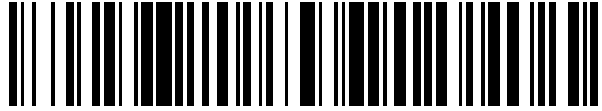


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 536 981**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00	(2006.01)	C22C 38/28	(2006.01)
C22C 38/14	(2006.01)	C21D 9/00	(2006.01)
C22C 38/32	(2006.01)	C21D 9/52	(2006.01)
C21D 8/06	(2006.01)		
C21D 8/08	(2006.01)		
C22C 38/02	(2006.01)		
C22C 38/04	(2006.01)		
C22C 38/06	(2006.01)		
C22C 38/12	(2006.01)		
C22C 38/24	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.10.2011 E 11836204 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.05.2015 EP 2634280**

54 Título: **Alambrón de acero de alto contenido en carbono que tiene excelente aptitud de trefilado**

30 Prioridad:

29.10.2010 JP 2010244311

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

01.06.2015

73 Titular/es:

**KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (100.0%)
10-26 Wakinohama-cho 2-chome Chuo-ku Kobe-shi
Hyogo 651-8585, JP**

72 Inventor/es:

**OURA, HIROSHI y
YOSHIHARA, NAO**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 536 981 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

Alambrón de acero de alto contenido en carbono que tiene excelente aptitud de trefilado

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a alambres de acero de alto contenido en carbono que se someten a trefilado para dar lugar a alambres y posteriormente se usan normalmente en alambres de hormigón pretensado, cables para puentes colgantes, y diversos cables metálicos ampliamente usados como materiales de refuerzo para estructuras de hormigón pretensado normalmente para edificios y puentes. Más específicamente, la presente invención se refiere a alambres de acero de alto contenido en carbono que tienen una aptitud de trefilado mejorada.

Técnica anterior

15 Normalmente, los alambres de acero de alto contenido en carbono usados en alambres para hormigón pretensado, cables para puentes colgantes y diversos cables metálicos deberían tener resistencias elevadas y ductilidad satisfactoria tras el trefilado del alambre y, además, deberían tener una buena aptitud de trefilado desde el punto de vista de productividad. Para cumplir estos requisitos, se ha desarrollado una diversidad de alambres de acero de alto contenido en carbono, de alta calidad.

20 Normalmente, la Bibliografía de Patente (PTL)1 propone una técnica para mejorar la resistencia frente a la fragilidad por hidrógeno de un alambre. Esta técnica especifica los contenidos de Ti en las formas de nitruro, sulfuro y carburo en un alambre de un acero para resortes que tiene un contenido de C bajo (de un 0,35 % a un 0,65 %) y un contenido de Si elevado (de un 1,5 % a un 2,5 %) y, de este modo, contribuye de forma eficaz a que el alambre de acero para resortes tenga granos más finos para atrapar el hidrógeno, mejorando de este modo la resistencia frente a la fragilidad por hidrógeno.

30 No obstante, se pretende aplicar esta técnica a aceros para resortes, y el alambre de acero para resortes, antes del trefilado del alambre, puede tener probablemente una estructura que incluye ferrita y perlita. Por tanto, el alambre de acero para resortes tiene una resistencia frente a la tracción baja y una aptitud de trefilado no tan buena, en comparación con los alambres de acero de alto contenido en carbono.

35 Independientemente, PTL 2 propone una técnica para mejorar la aptitud de trefilado de un alambre especificando el área de bainita superior transformada intergranular presente en un corte transversal del alambre y el tamaño de crecimiento de dicha bainita intergranular. No obstante, la estructura bainítica, tiene una templabilidad de procesamiento menor que la perlita y falla a la hora de proporcionar las resistencias suficientes tras el trefilado del alambre.

40 PTL3 describe un alambre excelente en cuanto a operabilidad de trefilado de alambre y un método de producción del mismo.

Listado de citas

Bibliografía de Patentes

45 PTL 1: Patente Japonesa N°. 4423253.
PTL 2: Solicitud de Patente Japonesa No Examinada N° de Publicación (JP-A) H08-295930.
PTL 3: EP1865079 A1

Sumario de la invención

50

Problema técnico

La presente invención se ha llevado a cabo para solucionar dichos problemas de las técnicas habituales, y un objetivo es proporcionar un alambre de acero de alto contenido en carbono que tiene resistencias elevadas como alambre y que exhibe una aptitud de trefilado superior.

Solución al problema

60 La presente invención ha logrado el objetivo y proporciona un alambre de acero de alto contenido en carbono que consiste en C en un contenido de un 0,6 % a un 1,5 %; Si en un contenido de un 0,1 % a un 1,5 %; Mn en un contenido de un 0,1 % a un 1,5 %; P en un contenido de mayor que un 0 % y menor o igual que un 0,02 %; S en un contenido mayor que un 0 % y menor o igual que un 0,02 %; Ti en un contenido de un 0,03 % a un 0,12 %; B en un contenido de un 0,001 % a un 0,01 %, y N en un contenido de un 0,001 % a un 0,005 %, en porcentaje en masa, opcionalmente (a) Al en un contenido mayor que un 0 % y menor o igual que un 0,1 %; y (b) al menos uno seleccionado entre el grupo que consiste en Cr en un contenido mayor que un 0 % y menor o igual que un 0,45 % y V en un contenido mayor que un 0 % y menor o igual que un 0,5 %, siendo el equilibrio hierro e impurezas

inevitables, donde el contenido de boro es de un 0,0002 % o más; el contenido de nitrógeno soluto es de un 0,0010 % o menos; y el alambón de acero de alto contenido en carbono satisface las condiciones especificadas mediante las Expresiones (1) y (2) siguientes:

$$5 \quad [Ti \text{ sol.}] = [Ti] - [Ti \text{ con N}] - [Ti \text{ con C}] - [Ti \text{ con S}] \geq 0,002 \quad (1),$$

$$[Ti \text{ con C}] \geq 0,020 \quad (2),$$

donde

10

[Ti sol.] representa un contenido de titanio de soluto disuelto en el acero;

[Ti] representa un contenido de Ti total;

[Ti con N] representa un contenido de Ti en forma de un nitruro;

[Ti con C] representa un contenido de Ti en forma de un carburo; y

15

[Ti con S] representa un contenido de Ti en forma de un sulfuro, en porcentaje en masa en el acero.

El alambón de alto contenido en carbono, cuando contiene alguno de estos elementos opcionales, puede tener propiedades de acuerdo con el tipo de elemento añadido.

20 Efectos ventajosos de la invención

La presente invención puede proporcionar un alambón de acero de alto contenido de carbono de alta resistencia que exhibe una aptitud de trefilado superior mediante el control apropiado de su composición química y garantizando los contenidos de titanio de soluto y Ti en forma de un carburo en niveles pre-determinados o superiores. El alambón de acero de alto contenido en carbono es muy útil como material normalmente para alambres de hormigón pretensado, cables para puentes colgantes y diversos cables metálicos.

