

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 605 255**

(51) Int. Cl.:

C22C 38/00 (2006.01)
C21D 8/06 (2006.01)
C22C 38/54 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.03.2009 PCT/JP2009/054967**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **01.10.2009 WO09119359**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.03.2009 E 09725961 (8)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.08.2016 EP 2175043**

(54) Título: **Varilla de acero y alambre de acero de alta resistencia que tiene ductilidad superior y procedimiento de producción de los mismos**

(30) Prioridad:

**25.03.2008 JP 2008078146
08.04.2008 JP 2008100385**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.03.2017

(73) Titular/es:

**NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION (100.0%)
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku Tokyo 100-8071, JP**

(72) Inventor/es:

YAMASAKI, SHINGO y NISHIDA, SEIKI

(74) Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 605 255 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 acero y alambre de acero de alta resistencia que tiene ductilidad superior y procedimientos de producción de los mismos

Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere a una varilla de acero con ductilidad superior, a un alambre de acero de alta resistencia con ductilidad y facilidad de torsión superiores que usa la varilla de acero, y procedimientos de producción de las mismas. Más específicamente, se refiere a una varilla de acero laminada con ductilidad superior para obtener alambre de acero adecuado para cable de acero usado como material de refuerzo, por ejemplo, en neumáticos radiales para automóviles, correas transportadoras para uso industrial y similares, además de un alambre para aserrar, y otras aplicaciones, a un alambre de acero de alta resistencia citado antes obtenido de la varilla de acero, y a procedimientos de producción de los mismos.
- 10

Técnica anterior

El alambre de acero para cable de acero usado como material de refuerzo para neumáticos radiales para automóviles, diversas correas transportadoras, y mangueras o alambre de acero para alambre para aserrar se produce por lo general laminando en caliente un tocho de acero, luego enfriando de forma controlada el mismo para obtener una varilla de acero (varilla laminada) de un diámetro de 4 a 6 mm, y estirando esta varilla laminada hasta un diámetro de 0,15 a 0,40 mm de alambre ultrafina. Además, estos alambres de acero ultrafinos se tuercen juntos formando torones de alambre acero para de este modo producir cable de acero.

15 20 El procedimiento de estirado comprende estirar la varilla de acero laminada por estirado primario hasta un diámetro de 3 a 4 mm, luego templado isotérmico intermedio del mismo y seguidamente estirado del mismo por estirado secundario hasta un diámetro de 1 a 2 mm. Después de esto, se llevan a cabo un templado isotérmico final, chapado de latón y estirado en húmedo final. El diámetro final del alambre de acero es de 0,15 a 0,40 mm.

25 En los últimos años, para reducir los costes de producción, se ha omitido el templado isotérmico intermedio y la varilla laminada después de enfriamiento controlado se ha estirado directamente hasta el diámetro del alambre de templado isotérmico final de 1 a 2 mm cada vez en más casos. Por tanto, hay una demanda de una facilidad de estirado directo de la varilla laminada. Cada vez son más importantes la ductilidad y trabajabilidad de la varilla laminada.

30 35 El índice que muestra la ductilidad de la varilla de acero, es decir, la reducción del área, depende del tamaño de grano austenítico. Esta aumenta a medida que se refina el tamaño de grano austenítico. Se han realizado intentos por tanto usando Nb, Ti, B y otros carburos y nitruros como partículas de andaje para refinar el tamaño de grano austenítico.

Por ejemplo, la publicación de patente japonesa (A) N°. 8-3639 describe una técnica de incluir uno o más de Nb: 0,01 a 0,1 %, Zr: 0,05 a 0,1 % y Mo: 0,02 a 0,5 % como elementos aditivos para aumentar adicionalmente la tenacidad y ductilidad de alambre de acero ultrafino.

35 40 La publicación de patente japonesa (A) N°. 2001-131697 también propone refinar el tamaño de grano austenítico usando NbC.

Sin embargo, estos elementos aditivos son costosos, por lo que causan un incremento del coste. Adicionalmente, el Nb forma carburos y nitruros gruesos y el Ti forma óxidos gruesos, por lo que ha habido casos de ruptura si se ha estirado hasta un tamaño de alambre delgado de un diámetro igual o inferior a 0,40 mm. Adicionalmente, de acuerdo con la verificación de los inventores, se ha confirmado que con el anclaje de BN, el refino del tamaño grano austenítico a un grado que tiene un efecto sobre la velocidad de reducción del área es difícil.

45 50 Por otro lado, como se muestra en la publicación de patente japonesa (A) N°. 8-3639, se propone una técnica de reducir la temperatura de templado isotérmico para controlar la estructura de la varilla de acero a bainita y, de este modo, aumentar la capacidad de estirado de una varilla de acero con alto contenido en carbono. Sin embargo, con el fin de elaborar una varilla de acero con estructura de bainita en línea, es necesario sumergir la misma en sal fundida. Este tratamiento provoca un aumento de costes y simultáneamente es responsable de reducir el comportamiento de decapado mecánico.

La solicitud de patente europea EP 1 897 694 A1 describe una varilla de acero de alta resistencia en la que la fracción en área de perlita es igual o superior al 90 %.

50 Descripción de la invención

La presente invención se preparó considerando la situación anterior y tiene como objeto proporcionar una varilla de acero de ductilidad superior para producir alambre de acero adecuado para cable de acero, alambre para aserrar, y otras aplicaciones y alambre de acero producido a partir de la varilla de acero y proporcionar un procedimiento de producción de varilla de acero con alta productividad y buen rendimiento con bajo coste.

Los inventores tomaron nota de los huecos gruesos que se presentan en el procedimiento de estirado como factor que causa el deterioro de la ductilidad de la varilla y alambre de acero. Además, los inventores encontraron que si puede suprimirse la formación de tales huecos, aumenta la capacidad de estirado de una varilla de acero y puede obtenerse un alambre de acero con una capacidad de torsión mejorada.

- 5 En base a estos hallazgos, la presente invención soluciona los problemas anteriores por la varilla de acero mostrada en los puntos (1) y (2), el alambre de acero mostrado en el punto (3), el procedimiento de producción de la varilla de acero mostrado en el punto (4), y el procedimiento de producción del alambre de acero mostrado en el punto (5).
- (1) La varilla de acero para alambre de acero de alta resistencia de ductilidad superior caracterizada por los componentes químicos que contiene, en % en masa o ppm en masa, C: 0,80 a 1,20 %, Si: 0,1 a 1,5 %, Mn: 0,1 a 1,0 %, Al: 0,01 % o menos, Ti: 0,01 % o menos, uno o ambos de W: 0,005 a 0,2 % y Mo: 0,003 a 0,2 %, N: 10 a 30 ppm, B: 4 a 30 ppm (de los cuales, el B soluto es 3 ppm o más), y O: 10 a 40 ppm, y que opcionalmente contiene adicionalmente al menos uno de Cr: 0,5 % o menos, Ni: 0,5 % o menos, Co: 0,5 % o menos, V: 0,5 % o menos, Cu: 0,2 % o menos, y Nb: 0,1 % o menos, y que tiene el resto de Fe e impurezas inevitables, que tiene un porcentaje de área de estructuras perlíticas de 97 % o más, que tiene el resto de estructuras no perlíticas que comprenden bainita, perlita degenerada y ferrita proeutectoide, y que tiene un total del porcentaje de área de las estructuras no perlíticas y el porcentaje de área de las estructuras perlíticas gruesas en las que la separación laminar aparente es de 600 nm o más de 15 % o menos.
- 10 (2) Varilla de acero para alambre de acero de alta resistencia de ductilidad superior de acuerdo con el punto (1) caracterizada por que contiene además como componentes, en % en masa, al menos uno de Cr: 0,5 % o menos, Ni: 0,5 % o menos, Co: 0,5 % o menos, V: 0,5 % o menos, Cu: 0,2 % o menos, y Nb: 0,1 % o menos.
- 15 (3) Alambre de acero de alta resistencia de ductilidad superior obtenido por el procedimiento que comprende templado isotérmico, luego estirado de una varilla de acero de acuerdo con el punto (1) o (2), estando dicho alambre de acero caracterizado por que tiene una resistencia a la tracción de 3600 MPa o más y una densidad de huecos numérica de longitudes de 5 µm o más de 100/mm² o menos en el centro.
- 20 (4) Un procedimiento de producción de varilla de acero para alambre de acero de alta resistencia de ductilidad superior de acuerdo con el punto (1) o (2), caracterizado por laminado en caliente de un tocho de acero de los componentes químicos expuestos en el punto (1) o (2) en una varilla de acero que tiene un diámetro de 3 a 7 mm, enfriamiento de esta varilla de acero en una región de temperatura de 800 a 950°C, luego templado isotérmico de la misma por un procedimiento de enfriamiento que proporciona una velocidad de enfriamiento de 20°C/s o más mientras que se enfria desde 800°C a 700°C.
- 25 (5) Un procedimiento de producción de una varilla de acero de alta resistencia de ductilidad superior de acuerdo con el punto (3), caracterizado por estirado de la varilla de acero producida por el procedimiento de producción de acuerdo con el punto (4), luego templado isotérmico de la misma, luego adicionalmente estirado de la misma en frío.
- 30 Mediante la aplicación de la presente invención, puede obtenerse alambre de acero de alta resistencia de ductilidad superior, en particular facilidad de torsión, usado en cable de acero y alambres para aserrar con alta productividad y buen rendimiento con bajo coste a partir de varilla de acero de alta resistencia de ductilidad superior.

Breve descripción de los dibujos

- La FIG. 1 es una vista que muestra la relación entre el valor total de los porcentajes de área de perlita gruesa y no perlita de una varilla de acero laminada que usa acero que contiene Mo y la densidad numérica de huecos después de estirado.
- 40 La FIG. 2 es una vista que muestra la relación entre la densidad numérica de huecos de alambre de acero que usa acero que contiene Mo y la tensión en la rotura cuando un alambre de acero torsionado helicoidalmente se rompe durante la torsión (40 % significa que no hay rotura).
- 45 La FIG. 3 es una vista que muestra la relación entre la velocidad de enfriamiento entre 800 a 700°C después de bobinar la varilla de acero laminada que usa acero que contiene Mo y el valor total de los porcentajes de área de perlita gruesa y no perlita después de enfriamiento.
- La FIG. 4 es una vista que muestra la relación entre el valor total de los porcentajes de área de perlita gruesa y no perlita de una varilla de acero laminada que usa acero que contiene W y un porcentaje de huecos después de estirado.
- 50 La FIG. 5 es una vista que muestra la relación entre la densidad numérica de huecos de alambre de acero que usa acero que contiene W y la tensión en la rotura cuando un alambre de acero torsionado helicoidalmente se rompe durante la torsión (40 % significa que no hay rotura).
- La FIG. 6 es una vista que muestra la relación entre la velocidad de enfriamiento entre 800 a 700°C después de bobinar la varilla de acero laminada que usa acero que contiene W y el valor total de los porcentajes de área de

perlita gruesa y no perlita después de enfriamiento.

La FIG. 7 es una vista que usa fotografías para explicar la estructura de la varilla de acero, donde (a) muestra un ejemplo de una estructura no perlítica y (b) un ejemplo de una estructura perlítica gruesa.

5 La FIG. 8 es una vista que usa fotografías para explicar los huecos gruesos formados en el alambre de acero después de estirado.

Mejor modo de llevar a cabo la invención

Los autores de la invención estudiaron e investigaron la influencia de huecos que se forman durante el proceso de estirado de una varilla de acero y permanecen en el alambre de acero después del estirado sobre la ductilidad del alambre de acero y obtuvieron los siguientes descubrimientos.

10 (a) En general, la facilidad de estirado aumenta al reducir la cantidad de C y aumentar una fase blanda, es decir, ferrita, perlita degenerada y bainita (en lo sucesivo denominadas como "estructuras no perlíticas"). Esto se debe a que la deformación por trabajo se concentra en las estructuras no perlíticas blandas dispersadas en una red, y el endurecimiento por trabajo se produce de forma uniforme a nivel macroscópico.

15 Sin embargo, si se aumenta la cantidad de C hasta 0,7 % o más, en particular hasta 0,8 % o más, para obtener un alambre de acero de alta resistencia de forma estable, la estructura no perlítica disminuye y se dispersa. La FIG. 7(a) muestra un ejemplo de tales estructuras no perlíticas.

20 Una gran deformación se concentra localmente en tales estructuras no perlíticas dispersadas durante el estirado por lo que rápido se forman huecos. En particular, si hay estructuras no perlíticas dispersadas, se formarán huecos gruesos y permanecerán durante el posterior templado isotérmico intermedio y estirado final y por lo tanto degradarán la facilidad de estirado. La FIG. 8 muestra un ejemplo de huecos gruesos.

(b) Las estructuras perlíticas gruesas cuya separación laminar es varias veces mayor que la separación laminar promedio son blandas y degradan la facilidad de estirado en el estirado final por las mismas razones que antes.

25 En el momento del templado isotérmico Stelmor después de laminado y bobinado de la varilla de acero, la velocidad de enfriamiento en el área de solapamiento del anillo de la varilla de acero bobinada puede ser baja. Se considera que tal perlita gruesa se forma a una temperatura comparativamente alta debido a la baja velocidad de enfriamiento.

