

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 524 326**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00 (2006.01)

C22C 38/38 (2006.01)

C21D 8/00 (2006.01)

B24C 1/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.08.2004 E 04772233 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.11.2014 EP 1801253**

54 Título: **Resorte de alta resistencia y método para la fabricación del mismo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.12.2014

73 Titular/es:

DAIDO TOKUSHUKO KABUSHIKI KAISHA (50.0%)
11-18, Nishiki 1-chome, Naka-ku Nagoya-shi
Aichi 460-8581, JP y
NHK SPRING COMPANY LIMITED (50.0%)

72 Inventor/es:

KIMURA, KAZUYOSHI;
KOYAMA, HIROSHI;
TANGE, AKIRA;
OKUYAMA, ISAMU;
HISANO, YOSUKE y
YONEGUCHI, AKIO

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 524 326 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

Resorte de alta resistencia y método para la fabricación del mismo

5 Solicitudes relacionadas

La presente memoria descriptiva se basa en la solicitud de patente PCT con N° PCT/JP2004/012277 presentada el 26 de agosto de 2004.

10 Antecedentes de la invención**1. Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un método de fabricación de un acero para resorte de alta resistencia de acuerdo con la parte de preámbulo de la reivindicación 1, conocida a partir del documento JP 2003253391 A.

2. Descripción de la técnica relacionada

En los últimos años, la reducción en la cantidad de emisión de gas de dióxido de carbono se ha considerado como un problema a resolver desde un punto de vista de moderar el calentamiento global. Por lo tanto, se ha considerado importante en el campo de los automóviles una reducción en el peso de un vehículo que dé como resultado una potenciación de la eficiencia de combustible, de tal modo que se ha buscado una reducción en el peso de una diversidad de resortes tales como un resorte en espiral de suspensión. Con el fin de lograr una reducción en el peso del resorte a la vez que se mantienen las características de resorte requeridas, se requiere tener un resorte de alta resistencia que tenga un esfuerzo de diseño, $T_{m\acute{a}x}$ de 1176 MPa o más alto y una dureza de HRC52 o más alta en la escala C de dureza Rockwell.

Por cierto, la reducción en el peso del resorte puede lograrse mediante el aumento del esfuerzo de diseño del resorte. El esfuerzo de diseño está determinado por la resistencia a la deformación permanente y la durabilidad, y estas características pueden mejorarse por los siguientes medios. Una mejora en la resistencia a la deformación permanente puede obtenerse, desde un punto de vista del material mediante el uso de un grado de calidad del acero (SUP7) que tiene una cantidad aumentada de Si como un elemento de endurecimiento de ferrita, o un grado de calidad del acero (SUP12V) que tiene V adicionalmente como elemento de refinado de grano, o desde un punto de vista del procesamiento mediante la realización de fraguado. Por otro lado, una mejora en la durabilidad puede obtenerse mediante el aumento del carbono y los elementos aleantes con el fin de aumentar la dureza después del revenido desde el punto de vista del material, o mediante chorreo por granalla con el fin de dar un esfuerzo residual de compresión desde el punto de vista del procesamiento.

No obstante, convencionalmente, incluso si se usan los medios que se han descrito en lo que antecede, el aumento en la resistencia solo puede lograrse hasta HRC52 en cuanto a la dureza del resorte y 1900 MPa en cuanto a la resistencia a la tracción desde el punto de vista de la durabilidad. Es decir, si la resistencia del resorte se intensifica, la tenacidad a la fractura disminuye de tal modo que aumenta la sensibilidad a entalla, dando como resultado de ese modo una dispersión en la durabilidad y una disminución en la fiabilidad. Además, también es un problema que las inclusiones que actúan como entallas disminuyen la durabilidad. Además, también hay otros problemas tales como que la adición de cualquier elemento especial tiene un coste alto con el fin de evitar la disminución en la tenacidad a la fractura, o que la adición de una gran cantidad de elementos de aleación aumenta la dureza después del laminado en caliente de tal modo que tiene lugar un agrietamiento o rotura de alambre cuando se estira el alambre.

Por otro lado, en los últimos años, se ha pulverizado un agente para derretir la nieve que está constituido principalmente por cloruro con el fin de evitar que la superficie de la carretera se congele en el invierno y, por lo tanto, la potenciación de la resistencia a la fatiga por corrosión se ha vuelto un problema importante a resolver. No obstante, en los aceros para resorte convencionales tales como SUP7 y SAE9254, aumentar la dureza conduce a la disminución en la resistencia a la fatiga por corrosión y en el acero convencional, hay un límite en el aumento de la dureza más de un nivel actual. En un resorte que se usa bajo un entorno de corrosión, una picadura por corrosión sirve como una entalla, induciendo de ese modo una disminución en la resistencia a la fatiga por corrosión. Incluso si se añade un elemento anti-corrosión para fines de evitar el fenómeno que se ha mencionado en lo que antecede, se induce un aumento en la dureza después del laminado de tal modo que la maquinabilidad disminuye.