25

Breve descripción de los dibujos

30

[Figura 1] La Figura 1 es un gráfico que ilustra el modo de variación de la deformación crítica apta para trefilado dependiendo del contenido de titanio soluble [Ti sol.].

[Figura 2] La Figura 2 es un gráfico que ilustra el modo de variación de la deformación crítica apta para trefilado dependiendo del contenido de Ti en forma de carburo [Ti con C].

35

Descripción de las realizaciones

Tras diversas investigaciones intensas para mejorar la aptitud de trefilado de los alambones de acero con alto contenido de carbono de alta resistencia, los presentes inventores han encontrado que un alambón de acero de alto contenido en carbono puede tener una aptitud de trefilado mejorada mediante la adición de un contenido suficiente de Ti para convertir el nitrógeno de soluto en nitruro de titanio para, de este modo, minimizar el nitrógeno de soluto en el acero y permitir que el acero contenga boro de soluto en un nivel predeterminado o superior; y que el alambón de acero con alto contenido de carbono pueda tener una aptitud de trefilado adicional drásticamente mejorada cuando se cumplen las condiciones especificadas por las siguientes Expresiones (1) y (2). La presente invención se lleva a cabo en base a estos descubrimientos. Las Expresiones (1) y (2) se escriben como se muestra a continuación:

40

$$[Ti \text{ sol.}] = [Ti] - [Ti \text{ con N}] - [Ti \text{ con C}] - [Ti \text{ con S}] \geq 0,002 \quad (1),$$

$$[Ti \text{ con C}] \geq 0,020 \quad (2),$$

50

donde

[Ti sol.] representa un contenido de titanio de soluto disuelto en el acero; [Ti] representa un contenido de Ti total;

[Ti con N] representa un contenido de Ti en forma de un nitruro;

55

[Ti con C] representa un contenido de Ti en forma de un carburo; y

[Ti con S] representa un contenido de Ti en forma de un sulfuro, en porcentaje en masa en el acero.

La configuración mejora la aptitud de trefilado probablemente por los siguientes motivos. Específicamente, el titanio de soluto, cuando se forma mediante disolución de Ti en ferrita, puede impedir la difusión del carbono de soluto, el cual puede difundir mediante la acción de la deformación por trefilado, impidiendo de este modo la fijación por dislocación del carbono de soluto, y evitando la fragilidad por envejecimiento provocada por la fijación por dislocación del carbono de soluto debido a la deformación por trefilado. Además, permitiendo la presencia de Ti en forma de carburo en un nivel predeterminado o más (concretamente, normalmente mediante precipitación de carburo de titanio (TiC)), se puede reducir el carbono de soluto en la ferrita probablemente de forma ligera, y esto puede evitar la fragilidad por envejecimiento provocada mediante la fijación por dislocación del carbono de soluto debido a la deformación por trefilado.

60

65

La Expresión (1) proporciona un contenido de titanio de soluto [Ti sol.], que viene determinada en base a la relación entre el contenido total de titanio y un contenido de Ti en forma de diversos compuestos de titanio (por ejemplo, TiN, TiC y TiS). El titanio de soluto, cuando se forma mediante disolución de Ti en ferrita, impide la difusión del carbono de soluto, el cual se difunde mediante la acción de la deformación por trefilado, impidiendo de este modo la fijación por dislocación del carbono de soluto, y evitando la fragilidad por envejecimiento provocada por la fijación por dislocación del carbono de soluto debido a la deformación por trefilado (véase la Figura 1 como se ha mencionado con anterioridad). La deformación crítica en el trefilado de alambre se mejora significativamente cumpliendo la condición especificada mediante la Expresión (1) (concretamente, permitiendo que el contenido de titanio de soluto [Ti sol.] sea de un 0,002 % o más). Preferentemente, el contenido de titanio de soluto [Ti sol.] es de un 0,003 % o más, y más preferentemente de un 0,004 % o más.

La expresión (2) proporciona un contenido de Ti en forma de carburo (normalmente contenido de TiC precipitado). Por medio de la precipitación de carburos basados en titanio en una cierta cantidad o mayor, disminuye ligeramente el carbono de soluto en la ferrita, y esto puede evitar la fragilidad por envejecimiento provocada por la fijación por dislocación del carbono de soluto debido a la deformación por trefilado. La deformación crítica en el trefilado del alambre aumenta de forma significativa la condición especificada por la Expresión (2) (concretamente, permitiendo que el Ti en forma de carburo (carburo basado en titanio) esté presente en un contenido de un 0,020 % o más). El contenido de Ti en forma de carburo basado en titanio [Ti con C] es preferentemente de un 0,021 % o más, y más preferentemente de un 0,022 % o más.

El alambroón de alto contenido en carbono de la presente invención debería tener una composición química controlada de forma apropiada. Los motivos para especificar los intervalos de los respectivos elementos (incluyendo el contenido de boro de soluto y el contenido de nitrógeno de soluto) en la composición química son los siguientes.

[C en un contenido de 0,6 % a 1,5 %]

El elemento carbono (C) es económico y eficaz para el fortalecimiento. Al aumentar el contenido de carbono, la magnitud de temple durante el procesado tras el trefilado de alambre y la resistencia tras el trefilado de alambre aumentan. Un alambroón que tiene un contenido de carbono menor que un 0,6 % puede resultar complicada para incluir una estructura de perlita que sea excelente en cuanto a templabilidad tras el trefilado de acero. Para evitar esto, preferentemente el contenido de carbono es de un 0,6 % o más y preferentemente de un 0,65 % o más, y más preferentemente de un 0,7 % o más. Por el contrario, una varilla de acero que tenga un contenido de carbono excesivamente elevado, puede presentar cementita pro-eutectoide de tipo pura generada en las fronteras de grano de austenita y se puede volver susceptible de ruptura tras el trefilado de alambre, y, tras el trefilado final de alambre, puede presentar una ductilidad/tenacidad significativamente inferiores. Para evitar esto, el contenido de carbono es menor que un 1,5 % o menos y preferentemente de un 1,4 % o menos, y más preferentemente de un 1,3 % o menos.

[Si en un contenido de un 0,1 % a un 1,5 %]

El elemento silicio (Si) es necesario para la desoxidación del acero y se disuelve en una fase de ferrita en la estructura de perlita para contribuir eficazmente a resistencias superiores tras el temple isotérmico. Un alambroón que tenga un bajo contenido de Si menor que un 0,1 % puede no experimentar eficazmente la desoxidación y puede mostrar mejoras insuficientes en cuanto a resistencia. Para evitar esto, el contenido de Si es de un 0,1 % en términos de su límite inferior y preferentemente de un 0,15 % o más, y más preferentemente de un 0,2 % o más. Por el contrario, un alambroón que tenga un contenido de Si excesivamente elevado puede presentar pobre ductilidad de la fase de ferrita en la estructura de perlita y puede presentar pobre ductilidad tras el trefilado de alambre. Para evitar esto, el contenido de Si es de hasta un 1,5 % y es preferentemente de un 1,4 % o menos, más preferentemente de un 1,3 % o menos.

