 kgf en la posición de profundidad de 50 μm desde la superficie más externa del acero, mayor o igual que 600 HV y una profundidad de endurecimiento o mayor o igual que 0,35 mm. Para formar dicha capa endurecida, es necesario que en el acero con nitruración suave de la presente invención los nitruros tipo placa se precipiten en un plano {001} en un cristal de ferrita al menos a una posición de profundidad de 50 μm desde una superficie más externa. Además, es necesario que la forma de precipitación, la composición y la densidad numérica de los nitruros anteriores se definan como se muestra a continuación.

25 Dado que los nitruros precipitados en el plano {001} en el cristal de ferrita tienen cada uno una forma tipo placa, los nitruros generan gran tensión de coherencia en la red cristalina de ferrita y actúan eficazmente en el aumento de dureza. De manera de que presenten esta acción de manera eficaz, es necesario que la longitud máxima de un nitruro sea de 5 a 10 nm. Cuando la longitud máxima es menor que 5 nm, no se puede generar una tensión de coherencia lo suficientemente grande en la red cristalina de ferrita. Por otro lado, cuando la longitud máxima supera los 10 nm, la incoherencia aumenta y, por lo tanto, la dureza disminuye.

30 Además, los nitruros que se precipitan mediante el tratamiento de nitruración de la presente invención contienen Mn, Al y N como componentes principales, y cada uno muestra una composición cristalina de $(\text{Mn}, \text{Al})_x\text{N}_y$. En el caso de que un nitruro presente en el acero con nitruración suave se precipite como $(\text{Mn}, \text{Al})_3\text{N}_2$ con una estructura cristalina del tipo $\eta\text{-Mn}_3\text{N}_2$, la concentración de Mn en los elementos metálicos que incluyen Mn y Al que forman el nitruro es mayor o igual que 80 %at. Este nitruro usa, en comparación con $(\text{Mn}, \text{Al})_1\text{N}_1$ con una estructura cristalina del tipo NaCl, una pequeña cantidad de N precipitado que ha ingresado desde la superficie del acero y disuelto como una solución sólida. Por lo tanto, N entra hasta una posición más profunda durante el mismo período de tiempo de tratamiento de nitruración suave, y la profundidad de endurecimiento aumenta. Por consiguiente, la concentración de Mn en elementos metálicos incluidos en el nitruro presente en una posición de profundidad de 50 μm desde la superficie más externa es mayor o igual que 80 %at.

40 Convencionalmente, se ha considerado que Mn solo tiene una acción débil como un elemento para formar nitruros. Sin embargo, al estar contenido en una cantidad predeterminada en el acero y que Al tiene una fuerte acción en la formación de nitruros, se promueve la formación de nitruros que contienen principalmente Mn y Al. Esos nitruros no muestran mucha acción que inhiba la difusión de nitrógeno en el interior después de formarse solo en la superficie de una barra. Por consiguiente, se hace posible formar nitruros efectivamente hasta una región suficientemente profunda desde la superficie del acero, y haciendo posible de ese modo obtener una gran profundidad de endurecimiento.

45 Adicionalmente, de modo de obtener una dureza predeterminada en la posición de profundidad de 50 μm desde la superficie más externa del acero, es necesario que los nitruros que tienen cada uno la forma de precipitación mencionada anteriormente se dispersen en alta densidad en la capa superficial. Por consiguiente, la densidad numérica de nitruros es mayor o igual que $1 \times 10^{24} \text{ m}^{-3}$. Además, de manera de aumentar la mejora de las características de fatiga debido al endurecimiento de la capa superficial, la densidad numérica de nitruro es preferiblemente mayor o igual que $2 \times 10^{24} \text{ m}^{-3}$.

55 Observar que, la longitud máxima de un nitruro y la densidad numérica de nitruros en la posición de profundidad de 50 μm desde la capa más externa del acero pueden determinarse mediante, por ejemplo, la observación y análisis de precipitados en la capa endurecida de la capa superficial mediante el uso de un TEM. La observación TEM se lleva a cabo, de manera deseable, en la condición de que una dirección [001] de la ferrita sea paralela a una dirección incidente de un haz de electrones. Además, la longitud máxima se evalúa de manera deseable mediante el uso de un valor promedio de nitruros incluidos en un campo visual observado. Observar que se prefiere que, con respecto a los nitruros, se realice imagen de cinco campos visuales, en los que cada campo visual tenga un área de 50 nm x 50 nm,

se extraigan al menos 50 nitruros en total y se determine el valor promedio.

Al determinar la densidad numérica de nitruros, los nitruros precipitados en el plano {001} en un cristal de ferrita se pueden determinar al contar la cantidad de nitruros en un plano (001), la cantidad de nitruros en un plano (100) y la cantidad de nitruros en un plano (010), y mediante la totalización de las cantidades. Sin embargo, si es difícil observar los nitruros precipitados en el plano (001), la determinación puede realizarse al contar la cantidad de nitruros en el plano (100) y la cantidad de nitruros en el plano (010) y multiplicar la cantidad total por 1,5. Además, el espesor de una muestra TEM de la región observada puede medirse mediante el uso de un método de relación logarítmica de espectroscopía de pérdida de energía de electrones (EELS, por sus siglas en inglés). La densidad numérica puede determinarse mediante la división de la cantidad observada de nitruros por un volumen, en el que el volumen se determina mediante multiplicación del área del campo visual observado por el espesor. Al calcular la densidad numérica, se prefiere que se tomen imágenes de al menos cinco campos visuales de diferentes granos de cristal a un aumento de 1 000 000 a 2 000 000 veces, que las densidades numéricas se determinen en los campos visuales respectivos y que se emplee un valor promedio de las densidades numéricas determinadas en los respectivos campos visuales.

Además, en la presente invención, con respecto a la concentración de Mn en elementos metálicos incluidos en los nitruros, se emplea el valor determinado por el análisis de un elemento mediante el uso de espectroscopia de rayos X por dispersión en energía de TEM (TEM-EDS).

Observar que una muestra para usar para la observación TEM puede prepararse mediante un método de preparación de muestra TEM general tal como pulido electrolítico, FIB lift-out y pulido Ar-ion.

4. Método de fabricación

El método de fabricación de la lámina de acero para tratamiento de nitruración suave según la presente invención no se limita particularmente y, por ejemplo, la lámina de acero para tratamiento de nitruración suave según la presente invención se puede fabricar al someter la materia prima de acero que tiene la composición química anterior al siguiente tratamiento.