30 Para suprimir el deterioro de la ductilidad durante el estirado, es eficaz la reducción de la fracción de área de las estructuras perlíticas gruesas para suprimir la formación de huecos gruesos. De acuerdo con los resultados de la observación por SEM, si aumentan las estructuras en las que la separación laminar aparente es de 600 nm o más (en lo sucesivo denominadas como "perlita gruesa"), los huecos aumentan en el alambre estirado. Obsérvese que, la FIG. 7(b) muestra un ejemplo de una estructura de perlita gruesa.

(c) Para suprimir la formación de huecos causada por estructuras de no perlita y de perlita gruesa y suprimir el deterioro de la ductilidad durante el estirado, es eficaz hacer el porcentaje de área de perlita de 97 % o más y hacer el total del porcentaje de área de no perlita y porcentaje de área de perlita gruesa 15 % o menos.

35 (d) Mo y W se concentran en la interfase de la perlita y la fase austenita base y tienen el efecto de suprimir el crecimiento de perlita denominado arrastre de soluto. Añadiendo de forma apropiada estos elementos, es posible suprimir solo el crecimiento de la perlita en una región de temperatura de 600°C o mayor y es posible disminuir la perlita gruesa usando las instalaciones convencionales sin reducir la productividad.

Adicionalmente, Mo y W también tienen el efecto de aumentar la facilidad de endurecimiento y suprimir la formación de ferrita y son efectivos para reducir las estructuras no perlíticas.

40 Sin embargo, si estos elementos se añaden en exceso, el crecimiento de perlita en todas las regiones de temperatura se suprimirá, el templado isotérmico requerirá un tiempo prolongado y se reducirá la productividad. Además, precipitarán carburos de Mo_2C y carburos de W_2C gruesos y disminuirá la facilidad de estirado.

45 (e) B se segregó en los límites de grano austenítico y suprime la formación de ferrita, perlita degenerada, bainita y otras estructuras no perlíticas formadas sobre los límites de grano austenítico durante el enfriamiento desde la temperatura austenítica en el templado isotérmico y suprime la formación de perlita gruesa por efecto de mejora de la capacidad de endurecimiento.

50 B forma compuestos con N, por lo que la cantidad de B segregado en los límites de grano se determina por la cantidad total de B, cantidad de N, y la temperatura de calentamiento antes de la transformación de perlita. Si la cantidad de B soluto es baja, los efectos anteriores son pequeños, y si es excesiva, precipita $\text{Fe}_{23}(\text{CB})_6$ grueso antes de la transformación de perlita y se deteriorará la facilidad de estirado.

(f) Añadiendo de forma simultánea uno o ambos de Mo y W y B y realizando un templado isotérmico bajo condiciones de tratamiento térmico en las que pueda asegurarse el B soluto, se suprime adicionalmente la formación

de estructuras de no perlita y de perlita gruesa.

(g) El alambre de acero estirado usando varilla de acero en la que el porcentaje de área de las estructuras de no perlita y de perlita gruesa está suprimido y como resultado está suprimida la formación de huecos gruesos tiene una facilidad de torsión superior. En particular, huecos con una longitud de 5 µm o más en el alambre de acero pueden desarrollarse en fisuras. Si la densidad numérica de tales huecos puede suprimirse hasta 100/mm² o menos, puede suprimirse la rotura del alambre cuando se tuerce los alambres de acero juntos.

La presente invención se realizó basándose en los hallazgos anteriores. A continuación, la presente invención se explicará secuencialmente. Apréciese que, en la siguiente explicación, el % y ppm de los contenidos de los componentes significa % en masa y ppm en masa, respectivamente.

10 Acerca de las estructuras y huecos de la varilla de acero:

La varilla de acero se templa isotérmicamente mediante enfriamiento controlado después de laminado en caliente y bobinado y se producen estructuras perlíticas de un porcentaje de área de 97 % o más y el resto de estructuras no perlíticas que comprenden bainita, perlita degenerada y ferrita proeutectoide. Esto se cumple porque si es menos del 97 %, no puede garantizarse la resistencia de la varilla de acero necesaria y la ductilidad durante el estirado se deteriorará.

La transformación en perlita se produce por la nucleación de una perlita en los límites de grano de austenita y crecimiento de perlita. Hasta que se forman estructuras estratificadas que forman los núcleos de estructuras perlíticas, las estructuras son no perlíticas con crecimiento irregular de ferrita y cementita, por lo que la varilla de acero normalmente nunca tendrá 100 % de estructuras perlíticas.

20 La facilidad de estirado directo de la varilla de acero bobinada templada isotérmicamente está relacionada con el porcentaje de área de las estructuras no perlíticas y las estructuras perlíticas gruesas en la varilla de acero. Si el total de los porcentajes de área de las estructuras no perlíticas y estructuras perlíticas gruesas puede suprimirse hasta un 15 % o menos, se suprime la formación prematura de huecos durante el estirado y se mejora la facilidad de estirado (ductilidad) durante el estirado final después del templado isotérmico intermedio.

25 Adicionalmente, si el total de los porcentajes de área de estructuras no perlíticas y estructuras perlíticas gruesas de la varilla de acero se hace 15 % o menos, la densidad numérica de huecos gruesos que quedan en el alambre de acero después del estirado disminuye, la ductilidad del alambre de acero aumenta, y la rotura durante la torsión se hace extremadamente infrecuente.

30 Los huecos que quedan en el alambre de acero son de longitud alargada en la dirección de estirado como se muestra en la FIG. 8. De acuerdo con un estudio de los inventores, se revela que lo que afecta a la ductilidad del alambre de acero son los huecos gruesos que tienen una longitud de 5 µm o más, y que si los porcentajes de área de estructuras no perlíticas y estructuras perlíticas gruesas de la varilla de acero se hacen un 15 % o menos, la densidad numérica de tales huecos se hace 100/mm² o menor en el centro del alambre de acero y la facilidad para la torsión del alambre de acero se mejora.

35 La FIG. 1 muestra la relación entre el total de los porcentajes de área de las estructuras no perlíticas y estructuras perlíticas gruesas de una varilla de acero antes del estirado y la densidad numérica de los huecos gruesos del alambre de acero después de estirado preparada usando los valores obtenidos en el Ejemplo 1 explicado más adelante (ejemplo que usa acero que contiene solo Mo). Adicionalmente, la FIG. 2 muestra la relación entre la densidad numérica de huecos gruesos de alambre de acero y la tensión en la rotura cuando se prepara de la misma forma un alambre de acero que se rompe durante la torsión (40 % significa que no hay rotura).

Estos dibujos muestran que si el total de los porcentajes de área de no perlita y de perlita gruesa de la varilla de acero se hace 15 % o menos, la densidad numérica de huecos gruesos del alambre de acero será 100/mm² o menos y puede llevarse a cabo una torsión sin rotura.

45 Para reducir las estructuras no perlíticas y estructuras perlíticas gruesas, es eficaz controlar las cantidades de C, Si y Mn en el tocho o desbaste de acero hasta intervalos predeterminados, como en el anterior, añadir de forma simultánea uno o ambos de Mo y W y B en intervalos de Mo: 0,003 a 0,2 %, W: 0,005 a 0,2 %, y B: 4 a 30 ppm, a continuación laminar en caliente el tocho de acero hasta un tamaño de varilla de 3 a 7 mm y bobinarla en una región de temperatura de 800 a 950°C, seguidamente templarla isotérmicamente mediante un procedimiento de enfriamiento que proporciona una velocidad de enfriamiento de 20°C/s o más mientras que se enfria desde 800°C a 700°C.

La FIG. 3 muestra la relación entre la velocidad de enfriamiento de 800 a 700°C en el templado isotérmico y el total de los porcentajes de área de las estructuras no perlíticas y estructuras perlíticas gruesas después de templado isotérmico obtenido por el Ejemplo 1 explicado más adelante.

55 Si se hace la velocidad de enfriamiento menor de 20°C/s, incluso si se usa acero que tiene los componentes químicos anteriores, B precipita como BN, y la cantidad de B soluto disminuye, haciendo de este modo difícil

suprimir las estructuras no perlíticas y la estructuras perlíticas gruesas. Una velocidad de enfriamiento preferida es 25°C/s o mayor. El límite superior de la velocidad de enfriamiento no está particularmente limitado, sin embargo, si la velocidad de enfriamiento se hace demasiado elevada, la resistencia a la tracción (RT) después de la transformación en perlita se hará mayor de la necesaria y la facilidad de estirado directo se deteriorará, por tanto, es preferible 50°C/s o menor.

Para controlar la velocidad de enfriamiento, en un sistema Stelmor, se disponen de forma concentrada soplantes de aire en las partes que solapan en el anillo, se montan las soplantes en ambos lados del transportador, y similares, de modo que se controla la velocidad de enfriamiento en las partes que solapan en el anillo hasta 20°C/s o mayor.

Apréciese que, la disposición laminar de las estructuras perlíticas depende de la temperatura de transformación. La perlita gruesa que tiene una gran separación laminar se estima que se forma cerca de 650°C. En el procedimiento de producción real de una varilla de acero de forma anular, siempre habrá partes que solapan en el anillo. En las partes que solapan, la velocidad de enfriamiento disminuirá inevitablemente desde las posiciones promedio circundantes, por lo que incluso si la velocidad de enfriamiento de la región de temperatura austenítica está controlada hasta 20°C/s o más, suprimir el aumento local hasta casi 650°C en las partes que solapan se hace extremadamente difícil. Por tanto, incluso si puede suprimirse la formación de la perlita gruesa añadiendo Mo o W y B, puede decirse que es imposible hacerla cero.

En la parte anterior, se especificó que el intervalo de temperatura de enfriamiento era una región de temperatura de 800 a 950°C con el propósito de garantizar la propiedad de decapado así como suprimir la precipitación de carburos y nitruros de B para garantizar B soluto y suprimir el engrosamiento del tamaño de grano austenítico para así refinar las estructuras no perlíticas y estructuras perlíticas gruesas y refinar el tamaño de huecos formados de estas estructuras.

Componentes químicos de la varilla de acero y el alambre de acero:

C: C es un elemento eficaz para aumentar la resistencia. Si el contenido de este es menor de 0,80 %, se hace difícil impartir de forma estable una resistencia elevada de 3600 MPa o más a un alambre de acero producto final, al mismo tiempo, la formación de ferrita proeutectoide se acelera en los límites de grano austenítico y se hace difícil obtener el porcentaje de área de la estructura perlítica necesario. Por otro lado, si se aumenta el contenido de C por encima de 1,20 %, no solo se forma cementita proeutectoide con forma reticular en los límites de grano austenítico y se produce fácilmente rotura durante el estirado, sino que también la tenacidad y ductilidad del alambre de acero ultrafino después de estirado final se deterioran de forma significativa. Por consiguiente, el contenido de C se hizo 0,80 a 1,20 %.

Si: Si es un elemento eficaz para aumentar la resistencia. Adicionalmente, es un elemento útil como agente desoxidante y un elemento necesario cuando se trata de acero que no contiene Al. Si el contenido es menor de 0,1 %, el efecto desoxidante es demasiado bajo. Por otro lado, si se aumenta la cantidad de Si por encima de 1,5 %, la formación de ferrita proeutectoide se acelera incluso en acero hipereutéctico y se deteriora la facilidad de estirado. Adicionalmente, se hace difícil un procedimiento de estirado que use decapado mecánico (en lo sucesivo denominado "DM"). Por consiguiente, el contenido de Si se hizo 0,1 a 1,5 %. El límite superior preferido para la cantidad de Si es menos de 0,6 %, más preferiblemente menos de 0,35 %.

Mn: Mn, al igual que el Si, es un elemento útil como agente desoxidante. Adicionalmente, es eficaz en la mejora de la templabilidad y aumentar la resistencia de la varilla de acero. Adicionalmente, Mn fija el S en el acero como MnS y evita la fragilización. Si el contenido es menor de 0,1 %, resulta difícil obtener este efecto. Por otro lado, si el contenido supera 1,0 %, se segregó en el centro de la varilla de acero y provoca formación de martensita y bainita durante o después del templado isotérmico, por lo que se deteriora la facilidad de estirado. Por consiguiente, el contenido de Mn se hizo 0,1 a 1,0 %.

Al: Al forma inclusiones no metálicas basadas en Al no deformantes y provoca el deterioro de la ductilidad y el deterioro de la facilidad de estirado, por tanto, para no provocar tal deterioro, el contenido de Al se hizo 0,01 o menor, incluyendo 0 %.

Ti: Ti forma óxidos duros y no deformantes y provoca el deterioro de la ductilidad y el deterioro de la facilidad de estirado, por tanto, para no provocar tal deterioro, el contenido de Ti se hizo 0,01 o menor, incluyendo 0 %.

Mo y W: Mo y W se concentran en la interfase entre la perlita y la austenita de fase base y tienen el efecto de suprimir el crecimiento de perlita mediante lo que se denomina arrastre de soluto. Se añaden solos o combinados.

