

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 585 635**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00 (2006.01)

C21D 8/00 (2006.01)

C22C 38/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.12.2011 E 11853770 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.05.2016 EP 2660346**

54 Título: **Lámina de acero de alta resistencia que tiene tenacidad superior a temperaturas criogénicas, y método para fabricar la misma**

30 Prioridad:

28.12.2010 KR 20100137340

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

07.10.2016

73 Titular/es:

**POSCO (100.0%)
1, Koedong-dong Nam-gu
PohangKyungsangbook-do 790-300**

72 Inventor/es:

**KIM, WOO-GYEOM;
KIM, SANG-HO;
BANG, KI-HYUN y
SUH, IN-SHIK**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 585 635 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 de alta resistencia que tiene tenacidad superior a temperaturas criogénicas, y método para fabricar la misma

Campo técnico

5 La presente invención se relaciona con una lámina de acero de alta resistencia que tiene tenacidad superior a temperaturas criogénicas, y un método para fabricar la misma, y más particularmente, con una lámina de acero de alta resistencia que tiene tenacidad de impacto superior incluso cuando se aplica como una lámina estructural para barcos, estructuras marítimas, o similares, o aceros para tanques multipropósitos, que se expondrán a entornos de temperatura baja extrema, y un método para fabricar la misma.

10 Técnica antecedente

15 El entorno de uso de materiales de acero estructurales, tales como barcos, estructuras marítimas, o placas de acero gruesas para tanques de múltiples propósitos que almacenan varios tipos de gases licuados, tales como dióxido de carbono, amoníaco, GNL, o similares es muy severo. Por lo tanto, es muy importante la resistencia de dichas láminas de acero. Para aumentar la resistencia, se han propuesto técnicas que pueden mejorar la dureza y resistencia de las láminas de acero al agregar un elemento que mejora el endurecimiento para formar una fase de transformación de baja temperatura dentro de la lámina de acero durante el enfriamiento de la misma.

20 Sin embargo, cuando se forma una fase de transformación a baja temperatura, tal como martensita, se forma en el interior de las láminas de acero, la tenacidad de dichas láminas de acero se puede deteriorar severamente debido a la tensión residual contenida en las mismas. Es decir, la resistencia y tenacidad de láminas de acero son dos propiedades físicas de la compatibilidad de las cuales puede ser difícil realizar, y por lo general se entiende que cuando aumenta la fuerza de las hojas de acero, disminuye la dureza de las mismas.

El documento EP 2006 407 A1 se relaciona con una placa de acero gruesa de alta resistencia superior en capacidad de detención de grieta, libre de deterioro de tenacidad Haz y libre de grietas de anisotropía.

25 En el caso de los materiales de acero para estructuras marítimas o los materiales de acero para tanques, es muy importante la tenacidad de los mismos a temperaturas bajas, así como la resistencia de los mismos. En primer lugar, los entornos en los que los aceros para formación de estructuras marítimas han evolucionado gradualmente hacia regiones frías, como el Ártico, que contiene abundantes recursos de petróleo por debajo del fondo marino, debido al agotamiento de los recursos en regiones relativamente cálidas. Por lo tanto, es difícil para las láminas de acero de alta resistencia existentes que tienen una tenacidad superior a bajas temperaturas para soportar un ambiente de
30 baja temperatura extrema que es severo como el anterior.

Más aún, dado que las láminas de acero gruesas se pueden utilizar para tanques de múltiples propósitos para almacenar y transportar gases licuados que tienen temperaturas muy bajas en ellos, las láminas de acero gruesas deben tener un grado adecuado de dureza, incluso a una temperatura inferior a la temperatura del gas licuado. Por ejemplo, debido a que las temperaturas licuadas de acetileno y etileno son -82°C y -104°C , respectivamente, se requiere una lámina de acero de alta resistencia que tenga una tenacidad superior cuando se expone a dicha
35 temperatura.

Para asegurar una tenacidad requerida de láminas de acero utilizadas para tanques, métodos para controlar microestructuras al agregar 6 a 12% en peso de Ni o realizar un tratamiento, tal como se han utilizado temple, revenido, o similares, pero dichos métodos tienen limitaciones, tales como altos costes de fabricación, y baja
40 productividad.

En términos de acero de bajo carbono, mientras que las láminas de acero existentes tienen una tenacidad superior a una temperatura baja de alrededor de -60°C , puede ser difícil para las láminas de acero existentes satisfacer los requisitos de láminas de acero que tienen tenacidad a baja temperatura superior, considerando los entornos de temperaturas bajas extremas que enfrentan los barcos, estructuras marítimas, y similares. Por lo tanto, se puede
45 decir que se requieren fuertemente estudios en láminas de acero de alta resistencia capaces de asegurar una tenacidad superior a temperaturas bajas extremas inferiores a -60°C .

Divulgación

Problema técnico

Un aspecto de la presente invención proporciona una lámina de acero de alta resistencia que tiene una resistencia superior y puede asegurar la resistencia a una temperatura baja extrema inferior a -60°C para permitir el uso de las mismas a temperatura criogénica, y un método para la fabricación de las mismas.

