

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 734 224**

51 Int. Cl.:

C21D 6/00	(2006.01)	C22C 38/22	(2006.01)
C21D 8/00	(2006.01)	C22C 38/24	(2006.01)
C21D 8/02	(2006.01)	C22C 38/26	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01)	C22C 38/28	(2006.01)
C22C 38/06	(2006.01)	C22C 38/38	(2006.01)
C22C 38/08	(2006.01)	C22C 38/58	(2006.01)
C22C 38/12	(2006.01)		
C22C 38/14	(2006.01)		
C22C 38/16	(2006.01)		
C22C 38/20	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.07.2015 PCT/JP2015/070566**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **21.01.2016 WO16010144**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.07.2015 E 15821930 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.05.2019 EP 3170912**

54 Título: **Producto de acero y método de fabricación del mismo**

30 Prioridad:

18.07.2014 JP 2014147934
18.07.2014 JP 2014147937

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.12.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

HAYASHI, KOUTAROU

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 734 224 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

Producto de acero y método de fabricación del mismo

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a un producto de acero y un método de fabricación del mismo, y se refiere particularmente a un producto de acero cuya resistencia a la tracción es de 980 MPa o más y que tiene excelentes propiedades de ductilidad e impacto, y un método de fabricación del mismo.

Antecedentes de la técnica

10 En los últimos años, se ha demandado el desarrollo de un producto de acero que contribuya a la conservación de la energía a fin de proteger el medio ambiente mundial. En los campos de un producto de acero para automóviles, un producto de acero para tuberías de pozos petrolíferos, un producto de acero para la construcción de edificios, etc., se demanda cada vez más un producto de acero de súper alta resistencia que es liviano y aplicable a entornos de uso severo y se amplía su ámbito de aplicación. En consecuencia, asegurar no solo una propiedad de resistencia sino también un entorno de seguridad en el uso es importante en el producto de acero de súper alta resistencia utilizado en estos campos. Concretamente, es importante aumentar la tolerancia a la deformación plástica externa aumentando la ductilidad del producto de acero.

15 Por ejemplo, en un caso en donde un automóvil colisiona con una estructura, para aliviar su impacto suficientemente por un miembro anticolidión de un vehículo, se desea que la resistencia a la tracción de un producto de acero sea de 980 MPa o más y un valor de un producto (TS × EL) de la resistencia a la tracción (TS) y una elongación total (EL) puede ser de 16000 Mpa·% o más. Sin embargo, dado que la ductilidad disminuye considerablemente a medida que aumenta la resistencia a la tracción, no ha habido ningún producto de acero de súper alta resistencia que satisfaga la propiedad descrita anteriormente y sea capaz de ser producido industrialmente en masa. Por lo tanto, se han realizado diversas investigaciones y desarrollos para mejorar la ductilidad del producto de acero de súper alta resistencia y se han sugerido métodos de control de la estructura para materializar la investigación y el desarrollo (Véanse referencias de patentes 1 a 4).

20 Sin embargo, mediante técnicas convencionales, es imposible obtener una propiedad de ductilidad e impacto suficiente mientras se asegura la resistencia a la tracción de 980 MPa o más.

25 La referencia de patente 5 se refiere a un acero que contiene cada uno de C, Si, Mn, P, S, Al, N, O, con el resto compuesto de Fe e impurezas inevitables, en un intervalo de 1/8 de espesor centrado alrededor de 1/4 chapas de espesor desde una superficie hasta 3/8 de espesor centrado alrededor de 1/4 de chapa desde la superficie en una chapa de acero base, una estructura de la chapa de acero base contiene, en fracción de volumen, 3% o más de una austenita retenida fase, 50% o menos de una fase de ferrita, y 40% o más de una fase dura, una densidad de dislocación promedio es $5 \times 10^{13}/m^2$ o más, una cantidad de C en disolución sólida contenida en la fase de austenita retenida es en % en masa de 0,70 a 1,00%, una relación en intensidad aleatoria de rayos X de hierro FCC en una textura de la fase de austenita retenida es 3,0 o menos, una relación entre un diámetro de grano en relación con una dirección de laminado y un diámetro de grano en relación con una dirección del ancho de chapa de la fase de austenita retenida es de 0,75 a 1,33; además, se forma una capa galvanizada por inmersión en caliente en la superficie de la chapa de acero base y el espesor de la chapa se convierte en 0,6 a 5,0 mm.

Lista de citas

Referencia de patente

40 Referencia de patente 1: Publicación de patente japonesa publicada N.º 2004-269920

Referencia de patente 2: Publicación de patente japonesa publicada N.º 2010-90475

Referencia de patente 3: Publicación de patente japonesa publicada N.º 2003-138345

Referencia de patente 4: Publicación de patente japonesa publicada N.º 2014-25091

Referencia de patente 5: WO 2013/047821 A1

45 Sumario de la invención

Problema técnico

Un objeto de la presente invención es proporcionar un producto de acero y un método de fabricación del mismo, teniendo el producto de acero una excelente ductilidad y propiedades de impacto mientras que tiene una resistencia a la tracción de 980 MPa o más.

50

Solución al problema

Los presentes inventores han llevado a cabo un estudio entusiasta para resolver el problema descrito anteriormente. Como resultado, los presentes inventores han alcanzado el siguiente hallazgo.

5 Cuando un material de acero se calienta a una región bifásica de ferrita y austenita, se descarburiza una superficie, por lo que se forma una estructura (en adelante, denominada "capa de ferrita descarburada") hecha de una fase de ferrita blanda. Cuando la descarburación se hace prominente, la capa de ferrita descarburada se forma gruesa en una superficie de un producto de acero.

Cuando un espesor de la capa de ferrita descarburada llega a ser 5 μm o más, se genera una ferrita gruesa, lo que da como resultado que la ductilidad y las propiedades de impacto puedan deteriorarse.

10 Por lo tanto, para fabricar un producto de acero de súper alta resistencia, se aplica un tratamiento térmico adecuado a un material de acero que contiene particularmente Si y Mn más positivamente de lo normal para suprimir así la descarburación en una superficie. Se ha vuelto obvio que lo anterior permite obtener de manera estable un producto de acero que tiene una excelente ductilidad y propiedad de impacto, mientras que tiene una resistencia a la tracción de 980 MPa o más, un producto de acero tal que no ha podido fabricarse mediante una técnica convencional.

15 La presente invención se realiza en base al hallazgo descrito anteriormente y su esencia básica es un producto de acero y un método de fabricación del mismo como se describe en las reivindicaciones.

Además, se describe lo siguiente:

(1) Un producto de acero que tiene:

una composición química representada por, en % en masa,

20 C: 0,050% a 0,35%,

Si: 0,50% a 3,0%,

Mn: superior a 3,0% a 7,5% o menos,

P: 0,05% o menos,

S: 0,01% o menos,

25 Al sol.: 0,001% a 3,0%,

N: 0,01% o menos,

V: 0% a 1,0%

Ti: 0% a 1,0%

Nb: 0% a 1,0%

30 Cr: 0% a 1,0%

Mo: 0% a 1,0%

Cu: 0% a 1,0%,

Ni: 0% a 1,0%,

Ca: 0% a 0,01%,

35 Mg: 0% a 0,01%,

REM: 0% a 0,01%,

Zr: 0% a 0,01%,

B: 0% a 0,01%,

Bi: 0% a 0,01%, y

40 el resto: Fe e impurezas; y

ES 2 734 224 T3

una estructura metálica en la que el espesor de una capa de ferrita descarburada es 5 μm o menos y la relación en volumen de austenita retenida es de 10% a 40%,

en donde la resistencia a la tracción es de 980 MPa o más.

(2) El producto de acero según lo anterior (1),

5 en donde, en la estructura metálica, una densidad numérica de cementita es menor que $2/\mu\text{m}^2$.

(3) El producto de acero según lo anterior (1) o (2),

en donde, en la composición química,

V: 0,05% a 1,0%

se satisface.

10 (4) El producto de acero según cualquiera de los anteriores (1) a (3),

en donde, en la composición química,

Ti: 0,003% a 1,0%,

Nb: 0,003% a 1,0%,

Cr: 0,01% a 1,0%,

15 Mo: 0,01% a 1,0%,

Cu: 0,01% a 1,0%, o

Ni: 0,01% a 1,0%,

o se satisface la combinación arbitraria de lo anterior.