Añadiendo 0,003 % o más de Mo o 0,005 % o más de W, es posible suprimir el crecimiento de perlita solo en una región de alta temperatura de 600°C o más, y puede suprimirse la formación de perlita gruesa. Adicionalmente, Mo y W tienen el efecto de mejorar la templabilidad y son eficaces también en la supresión de la formación de ferrita y en la reducción de estructuras no perlíticas.

Sin embargo, si se añade en exceso de 0,2 %, el crecimiento de perlita en todas las regiones de temperatura se suprimirá, el templado isotérmico requerirá un tiempo prolongado, y se reducirá la productividad. Además,

precipitarán carburo de Mo₂C y carburo W₂C gruesos, por lo que se deteriorará la facilidad de estirado.

Por consiguiente, el contenido de Mo se hizo 0,003 a 0,2 % y el contenido de W se hizo 0,005 a 0,2 %. Cuando se añaden ambos Mo y W, la cantidad total se hace preferiblemente 0,2 % o menos, más preferiblemente 0,16 % o menos.

- 5 El intervalo preferible de Mo es 0,01 % a 0,15 %, más preferiblemente 0,02 % a 0,10 %, más preferiblemente 0,04 % a 0,08 %.

Adicionalmente, el intervalo preferible de W es 0,01 % a 0,15 %, más preferiblemente 0,02 % a 0,10 %, más preferiblemente 0,04 % a 0,08 %.

- 10 N: N forma nitruros con B en el acero y tiene el efecto de prevenir el engrosamiento del tamaño de grano austenítico cuando se calienta. Este efecto se inhibe de forma eficaz incluyendo 10 ppm o más de este. Sin embargo, si el contenido aumenta demasiado superando 30 ppm, la cantidad de nitruros aumenta de forma excesiva y disminuye la cantidad de B soluto en la austenita. Adicionalmente, el N soluto es responsable de acelerar el envejecimiento durante el estirado. Por consiguiente, el contenido de N se hizo 10 a 30 ppm.

- 15 O: O forma inclusiones complejas con Si y similares y por tanto puede formar inclusiones blandas que no tienen efectos negativos sobre la facilidad de estirado. Tales inclusiones blandas pueden dispersarse finamente después del laminado en caliente. Debido al efecto anclaje, esto tiene el efecto de refinar el tamaño de grano y mejorar la ductilidad de la varilla de acero templada isotérmicamente. Por tanto, el límite inferior se hizo un valor mayor de 10 ppm. Sin embargo, si se aumenta el contenido mucho por encima de 40 ppm, se forman inclusiones duras y se deteriora la facilidad de estirado, por tanto el contenido de O se hizo mayor de 10 ppm hasta 40 ppm.

- 20 Obsérvese que, cuando se incluye solo Mn, es preferible incluir O en una cantidad mayor de 20 ppm.

- 25 B: Cuando B existe en un estado de solución sólida en la austenita, este se concentra en los límites de grano y suprime la formación de ferrita, perlita degenerada, bainita y otras estructuras no perlíticas. Por tanto, es necesario 3 ppm o más de B soluto. Por otro lado, si no se considera la adición de B, esto acelerará la precipitación de carburos de Fe₃(CB)₆ gruesos en la austenita y tendrá un efecto negativo sobre la facilidad de estirado. Para satisfacer lo anterior, el límite inferior del contenido de B se hizo 4 ppm, y el límite superior se hizo 30 ppm (de los cuales, 3 ppm o más es B soluto).

El intervalo preferido de B es 6 ppm a 20 ppm, más preferiblemente 8 ppm a 15 ppm, más preferiblemente 10 ppm a 13 ppm. Adicionalmente, el intervalo preferido de B soluto es 5 ppm a 15 ppm, más preferiblemente 6 ppm a 12 ppm, más preferiblemente 8 ppm a 10 ppm.

- 30 P y S: Estos son impurezas. Sus contenidos no están particularmente estipulados, sin embargo, desde el punto de vista de garantizar de igual modo la ductilidad como con alambre de acero ultrafino convencional, es preferible que cada uno no sea más de 0,02 %.

- 35 El acero usado en la presente invención tiene los elementos anteriores como componentes químicos básicos, no obstante, puede añadirse uno o dos de los siguientes elementos de forma activa con el propósito de mejorar la resistencia, tenacidad, ductilidad y otras características mecánicas.

Cr: 0,5 % o menos, Ni: 0,5 % o menos, Co: 0,5 % o menos, V: 0,5 % o menos, Cu: 0,2 % o menos, y Nb: 0,1 % o menos.

A continuación se explicará cada elemento.

- 40 Cr: Cr es un elemento eficaz en refinar la separación laminar de perlita, mejorando la resistencia de la varilla de acero y la facilidad de estirado de la varilla de acero. Para inhibir de forma eficaz tal efecto, es preferible añadir 0,1 % o más. Por otro lado, si la cantidad de Cr es demasiado grande, el tiempo para completarse la transformación se prolongará y pueden formarse fácilmente estructuras de martensita, bainita y otras estructuras sobreenfriadas en la varilla de acero después del templado isotérmico. Adicionalmente, la propiedad de decapado mecánico también puede empeorar. Por tanto, el límite superior cuando se añade se hace 0,5 %.

- 45 Co: Co es un elemento eficaz en la supresión de la precipitación de cementita proeutectoide en la varilla de acero bobinada. Para inhibir de forma eficaz tal efecto, es preferible añadir 0,1 % o más. Por otro lado, incluso si se añade con exceso Co, su efecto se satura y el resultado es económicamente no rentable, por tanto el límite superior cuando se añade se hace 0,5 %.

- 50 V: V forma carbonitruros finos en la ferrita, por lo que previene el engrosamiento de la austenita durante el calentamiento así como contribuye a aumentar la resistencia después del laminado. Para que exhiba eficazmente tal efecto, es preferible añadir 0,05 % o más. Sin embargo, si se añade con exceso, la cantidad de carbonitruros formados será excesiva y el tamaño de grano de los carbonitruros se hará más grande, por tanto, el límite superior cuando se añade se hace 0,5 %.

Cu: Cu tiene el efecto de aumentar la resistencia a la corrosión del alambre de acero. Para inhibir eficazmente tal efecto, es preferible añadir 0,1 % o más. Sin embargo, si se añade en exceso, este reaccionará con S y precipitará CuS en los límites de grano, por lo que se causará defectos sobre el lingote de acero o la varilla de acero y similares durante el proceso de producción. Para prevenir tales efectos negativos, el límite superior cuando se añade se hace 0,2 %.

Nb: Nb tiene el efecto de aumentar la resistencia a la corrosión del alambre de acero. Para inhibir eficazmente tal acción, es preferible añadir 0,05 % o más. Por otro lado, si se añade Nb en exceso, el tiempo para completar la transformación se prolongará, por tanto, el límite superior cuando se añade se hace 0,1 %.

Condiciones para producir varilla de acero laminada:

10 Se calienta un tocho de acero (desbaste de acero) que comprende los componentes químicos anteriores, luego se lamine en caliente en una varilla que tiene un diámetro de 3 a 7 mm de acuerdo con el tamaño de producto final. En este momento, como se ha explicado antes, la temperatura de enfriamiento se establece en un intervalo de temperatura de 800 a 950°C. En el enfriamiento posterior al bobinado, se hace el intervalo de temperatura de 800°C a 700°C en 20°C/s o más, por lo que la formación de ferrita proeutectoide y perlita gruesa se suprime.

15 **Condiciones de estirado:**

La varilla de acero de ductilidad superior producida bajo las condiciones de producción anteriores y que satisface las condiciones anteriores de los componentes químicos y la estructura se estira en frío y se templado mediante un templado isotérmico final una vez durante dicho tiempo, a continuación se estira mediante un estirado en frío final para obtener alambre de acero de alta resistencia que tiene una resistencia a la tracción de 3600 MPa o más y que tiene una densidad numérica de 100/mm² o menos de huecos de una longitud de 5 µm o más en el centro del alambre de acero. Durante este tiempo, la deformación verdadera del estirado en frío es 3 o más, preferiblemente 3,5 o más.

Ejemplos

25 A continuación se proporcionan ejemplos para explicar la presente invención con más detalle, sin embargo, la presente invención no está limitada a los siguientes ejemplos y puede, naturalmente, llevarse a cabo con cambios añadidos de forma apropiada en el intervalo que cumple la esencia de la presente invención. Estos están todos dentro del ámbito técnico de la presente invención.

(Ejemplo 1)

Este es un ejemplo del caso que usa acero que contiene Mo. Se calentó un tocho que usa acero que tiene cada uno 30 de los componentes químicos mostrados en la Tabla 1, luego se laminó en caliente hasta una varilla con un diámetro de 3 a 7 mm. La varilla laminada en caliente se bobinó en una forma anular a una temperatura predeterminada, luego se templó isotérmicamente por tratamiento Stelmor.

Cuando se realiza el templado isotérmico por el tratamiento Stelmor, la velocidad de enfriamiento en la parte que 35 solapa de la varilla de acero disminuye por lo que la temperatura de transformación aumenta y se forma fácilmente perlita gruesa. La velocidad de enfriamiento de 800°C a 700°C se obtuvo midiendo la temperatura de la parte que solapa del anillo usando un termómetro del tipo sin contacto cada 0,5 m en una cinta transportadora Stelmor, midiendo luego el tiempo requerido t para enfriar desde 800°C hasta 700°C. Se encontró que la velocidad de enfriamiento era (800-700)/t.

40 La varilla bobinada templada isotérmicamente se cortó para muestras que se sometieron a pruebas de tracción. Además, para medir los porcentajes de área de las estructuras no perlíticas y estructuras perlíticas gruesas, se cortaron en ocho partes iguales varillas de acero con forma anular con un diámetro de anillo de 1,0 a 1,5 m, se cortaron estas ocho muestras en muestras de 1 mm de longitud que se incrustaron en una resina de modo que puedan observarse las secciones transversales de las partes centrales a lo largo de la dirección longitudinal de la varilla (dirección L), se desgastaron por alúmina, se corroyeron por picral y se observaron por SEM.

45 La región de observación de SEM se realizó a una porción 1/4D. Se observó una región de 200×300 µm por 2000X. Los porcentajes de área de la estructura perlítica degenerada en la que estaba dispersa cementita en una forma granular, las partes de bainita en las que estaba groseramente dispersada cementita con forma de placas en separaciones de 3 veces o más las separaciones de las separaciones laminares de perlita circundante, y las partes 50 de ferrita proeutectoide formadas a lo largo de los límites de grano de austenita se midieron por análisis de imagen como estructuras no perlíticas. Adicionalmente, el porcentaje de área de las estructuras perlíticas gruesas que tienen una separación laminar de 600 nm o más se midió por un sistema de análisis de imagen. Estas mediciones se llevaron a cabo usando las ocho muestras anteriores, y se encontraron los valores medios y los valores máximos.

55 Para obtener las características de estirado de la varilla de acero, se eliminó la cascarilla de la varilla laminada templada isotérmicamente por decapado, luego se usó bonderización para impartir un revestimiento de fosfato de cinc. Se preparó una varilla de acero de 10 m de longitud. Esta se estiró mediante un estirado del tipo de cabezal

sencillo mediante una reducción del área de 16 a 20 % por pase, templado isotérmico una vez o dos mediante un baño de sales de plomo (LP) o templado isotérmico en lecho fluidizado (FBP), luego se estiró mediante un estirado continuo húmedo hasta un tamaño de alambre de 0,15 a 0,3 mm para obtener alambre de acero que tiene el tamaño estirado final. Se tomaron muestras del alambre de acero obtenido y se sometieron a una prueba de tracción y se midieron para determinar la densidad numérica de huecos.

La densidad numérica de huecos en el alambre de acero estirado se obtuvo incrustando y raspando un alambre de acero de 10 mm de longitud de modo que podía observarse la parte central de la sección transversal en L, se corroyó por picral saturado, usando SEM para fotografiar una región de 10 mm de longitud y 20 μm de anchura del centro de la varilla de acero a 5000X, midiendo el número de huecos de longitudes de 5 μm o más, y dividiendo esta por el área de observación.

A continuación, se torsionó el alambre de acero en torones para investigar la aparición de rotura y la tensión en la rotura. La velocidad de torsión fue de 10000 rpm y la carga aplicada se aumentó de forma gradual hasta un 40 % de la resistencia a la tracción de los alambres de acero. La tensión en la rotura se muestra por la relación de la resistencia a la tracción cuando se produce la rotura con respecto a la RT de la resistencia del alambre de acero. Bajo las condiciones de trabajo anteriores, el 40 % no presentó rotura.

Los resultados se muestran en la Tabla 2. En la Tabla 2, los números 1 a 20 son resultados que usan aceros de los números 1 a 20 correspondientes de la Tabla 1. Los números 1 a 16 son ejemplos de la invención, y los números 17 a 20 son ejemplos comparativos. Las entradas de “_” en la columna de características de los alambres de acero de los ejemplos comparativos son casos en los que el alambre se rompió en el pase de estirado final o en un pase anterior. El diámetro de estirado final es el diámetro en el momento de dicho pase.