[Mn en un contenido de un 0,1 % a un 1,5 %]

El elemento manganeso (Mn) es útil como desoxidante, como Si; contribuye eficazmente a resistencias más elevadas del alambroón; y, además, fija azufre en el acero en forma de sulfuro de manganeso MnS para evitar la fragilidad en caliente. Para exhibir estos efectos, Mn está presente en un contenido de un 0,1 % o más, preferentemente de un 0,2 % o más, y más preferentemente de un 0,3 % o más. Por el contrario, el elemento manganeso es susceptible de segregación, y, si está presente en un contenido mayor que un 1,5 %, puede segregar en un núcleo de un alambroón para formar martensita y bainita en el área segregada para, de este modo, afectar de forma negativa a la aptitud de trefilado. Para evitar esto, el contenido de Mn es de un 1,5 % o menos y preferentemente de un 1,4 % o menos, y más preferentemente de un 1,3 % o menos.

[P en un contenido mayor que un 0 % y menor o igual que un 0,02 %]

El elemento fósforo (P) es una impureza inevitable y preferentemente se minimiza. En particular, el fósforo provoca un fortalecimiento de soluto de ferrita y, de este modo, provoca significativamente el deterioro de la aptitud de trefilado. Para evitar esto, el contenido de fósforo de la presente memoria es de un 0,02 % o menos y

preferentemente de un 0,01 % o menos, y más preferentemente de un 0,005 % o menos.

[S en un contenido mayor que un 0 % y menor o igual que un 0,02 %]

- 5 El elemento azufre (S) es una impureza inevitable y preferentemente se minimiza. En particular, el azufre forma inclusiones basadas en MnS y, de este modo, afecta negativamente a la aptitud de trefilado. Para evitar esto, el contenido de azufre en la presente memoria es de un 0,02 % o menos y preferentemente de un 0,01 % o menos, y más preferentemente de un 0,005 % o menos.

10 [Ti en un contenido de un 0,03 % a un 0,12 %]

- El elemento titanio (Ti) es eficaz como desoxidante, está presente como titanio de soluto en ferrita para evitar la difusión de carbono de soluto, y forma nitruros/carburos de titanio (carburos, nitruros y carbonitruros) para, de este modo, reducir eficazmente el carbono de soluto que provoca la fragilidad tras el trefilado de alambre. Dichos nitruros/carburos de titanio también son eficaces para evitar que los granos de austenita se vuelvan gruesos. Por tanto, el elemento titanio (Ti) contribuye a una mejor aptitud de trefilado y también contribuye eficazmente a una mayor ductilidad. Para exhibir estos efectos, el contenido de Ti es de un 0,03 % o más y es preferentemente de un 0,04 % o más, y más preferentemente de un 0,05 % o más. Por el contrario, un alambroón que tenga un contenido de Ti excesivamente elevado puede presentar una generación de nitruros/carburos de titanio gruesos en la austenita para, de este modo, presentar una aptitud de trefilado insuficiente. Para evitar esto, el contenido de Ti es de un 0,12 % o menos y es preferentemente de un 0,11 % o menos, y más preferentemente de un 0,10 % o menos.

[B en un contenido de un 0,001 % a un 0,01 % (donde el contenido de boro de soluto es de un 0,0002 % o más)]

- 25 El elemento boro (B) evita eficazmente la precipitación de ferrita. Específicamente, el elemento boro contribuye a evitar la precipitación de ferrita, y evita eficazmente la fisura longitudinal de un alambre trefilado. El contenido de boro de soluto debería ser de un 0,0002 % o más, ya que el boro, cuando exhibe los efectos anteriores, está presente en forma de boro de soluto. Además, un alambroón que tenga un contenido de boro menor que un 0,001 % puede resultar complicada para incluir el boro de soluto en determinado nivel o más y puede no contribuir eficazmente a evitar la fisura longitudinal de alambre trefilado. Por estos motivos, el contenido de boro es de un 0,001 % o más y es preferentemente de un 0,0015 % o más, y más preferentemente de un 0,0020 % o más. Por el contrario, si está presente en un contenido mayor que un 0,01 %, puede formar $Fe_{23}(CB)_6$ y otros compuestos, y esto puede reducir el contenido de boro presente en forma de boro de soluto y reducir los efectos de evitar la fisura longitudinal del alambre trefilado. Para evitar esto, el contenido de boro es de un 0,01 % o menos y es preferentemente de un 0,009 % o menos, y más preferentemente de un 0,008 % o menos.

[N en un contenido de un 0,001 % a un 0,005 % (donde el contenido de nitrógeno es de un 0,0010 % o menos)]

- 40 El elemento de nitrógeno (N), cuando está presente en forma de soluto, provoca la fragilidad durante el trefilado de alambre y afecta negativamente a la aptitud de trefilado. Para evitar esto, el contenido de nitrógeno de soluto debería reducirse hasta un 0,0010 % o menos permitiendo que el Ti precipite en forma de nitruros/carburos de titanio. Un alambroón que tenga un contenido de nitrógeno excesivamente elevado puede presentar una fijación insuficiente de nitrógeno mediante la acción de titanio y, de este modo, puede presentar un nitrógeno de soluto mayor. Para evitar esto, el contenido de nitrógeno es de un 0,005 % o menos en términos de su límite superior y es preferentemente de un 0,004 % o menos, y más preferentemente de un 0,003 % o menos. Por el contrario, un alambroón que tenga un contenido de nitrógeno menor que un 0,001 % no resulta práctica en términos de costes de producción. Por este motivo, el contenido de nitrógeno es de un 0,001 % o más en términos de su límite superior y es preferentemente de un 0,0015 % o más, y más preferentemente de un 0,0020 % o más.

- 50 El alambroón de alto contenido en carbono de la presente invención incluye elementos básicos como se ha mencionado anteriormente y además incluye hierro e impurezas inevitables (impurezas diferentes de fósforo y azufre). Específicamente, el alambroón puede además contener, como impurezas inevitables, elementos que se incorporan al acero normalmente a partir de las materias primas, materiales de construcción e instalaciones de fabricación. El alambroón de acero de alto contenido en carbono de la presente invención puede además contener de manera útil otro elemento o elementos de acuerdo con la necesidad, que se tipifican mediante (a) Al en un contenido mayor que un 0 % y menor o igual que un 0,1 %; y (b) al menos uno seleccionado entre el grupo que consiste en Cr en un contenido mayor que un 0 % y menor o igual que un 0,45 % y V en un contenido mayor que un 0 % y menor o igual que un 0,5 %. El alambroón de acero de alto contenido en carbono, cuando contiene cualquiera de estos elementos, puede tener propiedades mejores de acuerdo con el tipo de elemento añadido.