La materia prima de acero se calienta a 1150 °C o más y, después de ello, se inicia el laminado. El laminado se termina a una temperatura de acabado mayor o igual que 900 °C. Mediante el calentamiento de la plancha en un horno de calentamiento para tener la temperatura de calentamiento antes del laminado mayor o igual que 1150 °C, los elementos de precipitación contenidos en el acero pueden someterse lo suficiente a tratamiento de solución. Observar que dado que la granulometría de la austenita se vuelve gruesa cuando la temperatura de calentamiento supera los 1300 °C, la temperatura de calentamiento es preferiblemente menor o igual que 1300 °C. Además, cuando la temperatura de acabado de laminado es inferior a 900 °C, la resistencia a la deformación se vuelve alta y aumenta una carga en el laminador.

Después del laminado, se realiza el enfriamiento, y luego se realiza el enrollado en una región de temperatura de 470 a 530 °C. Observar que, durante el período desde después del laminado hasta el enrollado, en el período de tiempo dentro de los 4,0 segundos desde el inicio del enfriamiento, el enfriamiento se realiza en la condición de que una tasa de enfriamiento CR (por sus siglas en inglés) (°C/s) satisface la siguiente fórmula (iii), en la que la fórmula (iii) tiene una relación con un valor de $CeqIIW$ definido en la siguiente fórmula (ii),

$$CeqIIW=C+Mn/6+(Cr+Mo+V)/5 \quad (ii)$$

$$80-190xCeqIIW \leq CR \leq 115-230xCeqIIW \quad (iii)$$

donde cada símbolo químico incluido en la fórmula representa un contenido (% de masa) de cada elemento contenido en la lámina de acero.

Esto se debe a que: cuando la tasa de enfriamiento CR (°C/s) en el proceso de enfriamiento es demasiado baja, puede ser difícil suprimir la precipitación de carburos en alta temperatura durante el enfriamiento; y cuando la tasa de enfriamiento CR (°C/s) en el proceso de enfriamiento es muy alta, la temperatura de transformación se vuelve muy baja, se produce la transformación de bainita, y la relación de área de ferrita disminuye y, por lo tanto, la resistencia de la lámina de acero aumenta, y la procesabilidad puede deteriorarse.

Para impedir el deterioro en la aptitud para el moldeo debido a la formación de estructuras de transformación de baja temperatura de martensita y bainita, la temperatura de enrollado es preferiblemente mayor o igual que 470 °C. Por otro lado, cuando la temperatura de enrollado supera los 530°C, la precipitación de carburos en la ferrita avanza y los carburos se vuelven gruesos en el tratamiento de nitruración suave subsiguiente, por lo tanto, la dureza del material base disminuye. Por consiguiente, la temperatura de enrollado es preferiblemente de 470 a 530 °C.

Después de que la lámina de acero se enfría, la lámina de acero se somete a decapado. El decapado tiene por objeto remover las escamas en la superficie de la lámina de acero y se puede realizar mediante el uso de un método conocido.

La lámina de acero después de haber sido sometida al decapado se somete después a laminación de temple. Un

objetivo de la laminación de temple es no solo suprimir el alargamiento al introducir una dislocación móvil, sino también aumentar la densidad de dislocación de la superficie de la lámina de acero.

5 Una relación de reducción de laminado en la laminación de temple es preferiblemente de 0,5 a 5,0 %. Esto se debe a que: cuando la relación de reducción de laminado es menor que 0,5 %, el alargamiento no necesariamente se suprime; y cuando la relación de reducción de laminado supera el 5,0 %, la dislocación se introduce hasta el centro en la dirección del espesor de lámina y la ductilidad puede deteriorarse.

10 Además, con respecto a la laminación de temple, es deseable que F/T (mm), que es una relación de una carga lineal F (kg/mm) determinada mediante la división de una carga de laminador por un ancho de la lámina de acero, a una carga T (kg/mm²) por unidad de área aplicada en una dirección longitudinal de la lámina de acero, sea mayor o igual que 8000. Esto se debe a que, cuando F/T es menor que 8000, el aumento en la densidad de dislocación de la capa superficial de la lámina de acero es pequeño y el efecto de promover la precipitación de nitruros durante el tratamiento de nitruración suave no es suficiente y, por lo tanto, no se obtiene necesariamente la dureza superficial deseada.

15 A continuación, se describirá una condición de tratamiento preferible para someter el material de acero para tratamiento de nitruración obtenido mediante el uso del método de fabricación anterior al tratamiento de nitruración. Habitualmente, después de que el material de acero para tratamiento de nitruración se moldea a presión en una parte para un automóvil o una parte para una estructura mecánica, la parte se somete al tratamiento de nitruración suave, endureciendo así la capa superficial. El método de fabricación del acero con nitruración suave según la presente invención no se limita particularmente y, por ejemplo, el acero con nitruración suave puede fabricarse al someter el material de acero para tratamiento de nitruración suave obtenido por el método de fabricación anterior al tratamiento de nitruración suave cuya condición de tratamiento se ajusta, y hacer que los nitruros que tienen una forma de precipitación predeterminada se produzcan hasta una profundidad objetivo. Observar que, desde el punto de vista de la calidad y costo de fabricación, se prefiere que se emplee un método para tratamiento de nitruración suave de gas como el método para el tratamiento de nitruración suave.

25 El tratamiento de nitruración suave de gas se realiza preferiblemente en la atmósfera de gas de $NH_3:N_2:CO_2$, la temperatura de calentamiento de 560 a 580 °C y el tiempo de tratamiento de una a tres horas. Establecer una temperatura de calentamiento más alta durante el tratamiento de nitruración suave y aumentar el período de tiempo de tratamiento conducen a una disminución en la producción y un aumento en el costo. Además, los nitruros precipitados se vuelven gruesos, la generación de tensión de coherencia en la red cristalina de ferrita se inhibe y aparece incoherencia, que puede causar disminución de la dureza. Por consiguiente, se prefiere que el tratamiento de nitruración suave se realice a baja temperatura de calentamiento y tiempo de tratamiento corto desde el punto de vista de aumentar la productividad y reducir el costo.

30 Con el uso del método anterior, los nitruros que tienen la forma de precipitación mencionada anteriormente pueden producirse a alta densidad en un intervalo de profundidad suficiente desde la capa superficial. Desde luego que el tratamiento de nitruración suave no se limita necesariamente al tratamiento de nitruración suave de gas mencionado anteriormente y puede ser cualquier tratamiento siempre y cuando la capa superficial endurecida definida en la presente invención pueda formarse al ajustar las condiciones para someter el material de acero que tiene el componente de composición definido en la presente invención al tratamiento de nitruración suave.

