

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 726 032**

51 Int. Cl.:

<b>C22C 38/00</b>	(2006.01)	<b>C21D 8/06</b>	(2006.01)
<b>C21D 9/52</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/14</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/54</b>	(2006.01)		
<b>C21D 6/00</b>	(2006.01)		
<b>C21D 8/02</b>	(2006.01)		
<b>C21D 9/573</b>	(2006.01)		
<b>C21D 9/64</b>	(2006.01)		
<b>B60C 9/00</b>	(2006.01)		
<b>D07B 1/06</b>	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.04.2007 PCT/JP2007/058889**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **17.04.2008 WO08044354**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.04.2007 E 07742324 (2)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.02.2019 EP 2090671**

54 Título: **Varilla de alambre de alta resistencia con excelente capacidad de trefilado y proceso para producir la misma**

30 Prioridad:

**12.10.2006 JP 2006278780**

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

**01.10.2019**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**YAMASAKI, SHINGO;  
NISHIDA, SEIKI y  
KIKUCHI, MAKIO**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 726 032 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**

Varilla de alambre de alta resistencia con excelente capacidad de trefilado y proceso para producir la misma

**5 CAMPO DE LA INVENCION**

Esta invención se refiere a varilla de alambre de acero, a alambre de acero, y a un método para fabricar la varilla de alambre de acero y el alambre de acero. Más particularmente, esta invención se refiere a un cable de acero utilizado, por ejemplo, para reforzar neumáticos radiales, varios tipos de correas industriales y similares, a varilla de alambre laminada adecuada para uso en aplicaciones tales como alambre de costura, a métodos de fabricación de los anteriores y al alambre de acero fabricado a partir de la varilla de alambre laminada mencionada anteriormente como material de partida.

**DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA RELACIONADA**

15 En el caso del alambre de acero para cable de acero utilizado como material para reforzar neumáticos radiales de vehículos y varios tipos de correas y mangueras, o alambre de acero para aplicaciones de alambre de costura, la práctica general es someter a una varilla de alambre de acero laminada en caliente y de enfriamiento controlado, de 4-6 mm de diámetro, a estiramiento o trefilado primario para reducirla a un diámetro de 3-4 mm, y luego someter el varilla de alambre estirada a un proceso de temple isotérmico (patenting) intermedio y realizar un estiramiento secundario para reducirla a un diámetro de 1-2 mm. Luego se realiza el temple isotérmico final, seguido de un revestimiento de latón y un estiramiento final en húmedo hasta un diámetro de 0,15-0,40 mm. Un número de alambres de acero extra finos obtenidos mediante este proceso se retuercen para formar un cable trenzado, con lo que se fabrica el cable de acero.

20 Con el fin de reducir los costos de fabricación, se ha convertido en una práctica cada vez más común en los últimos años omitir el temple isotérmico intermedio mencionado anteriormente y estirar directamente el varilla de alambre laminada de enfriamiento controlado al diámetro final de 1 a 2 mm del temple isotérmico. Esto ha creado la necesidad de que la varilla de alambre laminada de enfriamiento controlado muestre buenas características de estiramiento directo, es decir, "capacidad de estiramiento", por lo que la demanda de alta ductilidad y alta trabajabilidad de la varilla de alambre se ha hecho muy grande.

25 La reducción del área, un índice de la ductilidad de las varillas de alambre sometidas a temple isotérmico, es una función del tamaño de grano de la austenita, y, dado que esto permite mejorar la reducción del área refinando el tamaño del grano de la austenita, se han realizado intentos para lograr el refinamiento del tamaño de grano de la austenita utilizando carburos y/o nitruros de elementos tales como Nb, Ti y B como partículas de fijación. La patente japonesa N° 2609387 enseña una mejora adicional de la tenacidad/ductilidad de las varillas de alambre extra finas mediante la incorporación de uno o más de Nb: 0,01-0,1% en peso, Zr: 0,05-0,1 % en peso y Mo: 0,02-0,5% en peso como elementos constitutivos. Además, la publicación de patente japonesa (A) No. 2001-131697 enseña el refinamiento del tamaño de grano de austenita usando NbC. Sin embargo, el alto precio de estos elementos de adición aumenta el costo. Además, el Ni forma carburo y nitruro gruesos y el Ti forma óxido grueso, de modo que cuando el alambre se estira hasta un diámetro fino de, por ejemplo, 0,40 mm o menos, puede producirse una rotura. Un estudio realizado por los inventores encontró que la fijación de BN no es fácilmente capaz de refinar el tamaño de grano de la austenita en un grado que afecte la reducción de área.

35 Además, la Publicación de Patente Japonesa (A) No. H8-3639 enseña la mejora de la capacidad de estirado de los alambres de alto contenido de carbono mediante la adopción de una temperatura de temple isotérmico más baja para ajustar la estructura de varilla de alambre a bainita. Sin embargo, es probable que la bainitización en línea de varilla de alambre laminada incremente el costo a un nivel alto porque requiere inmersión en sal fundida o similar y también es probable que degrade la capacidad de decapado mecánico.

40 La publicación de la patente europea EP 1 559 805 A1 describe una varilla de alambre de acero con alto contenido de carbono, que contiene de 0,65% a 1,20% de C, de 0,05% a 1,2% de Si, de 0,2% a 1,0% de Mn y de 0,35% o menos de Cr, estando el 80% o más de la estructura metálica constituida por perlita y se cumple una relación particular entre la resistencia a la tracción media TS y el espaciado laminar medio  $\lambda$ . La publicación de patente internacional WO 2007/001054 A1 describe una varilla de alambre compuesta principalmente por perlita que tiene una sección transversal en la que el promedio de la relación de área de estructuras no perlíticas consistentes en ferrita pro-eutectoide, pseudoperlita y bainita es de 5% o menos, o que tiene una porción que se extiende desde la capa superficial hasta una profundidad de hasta 100  $\mu\text{m}$ , siendo el promedio de la relación de área de las estructuras sin perlita de 10% o menos, cuya varilla de alambre de alta resistencia se produce al someter una varilla de alambre de acero duro de componentes específicos a laminación en caliente y, después de ello, ya sea por templado isotérmico directo en sal fundida o nueva austenización y posterior templado isotérmico en plomo o sal fundidos.