60 [Al en un contenido mayor que un 0 % y menor o igual que un 0,1 %]

- El elemento de aluminio (Al) es eficaz como desoxidante y forma un nitruro de aluminio AlN para evitar que la austenita tenga un tamaño de grano mayor. No obstante, Al, si está presente con un contenido excesivamente elevado, puede exhibir efectos saturados y afectar negativamente a la eficiencia económica. Para evitar esto, el contenido de Al es de un 0,1 % o menos, preferentemente de un 0,09 % o menos, y más preferentemente de un

0,08 % o menos. Para exhibir estos efectos, el contenido de Al es de un 0,005 % o más, preferentemente de un 0,010 % o más y más preferentemente de un 0,015 % o más.

5 [Cr en un contenido mayor que 0 % y menor o igual que 0,45 % y/o V en un contenido mayor que un 0 % y menor o igual que 0,5 %]

10 Los elementos de cromo (Cr) y vanadio (V) mejoran cada uno las resistencias, aptitud de trefilado, y otras propiedades del alambón. De estos elementos, Cr permite que la perlita tenga un espaciado lamelar más fino y mejora las resistencias, aptitud de trefilado, y otras propiedades del alambón. No obstante, un alambón que tenga un contenido de Cr excesivamente elevado puede ser susceptible de formación de cementita no disuelta, puede presentar formación de estructuras de superenfriamiento tal como martensita y bainita en un alambre laminado en caliente debido a un tiempo final de transformación más prolongado, y puede tener propiedades mecánicas inferiores de eliminación de incrustaciones. Para evitar esto, el contenido de Cr es de un 0,45 % o menos, preferentemente de un 0,40 % o menos, y más preferentemente de un 0,35 % o menos. Para exhibir estos efectos, el contenido de Cr es de un 0,01 % o más, preferentemente de un 0,03 % o más, y más preferentemente de un 0,05 % o más.

20 El vanadio se dispersa en forma de carbonitruros finos, contribuyendo de este modo a un tamaño de nódulo y tamaño de grano de austenita más fino, produce el estrechamiento eficaz del espaciado lamelar de perlita y contribuye de forma eficaz a resistencias más elevadas y mejor aptitud de trefilado. El vanadio también reduce eficazmente la incidencia de rupturas, debido a que el tamaño de nódulo y el tamaño de grano de austenita más fino contribuyen a evitar las micro-fisuras, que son susceptibles de formarse durante el trefilado del alambre, y contribuyen a evitar la propagación de las microfisuras formadas. El vanadio también contribuye a que el alambón tenga mejor resistencia frente a la corrosión. No obstante, el vanadio, si está presente en un contenido excesivamente elevado, puede no solo exhibir efectos saturados de mejora de la resistencia frente a la corrosión, sino también afecta negativamente a la tenacidad y ductilidad. Para evitar esto, el contenido de vanadio es de un 0,5 % o menos, preferentemente de un 0,45 % o menos, y más preferentemente de un 0,40 % o menos. Para exhibir estos efectos, el contenido de vanadio es de un 0,01 % o más, preferentemente de un 0,015 % o más, y más preferentemente de un 0,02 % o más.

30 Para fabricar el alambón de acero de alto contenido en carbono de la presente invención mediante el control del contenido de titanio para cumplir las condiciones especificadas en las Expresiones (1) y (2), se puede fabricar el alambón mediante colada de un acero fundido que tiene una composición química dentro del intervalo anteriormente especificado, y laminado en caliente del acero colado al tiempo que se controlan estos procesos como se menciona a continuación.

40 Cuando se lleva a cabo la colada a través de colada continua, se controla eficazmente la velocidad de enfriamiento (tasa de solidificación) a temperaturas de 1500 °C hasta 1400 °C en 0,8 °C/segundo o menos. Dicho enfriamiento lento a temperaturas desde 1500 °C hasta 1400 °C contribuye a que el Ti fije nitrógeno libre de forma suficiente. Preferentemente, la velocidad de enfriamiento es de 0,6 °C/segundo o menos, y más preferentemente de 0,5 °C/segundo o menos. No obstante, el enfriamiento, si transcurre de forma excesivamente lenta, puede provocar que los precipitados sean demasiado bastos. Para evitar esto, preferentemente la velocidad de enfriamiento es de 0,05 °C/segundo o más, más preferentemente de 0,1 °C/segundo o más, y aún más preferentemente de 0,2 °C/segundo o más.

50 El calentamiento de los productos semi-terminados (por ejemplo, lingotes) antes del laminado en caliente se lleva a cabo de forma eficaz a una temperatura (temperatura más elevada de los productos semi-terminados) de 1200 °C o más. El calentamiento, cuando se lleva a cabo a dicha temperatura suficientemente elevada, puede contribuir a que el titanio fije el nitrógeno libre de forma suficiente. Preferentemente, la temperatura de calentamiento es de 1210 °C o más, más preferentemente de 1220 °C o más. El calentamiento, si se lleva a cabo a una temperatura excesivamente elevada, puede provocar que los precipitados sean bastos. Para evitar esto, preferentemente, la temperatura de calentamiento es de 1300 °C o menos, más preferentemente de 1290 °C o menos, y aún más preferentemente de 1280 °C o menos.

55 Generalmente, los productos calientes semi-terminados se someten a eliminación de incrustaciones mediante pulverización de agua antes del laminado en caliente. La pulverización se lleva a cabo bajo condiciones intensas para comenzar el laminado en caliente a partir de una temperatura de comienzo (temperatura inmediatamente por debajo del laminado basto) de 950 °C o menos. El laminado en caliente, cuando comienza desde dicha temperatura de comienzo baja, contribuye que los carburos de titanio precipiten de manera suficiente. Preferentemente, la temperatura de comienzo de laminado en caliente es de 945 °C o menos, y más preferentemente de 940 °C o menos. El laminado en caliente se lleva a cabo a una temperatura de comienzo dentro de este intervalo para evitar que los precipitados sean bastos. No obstante, la temperatura de comienzo de laminado en caliente, se ajusta de forma eficaz en 850 °C o más. El laminado en caliente, cuando comienza desde una temperatura de comienzo que no es excesivamente baja, contribuye a que el titanio fije nitrógeno libre de manera suficiente. La temperatura de calentamiento de laminado en caliente es preferentemente de 855 °C o más, y más preferentemente de 860 °C o más.

