

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 640 626**

51 Int. Cl.:

C21D 8/06 (2006.01)

C21D 9/02 (2006.01)

C21D 9/52 (2006.01)

C22C 38/00 (2006.01)

C22C 38/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.09.2014** **PCT/EP2014/070843**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.04.2015** **WO15052035**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.09.2014** **E 14777316 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.08.2017** **EP 3055436**

54 Título: **Alambre de acero de alta resistencia a la tracción**

30 Prioridad:

11.10.2013 EP 13188231

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
03.11.2017

73 Titular/es:

N.V. BEKAERT S.A. (100.0%)

Bekaertstraat 2

8550 Zwevegem, BE

72 Inventor/es:

MESPLONT, CHRISTOPHE

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 640 626 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 a la tracción

5 Campo técnico

La presente invención se relaciona con un alambre de acero de alta resistencia a la tracción, con un proceso de fabricación de alambre de acero de alta resistencia a la tracción, y los usos o aplicaciones de dicho alambre de acero de alta resistencia a la tracción como alambre de resorte o un elemento para producir una cuerda.

10

Antecedentes de la técnica

Por lo general, los resortes se fabrican de aleaciones de acero. Los aceros para resorte más comunes son los alambres de música, el alambre templado al aceite, cromo al silicio, cromo al vanadio, y 302 y 17-7 inoxidable. Los alambres de resorte de cromo al silicio o cromo al vanadio son versiones de mayor calidad y mayor fuerza del alambre templado al aceite.

15

Por lo general, se requiere que el acero para resortes que se utiliza en aplicaciones como los resortes para válvulas automotrices tenga muy alta resistencia a la tracción y un límite elástico muy elevado. La resistencia a la tracción es la capacidad de un material de resistir a fuerzas que intentan separarlo o extenderlo. La resistencia a la tracción es una importante propiedad de los alambres para las aplicaciones de resortes. Por ejemplo, los resortes de extensión que operan por encima de su resistencia a la tracción se romperán.

20

En general, al producir resortes de tamaño pequeño y alta fuerza, el alambre de acero extruido para el uso en resortes de alta resistencia se reviene y temple, para impartir una mayor resistencia de material en el alambre de acero extruido, y luego se arrolla en frío para obtener una forma de resorte en espiral. Por esta razón, se requiere que el alambre de acero primero extruido y luego con tratamiento térmico para uso de resorte de alta resistencia tenga no solamente una alta resistencia, sino que también tenga suficiente ductilidad para no romperse en el arrollado en frío.

25

Se requiere que los resortes, en particular los que se utilizan para motores de automóviles, embragues, etc., ofrezcan un rendimiento más avanzado a fin de tratar con la tendencia de los automóviles hacia pesos más ligeros y mayor rendimiento. Por esta razón, los alambres de acero con mayor resistencia y durabilidad son deseables para los resortes. Una importante tendencia para mejorar las propiedades es ajustar la composición de los aceros para alambres de resorte. El documento WO2013041541 divulga un alambre de acero de alta resistencia a la tracción con una estructura metalúrgica de un porcentaje de volumen de austenita retenida de 4-20 % y martensita en el resto y un método para producirlo. El documento US 2012/0291927 A1 divulga que se propone que los contenidos de C, Si, Mn y Cr en el alambre de acero estén estrictamente controlados y, mientras tanto, tanto el Cr como el Si en el alambre de acero se ajusten a una cantidad apropiada. No obstante, se descubrió que elevar la resistencia mecánica más allá de ciertos límites causa que dichos aceros tengan una ductilidad inadecuada, tomando en cuenta las operaciones de preformado y doblado que deben llevarse a cabo en el alambre para resortes. Se han hecho grandes esfuerzos para mejorar los alambres de acero a fin de que tengan mayor resistencia a la tracción y, al mismo tiempo, posean una ductilidad aceptable.

30

35

40

45 Divulgación de la invención

Un objeto de la presente invención es proporcionar un alambre de acero con alta resistencia a la tracción con una ductilidad aceptable.

50

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un alambre de acero con alta resistencia a la tracción adecuado para su uso como alambres para resortes.

Otro objeto más de la presente invención es proporcionar un proceso apropiado para fabricar un alambre de acero con alta resistencia a la tracción con una ductilidad aceptable.

55

La presente invención describe un alambre de acero que posee una resistencia a la tracción y una ductilidad muy elevadas, gracias a la microestructura martensítica orientada, así como un método para producir dicho alambre de acero en un proceso continuo.

60

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona una composición de acero de alambre de acero de alta resistencia a la tracción que consiste en:

un contenido de carbono que va de 0,20 a 1,00 por ciento en peso, por ejemplo, de 0,3 a 0,85 por ciento en peso, por ejemplo, de 0,4 a 0,7 por ciento en peso, por ejemplo, de 0,5 a 0,6 por ciento en peso,

65

un contenido de silicio que va de 0,05 a 2,0 por ciento en peso, por ejemplo, de 0,2 a 1,8 por ciento en peso, por ejemplo, de 1,2 a 1,6 por ciento en peso,

un contenido de manganeso que va de 0,40 a 1,0 por ciento en peso, por ejemplo, de 0,5 a 0,9 por ciento en peso,
 un contenido de cromo que va de 0,0 a 1,0 por ciento en peso, por ejemplo, de 0,5 a 0,8 por ciento en peso,
 un contenido de azufre y fósforo que se limita individualmente a 0,05 por ciento en peso, por ejemplo, limitado a 0,025 por ciento en peso,
 contenidos de níquel, vanadio, aluminio, cobre u otros elementos de microaleación que, de manera individual, se limitan a 0,5 por ciento en peso, por ejemplo, limitado a 0,2 por ciento en peso, por ejemplo, limitado a 0,08 por ciento en peso, siendo el resto acero,
 dicho alambre de acero con estructura martensítica,
 en la que al menos 10 por ciento del volumen de martensita está orientado.

Preferentemente, al menos 20 por ciento del volumen de martensita está orientado. Más preferentemente, al menos 30 por ciento del volumen de martensita está orientado. Más preferentemente, al menos 40 por ciento del volumen de martensita está orientado.