(5) El producto de acero según cualquiera de los anteriores (1) a (4),

20 en donde, en la composición química,

Ca: 0,0003% a 0,01%,

Mg: 0,0003% a 0,01%,

REM: 0,0003% a 0,01%,

Zr: 0,0003% a 0,01%,

25 B: 0,0003% a 0,01%, o

Bi: 0,0003% a 0,01%,

o se satisface la combinación arbitraria de lo anterior.

(6) El producto de acero según cualquiera de los anteriores (1) a (5),

en donde una concentración promedio de C en la austenita retenida es 0,6% o menos en % en masa.

30 (7) Un método de fabricación de un producto de acero que tiene las etapas de:

calentar un material de acero a una temperatura de 670 °C o más de manera que una velocidad de calentamiento promedio entre 500 °C y 670 °C sea de 1 °C/s a 5 °C/s, cuyo material de acero tiene una composición química representada por, en % en masa,

C: 0,050% a 0,35%,

35 Si: 0,50% a 3,0%,

Mn: superior a 3,0% a 7,5% o menos,

P: 0,05% o menos,

S: 0,01% o menos,

Al sol.: 0,001% a 3,0%,

N: 0,01% o menos,

V: 0% a 1,0%,

Ti: 0% a 1,0%,

5 Nb: 0% a 1,0%,

Cr: 0% a 1,0%,

Mo: 0% a 1,0%,

Cu: 0% a 1,0%,

Ni: 0% a 1,0%,

10 Ca: 0% a 0,01%,

Mg: 0% a 0,01%,

REM: 0% a 0,01%,

Zr: 0% a 0,01%,

B: 0% a 0,01%,

15 Bi: 0% a 0,01%, y

el resto: Fe e impurezas, y tiene una estructura metálica en la que las relaciones en volumen de bainita y martensita son 90% o más en total y el valor promedio de las relaciones de aspecto de bainita y martensita es 1,5 o más;

mantener la temperatura en un intervalo de temperatura de 670 °C a 780 °C durante 60 s a 1200 s después del calentamiento; y

20 realizar el enfriamiento a una temperatura de 150 °C o menos de manera que la velocidad de enfriamiento promedio entre el intervalo de temperatura y 150 °C es de 5 °C/s a 500 °C/s, después del mantenimiento.

(8) El método de fabricación del producto de acero según lo anterior (7),

en donde, en la composición química,

V: 0,05% a 1,0%

25 se satisface, y

en donde el 70% o más del contenido de V en el material de acero está disuelto en sólido.

Efectos ventajosos de la invención

Según la presente invención, dado que una composición química y una composición metálica son apropiadas, es posible obtener una resistencia a la tracción de 980 MPa o más y una excelente ductilidad y propiedad de impacto.

30 **Descripción de las realizaciones**

1. Composición química

En primer lugar, se describirá una composición química de un producto de acero según una realización de la presente invención y un material de acero utilizado para su fabricación. En la siguiente descripción, "%" es una unidad de un contenido de cada elemento contenido en el producto de acero y una chapa de acero utilizada para su fabricación significa "% en masa" a menos que se especifique lo contrario. El producto de acero según la presente realización y el material de acero utilizado para su fabricación tiene una composición química representada por C: 0,050% a 0,35%, Si: 0,50% a 3,0%, Mn: superior a 3,0% a 7,5% o menos, P : 0,05% o menos, S: 0,01% o menos, Al sol.: 0,001% a 3,0%, N: 0,01% o menos, V: 0% a 1,0%, Ti: 0% a 1,0%, Nb: 0% a 1,0%, Cr: 0% a 1,0%, Mo: 0 % a 1,0%, Cu: 0% a 1,0%, Ni: 0% a 1,0%, Ca: 0% a 0,01%, Mg: 0% a 0,01%, REM: 0% a 0,01%, Zr: 0% a 0,01%, B: 0% a 0,01%, Bi: 0% a 0,01%, y el resto: Fe e impurezas. Como impurezas, se ejemplifica lo que está contenido en las materias primas tal como el mineral y la chatarra, y lo que está contenido en un proceso de fabricación.

ES 2 734 224 T3

C: 0,050% a 0,35%

- 5 El C es un elemento que contribuye al aumento de la resistencia y la mejora de la ductilidad. Para obtener un producto de acero que tiene una resistencia a la tracción de 980 MPa o más y, además, en el que el valor de un producto (TS × EL) de resistencia a la tracción (TS) y elongación total (EL) es 16000 Mpa % o más, se requiere que un contenido de C sea 0,050% o más. Sin embargo, un contenido de C superior a 0,35% deteriora una propiedad de impacto. Por lo tanto, se requiere que el contenido de C sea 0,35% o menos y es preferible que sea 0,25% o menos. Tener en cuenta que para obtener una resistencia a la tracción de 1000 MPa o más, es preferible que el contenido de C sea 0,080% o más.

Si: 0,50% a 3,0%

- 10 El Si es un elemento que contribuye al aumento de la resistencia y la mejora de la ductilidad al mejorar la generación de austenita. Para que el valor del producto (TS × EL) sea 16000 Mpa·% o más, se requiere que el contenido de Si sea 0,50% o más. Sin embargo, un contenido de Si superior a 3,0% deteriora la propiedad de impacto. Por lo tanto, el contenido de Si se establece en 3,0% o menos. Tener en cuenta que para mejorar la soldabilidad, es preferible que el contenido de Si sea 1,0% o más.

- 15 Mn: superior a 3,0% a 7,5% o menos

- 20 El Mn, al igual que el Si, es un elemento que contribuye al aumento de la resistencia y la mejora de la ductilidad al mejorar la generación de austenita. Para hacer que la resistencia a la tracción del producto de acero sea de 980 MPa o más y para hacer que el valor del producto (TS × EL) sea 16000 Mpa·% o más, se requiere que el Mn esté contenido por encima de 3,0%. Sin embargo, un contenido de Mn superior a 7,5% dificulta considerablemente el refinado y la fundición en un convertidor de acero. Por lo tanto, se requiere que el contenido de Mn sea 7,5% o menos y es preferible que sea 6,5% o menos. Tener en cuenta que para obtener una resistencia a la tracción de 1000 MPa o más, es preferible que el contenido de Mn sea 4,0% o más.

P: 0,05% o menos

- 25 Aunque el P es un elemento contenido como impureza, ya que también es el elemento que contribuye al aumento de la fuerza, el P puede ser contenido positivamente. Sin embargo, un contenido de P superior a 0,05% deteriora considerablemente la soldabilidad. Por lo tanto, un contenido de P se establece en 0,05% o menos. El contenido de P es preferible que sea 0,02% o menos. Cuando se desea el efecto descrito anteriormente, es preferible que el contenido de P sea 0,005% o más.

S: 0,01% o menos

- 30 Dado que el S se contiene inevitablemente como impureza, un contenido de S es mejor lo más bajo posible. En particular, el contenido de S superior a 0,01% provoca un deterioro considerable de la soldabilidad. Por lo tanto, el contenido de S se establece en 0,01% o menos. El contenido de S es preferible que sea de 0,005% o menos, y es más preferible que sea 0,0015% o menos.

Al sol.: 0,001% a 3,0%

- 35 El Al es un elemento que tiene una acción para desoxidar el acero. Para lograr la solidez de un producto de acero, Al sol. está contenido en 0,001% o más. Mientras tanto, si un contenido de Al sol. es superior al 3,0%, la fundición se vuelve considerablemente difícil. Así, el contenido de Al sol. se establece en 3,0% o menos. El contenido de Al sol. es preferible que sea 0,010% o más y es preferible que sea 1,2% o menos. Tener en cuenta que el contenido de Al sol. significa un contenido de Al soluble en ácido en el producto de acero.

- 40 N: 0,01% o menos

Dado que el N se contiene inevitablemente como impureza, un contenido de N es mejor lo más bajo posible. En particular, el contenido de N superior a 0,01% provoca un deterioro considerable de una propiedad de antienviejamiento. Por lo tanto, el contenido de N se establece en 0,01% o menos. El contenido de N es preferible que sea 0,006% o menos, y es más preferible que sea 0,004% o menos.