Solución técnica

- 5 De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona una lámina de acero de alta resistencia que tiene tenacidad superior a temperaturas bajas extremas, que comprende, en porcentaje en peso, 0.02 a 0.06% de C, 0.1 a 0.35% de Si, 1.0 a 1.6% de Mn, 0.02% o menos (pero no 0%) de Al, 0.7 a 2.0% de Ni, 0.4 a 0.9% de Cu, 0.003 a 0.015% de Ti, 0.003 a 0.02% de Nb, 0.01% o menos de P, 0.005% o menos de S, el resto es Fe e impurezas inevitables, en donde la lámina de acero de alta resistencia satisface la condición de
- 10 $[Mn]+5.4[Si]+26[Al]+32.8[Nb]<4.3$ donde [Mn], [Si], [Al], y [Nb] indican contenidos de Mn, Si, Al, y Nb en porcentaje en peso, respectivamente, en donde la microestructura de la lámina de acero consiste, en porcentaje de área, de 99% o más de ferrita acicular, y 1% o menos de austenita/martensita (M&A), en donde los granos que tienen una orientación límite de grano no menor de 15 ° tienen menos de 70% en porcentaje de área en la microestructura y los granos que tienen un tamaño de no más de 10 μm en los granos no tienen menos de 70% en porcentaje de área.
- 15 Los granos pueden tener un tamaño promedio en un rango de 3-7 μm.

También, la placa de acero puede tener una resistencia a la tracción no menor de 490 Mpa, una energía de absorción de impacto Charpy no menor de 300 J a -140°C, y una temperatura de transición dúctil-frágil de no más de -140°C.

- 20 De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se proporciona un método para fabricar una lámina de acero de alta resistencia que tiene tenacidad superior a temperaturas bajas extremas, el método comprende: una etapa de calentamiento para calentar, en un rango de temperatura de 1050-1180°C, una plancha de acero que comprende, en porcentaje en peso, 0.02 a 0.06% de C, 0.1 a 0.35% de Si, 1.0 a 1.6% de Mn, 0.02% o menos (pero no 0%) de Al, 0.7 a 2.0% de Ni, 0.4 a 0.9% de Cu, 0.003 a 0.015% de Ti, 0.003 a 0.02% de Nb, 0.01% o menos de P, 0.005% o menos de S, el resto es Fe e impurezas inevitables, en donde la plancha de acero satisface la condición de
- 25 $[Mn]+5.4[Si]+26[Al]+32.8[Nb]<4.3$ donde [Mn], [Si], [Al], y

- Nb] indican contenidos de Mn, Si, Al, y Nb en porcentaje en peso; una primera etapa de laminado para laminar la plancha caliente a una temperatura no menor que una temperatura de recristalización de austenita (T_{nr}) con un número de pasos no menor de cuatro; una segunda etapa de laminado para realizar laminación final en un rango de temperatura de Ar₃-T_{nr}; y realizar un enfriamiento, en donde se realizan los últimos dos pasos de la primera etapa
- 30 de laminado en una relación de reducción de 15-25% por paso, en donde una relación de reducción acumulada en la segunda etapa de laminado tiene un total de 50-60%, y en donde el enfriamiento en la etapa de enfriamiento se realiza a 320-380°C a una tasa de enfriamiento de 8-15°C/s desde un punto t/4 donde t es el espesor de la lámina de acero.

Efectos ventajosos

- 35 De acuerdo con un aspecto de la presente invención, una lámina de acero de la presente invención puede asegurar tenacidad superior y alta resistencia no menor de 490 Mpa para uso como un acero estructural para barcos, estructuras marítimas, o similares, o aceros para tanques de almacenamiento y llevar gases licuados incluso en el entorno criogénico.

Breve descripción de los dibujos

- 40 La Figura 1 es una gráfica que muestra variaciones de energía de absorción de impacto Charpy con respecto a temperaturas de láminas de acero de acuerdo con un ejemplo de la invención.

La Figura 2 es una fotografía de una microestructura de lámina de acero de acuerdo con un ejemplo de la invención.

Mejor modo

- 45 De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona una lámina de acero de alta resistencia que tiene tenacidad superior a temperaturas bajas extremas, que comprende, en porcentaje en peso, 0.02 a 0.06% de C, 0.1 a 0.35% de Si, 1.0 a 1.6% de Mn, 0.02% o menos (pero no 0%) de Al, 0.7 a 2.0% de Ni, 0.4 a 0.9% de Cu, 0.003 a 0.015% de Ti, 0.003 a 0.02% de Nb, 0.01% o menos de P, 0.005% o menos de S, el resto es Fe e impurezas inevitables, en donde la lámina de acero de alta resistencia satisface la condición de
- 50 $[Mn]+5.4[Si]+26[Al]+32.8[Nb]<4.3$ donde [Mn], [Si], [Al], y [Nb] indican contenidos de Mn, Si, Al, y Nb en porcentaje en peso, respectivamente.

ES 2 585 635 T3

En primer lugar, se explicarán el sistema de componentes y rango de composición (porcentaje en peso).

Carbono (C): 0.02-0.06%

5 C es el elemento más importante en la resistencia y en la formación de una microestructura, y se debe agregar en una cantidad no menor de 0.02%. Sin embargo, si la cantidad de carbono es excesiva, se reduce la tenacidad a baja temperatura, y se forma una estructura de MA para provocar que se reduzca la tenacidad de una zona afectada por el calor de la soldadura. Por lo tanto, se fija el límite superior de carbono preferiblemente a 0.06%.

Silicio (Si): 0.1-0.35%

10 El Si es un elemento agregado como un desoxidante y preferiblemente se agrega en una cantidad no menor de 0.1%. Sin embargo, si la cantidad de Si excede 0.35%, se reducen la tenacidad y capacidad de soldadura. Por lo tanto, la cantidad de Si se controla preferiblemente para que esté dentro de un rango de 0.1-0.35%.

Manganeso (Mn): 1.0-1.6%

15 Mn es un elemento agregado con el fin de mejorar la resistencia mediante fortalecimiento de la solución sólida y mejora la finura de los granos y la tenacidad de un material de matriz, y preferiblemente se agrega en una cantidad no menor de 1.0% con el fin de obtener de forma suficiente dichos efectos. Sin embargo, cuando la cantidad agregada excede 1.6%, puede aumentar la templabilidad, para reducir la tenacidad de una zona soldada. Por lo tanto, la cantidad agregada de Mn se controla preferiblemente a 1.0-1.6%.