Se sabe que el acero martensítico es un material policristalino. Cuando los granos de material policristalino se orientan de manera aleatoria, el material policristalino no está orientado o no tiene textura. En condiciones específicas, los granos de material policristalino pueden orientarse preferentemente, y en este caso, se dice que el material policristalino está "orientado" o "texturizado". Con frecuencia, se confrontan dos tipos de orientaciones, es decir, "orientación cristalográfica" y "orientación microestructural". La orientación cristalográfica significa que los granos se orientan cristalográficamente, como en una alineación u orientación preferente de ciertos planos o direcciones cristalográficas. Por lo general, la orientación cristalográfica preferente se determina a partir de un análisis de la dependencia de la orientación de las intensidades máximas de difracción (como el análisis de Difracción por rayos X (XRD) o la Difracción por retrodispersión de electrones (EBSD)) que se midieron en diferentes direcciones espaciales dentro del sistema de coordenadas de la muestra. Por otro lado, si los granos de material policristalino tienen una forma morfológicamente anisotrópica, los granos también pueden tener "orientación microestructural", como por compresión uniaxial durante la formación del policristalino. La "orientación microestructural" implica que los granos con forma anisotrópica se orientan morfológicamente en direcciones o planos preferentes. Esto puede detectarse mediante el análisis de imagen, como en el microscopio de barrido electrónico (SEM). Además, la orientación cristalográfica con frecuencia se vincula con la orientación microestructural, ya que la anisotropía de forma de los granos muchas veces se relaciona con su cristalografía.

La martensita se presenta como granos de cristal en forma de listón o de placa. Cuando se observa en sección transversal, los granos de cristal lenticular (es decir, en forma de lente) a veces se describen como Aciculares (en forma de aguja). De acuerdo con la presente solicitud, en el alambre de acero martensítico producido, al menos 10 por ciento del volumen de la martensita está orientada. El término "orientada" significa que los granos lenticulares están orientados cristalográficamente o microestructuralmente, o bien orientados cristalográfica y microestructuralmente.

El porcentaje de volumen de la alineación u orientación cristalográfica puede obtenerse mediante un análisis de Difracción de rayos X (XRD) o de Difracción por retrodispersión de electrones (EBSD). Es posible evaluar el porcentaje de volumen de la alineación u orientación microestructural por medio del análisis de imagen.

En este caso, el término "orientado" no solo significa que el eje cristalográfico o el eje de los granos lenticulares están exactamente orientados en la misma dirección que se ilustra por a_1 y a_2 en la Figura 1, sino que también hacen referencia a la orientación dentro de una tolerancia. Cuando las direcciones de ciertos ejes o granos (o ciertas direcciones cristalográficas) se desvían, como se presenta por el ángulo α en la Figura 1 dentro de 20° , preferentemente 10° , y aún más preferentemente de 5° , estos granos pueden considerarse también como orientados.

La alineación u orientación se refiere al menos a una orientación preferente unidimensional, por ejemplo, en la dirección perpendicular al plano de los granos lenticulares (dirección mostrada por a_1 , a_2 , por ejemplo, [001], en la Figura 1). Para una orientación unidimensional, los granos lenticulares se distribuyen aleatoriamente en las direcciones del plano lenticular (direcciones ilustradas por a_4 , a_5 , en la Figura 1).

Preferentemente, el alambre de acero de acuerdo con la presente solicitud tiene un límite elástico $R_{p0,2}$, que es al menos 80 por ciento de la resistencia a la tracción R_m . $R_{p0,2}$ es el límite elástico a una elongación permanente de 0,2 %. Más preferentemente, la relación de límite a tracción, es decir, $R_{p0,2}/R_m$, está entre 80 y 95 por ciento. Por lo tanto, el alambre de acero después de la deformación elástica puede aún deformarse hasta cierta extensión antes de romperse.

Preferentemente, un alambre de acero de acuerdo con la presente solicitud tiene un recubrimiento resistente a la corrosión. Más preferentemente, el alambre de acero tiene un recubrimiento resistente a la corrosión seleccionado de entre zinc, níquel, plata y cobre, o sus aleaciones. En ese caso, los alambres tienen un tiempo prolongado de vida incluso en un entorno altamente corrosivo.

El alambre de acero, de acuerdo con la presente solicitud, puede estar en un estado extruido en frío y tener una sección transversal redonda. El alambre de acero puede tener una resistencia a la tracción R_m de al menos 2000 MPa para un diámetro de alambre mayor a 5,0 mm, al menos 2100 MPa para un diámetro de alambre mayor a 3,0 mm y al menos 2200 MPa para diámetros de alambre mayores a 0,5 mm. Preferentemente, el alambre de acero tiene una reducción en el área después de la fractura de al menos 45 %, y más preferentemente, de al menos 50 %.

En este caso, la ductilidad de los alambres de acero se obtiene mediante una prueba de tensión. La ductilidad del alambre de acero se indica por la reducción en el área después de la fractura. La "reducción en el área" es la diferencia entre el área de sección transversal original de un espécimen y el área de su sección transversal más pequeña después de la prueba. Por lo general, se expresa como el porcentaje de disminución de la sección transversal original. La sección transversal más pequeña se mide después de la fractura para alambres de acero.

La extrusión del alambre es un proceso metalúrgico que se utiliza para reducir la sección transversal de un alambre jalándolo a través de uno, o una serie de, troqueles de extrusión. Se sabe que la extrusión del alambre aumenta la resistencia a la tracción R_m del alambre de acero y, mientras tanto, disminuye la ductilidad. Sin embargo, en comparación con los alambres de acero tradicionales extruidos en frío, el alambre de acero de la invención con una composición específica tiene una ductilidad comparativa y una resistencia a la tracción extremadamente alta.

De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, el alambre de acero puede usarse como alambre para resortes o como un elemento para producir una cuerda.