Tras el laminado en caliente, preferentemente se lleva a cabo el enfriamiento a partir de una temperatura de comienzo de enfriamiento (temperatura de comienzo de enfriamiento posterior al laminado, tal como temperatura de enfriamiento controlada por Stelmor) de 800 °C o más y 950 °C o menos, para permitir que los carburos de titanio precipiten de forma suficiente. Además, el enfriamiento desde la temperatura de comienzo de enfriamiento hasta 700 °C se lleva a cabo de forma eficaz a una velocidad de enfriamiento de 20 °C/segundo o más (preferentemente de 25 °C/segundo o más, y más preferentemente de 30 °C/segundo o más) y 100 °C/segundo o menos (preferentemente 90 °C/segundo o menos, y más preferentemente de 80 °C/segundo o menos). El enfriamiento, cuando se lleva a cabo dentro de este intervalo de temperatura con una tasa elevada, puede garantizar una cantidad necesaria de titanio de soluto al tiempo que permite que los carburos de titanio precipiten en cantidades necesarias.

Otras condiciones de fabricación diferentes de las mencionadas anteriormente pueden emplear condiciones comunes.

Ejemplos

Se ilustra la presente invención con más detalle con referencia a los diversos ejemplos experimentales siguientes. No obstante, debería apreciarse que estos ejemplos no deben nunca interpretarse como limitantes del alcance de la invención; y se pueden realizar diversos cambios y modificaciones sin apartarse del alcance y espíritu de la invención y se deberían considerar dentro del alcance de la invención.

Se obtuvieron cada 80 toneladas de aceros (Acero A a V) que tenían las composiciones químicas que se proporcionan en la Tabla 1 a continuación, se colaron de forma continua y dieron lugar a planchas que tenían un perfil de 430 mm por 300 mm. En la Tabla 1, los elementos indicados por "-" no se añadieron. Las tasas de enfriamiento (tasas de solidificación) desde 1500 °C hasta 1400 °C tras colada continua se proporcionan en la Tabla 2 siguiente.

Se desbastaron de forma continua planchas coladas para dar lugar a lingotes que tenían un perfil de 155 mm por 155 mm, se sometieron los lingotes a laminado en caliente en las condiciones (temperatura de calentamiento de pre-laminado en caliente, temperatura de comienzo de laminado en caliente, temperatura de comienzo de pos-laminado en caliente, y velocidad de enfriamiento desde la temperatura de comienzo de enfriamiento hasta 700 °C) proporcionadas en la Tabla 2, y dieron lugar a alambrones de acero de alto contenido en carbono que tenían un diámetro de 6,0 mm. Los contenidos de titanio (contenidos totales de titanio), boro (contenidos totales de boro) y nitrógeno (contenidos totales de nitrógeno) indicados en la Tabla 1 son valores de alambrones preparadas y se determinan mediante los siguientes métodos de medición.

[Métodos de Medición]

Contenido total de titanio: Determinado de acuerdo con espectrometría de emisión de plasma con acoplamiento inductivo (ICP) (Patrón Industrial Japonés (JIS) G 1258-1).

Contenido total de boro: Determinado de acuerdo con el método espectrofotométrico de curcumina (JIS G 1227, Apéndice 2).

Contenido total de nitrógeno: Determinado de acuerdo con el método conductimétrico térmico tras fusión en una corriente de gas inerte (JIS G 1228, Apéndice 4).

[Tabla 1]

Acero	Composición Química* (en porcentaje en masa)										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Ti	V	B	N
A	0,72	0,26	0,70	0,008	0,007	-	0,031	0,039	-	0,0013	0,0020
B	0,71	0,41	0,42	0,006	0,015	0,41	-	0,064	-	0,0029	0,0024
C	0,71	0,21	0,66	0,013	0,015	-	-	0,107	0,05	0,0034	0,0033
D	0,73	0,29	0,57	0,013	0,011	-	-	0,068	-	0,0022	0,0023
E	0,82	0,68	0,53	0,014	0,006	-	-	0,071	-	0,0028	0,0037
F	0,82	0,31	0,51	0,007	0,003	-	-	0,077	-	0,0022	0,0022
G	0,81	0,24	0,40	0,007	0,015	-	0,014	0,08	-	0,0028	0,0026
H	0,80	0,25	0,55	0,010	0,006	-	-	0,047	-	0,0029	0,0027
I	0,82	0,22	0,82	0,014	0,008	-	-	0,048	-	0,0018	0,0029
J	0,92	0,31	0,44	0,008	0,009	0,31	-	0,077	0,11	0,0033	0,0030
K	0,93	1,20	0,66	0,012	0,007	-	-	0,046	0,22	0,0043	0,0041
L	0,91	0,26	0,49	0,009	0,009	-	0,028	0,079	-	0,0029	0,0022
M	0,94	0,22	0,63	0,007	0,015	0,22	-	0,076	-	0,0024	0,0020
N	0,97	0,30	0,49	0,013	0,010	-	-	0,067	-	0,0023	0,0029
O	1,03	0,22	0,51	0,014	0,009	0,22	-	0,056	-	0,0028	0,0021
P	1,06	0,21	0,67	0,014	0,006	-	0,071	0,072	0,05	0,0024	0,0026
Q	1,11	0,25	0,69	0,008	0,007	-	-	0,064	-	0,0017	0,0033
R	1,15	0,22	0,65	0,009	0,006	-	-	0,083	0,09	0,0029	0,0029
S	1,23	0,30	0,51	0,0012	0,007	0,17	-	0,061	-	0,0026	0,0031

Acero	Composición Química* (en porcentaje en masa)										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Ti	V	B	N
T	1,37	0,33	0,53	0,015	0,011	-	-	0,073	-	0,0023	0,0033
U	0,84	0,44	0,43	0,005	0,007	-	-	0,047	-	0,0018	0,0072
V	1,11	0,25	0,69	0,008	0,007	-	-	0,016	0,07	0,0017	0,0037

*Resto. Hierro e impurezas inevitables diferentes de P y S

[Tabla 2]

Número de Ensayo	Acero	Velocidad de Solidificación (°C/s)	Temperatura de calentamiento de pre-laminado en caliente (°C)	Temperatura de comienzo de laminado en caliente (°C)	Temperatura de comienzo de enfriamiento posterior al laminado (°C)	Velocidad de enfriamiento desde la temperatura de comienzo del enfriamiento hasta 700 °C (°C/s)
1	A	0,2	1254	924	913	22
2	B	0,1	1221	879	838	22
3	C	0,3	1220	925	833	49
4	D	0,1	1202	896	860	29
5	E	0,2	1253	886	879	35
6	F	0,3	1225	898	837	38
7	G	0,2	1228	932	826	32
8	H	0,2	1271	902	913	39
9	I	0,2	1212	933	915	78
10	J	0,3	1245	922	911	55
11	K	0,2	1251	930	820	34
12	L	0,5	1275	937	853	22
13	M	0,1	1210	883	898	51
14	N	0,2	1279	937	887	39
15	O	0,3	1205	879	846	23
16	P	0,4	1255	893	883	26
17	Q	0,2	1245	896	824	51
18	R	0,2	1213	935	925	38
19	S	0,3	1233	935	846	69
20	T	0,2	1221	913	893	37
21	U	0,2	1271	903	838	39
22	V	0,2	1244	891	831	46
23	A	0,9	1254	924	846	51
24	D	0,1	1171	896	853	59
25	G	0,2	1228	1020	898	47
26	K	0,2	1251	930	962	53
27	N	0,2	1279	937	908	11

5 Se examinaron los alambrones resultantes en cuanto a titanio de soluto, boro de soluto, nitrógeno de soluto, [Ti con N], [Ti con C] y [Ti con S], como se determinó mediante el siguiente método (extracción electrolítica).