Aluminio (Al): 0.02% o menos (pero no 0%)

Al es un elemento para desoxidación efectiva. Sin embargo, debido a que el Al solo puede promover la formación de MA en una pequeña cantidad, el límite superior de Al se fija en 0.02%.

20 Níquel (Ni): 0.7-2.0%

El Ni es un elemento que puede mejorar la resistencia y tenacidad de un material de matriz en el mismo momento, y preferiblemente se agrega en una cantidad no menor de 0.7% con el fin de obtener de forma suficiente dichos efectos. Sin embargo, el Ni es un elemento relativamente costoso y una adición excesiva de Ni puede deteriorar la capacidad de soldadura. Por lo tanto, el límite superior de Ni preferiblemente se fija en 2.0%.

25 Cobre (Cu): 0.4-0.9%

30 El Cu es un elemento que puede aumentar la resistencia de un material de matriz al minimizar una reducción en la tenacidad del mismo mediante fortalecimiento de la solución sólida y fortalecimiento de precipitación, y preferiblemente se agrega en una cantidad de alrededor de 0.4% con el fin de alcanzar una mejora suficiente de resistencia. Sin embargo, debido a que una adición excesiva de Cu puede provocar una falla de superficie, el límite superior de Cu preferiblemente se fija en 0.9%.

Titanio (Ti): 0.003-0.015%

35 El Ti tiene el efecto de formar un nitruro con nitrógeno (N) para hacer granos finos de HAZ, mejorando de esta manera la tenacidad HAZ. Para obtener de forma suficiente el efecto de mejora, el Ti preferiblemente se agrega en una cantidad no menor de 0.003%. Sin embargo, debido a una adición excesiva de Ti puede provocar en engrosamiento del nitruro para deteriorar de esta manera la tenacidad de baja temperatura, la cantidad de Ti se controla a 0.015% o menos. Por lo tanto, la cantidad agregada de Ti se controla preferiblemente para que esté dentro de un rango de 0.003-0.015%.

Niobio (Nb): 0.003-0.02%

40 El Nb se precipita en la forma de NbC o NbCN para mejorar grandemente la resistencia de un material de matriz y suprimir la transformación de ferrita y bainita, elaborando de esta manera granos finos. Para obtener de forma suficiente el efecto de adición de Nb, Nb se debe agregar en una cantidad no menor de 0.003%. Sin embargo, debido a que una adición excesiva de Nb puede provocar una reducción en tenacidad de HAZ, el límite superior de Nb preferiblemente se fija en 0.02%.

Fósforo (P): 0.01% o menos (pero no 0%)

El Fósforo es un elemento que es ventajoso para mejora de fuerza y resistencia a la corrosión. Sin embargo, debido a que el fósforo reduce grandemente la tenacidad de impacto, es ventajoso limitar el contenido de fósforo lo máximo posible. Por lo tanto, el límite superior de fósforo preferiblemente se fija en 0.01%.

Azufre (S): 0.005% o menos

- 5 Debido a que el azufre forma MnS o similares para reducir grandemente la tenacidad de impacto, es deseable limitar el contenido de azufre lo máximo posible de tal manera que el contenido de azufre no excede por lo menos el 0.005%.

10 También, el sistema de componente adicionalmente tiene que satisfacer la condición de $[Mn]+5.4[Si]+26[Al]+32.8[Nb]<4.3$ donde [Mn], [Si], [Al], y [Nb] indican contenidos de Mn, Si, Al, y Nb, en porcentaje en peso, respectivamente. Mn, Si, Al, y Nb son componentes que tienen influencias sobre la formación de islas de austenita/martensita (M&A). Si el valor de $[Mn]+5.4[Si]+26[Al]+32.8[Nb]$ no es menor de 4.3, los componentes promueven la formación de una microestructura M&A para de esta manera reducir la tenacidad a temperaturas bajas extremas. Por lo tanto, es necesario asegurar tenacidad a temperaturas bajas extremas, para satisfacer las condiciones anteriores.

- 15 A este respecto, la microestructura de la lámina de acero puede incluir 99% o más por área de ferrita acicular y 1% o menos por área de austenita/martensita (M&A). En primer lugar, la microestructura de la lámina de acero proporcionada en la presente invención tiene ferrita acicular como una estructura principal, e islas de austenita/martensita (M&A) como una estructura de fase secundaria. Debido a que la ferrita acicular mejora la resistencia, mientras que las islas de austenita/martensita (M&A) reducen la tenacidad, es más deseable restringir la estructura de fase secundaria a 1% o menos.

20 También, es deseable que los granos efectivos que tienen una orientación límite de grano no menor de 15° tienen menos de 70% por área en la microestructura y los granos que tienen un tamaño de no más de $10\ \mu\text{m}$ en los granos efectivos no tienen menos de 70% por área. Primero, debido a que los granos efectivos tienen una orientación límite de grano no menor de 15° son un factor decisivo que tiene una influencia sobre las propiedades físicas del acero, es deseable que los granos efectivos se incluyan en una cantidad no menor de 70% por área en la microestructura.

30 También, los granos que tienen un tamaño de no más de $10\ \mu\text{m}$ en los granos efectivos que tienen una influencia importante sobre las propiedades físicas del acero se incluyen preferiblemente en una cantidad no menor de 70% por área en la microestructura. Esto es porque el tamaño de grano de la ferrita acicular tiene una relación cercana con la tenacidad de impacto de la misma, y cuando se reduce el tamaño de grano de la ferrita acicular, aumenta la tenacidad de impacto. Por lo tanto, cuando los granos que tienen un tamaño de no más de $10\ \mu\text{m}$ en los granos efectivos se incluyen de manera suficiente en una cantidad no menor de 70% por área, los granos pueden ser muy ventajosos en asegurar la tenacidad del acero.