De acuerdo con un tercer aspecto de la presente invención, se proporciona un proceso de fabricación para producir un acero de alambre de alta resistencia a la tracción, teniendo dicho alambre de acero como composición de acero:

un contenido de carbono que va de 0,20 a 1,00 por ciento en peso, por ejemplo, de 0,3 a 0,85 por ciento en peso, por ejemplo, de 0,4 a 0,7 por ciento en peso, por ejemplo, de 0,5 a 0,6 por ciento en peso, un contenido de silicio que va de 0,05 a 2,0 por ciento en peso, por ejemplo, de 0,2 a 1,8 por ciento en peso, por ejemplo, de 1,2 a 1,6 por ciento en peso, un contenido de manganeso que va de 0,40 a 1,0 por ciento en peso, por ejemplo, de 0,5 a 0,9 por ciento en peso, un contenido de cromo que va de 0,0 a 1,0 por ciento en peso, por ejemplo, de 0,5 a 0,8 por ciento en peso, un contenido de azufre y fósforo que se limita individualmente a 0,05 por ciento en peso, por ejemplo, limitado a 0,025 por ciento en peso, contenidos de níquel, vanadio, aluminio, cobre u otros elementos de microaleación que, de manera individual, se limitan a 0,5 por ciento en peso, por ejemplo, limitado a 0,2 por ciento en peso, por ejemplo, limitado a 0,08 por ciento en peso, siendo el resto acero, teniendo dicho alambre de acero estructura martensítica, en la que al menos 10 por ciento del volumen de martensita está orientado.

Dicho proceso abarca las etapas siguientes, en orden:

- a) austenizar una barra de alambre de acero o un alambre de acero por encima de la temperatura A_{c3} durante un periodo menor a 120 segundos,
- b) templar dicha barra de alambre de acero austenizada o un alambre de acero por debajo de 100 °C durante un periodo menor a 60 segundos,
- c) revenir dicha barra de alambre de acero templada o un alambre de acero entre 320 °C y 500 °C durante un periodo que va de 10 a 600 segundos,
- d) endurecer por acritud dicha barra de alambre de acero o alambre de acero templado y revenido.

En la técnica anterior, como en la divulgación de la patente estadounidense 5922149 A, el alambre de acero o la barra de alambre se deformó o endureció por acritud por primera vez a la dimensión final y después se revino y templó, como se ilustra de manera esquemática en la Figura 2. En contradicción, en la presente invención, el alambre de acero se reviene primero para formar una microestructura martensítica. El templado sigue después. Luego, el alambre de acero martensítico templado se deforma o endurece por acritud, por ejemplo, por extrusión, en su dimensión final, como se ilustra de manera esquemática en la Figura 3.

La presente invención recibe resultados y ventajas técnicas inesperadas. Por lo general, el revenido y templado en el procesamiento del alambre es la etapa final, y siempre se ha afirmado que la martensita es perjudicial para la extrusión. La resistencia a la tracción del alambre martensítico, de acuerdo con la presente invención, es muy elevada y la combinación del nivel de resistencia a la tracción con el alto nivel de ductilidad es muy rara. El sorprendente resultado que se obtiene al extruir la martensita templada puede deberse a la aleación especial del acero (microaleado con Cr y Si) frente a los aceros eutectoides convencionales. El efecto sinérgico de la composición y el proceso de la presente solicitud tiene como consecuencia un alambre de acero martensítico que tiene una orientación preferente de martensita. La orientación de la martensita en el alambre de acero extruido en frío es el resultado de la fuerza de compresión aplicada a través de la extrusión de los alambres de acero martensíticos revenidos y templados.

El proceso puede abarcar además una etapa e) de envejecer dicho alambre de acero endurecido por acritud a una temperatura entre 100 °C y 250 °C.

Preferentemente, en el proceso, dicho endurecimiento por acritud ocurre a una temperatura por debajo de 400 °C. Más preferentemente, dicho endurecimiento por acritud es extruido en frío. El extruido en frío tiene un efecto adicional de endurecimiento por acritud y fortalecimiento del material, y esto además mejora las propiedades mecánicas del material. Esto también mejora el acabado de superficie y mantiene tolerancias más estrictas, lo que permite calidades deseables que no pueden mantenerse mediante la deformación en caliente. De manera alterna, dicho endurecimiento por acritud es una extrusión en caliente que ocurre entre 200 °C y 700 °C, por ejemplo, de 200 °C a 400 °C. Para una reducción similar, la aplicación de extrusión en caliente reduce significativamente las pasadas y simplifica el proceso.

Breve descripción de las figuras en los dibujos

La invención se entiende mejor si se hace referencia a la descripción detallada, cuando se considera en conjunto con los ejemplos no limitativos y los dibujos anexos, en los cuales:

la Figura 1 muestra esquemáticamente la alineación u orientación del grano en los materiales policristalográficos.

La Figura 2 ilustra un proceso termomecánico para los alambres de acero, de acuerdo con la técnica anterior.

La Figura 3 ilustra el proceso termomecánico para los alambres de acero, de acuerdo con la invención actual.

La Figura 4 ilustra una curva de tiempo frente a temperatura para un proceso de acuerdo con la presente invención.

La Figura 5 compara las curvas de endurecimiento de tensión de alambre de acero patentado de la técnica anterior con el alambre de acero de la invención de acuerdo con la primera realización de la presente invención.

La Figura 6 compara la resistencia a la tracción como una función de la reducción de la sección del proceso de extrusión de tres pasadas con el proceso de extrusión de seis pasadas.

La Figura 7 (a) muestra la microestructura del electrón de barrido (SEM) de sección transversal longitudinal del alambre de acero de acuerdo con la presente invención, en tanto que la Figura 7 (b) muestra la microestructura del electrón de barrido de sección transversal longitudinal de un alambre de acero de referencia con la misma amplificación.

La Figura 8 (a) muestra la microestructura del electrón de barrido (SEM) de sección transversal longitudinal del alambre de acero de acuerdo con la presente invención a una menor amplificación, en tanto que la Figura 8 (b) muestra la microestructura del electrón de barrido de sección transversal longitudinal (SEM) de un alambre de acero de referencia con la misma amplificación.

Modo(s) de llevar a cabo la invención

Realización 1

La Figura 4 ilustra una curva de tiempo frente a temperatura apropiada aplicada a un alambre de acero o barra de alambre con un diámetro de 5,29 mm y la composición de acero que consiste en:

- % peso C = 0,55
- % peso Si = 1,4
- % peso Cr = 0,6
- % peso Mn = 0,7

siendo el equilibrio hierro e impurezas inevitables.

La temperatura inicial de la transformación de martensita M_s de este acero es de aproximadamente 280 °C y la temperatura M_f , a la cual termina la formación de martensita, es de aproximadamente 100 °C.