Basándose en los valores de la Tabla 2, la FIG. 1 muestra la relación entre el valor total de los porcentajes de área de las estructuras no perlíticas y estructuras perlíticas gruesas y la densidad numérica de los huecos del alambre de acero después del estirado final, mientras que la FIG. 2 muestra la relación entre la densidad numérica de los huecos del alambre de acero y la tensión en la rotura cuando un alambre se rompe en la torsión. Además, la FIG. 3 muestra la relación entre la velocidad de enfriamiento a 800 a 700°C de la varilla de acero después de enfriamiento y el total de los porcentajes de área de las estructuras perlíticas gruesas y las estructuras no perlíticas.

La FIG. 1 muestra que en los ejemplos de la invención, si se suprime el porcentaje de no perlita y de perlita gruesa hasta 15 % o menos, en el alambre de acero estirado, puede suprimirse la formación de huecos con longitudes de 5 μm o más hasta 100/ mm^2 o menos, adicionalmente, la FIG. 2 muestra que en los ejemplos de la invención, si se suprime la formación de huecos hasta 100/ mm^2 o menos, el alambre puede torsionarse en torones sin rotura del alambre. Adicionalmente, la FIG. 3 muestra que haciendo la velocidad de enfriamiento en la varilla de acero a 800 a 700°C 20°C/s o más, puede suprimirse el porcentaje de no perlita y de perlita gruesa hasta 15 % o menos.

Como se muestra en la Tabla 2, en los ejemplos de la invención, los alambres de acero se obtuvieron con alta resistencia a la tracción sin ninguna rotura del alambre, y los alambres de acero pudieron torsionarse en torones sin rotura del alambre debida a la operación de torsión.

En contraposición a esto, en los ejemplos comparativos, se presentaron los siguientes problemas. O bien el alambre se rompió durante el estirado o se rompió durante el proceso de torsión en torones después del estirado.

17 es un ejemplo en el que la temperatura de bobinado fue baja, por tanto, precipitan nitruros y carburos de B antes del templado y la cantidad de B soluto no pudo asegurarse, por lo que no se pudieron suprimir la no perlita y la perlita gruesa.

18 es un ejemplo en el que la cantidad de B era baja, por lo que no se pudieron suprimir la no perlita y la perlita gruesa.

19 es un ejemplo en el que la cantidad de B era excesiva, acabaron precipitando una gran cantidad de carburos de B y cementita proeutectoide en los límites de grano austenítico y la facilidad de estirado fue inferior.

45 20 es un ejemplo en el que la cantidad de Si fue excesiva y no se pudo suprimir la precipitación de no perlita (ferrita proeutectoide).

21 es un ejemplo en el que la cantidad de C fue excesiva y no se pudo suprimir la precipitación de cementita proeutectoide, por lo que el alambre no pudo estirarse debido a rotura del alambre.

50 22 es un ejemplo en el que la cantidad de Mn fue excesiva y la transformación en perlita no finalizó durante el proceso Stelmor, por lo que se deterioró la facilidad de estirado y el alambre se rompió.

23 es un ejemplo en el que la temperatura de bobinado después del laminado fue demasiado alta, por lo que precipitó BN en una gran cantidad durante el proceso de enfriamiento y, además, los granos austeníticos se hicieron gruesos, por lo que se formó ferrita en los límites de grano gruesos y se deterioró la ductilidad.

24 es un ejemplo en el que la cantidad de Mo fue excesiva y la transformación en perlita no se completó durante el

ES 2 605 255 T3

proceso Stelmor, por lo que no pudo llevarse a cabo el estirado primario.

25 a 27 son ejemplos en los que no se añadió B, por lo que no pudieron suprimirse la no perlita y la perlita gruesa.

28 es un ejemplo en el que la velocidad de enfriamiento después de bobinar fue pequeña, por lo que la resistencia la tracción (RT) también fue baja y estuvieron presentes tanto no perlita como perlita gruesa en una gran cantidad.

- 5 29 es un ejemplo en el que no se añadió Mo, por lo que no pudo suprimirse la formación de perlita gruesa.

Tabla 1

Nº.	Elemento (% en masa, ppm en masa)																			Observaciones
	C	Si	Mn	P	S	B (ppm)	B Sólido (ppm)	Al	Ti	N (ppm)	O (ppm)	Mo	Cr	Ni	Cu	V	Co	Nb		
1	0,82	0,30	0,45	0,019	0,025	24		11		0,001	20	21	0,005							Ej. Inv.
2	0,82	0,20	0,51	0,015	0,013	13		9		0,001	22	31	0,186							Ej. Inv.
3	0,92	0,20	0,57	0,010	0,007	12		8		0,004	20	28	0,040		0,10					Ej. Inv.
4	0,92	0,20	0,3	0,019	0,025	8		6			27	25	0,030	0,18						Ej. Inv.
5	0,93	0,20	0,32	0,008	0,007	11		7	0,003		26	23	0,003	0,22						Ej. Inv.
6	0,92	0,20	0,49	0,010	0,009	9		6			24	24	0,025		0,10					Ej. Inv.
7	0,92	0,60	0,5	0,025	0,020	8		5	0,001		25	23	0,050				0,03	0,05	Ej. Inv.	
8	1,02	0,20	0,3	0,008	0,008	11		6			27	21	0,005	0,23						Ej. Inv.
9	1,02	0,18	0,3	0,008	0,008	12		7			26	26	0,030	0,18						Ej. Inv.
10	1,02	0,20	0,5	0,008	0,008	13		7	0,004		25	21	0,060	0,21						Ej. Inv.
11	1,02	0,20	0,5	0,010	0,008	4		3			25	38	0,020	0,05			0,10			Ej. Inv.
12	1,02	0,20	0,5	0,008	0,010	12		8			27	22	0,110	0,20						Ej. Inv.
13	0,92	0,20	0,4	0,008	0,008	15		11			25	21	0,030				0,06			Ej. Inv.
14	0,91	0,20	0,3	0,008	0,008	21		13		0,003	26	24	0,050	0,20			0,20			Ej. Inv.
15	0,90	0,20	0,49	0,009	0,010	9		6			21	23	0,004							Ej. Inv.
16	1,12	0,22	0,3	0,008	0,008	28		19	0,001		27	35	0,042							Ej. Inv.
17	0,82	0,30	0,5	0,008	0,007	11		6			35	22	0,010	0,20						Ej. Comp.
18	0,82	0,20	0,5	0,010	0,009	2				0,010	50	28	0,030							Ej. Comp.
19	0,90	0,20	0,8	0,010	0,009	60		32		0,005	25	18	0,015		0,10					Ej. Comp.
20	0,87	1,70	0,4	0,015	0,013	20		11		0,010	25	22	0,012							Ej. Comp.
21	1,30	1,00	0,3	0,015	0,013	20		12	0,030		25	17	0,020				0,30			Ej. Comp.
22	0,92	0,30	1,5	0,015	0,013	20		10	0,025		25	21	0,018				0,20			Ej. Comp.
23	0,82	1,00	0,5	0,025	0,020	20		13	0,030		35	20	0,018				0,20			Ej. Comp.
24	0,96	0,20	0,5	0,010	0,009	12		7		0,010	25	23	0,250				0,10			Ej. Comp.
25	0,82	0,20	0,5	0,010	0,009					0,010	25	24	0,005							Ej. Comp.
26	1,02	0,20	0,5	0,010	0,009					0,010	25	22	0,010							Ej. Comp.
27	0,92	0,20	0,5	0,010	0,009					0,010	25	20	0,050							Ej. Comp.
28	0,82	0,20	0,45	0,019	0,025	24		19			25	19								Ej. Comp.
29	0,93	0,20	0,31	0,008	0,007	11		8	0,001		26	23		0,22						Ej. Comp.

Nota: Los blancos indican no adición

Tabla 2

Nº.	Condiciones de producción de varilla de acero			Características de la varilla de acero laminada después de templado isotérmico			Condiciones y características de templado isotérmico final			Características del alambre de acero			Observaciones					
	Diametro /mm	Temp. bobinado /°C	Proced. enfriam.	Velocidad enfriam 800 a 700 °C /°C/s	Resist. varilla laminada /MPa	Porcent. área no perlita %	Porcent. área perlita gruesa %	No perlita y perlita gruesa total %	Diámetro de alambre templada /mm	Proced. de templado	Temp. de templado /°C	Resist. alambre templado /MPa	Diámetro alambre final /mm	Resist. alambre final /MPa	Rotura alambre en la torsión	Tensión en la rotura en la torsión (relación % RT)	Densidad numérica de huecos /mm ²	
1	5,5	860	Stelmor	25,5	1184	2,8	9,6	12,4	1,46	LP	575	1342	0,20	3789	Ninguna	40,0	80	Ej. Inv.
2	5,5	880	Stelmor	23,3	1166	2,4	7,5	9,9	1,40	LP	550	1315	0,22	3455	Ninguna	40,0	70	Ej. Inv.
3	5,5	860	Stelmor	30,5	1324	1,3	5,9	7,2	1,60	LP	575	1414	0,22	4055	Ninguna	40,0	28	Ej. Inv.
4	5,0	820	Stelmor	33,0	1345	2,1	5,4	7,5	1,50	LP	600	1419	0,20	4132	Ninguna	40,0	65	Ej. Inv.
5	3,8	855	Stelmor	28,0	1312	1,9	10,2	12,1	1,30	LP	570	1422	0,22	3891	Ninguna	40,0	45	Ej. Inv.
6	6,5	895	Stelmor	30,8	1330	2,7	9,3	12,0	1,40	LP	550	1413	0,20	3971	Ninguna	40,0	40	Ej. Inv.
7	5,5	820	Stelmor	23,0	1263	2,8	5,8	8,6	1,40	LP	575	1492	0,20	4195	Ninguna	40,0	50	Ej. Inv.
8	5,5	860	Stelmor	22,3	1352	1,3	9,3	10,6	1,45	LP	575	1529	0,20	4445	Ninguna	40,0	60	Ej. Inv.
9	5,5	870	Stelmor	33,0	1445	2,2	9,2	11,4	1,45	FBP	575	1468	0,20	4266	Ninguna	40,0	9	Ej. Inv.
10	5,5	870	Stelmor	29,5	1420	2,6	7,6	10,2	1,30	LP	575	1533	0,18	4448	Ninguna	40,0	25	Ej. Inv.
11	5,5	820	Stelmor	20,5	1341	1,9	8,1	10,0	1,50	LP	575	1523	0,20	4504	Ninguna	40,0	68	Ej. Inv.
12	5,5	870	Stelmor	36,3	1478	1,9	8,2	10,1	1,45	LP	575	1532	0,20	4454	Ninguna	40,0	35	Ej. Inv.
13	5,5	870	Stelmor	28,0	1304	1,9	7,8	9,7	1,40	LP	575	1431	0,20	4024	Ninguna	40,0	65	Ej. Inv.
14	5,5	870	Stelmor	25,0	1266	1,2	4,3	5,5	1,60	FBP	570	1360	0,20	4080	Ninguna	40,0	16	Ej. Inv.

Condiciones de producción de varilla de acero			Características de la varilla de acero laminada después de templado isotérmico			Condiciones y características de templado isotérmico final			Características del alambre de acero			Observaciones						
Nº.	Diámetro/mm	Temp. bobinado /°C	Vel. enfriam 800 a 700 °C/s	Resist. varilla laminada /MPa	Porcent. área no perlita gruesa %	No perlita y perlita gruesa total %	Diámetro de alambre templada /mm	Proced. de templado	T de templado /°C	Resist. alambre templado /MPa	Diámetro alambre final /mm	Resist. alambre final /MPa	Rotura alambre en la torsión	Tensión en la rotura en la torsión (% RT)	D numérica de huecos /mm ²			
15	5,5	870	Stelmor	27,5	1282	2,9	10,5	13,4	1,60	FBP	575	1373	0,20	4111	Ninguna	40,0	75	Ej. Inv.
16	5,5	860	Stelmor	30,5	1523	2,6	7,3	9,9	0,84	LP	575	1495	0,12	4329	Ninguna	40,0	12	Ej. Inv.
17	5,5	750	Stelmor	33,0	1250	4,3	15,3	19,6	1,40	LP	575	1344	0,20	3713	Si	35,0	125	Ej. Comp.
18	5,5	870	Stelmor	28,0	1207	4,5	20,3	24,8	1,40	LP	570	1327	0,20	3667	Si	29,0	155	Ej. Comp.
19	5,5	860	Stelmor	26,0	1277	4,2	17,3	21,5	1,50	LP	600	1326	0,20	-	-	-	-	Ej. Comp.
20	5,5	900	Stelmor	30,0	1272	8,6	8,6	17,2	1,40	LP	575	1577	0,25	3892	Si	21,0	150	Ej. Comp.
21	5,5	820	Stelmor	33,0	1725	4,7	7,2	11,9	1,20	LP	575	1799	0,20	-	-	-	-	Ej. Comp.
22	5,5	820	Stelmor	28,5	1336	3,8	9,1	12,9	1,40	LP	575	1519	0,20	-	-	-	-	Ej. Comp.
23	5,5	970	Stelmor	27,3	1200	2,4	8,2	10,6	1,30	LP	600	1349	0,20	3584	Si	25,0	140	Ej. Comp.
24	5,5	870	Stelmor	24,0	1312	2,8	8,6	11,4	1,50	FBP	575	1341	0,20	-	-	-	-	Ej. Comp.
25	5,5	870	Stelmor	24,5	1176	3,4	20,4	23,8	1,50	LP	575	1319	0,20	3774	Si	28,0	140	Ej. Comp.
26	5,5	880	Stelmor	40,5	1515	3,8	14,1	17,9	1,45	LP	575	1486	0,20	4318	Si	37,0	105	Ej. Comp.
27	5,5	890	Stelmor	38,3	1396	4,2	11,8	16,0	1,60	LP	575	1401	0,20	4210	Si	32,0	111	Ej. Comp.
28	5,5	870	Stelmor	10,0	1049	4,1	31,0	35,1	1,46	LP	575	1317	0,18	3915	Si	8,0	210	Ej. Comp.
29	5,5	855	Stelmor	28,0	1312	2,5	14,8	17,3	1,30	LP	570	1393	0,22	3580	Si	28,0	125	Ej. Comp.