35 En particular, la microestructura de una lámina de acero de acuerdo con la presente invención puede tener los granos efectivos que tienen un tamaño de grano promedio en un rango de $3\text{-}7\ \mu\text{m}$. Si el tamaño de los granos efectivos se controla finamente como se mencionó anteriormente, la resistencia y tenacidad del acero a una baja temperatura llega a ser ventajosa y por lo tanto la lámina de acero se puede utilizar de forma adecuada para estructuras marítimas, y similares expuestos a un entorno de temperatura baja extrema.

40 La lámina de acero de acuerdo con la presente invención puede tener una resistencia a la tracción no menor de 490 MPa, una energía de absorción de impacto Charpy no menor de 300 J a -140°C , y una temperatura de transición dúctil-frágil (DBTT) no mayor de -140°C . En primer lugar, la resistencia de la lámina de acero no es menor de 490 MPa y es alta para dicho grado que se puede utilizar en el ambiente al cual se aplica la lámina de acero de la presente invención, y la energía de absorción de impacto Charpy no es menor de 300 J a una temperatura baja extrema de -140°C de tal manera que la lámina de acero puede tener tenacidad criogénica superior.

45 También, la temperatura de transición dúctil-frágil (DBTT) no es mayor de -140°C y debido a que no ocurre fragilidad a -140°C , que se puede medir al utilizar refrigerante actual, se espera que ocurrirá fragilidad a una temperatura mucho más baja de -140°C . Por lo tanto, se puede obtener una lámina de acero de alta resistencia que tiene tenacidad criogénica superior.

50 Mientras tanto, de acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se proporciona un método para fabricar una lámina de acero de alta resistencia que tiene tenacidad superior a temperaturas bajas extremas, el método comprende: una etapa de calentamiento para calentar, en un rango de temperatura de $1050\text{-}1180^\circ\text{C}$, una plancha de acero que comprende, en porcentaje en peso, 0.02 a 0.06% de C, 0.1 a 0.35% de Si, 1.0 a 1.6% de Mn, 0.02% o menos (pero no 0%) de Al, 0.7 a 2.0% de Ni, 0.4 a 0.9% de Cu, 0.003 a 0.015% de Ti, 0.003 a 0.02% de Nb, 0.01% o menos de P, 0.005% o menos de S, el resto es Fe e impurezas inevitables, en donde la lámina de acero de alta resistencia satisface la condición de $[Mn]+5.4[Si]+26[Al]+32.8[Nb]<4.3$ donde [Mn], [Si], [Al], y [Nb] indican

contenidos de Mn, Si, Al, y Nb, en porcentaje en peso, respectivamente; una primera etapa de laminado para laminar la plancha caliente a una temperatura no menor que una temperatura de recrystalización de austenita (T_{nr}) con un número de paso no menor de cuatro veces; una segunda etapa de laminado para realizar una laminación final en un rango de temperatura de Ar₃-T_{nr}; y una etapa de enfriamiento para realizar un enfriamiento.

5 En el método, primero se realiza la etapa de calentamiento para calentar la plancha de acero que tiene la composición mencionada anteriormente en un rango de temperatura de 1050-1180°C. Debido a que la etapa de calentamiento de la plancha de acero es una etapa de calentamiento de acero para realizar suavemente las etapas de laminados posteriores y obtener de forma suficiente propiedades físicas dirigidas a la lámina de acero, se debe realizar en un rango de temperatura adecuado para el propósito.

10 La etapa de calentamiento es importante porque la plancha de acero se debe calentar uniformemente de tal manera que los elementos de tipo precipitación en la lámina de acero pueden ser lo suficientemente disueltos, y excesivo engrosamiento de los granos debido a la temperatura de calentamiento debe impedirse suficientemente. Si la temperatura de calentamiento de la plancha de acero es menor de 1050°C, Nb, Ti, y similares no se vuelven a disolver en el acero, por lo que es difícil obtener una lámina de acero de alta resistencia, y ocurre recrystalización parcial para provocar que se formen granos de austenita no uniformes, por lo que es difícil obtener una lámina de acero de alta tenacidad. Mientras tanto, si la temperatura de calentamiento es superior a 1180°C, los granos de austenita se engruesan excesivamente de modo que aumenta el tamaño de grano de la lámina de acero y se deteriora severamente la tenacidad de la lámina de acero. Por lo tanto, la temperatura de calor de la plancha de acero se controla preferiblemente al rango de 1050-1180°C.

15
20 Luego, después del calentamiento de la plancha, se realiza la etapa de laminado de las planchas. Para permitir que la lámina de acero tenga tenacidad extrema a baja temperatura, deben existir granos de austenita en un tamaño fino, se hace posible al controlar la temperatura de laminado y la relación de reducción. La etapa de laminado de la presente invención se caracteriza por que se realiza en dos rangos de temperatura. También, ya que los comportamientos de recrystalización en los dos rangos de temperatura son diferentes unos de otros, las etapas de laminado se establecen para tener diferentes condiciones.

25
30 La etapa de calentamiento es importante porque la plancha de acero se debe calentar uniformemente de tal manera que los elementos de tipo precipitación en la lámina de acero se puedan disolver suficientemente, y se debe impedir el excesivo engrosamiento de los granos debido a la temperatura de calentamiento. Si la temperatura de calentamiento de la plancha de acero es menor que 1050°C, el Nb, Ti, y similares no se vuelven a disolver en el acero, por lo que es difícil obtener una lámina de acero de alta resistencia, y ocurre recrystalización parcial que provoca que se formen granos de austenita, por lo que es difícil obtener una lámina de acero de alta tenacidad. Mientras tanto, si la temperatura de calentamiento es superior a 1180°C, los granos de austenita se engruesan excesivamente de tal manera que se aumenta el tamaño de grano de la lámina de acero y se deteriora severamente la tenacidad de la lámina de acero. Por lo tanto, la temperatura de calor de la plancha de acero se controla preferiblemente al rango de 1050-1180°C.

