

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 734 903**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00 (2006.01)

C21D 9/52 (2006.01)

C22C 38/14 (2006.01)

C22C 38/54 (2006.01)

C21D 6/00 (2006.01)

C21D 8/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.04.2007 PCT/JP2007/058897**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.04.2008 WO08044356**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.04.2007 E 07742332 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.06.2019 EP 2083094**

54 Título: **Alambre de acero de alta resistencia excelente en ductilidad y proceso para fabricar el mismo**

30 Prioridad:

12.10.2006 JP 2006278781

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

12.12.2019

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 2 734 903 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

Alambre de acero de alta resistencia excelente en ductilidad y proceso para fabricar el mismo

Esta invención se refiere a una varilla de acero, al alambre de acero y a un método para fabricar la varilla de acero y el alambre de acero. Más particularmente, esta invención se refiere al cable de acero utilizado, por ejemplo, para reforzar neumáticos radiales, varios tipos de correas industriales y similares, a varilla de acero enrollada 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 barra de alambre enrollada mencionada anteriormente como material de partida.

En el caso del cable de acero para el cable de acero utilizado como material para reforzar neumáticos radiales de vehículos y varios tipos de correas y mangueras, o cable de acero para aplicaciones de costura, la práctica general es someter a un cable de acero laminado en caliente y varilla a enfriamiento controlado de 5-6 mm de diámetro en un primer estirado para reducirlo a un diámetro de 3-4 mm y luego patentar la varilla de alambre reducida y realizar un estirado secundario para reducirlo a un diámetro de 1-2 mm. Luego se realiza el patentado final, seguido de un revestimiento de latón y un estirado final en húmedo hasta un diámetro de 0,15-0,40 mm. Un número de alambres de acero extrafinos obtenidos por este proceso se trenzan para formar un cable trenzado, fabricándose de este modo un cordón de acero.

La rotura que se produce cuando la varilla de alambre se está procesando en alambre de acero o cuando el alambre de acero se está trenzando generalmente causa grandes disminuciones en la productividad y el rendimiento. Por lo tanto, es un requisito importante que la varilla de alambre y el alambre de acero que caen en el campo técnico mencionado anteriormente no se rompan durante el estirado o el trenzado. Si bien la rotura puede ocurrir durante cualquiera de los procesos de estirado, ocurre con mayor facilidad durante el estirado final húmedo cuando el diámetro del alambre de acero procesado es extremadamente fino.

Además, los últimos años han visto un movimiento creciente hacia el cable de acero más ligero y productos similares para diversos propósitos. Esto requiere que los productos mencionados ofrezcan una alta resistencia de un nivel que no se puede lograr con una varilla de alambre de acero al carbono, etc. con un contenido de C de menos del 0,7% en masa, de modo que haya un mayor uso de alambre de acero con un contenido de C del 0,75% en masa o mayor. Sin embargo, aumentar el contenido de C degrada la capacidad de estirado y, por lo tanto, conduce a roturas más frecuentes. Como resultado, se siente una gran necesidad de que la varilla de alambre logre una alta resistencia del alambre de acero a fuerza de abundante contenido de C y que también es excelente en capacidad de estirado.

En respuesta a los requisitos industriales recientes, se han propuesto varias técnicas para mejorar la capacidad de estirado de los alambres de alto contenido en carbono como el control de la segregación y/o la microestructura o mediante la incorporación de elementos especiales.

Por ejemplo, la patente japonesa núm. 2609387 enseña "una varilla de alambre para alambre de acero extrafino de alta resistencia y alta tenacidad, un alambre de acero extrafino de alta resistencia y alta tenacidad, un producto trenzado que utiliza el alambre de acero extrafino y un método para fabricar el alambre de acero extrafino," en el que el acero tiene una composición química específica y se prescribe la relación del área promedio de contenido de cementita proeutectoide. Sin embargo, la varilla de alambre enseñada por esta patente es costosa de fabricar porque requiere la inclusión de uno o ambos elementos caros Ni y Co.

Por otro lado, la reducción del área de la varilla de alambre patentada es una función del tamaño de grano de austenita, y dado que esto hace posible mejorar la reducción del área al refinar el tamaño de grano de austenita, se han realizado intentos para lograr el refinamiento del tamaño de grano de austenita mediante la utilización de carburos y/o nitruros de elementos tales como Nb, Ti y B como partículas de anclaje. La patente japonesa núm. 2609387 enseña una mejora adicional de la tenacidad/ductilidad de los alambres extrafinos mediante la incorporación de uno o más de Ni: 0,01-0,1% en masa, Zr: 0,05-0,1% en masa y Mo: 0,02% a 0,5% en masa como elementos constituyentes. Además, la publicación de patente japonesa (A) núm. 2001-131697 enseña la disminución del diámetro de grano de austenita utilizando NbC. Sin embargo, el alto precio de estos elementos de adición aumenta el costo. Además, el Ni forma carburo grueso y nitruro y el Ti forma óxido grueso, de modo que cuando el alambre se estira a un diámetro fino de, por ejemplo, 0,40 mm o menos, puede producirse una rotura. Un estudio llevado a cabo por los inventores encontró que la fijación de BN no es fácilmente capaz de refinar el diámetro del grano de austenita en un grado que afecte a la reducción del área.