**COMPENDIO DE LA INVENCION**

45 La presente invención se concibió a la luz de las circunstancias anteriores. Su objetivo es proporcionar una varilla de alambre de alta resistencia, con una capacidad de estiramiento excelente, que es ideal para cables de acero y alambre de coser y aplicaciones similares con alta productividad, con buen rendimiento y bajo costo.

La invención es como se expone en las reivindicaciones adjuntas. En particular,

5 1) Una varilla de alambre de acero de alta resistencia, excelente en capacidad de estiramiento, que comprende una estructura de perlita con una relación de áreas del 97% o más y un resto de estructuras no perlíticas, incluyendo bainita, perlita degenerada y ferrita pro-eutectoide y que tiene un tamaño de bloque de perlita de no menos de 20  $\mu\text{m}$  y no más de 45  $\mu\text{m}$ , comprendiendo la varilla de alambre de acero, en % en peso

10 C: 0,70 al 1,10%,  
Si: 0,1 al 1,5%,  
Mn: 0,1 al 1,0%  
Al: 0,01% o menos,  
Ti: 0,01% o menos,  
15 N: 10 a 60 ppm en peso,  
B: no menos de  $(0,77 \times \text{N (ppm en peso)} - 17,4)$  ppm en peso o 5 ppm en peso, el que sea mayor, y no más de 52 ppm en peso, y, opcionalmente

20 que también comprende, en % en peso, uno o más miembros seleccionados del grupo que consiste en:

25 Cr: 0,03 al 0,5%,  
Ni: 0,5% o menos (sin incluir el 0%),  
Co: 0,5% o menos (sin incluir el 0%),  
V: 0,03 al 0,5%,  
Cu: 0,2% o menos (sin incluir el 0%),  
Mo: 0,2% o menos (sin incluir el 0%),  
W: 0,2% o menos (sin incluir el 0%), y  
Nb: 0,1% o menos (sin incluir el 0%)

30 El resto de Fe e impurezas inevitables

2) Un método de fabricación de varilla de alambre de acero de alta resistencia de acuerdo con 1), que comprende:

35 laminar en caliente un tocho de acero que tiene la composición química de 1),  
enrollar el acero laminado en caliente en el intervalo de temperaturas entre  $T_{\text{min}}$  mostrado abajo y 950° C, y someter el acero enrollado a temple isotérmico usando un método de enfriamiento en el que una velocidad de enfriamiento de entre 800 y 600° C es de 5° C/s o más, para tener el tamaño de bloque de perlita de no menos de 20  $\mu\text{m}$  y no más de 45  $\mu\text{m}$ ,

40 siendo  $T_{\text{min}}$  de 800° C cuando  $B$  (ppm en peso) -  $0,77 \times N$  (ppm en peso) > 0,0,

y

45 siendo  $T_{\text{min}} = 950 + 1450 / (B$  (ppm en peso) -  $0,77 \times N$  (ppm en peso) - 10)° C cuando  $B$  (ppm en peso) -  $0,77 \times N$  (ppm en peso)  $\leq 0,0$ .

50 3) Un alambre de acero con alto contenido de carbono, excelente en ductilidad, que se fabrica sometiendo la varilla de alambre de acero de 1) a temple isotérmico intermedio y estiramiento en frío y tiene una resistencia a la tracción (TS) de 2800 MPa o más.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

55 FIG. 1 es un diagrama que muestra cómo la deformación verdadera promedio en la fractura por estiramiento varió en función de la relación de área sin perlita.

FIG. 2 es un diagrama que muestra cómo el promedio de formación verdadera en la fractura por estiramiento varió en función de la resistencia a la tracción.

FIG. 3 es un diagrama que muestra cómo el promedio de deformación verdadera en la fractura por estiramiento varió en función del tamaño del bloque de perlita.

60 Descripción detallada de la invención

Los inventores realizaron estudios sobre cómo la composición química y las propiedades mecánicas de una varilla de alambre afectan su capacidad de estiramiento. Sus descubrimientos se exponen a continuación.

65 a) Aunque la resistencia a la tracción se puede mejorar al incrementar el contenido de metales de aleación tales como C, Si, Mn y Cr, un mayor contenido de estos metales de aleación reduce la capacidad de estiramiento, es decir, aumenta la frecuencia de rotura reduciendo el límite de trabajo durante el estiramiento.

b) La capacidad de estiramiento muestra una buena correlación con la resistencia a la tracción y la reducción del área de la fractura antes del estiramiento, es decir, después del tratamiento térmico, y se obtiene una muy buena capacidad de estiramiento cuando la reducción del área alcanza o supera un cierto valor en correspondencia con la resistencia a la tracción.

c) B forma un compuesto con N, y la cantidad de soluto sólido B se determina por las cantidades totales de B y N y la temperatura de calentamiento antes de la transformación en perlita. El soluto sólido B se segrega en los límites de grano de austenita. Durante el enfriamiento desde la temperatura de austenita en el momento del temple isotérmico, inhibe la generación de microestructuras gruesas y de baja resistencia como la bainita, la ferrita y la perlita degenerada que se originan en los límites de los granos de austenita, e inhibe particularmente la generación de bainita. Entre estas estructuras no perlíticas, la bainita es la que tiene el mayor efecto adverso sobre la capacidad de estirado. Bainita representa el 60% o más de las estructuras no perlíticas. Cuando el soluto sólido B es deficiente, el efecto anterior es mínimo y, cuando es excesivo, la transformación de perlita está precedida por la precipitación de  $Fe_{23}(CB)_6$  grueso que degrada la capacidad de estiramiento.