35
40 Luego, después de calentamiento de la plancha, se realiza la etapa de laminado en la plancha. Permitir que la lámina de acero tenga tenacidad extrema a baja temperatura, deben existir granos de austenita en un tamaño fino, hecho posible al controlar la temperatura de laminado y la relación de reducción. La etapa de laminado de la presente invención se caracteriza porque se realiza en dos rangos de temperatura. También, ya que los comportamientos de recrystalización en los dos rangos de temperatura son diferentes unos de otros, las etapas de laminado se fijan para tener diferentes condiciones.

45 Primero, se realiza una primera etapa de laminado para laminar la plancha a una temperatura no menor que la temperatura de recrystalización de austenita (T_{nr}) con un número de paso no menor de cuatro veces. El laminado en la zona de recrystalización de austenita crea un efecto para hacer granos finos a través de recrystalización de, y la finura de los granos tiene una importante influencia sobre la mejora en la resistencia y tenacidad.

50 Particularmente, se realiza la primera etapa de laminado a una temperatura no menor que la temperatura de recrystalización de austenita (T_{nr}) mediante de un laminado de múltiples pasos no menor de cuatro veces, en el que los últimos dos pasos se realizan preferiblemente a una relación de reducción de 15-25% por paso. Es decir, los presentes inventores reconocen que los últimos dos pasos en el laminado de múltiples pasos del primer laminado tienen una influencia excesiva sobre el tamaño de grano de austenita y se puede lograr la finura de los granos a través de recrystalización al realizar los últimos dos pasos en una relación de reducción de 15-25% por paso, completando de esta manera la presente invención. También, con el fin de alcanzar la finura de los granos a través de una reducción suficiente, el número total de pasos es por lo menos cuatro.

55 Sin embargo, con el fin de evitar una gran carga que se aplica a un laminador, es deseable controlar la relación de reducción por paso a 25% o menos. Por lo tanto, más preferiblemente, se realiza laminado de múltiples pasos en una cantidad no menor de cuatro pasos en la primera etapa de laminado en la que se realizan los últimos dos pasos

en la relación de reducción de 15-25% por paso, logrando de esta manera mejoras en la tenacidad criogénica a través de la finura de los granos y evitar que se aplique una carga excesiva a un laminador.

5 Luego, la segunda etapa de laminado para realizar laminación final en un rango de temperatura de Ar3-Tnr se realiza al triturar adicionalmente los granos y desarrollar dislocaciones a través de la deformación interna de los granos, elaborando de esta manera fácilmente una transformación a ferrita acicular durante enfriamiento. Para generar dichos efectos, la segunda etapa de laminado preferiblemente se realiza a una relación de reducción acumulada no menor de un total de 50%. Sin embargo, debido a que la relación de reducción acumulada excede 60% aumenta la limitación en relación de reducción de la primera etapa de laminado para dificultar alcanzar suficiente finura de grano, es más efectivo restringir la relación de reducción acumulada a 50-60%.

10 El enfriamiento en la etapa de enfriamiento se realiza a 320-380°C a una tasa de enfriamiento de 8-15° C/s desde un punto t/4 donde t es el espesor de la lámina de acero. La condición enfriamiento es un factor que tiene una influencia sobre la microestructura. Cuando se realiza el enfriamiento a una tasa de enfriamiento de menos de 8° C/s, la cantidad de M&A se puede aumentar de forma excesiva para reducir la resistencia y tenacidad, mientras que cuando la tasa de enfriamiento excede 15° C/s, se puede utilizar de forma excesiva agua de enfriamiento para provocar distorsión de la lámina de acero y por lo tanto hace que sea imposible controlar la forma de la lámina de acero. Por lo tanto, la tasa de enfriamiento después de laminado se controla preferiblemente a 8-15° C/s.

15 También, la temperatura de enfriamiento se controla preferiblemente a una temperatura de menos de 380° C de tal manera que no se crea una estructura de M&A. Sin embargo, cuando es muy baja la temperatura de enfriamiento se puede saturar el efecto, se pueden provocar distorsiones en la lámina de acero debido as enfriamiento excesivo, y se puede reducir la tenacidad de impacto debido a aumentos excesivos en la resistencia. Por lo tanto, el límite inferior de la temperatura de enfriamiento preferiblemente se fija en 320°C.

20 En lo sucesivo, se hará descripción detallada de la presente invención a modo de ejemplo, pero la invención no se debe interpretar como limitada a los ejemplos que se establecen en el presente documento; más bien, estos ejemplos se proporcionan para que la descripción sea minuciosa y completa.

25 **EJEMPLOS**

Se fabrican planchas de acero que tienen las composiciones enumeradas en la Tabla 1. La fórmula experimental en la Tabla 1 indica un valor de $[Mn]+5.4[Si]+26[Al]+32.8[Nb]$.