- 45 V, Ti, Nb, Cr, Mo, Ni, Ca, Mg, REM, Zr y Bi no son elementos esenciales, sino elementos arbitrarios que pueden estar contenidos adecuadamente en la medida de una cantidad predeterminada en un material de acero utilizado para el producto de acero según la presente realización y para la fabricación del mismo.

V: 0% a 1,0%

- 50 El V es un elemento que aumenta considerablemente el límite elástico de un producto de acero y evita la decarburación. Por lo tanto, el V puede estar contenido. Sin embargo, un contenido de V superior a 1,0% dificulta considerablemente el trabajo en caliente. Por lo tanto, un contenido de V se establece en 1,0% o menos. Además, para hacer que el límite elástico del producto de acero sea de 900 MPa o más, es preferible que el contenido de V sea 0,05% o más. Tener en cuenta que si se desea una resistencia a la tracción de 1100 MPa o más, es preferible que el

contenido de V sea 0,15% o más. Además, si el V está contenido en un material de acero, resulta fácil ajustar un valor promedio de las relaciones de aspecto de bainita y martensita para que sea 1,5 o más en el material de acero.

Ti: 0% a 1,0%

Nb: 0% a 1,0%

5 Cr: 0% a 1,0%

Mo: 0% a 1,0%

Cu: 0% a 1,0%

Ni: 0% a 1,0%

10 Estos elementos son elementos eficaces para asegurar de manera estable la resistencia de un producto de acero. Por lo tanto, un tipo o más seleccionado de los elementos descritos anteriormente puede estar contenido. Sin embargo, con respecto a cada elemento, un contenido superior a 1,0% dificulta el trabajo en caliente. Por lo tanto, se requiere que el contenido de cada elemento sea 1% o menos, respectivamente. Cuando se desea el efecto descrito anteriormente, es preferible satisfacer Ti: 0,003% o más, Nb: 0,003% o más, Cr: 0,01% o más, Mo: 0,01% o más, Cu: 0,01% o más, o Ni: 0,01% o más, o combinación arbitraria de los anteriores. Tenga en cuenta que cuando dos tipos o más de los elementos descritos anteriormente están contenidos de manera compleja, es preferible que el contenido total de los mismos sea 3% o menos.

Ca: 0% a 0,01%

Mg: 0% a 0,01%

REM: 0% a 0,01%

20 Zr: 0% a 0,01%

B: 0% a 0,01%

Bi: 0% a 0,01%

25 Estos elementos son elementos que tienen una acción para aumentar la tenacidad a baja temperatura. Por lo tanto, un tipo o más seleccionado de los elementos descritos anteriormente puede estar contenido. Sin embargo, con respecto a cada elemento, un contenido superior a 0,01% deteriora una propiedad de superficie. Por lo tanto, se requiere que el contenido de cada elemento sea 0,01% o menos respectivamente. Cuando se desea el efecto descrito anteriormente, es preferible que el contenido de un tipo o más seleccionado de estos elementos sea 0,0003% o más. Tener en cuenta que cuando dos o más de los elementos descritos anteriormente están contenidos de manera compleja, es preferible que el contenido total de los mismos sea 0,05% o menos. Aquí, REM indica un total de 17 elementos de Sc, Y y lantánidos, y el contenido de REM descrito anteriormente significa el contenido total de estos elementos. Los lantánidos se añaden en una forma de aleación metálica de la industria.

30

2. Estructura metálica

Espesor de la capa de ferrita descarburada: 5 μm o menos

35 Como se describió anteriormente, una capa de ferrita descarburada es una estructura hecha de una fase de ferrita blanda que se forma como resultado de que una superficie de un producto de acero se descarburada durante un tratamiento térmico. Además, la capa de ferrita descarburada es una estructura que incluye una fase de ferrita que presenta una forma columnar o una forma multangular del 90% o más en términos de relación en área. Para mantener una excelente propiedad de impacto mientras tiene una resistencia a la tracción tan alta como 980 MPa o más, es necesario suprimir la descarburación en una parte de la capa superficial. Cuando un espesor de la capa de ferrita descarburada excede de 5 μm , no solo se reduce la propiedad de fatiga del producto de acero, sino también la propiedad de impacto, y por lo tanto el espesor de la capa de ferrita descarburada se establece en 5 μm o menos.

40

Relación en volumen de austenita retenida: 10% a 40%

45 En el producto de acero según la realización de la presente invención, para mejorar considerablemente la ductilidad del producto de acero, mientras que el producto de acero tiene una resistencia a la tracción de 980 MPa o más, se requiere que la relación en volumen de austenita retenida sea del 10% o más. Mientras tanto, la relación en volumen de la austenita retenida que excede el 40% provoca el deterioro de la propiedad de la fractura anti-retardada. Por lo tanto, la relación en volumen de la austenita retenida se establece en 40% o menos.

Densidad numérica de cementita: menos de 2/ μm^2 en el producto de acero según la realización de la presente invención, para mejorar considerablemente la propiedad de impacto, es preferible establecer una densidad numérica

de cementita que sea inferior a $2/\mu\text{m}^2$. Tener en cuenta que la densidad numérica de cementita es mejor lo más baja posible, por lo que no se establece un límite inferior en particular.

Concentración de C promedio en retenido

austenita: 0,60% o menos

- 5 Además, establecer una concentración de C promedio en austenita retenida en 0,60% o menos en términos de % en masa hace la martensita generada con un fenómeno TRIP blanda, para así suprimir la generación de una microgrieta, dando como resultado una mejora considerable de la propiedad de impacto de la propiedad de acero. Así, la concentración de C promedio en la austenita retenida es 0,60% o menos en términos de % en masa. La concentración de C promedio de la austenita retenida es preferiblemente lo más baja posible, de modo que no se establece un límite inferior en particular.

3. Propiedad mecánica

- 15 El producto de acero según la realización de la presente invención tiene una resistencia a la tracción de 980 MPa o más. La resistencia a la tracción del producto de acero es preferible que sea 1000 MPa o más. Además, según el producto de acero según la realización de la presente invención, se pueden obtener excelentes propiedades de ductilidad e impacto. Por ejemplo, es posible obtener una ductilidad de 16000 Mpa-% o más en términos de valor de un producto de resistencia a la tracción y elongación total. Por ejemplo, es posible obtener la propiedad de impacto de 30 J/cm² o más en términos del valor de impacto de un ensayo de Charpy a 0 °C. Además, cuando el V está contenido en el producto de acero, es posible obtener, por ejemplo, una cedencia de 0,2% (límite elástico) en la que la resistencia de rendimiento es de 900 MPa o más.

20 4. Método de fabricación

Un método de fabricación del producto de acero según la presente invención no está limitado en particular, y el producto de acero se puede fabricar, por ejemplo, aplicando un tratamiento térmico descrito a continuación a un material de acero que tiene la composición química descrita anteriormente.

4-1 Material de acero

- 25 Como material de acero a ser sometido al tratamiento térmico, se usa uno que tiene una estructura metálica en la que, por ejemplo, las relaciones en volumen de bainita y martensita son 90% o más en total y un valor promedio de las relaciones de aspecto de bainita y martensita es 1,5 o más. Además, las relaciones en volumen de bainita y martensita es preferible que sean de 95% o más en total. Además, cuando el contenido de V del material de acero es de 0,05% a 1,0%, es preferible que el 70% del V contenido en el material de acero esté disuelto en sólido.