Las diversas etapas del proceso son las siguientes:

- una primera etapa de austenización (10), durante la cual el alambre de acero permanece en un horno aproximadamente a 950 °C durante 120 segundos,
- una segunda etapa de revenido (12) para transformar la martensita en aceite a una temperatura por debajo de 100 °C durante al menos 20 segundos;
- una tercera etapa de templado (14) para aumentar la dureza a una temperatura sobre 320 °C durante menos de 60 segundos; y
- una cuarta etapa de enfriamiento (16) a temperatura ambiente, durante 20 o más segundos.

La curva 18 es la curva de temperatura en las diversas partes del equipo (horno, baño...) y la curva 19 es la temperatura del alambre de acero.

El alambre de acero o la barra de acero por encima del tratamiento térmico tiene principalmente microestructura martensítica. Debido a que la martensita es sensible a la fragilización H, el alambre de acero con tratamiento térmico se extruye en frío directamente sin decapado, y el aceite puede actuar como lubricante para el proceso posterior de extrusión.

5 El alambre de acero o la barra de acero martensítico formado se continúa con una serie de procesos de extrusión de alambre, por ejemplo, de seis pasadas.

10 La tabla 1 resume el diámetro, la reducción del diámetro, la reducción de sección, la reducción acumulada de sección, la resistencia a la tracción, la variación en la resistencia a la tracción y la reducción en el área después de cada pasada del alambre de acero en este proceso de seis pasadas. En este caso, la "reducción en el diámetro" y la "reducción en la sección" se refieren a la reducción después de cada pasada de extrusión. La "reducción en el diámetro" supone la diferencia del diámetro del alambre de acero antes y después de cada pasada y se expresa como porcentaje de la reducción de diámetro respecto del diámetro original antes de pasar por los troqueles de extrusión del alambre. Del mismo modo, la "reducción en la sección" supone la diferencia de las áreas de sección transversal del alambre de acero antes y después de cada pasada y se expresa como porcentaje de la reducción de sección respecto de la sección original antes de pasar por los troqueles de extrusión del alambre.

20 Como se ilustra en la tabla 1, la reducción del diámetro es de aproximadamente 5 % para cada pasada. La resistencia a la tracción del alambre de acero aumenta además realizando más pasadas. Luego de haberse extruido durante seis pasadas, el alambre de acero tiene un diámetro de 3,86 mm y una resistencia a la tracción de 2151 N/mm². Después de seis pasadas, el coeficiente de elasticidad Rp0,2 del alambre de acero es al menos 80 por ciento de la resistencia a la tracción Rm. Además, en general el alambre de acero tiene suficiente ductilidad, que se ilustra por una reducción en el área superior a 46,5 % y la elongación total en la fractura del alambre extruido es mayor a 2 %.

30 La Figura 5 muestra una curva de endurecimiento de tensión del alambre extruido en frío (Q&T CrSi) de acuerdo con la invención en comparación con un alambre de referencia (R-SW). El alambre de referencia contiene 0,8 % en peso de carbono y está patentado en plomo. El alambre de referencia tiene un diámetro inicial de 6,5 mm y una resistencia a la tracción de 1360 N/mm². Al reemplazar la operación de patentado del alambre de referencia por revenido y templado, es posible obtener martensita templada fina con una resistencia a la tracción de al menos 400 N/mm² mayor que para el alambre patentado. La curva de endurecimiento de tensión del alambre martensítico templado extruido en frío (Q&T CrSi) tiene una pendiente similar a la del alambre patentado (R-SW). Esto significa que ambos alambres de acero mostraron un aumento comparable en la resistencia para una reducción de sección igual o similar. Para la misma cantidad de reducción de sección, el alambre de la invención será al menos 400 N/mm² más fuerte que un alambre extruido después de patentar.

40 Esta resistencia a la tracción extremadamente alta del alambre de la invención puede atribuirse a la formación de la estructura martensítica y, en particular, al porcentaje orientado de granos martensíticos, que se observan en el análisis de la imagen, en los alambres de acero después de la deformación o endurecimiento por acritud.

Tabla 1: Propiedades de un alambre de acero con un diámetro inicial de 5,29 mm, extruido en seis pasadas a un diámetro de 3,86 mm.

Pasada	Diámetro (mm)	Reducción en el diámetro (%)	Reducción en la sección (%)	Reducción de sección acumulada (%)	Resistencia a la tracción (N/mm ²)	Variación en la resistencia a la tracción (N/mm ²)	Reducción en el área (%)
0	5,29	0	0	0,0	1863	0	55,3
1	5,02	5,2	10,1	10,1	1935	72	50,1
2	4,72	5,8	11,3	20,3	1975	112	49,8
3	4,49	5,0	9,8	28,1	2024	161	50,7
4	4,27	4,7	9,3	34,8	2049	186	52,7
5	4,06	5,1	9,9	41,2	2115	252	46,5
6	3,86	4,7	9,2	46,6	2151	288	47,1

45 Realización 2

En esta realización, se aplicó un tratamiento térmico similar de la realización 1 a un alambre de acero con un diámetro de 3,75 mm y con la siguiente composición de acero:

- 50
- % peso C = 0,55
 - % peso Si = 1,4
 - % peso Cr = 0,6

- % peso Mn = 0,7

siendo el equilibrio hierro e impurezas inevitables.

El alambre de acero después del tratamiento térmico tiene principalmente microestructura martensítica. El alambre de acero sufre además seis etapas de extrusión de pasada con una reducción de diámetro a 2,8 mm. Las propiedades del alambre de acero después de cada pasada se ilustran en la tabla 2. Si bien se obtiene una resistencia a la tracción extremadamente alta después de seis pasadas, el alambre de acero aún tiene suficiente ductilidad, como lo indica una reducción de 52,8 % en el área. Además, la ductilidad del alambre de acero se garantiza durante todo el proceso de extrusión, que puede verificarse por las reducciones en el área de los alambres de acero después de una a seis pasadas, todas ellas por encima de 52,8 %, como se ilustra en la tabla 2.

Tabla 2: Propiedades de un alambre de acero con un diámetro inicial de 3,75 mm, extruido en seis pasadas a un diámetro de 2,8 mm.