[Tabla 1]

Elemento (% en peso)	C	Si	Mn	P (ppm)	S (ppm)	Al	Ni	Ti	Nb	Cu	Fórmula Experimental
Acero de la invención 1	0.038	0.108	1.304	48	18	0.011	1.19	0.011	0.009	0.578	2.47
Acero de la invención 2	0.04	0.11	1.32	50	17	0.012	1.21	0.01	0.01	0.496	2.55
Acero de la invención 3	0.038	0.105	1.42	50	18	0.01	1.18	0.011	0.012	0.6	2.64
Acero Comparativo 1	0.08	0.12	1.25	50	18	0.011	1.21	0.011	0.01	0.62	2.51
Acero Comparativo 2	0.037	0.11	1.32	50	17	0.013	1.21	0.012	0.001	0.587	2.28
Acero Comparativo 3	0.04	0.11	1.302	48	17	0.012	1.17	0.01	0.012	0.021	2.60
Acero Comparativo 4	0.042	0.13	1.305	47	18	0.035	1.16	0.01	0.011	0.595	3.28

ES 2 585 635 T3

Elemento (% en peso)	C	Si	Mn	P (ppm)	S (ppm)	Al	Ni	Ti	Nb	Cu	Fórmula Experimental
Acero Comparativo 5	0.04	0.106	1.81	50	18	0.011	1.22	0.012	0.011	0.61	3.03

Se someten las planchas de acero a un primer laminado (molino desbastador), un segundo laminado (molino de refinación), y enfriamiento bajo las condiciones enumeradas en la Tabla 2.

[Tabla 2]

Clase de acero	No.	Condición de molino desbastador			Condición de molino de refinación			Condición de enfriamiento		
		Temp. de Calentamiento (°C)	Temp. Final de molino desbastador (°C)	Relación de reducción en las dos últimas etapas (%)	Temp. Inicial de Laminado (°C)	Temp. Final de Laminado (°C)	Relación de Reducción Acumulada (%)	Temp. de inicio de Enfriamiento (°C)	Temp. Final de Enfriamiento (°C)	Tasa de Enfriamiento (°C/s)
Acero de la invención 1	1-1	1085	1066	15.2/19.6	773	765	60	730	330	12.5
	1-2	1088	1059	16.3/21.5	780	775	60	732	342	11.8
	1-3	1090	1068	16.2/23.4	778	762	55	738	329	13.1
	1-4	1088	1068	12.5/14.2	776	765	60	735	338	12.5
	1-5	1086	1066	18.4/24.2	778	768	60	734	453	13.4
	1-6	1079	1060	16.2/22.8	779	770	60	738	341	6.4
Acero de la invención 2	2-1	1092	1069	18.5/20.0	782	770	60	735	335	11.8
	2-2	1092	1068	17.8/21.4	772	765	52	735	332	12.2
	2-3	1088	1064	19.5/22.5	776	759	60	738	352	13.2
	2-4	1086	1065	12.1/13.5	775	758	60	736	345	12.5
	2-5	1100	1070	18.5/21.2	773	762	60	738	406	11.8
	2-6	1083	1064	20.1/23.5	775	762	60	740	350	5.8
Acero de la invención 3	3-1	1084	1068	18.6/23.2	776	763	60	742	336	9.8
	3-2	1088	1066	17.2/21.3	769	759	52	735	345	11.5
	3-3	1093	1065	15.8/24.3	768	757	58	734	338	12.5
	3-4	1095	1059	11.5/13.2	775	758	60	734	365	12.6
	3-5	1085	1066	18.5/22.1	772	762	60	742	415	12.4

ES 2 585 635 T3

Clase de acero	No.	Condición de molino desbastador			Condición de molino de refinación			Condición de enfriamiento		
		Temp. de Calentamiento (°C)	Temp. Final de molino desbastador (°C)	Relación de reducción en las dos últimas etapas (%)	Temp. Inicial de Laminado (°C)	Temp. Final de Laminado (°C)	Relación de Reducción Acumulada (%)	Temp. de inicio de Enfriamiento (°C)	Temp. Final de Enfriamiento (°C)	Tasa de Enfriamiento (°C/s)
	3-6	1088	1065	17.8/23.5	776	763	60	734	348	6.8
Acero Comparativo 1	4-1	1096	1064	17.3/21.8	780	768	60	735	345	11.5
	4-2	1079	1064	19.2/24.1	781	765	60	730	335	12.2
	4-3	1080	1068	20.3/21.5	775	765	60	735	338	12.4
	5-1	1085	1062	20.8/23.5	776	762	60	739	335	11.7
	5-2	1086	1065	18.8/19.6	779	760	60	734	345	13.2
	5-3	1092	1064	18.4/19.8	772	765	60	735	356	9.9
Acero Comparativo 2	6-1	1095	1068	17.2/22.9	773	768	60	736	365	10.5
	6-2	1096	1070	16.5/23.5	769	759	60	732	355	11.5
	6-3	1086	1062	20.8/21.7	781	765	60	735	345	11.7
Acero Comparativo 3	7-1	1085	1065	17.8/23.5	775	762	60	740	365	12.2
	7-2	1085	1063	19.6/19.8	776	768	60	734	355	12.8
	7-3	1089	1072	20.5/23.5	774	764	60	731	345	11.6
Acero Comparativo 4	8-1	1902	1065	21.5/22.5	772	766	60	735	339	10.9
	8-2	1096	1068	18.8/23.8	775	765	60	736	335	13.4
	8-3	1087	1067	22.3/23.1	776	765	60	735	354	12.2

Se miden el límite de elasticidad (YS), resistencia a la tracción (TS), energía de absorción de impacto Charpy (CVN) a -100°C, -120°C, y -140°C, temperatura de transición dúctil-frágil (DBTT) de las láminas de acero fabricadas y los resultados de la medición se muestran en la Tabla 3.