Este invento se logró en base a los hallazgos anteriores.

Los requisitos de la invención se explicarán ahora en detalle.

Estructura y propiedades mecánicas de la varilla de alambre:

Un estudio realizado por los inventores reveló que la capacidad de estiramiento de una varilla de alambre sometida a temple isotérmico está correlacionada con la cantidad de estructuras no perlíticas, tales como la ferrita proeutectoide, la perlita degenerada y la bainita, y que al restringir la fracción volumétrica de estas estructuras no perlíticas a menos del 3% se inhibe la aparición de grietas tempranas y mejora la capacidad de estiramiento durante el trefilado. Los presentes inventores descubrieron además que para reducir las estructuras que no perlíticas es efectivo agregar B, enrollar el acero laminado en caliente en un intervalo de temperaturas no inferior a  $T_{min}$  que se muestra a continuación, y someter el acero enrollado a temple isotérmico mediante un método de enfriamiento en el cual la velocidad de enfriamiento de entre 800 y 600° C es 5° C/s o mayor,

siendo  $T_{min}$  de 800° C cuando  $B$  (ppm en peso) -  $0,77 \times N$  (ppm en peso) > 0,0,

y

siendo  $T_{min}$  de  $T_{min} = 950 + 1450 / B$  (ppm en peso) -  $0,77 \times N$  (ppm en peso) - 10° C cuando  $B$  (ppm en peso) -  $0,77 \times N$  (ppm en peso)  $\leq 0,0$

Esto permite la fabricación de una varilla de alambre de alta resistencia con una capacidad de estiramiento excelente, que tiene una fracción de volumen sin perlita inferior al 3%. Se debe tener en cuenta que aunque el tamaño del bloque de perlita depende tanto del tamaño de grano de austenita como de la temperatura de transformación de perlita (de la velocidad de enfriamiento, en el caso de enfriamiento continuo), la dependencia de la temperatura de transformación es predominante en el caso de una varilla de alambre laminada porque un extremo engrosamiento del tamaño del grano de la austenita no se produce fácilmente. De esto se deduce que la aparición de un engrosamiento del bloque de perlita significa que la temperatura de transformación es alta (la velocidad de enfriamiento es baja). Cuando los granos de austenita se engrosan, se producen estructuras gruesas no perlíticas que degradan la capacidad de estiramiento incluso si se agrega B. Además, incluso cuando la temperatura de transformación es demasiado alta, se forma carburo B grueso en los límites del grano de austenita antes de la transformación de perlita, degradando así la capacidad de estiramiento. Por otro lado, cuando la temperatura de transformación es demasiado baja (la velocidad de enfriamiento es demasiado alta), la TS es demasiado alta y, como resultado, se reduce la capacidad de estiramiento. Los inventores encontraron que un tamaño de bloque de perlita de no menos de 20  $\mu m$  y no más de 45  $\mu m$  inhibe la aparición de las estructuras no perlíticas mencionadas anteriormente y del carburo de B grueso y también permite una TS adecuada, evitando así la degradación de la capacidad de estiramiento. Desde el punto de vista de la capacidad de decapado, la temperatura de enrollamiento es preferiblemente de 950° C o menos.

Composición química:

C: C es un elemento que mejora efectivamente la resistencia de la varilla de alambre. Sin embargo, con un contenido de menos del 0,70% en peso, no se puede hacer que C proporcione de manera fiable una alta resistencia de 2800 MPa o mayor al producto final, mientras que la estructura uniforme de perlita resulta difícil de lograr debido a la promoción de la precipitación de ferrita proeutectoide en los límites de grano austenítico. Cuando el contenido de C es excesivo, la cementita proeutectoide reticulada que surge en los bordes de grano de austenita causa una fácil rotura durante el trefilado y también degrada notablemente la tenacidad y la ductilidad de la varilla de alambre extrafino después del trefilado final. Por lo tanto, el contenido de C se define como de 0,70 a 1,10% en peso.

Si: Si es un elemento que efectivamente mejora la resistencia. También es un elemento útil como desoxidante y, como tal, es un elemento requerido cuando la invención se aplica a una varilla de alambre de acero que no contiene Al. La acción desoxidante del Si es demasiado baja en un contenido de menos de 0,1% en peso. Cuando el

contenido de Si es excesivo, promueve la precipitación de ferrita pro-eutectoide incluso en un acero hiper-eutectoide y también causa una reducción en el límite de trabajo durante el estiramiento. Además, dificulta el decapado mecánico (MD) en el proceso de estiramiento. Por lo tanto, el contenido de Si se define como de 0,1 a 1,5% en peso

5 Mn: Al igual que Si, Mn es también un elemento útil como desoxidante. Es además efectivo para mejorar la capacidad de endurecimiento y por lo tanto para mejorar la resistencia de la varilla de alambre. Mn también actúa para prevenir la fragilidad en caliente fijando S presente en el acero como MnS. Con un contenido de menos de 0,1% en peso, los efectos mencionados anteriormente no se obtienen fácilmente. Por otro lado, Mn es un elemento que precipita fácilmente. Cuando está presente en exceso del 1,0% en peso, se segrega particularmente en la región central de la varilla de alambre y, dado que la martensita y/o la bainita se forman en la región de segregación, la capacidad de estiramiento se degrada. Por lo tanto, el contenido de Mn se define como de 0,1 a 1,0% en peso.