Además, las publicaciones de patentes japonesas (A) núm. 2000-309849, S56-44747 y H01-316420 enseñan el mejoramiento de la capacidad de estirado de la varilla de alambre de alto carbono utilizando Ti y B para fijar el soluto sólido N. Sin embargo, los informes publicados en los últimos años señalan que la capacidad de estirado no puede mejorarse fácilmente fijando el soluto antes del estirado debido a que la descomposición de la cementita en el cable durante el estirado incrementa la cantidad de soluto sódico C.

Además, aunque las publicaciones de patentes japonesas (A) núm. 2000-355736 y 2004-137597 enseñan la utilización del sólido soluto B para inhibir la precipitación de ferrita, conllevan un alto riesgo de rotura del alambre porque no tienen en cuenta el hecho de que el sólido soluto B promueve la precipitación de cementita gruesa ($Fe_{23}(CB)_6$).

El documento JP H06-49592A describe una varilla de alambre de acero de alto carbono para alambre de acero que tiene alta resistencia y alta ductilidad y que es excelente en características de fatiga, en cuyo alambre la ductilidad y capacidad de estirado se refuerzan mediante el refinado del espaciado laminar.

5 El documento JP 2005-126765A describe un alambre de acero de alto carbono extrafino que tiene alta resistencia y excelente ductilidad sin causar exfoliación en el trenzado de alta velocidad.

La presente invención fue concebida a la luz de las circunstancias anteriores. Su objetivo es proporcionar varilla de alambre cuya excelente capacidad de trabajo en frío, particularmente su excelente capacidad de estiramiento, la haga ideal para cables de acero, alambre de costuras y similares, y también proporcionar alambres de acero hechos de varilla como material de partida con alta productividad y buen rendimiento.

10 El objeto arriba indicado se puede alcanzar por las características definidas en las reivindicaciones.

La invención se describe con detalle en conjunción con los dibujos, en los que:

La figura 1 es un diagrama que muestra como la reducción de área varía en función de la relación de área sin perlita,

La figura 2 es un diagrama que muestra como la reducción de área varía en función del tamaño del bloque de perlita, y

15 La figura 3 es un diagrama que muestra como la reducción real del área varía en función de la reducción del límite inferior del área R_{Amin} calculada de acuerdo con la expresión (1).

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

20 a) Aunque la resistencia a la tracción se puede aumentar al aumentar 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 estirado, es decir aumenta la frecuencia de rotura al reducir el límite de trabajo durante el estirado.

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

30 c) El B forma un compuesto con el N, y la cantidad de soluto sólido de B se determina por las cantidades totales de B y de N y la temperatura de calentamiento antes de la transformación con perlita. El soluto sólido de B se segrega en los límites de grano de austenita. Durante el enfriamiento de la temperatura de austenita en el momento de la patente, inhibe la generación de microestructuras gruesas y de baja resistencia, tales como la bainita, la ferrita y la perlita degenerada que se originan en los límites de los granos de austenita y particularmente inhibe la generación de bainita. Entre estas estructuras no perlíticas, la bainita es la que tiene el mayor efecto adverso sobre la capacidad de estirado. La bainita representa el 60% o más de las estructuras sin perlitas. Cuando el soluto sólido de 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 estirado.

35 Esta invención 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:

40 Se sabe que la reducción del área de la varilla de alambre patentada se mejora al refinar el tamaño del bloque de perlita, que es sustancialmente proporcional al diámetro del grano de austenita, a $10\mu m$ o menos, y que los precipitados TiN, AlN, NbC, etc. contribuyen al refinamiento del grano de austenita. Sin embargo, en una varilla de alambre para cable de acero, la adición de Ti y/o Al es difícil porque los óxidos gruesos que se forman provocan la rotura del alambre. El uso de Nb también es difícil porque existe un riesgo de formación de NbC grueso. Si se debe lograr un refinamiento del tamaño de bloque de perlita sin usar estos precipitados, es necesario bajar la temperatura de calentamiento de la austenita y/o acortar el tiempo de calentamiento. Pero tal método es difícil de implementar en una operación real porque hace que el control estable y fino del diámetro de grano de austenita sea extremadamente difícil. En contraste, esta invención por permitir la mejora de la reducción del área de la varilla de alambre, sin necesidad de un marcado refinamiento del tamaño del bloque, al restringir las estructuras de sin perlita constituidas por ferrita, perlita degenerada y bainita presentes en la varilla de alambre patentada al 3% o menos.