5 [Tabla 3]

Tipos de acero	No.	YS (Mpa)	TS (Mpa)	CVN at-100°C (J)	CVN a -120°C (J)	CVN a -140°C (J)	DBTT (°C)
Acero de la invención 1	1-1	469	549	416	386	384	-140 o menos
	1-2	476	548	396	375	386	-140 o menos

ES 2 585 635 T3

Tipos de acero	No.	YS (Mpa)	TS (Mpa)	CVN at-100°C (J)	CVN a -1.20°C (J)	CVN a -140°C (J)	DBTT (°C)
	1-3	468	547	424	416	406	-140 o menos
	1-4	454	516	183	46	12	-98
	1-5	434	486	162	104	26	-114
	1-6	453	508	364	323	62	-125
Acero de la invención 2	2-1	481	521	423	384	364	-140 o menos
	2-2	490	533	395	388	386	-140 o menos
	2-3	480	517	394	346	354	-140 o menos
	2-4	475	511	126	26	4	-102
	2-5	456	476	246	106	32	-110
	2-6	465	486	369	214	21	-125
Acero de la invención 3	3-1	463	537	384	374	351	-140 o menos
	3-2	445	534	365	354	338	-140 o menos
	3-3	484	523	435	413	393	-140 o menos
	3-4	461	527	46	21	12	-87
	3-5	438	475	135	36	12	-98
	3-6	441	488	118	24	10	-91
Acero Comparativo 1	4-1	488	564	48	24	8	-86
	4-2	492	572	68	26	5	-84
	4-3	495	568	58	18	6	-80
	5-1	421	472	428	425	346	-140 o menos
	5-2	425	475	425	435	384	-140 o menos
	5-3	431	468	415	426	368	-140 o menos
Acero Comparativo 2	6-1	458	496	386	347	326	-140 o menos

ES 2 585 635 T3

Tipos de acero	No.	YS (Mpa)	TS (Mpa)	CVN at-100°C (J)	CVN a -1.20°C (J)	CVN a -140°C (J)	DBTT (°C)
	6-2	439	482	406	407	389	-140 o menos
	6-3	452	503	395	356	345	-140 o menos
Acero Comparativo 3	7-1	468	521	365	120	15	-112
	7-2	489	548	246	86	12	-108
	7-3	469	552	114	75	13	-97
Acero Comparativo 4	8-1	496	565	168	45	12	-106
	8-2	492	575	75	18	8	-78
	8-3	495	552	124	24	12	-95

5 Primero, en el caso de los Nos. 1-1 a 1-3, 2-1 a 2-3, y 3-1 a 3-3, debido a que se utilizan aceros de la invención, la relación de reducción de cada uno de los últimos dos pasos en el molino desbastador fue 15-25%, la relación de reducción acumulada en la molienda de refinación fue 50-60%, la tasa de enfriamiento en la condición de enfriamiento fue 8-15° C/s, y la temperatura de enfriamiento fue 320-380° C, aquellos aceros satisfacen las condiciones de la presente invención. Como resultado, se muestra que el límite de elasticidad fue 440 MPa o más, la resistencia a la tracción fue 490 MPa o más, y la energía de absorción de impacto Charpy a -100° C, -120° C, y -140° C fue toda 300 J o más, se considera que tiene una tenacidad criogénica muy superior. También, debido a que no ocurre fragilidad a -140° C que fue la medición más baja de la temperatura, se puede ver que DBTT tiene una temperatura mucho más baja que -140° C.

10 Mientras tanto, en el caso de los Nos. 1-4, 2-4, y 3-4, aunque se utilizaron los aceros de la invención, ya que la relación de reducción de cada uno de los dos últimos pasos fue de menos de 15%, no se logró finura de los granos, la absorción de energía de impacto Charpy fue muy baja, y el DBTT muy alto. A partir de este resultado, se puede ver que los aceros de los Nos. 1-4, 2-4, y 3-4 no son muy buenos en tenacidad criogénica.

15 En el caso de los Nos. 1-5, 2-5, y 3-5, aunque se utilizaron los aceros de la invención, ya que la temperatura de enfriamiento fue más alta que 380° C, se considera que se forma una cantidad considerable de estructura MA. También, se puede ver que la tenacidad a baja temperatura de los Nos. 1-5, 2-5, y 3-5 no es muy buena de la muy baja energía de absorción de impactos Charpy y alto DBTT.

20 En el caso de los Nos. 1-6, 2-6 y 3-6, aunque se utilizan aceros de la invención, ya que la tasa de enfriamiento es demasiado baja, se considera que se forma una cantidad considerable de estructura MA. También, se puede ver que la tenacidad a baja temperatura de los Nos. 1-6, 2-6, y 3-6 no es muy buena de la muy baja energía de absorción de impactos Charpy y de alto DBTT.

25 La Figura 1 es un gráfico que muestra las variaciones en la energía de absorción de impacto Charpy con respecto a la temperatura cuando se utilizaron los aceros de la invención y las condiciones de fabricación estaban dentro del rango de la presente invención. Se puede confirmar que la tenacidad criogénica es muy superior, a partir de altos valores de energía no menor de 300 J a -140° C, la temperatura más baja se pudo medir a -40° C.