[Ejemplos]

40 A continuación, aunque la presente invención se describirá más específicamente por medio de ejemplos, la presente invención no se limita a esos ejemplos.

45 Se fundieron y moldearon piezas de acero cada una con una composición química mostrada en la Tabla 1 para obtener materias primas de acero. Esas materias primas de acero se sometieron a laminado en caliente en las condiciones que se muestran en la Tabla 2, para así ser fabricadas en lámina de acero. Después de esto, las escalas se removieron en una solución acuosa de ácido clorhídrico al 7 %, la laminación de temple se realizó en las condiciones que se muestran en la Tabla 2 y se fabricaron láminas de acero cada una con un espesor de 2,9 mm.

[Tabla 1]

Acero	Composición química (% de masa, resto: Fe e impurezas)													Valor de lado derecho de Fórmula (ii)†	Valor del lado más a la izquierda de la Fórmula (iii)‡	Valor del lado más a la derecha de la Fórmula (iii) ‡
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Ti	Nb	Mo	V	Cr	Mn+Al			
A	0,005*	0,04	1,26	0,008	0,0030	0,32	0,0036	0,07					1,58	0,22	39	65
B	0,04	0,09	0,60*	0,007	0,0036	0,33	0,0017	0,05					0,98	0,14	53	33
C	0,03	0,01	2,30*	0,008	0,0031	0,28	0,0040	0,05					1,58	0,41	1	20
D	0,05	0,01	1,28	0,008	0,0050	0,03*	0,0014	0,07					1,58	0,26	30	54
E	0,04	0,05	1,45	0,007	0,0035	0,70*	0,036	0,06					1,58	0,28	26	50
F	0,03	0,06	1,32	0,006	0,0024	0,29	0,0025	0,003*					1,61	0,25	33	58
G	0,05	0,06	1,30	0,008	0,0021	0,33	0,0050	0,05					1,63	0,27	29	54
H	0,06	0,07	1,66	0,008	0,0027	0,22	0,0016	0,05			0,01	0,01	1,68	0,34	15	37
I	0,04	0,04	1,54	0,007	0,0031	0,20	0,0015	0,07	0,02				1,75	0,30	24	47
J	0,05	0,05	1,50	0,006	0,0044	0,19	0,0026	0,04			0,01		1,68	0,30	22	45

*Fuera del intervalo definido en la presente invención

† $Ce_{eq}IW = C + Mn/6 + Cr + Mo + V/5$ (ii)

‡ $80 - 190 \times Ce_{eq}IW \leq C \leq 115 + 230 \times Ce_{eq}IW$ (iii)

[Tabla 2]

N.º de prueba	Acero	Condiciones de laminado		Condiciones de enfriamiento		Condiciones de laminado de temple			
		Temperatura de calentamiento (°C)	Temperatura de acabado (°C)	Tasa de enfriamiento (°C/s)	Temperatura de enrollado (°C)	Relación de reducción de laminado (%)	F#1 (kg/mm)	T#2 (kg/mm)	F/T (mm)
1	A*	1250	940	45	500	1,2	1028	0,112	9162
2	B*	1230	950	60	500	1,2	1000	0,109	9156
3	C*	1230	920	10	500	1,2	964	0,112	8593
4	D*	1240	930	45	500	1,2	1013	0,108	9338
5	E*	1250	920	40	500	1,2	958	0,108	8856
6	F*	1250	930	45	500	1,2	964	0,110	8721
7	G	1240	940	35	500	1,2	968	0,111	8680
8	H	1250	950	25	500	1,2	996	0,113	8840
9	I	1250	920	35	500	1,2	1072	0,108	9929
10	J	1240	930	30	500	1,2	1072	0,113	9479
11	G	1050	920	40	500	1,2	985	0,105	9341
12	G	1230	930	10	500	1,2	1033	0,114	9081
13	G	1230	920	70	500	1,2	1024	0,111	9227
14	G	1240	940	40	400	1,2	1070	0,107	10025
15	G	1250	930	40	600	1,2	1057	0,112	9433
16	G	1250	920	40	500	1,2	870	0,115	7580

* Fuera del intervalo definido en la presente invención

#1 Carga lineal determinada al dividir la carga de laminador por el ancho de la lámina de acero

#2 Carga por unidad de área aplicada en la dirección longitudinal de la lámina de acero

Primero se cortó de la lámina de acero una pieza de prueba a usarse para medir una relación de área de ferrita, mediante el uso de una máquina de corte. Después de eso, una sección transversal que es perpendicular a la dirección de laminado se sometió a pulido mecánico para obtener una superficie con acabado de espejo y luego se reveló una estructura con corrosión con nital. Mediante el uso de un microscopio óptico, en una posición de 1/4 en la dirección del espesor de la lámina, se observaron cinco campos visuales de un intervalo de 90 μm en la dirección del espesor de la lámina y 120 μm en la dirección de laminado a un aumento de 1000 veces, y el valor determinado mediante la división de todas las áreas de ferrita en los campos visuales de los que se tomaron imágenes por el área total de la que se tomaron imágenes se empleó como la relación de área de ferrita.

A continuación, se cortó una pieza de prueba de la lámina de acero para usar para medición de densidad de dislocación mediante el uso de una máquina de corte y luego se moldeó a un tamaño de 10 mm por 10 mm mediante un proceso de electroerosión. Después de que la superficie se sometió a pulido mecánico para obtener una superficie con acabado de espejo, una capa tensada introducida por el pulido mecánico se removió mediante pulido electrolítico, y el pulido se realizó hasta la posición de profundidad de 50 μm desde la superficie de la lámina de acero. La tensión reticular ϵ se calculó mediante el uso de gráfico de Hall a partir de intensidad integrada de pico de {110}, {211}, {220} obtenida mediante un método de difracción de rayos X, y después de eso, la densidad de dislocación ρ se calcula en función de la siguiente fórmula. Aquí, b representa un vector de Burgers, y se establece en $0,25 \times 10^{-9}$ m.

$$\rho = (14,4 \times \epsilon^2) / b^2$$

Además, se obtuvo una pieza de prueba de la lámina de acero para evaluar precipitados, y se usó para análisis de residuo de extracción. La pieza de prueba obtenida se sumergió en una solución electrolítica (10 % de acetilacetona, 1 % de cloruro de trimetilamonio y el resto de metanol), se sometió a electrólisis de corriente constante, y luego se hizo filtrar a través de un filtro que tiene un diámetro de filtración de 0,2 μm para obtener un residuo de extracción (carburo). Después de disolver el residuo de extracción para obtener una solución, la solución se analizó mediante el uso de espectrometría de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente (ICP-OES, por sus siglas en inglés), y se midieron cada una de las concentraciones de Ti, Nb, Mo, V y Cr en la solución.