Pasada	Diámetro (mm)	Reducción en el diámetro (%)	Reducción en la sección (%)	Reducción de sección acumulada (%)	Resistencia a la tracción (N/mm ²)	Variación en la resistencia a la tracción (N/mm ²)	Reducción en el área (%)
0	3,75	0	0	0	1930	0	58,0
1	3,59	4,3	8,4	8,4	2010	80	57,2
2	3,35	6,7	12,9	20,2	2060	130	56,8
3	3,17	5,4	10,5	28,5	2065	135	57,2
4	3,02	4,7	9,2	35,1	2110	180	54,3
5	2,9	4,0	7,8	40,2	2180	250	53,1
6	2,8	3,4	6,8	44,2	2220	290	52,8

Realización 3

A diferencia de las muestras de la realización 2, en este ejemplo, después de un tratamiento térmico similar, el alambre de acero martensítico con un diámetro de 3,75 mm se extruye en tres pasadas.

La tabla 3 resume el diámetro, la reducción del diámetro, la reducción de sección, la reducción acumulada de sección, la resistencia a la tracción, la variación en la resistencia a la tracción y la reducción en el área después de cada pasada del alambre de acero extruido en este proceso de tres pasadas.

La reducción promedia en el diámetro en cada pasada es de aproximadamente 9,5 % para el proceso de tres pasadas, que es casi el doble del proceso de seis pasadas que se ilustra en las realizaciones 1 y 2. La resistencia a la tracción (Rm) del alambre extruido en tres pasadas (SW3) como función de la reducción de sección (Δs) se traza en la Figura 6 en comparación con la resistencia a la tracción del alambre extruido en seis pasadas de las realizaciones 1 (SW1) y 2 (SW2). Como se ilustra en la Figura 6, el aumento de la resistencia a la tracción es casi proporcional al aumento de la reducción de sección para los alambres de acero extruidos en tres y seis pasadas. En comparación con el alambre que pasó por el proceso de seis pasadas (SW1 y SW2), como se ilustra en la Figura 6, la pendiente de la curva de tendencia de resistencia a la tracción del alambre que pasó por el proceso de tres pasadas (SW3) es ligeramente mayor, es decir, la resistencia a la tracción aumenta incluso más para una reducción de sección similar. El alambre que tuvo tres pasadas muestra un aumento promedio en la fuerza de 8 N/mm² para una reducción de sección de 1%, en tanto que el alambre que tuvo seis pasadas muestra un aumento promedio en la fuerza de 6 N/mm² para una reducción de sección de 1%. Además, los alambres de acero extruidos por tres pasadas tienen una ductilidad incluso mayor. Las reducciones en el área de los alambres de acero después de una a tres pasadas están por encima de 53,6 %. El alambre de acero extruido después de tres pasadas tiene excelentes propiedades: la resistencia a la tracción es de 2300 N/mm² y la reducción en el área es de 53,6 %, que exceden el requerimiento estándar para los alambres para resortes revenidos y templados.

Tabla 3: Propiedades de un alambre de acero con un diámetro inicial de 3,75 mm, extruido en tres pasadas a un diámetro de 2,8 mm.

Pasada	Diámetro (mm)	Reducción en el diámetro (%)	Reducción en la sección (%)	Reducción de sección acumulada (%)	Resistencia a la tracción (N/mm ²)	Variación en la resistencia a la tracción (N/mm ²)	Reducción en el área (%)
0	3,75	0	0	0	1930	0	58,0
1	3,38	9,9	18,8	18,8	2080	150	57,2
2	3,07	9,2	17,5	33,0	2175	245	54,2
3	2,8	8,8	16,8	44,2	2300	370	53,6

Esta resistencia a la tracción tan elevada puede ser consecuencia de los granos martensíticos orientados de los alambres de acero después de la extrusión. Se investiga la microestructura del alambre de acero extruido, de acuerdo con la invención. Tomado como referencia, aparece un alambre de acero tratado por un proceso tradicional,

es decir, primero se extruye y luego se reviene y temple, como se ilustra en la Figura 2. La composición, reducción de sección y el tratamiento térmico del alambre de acero de la invención y del alambre acero de referencia son bastante similares.

5 La microestructura de la sección transversal longitudinal del alambre de acero que tuvo tres pasadas, de acuerdo con la presente invención, se ilustra en la Figura 7(a), en tanto que la microestructura de la sección transversal longitudinal del alambre de referencia se ilustra en la Figura 7(b). La sección transversal longitudinal es una sección en la dirección a lo largo o longitudinal del alambre de acero. Como se ilustra en la Figura 7(b), el alambre de referencia aparece como una estructura martensítica homogénea. Los granos martensíticos se orientan de manera aleatoria en toda el área. En contraste, el alambre de acero de la invención presenta una microestructura martensítica y los granos martensíticos se orientan como se muestra en la Figura 7(a). En esta vista de la sección transversal longitudinal, los granos martensíticos parecen aciculares (en forma de agujas) y el eje largo del acicular se alinea en paralelo a la dirección de extrusión (una dirección paralela a la barra de escala en la Figura 7). Esto indica que la normal de los granos de cristal lenticular (en forma de lente) se orientan preferentemente en sentido perpendicular a la dirección de extrusión.

Las Figuras 8(a) y 8(b) son respectivamente una microestructura de la sección transversal longitudinal de un alambre de acero de la invención y de un alambre de referencia a menor amplificación. Esto confirma una microestructura martensítica orientada (Figura 8(a)) del alambre de acero de acuerdo con la presente invención frente a una microestructura martensítica distribuida al azar del alambre de referencia (Figura 8(b)).

Por el análisis de imagen, el alambre de acero de acuerdo con la presente invención que tuvo una pasada muestra al menos 10 % del volumen de martensita orientada y el alambre de acero que tuvo tres pasadas muestra al menos 20 % de volumen de martensita orientada.