- 30 Si las relaciones en volumen de bainita y martensita en el material de acero son menos de 90% en total, se hace difícil hacer que la resistencia a la tracción del producto de acero sea de 980 MPa o más. Además, la relación en volumen de austenita retenida se vuelve baja, lo que resulta en que la ductilidad puede deteriorarse. Además, cuando las relaciones de aspecto de bainita y martensita se vuelven grandes, la cementita precipita en paralelo a una superficie de chapa de acero, para así proteger la descarburación. Cuando un valor promedio de las relaciones de aspecto de bainita y martensita es inferior a 1,5, la protección de la descarburación es insuficiente, de modo que se genera una capa de ferrita descarburada. Además, cuando el valor promedio de las relaciones de aspecto de bainita y martensita es inferior a 1,5, se promueve la nucleación de la cementita y la cementita se dispersa finamente, lo que produce una alta densidad numérica. Tener en cuenta que la relación de aspecto es un valor obtenido como resultado de dividir un eje mayor por un eje menor de cada grano de bainita y martensita cuando se observa desde una sección transversal (en adelante, sección transversal L) perpendicular a una dirección de laminado en relación a grano de austenita anterior. Además, se adopta un valor promedio de las relaciones de aspecto obtenidas para todos los granos en la superficie observada.

- 45 Además, cuando el V sólido resuelto entre el V contenido en el acero es inferior a 70%, no se puede obtener el límite elástico deseado después del tratamiento térmico. Además, dado que el crecimiento de la austenita durante el tratamiento térmico se retrasa, la relación en volumen de la austenita retenida puede llegar a ser baja. Por lo tanto, es preferible que el 70% o más del V entre el V contenido en un material de acero está disuelto en sólido. Una cantidad de disolución sólida de V puede medirse analizando el residuo utilizando una ICP-OES (Espectrometría de Emisión Óptica de Plasma de acoplamiento inductivo) después de que el material de acero se someta a electroextracción, por ejemplo.

- 50 El material de acero descrito anteriormente se puede fabricar, por ejemplo, mediante laminado en caliente a una temperatura comparativamente baja. Concretamente, el laminado en caliente se lleva a cabo de modo que la temperatura de acabado puede ser de 800 °C o menos y la relación de reducción de una pasada final puede ser del 10% o más, y dentro de 3 s después del final del laminado de acabado, el enfriamiento rápido a una temperatura de 600 °C o menos se lleva a cabo a una velocidad de enfriamiento promedio de 20 °C/s o más. El laminado en caliente a una temperatura comparativa baja como la anterior se evita normalmente ya que se genera un grano no recristalizado. Además, cuando el material de acero contiene 0,05% o más de V, el laminado en caliente se lleva a

cabo de modo que la temperatura de acabado puede ser de 950 °C o menos y la relación de reducción de la pasada final puede ser del 10% o más, y un enfriamiento rápido a la temperatura de 600 °C o menos se lleva a cabo a la velocidad de enfriamiento promedio de 20 °C/s o más dentro de los 3 s después del final del laminado. Cuando se contiene V en particular, el valor promedio de las relaciones de aspecto de bainita y martensita es fácil de llegar a 1,5 o más. Además, en el caso de una estructura de acero en la que el valor promedio de las relaciones de aspecto de bainita y martensita es de 1,5 o más, un material de acero de la misma puede templarse.

4-2 Tratamiento térmico

Como se describió anteriormente, el producto de acero según la presente invención se puede fabricar aplicando los siguientes procesamientos a los materiales de acero descritos anteriormente. Cada etapa se describirá en detalle a continuación.

a) Etapa de calentamiento

Primero, el material de acero descrito anteriormente se calienta a una temperatura de 670 °C o más de manera que la velocidad de calentamiento promedio entre 500 °C y 670 °C se convierte en 1 °C/s a 5 °C/s. Aunque la cementita tiene una acción para suprimir la descarburación durante el tratamiento térmico, la cementita gruesa, si permanece en el producto de acero, deteriora considerablemente la propiedad de impacto. Por lo tanto, un diámetro de grano de cementita y un control de temperatura entre 500 °C a 670 °C donde una reacción de precipitación es fácil de controlar son muy importantes.

La velocidad de calentamiento promedio inferior a 1 °C/s provoca la cementita gruesa para suprimir así la descarburación. Sin embargo, la cementita gruesa permanece en el producto de acero después del tratamiento térmico para así deteriorar la propiedad de impacto. Además, la generación de austenita se vuelve insuficiente, lo que puede deteriorar la ductilidad. Mientras tanto, la velocidad de calentamiento promedio que excede los 5 °C/s hace que la cementita se funda fácilmente durante el tratamiento térmico, lo que hace que no se pueda eliminar una reacción de descarburación durante el tratamiento térmico.

Tener en cuenta que en el calentamiento a 500 °C, la velocidad de calentamiento promedio es preferible que se establezca en 0,2 °C/s a 500 °C/s. La velocidad promedio de calentamiento inferior a 0,2 °C/s disminuye la productividad. Por otro lado, la velocidad de calentamiento promedio superior a 500 °C/s puede ocasionar dificultades en el control de la temperatura entre 500 °C a 670 °C debido a un sobreimpulso o similar.

b) Etapa de mantenimiento

Después del calentamiento descrito anteriormente, la temperatura se mantiene en un intervalo de temperatura de 670 °C a 780 °C durante 60 s a 1200 s. Una temperatura de mantenimiento inferior a 670 °C no solo conduce al deterioro de la ductilidad, sino que también puede ocasionar dificultades para que la resistencia a la tracción del producto de acero sea de 980 MPa o más. Por otro lado, cuando la temperatura de mantenimiento excede los 780 °C, no es posible hacer que la relación en volumen de austenita retenida del producto de acero sea 10% o más, lo que resulta en un deterioro de la ductilidad que puede ser prominente.

Además, cuando el tiempo de mantenimiento es inferior a 60 s, la estructura generada y la resistencia a la tracción no son estables y, por lo tanto, puede resultar difícil asegurar la resistencia a la tracción de 980 MPa o más. Por otro lado, cuando el tiempo de mantenimiento excede los 1200 s, la oxidación interna se vuelve prominente, lo que hace que no solo se deteriore la propiedad de impacto, sino que también se genere una capa de ferrita descarburada. El tiempo de mantenimiento es preferible que sea 120 s o más y es preferible que sea de 900 s o menos.

c) Etapa de enfriamiento

Después de mantener el calentamiento mencionado anteriormente, el enfriamiento se lleva a cabo a una temperatura de 150 °C o menos de manera que una velocidad de enfriamiento promedio entre el intervalo de temperatura descrito anteriormente y 150 °C se convierte en 5 °C/s a 500 °C/s. Una velocidad de enfriamiento promedio de menos de 5 °C/s produce una generación excesiva de ferrita blanda y perlita, lo que puede dificultar la resistencia a la tracción del producto de acero de 980 MPa o más. Por otro lado, la velocidad de enfriamiento promedio que excede los 500 °C/s conduce a la fácil generación de una grieta de enfriamiento.

La velocidad de enfriamiento promedio es preferible que sea 8 °C/s o más, y es preferible que sea 100 °C/s o menos. Cuando la velocidad de enfriamiento promedio a 150 °C se establece en 5 °C/s a 500 °C/s, la velocidad de enfriamiento a 150 °C o menos puede ser igual o diferente al intervalo descrito anteriormente.

Además, en el intervalo de temperatura de 350 °C a 150 °C durante el enfriamiento, el C es fácil de distribuir de manera desigual en la austenita. Por lo tanto, para hacer una concentración promedio de C en austenita retenida de un producto de acero de 0,60% o menos, el enfriamiento es realizado de manera que el tiempo de residencia en el intervalo de temperatura descrito anteriormente sea 40 s o menos.

ES 2 734 224 T3

De aquí en adelante, la presente invención se describirá con más detalle a modo de ejemplos, pero la presente invención no se limita a estos ejemplos.

Ejemplos

5 Los materiales de acero que tienen composiciones químicas mostradas en la Tabla 1 y las estructuras metálicas mostradas en la Tabla 2 se sometieron a tratamientos térmicos en las condiciones mostradas en la Tabla 3.