10 Al: 0,01 % en peso o menos. Para garantizar que el Al no genere inclusiones no metálicas duras, no deformables, de alúmina, que degraden la ductilidad y la estirabilidad del alambre de acero, su contenido se define como 0,01% en peso o menos (incluido 0% en peso).

15 Ti: 0,01 % en peso o menos. Para garantizar que el Ti no genere un óxido duro e indeformable, que degrada la ductilidad y la capacidad de estiramiento del alambre de acero, su contenido se define como 0,01% en peso o menos (incluido 0% en peso).

20 N: de 10 a 60 ppm en peso. El N en el acero forma un nitruro con B y, por lo tanto, funciona para prevenir el engrosamiento del grano de austenita durante el calentamiento. Esta acción se exhibe efectivamente en un contenido de N de 10 ppm en peso o mayor. Sin embargo, con un contenido de N demasiado alto, los nitruros se forman excesivamente para disminuir la cantidad de soluto sólido B presente en la austenita. Además, el sólido-soluto N puede promover el envejecimiento durante el trefilado del alambre. Por lo tanto, el límite superior del contenido de N se define como 60 ppm en peso.

25 B: entre 5 ppm en peso o  $(0,77 \times N \text{ (ppm en peso)} - 17,4) \text{ ppm en peso}$  y 50 ppm en peso. Cuando B está presente en austenita en solución sólida, se segrega en los límites de grano e inhibe la precipitación de ferrita, perlita degenerada, bainita y similares en los límites del grano. Por otro lado, la adición excesiva de B tiene un efecto adverso sobre la capacidad de estiramiento porque promueve la precipitación de carburo grueso, es decir,  $\text{Fe}_{23}(\text{CB})_6$ , en la austenita. Por lo tanto, el límite inferior del contenido de B se define como 5 ppm en peso o  $(0,77 \times N \text{ (ppm en peso)} - 17,4) \text{ ppm en peso}$ , el que sea mayor, y el límite superior se define como 50 ppm en peso.

30 Los contenidos de las impurezas de P y S no están particularmente definidos, pero desde el punto de vista de lograr una buena ductilidad, el contenido de cada uno es preferiblemente del 0,02% en peso o menos, de manera similar a los alambres de acero extrafinos convencionales.

35 Aunque la varilla de alambre de acero utilizada en la presente invención tiene los elementos antes mencionados como sus componentes básicos, uno o más de los siguientes elementos aditivos opcionales pueden incluirse positivamente además con el fin de mejorar la resistencia, tenacidad, ductilidad y otras propiedades mecánicas:

40 Cr: de 0,03 a 0,5% en peso, Ni: 0,5% en peso o menos, Co: 0,5% en peso o menos, V: de 0,03 a 0,5% en peso, Cu: 0,2% en peso o menos, Mo: 0,2% en peso o menos, W: 0,2% en peso o menos y Nb: 0,1% en peso o menos (donde los intervalos de contenido de Ni, Co, Cu, Mo, W y Nb no incluyen el 0% en peso). Ahora se dará una explicación sobre estos elementos.

45 Cr: de 0,03 a 0,5% en peso. Dado que el Cr reduce la separación laminar, es un elemento eficaz para mejorar la resistencia, la estirabilidad y otras propiedades de la varilla de alambre. Para aprovechar al máximo estos efectos, el Cr se agrega preferiblemente en un contenido de 0,03% en peso o más. Sin embargo, con un contenido excesivo, el Cr prolonga el tiempo hasta la finalización de la transformación, lo que aumenta la probabilidad de que ocurra martensita, bainita y otras estructuras subenfriadas en la varilla de alambre laminado en caliente, y también degrada la capacidad de decapado mecánico. Por lo tanto, el límite superior del contenido de Cr se define como el 0,5% en peso.

50 Ni: 0,5% en peso o menos. Ni no contribuye sustancialmente a mejorar la resistencia de la varilla de alambre, pero es un elemento que mejora la tenacidad del alambre estirado. La adición de 0,1% en peso o mayor de Ni es preferible para hacer posible efectivamente esta acción. Sin embargo, en un contenido excesivo, Ni prolonga el tiempo hasta la finalización de la transformación. Por lo tanto, el límite superior del contenido de Ni se define como el 0,5% en peso.

55 Co: 1% en peso o menos. Co es un elemento eficaz para inhibir la precipitación de cementita pro-eutectoide en el producto laminado. La adición del 0,1% en peso o mayor de Co es preferible para permitir efectivamente esta acción. La adición excesiva de Co es económicamente inútil porque el efecto se satura. Por lo tanto, el límite superior del contenido de Co se define como el 0,5% en peso.