Adicionalmente, las concentraciones medidas se dividieron cada una por la masa de la pieza de prueba electrolizada para calcular así el contenido de cada uno de Ti, Nb, Mo, V y Cr, que estaban presentes como precipitados en la lámina de acero.

Después, una probeta de tracción JIS No. 5 con la dirección de laminado como la dirección de tracción se obtiene de la lámina de acero, se realizó un ensayo de tracción según JIS Z 2241(2011), y se midió la resistencia a la tracción (TS) y el alargamiento de ruptura (EI). Además, se realizó un ensayo de expansión de orificios mediante el uso de un punzón cónico de 60° y se midió una tasa de expansión de orificio (λ).

A continuación, una pieza de prueba para medir dureza y una pieza de prueba para plegado recto se obtuvieron de la lámina de acero, dichas piezas de prueba se sometieron a tratamiento de nitruración suave de gas que implica ser retenidas en temperatura de 570 °C en atmósfera de gas $\text{NH}_3:\text{N}_2:\text{CO}_2=50:45:5$ durante dos horas, y luego refrigeradas por aceite a temperatura del aceite de 80 °C.

Mediante el uso de la pieza de prueba para medir la dureza se realizó medición de dureza Vickers a una posición de 50 μm desde la superficie de la lámina de acero después del tratamiento de nitruración suave y en una parte central del espesor de lámina. La condición de prueba se estableció en la fuerza de prueba de 0,3 kgf (2,942 N), y se determinó el valor promedio de los resultados de medición de cinco puntos. La dureza en la posición de 50 μm desde la superficie de la lámina de acero se estableció como la dureza superficial, y la dureza de la parte central del espesor de lámina se estableció como la dureza del material base. Además, la distancia desde la superficie de la lámina de acero a la profundidad en la cual la dureza es mayor en 50 HV que la dureza del material base se estableció como la profundidad de endurecimiento.

Las características de fatiga se evaluaron según el ensayo de prueba de fatiga de flexión recta de placas metálicas descrito en JIS Z 2275(1978) mediante el uso de una máquina de prueba de fatiga de flexión recta tipo Schenck. La frecuencia se estableció en 25 Hz, la relación de esfuerzo se estableció en $R=-1$, y la resistencia a la fatiga se evaluó en la cantidad de repeticiones de 10^7 ciclos de resistencia en el tiempo.

La Tabla 3 muestra la relación de área de ferrita, la densidad de dislocación, el contenido total de Ti, Nb, Mo, V y Cr presentes como precipitados, los resultados de medición de características mecánicas y los resultados de evaluación de características de fatiga. Observar que, en los presentes Ejemplos, la procesabilidad se evaluó como satisfactoria cuando EI fue mayor o igual que 25 % y λ fue mayor o igual que 120 %. Además, las características de endurecimiento se evaluaron como satisfactorias cuando la dureza superficial fue mayor o igual que 600 HV, la dureza del material base es mayor o igual que 180 HV y la profundidad de endurecimiento es mayor o igual que 0,35 mm. Por otra parte, con respecto a la prueba de fatiga de flexión recta, cuando la resistencia a la fatiga fuerza fue mayor o igual que 600 MPa, las características de fatiga se establecieron como satisfactorias (A), y cuando la resistencia a la fatiga fue menor que 600 MPa, las características de fatiga se establecieron como malas (B).

[Tabla 3]

n.º de prueba	Acero	Rasgos y características antes del tratamiento de nitruración				Rasgos y características después del tratamiento de nitruración				Ejemplo Comparativo		
		Microestructura		Características mecánicas		Nitruros [#]		Características mecánicas después del tratamiento de nitruración				
	Contenido de elementos de aleación en precipitado [#]	Relación de área de Ferrita (%)	Densidad de dislocación (m ⁻²)	TS(MPa)	E(%)	λ(%)	Densidad numérica de nitruros (m ⁻²)	Tamaño de nitruro (nm)	Dureza de capa superficial (Hv)	Profundidad de endurecimiento (mm)	Dureza de material base (Hv)	Características de fatiga
1	A	0,012	94	8,9 X 10 ¹⁴	504	33	130	2,2 X 10 ²⁴	6	0,41	138	B
2	B	0,010	84	1,4 X 10 ¹⁵	540	29	135	0,79 X 10 ²³	4	0,39	184	B
3	C	0,015	83	1,3 X 10 ¹⁵	645	24	97	3,1 X 10 ²⁴	8	0,35	211	A
4	D	0,011	87	6,0 X 10 ¹⁴	609	27	135	0,77 X 10 ²³	7	0,43	201	B
5	E	0,013	84	4,2 X 10 ¹⁴	012	27	130	3,9 X 10 ²⁴	9	0,30	211	B
6	F	0,003	81	9,3 X 10 ¹⁴	622	26	123	2,3 X 10 ²⁴	8	0,40	134	B
7	G	0,013	91	1,2 X 10 ¹⁵	624	27	124	2,4 X 10 ²⁴	8	0,39	210	A
8	H	0,014	82	6,4 X 10 ¹⁴	633	26	132	3,2 X 10 ²⁴	8	0,38	236	A
9	I	0,011	83	1,1 X 10 ¹⁵	640	26	130	3,1 X 10 ²⁴	8	0,38	224	A
10	J	0,014	84	1,8 X 10 ¹⁵	631	27	122	2,0 X 10 ²⁴	9	0,40	216	A
11	G	0,039	81	1,7 X 10 ¹⁵	594	26	115	2,2 X 10 ²⁴	5	0,39	154	B
12	G	0,042	87	3,5 X 10 ¹⁴	581	27	121	1,9 X 10 ²⁴	4	0,38	146	B
13	G	0,012	56	1,1 X 10 ¹⁵	674	27	107	2,7 X 10 ²⁴	17	0,38	221	B
14	G	0,011	62	7,0 X 10 ¹⁵	657	22	114	2,6 X 10 ²⁴	7	0,37	213	A
15	G	0,032	87	4,6 X 10 ¹⁴	643	26	124	2,5 X 10 ²⁴	6	0,38	157	B
16	G	0,013	83	6,3 X 10 ¹⁵	514	27	124	0,7 X 10 ²⁴	4	0,41	183	B