50 Los inventores descubrieron que la reducción de la fractura del área RA de la varilla de alambre utilizada convencionalmente se correlaciona con la resistencia a la tracción RT y el tamaño del bloque de perlita de la siguiente manera:

ES 2 734 903 T3

$$RA \geq RA_{\min} \dots (1)$$

donde $RA_{\min} = a - b \times$ tamaño del bloque de perlita (μm),

$$a = -0,0001187 \times RT \text{ (MPa)}^2 + 0,31814 \times RT \text{ (MPa)}^2 - 151,32 \quad (2)$$

$$b = 0,0007445 \times RT \text{ (MPa)} - 0,3753 \dots (3)$$

5 Además determinaron que los puntos de inicio de las grietas que se producen durante las pruebas de tracción son estructuras sin perlitas que no exhiben estructuras laminares regulares, específicamente ferrita proeutectoide que se produce en los antiguos límites de granos γ , bainita y/o perlita degenerada, y descubrieron que la reducción de la fractura del área se puede mejorar sensiblemente al restringir la fracción de estructura sin perlita al 3% o menos, y que para reducir las estructuras sin perlitas es efectivo agregar B y regular la temperatura de calentamiento antes de patentar de acuerdo con la cantidad de B agregado, específicamente para conducir el calentamiento antes de patentar a una temperatura entre la temperatura de calentamiento mínima T_{\min} definida por la expresión a continuación y 1100°C y realizar una patente en una atmósfera de 500°C a 650°C , en la cual la velocidad de enfriamiento entre 800°C y 650°C es de 50°C/s o mayor:

10 siendo dicha temperatura de calentamiento mínima $T_{\min} 850^\circ \text{C}$ cuando $B \text{ (ppm en masa)} - 0,77 \times N \text{ (ppm en masa)} > 0,0$, y

15 siendo dicha temperatura de calentamiento mínima $T_{\min} = 1000 + 1450 / B \text{ (ppm en masa)} - 0,77 \times N \text{ (ppm en masa)} - 10^\circ \text{C}$ cuando $B \text{ (ppm en masa)} - 0,77 \times N \text{ (ppm en masa)} \leq 0,0$.

Esto permite la fabricación de una varilla de alambre de alta resistencia que tiene la reducción del área definida por la expresión (1).

20 Composición química:

C: el C es un elemento que mejora efectivamente la resistencia de la varilla de alambre. Sin embargo, con un contenido de menos de 0,70 % en masa, no se puede hacer que C facilite de forma confiable una alta resistencia al producto final, mientras que la estructura uniforme de perlita se vuelve difícil de lograr debido a la promoción de la precipitación de ferrita proeutectoide en los límites de grano de austenita. Cuando el contenido de C es excesivo, la cementita proeutectoide reticulada que surge en los límites de grano de austenita provoca una fácil rotura durante el trefilado del alambre y también degrada notablemente la tenacidad y ductilidad de la varilla de alambre extrafina después del trefilado final. Por lo tanto, el contenido de C se define como 0,70 a 1,10 % en masa.

Si: el Si es un elemento que efectivamente mejora la resistencia. Es también un elemento útil como desoxidante y, como tal, es un elemento requerido cuando la invención se aplica a una varilla de acero que no contiene Al. La acción desoxidante del Ti es demasiado baja con un contenido de menos de un 0,1 % en masa. Cuando el contenido de Si es excesivo, promueve la precipitación de ferrita proeutectoide incluso en un acero hiper-eutectoide y también cauda una reducción en el límite de trabajo durante el estirado. Además, dificulta la descalcificación mecánica (DM) en el proceso de estirado. Por lo tanto, el contenido de Si se define como 0,1 a 1,5 % en masa.

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

Al: 0,01 % en masa o menos. Para garantizar que el Al no genere inclusiones no metálicas duras, no deformables de alúmina que degradan la ductilidad y la capacidad de estirado del cable de acero, su contenido se define como un 0,01 % en masa o menos (incluido 0 % en masa).

Ti: 0,01 % en masa o menos. Con el fin de garantizar que el Ti no genere un óxido duro e indeformable que degrade la ductilidad y la capacidad de estirado del alambre de acero, su contenido se define como un 0,01 % en masa o menos (incluido 0 % en masa).

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

B: entre 3 ppm en masa o $(0,77 \times N \text{ (ppm en masa)} - 17,4) \text{ ppm en masa}$ y 52 ppm en masa. Cuando el B está

5 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 de 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, a saber, $\text{Fe}_{23}(\text{CB})_6$ en la austenita. Por lo tanto, el límite inferior del contenido de B se define como 3 ppm en masa o $(0,77 \times \text{N (ppm en masa)} - 17,4)$ ppm en masa, el que sea mayor, y el límite superior se define como 52 ppm en masa.

Los contenidos de 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 de un 0,02 % en masa o menos, de forma similar a los alambres de acero extrafinos convencionales.

10 Aunque la barra 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 opcionales pueden incluirse positivamente además con el fin de mejorar la resistencia, tenacidad, ductilidad y otras propiedades mecánicas:

15 Cr: 0,03 a 0,5 % en masa, Ni: 0,5 % en masa o menos, Co: 0,5 % en masa o menos, V: 0,03 a 0,5 % en masa, Cu: 0,2 % en masa o menos, Mo: 0,2 % en masa o menos, W: 0,2 % en masa o menos, y Nb: 0,1 % en masa o menos (donde los intervalos de contenido de Ni, Co, Cu, Mo, W y Nb no incluyen 0 % en masa). Ahora se hará una explicación con relación a estos elementos.