[Tabla 1]

TIPO DE ACERO	COMPOSICIÓN QUÍMICA (% EN MASA, RESTANTE: Fe E IMPUREZAS)							
	C	Si	Mn	P	S	sol. Al	N	OTROS
A	0,23	1,68	3,31	0,012	0,0013	0,035	0,0042	
B	0,074	1,76	5,25	0,012	0,0013	0,029	0,0043	Ca: 0,0013
C	0,14	1,73	4,21	0,010	0,0011	0,034	0,0035	REM: 0,0021
D	0,095	1,87	3,64	0,012	0,0014	0,035	0,0042	Ni: 0,87
E	0,092	2,05	4,95	0,012	0,0013	0,028	0,0041	Mg: 0,0014, Bi: 0,0016
F	0,10	3,25 *	6,31	0,012	0,0013	0,028	0,0042	
G	0,098	1,43	4,26	0,009	0,0012	0,028	0,0046	Cu: 0,32, Ni: 0,45, Zr: 0,0012
H	0,52 *	1,26	3,13	0,011	0,0011	0,028	0,0045	
I	0,15	1,89	4,64	0,012	0,0014	0,031	0,0045	Ti: 0,015, Nb: 0,022, Cr: 0,43
J	0,10	1,98	4,97	0,010	0,0011	0,028	0,0041	
K	0,23	1,43	1,02 *	0,012	0,0012	0,037	0,0041	
L	0,11	1,52	4,42	0,011	0,0009	0,230	0,0042	Mo: 0,12
M	0,12	0,75	4,63	0,013	0,0012	0,032	0,0042	
N	0,15	1,93	4,89	0,009	0,0009	0,028	0,0039	Ca: 0,001, Mo: 0,15, V: 0,47
O	0,12	1,93	4,11	0,010	0,0009	0,034	0,0043	Mg: 0,001, Cr: 0,72, V: 0,37
P	0,030 *	1,91	5,05	0,011	0,0010	0,026	0,0043	V: 0,16
Q	0,10	1,92	4,91	0,011	0,0012	0,028	0,0032	V: 0,30
R	0,10	2,03	2,53 *	0,012	0,0012	0,029	0,0045	V: 0,16
S	0,16	1,52	4,78	0,005	0,0012	0,024	0,0041	Ti: 0,05, Bi: 0,002, V: 0,25
T	0,20	1,94	4,88	0,012	0,0011	0,032	0,0042	V: 0,60
U	0,072	0,30 *	4,92	0,010	0,0011	0,027	0,0037	V: 0,10
V	0,10	1,97	4,89	0,013	0,0013	0,032	0,0043	V: 0,07
W	0,10	1,94	5,01	0,011	0,0014	0,028	0,0046	V: 0,03
X	0,10	1,95	4,97	0,013	0,0011	0,026	0,0045	Zr: 0,002, B: 0,001, V: 0,30
Y	0,30	1,87	5,02	0,013	0,0011	0,024	0,0048	REM: 0,002, V: 0,85
Z	0,10	0,80	4,93	0,012	0,0010	0,314	0,0049	B: 0,001, V: 0,20
AA	0,084	2,42	6,63	0,012	0,0013	0,041	0,0035	V: 0,10
BB	0,11	1,98	3,20	0,013	0,0009	0,041	0,0047	Ni: 0,9, Cu: 0,6, V: 0,20
CC	0,16	1,54	4,78	0,012	0,0011	0,034	0,0038	Nb: 0,03, V: 0,25
DD	0,25	1,93	4,85	0,009	0,0011	0,028	0,0036	V: 0,16

* SIGNIFICA QUE ESTÁ FUERA DE UN INTERVALO PRESCRITO POR LA PRESENTE INVENCION.

[Tabla 2]

NÚMERO DE ENSAYO	TIPO DE ACERO	PROCESO DE LAMINADO EN CALIENTE			MATERIAL DE ACERO						
		TEMPERATURA DE ACABADO	RELACIÓN DE LAMINADO CUMULATIVO (%)	CONDICIÓN DE ENFRÍAMIENTO DESPUÉS DEL LAMINADO	RELACIÓN DEL VOLUMEN DE MARTENSITA (%)	RELACIÓN EN VOLUMEN DE BAINITA (%)	RELACIÓN EN VOLUMEN TOTAL (%)	RELACIÓN DE ASPECTO ¹	CANTIDAD COMPLETA DE V (% EN MASA)	CANTIDAD DE V DISUELTOS EN SÓLIDO (% EN MASA)	PROPIEDAD DE V DISUELTOS EN SÓLIDO (%)
1	A	780	15	DESPUÉS DE 2 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,8	-	-	-
2	A	840	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,4	-	-	-
3	A	700	15	DESPUÉS DE 2 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,6	-	-	-
4	A	790	15	DESPUÉS DE 2 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 5 °C/s	45	50	95	1,2	-	-	-
5	B	780	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,6	-	-	-
6	c	780	15	DESPUÉS DE 2 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,8	-	-	-
7	D	780	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,6	-	-	-
8	D	780	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,8	-	-	-
9	O	750	15	DESPUÉS DE 15 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	95	0	95	1,4	-	-	-
10	E	780	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,9	-	-	-
11	F *	780	15	DESPUÉS DE 2 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,8	-	-	-
12	G	780	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,7	-	-	-
13	G	780	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,6	-	-	-
14	H *	780	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,9	-	-	-
15	I	780	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,7	-	-	-
16	J	780	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,6	-	-	-
17	J	780	15	DESPUÉS DE 2 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,7	-	-	-
18	K *	780	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,8	-	-	-
19	L	780	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,8	-	-	-
20	M	780	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,9	-	-	-
21	N	830	15	DESPUÉS DE 2 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,8	0,47	0,42	89
22	O	830	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,6	0,37	0,33	89
23	O	830	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,6	0,37	0,32	86
24	P *	830	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,7	0,16	0,14	88
25	Q	830	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,8	0,30	0,27	90
26	R *	030	15	DESPUÉS DE 2 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,7	0,16	0,13	81
27	S	830	15	DESPUÉS DE 1 s, A 500 °C A 40 °C/s	0	100	100	1,6	0,25	0,22	88
28	T	830	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,9	0,60	0,49	82
29	U *	830	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,6	0,10	0,08	80

ES 2 734 224 T3

30	V	830	15	DESPUÉS DE 2 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,7	0,07	0,06	86
31	V	830	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,8	0,07	0,05	71
32	V	830	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,6	0,07	0,06	86
33	W	830	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,7	0,03	0,03	100
34	W	860	15	DESPUÉS DE 2 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,1	0,03	0,03	100
35	X	830	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,6	0,30	0,25	83
36	Y	830	15	DESPUÉS DE 2 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,7	0,85	0,71	84
37	Y	830	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,9	0,85	0,69	81
38	z	830	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,7	0,20	0,17	85
39	z	830	15	DESPUÉS DE 2 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,6	0,20	0,19	95
40	z	830	15	DESPUÉS DE 2 s, A 620 °C A 40 °C/s	65	0	85	1,8	0,20	0,17	85
41	AA	830	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,6	0,10	0,09	90
42	BB	830	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 25 °C/s	95	0	95	1,7	0,20	0,18	90
43	BB	830	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 25 °C/s	95	0	95	1,7	0,20	0,17	85
44	BB	880	5	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,3	0,20	0,17	85
45	CC	830	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,7	0,25	0,21	84
46	DD	830	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,6	0,16	0,13	81
47	DD	830	15	DESPUÉS DE 1 s, A UNA TEMPERATURA AMBIENTE A 40 °C/s	100	0	100	1,8	0,16	0,14	88

* SIGNIFICA QUE ESTÁ FUERA DE UN INTERVALO DE UNA COMPOSICIÓN QUÍMICA PRESCRITA POR LA PRESENTE INVENCIÓN.

↑ SIGNIFICA UNA RELACIÓN DE ASPECTO DE BAINITA Y MARTENSITA.