- 10 (i) Se sumerge una muestra en un electrolito (una disolución que contiene 10 por ciento en volumen de acetilacetona y 1 por ciento en masa de cloruro de tetrametilamonio en metanol), al cual se aplica una corriente a una tasa de 20 mA o menos por centímetro cuadrado de área superficial de la muestra para provocar la electrólisis del metal de hierro de la matriz en una masa de aproximadamente 0,4 a aproximadamente 0,5 g. Se recogen los precipitados (por ejemplo, TiN, TiC, Ti₄C₂S₂, contenidos de traza de TiS, AlN y BN; en lo sucesivo denominados de forma colectiva como "residuo") en el acero, que se habían dispersado o precipitado en el electrolito, a partir del propio electrolito. Se recoge el residuo usando un filtro que tenía un diámetro de malla metálica de 0,1 μm [por ejemplo, Filtro de Membrana suministrado por Advantech Toyo Kaisha, Ltd.].
- 15 (ii-a) Se determina un contenido de nitrógeno (contenido de nitrógeno tipo compuesto: N*) en el residuo de acuerdo con el método espectrofotométrico de azul de indofenol (JIS G 1228, Apéndice 3).
- (ii-b) Se determina un contenido de azufre (contenido de azufre tipo compuesto: S*) en el residuo de acuerdo con el método espectrofotométrico de azul de metileno tras la separación de hidrosulfuro (JIS G 1251, Apéndice 7).
- 20 (ii-c) Se determinan el contenido de Mn (contenido de manganeso de tipo compuesto: Mn*) y el contenido de Ti (contenido de titanio tipo compuesto: Ti*) en el residuo colocando el mismo en un crisol de platino, formando cenizas del filtro usando un quemador de gas, añadiendo un flujo alcalino al mismo, y calentando hasta la fusión del residuo, añadiendo un ácido a la masa fundida para disolver la masa fundida, transfiriendo toda la cantidad

ES 2 536 981 T3

del artículo resultante a un matraz, añadiendo agua hasta un volumen específico y llevando a cabo la determinación con un espectrómetro de emisión de plasma con acoplamiento inductivo (ICP).

(ii-d) Se determina el contenido de boro (contenido de boro de tipo compuesto: B*) en el residuo de acuerdo con el método espectrofotométrico de curcumina (JIS G 1227, Apéndice 2).

5 (ii-e) Se determina el contenido de nitruro de aluminio (AlN*) de acuerdo con el método de bromo-éster.

(iii) Se determina el contenido de nitruro de titanio en el residuo en base al contenido de nitrógeno (N*), contenido de boro (B*) y contenido de nitruro de aluminio (AlN*), asumiendo que el nitrógeno en el residuo está presente como TiN, BN y AlN y que todo el boro del residuo está presente como BN; resultado a partir del cual se calcula el contenido de titanio presente en forma de TiN en el residuo [Ti con N].

10 (iv) Se calcula el contenido de azufre presente como MnS en el residuo ($S^*_{(MnS)}$) a partir del contenido de Mn (Mn*) asumiendo que el manganeso del residuo está presente como MnS. Se determina un contenido de $Ti_4C_2S_2$ en el residuo restando el contenido de azufre presente como MnS ($S^*_{(MnS)}$) del contenido de azufre (S^*) en el residuo, asumiendo que todo el resto de azufre ($S^* - S^*_{(MnS)}$) está presente en forma de $Ti_4C_2S_2$; a partir del cual se calcula el resultado [Ti con S]. Este método de cálculo se lleva a cabo asumiendo (aproximadamente) que no se forma TiS y que todos los sulfuros están presentes como $Ti_4C_2S_2$. De hecho, el contenido de TiS es muy pequeño, y [Ti con S] calculado en base a la suposición (aproximación) no difiere tanto del valor real (valor verdadero). Además, se determina un contenido de titanio presente en forma de $Ti_4C_2S_2$ en el residuo ($Ti^*_{(Ti_4C_2S_2)}$) a partir del contenido de azufre residual eficaz ($S^* - S_{(MnS)}$) en el residuo.

15 (v) Se determina el contenido de carburo de titanio TiC en el residuo restando los contenidos de titanio presente en forma de TiN y $Ti_4C_2S_2$ a partir del contenido de titanio en el residuo (Ti*), asumiendo que todo el resto de titanio ($Ti^* - Ti^*_{(TiN)} - Ti^*_{(Ti_4C_2S_2)}$) está presente como TiC; a partir del cual se calcula el resultado [Ti con C].

[Métodos de Medición de Titanio de Soluta, Boro de Soluta y Nitrógeno de Soluta]

25 Titanio de soluto: se calcula a partir del contenido total de titanio y el contenido de Ti (Ti*) determinado en (ii-c).

Nitrógeno de soluto: se calcula a partir del contenido de nitrógeno y el contenido de nitrógeno (N*) determinado en (ii-a).

Boro de soluto: calculado a partir del contenido de boro y el contenido de boro (B*) determinado en (ii-d).

30 La Tabla 3 siguiente indica el titanio de soluto, boro de soluto y nitrógeno de soluto, [Ti con N], [Ti con C] y [Ti con S] determinado en los alambres.