(Ejemplo 2)

Este es un Ejemplo del caso que usa acero que contiene Mo. Se usó un tocho que usa acero que tiene cada uno de los componentes químicos mostrados en la Tabla 3 del mismo modo que en el Ejemplo 1 para preparar una varilla de acero con un diámetro de 5,5 mm, esta varilla de acero se bobinó en una forma anular a una temperatura predeterminada, luego se templó isotérmicamente por el tratamiento Stelmor o se templó isotérmicamente por inmersión en sal fundida (DLP).

Las muestras se tomaron de la varilla laminada templada isotérmicamente del mismo modo que en el Ejemplo 1 y se sometieron a una prueba de tracción y se observaron por SEM.

A continuación, para obtener las características de estirado de la varilla de acero, se estiró el material del mismo modo que en el Ejemplo 1 para obtener un alambre de acero con un diámetro de estirado final. Las muestras se extrajeron del alambre de acero obtenido y se sometieron a una prueba de tracción y se midió la densidad numérica de huecos.

Adicionalmente, se usó el alambre de acero preparado y se torsionó del mismo modo que en el Ejemplo 1 y se examinó para la aparición de rotura del alambre y las tensiones en la rotura.

Las condiciones para producir la varilla de acero laminada, las condiciones para el templado isotérmico final, y las características de la varilla de acero y el alambre de acero obtenidos se muestran en la Tabla 4. En la Tabla 4, los números a a h son ejemplos que usan aceros de los números a a h correspondientes de la Tabla 3. Los números a a d son Ejemplos de la invención y los números e a h son Ejemplos comparativos.

En los ejemplos de la invención, se obtuvieron alambres de acero con alta resistencia a la tracción sin ninguna rotura del alambre. Adicionalmente, estos alambres de acero se pudieron torsionar en torones sin que los alambres se rompieran por la torsión.

En contraposición a esto, en los ejemplos comparativos, los componentes químicos satisficieron las condiciones de la presente invención y los materiales se pudieron estirar en alambre de acero, pero la velocidad de enfriamiento después del bobinado fue baja, por lo que las cantidades de perlita gruesa y no perlita de la varilla de acero fueron ambas grandes, la densidad numérica de huecos que quedan después de estirado también fue alta, y se produjo rotura del alambre por la torsión cuando se torsionaron en torones.

Tabla 3

Elemento (% en masa, ppm en masa)																			
Nº.	C	Si	Mn	P	S	B (ppm)	B Sólido (ppm)	Al	Ti	N (ppm)	O (ppm)	Mo	Cr	Ni	Cu	V	Co	Nb	Observaciones
a	1,07	0,22	0,3	0,008	0,008	12	7	0,001		27	35	0,030	0,20					Ej. invención	
b	1,12	0,20	0,32	0,008	0,008	8	5			25	34	0,090	0,20					Ej. invención	
c	1,12	0,22	0,3	0,008	0,008	6	5	0,001		24	25	0,030	0,20					Ej. invención	
d	1,12	0,20	0,31	0,008	0,008	8	5			27	21	0,006	0,20					Ej. invención	
e	1,12	0,22	0,3	0,008	0,008	7	4	0,001		27	35	0,006	0,20					Ej. Comparati.	
f	1,02	0,18	0,3	0,008	0,008	12	7			26	26	0,030	0,18					Ej. Comparati.	
g	1,02	0,20	0,5	0,008	0,010	12	8			27	22	0,110	0,20					Ej. Comparati.	
h	0,92	0,20	0,3	0,019	0,025	8	6			27	25	0,030	0,18					Ej. Comparati.	

Nota: Los blancos indican no adición

Tabla 4

Nº.	Condiciones de producción de varilla de acero			Características de la varilla de acero laminada después de templado isotérmico			Condiciones y características de templado isotérmico final			Características del alambre de acero			Observaciones		
	Diametro /mm	Temp. bobinado /°C	Velocidad enfriamiento 800 a 700 °C/s	Resistencia de varilla laminada /MPa	Porcent. área no perita gruesa %	No perita y perita gruesa total %	Diámetro de alambre templada /mm	Procedim. templado	Temp. de templado /°C	Resist. alambre templado /MPa	Diámetro alambre final /mm	Resist. alambre final /MPa	Rotura alambre en la torsión (relación % RT)	Tensión en la rotura en la torsión /mn ²	
a	5,5	940	DLP	87,0	1586	0,9	2,3	3,2	1,26	LP	575	1560	0,22	4520	Ninguna 40,0 25 Ej. Inv.
b	5,5	945	Stellmor	28,5	1518	1,3	4,8	6,1	1,26	LP	575	1630	0,20	4550	Ninguna 40,0 21 Ej. Inv.
c	5,5	920	DLP	95,0	1575	0,8	2,8	3,6	1,18	LP	575	1640	0,20	4510	Ninguna 40,0 18 Ej. Inv.
d	5,5	930	DLP	98,0	1580	0,7	1,6	2,3	1,18	LP	575	1630	0,22	4605	Ninguna 40,0 12 Ej. Inv.
e	5,5	955	Stellmor	17,0	1320	3,9	13,0	16,9	1,26	LP	575	1625	0,22	4520	Si 31,0 130 Ej. Comp.
f	5,5	870	Stellmor	13,0	1240	3,5	15,0	18,5	1,46	LP	575	1460	0,20	4280	Si 23,0 144 Ej. Comp.
g	5,5	870	Stellmor	9,0	1210	4,2	23,0	27,2	1,46	LP	575	1520	0,20	4469	Si 19,0 185 Ej. Comp.
h	5,0	820	Stellmor	15,0	1140	5,2	19,0	24,2	1,46	LP	575	1410	0,20	4077	Si 25,0 125 Ej. Comp.

(Ejemplo 3)

Este es un Ejemplo del caso que usa principalmente acero que contiene W y que parcialmente usa acero que contiene tanto W como Mo. Se usó un tocho que usa acero que tiene cada uno de los componentes químicos mostrados en la Tabla 5 del mismo modo que en el Ejemplo 1 para preparar una varilla de acero que tiene un diámetro de 4 a 6 mm, la varilla de acero se bobinó en una forma de anillo a una temperatura predeterminada, seguidamente se templó isotérmicamente por un tratamiento Stelmor.

5 Se tomaron muestras de la varilla de acero laminada templada isotérmicamente del mismo modo que en el Ejemplo 1 y se sometieron a una prueba de tracción y se observaron por SEM.

10 A continuación, para obtener las características de estirado de la varilla de acero, la varilla se estiró del mismo modo que en el Ejemplo 1 para obtener un alambre de acero que tiene un diámetro de estirado final. Las muestras se extrajeron del alambre de acero obtenido y se sometieron a una prueba de tracción y se midieron para determinar la densidad numérica de huecos.

15 Adicionalmente, se usó el alambre de acero preparado y se torsionó del mismo modo que en el Ejemplo 1 y se examinó para la aparición de rotura del alambre y las tensiones en la rotura.

20 Las condiciones para producir la varilla de acero laminada, las condiciones para el templado isotérmico final, y las características de la varilla de acero y el alambre de acero obtenidos se muestran en la Tabla 6.

En la Tabla 6, Los números 1 a 16 son ejemplos de la invención que usan aceros de los números 1 a 16 correspondientes de la Tabla 5. Igualmente, 17 a 28 son ejemplos comparativos. Las entradas de “-” en la columna de características de los alambres de acero de los ejemplos comparativos son casos en los que el alambre se rompió en el pase de estirado final o en un pase anterior. El diámetro de estirado final es el diámetro en el momento de dicho pase.

25 En base a los valores de la Tabla 6, Las FIGS. 4 a 6 muestran relaciones similares a las FIGS. 1 a 3 del Ejemplo 1. Las FIGS. 4 a 6 muestran que incluso cuando se usa acero que contiene W, se obtienen relaciones similares al Ejemplo 1 que usa acero que contiene Mo.

30 Como se muestra en la Tabla 6, en los ejemplos de la invención, se obtuvieron alambres de acero con alta resistencia a la tracción sin ninguna rotura del alambre. Adicionalmente, los alambres de acero se pudieron torsionar en torones sin rotura de los alambres por la torsión.

35 En contraposición a esto, en los ejemplos comparativos, se produjeron los siguientes problemas. Los alambres se rompieron durante el estirado o se rompieron después la torsión después del estirado.

17 es un Ejemplo en el que la temperatura de bobinado fue baja, por lo que antes del templado isotérmico precipitan nitruros y carburos de B, por lo que la cantidad de B soluto no puede garantizarse, por tanto, no pudieron suprimirse las estructuras de no perlita y perlita gruesa.

18 es un Ejemplo en el que la temperatura de bobinado después de laminado fue demasiado alta, por lo que precipitó BN en una gran cantidad en el procedimiento de bobinado y, adicionalmente, los granos de austenita se engrosaron, por lo que la ferrita de los límites de grano grueso y la ductilidad se deterioraron.

19, 22, 24, 26 y 29 son ejemplos en los que la cantidad de B fue baja o no se añadió, por lo que no pudieron suprimirse las estructuras de no perlita y perlita gruesa

20 es un Ejemplo en el que no se añadió W o no se añadió suficiente, no pudo suprimirse la formación de perlita gruesa.

21 es un ejemplo en el que la cantidad de B fue excesiva, acabó precipitando una gran cantidad de carburo de B y cementita proeutectoide en los límites de grano austenítico, y las características de estirado fueron malas.

22 es un ejemplo en el que la cantidad de Si fue excesiva y no pudo suprimirse la precipitación de no perlita (ferrita proeutectoide).

23 es un ejemplo en el que la cantidad de C fue excesiva y no pudo suprimirse la precipitación de cementita proeutectoide, por lo que se produjo rotura del alambre en el estirado primario.

24 es un ejemplo en el que la cantidad de Mn fue excesiva y la transformación en perlita no se completó durante el laminado, por lo que la facilidad de estirado primario cayó y el alambre se rompió.

25 es un ejemplo en el que la cantidad de W fue excesiva y la transformación en perlita no se completó durante el

ES 2 605 255 T3

laminado, por lo que se produjo rotura del alambre en el estirado primario.

Tabla 5

Nº.	Elemento (% en masa, ppm en masa)																				
	C	Si	Mn	P	S	B (ppm)	B Sólido (ppm)	Al	Ti	N (ppm)	O (ppm)	W	Mo	Cr	Ni	Cu	V	Co	Nb	Observaciones	
1	1,02	0,30	0,5	0,010	0,025	11	7		0,001	20	13	0,005								Ej. Invención	
2	0,82	0,20	0,5	0,008	0,008	9	6			25	22	0,020			0,10			0,10		Ej. Invención	
3	1,02	0,20	0,3	0,008	0,009	8	5			20	28	0,040				0,10					Ej. Invención
4	1,12	0,18	0,5	0,010	0,010	15	11			26	22	0,030		0,18							Ej. Invención
5	1,02	0,20	0,35	0,019	0,007	9	6		0,001	22	31	0,020	0,04								Ej. Invención
6	0,91	0,60	0,3	0,008	0,008	4	3	0,004		25	23	0,050					0,03	0,05		Ej. Invención	
7	0,92	0,20	0,3	0,009	0,008	24	11			25	21	0,030					0,06			Ej. Invención	
8	0,90	0,20	0,3	0,008	0,008	12	8			27	21	0,015		0,23							Ej. Invención
9	1,05	0,20	0,35	0,010	0,020	11	6		0,004	27	21	0,100		0,18							Ej. Invención
10	0,82	0,20	0,5	0,008	0,008	21	12	0,001		25	18	0,050									Ej. Invención
11	1,02	0,20	0,45	0,025	0,008	12	8	0,001		26	23	0,006		0,22							Ej. Invención
12	0,92	0,20	0,5	0,008	0,008	13	9			24	21	0,022	0,05								Ej. Invención
13	0,92	0,20	0,3	0,019	0,013	12	8			21	23	0,080									Ej. Invención
14	0,92	0,20	0,4	0,008	0,010	28	19			27	22	0,006									Ej. Invención
15	0,93	0,55	0,49	0,008	0,025	13	9			26	16	0,150		0,20	0,20			0,02		Ej. Invención	
16	0,92	0,33	0,45	0,015	0,070	8	6	0,001		27	35	0,100									Ej. Invención
17	0,83	0,35	0,5	0,007	0,010	11	6			34	21	0,010		0,18							Ej. comparati.
18	0,82	1,00	0,5	0,025	0,020	20	13	0,030		35	20	0,018									Ej. comparati.
19	0,96	0,20	0,5	0,010	0,009	2			0,010	50	24										Ej. comparati.
20	0,82	0,20	0,45	0,019	0,025	20	14			25	19	0,005									Ej. comparati.
21	0,82	0,20	0,5	0,010	0,009	44	26		0,005	25	18	0,015			0,10						Ej. comparati.
22	0,92	0,20	0,5	0,010	0,009				0,010	25	20	0,020									Ej. comparati.
23	1,02	1,65	0,5	0,015	0,013	20	11		0,010	25	22	0,012									Ej. comparati.
24	0,87	0,20	0,4	0,010	0,009				0,010	25	22	0,010									Ej. comparati.
25	1,28	1,00	0,3	0,015	0,013	15	9	0,030		25	17	0,020						0,30		Ej. comparati.	
26	0,90	0,20	0,8	0,010	0,009				0,010	25	24	0,003									Ej. comparati.
27	0,92	0,30	1,6	0,015	0,013	16	7	0,025		25	21	0,018						0,20		Ej. comparati.	
28	0,82	0,20	0,5	0,010	0,009	12	7		0,010	25	23	0,220						0,10		Ej. comparati.	
29	0,90	0,20	0,8	0,010	0,009	3			0,010	25	24	0,005									Ej. comparati.
30	0,93	0,20	0,31	0,008	0,007	11	8	0,001		26	23				0,22						Ej. comparati.