ES 2 734 224 T3

[Tabla 3]

NÚMERO DE ENSAYO	TIPO DE ACERO	ETAPA DE CALEFACCIÓN	ETAPA DE MANTENIMIENTO		ETAPA DE ENFRIAMIENTO	
		VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO PROMEDIO ^{#1} (°C/s)	TEMPERATURA DE MANTENIMIENTO (°C)	TIEMPO DE MANTENIMIENTO ^{#2} (s)	VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO PROMEDIO ^{#3} (°C/s)	TIEMPO DE RESIDENCIA ^{#4} (s)
1	A	3	700	400	50	5
2	A	3	700	300	50	5
3	A	10	700	350	50	5
4	A	3	700	300	50	5
5	B	3	710	350	50	5
6	C	3	720	350	50	5
7	D	3	720	250	50	6
8	D	3	680	200	3	67
9	D	3	710	400	50	5
10	E	3	700	400	50	5
11	F *	3	700	300	50	6
12	G	3	700	350	50	5
13	G	3	800	400	50	5
14	H *	3	700	200	50	5
15	I	3	700	300	50	5
16	J	3	700	200	50	5
17	J	3	700	2000	50	5
18	K *	3	730	250	50	5
19	L	3	700	300	50	5
20	M	3	700	250	50	5
21	N	3	700	400	40	6
22	O	3	710	500	25	10
23	O	0,2	680	200	40	5
24	P *	3	700	500	30	7
25	Q	3	700	500	40	5
26	R *	3	690	500	20	11
27	S	3	700	350	10	22
28	T	3	700	700	40	5
29	U *	3	675	500	30	7
30	V	3	700	500	20	10
31	V	3	675	30	20	10
32	V	3	800	500	20	10
33	W	3	700	500	40	5
34	W	3	700	500	40	5
35	X	3	700	360	8	25
36	Y	3	700	500	40	5
37	Y	3	750	300	40	5

ES 2 734 224 T3

NÚMERO DE ENSAYO	TIPO DE ACERO	ETAPA DE CALEFACCIÓN	ETAPA DE MANTENIMIENTO		ETAPA DE ENFRIAMIENTO	
		VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO PROMEDIO ^{#1} (°C/s)	TEMPERATURA DE MANTENIMIENTO (°C)	TIEMPO DE MANTENIMIENTO ^{#2} (s)	VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO PROMEDIO ^{#3} (°C/s)	TIEMPO DE RESIDENCIA ^{#4} (s)
38	Z	3	700	450	40	5
39	Z	3	690	400	3	67
40	Z	3	685	500	30	7
41	AA	3	685	600	30	7
42	BB	3	705	540	40	5
43	BB	3	650	500	40	5
44	BB	3	700	700	40	5
45	CC	3	700	500	40	5
46	DD	3	680	500	15	13
47	DD	3	680	500	10	20

* SIGNIFICA QUE ESTÁ FUERA DE UN INTERVALO PRESCRITO POR LA PRESENTE INVENCION.

#1 SIGNIFICA UNA VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO PROMEDIO ENTRE 500 °C Y 670 °C.

#2 SIGNIFICA UN TIEMPO PARA MANTENER UNA TEMPERATURA DESPUÉS DE QUE SE ALCANZA UNA TEMPERATURA DE MANTENIMIENTO.

#3 SIGNIFICA UNA VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO PROMEDIO ENTRE LA TEMPERATURA DE MANTENIMIENTO Y 150 °C.

#4 QUE SIGNIFICA UN TIEMPO DE RESIDENCIA EN UN INTERVALO DE TEMPERATURA DE 350 °C A 150 °C DURANTE EL ENFRIAMIENTO.

5 El material de acero que se usó se fabricó mediante una placa de trabajo en caliente que se fundió en un laboratorio en las condiciones que se muestran en la Tabla 2. Este material de acero se cortó en un tamaño de 1,6 mm de grosor, 100 mm de ancho y 200 mm de longitud, y se calentó, se mantuvo y se enfrió según la condición de la Tabla 3. Se acopló un termopar a una superficie de material de acero y se llevó a cabo la medición de la temperatura durante el tratamiento térmico. Una velocidad de calentamiento promedio que se muestra en la Tabla 3 es un valor en un intervalo de temperatura entre 500 °C y 670 °C, y un tiempo de mantenimiento es un tiempo durante el cual se mantiene una temperatura, después de alcanzar una temperatura de mantenimiento, a esa temperatura. Además, una velocidad de enfriamiento promedio es un valor en un intervalo de temperatura entre la temperatura de mantenimiento y 150 °C, y un tiempo de residencia es un tiempo de residencia en un intervalo de temperatura de 350 °C a 150 °C durante el enfriamiento.

15 Con respecto a la estructura metálica del material de acero antes del tratamiento térmico, así como una estructura metálica y una propiedad mecánica de un producto de acero obtenido mediante el tratamiento térmico, la investigación se llevó a cabo mediante observación de la estructura metálica, medición de difracción de rayos X, ensayo de tracción y el ensayo de impacto de Charpy como se describirá a continuación.

<Estructura metálica del material de acero>

20 Se observó una sección transversal L del material de acero y se fotografió con un microscopio electrónico y se analizó una región de 0,04 mm² en total, por lo que se midieron las relaciones de área y de aspecto de bainita y martensita. Dado que la estructura del material de acero era isotrópica, un valor de la relación en área descrita anteriormente se consideró una relación en volumen de bainita y martensita. Tener en cuenta que la relación de aspecto se obtuvo como resultado de dividir un eje mayor por un eje menor de cada grano de bainita y martensita en relación con el grano de austenita anterior, y se calculó su valor promedio.

25 Se estableció una posición de observación para que fuera una posición de aproximadamente un cuarto del espesor de una placa (posición de 1/4t), evitando una porción de segregación central. La razón para evitar la porción de segregación central se describirá a continuación. La porción de segregación central a veces tiene una estructura metálica parcialmente diferente de una estructura metálica representativa de un producto de acero. Sin embargo, la porción de segregación central, que es una región diminuta en relación con el espesor de la placa completa, apenas influye en la propiedad del producto de acero. En otras palabras, la estructura metálica de la parte de segregación

ES 2 734 224 T3

central no puede ser referida como que representa la estructura metálica del producto de acero. Por lo tanto, en la identificación de la estructura metálica, es preferible evitar la porción de segregación central.

<Cantidad de V disuelto sólido en material de acero>

5 Se midió una cantidad de V disuelto sólido en el material de acero, después de someter el material de acero a electroextracción, analizando el residuo utilizando ICP-OES (Espectrometría de emisión óptica de plasma de acoplamiento inductivo).

<Estructura metálica del producto de acero>

10 Se tomó una pieza de ensayo de 20 mm de ancho y 20 mm de longitud de cada producto de acero, se aplicó un pulido químico a esta pieza de ensayo para reducir un espesor de 0,4 mm y se realizó difracción de rayos X tres veces a una superficie de la pieza de ensayo después de pulido químico. Los perfiles obtenidos se analizaron y promediaron respectivamente, para calcular así una relación en volumen de austenita retenida.

<Concentración de C promedio en la austenita retenida>

Se analizó el perfil obtenido por difracción de rayos X, se calculó una constante de red de austenita y se determinó una concentración de C promedio en la austenita retenida basada en la siguiente fórmula.

15
$$c = (a - 3,572) / 0,033$$

Cada símbolo en la fórmula anterior significa lo siguiente.

a: constante de red de austenita (A)

c: concentración de C promedio en la austenita retenida (% en masa)

<Espesor de la capa de ferrita descarburada>

20 Se observó una sección transversal L de un producto de acero y se fotografió con un microscopio electrónico y se analizó una región de 1 mm de la superficie de la chapa de acero, por lo que se midió el espesor de una capa de ferrita descarburada.

<Densidad numérica de Cementita>

25 Respecto a una densidad numérica de cementita, una región de 2500 μm^2 en total se analizó para medir la densidad numérica de cementita.

<Ensayo de tracción>

Se tomó una pieza de ensayo de tracción JIS N.º 5 de 1,6 mm de espesor de cada producto de acero, se llevó a cabo un ensayo de tracción basado en JIS Z 2241 (2011), se midieron y TS (resistencia a la tracción), YS (límite elástico, 0,2% cedencia), y EL (elongación total). Además, se calculó un valor de TS x EL a partir de los TS y EL anteriores.

30 <Propiedad de impacto>

35 Las superficies delantera y trasera de cada producto de acero se trituraron para que tuvieran un espesor de 1,2 mm para fabricar así una pieza de ensayo con muesca de V. Cuatro de estas piezas de ensayo se apilaron y atornillaron y después se sometieron a un ensayo de impacto Charpy basado en JIS Z 2242 (2005). La propiedad de impacto se calificó como buena (o) cuando el valor de impacto a 0 °C fue de 30 J/cm² o más, y se clasificó como defectuoso (x) cuando el valor de impacto a 0 °C fue inferior a 30 J/cm².