Los que están fuera del intervalo definido en la presente invención están coloreados en gris y subrayados
[#]3 Contenido total de Ti, Nb, Mo, V y Cr presentes como precipitados
[#]4 Densidad de dislocación en posición de 30 μm desde la superficie de la lámina de acero
[#]5 Nitruros en la posición de 30 μm desde la capa superficial de lámina de acero después de tratamiento de nitruración suave

Como queda claro a partir de la Tabla 3, las Pruebas n.º 1 a 6, que fueron Ejemplos Comparativos cuyas composiciones químicas se desvían de la composición química definida en la presente invención, cada una tuvo un resultado en el que la procesabilidad o las características de fatiga fueron malas. La prueba n.º 1 tuvo bajo contenido de C, por lo que la cantidad de precipitación de carburos durante el tratamiento de nitruración suave de gas fue pequeña y, por lo tanto, la dureza del material base fue baja y las características de fatiga también fueron malas. La prueba n.º 2 tuvo bajo contenido de Mn, por lo que la precipitación de nitruros de Mn en el tratamiento de nitruración suave de gas fue insuficiente y, por lo tanto, la dureza superficial fue baja y las características de fatiga fueron malas. La prueba n.º 3 tuvo alto contenido de Mn, la segregación central de la lámina de acero fue notable y la procesabilidad fue mala. La prueba n.º 4 tuvo bajo contenido de Al, por lo que la precipitación de nitruros de Al fue insuficiente y, por lo tanto, la dureza superficial fue baja y las características de fatiga fueron malas. La prueba n.º 5 tuvo alto contenido de Al, por lo que la profundidad de endurecimiento se volvió pequeña y las características de fatiga fueron malas. La prueba n.º 6 tuvo bajo contenido de Ti, por lo que la cantidad de precipitación de carburos durante el tratamiento de nitruración suave de gas fue pequeña. Por lo tanto, la dureza del material base fue baja y las características de fatiga fueron malas.

Las Pruebas n.º 11 a 16, que son Ejemplos Comparativos cuyas composiciones químicas satisfacen la composición química definida en la presente invención aunque sus estructuras metálicas se desvían de la estructura metálica definida a partir de la presente invención, cada una tuvo un resultado en el que la procesabilidad o las características de fatiga fueron malas. La Prueba n.º 11 tuvo baja temperatura de calentamiento y el Ti no pudo someterse lo suficiente a tratamiento de solución. Por lo tanto, la precipitación de carburos durante la nitruración suave de gas fue pequeña, la dureza del material base fue mala y, como resultado, las características de fatiga fueron malas. La prueba n.º 12 tuvo baja tasa de enfriamiento, y los carburos se precipitaron durante el enfriamiento. Por lo tanto, la precipitación de carburos en el material base durante la nitruración suave de gas fue insuficiente, la dureza del material base fue mala y, como resultado, las características de fatiga fueron malas. La Prueba n.º 13 tuvo tasa de enfriamiento rápida, se formó una estructura de bainita y la relación de área de ferrita disminuyó. Por lo tanto, la procesabilidad fue mala. La Prueba n.º 14 tuvo temperatura de enrollado baja, se formó una estructura de transformación de baja temperatura tal como bainita o martensita y la relación de área de ferrita disminuyó. Por lo tanto, la procesabilidad fue mala. La Prueba n.º 15 tuvo temperatura de enrollado alta y se promovió la precipitación de carburos durante el enrollado. Por lo tanto, los carburos se volvieron gruesos durante el tratamiento de nitruración suave de gas, la dureza del material base fue mala y, como resultado, las características de fatiga fueron malas. La Prueba n.º 16 tuvo un valor de F/T pequeño, que es una condición del laminado de temple, por lo que la densidad de dislocación de la capa superficial de la lámina de acero no aumentó lo suficiente. Por lo tanto, la dureza superficial en el tratamiento de nitruración suave de gas fue baja y, como resultado, las características de fatiga fueron malas.

Por otro lado, se halló que las Pruebas n.º 7 a 10, que son Ejemplos que satisfacen todos los requisitos de la presente invención, cada uno presentó características de endurecimiento satisfactorias, y cada uno tuvo una dureza del material base que aumentó lo suficiente mediante el tratamiento de nitruración suave de gas y, por lo tanto, tuvieron tanto procesabilidad como características de fatiga satisfactorias.

A continuación, las piezas de acero cada una con una composición química mostrada en la Tabla 4 se disolvieron para producir lingotes. Esos lingotes se calentaron a 1250 °C durante una hora y luego se sometieron a laminado en caliente en las condiciones de que la temperatura de acabado fue 900 °C y el espesor de acabado fue 3 mm. Después, tras realizar enrollado a la temperatura de 500 °C, se removieron las escamas en una solución acuosa de ácido clorhídrico al 7% y se fabricaron las láminas de acero.

[Tabla 4]

Acero	Composición química (% de masa, resto: Fe e impurezas)										
	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	Nb	Mo	V	Cr
A	0,004*	0,03	1,30	0,008	0,0026	0,34	0,06	-	-	-	-
B	0,05	0,02	0,52*	0,009	0,0031	0,37	0,05	-	-	-	-
C	0,03	0,01	2,13*	0,008	0,0038	0,30	0,07	-	-	-	-
D	0,04	0,04	1,43	0,007	0,0042	0,03*	0,05	-	-	-	-
E	0,05	0,05	1,31	0,009	0,0028	1,00*	0,06	-	-	-	-
F	0,05	0,03	1,43	0,006	0,0041	0,38	0,003*	-	-	-	-
G	0,04	0,04	1,37	0,007	0,0036	0,23	0,05	-	-	-	-
H	0,04	0,04	1,32	0,008	0,0026	0,29	0,04	-	-	0,01	0,01
I	0,03	0,03	1,44	0,007	0,0034	0,30	0,06	0,01	-	-	-
J	0,05	0,05	1,36	0,006	0,0031	0,27	0,05	-	0,01	0,01	-

*Fuera del intervalo definido en la presente invención

5 Después, una probeta de tracción JIS No. 5 con la dirección de laminado como la dirección de tracción se obtiene de la lámina de acero, se realizó un ensayo de tracción de acuerdo con JIS Z 2241(2011), y se midió la resistencia a la tracción (TS) y el alargamiento de ruptura (EI). Además, como un índice de la aptitud para el moldeo por presión, se realizó una prueba de capacidad de expansión de orificios. En la prueba de capacidad de expansión de orificios, una rebaba de agujero perforado con un diámetro de 10 mm se colocó hacia afuera y se forzó la expansión del orificio mediante el uso de un punzón cónico de 60° y se midió una tasa de expansión de orificio (λ). Los resultados de esta se muestran en la Tabla 5.