REIVINDICACIONES

1. Un alambre de acero de alta resistencia a la tracción que se encuentra en un estado de endurecimiento por acritud, consistiendo la composición de acero en:
 - un contenido de carbono que va de 0,20 a 1,00 % en peso,
 - un contenido de silicio que va de 0,05 a 2,0 % en peso,
 - un contenido de manganeso que va de 0,40 a 1,0 % en peso,
 - un contenido de cromo que va de 0,0 a 1,0 % en peso,
 - un contenido de azufre y fósforo que se limita en lo individual a 0,05 % en peso,
 - contenidos de níquel, vanadio, aluminio, cobre u otros elementos de microaleación, cada uno de ellos limitado a 0,5 % en peso,
 - siendo el resto hierro,
 - teniendo dicho alambre de acero estructura martensítica,
 - en el que al menos 10 % del volumen de martensita está orientado.
2. Un alambre de acero de alta resistencia a la tracción, de acuerdo con la reivindicación 1, en el que al menos 20 % del volumen de martensita está orientado.
3. Un alambre de acero de alta resistencia a la tracción, de acuerdo con la reivindicación 1, en el que al menos 40 % del volumen de martensita está orientado.
4. Un alambre de acero de alta resistencia a la tracción, de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho alambre de acero tiene un límite elástico $R_{p0,2}$ que es al menos 80 % de la resistencia a la tracción R_m .
5. Un alambre de acero de alta resistencia a la tracción, de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho alambre de acero tiene un recubrimiento resistente a la corrosión.
6. Un alambre de acero de alta resistencia a la tracción, de acuerdo con la reivindicación 5, en el que dicho recubrimiento resistente a la corrosión se selecciona de entre zinc, níquel, plata y cobre, o sus aleaciones.
7. Un alambre de acero de alta resistencia a la tracción, de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, estando dicho alambre de acero en un estado extruido en frío y con una sección transversal redonda.
8. Un alambre de acero de alta resistencia a la tracción, de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho alambre de acero tiene una resistencia a la tracción R_m de al menos 2000 MPa para un diámetro de alambre superior a 5,0 mm, por lo menos 2100 MPa para un diámetro de alambre superior a 3,0 mm y al menos 2200 MPa para diámetros de alambre superiores a 0,5 mm.
9. Un alambre de acero de alta resistencia a la tracción, de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho alambre de acero tiene una reducción en el área después de la fractura de al menos 45 %.
10. Un alambre de acero de alta resistencia a la tracción, de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho alambre de acero tiene una reducción en el área después de la fractura de al menos 50 %.
11. Uso de un alambre de acero de alta resistencia a la tracción, de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, como un alambre para resortes o un elemento para fabricar una cuerda.
12. Un proceso de fabricación de alambre de acero de alta resistencia a la tracción, dicho alambre de acero se encuentra en un estado de endurecimiento por acritud, consistiendo la composición de acero en:
 - un contenido de carbono que va de 0,20 a 1,00 % en peso,
 - un contenido de silicio que va de 0,05 a 2,0 % en peso,
 - un contenido de manganeso que va de 0,40 a 1,0 % en peso,
 - un contenido de cromo que va de 0,0 a 1,0 % en peso,
 - un contenido de azufre y fósforo que se limita en lo individual a 0,05 % en peso,
 - contenidos de níquel, vanadio, aluminio, cobre u otros elementos de microaleación, cada uno de ellos limitado a 0,5 % en peso,
 - siendo el resto hierro,
 - teniendo dicho acero una estructura martensítica,
 - en el que al menos 10 % del volumen de martensita está orientado.Dicho proceso abarcando las etapas siguientes, en orden:

- 5 a) austenizar una barra de alambre de acero o alambre de acero por encima de la temperatura Ac3 durante un periodo menor a 120 segundos,
b) revenir dicha barra de alambre de acero o alambre de acero austenizado por debajo de 100 °C (Mf) durante un periodo menor a 60 segundos,
c) templar dicha barra de alambre de acero o alambre de acero revenido entre 320 °C y 500 °C durante un periodo que va de 10 a 600 segundos,
d) endurecer por acritud dicha barra de alambre de acero o alambre de acero revenido y templado.
- 10 13. Un proceso para fabricar un alambre de acero de alta resistencia a la tracción de acuerdo con la reivindicación 12, en el que a dicho proceso le sigue una etapa de:
- e) envejecer dicho alambre de acero endurecido por acritud a una temperatura entre 100° y 250 °C.
- 15 14. Un proceso para fabricar alambre de acero de alta resistencia a la tracción de acuerdo con la reivindicación 12 o 13, en el que dicho endurecimiento por acritud ocurre a una temperatura inferior a 700 °C.
15. Un proceso de fabricación de un alambre de acero de alta resistencia a la tracción, de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, en el que dicho endurecimiento por acritud es por extrusión en frío.