Nota: Los blancos indican no adición

Tabla 6

Condiciones de producción de varilla de acero			Características de la varilla de acero laminada después de templado isotérmico			Condiciones y características de templado isotérmico final			Características del alambre de acero			Observaciones						
Nº.	Diametro /mm	Temp. bobinado /°C	Proced. enfriamiento	Velocidad enfriamiento 800 a 700 °C/s	Resist. varilla laminada /MPa	Porcent. área no perlita %	Porcent. perlita gruesa %	Diámetro de alambre templada /mm	Proced. de templado	Temp. de templado /°C	Resist. alambre templado /MPa	Diámetro alambre final /mm	Resist. alambre final /MPa	Rotura alambre en la torsión	Tensión en la rotura en la torsión % (relación R)	D numérica de huecos /mm²		
1	5,5	860	Stelmor	25,5	1385	2,7	9,8	12,5	1,46	LP	575	1548	0,20	4515	Ninguna	40,0	78	Ej. Inv.
2	5,5	820	Stelmor	20,5	1141	1,8	8,1	9,9	1,50	LP	575	1323	0,20	3787	Ninguna	40,0	64	Ej. Inv.
3	5,5	860	Stelmor	30,5	1423	1,4	6,3	7,7	1,60	LP	575	1510	0,22	4395	Ninguna	40,0	30	Ej. Inv.
4	5,5	870	Stelmor	33,0	1550	2,1	5,9	8	1,45	FBP	575	1591	0,20	4690	Ninguna	40,0	8	Ej. Inv.
5	5,5	880	Stelmor	23,3	1362	2,4	7,5	9,9	1,40	LP	550	1496	0,22	4062	Ninguna	40,0	65	Ej. Inv.
6	5,5	820	Stelmor	23,0	1248	2,8	4,2	7	1,40	LP	575	1458	0,20	4093	Ninguna	40,0	55	Ej. Inv.
7	5,5	870	Stelmor	28,0	1302	1,9	7,7	9,6	1,40	LP	575	1419	0,20	3990	Ninguna	40,0	61	Ej. Inv.
8	5,5	860	Stelmor	22,3	1232	1,3	9,6	10,9	1,45	LP	575	1409	0,20	4020	Ninguna	40,0	58	Ej. Inv.
9	5	820	Stelmor	33,0	1476	2,1	5,4	7,5	1,50	LP	600	1555	0,20	4619	Ninguna	40,0	65	Ej. Inv.
10	5,5	870	Stelmor	29,5	1220	2,4	3,8	6,2	1,30	LP	575	1333	0,18	3743	Ninguna	40,0	24	Ej. Inv.
11	4	855	Stelmor	28,0	1405	1,9	8,8	10,7	1,30	LP	570	1527	0,22	3891	Ninguna	40,0	45	Ej. Inv.
12	6	895	Stelmor	30,8	1331	2,7	7,3	10	1,40	LP	550	1414	0,20	3974	Ninguna	40,0	41	Ej. Inv.
13	5,5	870	Stelmor	27,5	1297	2,3	4,8	7,1	1,60	FBP	575	1370	0,20	4117	Ninguna	40,0	73	Ej. Inv.
14	5,5	870	Stelmor	36,3	1376	1,9	8,1	10	1,45	LP	575	1421	0,20	4066	Ninguna	40,0	35	Ej. Inv.
15	5,5	870	Stelmor	25,0	1290	1,2	2,3	3,5	1,60	FBP	570	1403	0,20	4221	Ninguna	40,0	17	Ej. Inv.
16	5,5	860	Stelmor	30,5	1327	2,6	3,2	5,8	0,84	LP	575	1313	0,12	3691	Ninguna	40,0	13	Ej. Inv.

Condiciones de producción de varilla de acero			Características de la varilla de acero laminada después de templado isotérmico			Condiciones y características de templado isotérmico final			Características del alambre de acero			Observaciones					
Nº	Diametro /mm	Temp. bobinado /°C	Proced. enfriamiento.	Velocidad enfriamiento 800 a 700 °C /°C/s	Resist. varilla laminada MPa	Porcent. área no perlita %	Porcent. área perlita gruesa %	No perlita y gruesa total %	Diámetro alambre templada /mm	Proced. de templado	Temp. de templado /°C	Resist. alambre templado MPa	Diámetro alambre final /mm	Resist. alambre final MPa	Rotura alambre en la torsión	Tensión en la rotura en la torsión (% RT)	D numérica de huecos /mm ²
17	5,5	750	Stelmor	33,0	1260	5,8	9,6	15,4	1,40	LP	575	1359	0,20	3762	Si	30	131
18	5,5	965	Stelmor	27,3	1200	5,6	10,2	15,8	1,30	LP	600	1349	0,20	3584	Si	20	121
19	5,5	870	Stelmor	28,0	1347	4,4	19,8	24,2	1,40	LP	570	1437	0,20	4065	Si	15	151
20	5,5	870	Stelmor	10,0	1049	4,1	29,2	33,3	1,46	LP	575	1317	0,18	3915	Si	5	208
21	5,5	860	Stelmor	26,0	1189	1,8	8,2	10	1,50	LP	600	1231	0,20	-	-	-	Ej. Comp.
22	5,5	890	Stelmor	38,3	1396	5,2	10,3	15,5	1,60	LP	575	1401	0,20	4210	Si	35	109
23	5,5	900	Stelmor	30,0	1424	8,5	8,5	17	1,40	LP	575	1699	0,25	4294	Si	11	155
24	5,5	880	Stelmor	40,5	1363	5,1	10,1	15,2	1,45	LP	575	1357	0,20	3850	Si	31	109
25	5,5	820	Stelmor	33,0	1705	2,5	7,3	9,8	1,20	LP	575	1784	0,20	-	-	-	Ej. Comp.
26	5,5	870	Stelmor	24,5	1264	4,6	12,5	17,1	1,50	LP	575	1415	0,20	4104	Si	30	135
27	5,5	820	Stelmor	28,5	1338	10,2	9,1	19,3	1,40	LP	575	1527	0,20	-	-	-	Ej. Comp.
28	5,5	870	Stelmor	24,0	1172	13,2	2,8	16	1,50	FBP	575	1231	-	-	-	-	Ej. Comp.
29	5,5	870	Stelmor	24,5	1264	3,6	13,6	17,2	1,50	LP	575	1415	0,20	4104	Si	12	140
30	5,5	855	Stelmor	28,0	1312	2,4	15,8	18,2	1,30	LP	570	1393	0,22	3580	Si	12	124

(Ejemplo 4)

Este es un Ejemplo del caso que usa acero que contiene W. Se usó un tocho que usa acero que tiene cada uno de los componentes químicos mostrados en la Tabla 7 del mismo modo que en el Ejemplo 1 para preparar una varilla de acero que tiene un diámetro de 4 mm a 5,5 mm, la varilla de acero se bobinó en una forma de anillo a una temperatura predeterminada, a continuación se templó isotérmicamente por tratamiento Stelmor o se templó isotérmicamente por inmersión en sal fundida (DLP).

5 Se tomaron muestras de la varilla de acero laminada templada isotérmicamente del mismo modo que en el Ejemplo 1 y se sometieron a una prueba de tracción y se observaron por SEM.

10 A continuación, para obtener las características de estirado de la varilla de acero, el material se estiró del mismo modo que en el Ejemplo 1 para obtener un alambre de acero que tiene un diámetro de estirado final. Las muestras se extrajeron del alambre de acero obtenido y se sometieron a una prueba de tracción y se midieron para determinar la densidad numérica de huecos.

15 Adicionalmente, el alambre de acero obtenido se usó y se torsionó del mismo modo que en el Ejemplo 1 y se examinó para la aparición de rotura del alambre y las tensiones en la rotura.

15 Las condiciones para producir la varilla de acero laminada, las condiciones para el templado final, y las características de la varilla de acero y el alambre de acero obtenidos se muestran en la Tabla 8.

En la Tabla 8, los números a a h son ejemplos que usan aceros de los números a a h correspondientes de la Tabla 7, los números a a d son ejemplos de la invención, y los números e a h son Ejemplos comparativos.

20 En los ejemplos de la invención, se obtuvieron alambres de acero con alta resistencia a la tracción sin ninguna rotura del alambre. Adicionalmente, los alambres de acero se pudieron formar en torones sin rotura de los alambres por la torsión.

25 En contraposición a esto, en los ejemplos comparativos, los componentes químicos satisficieron las condiciones de la presente invención y los materiales se pudieron estirar en alambre de acero, pero la velocidad de enfriamiento después del bobinado fue baja, por lo que las cantidades de perlita gruesa y no perlita de la varilla de acero fueron ambas grandes, la densidad de huecos que quedan después de estirado también fue alta, y se produjo rotura del alambre por la torsión cuando se torsionaron en torones.

Tabla 7

Elemento (% en masa, ppm en masa)																				
Nº.	C	Si	Mn	P	S	B (ppm)	B Sólido (ppm)	Al	Ti	N (ppm)	O (ppm)	W	Mo	Cr	Ni	Cu	V	Co	Nb	Observaciones
a	1,02	0,20	0,5	0,008	0,008	9	6	0,001	0,000	24	25	0,030							Ej. Invención	
b	1,10	0,22	0,3	0,008	0,008	7	4	0,001	0,000	27	35	0,006	0,20						Ej. Invención	
c	1,12	0,20	0,32	0,008	0,008	8	5	0,000	0,000	25	34	0,030	0,20						Ej. Invención	
d	1,12	0,21	0,3	0,006	0,007	9	4	0,001	0,000	28	25	0,007	0,22						Ej. Invención	
e	0,90	0,20	0,3	0,008	0,008	12	8	0,000	0,000	27	21	0,005	0,23						Ej. comparati.	
f	1,12	0,20	0,32	0,008	0,008	8	5	0,000	0,000	25	34	0,030	0,20						Ej. comparati.	
g	1,02	0,20	0,45	0,025	0,008	12	7	0,001	0,000	26	23	0,006	0,22						Ej. comparati.	
h	0,92	0,20	0,4	0,008	0,010	28	19	0,000	0,000	27	22	0,006							Ej. comparati.	

Tabla 8

Condiciones de producción de varilla de acero			Características de la varilla de acero laminada después de templado isotérmico			Condiciones y características de templado isotérmico final			Características del alambre de acero			Observaciones						
Nº.	Diámetro /mm	Temp. bobinado /°C	Velocidad enfriamiento 800 a 700 °C/s	Proced. enfriam.	Resist. varilla laminada /MPa	Porcent. área no perlita /%	No perlita y perlita gruesa total /%	Diámetro de alambre templada /mm	Proced. de templado templado	Temp. de templado /°C	Resist. alambre templada /MPa	Diámetro alambre final /mm	Resist. alambre final /MPa	Rotura alambre en la torsión	Tensión en la rotura en la torsión (relación % RT)	Densidad numérica de huecos //mm ²		
a	5,5	920	DLP	95,0	1560	0,8	2,5	3,3	1,18	LP	575	1530	0,20	4522	Ninguna	40,0	17	Ej. Inv.
b	5,5	895	DLP	89,0	1575	0,9	3,3	4,2	1,26	LP	575	1590	0,22	4535	Ninguna	40,0	26	Ej. Inv.
c	5,5	930	Stelmor	28,5	1530	1,3	4,3	5,6	1,26	LP	575	1615	0,20	4555	Ninguna	40,0	23	Ej. Inv.
d	5,5	920	DLP	79,0	1625	0,7	1,9	2,6	1,18	LP	575	1630	0,22	4620	Ninguna	40,0	14	Ej. Inv.
e	5,5	860	Stelmor	12,0	1132	3,6	14,2	17,8	1,45	LP	575	1409	0,20	4020	Si	20,0	131	Ej. Comp.
f	5,5	930	Stelmor	10,0	1470	3,2	16,0	19,2	1,26	LP	575	1615	0,20	4555	Si	15,0	151	Ej. Comp.
g	4,0	855	Stelmor	13,0	1340	5,2	22,0	27,2	1,30	LP	570	1527	0,22	3891	Si	9,0	185	Ej. Comp.
h	5,5	870	Stelmor	9,0	1315	4,2	20,0	24,2	1,145	LP	575	1421	0,20	4066	Si	11,0	160	Ej. Comp.