[Tabla 5]

Acero	Características mecánicas			
	TS(MPa)	EI (%)	λ (%)	Evaluación de procesabilidad
A*	498	35	130	A
B*	513	31	129	A
C*	638	24	97	B
D*	609	28	134	A
E*	608	27	127	A
F*	612	28	124	A
G	617	28	127	A
H	632	26	131	A
I	642	26	131	A
J	627	27	122	A

*Fuera del intervalo definido en la presente invención

10 Como queda claro a partir de la Tabla 5, el Acero C, que tuvo un componente de composición que estaba fuera del intervalo definido en la presente invención, tuvo el alargamiento total (EI) de 21 % y la tasa de expansión de orificio de 97 %, que fueron ambas insuficientes y el resultado de la aptitud para el moldeo por presión fue bajo. Por otro lado, aunque las piezas de Acero A, B y D a F cada una tuvo un componente de composición que estaba fuera del intervalo
 15 definido en la presente invención, cada uno de sus alargamientos totales (EI) fue mayor o igual que 25 % y la tasa de expansión de orificio fue mayor o igual que 120 %, por lo que la aptitud para el moldeo por presión fue suficiente. Además, las piezas de Acero G a J cada una con un componente de composición que estaba en un intervalo definido en la presente invención, tuvo cada una el alargamiento total (EI) o mayor o igual que 25 % y la tasa de expansión de orificio mayor o igual que 120 %, y, por lo tanto, cada una tuvo un aptitud para el moldeo por presión excelente.

20 A continuación, las piezas de Acero A, B y D a J, cuyas aptitudes para el moldeo por presión fueron satisfactorias, se sometieron al tratamiento de nitruración suave mediante el uso del método que se muestra a continuación, y luego se examinaron sus características como acero con nitruración suave. Primero se obtuvieron piezas de prueba para medir dureza y piezas de prueba para flexión recta a partir de las láminas de acero mediante el uso de las piezas de Acero anteriores. Luego, esas piezas de prueba se sometieron a tratamiento de nitruración suave de gas que implica
 25 retenerlas en la temperatura de calentamiento y el tiempo de tratamiento mostrado en la Tabla 6 en atmósfera de gas de $\text{NH}_3:\text{N}_2:\text{CO}_2=50:45:5$ y luego enfriarlas por aceite a temperatura de aceite de 80 °C. Desde el punto de vista de la productividad, el tiempo de tratamiento se estableció en dos horas o menos.

[Tabla 6]

n.º de prueba	Acero	Condiciones de tratamiento de nitruración suave		Nitruros#			Características mecánicas después del tratamiento de nitruración			Características de fatiga	
		Temperatura de calentamiento (°C)	Tiempo de tratamiento (h)	Longitud máxima † (mm)	Concentración de Mn (%at)	Densidad numérica (m ⁻⁴)	Dureza de capa superficial (Hv)	Profundidad de endurecimiento (mm)	Dureza de material base (Hv)		
1	A*	570	2	6	81	2,3 X 10 ³⁴	638	0,42	128	B	Ejemplo Comparativo
2	B*	570	2	3*	56*	0,86 X 10 ³⁴	448	0,36	187	B	Ejemplo Comparativo
3	D*	570	2	5	97	0,73 X 10 ³⁴	437	0,43	199	B	Ejemplo Comparativo
4	E*	570	2	8	55*	3,7 X 10 ³⁴	712	0,30	207	B	Ejemplo Comparativo
5	F*	570	2	8	80	2,5 X 10 ³⁴	638	0,39	127	B	Ejemplo Comparativo
5	G	570	2	6	90	2,2 X 10 ³⁴	627	0,39	210	A	Ejemplo
7	H	570	2	6	84	2,3 X 10 ³⁴	616	0,38	217	A	Ejemplo
8	I	570	2	6	86	3,1 X 10 ³⁴	631	0,38	226	A	Ejemplo
9	J	570	2	7	87	2,1 X 10 ³⁴	622	0,40	219	A	Ejemplo
10	G	550	2	2*	83	1,8 X 10 ³⁴	553	0,36	173	B	Ejemplo Comparativo
11	G	610	2	12*	83	0,67 X 10 ³⁴	476	0,38	180	B	Ejemplo Comparativo

* Fuera del intervalo en la presente invención

Nitruros en la posición de profundidad de 50µm desde la capa más externa del acero

† Valor promedio de longitudes máximas en cada nitruro

Se preparó una muestra para observación TEM a la posición de profundidad de 50 μm desde la capa más externa a partir de la pieza de prueba para medir la dureza mediante pulido mecánico o pulido electrolítico. Mediante uso de TEM se midieron la forma de un nitruro, la longitud máxima de un nitruro, la densidad numérica de nitruros y la concentración de Mn en elementos metálicos incluidos en los nitruros. La observación se llevó a cabo en la condición de que una dirección [001] de ferrita sea paralela a una dirección incidente de un haz de electrones. La longitud máxima de un nitruro se evaluó mediante el uso de un valor promedio de nitruros incluidos en un campo visual observado.

Además, la densidad numérica de nitruros se evaluó de la siguiente manera. De los nitruros precipitados en el plano {001} en un cristal de ferrita, dado que es difícil observar los nitruros precipitados en el plano (001), se contó la cantidad de nitruros en el plano (100) y la cantidad de nitruros en el plano (010) y la cantidad total se multiplicó por 1,5. El espesor de una muestra TEM de la región observada se midió mediante el uso de un método de relación logarítmica de espectroscopía de pérdida de energía de electrones (EELS). La densidad numérica se determinó al dividir la cantidad observada de nitruros por un volumen, en el que el volumen se determina mediante multiplicación del área del campo visual observado por el espesor.

La concentración de Mn en elementos metálicos incluidos en los nitruros se determinó mediante medición de las concentraciones de Mn en diez nitruros mediante el uso de TEM-EDS y mediante el cálculo del valor promedio de las concentraciones de Mn. Los resultados de esta se muestran juntos en la Tabla 6.

Además, mediante el uso de la pieza de prueba para medir la dureza se realizó medición de dureza Vickers a una posición de 50 μm desde la superficie de la lámina de acero después del tratamiento de nitruración suave y en una parte central del espesor de lámina. La condición de prueba se estableció en la fuerza de prueba de 0,3 kgf (2,942 N), y se determinó el valor promedio de los resultados de medición de cinco puntos. La dureza en la posición de 50 μm desde la superficie de la lámina de acero se estableció como dureza superficial, y la dureza de la parte central del espesor de lámina se estableció como la dureza del material base. Además, la distancia desde la superficie de la lámina de acero a la profundidad en la cual la dureza es mayor en 50 HV que la dureza del material base se estableció como la profundidad de endurecimiento.