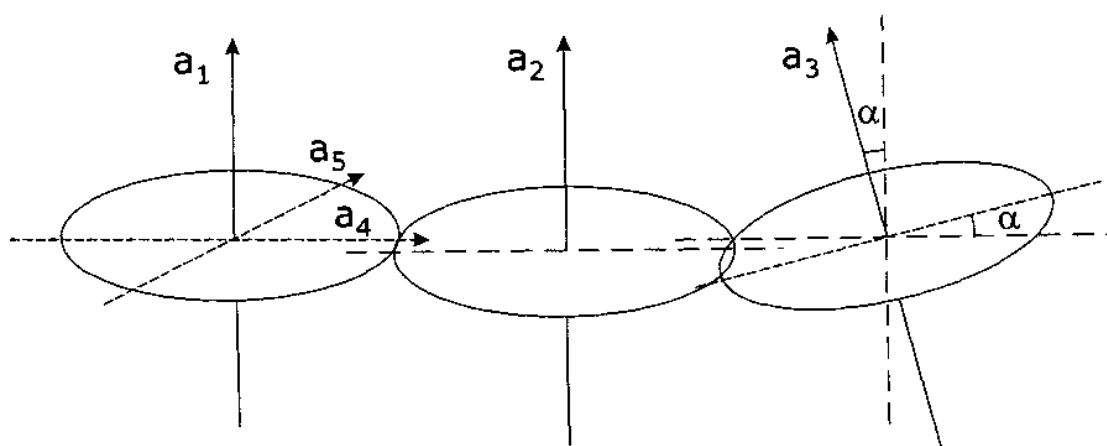


Fig. 1

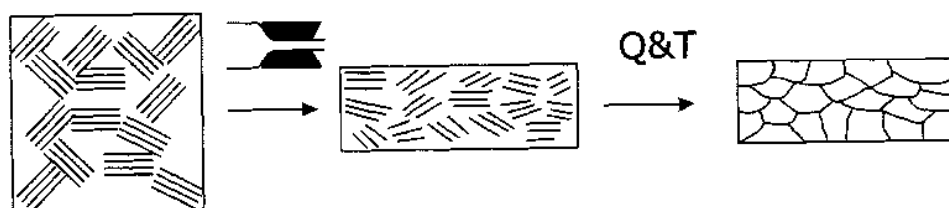


Fig. 2

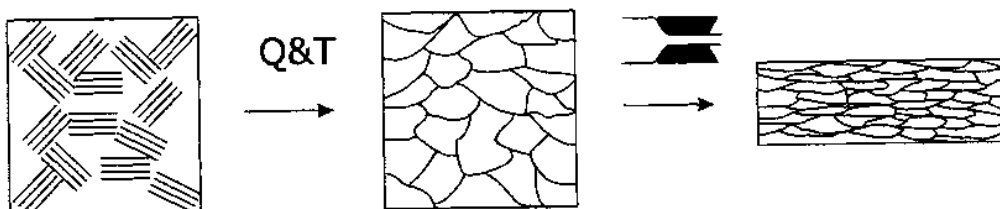


Fig. 3

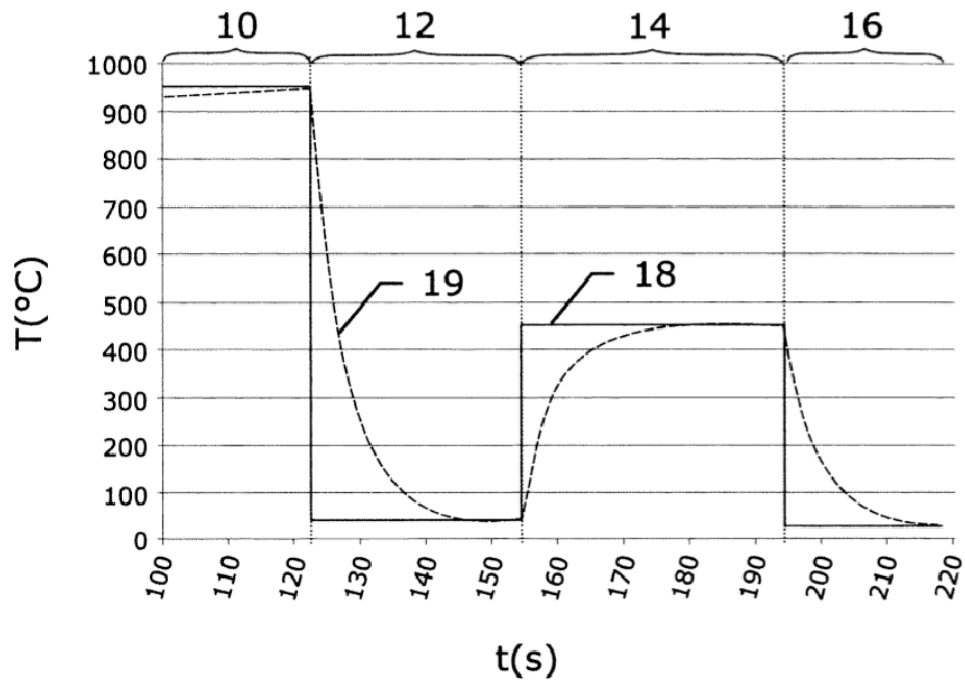


Fig. 4

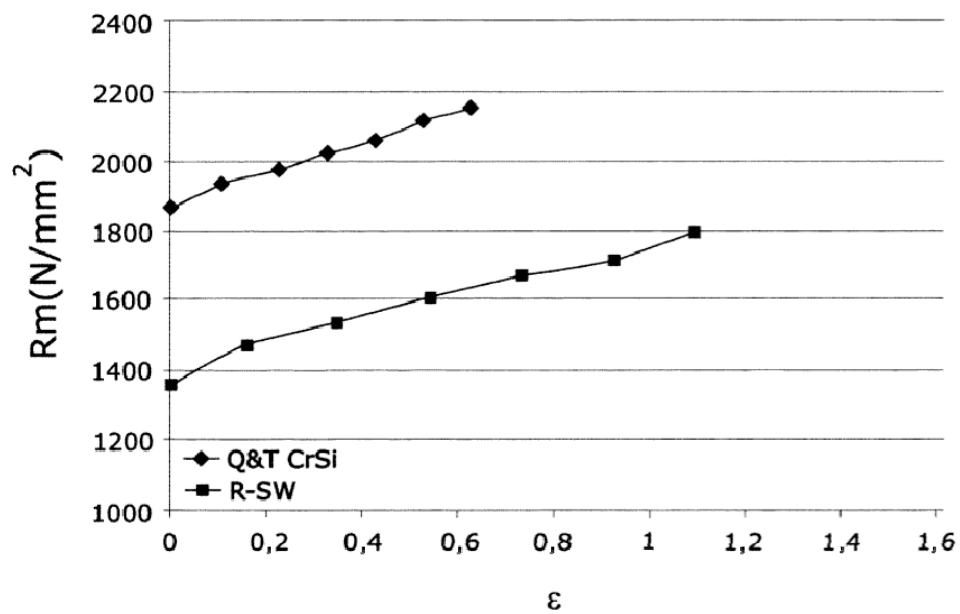


Fig. 5