30 La Figura 2 es una fotografía de la microestructura del acero de acuerdo con un ejemplo de la invención, en la que los granos negros indican granos eficaces que tienen una orientación de límite de grano no inferior a 15°. Se puede confirmar de la Figura 2 que los granos efectivos fueron 70% por área y la ferrita acicular fue 99% o más por área.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Una lámina de acero de alta resistencia que tiene tenacidad superior a temperaturas bajas extremas, que comprende, en porcentaje en peso, 0.02 a 0.06% de C, 0.1 a 0.35% de Si, 1.0 a 1.6% de Mn, 0.02% o menos (pero no 0%) de Al, 0.7 a 2.0% de Ni, 0.4 a 0.9% de Cu, 0.003 a 0.015% de Ti, 0.003 a 0.02% de Nb, 0.01% o menos de P, 0.005% o menos de S, el resto es Fe e impurezas inevitables, en donde la lámina de acero de alta resistencia satisface la condición de $[Mn]+5.4[Si]+26[Al]+32.8[Nb]<4.3$ donde [Mn], [Si], [Al], y [Nb] indican contenidos de Mn, Si, Al, y Nb en porcentaje en peso, respectivamente, en donde la microestructura de la lámina de acero consiste, en porcentaje de área, de 99% o más de ferrita acicular y 1% o menos de austenita/martensita (M&A), en donde los granos que tienen una orientación límite de grano no menor de 15° tienen menos de 70% en porcentaje de área en la microestructura y los granos que tienen un tamaño de no más de 10 μm en los granos no tienen menos de 70% en porcentaje de área.
- 10 2. La lámina de acero de alta resistencia de la reivindicación 1, en donde los granos tienen un tamaño promedio en un rango de 3-7 μm .
- 15 3. La lámina de acero de alta resistencia de la reivindicación 2, en donde la placa de acero tiene una resistencia a la tracción no menor de 490 Mpa, una energía de absorción de impacto Charpy no menor de 300 J a -140°C , y una temperatura de transición dúctil-frágil de no más de -140°C .
4. Un método para fabricar una lámina de acero de alta resistencia que tiene tenacidad superior a temperaturas bajas extremas, el método comprende:
- 20 una etapa de calentamiento para calentar, en un rango de temperatura de $1050-1180^\circ\text{C}$, una plancha de acero que comprende, en porcentaje en peso, 0.02 a 0.06% de C, 0.1 a 0.35% de Si, 1.0 a 1.6% de Mn, 0.02% o menos (pero no 0%) de Al, 0.7 a 2.0% de Ni, 0.4 a 0.9% de Cu, 0.003 a 0.015% de Ti, 0.003 a 0.02% de Nb, 0.01% o menos de P, 0.005% o menos de S, el resto es Fe e impurezas inevitables, en donde la lámina de acero de alta resistencia satisface la condición de $[Mn]+5.4[Si]+26[Al]+32.8[Nb]<4.3$ donde [Mn], [Si], [Al], y [Nb] indican contenidos de Mn, Si, Al, y Nb en porcentaje en peso;
- 25 una etapa de laminado para laminar la plancha a una temperatura no menor que la temperatura de recristalización de austenita (T_{nr}) con número de pasos no menor de cuatro;
- una segunda etapa de laminado que lleva a cabo una molienda de refinación en rango de temperatura de $Ar3-T_{nr}$; y
- una etapa de enfriamiento para enfriar la plancha, en donde los últimos dos pasos de la primera etapa de laminado se realizan a una relación de reducción de 15-25% por paso,
- 30 en donde una relación de reducción acumulada en la segunda etapa de laminado tiene un total de 50-60%, y
- en donde el enfriamiento en la etapa de enfriamiento se realiza a $320-380^\circ\text{C}$ a una tasa de enfriamiento de $8-15^\circ\text{C/s}$ desde un punto $t/4$ donde t es el espesor de la lámina de acero.

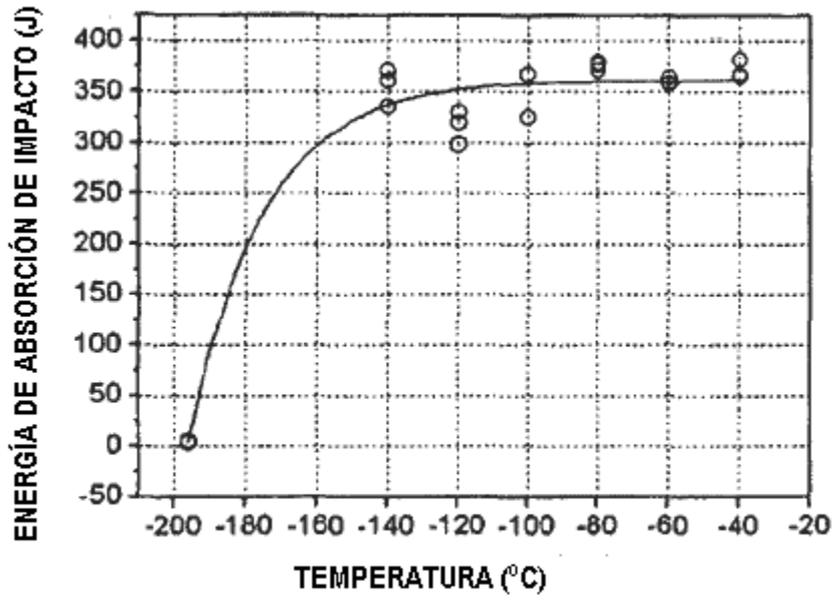


FIG. 1

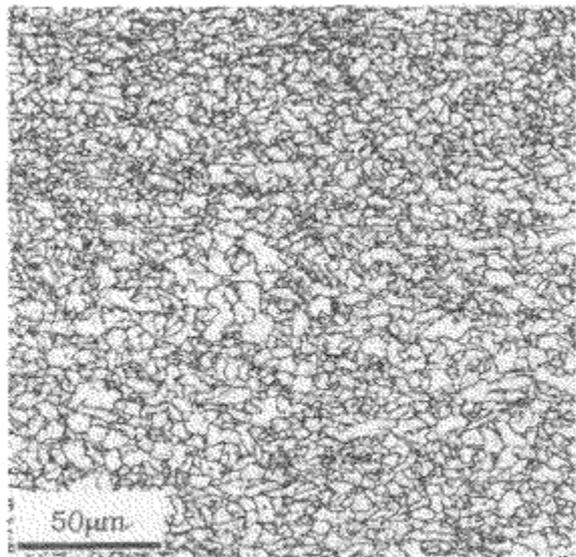


FIG. 2