20 Cr: 0,03 a 0,5 % en masa. Dado que el Cr reduce el espacio entre láminas, es un elemento eficaz para mejorar la resistencia, la capacidad de estiramiento y otras propiedades de la varilla de alambre. Para aprovechar al máximo estos efectos, el Cr se agrega preferiblemente con un contenido de 0,03 % en masa o mayor. Sin embargo, en un contenido excesivo, el Cr prolonga el tiempo hasta la finalización de la transformación, lo que incrementa la probabilidad de que se produzcan martensita, bainita y otras estructuras subenfriadas en la varilla de alambre laminado en caliente, y también degrada la capacidad de descalcificación mecánica. Por lo tanto, el límite superior del contenido de Cr se define como 0,5 % en masa.

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

30 Co: 1 % en masa o menos. El Co es un elemento eficaz para inhibir la precipitación de cementita proeutectoide en el producto laminado. La adición de 0,1 % en masa o mayor de Co es preferible para habilitar eficazmente esta acción. La adición excesiva de Co es económicamente un desperdicio porque el efecto se satura. Por lo tanto, el límite superior de contenido de Co se define como 0,5 % en masa.

35 V: 0,03 a 0,5 % en masa. El V forma carbonitruros finos en austenita, evitando de esta manera el engrosamiento de los granos de austenita durante el calentamiento y mejorando la ductilidad, y también contribuye a la mejora de la resistencia posterior a la laminación. La adición de 0,03 % en masa o mayor de V es preferible para habilitar eficazmente esta acción. Sin embargo, cuando se agrega el V en exceso, la cantidad de carbonitruros formados se vuelve demasiado grande y aumenta el diámetro del grano de carbonitruros. Por lo tanto, el límite superior del contenido de V se define como 0,5 % en masa.

40 Cu: 0,2 % en masa o menos. El Cu mejora la resistencia a la corrosión del alambre de acero extrafino. La adición de 0,1 % en masa o mayor de Cu es preferible para habilitar eficazmente esta acción. Sin embargo, cuando se agrega Cu en exceso, reacciona con el S para provocar la segregación de CuS en los límites del grano. Como resultado, se producen fallas en el lingote de acero, varilla de alambre, etc. en el curso de la fabricación de varilla de alambre. Para impedir este efecto adverso, el límite superior de contenido de Cu se define como 0,2 % en masa.

45 Mo: el Mo mejora la resistencia a la corrosión del alambre de acero extrafino. La adición de 0,1 % en masa o mayor de Mo es preferible para habilitar eficazmente esta acción. Sin embargo, en un contenido excesivo, el Mo prolonga el tiempo hasta la finalización de la transformación. Por lo tanto, el límite superior del contenido de Mo se define como 0,2 % en masa.

50 W: el W mejora la resistencia a la corrosión del alambre de acero extrafino. La adición de 0,1 % en masa o mayor de W es preferible para habilitar eficazmente esta acción. Sin embargo, en un contenido excesivo, el W prolonga el tiempo hasta la finalización de la transformación. Por lo tanto, el límite superior del contenido de W se define como 0,2 % en masa.

55 Nb: el Nb mejora la resistencia a la corrosión del alambre de acero extrafino. La adición 0,05 % en masa o mayor de Nb es preferible para habilitar eficazmente esta acción. Sin embargo, en un contenido excesivo, el Nb prolonga el tiempo hasta la finalización de la transformación. Por lo tanto, el límite superior del contenido de Nb se define como 0,1 % en masa.

Condiciones del estirado:

5 Al someter a la varilla de alambre de acero según el aspecto 1) de esta invención al estirado 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 2.800 MPa o más. La tensión real del cable estirado en frío es 3 o mayor, preferiblemente 3,5 o mayor.

Ejemplos

10 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 se pueden realizar modificaciones apropiadas sin apartarse de la presente invención y que todas estas modificaciones están dentro del alcance técnico de la presente invención.

Las varillas de alambre de acero duro de las composiciones mostradas en la Tabla 1 se prepararon para un diámetro de 1,2 a 1,6 mm mediante patentado y estirado y luego se realizó el patentado mediante baño de plomo (LP) o patentado mediante baño de lecho fluidificado (FBP).

15 La medición de la fracción volumétrica sin perlita se llevó a cabo incorporando resina en una sección en L de una varilla de alambre enrollada, puliéndola con alúmina, decapando la superficie pulida con picral saturado y observándola con un microscopio electrónico de escaneo (MEE). La zona observada con el MEE se dividió superficialmente, 1/4D y 1/2D zonas (siendo D el diámetro del alambre) y se tomaron 10 fotografías, cada una de un área que mide 50 x 40 μm , en ubicaciones al azar en cada zona con una ampliación de x3000. La relación de área de las porciones de perlita degenerada que incluyen cementita granular dispersa, las porciones de bainita que incluyen la cementita en forma de placa dispersada con una separación de tres o más veces la separación laminar de la porción de perlita circundante, y las porciones de ferrita proeutectoide 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 sin perlita.