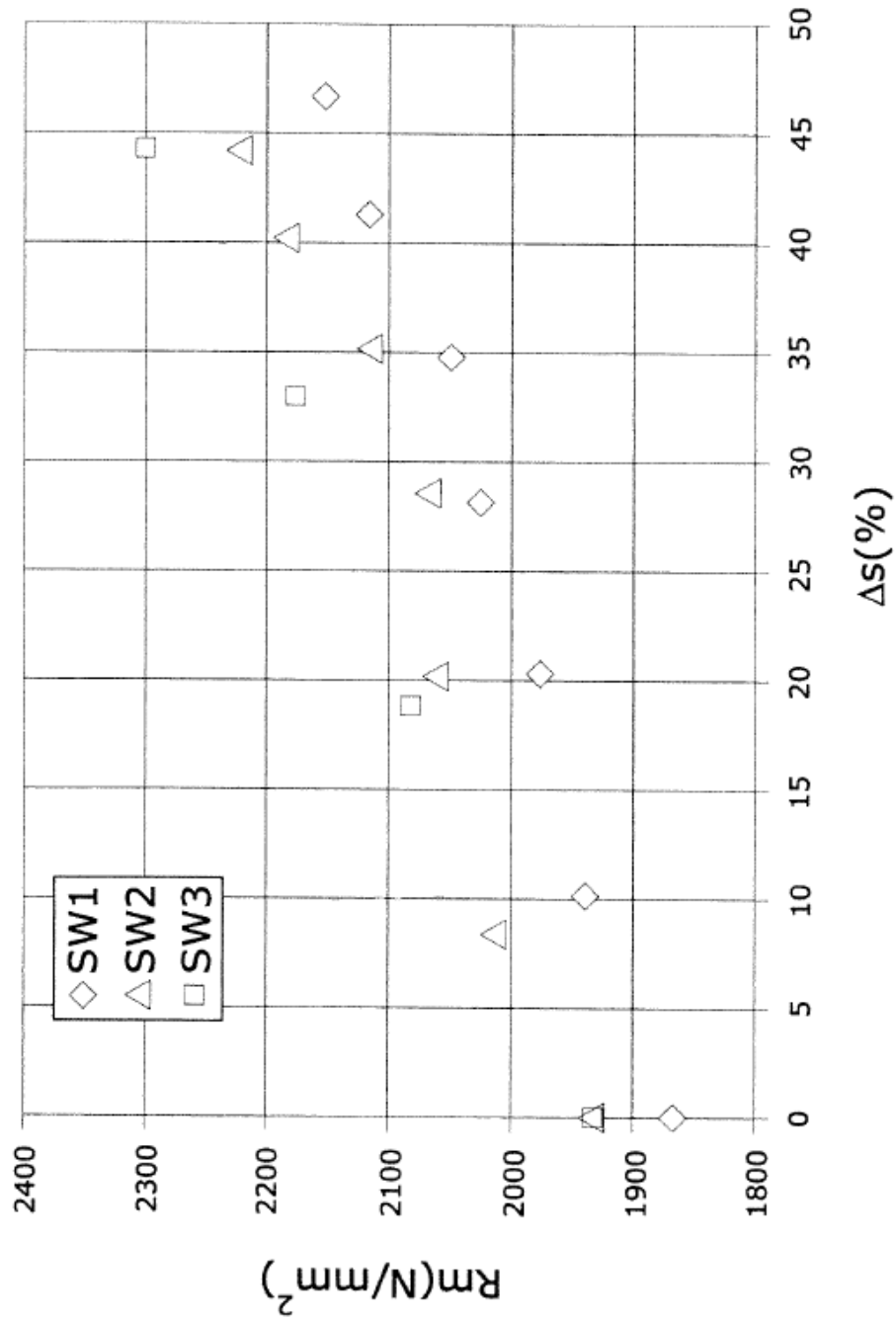


Fig. 6

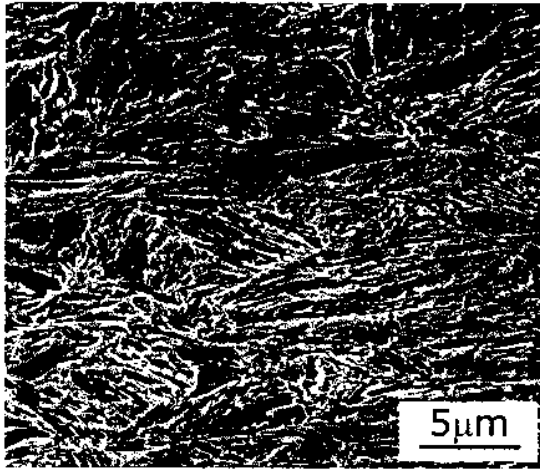


Fig. 7a

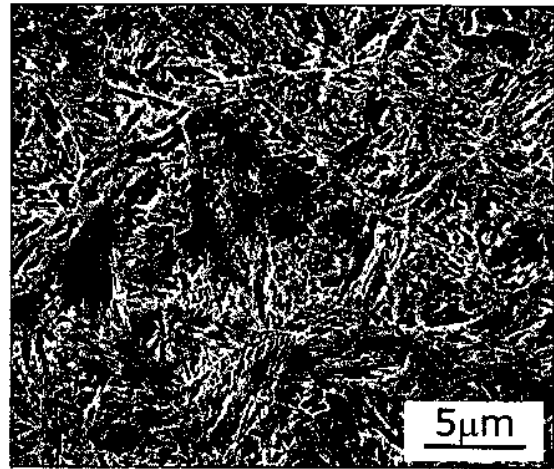


Fig. 7b

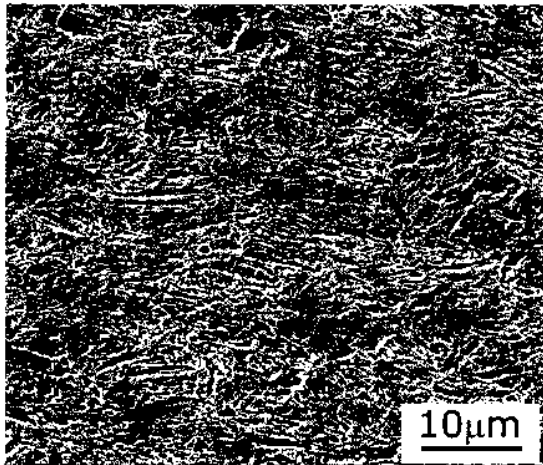


Fig. 8a

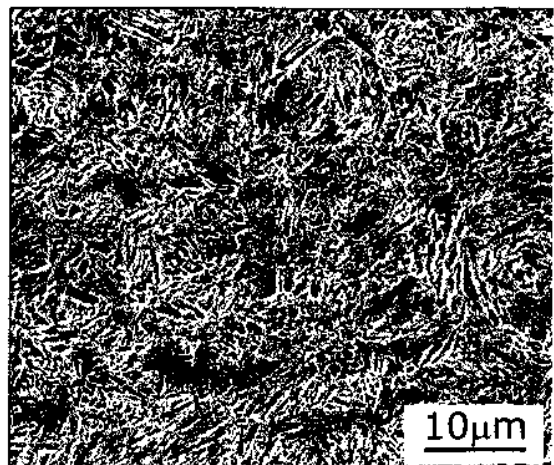


Fig. 8b