[Tabla 3]

Número de Ensayo	Acero	Boro de soluto (porcentaje en masa)	Nitrógeno de soluto (porcentaje en masa)	Titanio de soluto (porcentaje en masa)	[Ti con N] (porcentaje en masa)	[Ti con S] de soluto (porcentaje en masa)	[Ti con C] de soluto (porcentaje en masa)
1	A	0,0007	0,0002	0,007	0,002	0,007	0,022
2	B	0,0021	0,0003	0,006	0,004	0,018	0,035
3	C	0,0021	0,000	0,003	0,005	0,019	0,079
4	D	0,0012	0,000	0,009	0,004	0,015	0,039
5	E	0,0018	0,0007	0,005	0,006	0,007	0,051
6	F	0,0015	0,0003	0,006	0,004	0,003	0,065
7	G	0,0017	0,000	0,004	0,004	0,019	0,051
8	H	0,0019	0,0002	0,003	0,005	0,006	0,033
9	I	0,0006	0,000	0,005	0,005	0,009	0,030
10	J	0,0022	0,0002	0,005	0,005	0,012	0,054
11	K	0,0027	0,0001	0,004	0,007	0,009	0,026
12	L	0,0023	0,0001	0,004	0,004	0,010	0,061
13	M	0,0017	0,0002	0,006	0,003	0,019	0,046
14	N	0,0014	0,0004	0,006	0,005	0,013	0,042
15	O	0,0022	0,0004	0,006	0,004	0,010	0,035
16	P	0,0014	0,000	0,005	0,003	0,006	0,057
17	Q	0,0005	0,0002	0,005	0,006	0,007	0,046
18	R	0,0017	0,000	0,006	0,005	0,006	0,006
19	S	0,0016	0,0003	0,005	0,006	0,009	0,042
20	T	0,0011	0,0002	0,004	0,006	0,015	0,047
21	U	0,0000	0,0016	0,001	0,012	0,009	0,026
22	V	0,0002	0,0011	0,000	0,002	0,003	0,009
23	A	0,0018	0,0012	0,007	0,002	0,007	0,024
24	D	0,0017	0,0011	0,009	0,001	0,015	0,042
25	G	0,0016	0,0005	0,037	0,006	0,019	0,016
26	K	0,0022	0,0002	0,011	0,005	0,009	0,017
27	N	0,0014	0,0004	0,000	0,005	0,013	0,047

ES 2 536 981 T3

Posteriormente, se someten los alambres a temple isotérmico de plomo, lavado ácido y bonderización y se someten a trefilado hasta un diámetro de 0,95 mm usando una máquina de trefilado de alambre de alta velocidad en seco (con un ángulo de aproximación de troquel de 12 grados) en esquemas de paso proporcionados en la Tabla 4 [Tabla 4(a) y Tabla 4(b)] siguientes, a partir de los cuales se tomaron muestras de los alambres trefilados de diferentes diámetros. La Tabla 5 siguiente indica las condiciones para el temple isotérmico de plomo.

5

[Tabla 4(a)]

Número de troquel	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Diámetro de alambre (mm)	6,00	4,90	4,31	3,81	3,38	3,01	2,70	2,43	2,19	1,98
Reducción de área (%)	-	33,3	22,6	21,9	21,3	20,7	19,5	19,0	18,8	18,3
Deformación verdadera	0	0,23	0,49	0,73	0,97	1,20	1,42	1,63	1,84	2,04

[Tabla 4(b)]

Número de troquel	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Diámetro de alambre (mm)	1,98	1,80	1,64	1,50	1,38	1,27	1,17	1,08	1,00	0,95
Reducción de área (%)	-	17,4	17,0	16,3	15,4	15,3	15,1	14,8	14,3	9,8
Deformación verdadera	2,04	2,23	2,42	2,60	2,77	2,93	3,12	3,26	3,41	3,52

10

[Tabla 5]

Número de Ensayo	Acero	Condiciones de temple isotérmico			
		Temperatura de calentamiento (°C)	Tiempo de Calentamiento (s)	Temperatura de calentamiento de plomo (°C)	Tiempo de inmersión en plomo (s)
1	A	920	175	500	63
2	B	960	183	500	65
3	C	940	183	520	65
4	D	890	202	490	72
5	E	910	212	510	76
6	F	910	192	520	69
7	G	930	237	520	85
8	H	950	202	500	72
9	I	920	224	530	80
10	J	960	269	530	96
11	K	950	224	550	80
12	L	930	202	520	72
13	M	950	224	520	80
14	N	950	224	500	80
15	O	950	224	530	80
16	P	960	288	530	103
17	Q	920	192	510	69
18	R	950	224	510	80
19	S	950	224	560	80
20	T	940	224	530	80
21	U	920	175	500	63
22	V	950	202	530	72
23	A	920	202	510	72
24	D	920	175	510	63
25	G	940	192	520	69
26	K	930	202	530	72
27	N	930	202	530	72

Se examinó la aptitud de trefilado de los alambres trefilados preparados anteriormente mediante el siguiente método.

[Determinación de Aptitud de Trefilado]

5 Se determinó la aptitud de trefilado sometiendo a ensayos de torsión los alambres fabricados experimentalmente y sometidos a toma de muestra de diferentes diámetros. Los ensayos de torsión de llevaron a cabo en un dispositivo de ensayo de torsión proporcionado por Maekawa Testing Machine Mfg. Co., LTD., a un valor de GL (longitud de galga; distancia de mandril a mandril) de 200 mm. Se definió la deformación de trefilado de una muestra de ensayo que tiene el diámetro de alambre más pequeño entre muestras de ensayo que no portan fisura longitudinal en la superficie de fractura tras la ruptura como la deformación crítica apta para trefilado (una deformación máxima a la cual se puede someter el alambre a trefilado). Independientemente, se midió la resistencia del alambre a la deformación crítica apta para trefilado con un dispositivo de ensayo de tracción (Autograph suministrado por Shimadzu Corporation) a un valor de GL (distancia de mandril a mandril) de 200 mm y una tasa de deformación de 10 mm/min.

15 La Tabla 6 siguiente indica los resultados (deformación crítica apta para trefilado y resistencia del alambre a la deformación crítica) junto con los aceros usados, como Ensayos Nos. 1 a 27.

[Tabla 6]

Número de ensayo	Acero	Deformación crítica apta para trefilado	Resistencia de alambre en deformación crítica (MPa)
1	A	3,26	2530
2	B	3,41	2591
3	C	3,26	2598
4	D	3,41	2461
5	E	3,10	2720
6	F	3,26	2716
7	G	3,10	2811
8	H	3,26	2885
9	I	3,26	2750
10	J	2,77	3165
11	K	2,77	3111
12	L	2,93	3089
13	M	2,93	3293
14	N	2,77	3055
15	O	2,77	3362
16	P	260	3265
17	Q	260	3260
18	R	2,77	3411
19	S	2,60	3532
20	T	260	3583
21	U	2,04	2135
22	V	1,42	2289
23	A	2,42	2112
24	D	2,42	2095
25	G	2,23	2140
26	K	2,04	2234
27	N	2,04	2390

20 Estos resultados indican lo siguiente (donde los números siguientes representan los números de ensayo de la Tabla 6). Los Nos. 1 a 20 fueron muestras que cumplieron las condiciones especificadas en la presente invención, cumplieron con la composición química y las condiciones especificadas en las Expresiones (1) y (2), y proporcionaron alambres de acero que tenían resistencias elevadas y excelente aptitud de trefilado.