- 5 V: de 0,03 a 0,5% en peso. V forma carbonitruros finos en austenita, evitando así el engrosamiento de los granos de austenita durante el calentamiento y mejorando la ductilidad, y también contribuye a la mejora de la resistencia a la laminación posterior. La adición del 0,03% en peso o mayor de V es preferible para permitir efectivamente esta acción. Sin embargo, cuando se agrega el V en exceso, la cantidad de carbonitruros formados resulta demasiado grande y aumenta el diámetro del grano de los carbonitruros. Por lo tanto, el límite superior del contenido de V se define como el 0,5% en peso.
- 10 Cu: 0,2% en peso o menos. Cu mejora la resistencia a la corrosión del alambre de acero extra fino. La adición de 0,1% en peso o mayor de Cu es preferible para permitir efectivamente esta acción. Sin embargo, cuando se agrega Cu en exceso, reacciona con S para causar la segregación de CuS en los límites de grano. Como resultado, aparecen defectos en el lingote de acero, varilla de alambre, etc. en el curso de la fabricación de la varilla de alambre. Para evitar este efecto adverso, el límite superior del contenido de Cu se define como el 0,2% en peso.
- 15 Mo: Mo mejora la resistencia a la corrosión del alambre de acero extra fino. La adición del 0,1% en peso o mayor de Mo es preferible para facilitar efectivamente esta acción. Sin embargo, en un contenido excesivo, Mo prolonga el tiempo hasta la finalización de la transformación. Por lo tanto, el límite superior del contenido de Mo se define como el 0,2% en peso.
- 20 W: W mejora la resistencia a la corrosión del alambre de acero extra fino. La adición del 0,1% en peso o mayor de W es preferible para permitir efectivamente esta acción. Sin embargo, en un contenido excesivo, W prolonga el tiempo hasta la finalización de la transformación. Por lo tanto, el límite superior del contenido de W se define como el 0,2% en peso.
- 25 Nb: Nb mejora la resistencia a la corrosión del alambre de acero extra fino. La adición del 0,05% en peso o mayor de Nb es preferible para habilitar efectivamente esta acción. Sin embargo, en un contenido excesivo, Nb prolonga el tiempo hasta la finalización de la transformación. Por lo tanto, el límite superior del contenido de Nb se define como el 0,1% en peso.
- 30 Condiciones de estiramiento:  
Al someter la varilla de alambre de acero de acuerdo con el primer aspecto de esta invención a estiramiento en frío, se puede obtener un alambre de acero de alta resistencia, excelente en ductilidad, que se caracteriza por tener una resistencia a la tracción de 2800 MPa o más. La deformación real del alambre estirado en frío es de 3 o más, preferiblemente de 3,5 o más.
- 35 EJEMPLOS
- 40 La presente invención se explicará ahora más concretamente con referencia a ejemplos de trabajo. Sin embargo, la presente invención no se limita de ninguna manera a los siguientes ejemplos y debe entenderse que puede realizarse modificaciones apropiadas sin apartarse de la esencia de la presente invención y que todas estas modificaciones están dentro del alcance técnico de la presente invención.
- 45 Lingotes de acero de las composiciones mostradas en la Tabla 1 se calentaron y luego se laminaron en caliente transformándolos en varillas de alambre de 4 a 6 mm de diámetro. Las varillas de alambre se enrollaron a una temperatura predeterminada y se templaron isotérmicamente utilizando el proceso Stelmor.
- 50 La medición de la fracción volumétrica no perlítica se llevó a cabo incorporando resina en una sección en L de una varilla de alambre laminada, puliéndola con alúmina, corroyendo la superficie pulida con picral saturado y observándola con un microscopio electrónico de exploración (SEM). La región observada por el SEM se dividió en zonas de superficie, de 1/4 D y 1/2D (siendo D el diámetro del alambre) y 10 fotografías, cada una de un área que medía 50 x 40 µm, se tomaron en ubicaciones al azar en cada zona a una ampliación de x3000. La relación de área de porciones de perlita degenerada que incluían cementita granular dispersa, porciones de bainita que incluían cementita en forma de placa dispersada con una separación de tres o más veces la separación laminar de la porción de perlita circundante, y porciones de ferrita pro-eutectoide precipitadas a lo largo de austenita, se sometieron a procesamiento de imágenes y el valor obtenido por el análisis se definió como la fracción de volumen no perlítico.
- 55 El tamaño del bloque de perlita se determinó incorporando resina en una sección en L de la varilla de alambre, puliéndola, utilizando el análisis de EBSD para identificar regiones encerradas por límites de una diferencia de orientación de 9 grados como bloques individuales, y calculando el tamaño promedio de bloque a partir del volumen medio de los bloques.
- 60 Cada varilla de alambre sometida a temple isotérmico se limpió de la costra de óxido mediante decapado y luego se usó para preparar 10 varillas de alambre de 4 m de longitud provistas de un revestimiento de fosfato de zinc mediante revestimiento de Bonde. Las varillas de alambre así preparadas se sometieron a un estiramiento de una sola cabeza a una tasa de reducción de área de 16 a 20% por pasada usando dados, cada uno con un ángulo de aproximación de 25 grados. La capacidad de estiramiento se determinó promediando los valores del diámetro límite
- 65 y la deformación real en la fractura por estiramiento.

Tabla 1

N.º	Composiciones químicas (% en peso (excepto para B y N))																
	C	Si	Mn	P	S	B (ppm)	Al	Ti	N (ppm)	Cr	Mo	Ni	Cu	V	Co	w	Nb
1	Invencción	0,70	0,30	0,45	0,019	0,025	24	0,000	0,000	20	-	-	-	-	-	-	-
2	Invencción	0,82	0,20	0,51	0,015	0,013	15	0,000	0,000	12	0,20	-	-	-	-	-	-
4	Invencción	0,92	0,25	0,46	0,019	0,025	30	0,000	0,000	60	-	0,10	-	-	-	-	-
5	Invencción	0,87	1,20	0,5	0,008	0,007	46	0,001	0,000	50	0,20	-	-	-	-	-	-
6	Invencción	1,09	0,20	0,5	0,010	0,009	25	0,000	0,001	50	0,20	-	0,10	-	-	-	-
7	Invencción	0,92	0,60	0,5	0,025	0,020	30	0,001	0,000	25	-	-	-	-	-	0,10	0,10
8	Invencción	0,82	0,20	0,5	0,008	0,008	11	0,000	0,000	25	-	-	-	-	-	-	-
9	Invencción	0,82	0,20	0,5	0,008	0,008	11	0,000	0,000	33	-	0,10	-	-	-	-	-
10	Invencción	0,82	0,20	0,5	0,008	0,008	20	0,001	0,000	25	-	-	-	-	-	-	-
11	Invencción	0,82	0,20	0,5	0,008	0,008	20	0,000	0,000	35	-	-	-	-	-	-	-
A	Invencción	0,92	0,20	0,5	0,008	0,008	15	0,000	0,000	25	0,20	-	-	0,03	-	-	-
B	Invencción	0,92	0,20	0,5	0,008	0,008	10	0,000	0,000	21	0,20	-	-	0,06	-	-	-
C	Invencción	1,02	0,20	0,5	0,008	0,008	15	0,000	0,000	25	0,20	-	-	0,03	-	-	-
D	Invencción	1,02	0,20	0,5	0,008	0,008	10	0,000	0,000	21	0,20	-	-	0,06	-	-	-
E	Invencción	0,82	0,21	0,48	0,009	0,009	12	0,000	0,000	24	0,03	-	-	-	-	-	-
F	Invencción	0,82	0,19	0,51	0,009	0,009	11	0,000	0,000	25	0,06	-	-	-	-	-	-
G	Invencción	0,92	0,20	0,5	0,008	0,008	9	0,000	0,000	23	0,05	-	-	0,04	-	-	-
H	Invencción	1,01	0,20	0,5	0,008	0,009	10	0,000	0,000	23	0,05	-	-	0,03	-	-	-
I	Invencción	1,02	0,20	0,5	0,008	0,008	8	0,000	0,000	21	0,04	-	-	-	-	-	-
12	Comparativo	0,70	0,30	0,6	0,008	0,007	11	0,000	0,000	35	-	0,20	-	-	-	-	-
13	Comparativo	0,82	0,20	0,5	0,010	0,009	2	0,000	0,010	50	0,20	-	-	-	-	-	-