Las características de fatiga se evaluaron según el ensayo de prueba de fatiga de flexión recta de placas metálicas descrito en JIS Z 2275(1978) mediante el uso de una máquina de prueba de fatiga de flexión recta tipo Schenck. La frecuencia se estableció en 25 Hz, la relación de esfuerzo se estableció en $R=-1$, y la resistencia a la fatiga se evaluó en la cantidad de repeticiones de 10^7 ciclos de resistencia en el tiempo.

Además, en los presentes ejemplos, las características de endurecimiento se evaluaron como satisfactorias cuando la dureza superficial fue mayor o igual que 600 HV, la dureza del material base es mayor o igual que 180 HV y la profundidad de endurecimiento es mayor o igual que 0,35 mm. Por otra parte, con respecto a la prueba de fatiga de flexión recta, cuando la resistencia a la fatiga fue mayor o igual que 600 MPa, las características de fatiga se establecieron como satisfactorias (A), y cuando la resistencia a la fatiga fue menor que 600 MPa, las características de fatiga se establecieron como malas (B).

Las Figuras 1 y 2 muestran resultados obtenidos por observación, mediante el uso de un TEM, de nitruros en la posición de profundidad de 50 μm desde la superficie más externa de la Prueba n.º 6. La Figura 1 es una imagen capturada mediante un STEM de campo oscuro anular, que es una de las técnicas de observación que usan el TEM, y puede verse a partir de la imagen que nitruros de aleación tipo placa de 6 nm promedio coherentes con una fase madre están distribuidos con alta densidad en el plano {001}. Además, la Figura 2 muestra espectros de TEM-EDS obtenidos de nitruros y ferrita, que es una fase madre. A partir de la Figura 2, se puede comprender que los nitruros observados en la Figura 1 son nitruros que contienen Mn y Al como principal componente.

Como queda claro a partir de la Tabla 6, las Pruebas n.º 1 a 5, que son Ejemplos Comparativos cuyas composiciones químicas se desvían de la composición química definida en la presente invención, cada una tuvo un resultado en el que las características de fatiga fueron malas. La muestra n.º 1 tuvo bajo contenido de C, por lo que la cantidad de precipitación de carburos en el material base fue insuficiente. Por lo tanto, la dureza del material base fue baja y las características de fatiga fueron malas. La Muestra n.º 2 tuvo bajo contenido de Mn, por lo que el nitrógeno que se disolvió como solución sólida e ingresó desde la superficie no se consumió como nitruros en la proximidad de la superficie. Por lo tanto, aunque la profundidad de dureza fue suficiente, los tamaños de los nitruros que se habían formado eran pequeños y la densidad numérica de los nitruros también disminuyó. Por consiguiente, se obtuvieron los resultados de que el fortalecimiento de la precipitación no fue suficiente, la dureza superficial fue baja; y las características de fatiga fueron malas.

La muestra n.º 3 tuvo bajo contenido de Al, por lo que la aceleración de la formación de nitruro no fue suficiente. Por lo tanto, la densidad numérica disminuyó y el fortalecimiento de la precipitación de la capa superficial no fue suficiente. Por consiguiente, la dureza de la capa superficial disminuyó y las características de fatiga fueron malas. La Muestra n.º 4 tuvo alto contenido de Al, por lo que la concentración de Mn en los nitruros disminuyó relativamente, y se formaron nitruros cada uno con una composición cristalina de M_1N_1 . Por consiguiente, el nitrógeno que se disolvió como una solución sólida e ingresó desde la superficie se consumió en la proximidad de la superficie de la muestra con lo cual disminuye la profundidad de endurecimiento y, como resultado, las características de fatiga fueron malas. La muestra n.º 5 tuvo un bajo contenido de Ti, por lo que la precipitación de carburos en el material base fue insuficiente. Por lo

tanto, la dureza del material base fue baja y las características de fatiga fueron malas.

5 Además, las Pruebas n.º 10 y 11 son Ejemplos Comparativos que satisfacían las composiciones químicas definidas en la presente invención, pero en las que la forma de precipitación de nitruros en la posición de profundidad de 50 µm desde la superficie más externa se desvió de la presente invención dado que las condiciones del tratamiento de nitruración suave fueron inadecuadas. En la Prueba n.º 10, los tamaños de los nitruros precipitados fueron pequeños y, por lo tanto, la magnitud de la tensión de coherencia acompañada de la formación de nitruros no fue suficiente y el fortalecimiento de precipitación fue pequeño. Como resultado, la dureza de la capa superficial disminuyó y las características de fatiga fueron malas. Además, en la Prueba n.º 11, dado que los tamaños de los nitruros precipitados fueron grandes, la incoherencia había avanzado y la densidad numérica fue pequeña, el fortalecimiento de precipitación fue pequeño. Como resultado, la dureza de la capa superficial disminuyó y las características de fatiga fueron malas.

10 Por otro lado, se halló que las Muestras n.º 6 a 9, que son Ejemplos que satisfacen todos los requisitos de la presente invención, cada una tuvo características de fatiga satisfactorias: se obtuvo una dureza suficiente de la capa superficial, es decir, la dureza en la posición de profundidad de 50 µm desde la suficiente más externa fue mayor o igual que 600 HV; la profundidad de endurecimiento fue grande, que fue mayor o igual que 0,35 mm; y la dureza del material base superó los 200 HV.

Aplicación industrial

20 Según la presente invención, se puede proporcionar el acero con nitruración suave que tiene excelentes características de fatiga sin deteriorar la productividad y eficiencia económica, lo cual es excelente en la aptitud para el moldeo por presión tal como la abocardabilidad y la capacidad de expansión de orificios antes del tratamiento de nitruración suave y en el cual se forma una capa endurecida que tiene un espesor suficiente desde la superficie después del tratamiento de nitruración suave. La lámina de acero para el tratamiento de nitruración suave y el acero con nitruración suave según la presente invención que tienen dichas características son adecuados para usarse como una parte para una estructura general tal como una parte para un automóvil.