Aplicabilidad Industrial

Aplicando la presente invención, es posible obtener de forma asequible alambre de acero de alta resistencia de ductilidad superior, en particular en la facilidad de torsión, usado en cables de acero, alambres para aserrar, y similares, con alta productividad y buen rendimiento a partir de una varilla de acero de alta resistencia de ductilidad superior y tiene aplicabilidad industrial.

5

REIVINDICACIONES

- 5 1. Varilla de acero para alambre de acero de alta resistencia de ductilidad superior **caracterizada por** los componentes químicos que contienen, en % en masa o ppm en masa, C: 0,80 a 1,20 %, Si: 0,1 a 1,5 %, Mn: 0,1 a 1,0 %, Al: 0,01 % o menos, Ti: 0,01 % o menos, uno o ambos de W: 0,005 a 0,2 % y Mo: 0,003 a 0,2 %, N: 10 a 30 ppm, B: 4 a 30 ppm (de los cuales, B soluto es 3 ppm o más), y O: 10 a 40 ppm, y que opcionalmente contienen adicionalmente al menos uno de Cr: 0,5 % o menos, Ni: 0,5 % o menos, Co: 0,5 % o menos, V: 0,5 % o menos, Cu: 0,2 % o menos y Nb: 0,1 % o menos y que tiene el resto de Fe e impurezas inevitables, que tiene un porcentaje de área de estructuras perlíticas de 97 % o más, que tiene el resto de estructuras no perlíticas que comprenden bainita, perlita degenerada y ferrita proeutectoide, y que tiene un total del porcentaje de área de las estructuras no perlíticas y el porcentaje de área de las estructuras perlíticas gruesas en las que la separación laminar aparente es de 600 nm o más de 15 % o menos.
- 10 2. Varilla de acero para alambre de acero de alta resistencia de ductilidad superior de acuerdo con la reivindicación 1 **caracterizada por** que contiene adicionalmente como componentes, en % en masa, al menos uno de Cr: 0,5 % o menos, Ni: 0,5 % o menos, Co: 0,5 % o menos, V: 0,5 % o menos, Cu: 0,2 % o menos, y Nb: 0,1 % o menos.
- 15 3. Alambre de acero de alta resistencia de ductilidad superior obtenido por el procedimiento que comprende templado isotérmico, luego estirado de una varilla de acero de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, estando el alambre de acero **caracterizado por** que tiene una resistencia a la tracción de 3600 MPa o más y una densidad numérica de huecos de longitudes de 5 µm o más de 100/mm² o menos en el centro.
- 20 4. Un procedimiento de producción de una varilla de acero para alambre de acero de alta resistencia de ductilidad superior de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por** laminado en caliente de un tocho de acero de los componentes químicos de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en una varilla de acero que tiene un diámetro de 3 a 7 mm, bobinado de esta varilla de acero en una región de temperatura de 800 a 950°C, luego templado isotérmico de la misma mediante un procedimiento de enfriamiento que proporciona una velocidad de enfriamiento de 20°C/s o más mientras que se enfriá desde 800°C a 700°C.
- 25 5. Un procedimiento de producción de un alambre de acero de alta resistencia de ductilidad superior de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado por** estirado de la varilla de acero producida por el procedimiento de producción de acuerdo con la reivindicación 4, luego templado isotérmico intermedio de la misma, seguido adicionalmente de estirado en frío del mismo.