14	Comparativo	0,90	0,20	0,8	0,010	0,009	60	0,000	0,005	25	-	-	-	-	-	-	-
15	Comparativo	0,87	1,70	0,4	0,015	0,013	20	0,000	0,010	25	0,20	-	-	-	-	-	-
16	Comparativo	1,30	1,00	0,3	0,015	0,013	20	0,030	0,000	25	-	-	0,30	-	-	-	-
17	Comparativo	0,92	0,30	1,5	0,015	0,013	20	0,000	0,000	25	-	-	0,20	-	-	-	-
18	Comparativo	0,82	1,00	0,5	0,025	0,020	20	0,030	0,000	35	-	-	0,20	-	-	-	-
19	Comparativo	0,96	0,20	0,5	0,010	0,009	0	0,000	0,010	25	0,20	-	0,10	-	-	-	-
20	Comparativo	0,82	0,20	0,5	0,010	0,009	0	0,000	0,010	25	-	-	-	-	-	-	-
21	Comparativo	0,82	0,20	0,5	0,010	0,009	13	0,000	0,010	25	-	-	-	-	-	-	-
22	Comparativo	0,82	0,20	0,45	0,019	0,025	24	0,000	0,000	25	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 2

N.º	Diametro (mm)	Temperatura de enrollado o calentamiento (°C)	Método de temple isotérmico	Velocidad de enfriamiento (°C/s)	Resistencia del producto templado isotérmicamente (MPa)	Tamaño del bloque de perlita (µm)	Reducción del área (%)	Tmin (°C)	RA min (%)	Relación de área no perlítica (%)	Diametro de fractura por estiramiento (mm)	Deformación real de fractura por estiramiento	Observación
1	5,5	860	Stelmor	11	1077	30	61	800	41	1,2	1,9	2,1	
2	5,5	880	Stelmor	11	1185	32	56	800	43	2,4	2,6	1,5	
4	5,5	930	Stelmor	11	1277	43	55	895	37	2,5	2,9	1,3	
5	5,0	850	Stelmor	12	1375	22	41	800	47	2,5	2,8	1,2	
6	4,0	910	Stelmor	14	1442	37	38	888	35	2,8	2,4	1,0	
7	6,0	870	Stelmor	10	1324	29	56	800	44	2,8	2,9	1,5	
8	5,5	880	Stelmor	12	1196	28	55	871	45	1,3	2,7	1,4	
9	5,5	900	Stelmor	12	1203	35	56	891	41	2,2	2,7	1,4	
10	5,5	870	Stelmor	11	1169	24	57	800	46	2,1	2,4	1,7	
11	5,5	875	Stelmor	13	1196	31	54	864	43	1,9	2,6	1,5	
A	5,5	870	Stelmor	13	1274	32	49	848	43	1,9	2,9	1,3	
B	5,5	870	Stelmor	13	1274	27	51	860	46	1,7	2,9	1,3	
C	5,5	870	Stelmor	13	1353	30	41	848	43	1,7	2,9	1,3	
D	5,5	870	Stelmor	13	1353	28	46	860	44	1,5	2,9	1,3	
E	5,5	870	Stelmor	13	1195	31	44	862	43	1,6	2,8	1,3	
F	5,5	875	Stelmor	13	1196	32	45	871	43	1,8	2,9	1,3	
G	5,5	875	Stelmor	13	1274	29	46	873	45	2,1	2,9	1,3	
H	5,5	875	Stelmor	14	1345	32	46	868	42	2,0	2,9	1,3	
I	5,5	875	Stelmor	13	1353	35	42	870	40	1,6	3,0	1,2	