25 El tamaño del bloque de perlita de la barra de alambre patentada se determinó incorporando la resina en una sección en L de la barra de alambre, puliéndola, utilizando el análisis EBSP para identificar zonas encerradas por límites de una diferencia de orientación de 9 grados como bloques individuales, y calculando el tamaño promedio del bloque a partir del volumen medio de los bloques.

30 Después de que la varilla de alambre patentada hubiera sido limpiada de escamas mediante decapado, se aplicó un revestimiento de fosfato de zinc mediante un recubrimiento de Bonde y se sometió a un estirado continuo a una tasa de reducción del área del 16 al 20% por pasada utilizando mandriles, cada uno con un ángulo de aproximación de 10 grados, obteniendo de esta manera una varilla de alambre estirado de alta resistencia de un diámetro de 0,18 a 0,30 mm.

Tabla 1

No.	Composiciones químicas (% en masa (excepto para el B y el N))																
	C	S	Mn	P	S	B, (ppm)	Al	Ti	N (ppm)	Cr	Mo	N	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	-	-	-	-	-	-
3	Invencción	0.82	0.20	0.49	0.010	0.007	16	0.000	0.000	50	-	-	-	-	-	-	-
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	1.06	0.20	0.5	0.010	0.009	25	0.000	0.001	50	0.20	-	-	-	-	-	-
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	34	-	-	-	-	-	-	-
9	Invencción	0.82	0.20	0.5	0.008	0.008	11	0.000	0.000	20	-	-	-	-	-	-	-
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	-	-	-	-	-	-	-
12	Invencción	0.82	0.20	0.5	0.000	0.000	11	0.000	0.000	35	-	-	-	-	-	-	-
13	Invencción	0.82	0.20	0.5	0.008	0.008	15	0.000	0.000	25	-	-	-	-	-	-	-
14	Invencción	0.82	0.20	0.5	0.008	0.008	21	0.000	0.000	16	-	-	-	-	-	-	-
15	Invencción	0.82	0.22	0.5	0.008	0.008	20	0.001	0.000	35	0.20	-	-	0.20	-	-	-
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	-	-	-	-	-	-
16	Comparivo	0.70	0.30	0.6	0.008	0.007	11	0.000	0.000	35	-	0.20	-	-	-	-	-
17	Comparivo	0.82	0.20	0.5	0.010	0.009	2	0.000	0.010	50	0.20	-	-	-	-	-	-
18	Comparivo	0.90	0.20	0.8	0.010	0.009	60	0.000	0.005	25	-	0.10	-	-	-	-	-
19	Comparivo	0.87	1.70	0.4	0.015	0.013	20	0.000	0.010	25	0.20	-	-	-	-	-	-
20	Comparivo	1.30	1.00	0.3	0.015	0.013	20	0.030	0.000	25	-	-	-	-	-	-	-
21	Comparivo	0.92	0.30	1.5	0.015	0.013	20	0.000	0.000	25	-	-	-	0.20	-	-	-
22	Comparivo	0.82	1.00	0.5	0.025	0.020	20	0.030	0.000	35	-	-	-	0.20	-	-	-

(continuación)

Composiciones químicas (% en masa (excepto para el B y el N))

No.	C	Si	Mn	P	S	B (ppm)	Al	Ti	N (ppm)	Cr	Mo	Ni	Cu	V	Co	W	Nb
23	0.96	0.20	0.5	0.010	0.009	0	0.000	0.010	25	0.20	-	-	-	0.10	-	-	-
24	0.82	0.20	0.5	0.010	0.009	0	0.000	0.010	25	-	-	-	-	-	-	-	-
25	0.82	0.20	0.5	0.010	0.009	0	0.000	0.010	25	-	-	-	-	-	-	-	-
26	0.82	0.20	0.5	0.010	0.009	0	0.000	0.010	25	-	-	-	-	-	-	-	-
27	0.82	0.20	0.5	0.010	0.009	0	0.000	0.010	25	-	-	-	-	-	-	-	-
28	0.82	0.20	0.45	0.019	0.025	24	0.000	0.000	25	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 2