Los resultados de la observación de la estructura metálica del material de acero se muestran en la Tabla 2, y los resultados de la medición de difracción de rayos X, los ensayos de tracción y los ensayos de impacto de Charpy se muestran juntos en la Tabla 4.

[Tabla 4]

NÚMERO DE ENSAYO	TIPO DE ACERO	AUSTENITA RETENIDA		ESPOSOR DE LA CAPA DE FERRITA DESCARBURADA (μm)	CEMENTITA (NÚMERO/ μm^2)	PROPIEDAD MECÁNICA				PROPIEDAD DE IMPACTO	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCIÓN
		RELACIÓN EN VOLUMEN (%)	CONCENTRACIÓN PROMEDIO (%)			YS (MPa)	TS (MPa)	EL (%)	TS x EL (MPa · %)		
1	A	15	0,43	2,3	MENOS DE 2	795	987	24,0	23688	○	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCIÓN
2	A	15	0,35	6,4 *	2 O MÁS	802	992	24,0	23808	×	EJEMPLO COMPARATIVO
3	A	16	0,36	5,7 *	MENOS DE 2	728	994	21,0	20874	×	EJEMPLO COMPARATIVO
4	A	13	0,38	7,4 *	2 O MÁS	874	1003	22,0	22066	×	EJEMPLO COMPARATIVO
5	B	18	0,28	1,2	MENOS DE 2	857	994	23,0	22862	○	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCIÓN
6	C	13	0,43	0,4	MENOS DE 2	827	1026	22,0	22572	○	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCIÓN
7	D	12	0,30	0,3	MENOS DE 2	795	995	24,0	23880	○	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCIÓN
8	D	13	0,62	1,3	MENOS DE 2	753	888 *	31,0	27528	○	EJEMPLO COMPARATIVO
9	D	13	0,30	5,2 *	2 O MÁS	775	1002	23,0	23046	×	EJEMPLO COMPARATIVO
10	E	20	0,28	1,1	MENOS DE 2	803	1076	24,0	25824	○	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCIÓN
11	F *	14	0,33	1,0	MENOS DE 2	815	1103	23,0	25369	×	EJEMPLO COMPARATIVO
12	G	20	0,35	0,5	MENOS DE 2	804	1110	22,0	24420	○	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCIÓN

NÚMERO DE ENSAYO	TIPO DE ACERO	AUSTENITA RETENIDA		ESPESOR DE LA CAPA DE FERRITA DESCARBURADA (µm)	CEMENTITA (NÚMERO/µm ²)	PROPIEDAD MECÁNICA				PROPIEDAD DE IMPACTO	EJEMPLO COMPARATIVO
		RELACIÓN EN VOLUMEN (%)	CONCENTRACIÓN PROMEDIO(%)			YS (MPa)	TS (MPa)	EL (%)	TS x EL (MPa ·%)		
13	G	5 *	- #	0	MENOS DE 2	798	1204	5,0	6020	o	EJEMPLO COMPARATIVO
14	H *	24	0,55	0,2	MENOS DE 2	782	1319	20,0	26380	x	EJEMPLO COMPARATIVO
15	I	18	0,37	0,4	MENOS DE 2	784	1240	18,0	22320	o	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCIÓN
16	J	19	0,32	0,1	MENOS DE 2	806	1068	23,0	24564	o	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCIÓN
17	J	15	0,32	6,2 *	MENOS DE 2	784	1014	24,0	24336	x	EJEMPLO COMPARATIVO
18	K *	7 *	- #	0,2	MENOS DE 2	712	923 *	19,0	15637	o	EJEMPLO COMPARATIVO
19	L	19	0,28	1,2	MENOS DE 2	786	1097	24,0	26328	o	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCIÓN
20	M	16	0,32	0,6	MENOS DE 2	804	1005	22,0	22110	o	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCIÓN
21	N	16	0,28	0	MENOS DE 2	998	1273	17,6	22405	o	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCIÓN
22	O	15	0,33	0	MENOS DE 2	975	1203	16,8	20210	o	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCIÓN
23	O	9 *	- #	0	MENOS DE 2	921	1072	17,4	18653	x	EJEMPLO COMPARATIVO
24	P *	3 *	- #	0	MENOS DE 2	647	735 *	21,5	15803	o	EJEMPLO COMPARATIVO

NÚMERO DE ENSAYO	TIPO DE ACERO	AUSTENITA RETENIDA		ESPOSOR DE LA CAPA DE FERRITA DESCARBURADA (µm)	CEMENTITA (NÚMERO/µm ²)	PROPIEDAD MECÁNICA				PROPIEDAD DE IMPACTO	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCION
		RELACION EN VOLUMEN (%)	CONCENTRACION PROMEDIO(%)			YS (MPa)	TS (MPa)	EL (%)	TS x EL (MPa .%)		
25	Q	15	0,33	0	MENOS DE 2	967	1203	17,9	21534	○	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCION
26	R *	2 *	- #	0	MENOS DE 2	941	965 *	14,0	13510	○	EJEMPLO COMPARATIVO
27	S	18	0,35	0	MENOS DE 2	997	1206	18,4	22190	○	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCION
28	T	19	0,42	0	MENOS DE 2	1052	1342	18,6	24961	○	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCION
29	U *	7 *	- #	0	MENOS DE 2	933	946 *	16,3	15420	○	EJEMPLO COMPARATIVO
30	V	24	0,33	0	MENOS DE 2	920	1092	19,5	21294	○	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCION
31	V	9	0,48	0	MENOS DE 2	902	975 *	16,3	15893	○	EJEMPLO COMPARATIVO
32	V	2 *	- #	0	MENOS DE 2	917	1407	10,4	14633	○	EJEMPLO COMPARATIVO
33	W	18	0,38	0,7	MENOS DE 2	910	1022	21,3	21769	○	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCION
34	W	16	0,33	5,3 *	2 O MÁS	887	1004	20,4	20482	×	EJEMPLO COMPARATIVO
35	X	15	0,45	0	MENOS DE 2	965	1189	17,9	21283	○	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCION
36	Y	18	0,35	0	MENOS DE 2	1125	1408	17,3	24358	○	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCION

NÚMERO DE ENSAYO	TIPO DE ACERO	AUSTENITA RETENIDA		ESPESOR DE LA CAPA DE FERRITA DESCARBURADA (µm)	CEMENTITA (NÚMERO/µm ²)	PROPIEDAD MECÁNICA				PROPIEDAD DE IMPACTO	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCIÓN
		RELACIÓN EN VOLUMEN (%)	CONCENTRACIÓN PROMEDIO(%)			YS (MPa)	TS (MPa)	EL (%)	TS x EL (MPa ·%)		
37	Y	23	0,35	0	MENOS DE 2	1175	1643	13,8	22673	o	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCIÓN
38	Z	13	0,37	0	MENOS DE 2	952	1105	18,4	20332	o	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCIÓN
39	Z	12	0,62	0	MENOS DE 2	902	963 *	17,0	16371	o	EJEMPLO COMPARATIVO
40	Z	3 *	- #	0	MENOS DE 2	874	924 *	14,2	13121	o	EJEMPLO COMPARATIVO
41	AA	19	0,28	0	MENOS DE 2	944	1145	17,5	20038	o	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCIÓN
42	BB	17	0,38	0	MENOS DE 2	946	1123	19,1	21449	o	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCIÓN
43	BB	3 *	- #	0	MENOS DE 2	941	943 *	15,9	14994	o	EJEMPLO COMPARATIVO
44	BB	15	0,35	6,2 *	MENOS DE 2	939	1103	18,8	20736	x	EJEMPLO COMPARATIVO
45	CC	20	0,37	0	MENOS DE 2	961	1206	18,4	22190	o	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCIÓN
46	DD	23	0,46	0	MENOS DE 2	943	1206	19,0	22914	o	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCIÓN
47	DD	26	0,44	0	MENOS DE 2	938	1228	23,1	28367	o	EJEMPLO DE LA PRESENTE INVENCIÓN

* SIGNIFICA QUE ESTÁ FUERA DE UN INTERVALO PRESCRITO POR LA PRESENTE INVENCIÓN.