12	5,5	850	Stelmor	10	1128	30	33	894	43	3,5	3,7	0,8	Pro- eutectoide $\theta$
13	5,5	870	Stelmor	10	1169	34	39	919	42	4,5	3,4	1,0	Pro- eutectoide $\theta$
14	5,5	860	Stelmor	11	1270	38	56	800	40	3,9	3,5	0,9	Pro- eutectoide $\alpha$
15	5,5	870	Stelmor	12	1435	36	28	800	36	12,6	4,0	0,7	pro- eutectoide $\theta$
16	5,5	870	Stelmor	11	1657	32	23	800	22	4,7	4,1	0,6	micro- martensita
17	5,5	860	Stelmor	12	1352	26	39	800	45	3,8	3,6	0,8	Sin B
18	5,5	820	Stelmor	11	1305	22	39	864	49	8,2	3,3	1,0	Sin B
19	5,5	905	Stelmor	11	1306	36	42	900	40	3,6	4,1	0,4	Sin B
20	5,5	905	Stelmor	11	1186	32	41	900	43	3,4	3,1	1,1	Enfr. rápido
21	5,5	885	Stelmor	40	1316	16	33	861	51	2,7	3,9	1,0	Enfr. lento
22	5,5	880	Aire	2	1020	52	28	800	31	2,7	3,1	0,6	

La Tabla 1 muestra las composiciones químicas de los productos evaluados, y la Tabla 2 muestra sus condiciones de prueba, el diámetro del grano de austenita y sus propiedades mecánicas.

5 En las Tablas 1 y 2, 1 a 11 y A a I son aceros de la invención y 12 a 22 son aceros comparativos.

10 12 y 18 son casos en los que la reducción del área fue baja debido a que una baja temperatura de enrollamiento provocó que el nitruro y carburo de B se precipitaran antes del temple isotérmico y, por lo tanto, es imposible obtener un B soluto sólido adecuado, 13, 19 y 20 son casos en los que la reducción del área era baja porque la cantidad de B agregado era baja o nula. 14 es un caso en el que la reducción del área fue baja porque el contenido excesivo de B causó una fuerte precipitación de carburo B y cementita pro-eutectoide en los límites de los granos de austenita. 15 es un caso en el que la precipitación de ferrita pro-eutectoide no se pudo inhibir porque el contenido de Si era excesivo. 16 es un caso en el que la precipitación de cementita pro-eutectoide no pudo ser inhibida porque el contenido de C era excesivo. 17 es un caso en el que la formación de micromartensita no pudo ser inhibida porque el contenido de Mn era excesivo. 21 es un caso en el que la ductilidad era deficiente debido a que una velocidad de enfriamiento excesivamente alta durante el temple isotérmico hizo que el valor de TS fuera alto para el contenido de C. La alta velocidad de enfriamiento refinó el tamaño del bloque. 22 es un caso en el que la ductilidad era deficiente debido a que una baja velocidad de enfriamiento durante el temple isotérmico aumentaba el tamaño del bloque.

20 FIG. 1 es un diagrama que muestra cómo la deformación verdadera promedio en la fractura por estiramiento varió en función de la relación de área no perlítica en la invención y los aceros comparativos. Los aceros de la invención tenían un alto promedio de deformación verdadera en la fractura y exhibían buena capacidad de estiramiento. Sin embargo, el límite de estiramiento también depende de la TS. Por lo tanto, en la Figura 2 se muestra cómo varió la deformación media verdadera en la fractura al estirar en función de la resistencia a la tracción. Una comparación de los aceros de la invención y los comparativos a la misma TS muestra que los aceros de la invención eran de deformación verdadera promedio más alta y exhibían una capacidad de estiramiento superior. FIG. 3 se refiere a aquellos entre los alambres de acero que tienen composiciones químicas y condiciones de calentamiento que se encuentran dentro de los intervalos de la presente invención que eran ejemplos cuya TS estaba dentro del intervalo de 1000 a 1300 MPa. El diagrama muestra cómo el promedio de deformación real en la fractura varió en función del tamaño del bloque de perlita. La capacidad de estiramiento superior se presentó cuando el tamaño del bloque de perlita estaba en el intervalo de no menos de 20  $\mu\text{m}$  y no más de 45  $\mu\text{m}$ .

En las FIGS. 1 a 3,  $\blacklozenge$  indica un acero de la invención y  $\square$  representa un acero comparativo.

35 Esta invención permite la fabricación de cables de acero utilizables como material de refuerzo en, por ejemplo, neumáticos radiales, diversos tipos de correas industriales y similares, y también de varilla de alambre laminada adecuado para uso en aplicaciones como el alambre de coser.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Una varilla de alambre de acero de alta resistencia excelente en capacidad de estirado en bruto, que comprende, en % en peso:
- 10 C: de 0,70 a 1,10%,  
Si: de 0,1 a 1,5%,  
Mn: de 0,1 a 1,0%  
Al: de 0,01% o menos,  
Ti: 0,01% o menos,  
N: de 10 a 60 ppm en peso,  
B: no menos de  $(0,77 \times N \text{ (ppm en peso)} - 17,4) \text{ ppm en peso}$  o 5 ppm en peso, el que sea mayor, y no más de 52 ppm en peso, opcionalmente uno o más miembros seleccionados del grupo que consiste en:
- 15 Cr: de 0,03 a 0,5%,  
Ni: 0,5% o menos, pero sin incluir el 0%,  
Co: 0,5% o menos, pero sin incluir el 0%,  
V: de 0,03 a 0,5%,  
20 Cu: 0,2% o menos, pero sin incluir el 0%,  
Mo: 0,2% o menos, pero sin incluir el 0%,  
W: 0,2% o menos, pero sin incluir el 0%, y  
Nb: 0,1% o menos, pero sin incluir el 0%, y
- 25 el resto de Fe e impurezas inevitables, comprendiendo la varilla de alambre una estructura de perlita con una relación de área de 97% o más y un resto de estructuras no perlíticas que incluyen bainita, perlita degenerada y ferrita pro-eutectoide y que tienen un tamaño de bloque de perlita de no menos de 20  $\mu\text{m}$  y no más de 45  $\mu\text{m}$ .
- 30 2. Un método de fabricación de varilla de alambre de acero de alta resistencia según la reivindicación 1, que comprende:
- 35 laminar en caliente de un tocho de acero que tiene la composición química según la reivindicación 1, enrollar el acero laminado en caliente en el intervalo de temperaturas de entre  $T_{\text{min}}$  mostrado a continuación y 950° C, y someter el acero enrollado a temple isotérmico utilizando el proceso de Stelmor, en el que una velocidad de enfriamiento de entre 800 y 600° C es de 5° C/s o más para tener el tamaño de bloque de perlita de no menos de 20  $\mu\text{m}$  y no más de 45  $\mu\text{m}$ ,
- 40 siendo  $T_{\text{min}}$  de 800° C cuando  $B \text{ (ppm en peso)} - 0,77 \times N \text{ (ppm en peso)} > 0,0$ ,
- y
- siendo  $T_{\text{min}}$ ,  $T_{\text{min}} = 950 + 1450 / (B \text{ (ppm en peso)} - 0,77 \times N \text{ (ppm en peso)} - 10)^\circ\text{C}$  cuando  $B \text{ (ppm en peso)} - 0,77 \times N \text{ (ppm en peso)} \leq 0,0$ .
- 45 3. Un alambre de acero con alto contenido de carbono, excelente en ductilidad, que se fabrica sometiendo la varilla de alambre de acero de la reivindicación 1 a temple isotérmico intermedio y estirado en frío y que tiene una resistencia a la tracción (TS) de 2800 MPa o más.