FIG. 1

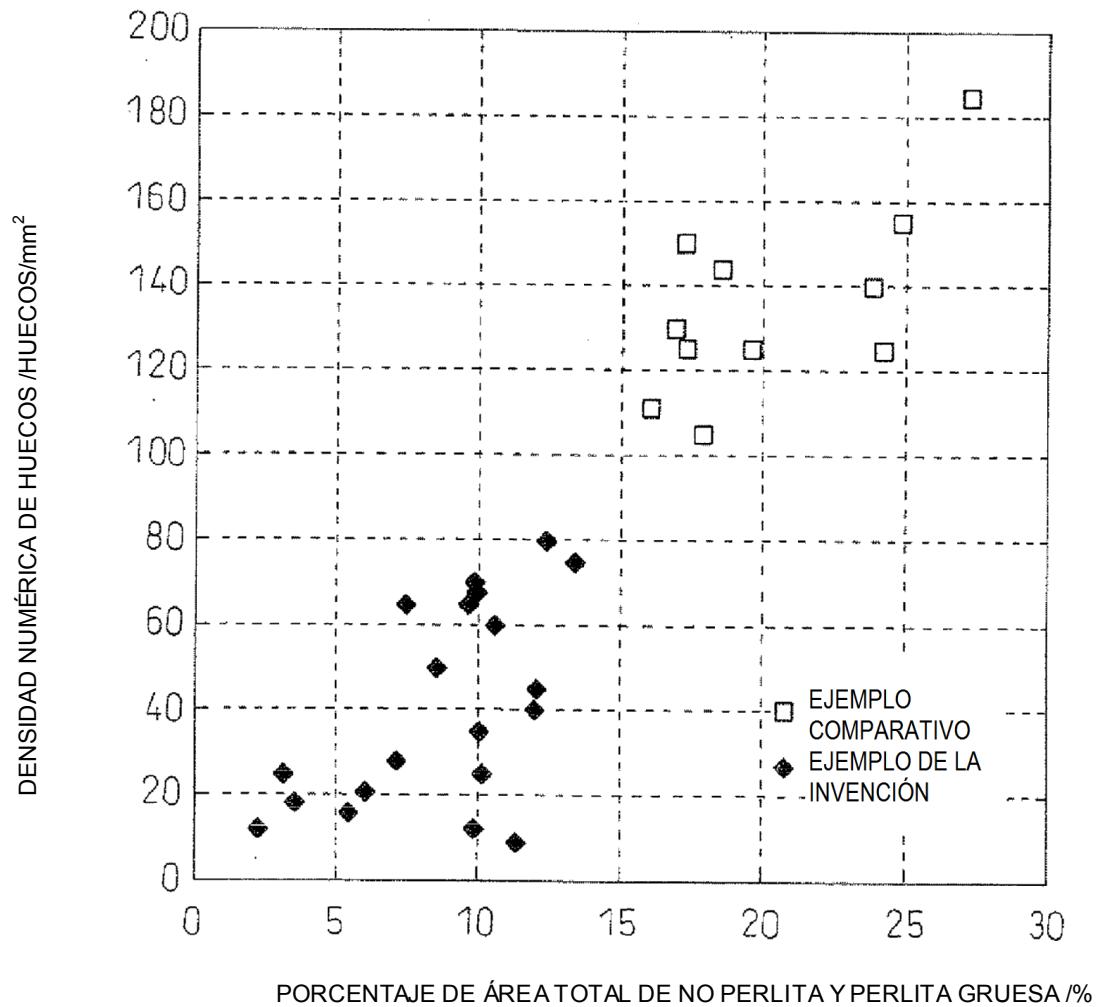


FIG. 2

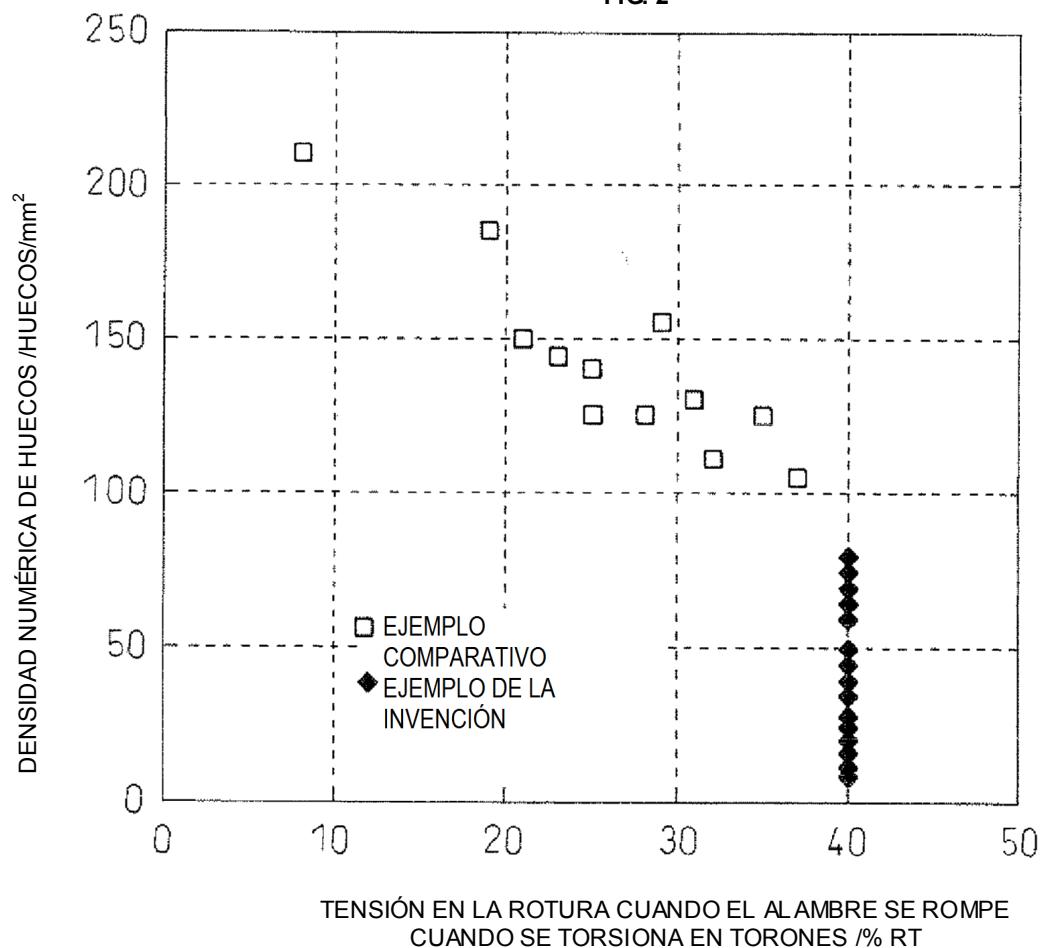


FIG. 3

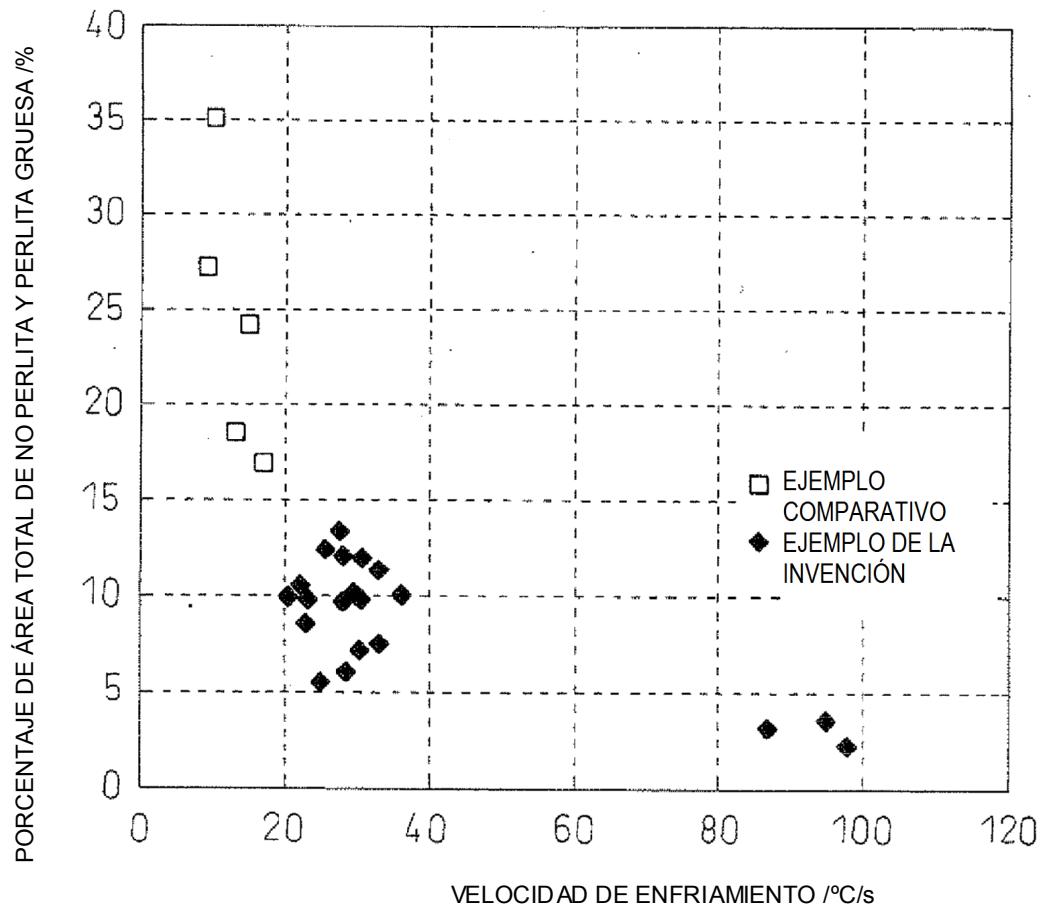
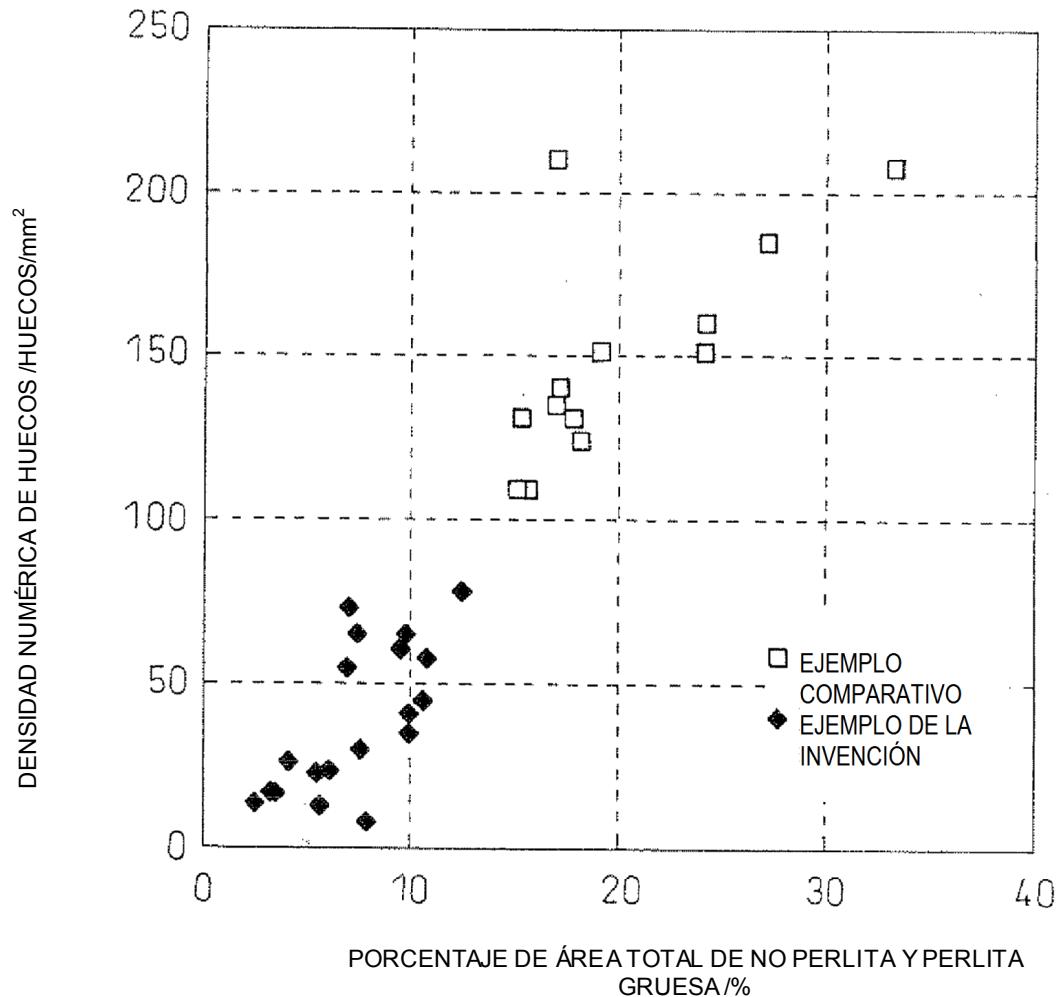


FIG. 4



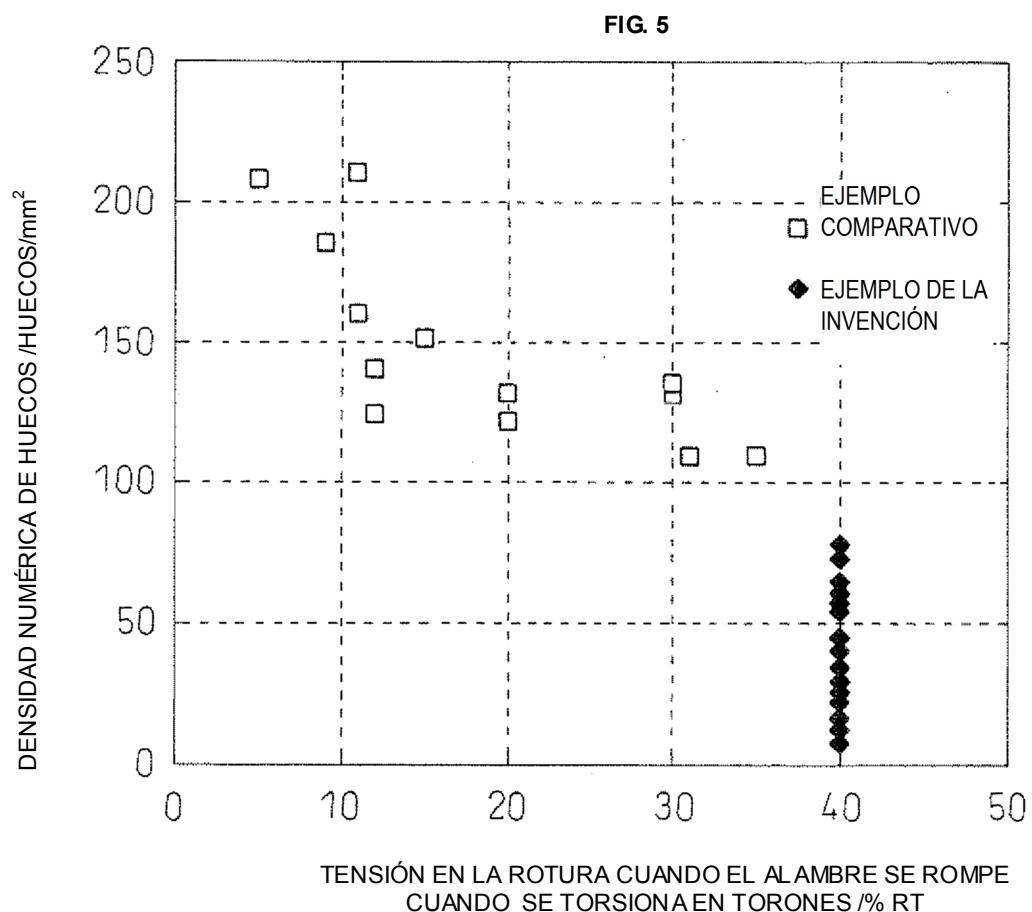


FIG. 6

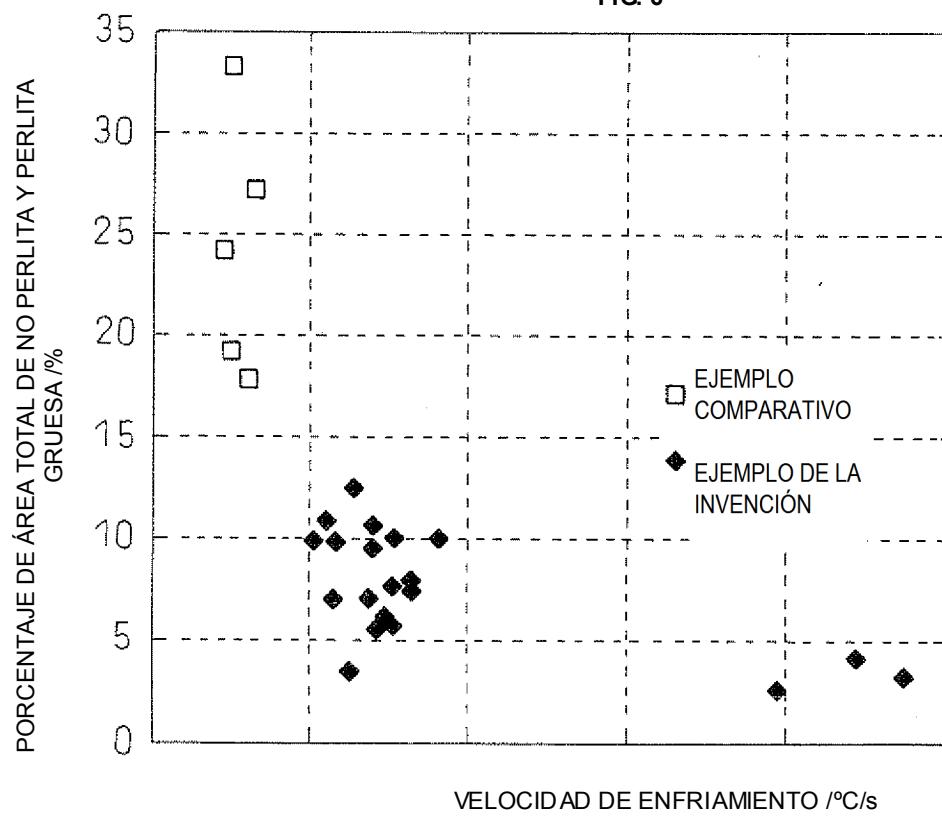
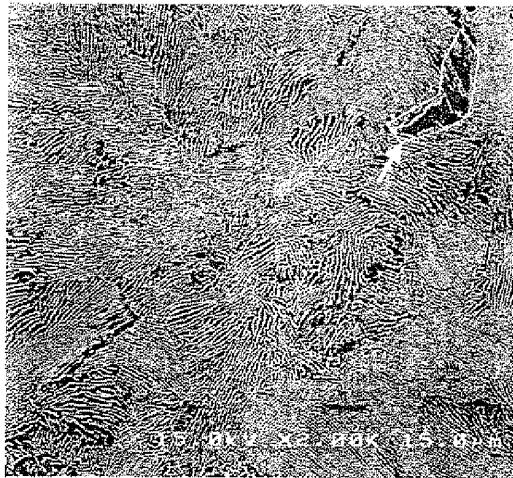


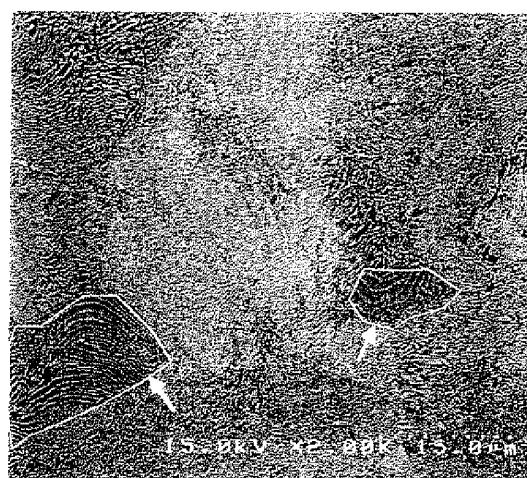
FIG. 7

(a)



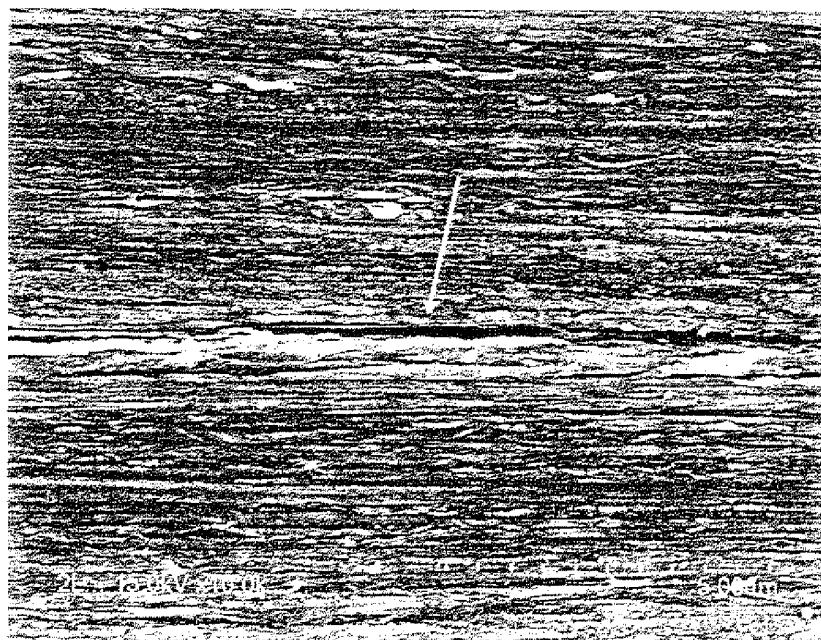
(NO PERLITA INDICADA POR FLECHA)

(b)



(PERLITA GRUESA INDICADA POR FLECHA)

FIG. 8



(HUECO INDICADO POR FLECHA)