No.	Diámetro (mm)	Temp calentamiento (°C)	Método de patentado	Temp de patentado (°C)	800-650 °C velocidad enfriamiento (°C/s)	Tensión producto patentado (MPa)	Tamaño del bloque (μm)	Reducción del área (%)	T _{min} (°C)	RA min (%)	Relación de área sin perflta (%)	Diámetro del estirado final (mm)	RT del estirado final (MPa)	Observación
1	1.60	860	LP	575	348	1244	10	59	850	55	2.8	0.20	3776	
2	1.40	880	LP	550	480	1310	12	56	850	55	2.4	0.22	3541	
3	1.60	1100	LP	575	348	1328	36	56	955	40	1.3	0.22	3846	
4	1.50	1000	LP	600	296	1313	21	52	945	49	2.1	0.20	3862	
5	1.30	855	LP	570	119	1515	12	49	850	49	2.5	0.22	3930	
6	1.40	1000	LP	550	480	1521	27	38	938	38	2.7	0.20	4321	
7	1.40	870	LP	575	401	1466	10	56	850	53	2.8	0.20	4165	
8	1.45	950	LP	575	386	1329	16	53	942	52	1.3	0.20	3844	
9	1.45	950	FBP	575	149	1231	16	56	899	52	2.2	0.20	3560	
10	1.30	870	LP	575	433	1329	12	57	850	54	2.6	0.18	3836	
11	1.50	940	LP	575	373	1319	15	54	914	53	1.9	0.20	3881	
12	1.45	1050	LP	575	386	1328	25	55	944	46	1.9	0.20	3841	
13	1.40	920	LP	575	401	1339	16	53	898	52	1.9	0.20	3803	
14	1.30	920	FBP	570	173	1231	15	62	839	52	1.2	0.20	3364	
15	1.50	1050	LP	575	373	1332	31	51	914	43	2.6	0.20	3918	
A	1.40	950	FBP	575	148	1407	21	48	898	47	1.9	0.20	4053	
B	1.50	950	FBP	575	146	1407	18	52	910	49	1.8	0.20	4197	
C	1.40	950	FBP	575	142	1486	22	46	898	43	1.6	0.20	4394	
D	1.50	950	FBP	575	146	1486	16	48	910	48	1.4	0.20	4550	
E	1.45	950	FBP	575	143	1289	21	51	912	49	1.8	0.20	3881	
F	1.45	950	FBP	575	146	1289	19	52	921	50	2.1	0.20	3883	
G	1.45	950	FBP	575	150	1388	24	47	923	46	2.2	0.20	4179	
H	1.40	950	FBP	575	150	1458	23	44	918	44	1.9	0.20	4313	
I	1.40	950	FBP	575	152	1466	25	43	920	42	1.6	0.20	4337	
16	1.40	850	LP	575	401	1261	15	33	944	53	4.1	0.20	3582	
17	1.40	870	LP	570	417	1327	10	39	969	56	4.5	0.20	3770	
18	1.50	860	LP	600	296	1326	11	56	850	55	2.9	0.20	3902	pro-eutectoide θ
19	1.40	900	LP	575	401	1577	14	21	850	44	8.6	0.25	3967	pro-eutectoide α

(continuación)

No.	Diámetro (mm)	Temp calentamiento (°C)	Método de patentado	Temp de patentado (°C)	800-850°C velocidad enfriamiento (°C/s)	Tensión producto patentado (MPa)	Tamaño del bloque (µm)	Reducción del área (%)	Tmin (°C)	RA min (%)	Relación de área sin perla (%)	Diámetro del estirado final (mm)	RT del estirado final (MPa)	Observación
20	1.20	920	LP	575	470	1799	11	23	850	26	4.7	0.30	3642	pro-eutectoide θ
21	1.40	920	LP	575	401	1519	14	31	850	47	3.8	0.20	4316	micro-martensita
22	1.30	820	LP	600	343	1349	10	31	914	56	8.2	0.20	3685	No B
23	1.50	950	FBP	575	144	1341	20	37	950	49	3.6	0.20	3944	No B
24	1.50	870	LP	575	373	1319	13	41	950	54	3.4	0.20	3881	No B
25	1.45	1050	LP	575	386	1339	28	28	950	44	5.2	0.20	3872	No B
26	1.45	950	LP	575	386	1329	21	39	950	49	3.8	0.20	3844	No B
27	1.45	900	LP	575	386	1323	10	44	950	56	4.2	0.20	3827	No B
28	1.80	950	AP	-	30	1020	23	28	850	43	2.7	0.18	3594	RT deficiente

La Tabla 1 muestra las composiciones químicas de los productos evaluados, y la Tabla 2 muestra sus condiciones de prueba, tamaño de bloque y propiedades mecánicas.

5 En las Tablas 1 y 2, del 1 al 15 y de la A la I son aceros dentro del alcance de la invención y del 16 al 28 son aceros comparativos. La reducción mínima del área representada por la expresión (1) se designa como R_{Amin} . R_{Amin} significa el valor representado por la ecuación: $R_{Amin} = a - b \times \text{tamaño del bloque de perlita } (\mu\text{m})$.

10 De 16 a 22 son casos en los que la reducción de área fue baja debido a que una baja temperatura de calentamiento antes de la patente provocó que el nitruro de B y el carburo se precipitaron antes de patentar, y, por lo tanto, es imposible obtener el soluto B adecuado. Del 17 y 23 al 27 son casos en los que la reducción de área fue baja porque la cantidad de B agregado fue baja o nula. El 18 es un caso en el que la reducción del área fue baja porque el contenido excesivo de B causó una fuerte precipitación de carburo de B y cementita proeutectoide en los límites de grano de austenita. El 19 es un caso en el que la precipitación de ferrita proeutectoide no pudo ser inhibida porque el contenido de Si era excesivo. El 20 es un caso en el que la precipitación de cementita proeutectoide no pudo ser inhibida porque el contenido de C era excesivo. El 21 es un caso en el que la formación de micro-martensita no pudo ser inhibida porque el contenido de Mn era excesivo. El 28 es un caso en el que la resistencia a la tracción prescrita no pudo alcanzarse porque la velocidad de enfriamiento durante el proceso de patentado fue lenta.