Fig.1

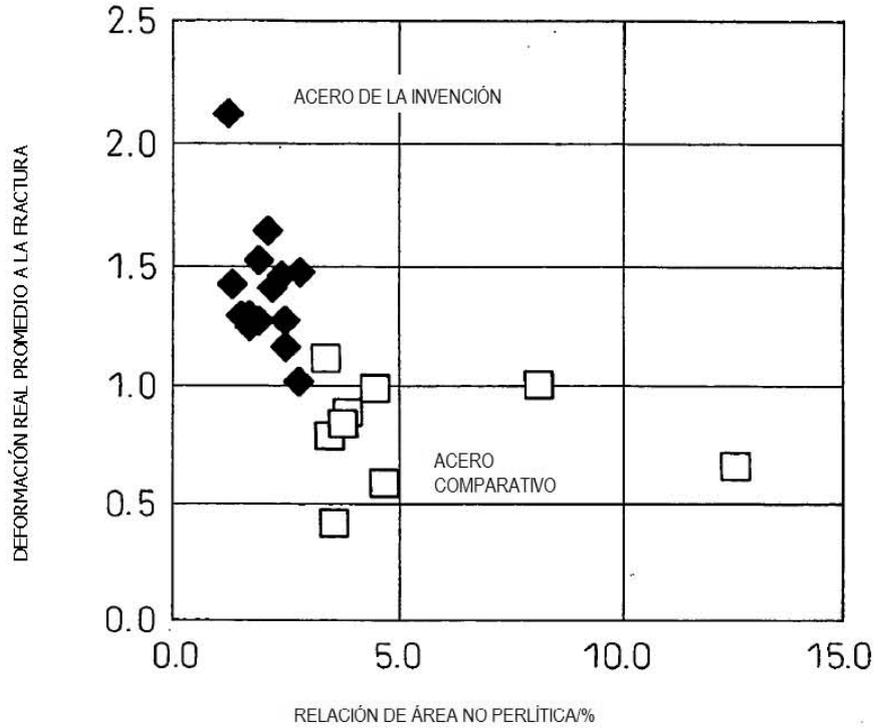


Fig.2

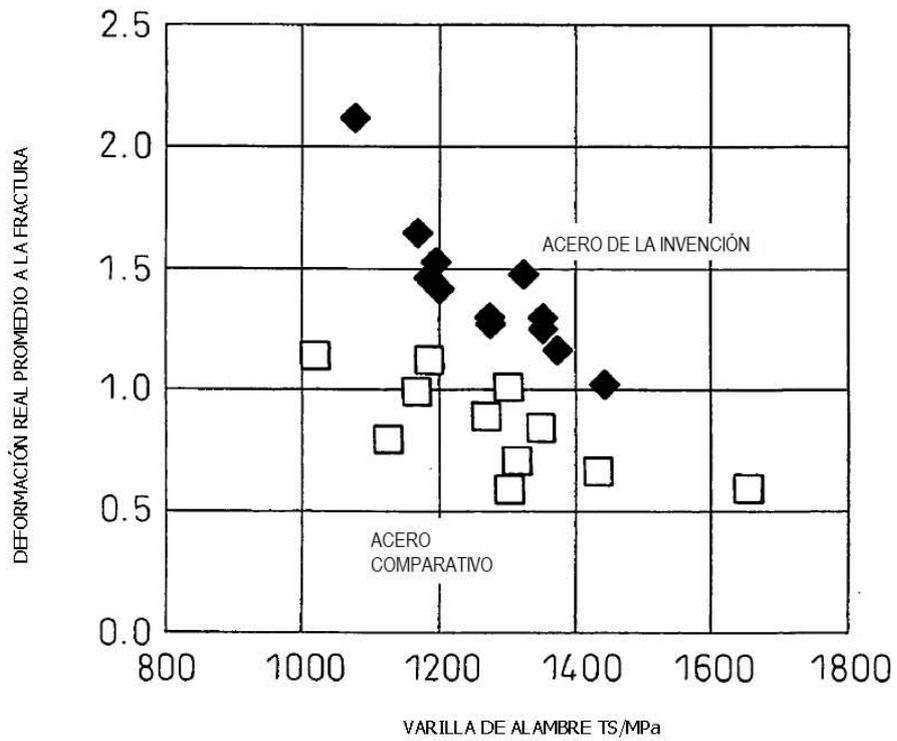


Fig.3