25 Por el contrario, los Nos. 21 a 27 fueron muestras que no cumplieron ninguna de las condiciones especificadas en la presente invención y fueron pobres en cuanto al menos una de las propiedades determinadas. Entre ellas, N°. 21 tuvo un gran contenido de nitrógeno y un gran contenido de nitrógeno de soluto y fallaron para proporcionar una aptitud de trefilado satisfactoria.

30 La N°. 22 fue una muestra que tuvo un contenido de Ti y un contenido de titanio de soluto, cada uno de ellos menor que el intervalo especificado, incluyó precipitados tales como TiC en cantidades pequeñas, incluyó nitrógeno de soluto en gran contenido y falló para proporcionar una aptitud de trefilado satisfactoria.

La N°. 23 experimentó colada con una tasa de solidificación elevada (Tabla 2), presentó una formación insuficiente de TiN con una cantidad grande de nitrógeno de soluto restante y tuvo una pobre aptitud de trefilado. La N°. 24 experimentó calentamiento a una temperatura baja antes del laminado en caliente (Tabla 2), incluyó nitrógeno de soluto en un gran contenido y falló para proporcionar una aptitud de trefilado satisfactoria.

5 La N°. 25 experimentó laminado en caliente comenzando desde temperatura elevada (Tabla 2), presentó contenidos insuficientes de precipitados tales como TiC, y falló para proporcionar una aptitud de trefilado satisfactoria. La N°. 26 experimentó enfriamiento comenzando desde una temperatura elevada (Tabla 2), presentó contenidos insuficientes de precipitados tales como TiC, y falló para proporcionar aptitud de trefilado satisfactoria. La N°. 27 experimentó
10 enfriamiento a una velocidad de enfriamiento baja, desde la temperatura de comienzo de enfriamiento hasta 700 °C, falló para incluir titanio de soluto en una cantidad necesaria y presentó una pobre resistencia frente a la fatiga (resistencia frente a la fatiga de torsión) y pobre aptitud de trefilado.

15 Basándose en estos resultados, la Figura 1 ilustra el modo de variación de la deformación crítica apta para trefilado dependiendo del contenido de titanio de soluto [Ti sol.]; y la Figura 2 ilustra el modo de variación de la deformación crítica apta para trefilado dependiendo del contenido de titanio en forma de carburo tal como TiC [Ti con C]. En las Figuras 1 y 2, los datos indicados mediante un diamante sólido, "◆" son datos de muestras que cumplen las condiciones especificadas en la presente invención (Ejemplos); y los datos indicados por el cuadrado sólido, "■" son
20 datos de muestras que no cumplen al menos una de las condiciones especificadas en la presente invención (Ejemplos Comparativos).

REIVINDICACIONES

1. Un alambre de acero de alto contenido en carbono excelente en cuanto a aptitud de trefilado, que consiste en, en porcentaje en masa:

5 C en un contenido de un 0,6 % a un 1,5 %;
 Si en un contenido de un 0,1 a un 1,5 %;
 Mn en un contenido de un 0,1 % a un 1,5 %;
 P en un contenido mayor que un 0 % y menor o igual que un 0,02 %;
 10 Si en un contenido mayor que un 0 % y menor o igual que un 0,02 %;
 Ti en un contenido de un 0,03 % a un 0,12 %;
 B en un contenido de un 0,001 % a un 0,01 %;
 N en un contenido de un 0,001 % a un 0,005 %;
 15 opcionalmente, Al en un contenido mayor que un 0 % y menor o igual que un 0,1 %;
 opcionalmente, al menos uno seleccionado entre el grupo que consiste en: Cr en un contenido mayor que un 0 % y menor o igual que un 0,45 %, y/o V en un contenido mayor que un 0 % y menor o igual que un 0,5 %; y siendo el resto hierro e impurezas inevitables, donde:

20 un contenido de boro de soluto es de un 0,0002 % o más;
 un contenido de nitrógeno de soluto es de un 0,0010 % o menos;
 y
 el alambre de acero de alto contenido en carbono cumple las condiciones especificadas mediante las siguientes Expresiones (1) y (2):

25
$$[\text{Ti sol.}] = [\text{Ti}] - [\text{Ti con N}] - [\text{Ti con C}] - [\text{Ti con S}] \geq 0,002 \quad (1),$$

$$[\text{Ti con C}] \geq 0,020 \quad (2),$$

30 donde

[Ti sol.] representa un contenido de titanio de soluto disuelto en el acero;
 [Ti] representa un contenido de Ti total;
 [Ti con N] representa un contenido de Ti en forma de un nitruro;
 35 [Ti con C] representa un contenido de Ti en forma de un carburo; y
 [Ti con S] representa un contenido de Ti en forma de un sulfuro, en porcentaje en masa en el acero.

40 2. El alambre de acero de alto contenido en carbono, donde el contenido de B es de un 0,0020 % o mayor.

FIG. 1

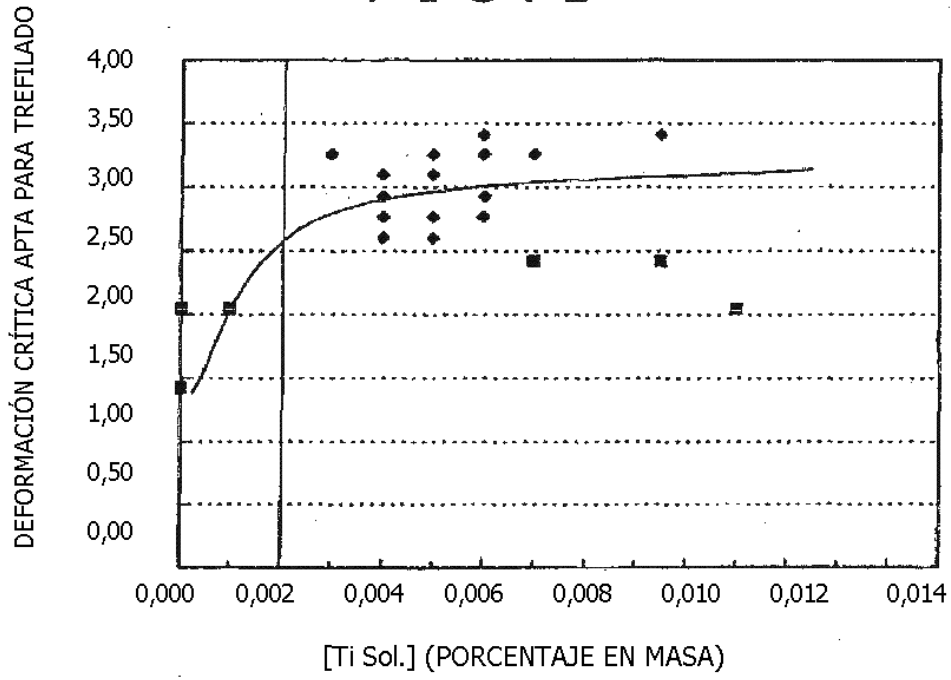


FIG. 2