SIGNIFICA NO MEDIDO PORQUE UNA RELACIÓN EN VOLUMEN DE AUSTENITA RETENIDA NO SATISFACE UNA CONDICIÓN.

5 Como se muestra en las Tablas 2 a 4, con respecto a cada uno de los ejemplos comparativos de los números de ensayo 2, 4, 9, 34 y 44, dado que las relaciones de aspecto de bainita y martensita del material de acero fueron menores que 1,5, un espesor de la capa de ferrita descarburada tenía más de 5 μm , lo que resulta en una mala propiedad de impacto. Con respecto a los números de ensayo 8 y 39, una velocidad de enfriamiento promedio baja resultó en una generación excesiva de perlita, por lo que no se pudo obtener una resistencia a la tracción de 980 MPa o más. Con respecto al ensayo número 3, una alta velocidad de calentamiento promedio en el tratamiento térmico provocó que el espesor de la capa de ferrita descarburada fuera de 5 μm o más, lo que resultó en una mala propiedad de impacto.

10 Con respecto al ensayo número 11, dado que el contenido de Si era más alto que un intervalo prescrito, una propiedad de impacto fue inferior. Con respecto al ensayo número 14, dado que el contenido de C era más alto que un intervalo prescrito, una propiedad de impacto fue inferior. Con respecto a cada uno de los números de ensayo 13 y 32, una alta temperatura de mantenimiento en el tratamiento térmico disminuyó la relación en volumen de austenita retenida, lo que resultó en una mala ductilidad. Con respecto al ensayo número 17, un largo tiempo de mantenimiento en el tratamiento térmico causó que el espesor de una capa de ferrita descarburada fuera de 5 μm o más, lo que resultó en una mala propiedad de impacto.

15 Con respecto a cada uno de los números de ensayo 18 y 26, el contenido de Mn fue más bajo que un intervalo prescrito, con respecto al número de ensayo 24, el contenido de C fue más bajo que el intervalo prescrito, y con respecto al número de ensayo 29, el contenido de Si fue menor que un intervalo prescrito, y por lo tanto, la ductilidad fue mala y, además, no se pudo obtener una resistencia a la tracción de 980 MPa o más. Con respecto al ensayo número 23, una baja velocidad de calentamiento en el tratamiento térmico disminuyó la relación en volumen de austenita retenida, lo que resultó en una mala ductilidad y, además, una mala propiedad de impacto. Con respecto al ensayo número 31, dado que el tiempo de mantenimiento en el tratamiento térmico fue corto, la estructura a generar y la resistencia a la tracción no se estabilizaron, por lo que no se pudo obtener una resistencia a la tracción de 980 MPa o más. Con respecto al número de ensayo 40, las relaciones en volumen de bainita y martensita fueron menos del 90% en total, y con respecto al número de ensayo 43, la temperatura de mantenimiento en el tratamiento térmico fue baja, por lo que la proporción de volumen de austenita retenida fue baja, lo que resultó en que la ductilidad es mala y, además, no se pudo obtener una resistencia a la tracción de 980 MPa o más.

20 Por otro lado, con respecto a cada uno de los ejemplos de la presente invención de los números de ensayo 1, 5 a 7, 10, 12, 15, 16, 19 a 22, 25, 27, 28, 30, 33, 35 a 38, 41, 42, y 45 a 47, se obtuvo una resistencia a la tracción de 980 MPa o más, la ductilidad fue excelente con un valor de un producto (TS x EL) de resistencia a la tracción y elongación total de 16000 Mpa·% o más, y una propiedad de impacto también fue buena con un valor de impacto de un ensayo de Charpy a 0 °C de 30 J/cm² o más.

35 **Aplicabilidad industrial**

La presente invención se puede utilizar, por ejemplo, en una industria relacionada con el automóvil, una industria relacionada con la energía y una industria relacionada con la construcción.

REIVINDICACIONES

1. Un producto de acero que comprende:
una composición química representada por, en % en masa,
C: 0,050% a 0,35%,
5 Si: 0,50% a 3,0%,
Mn: superior a 3,0% a 7,5% o menos,
P: 0,05% o menos,
S: 0,01% o menos,
Al sol.: 0,001% a 3,0%,
10 N: 0,01% o menos,
V: 0% a 1,0%,
Ti: 0% a 1,0%,
Nb: 0% a 1,0%,
Cr: 0% a 1,0%,
15 Mo: 0% a 1,0%,
Cu: 0% a 1,0%,
Ni: 0% a 1,0%,
Ca: 0% a 0,01%,
Mg: 0% a 0,01%,
20 REM: 0% a 0,01%,
Zr: 0% a 0,01%,
B: 0% a 0,01%,
Bi: 0% a 0,01%, y
el resto: Fe e impurezas; y
25 una estructura metálica en la que el espesor de una capa de ferrita descarburada es de 5 μm o menos y
una relación en volumen de austenita retenida es de 10% a 40%,
en donde la resistencia a la tracción es 980 MPa o más, y
en donde una concentración de C promedio en la austenita retenida es 0,6% o menos en % en masa.
2. El producto de acero según la reivindicación 1,
30 en donde, en la estructura metálica, una densidad numérica de cementita es menor que $2/\mu\text{m}^2$.
3. El producto de acero según la reivindicación 1 o 2,
en donde, en la composición química,
V: 0,05% a 1,0%
se satisface.
- 35 4. El producto de acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3,
en donde, en la composición química,
Ti: 0,003% a 1,0%,

- Nb: 0,003% a 1,0%,
Cr: 0,01% a 1,0%,
Mo: 0,01% a 1,0%,
Cu: 0,01% a 1,0%, o
- 5 Ni: 0,01% a 1,0%,
o se satisface la combinación arbitraria de lo anterior.
5. El producto de acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4,
en donde, en la composición química,
- Ca: 0,0003% a 0,01%,
- 10 Mg: 0,0003% a 0,01%,
REM: 0,0003% a 0,01%,
Zr: 0,0003% a 0,01%,
B: 0,0003% a 0,01%, o
Bi: 0,0003% a 0,01%,
- 15 o se satisface la combinación arbitraria de lo anterior.
6. Un método de fabricación de un producto de acero que comprende las etapas de:
calentar un material de acero a una temperatura de 670 °C o más de manera que una velocidad de calentamiento promedio entre 500 °C y 670 °C es de 1 °C/s a 5 °C/s, cuyo material de acero tiene una composición química representada por, en % en masa,
- 20 C: 0,050% a 0,35%,
Si: 0,50% a 3,0%,
Mn: superior a 3,0% a 7,5% o menos,
P: 0,05% o menos,
S: 0,01% o menos,
- 25 Al sol.: 0,001% a 3,0%,
N: 0,01% o menos,
V: 0% a 1,0%,
Ti: 0% a 1,0%,
Nb: 0% a 1,0%,
- 30 Cr: 0% a 1,0%,
Mo: 0% a 1,0%,
Cu: 0% a 1,0%,
Ni: 0% a 1,0%,
Ca: 0% a 0,01%,
- 35 Mg: 0% a 0,01%,
REM: 0% a 0,01%,
Zr: 0% a 0,01%,

ES 2 734 224 T3

B: 0% a 0,01%,

Bi: 0% a 0,01%, y

el resto: Fe e impurezas, y tiene una estructura metálica en donde las relaciones en volumen de bainita y martensita son 90% o más en total y el valor promedio de las relaciones de aspecto de bainita y martensita es 1,5 o más;

5 mantener la temperatura en un intervalo de temperatura de 670 °C a 780 °C durante 60 s a 1200 s después del calentamiento; y

10 realizar el enfriamiento a una temperatura de 150 °C o menos de manera que la velocidad de enfriamiento promedio entre el intervalo de temperatura y 150 °C es de 5 °C/s a 500 °C/s, después del mantenimiento, en donde se lleva a cabo el enfriamiento de manera que un tiempo de residencia en el intervalo de temperatura de 350 °C a 150 °C es de 40 s o menos.

7. El método de fabricación del producto de acero según la reivindicación 6,

en donde, en la composición química,

V: 0,05% a 1,0%

se satisface, y

15 en donde el 70% o más del V contenido en el material de acero está disuelto en sólido.