25

REIVINDICACIONES

1. Una lámina de acero para tratamiento de nitruración suave que tiene una composición química que consiste, en % de masa, en,

C: mayor o igual que 0,02 % y menor que 0,07 %,

5 Si: menor o igual que 0,10 %,

Mn: 1,1 a 1,8 %,

P: menor o igual que 0,05 %,

S: menor o igual que 0,01 %,

Al: 0,10 a 0,45 %,

10 N: menor o igual que 0,01 %,

Ti: 0,01 a 0,10 %,

Nb: 0 a 0,1 %,

Mo: 0 a 0,1 %,

V: 0 a 0,1 %,

15 Cr: 0 a 0,2 %, y

el resto: Fe e impurezas,

satisface la siguiente fórmula (i), y

tiene un contenido total de Ti, Nb, Mo, V y Cr presentes como precipitados en la lámina de acero menor que 0,03 % en % de masa,

20 en donde la lámina de acero para tratamiento de nitruración suave tiene una estructura metálica en la que una relación de área de ferrita es mayor o igual que 80 % y una densidad de dislocación en una posición de 50 μm desde una superficie de la lámina de acero es 1×10^{14} a $1 \times 10^{16} \text{ m}^{-2}$,

$$\text{Mn} + \text{Al} \geq 1,5 \quad (\text{i})$$

25 donde cada símbolo químico incluido en la fórmula representa un contenido (% de masa) de cada elemento contenido en la lámina de acero.

2. La lámina de acero para tratamiento de nitruración suave según la reivindicación 1, en donde la composición química comprende, en % de masa, uno o más seleccionados de

Nb: 0,005 a 0,1 %,

Mo: 0,005 a 0,1 %,

30 V: 0,005 a 0,1 %, y

Cr: 0,005 a 0,2 %

3. Un método para fabricar una lámina de acero para tratamiento de nitruración suave según la reivindicación 1 o 2, en el que el método comprende:

35 iniciar el laminado de una materia prima de acero que tiene una composición química mencionada en la reivindicación 1 o 2 después de que la materia prima de acero se calienta a una temperatura mayor o igual que 1150 °C, y finalizar el laminado a la temperatura de acabado mayor o igual que 900 °C; realizar enrollado, después del enfriamiento, en una región de temperatura de 470 a 530 °C para hacer que la relación de área de ferrita sea mayor o igual que 80 %, en donde el enfriamiento se realiza en la condición de que una tasa de enfriamiento CR (°C/s) satisfaga la siguiente fórmula (iii), en la que la fórmula (iii) tiene una relación con un valor de CeqIIW definido en la siguiente fórmula (ii),

$$\text{CeqII W} = \text{C} + \text{Mn}/6 + (\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V})/5 \quad (\text{ii})$$

$$80 - 190 \times \text{CeqIIW} \leq \text{CR} \leq 115 - 230 \times \text{CeqIIW} \quad (\text{iii})$$

- donde cada símbolo químico incluido en la fórmula representa un contenido (% de masa) de cada elemento contenido en la materia prima de acero; a continuación someter la materia prima de acero a decapado; y someter la materia prima de acero a laminación de temple después del decapado en condiciones en las que una relación de reducción de laminado es de 0,5 a 5,0 %, y F/T (mm), es mayor o igual que 8000, en la que dicha F/T (mm) es una relación de una carga lineal F (kg/mm), determinada mediante la división de una carga de laminador por un ancho de la lámina de acero, a una carga T (kg/mm²) por unidad de área aplicada en una dirección longitudinal de la lámina de acero.
- 5
4. Un acero con nitruración suave que tiene una composición química que consiste, en % de masa, en:
- C: mayor o igual que 0,02 % y menor que 0,07 %.
- 10 Si: menor o igual que 0,10 %,
- Mn: 1,1 a 1,8 %,
- P: menor o igual que 0,05 %,
- S: menor o igual que 0,01 %,
- Al: 0,10 a 0,45 %,
- 15 Ti: 0,01 a 0,10 %,
- Nb: 0 a 0,1%,
- Mo: 0 a 0,1%,
- V: 0 a 0,1%,
- Cr: 0 a 0,2 %, y
- 20 el resto: Fe e impurezas,
- en donde a una posición de profundidad de 50 μm desde una superficie más externa, los nitruros se precipitan en un plano {001} en un cristal de ferrita,
- un valor promedio de longitudes máximas de los respectivos nitruros es de 5 a 10 nm, y
- una densidad numérica de nitruros es mayor o igual que $1 \times 10^{24} \text{ m}^{-3}$.
- 25 5. El acero con nitruración suave según la reivindicación 4, en donde la composición química contiene, en % de masa, uno o más seleccionados de
- Nb: 0,01 a 0,1%,
- Mo: 0,01 a 0,1%,
- V: 0,01 a 0,1 %, y
- 30 Cr: 0,01 a 0,2%.
6. El acero con nitruración suave según la reivindicación 4, en donde una concentración de Mn en elementos metálicos incluidos en los nitruros es mayor o igual que 80 %at.
7. Un uso de la lámina de acero según la reivindicación 1 o 2 para tratamiento de nitruración suave.

FIGURA 1

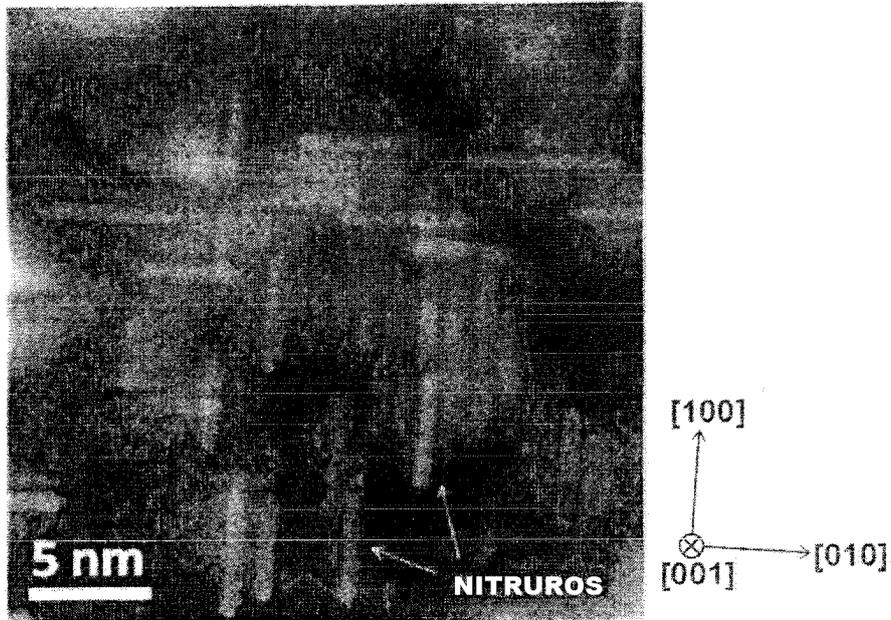


FIGURA 2