15 Los aceros A, B, C y D según la invención entre los Ejemplos se utilizaron para producir alambre de acero para cordón de acero de 0,2 mm de diámetro. Los alambres de acero obtenidos mostraron una resistencia a la tracción de 4053 MPa, 4197 MPa, 4394 MPa y 4550 MPa, respectivamente, y no experimentaron exfoliación. Por otra parte, un producto similar hecho del acero comparativo 21 tenía 4316 MPa de RT y experimentó exfoliación.

20 La figura 1 muestra como la reducción del área varía en función de la relación de área sin perlita en los aceros según la invención y los aceros comparativos. Puede observarse que los aceros según la invención, que tenían una relación de área sin perlita del 3% o menos, tendían a tener una alta reducción de área. Sin embargo, debido al hecho que, como se señaló anteriormente, la reducción de área también se ve influida por la resistencia a la tracción, algunos datos superpuestos están presentes.

25 La figura 2 muestra como la reducción del área varía en función del tamaño de bloque de perlita en los aceros según la invención y los comparativos. Puede observarse que los aceros según la invención tendían a tener una alta reducción de área. Sin embargo, debido al hecho de que, como se señaló anteriormente, la reducción de área también se ve influida por la resistencia a la tracción, algunos datos superpuestos están presentes.

30 La figura 3 muestra como la reducción real del área varió en función de la reducción del límite inferior del área R_{Amin} representada por la expresión (1). Se puede observar que las reducciones de área de los aceros según la invención fueron más altas que las de R_{Amin} .

En las figuras 1 a 3, \diamond indica un acero según la invención y \square representa un acero comparativo.

35 Esta invención permite la fabricación de cordones 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 enrollada adecuada para uso en aplicaciones tales como alambre de costuras.

REIVINDICACIONES

1. Un método de fabricación de una varilla de alambre de acero, que comprende:

una varilla de alambre en caliente que tiene la composición química de, en % en masa:

C: 0,70 a 1,10 %,

5 Si: 0,1 a 1,5 %,

Mn: 0,1 a 1,0 %,

Al: 0,01 % o menos,

Ti: 0,01 % o menos,

N: 10 a 60 ppm en masa,

10 B: no menor que $(0,77 \times N \text{ (ppm en masa)} - 17,4)$ ppm en masa o 3 ppm en masa, el que sea mayor, y no más grande que 52 ppm en masa,

opcionalmente uno o más elementos seleccionados del grupo en % en masa que consiste en:

Cr: 0,03 a 0,5 %,

Ni: 0,5 % o menos (sin incluir 0 %),

15 Co: 0,5 % o menos (sin incluir 0 %),

V: 0,03 a 0,5 %,

Cu: 0,2 % o menos (sin incluir 0 %),

Mo: 0,2 % o menos (sin incluir 0 %),

W: 0,2 % o menos (sin incluir 0 %), y

20 Nb: 0,1 % o menos (sin incluir 0 %), con el saldo de Fe e impurezas inevitables,

a una temperatura entre la T_{min} mostrada a continuación y 1100° C; y

someter la varilla de alambre al patentado en una atmósfera de 500 a 650° C, en la que la velocidad de enfriamiento entre 800 y 650° C es 50° C/s o mayor,

25 siendo dicha temperatura de calentamiento mínima T_{min} de 850° C cuando $B \text{ (ppm en masa)} - 0,77 \times N \text{ (ppm en masa)} > 0,0$, y

dicha temperatura de calentamiento mínima T_{min} que es $T_{min} = 1000 + 1450 / B \text{ (ppm en masa)} - 0,77 \times N \text{ (ppm en masa)} - 10^\circ \text{ C}$ cuando $B \text{ (ppm en masa)} - 0,77 \times N \text{ (ppm en masa)} \leq 0,0$.

2. Un método de fabricación una varilla de alambre de acero según la reivindicación 1, siendo opcional uno o más elementos seleccionados del grupo que consiste en, en % en masa:

30 Ni: 0,5 % o menos (sin incluir 0 %),

Co: 0,5 % o menos (sin incluir 0 %),

V: 0,03 a 0,5 %,

Cu: 0,2 % o menos (sin incluir 0 %),

Mo: 0,2 % o menos (sin incluir 0 %),

35 W: 0,2 % o menos (sin incluir 0 %), y

Nb: 0,1 % o menos (sin incluir 0 %).

3. Un método para fabricar un alambre de acero, comprendiendo el método una etapa de someter la varilla de alambre de acero obtenida por el método según la reivindicación 1 o 2 a estirado en frío, en donde el alambre tiene una resistencia a la tracción de 2800 MPa o mayor.

40

Fig.1

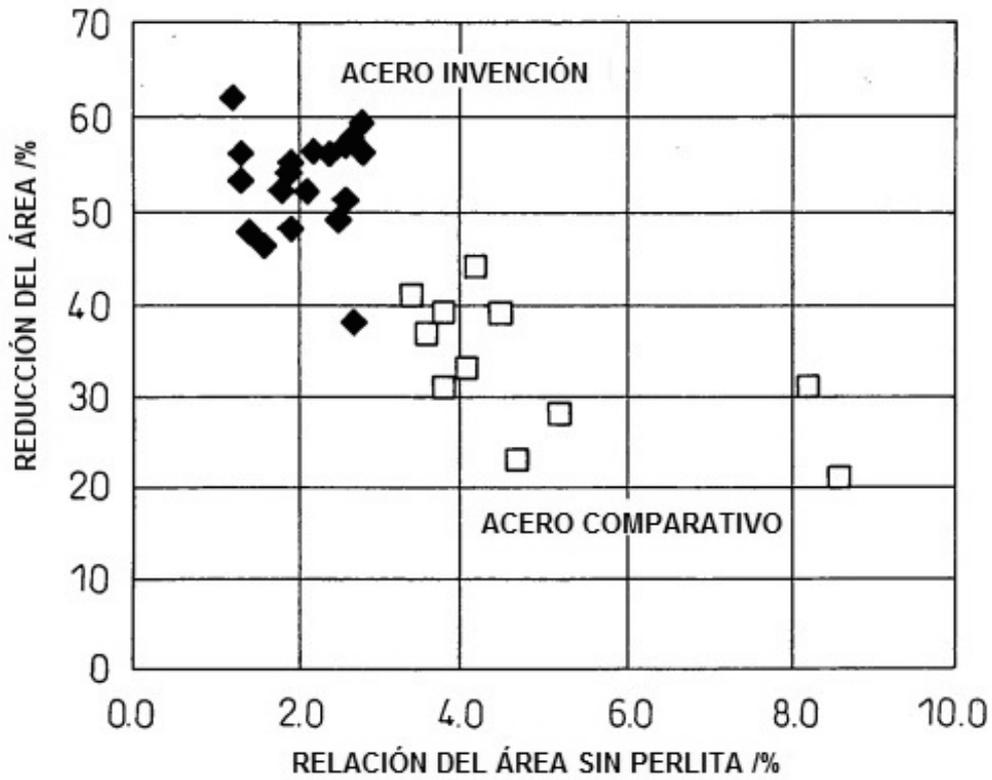


Fig.2

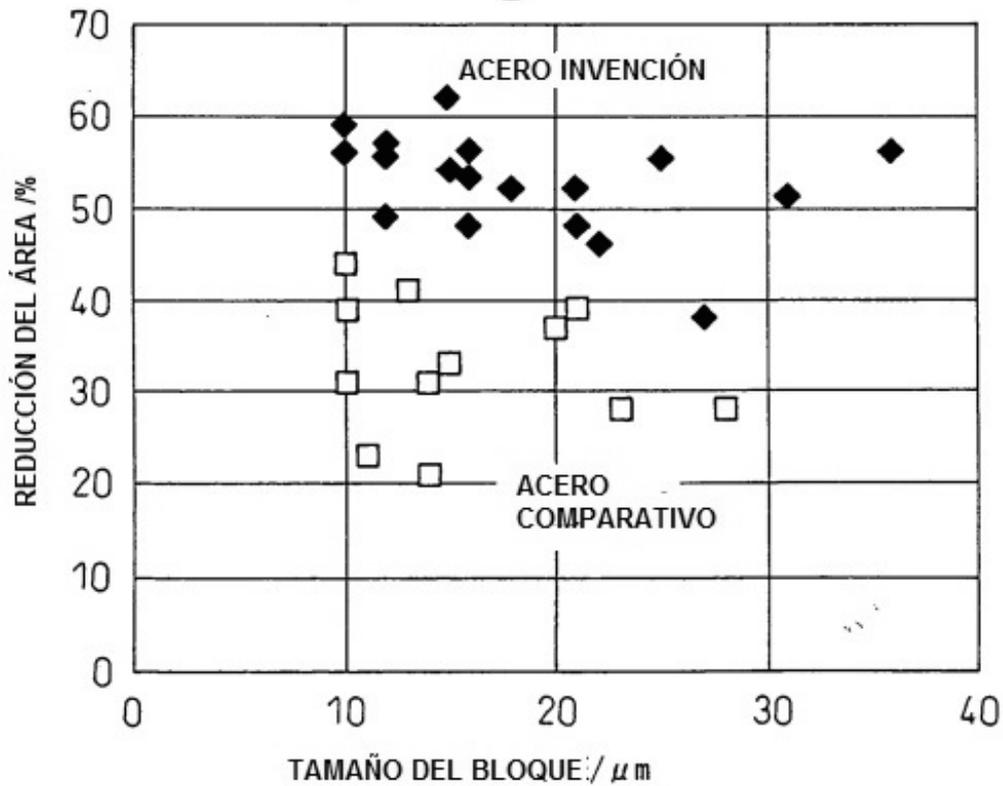


Fig.3