Si la dureza de un resorte es más alta que la de un material de chorreo por granalla (SP, *shot peening*), un esfuerzo residual compresivo que contribuye en gran medida a la potenciación de la resistencia a la fatiga no se ha cargado lo suficiente. Adicionalmente, hay otros problemas tales como que el material de SP se vuelve fácil de romper, conduciendo de ese modo a un coste más alto, y que los granos que han colisionado penetran en un resorte, reduciendo de ese modo su durabilidad.

Un objeto de la presente invención es la provisión de un método de fabricación de un acero para resorte de alta resistencia que tiene una resistencia a la fatiga alta y una resistencia a la fatiga por corrosión alta.

Documento de patente 1: publicación de solicitud de patente de Japón con N° 3064672

Sumario de la invención

5 Para lograr el objeto en lo que antecede, la invención proporciona un método de fabricación de acuerdo con la reivindicación 1 de un acero para resorte de alta resistencia que contiene en por ciento en masa, C: 0,36 - 0,48 %, Si: 1,80 - 2,80 %, Mn: 0,20 - 1,40 %, P: 0,015 % o menos, S: 0,010 % o menos, Cu: 0,10 - 0,50 %, Ni: 0,10 - 2,00 %, Cr: 0,05 - 1,20 %, s-Al: 0,005 - 0,040 %, N: 0,002 - 0,012 %, O: 0,002 % o menos mientras que el resto está
10 de inclusions de un diámetro de 10 µm o mayor por campo de visión de 100 mm² es de 10 o menos:

$$1,2 \% \leq C (\%) + Mn (\%) + Cr (\%) \leq 2,0 \% \quad \dots \quad \text{ecuación (1)}$$

$$15 \quad 1,4 \% \leq Si (\%) / 3 + Cr (\%) / 2 + Mn (\%) \leq 2,4 \% \quad \dots \quad \text{ecuación (2)}$$

$$0,4 \% \leq Cu (\%) + Ni (\%) \quad \dots \quad \text{ecuación (3)}.$$

El acero para resorte de alta resistencia tiene las siguientes tres características cuando se clasifica de forma general. En primer lugar, la dureza del mismo después del templeado y el revenido se ajusta a HRC52 o más alta a la vez que se modera la dureza después del laminado, mediante la adición y el ajuste de componentes tales como Si, Mn, Cr o similar.
20

En segundo lugar, la cantidad de inclusiones (en particular, la inclusión de óxidos) que tienen un diámetro de 10 µm o mayor, que puede volverse un origen de fractura, se reduce al desoxidar lo suficiente (de forma más específica, desoxidar mediante Al), proporcionando de ese modo una resistencia a la fatiga alta.
25

En tercer lugar, la resistencia a la fatiga por corrosión se potencia mediante la adición y el ajuste de elementos anti-corrosión tales como Cu y Ni, y mediante la optimización de la cantidad de elementos que aceleran la corrosión.

30 De la forma que se ha descrito en lo que antecede, se obtiene un acero para resorte de alta resistencia que tiene una durabilidad excelente incluso si la dureza es tan alta como HRC52 o más alta. A continuación, se logra un resorte de alta resistencia que tiene un esfuerzo cortante máximo de 1176 Mpa o más mediante la realización de chorreo en caliente en un intervalo de temperaturas de 200 - 350 °C sobre un acero para resorte de alta resistencia de este tipo tal como se describe posteriormente.
35

En lo sucesivo en el presente documento, la presente invención se explicará con más detalle mediante la descripción de las razones para cada limitación numérica.

*C (carbono): 0,36 - 0,48 %

40 El C es efectivo para obtener una resistencia previamente predeterminada mediante recocido. Para ese fin, es necesario que se añada una cantidad de C de un 0,36 % o más. Preferiblemente, el C se añade a un 0,38 % o más. Por otro lado, debido a que una adición excesiva baja la tenacidad después del recocido y deteriora la resistencia a la fatiga y la resistencia a la fatiga por corrosión y la dureza después del laminado se intensifica demasiado con el fin
45 de reducir la maquinabilidad en frío, el límite superior se establece a un 0,48 %. Preferiblemente, este es de un 0,46 %.

*Si (silicio): 1,80 - 2,80 %

50 El Si es efectivo para mejorar la resistencia a la fatiga por corrosión y la resistencia a la deformación permanente. Para ese fin, es necesario que este se añada a un 1,8 % o mayor. Por otro lado, debido a que una adición excesiva baja la tenacidad, deteriora la característica de fatiga y acelera la generación de descarburación, empeorando de ese modo la maquinabilidad, su límite superior se establece a un 2,80 %. Preferiblemente, este se establece a un 2,60 %.
55

*Mn (manganeso): 0,20 - 1,40 %

60 El Mn es efectivo como un agente desoxidante en el momento de la fusión y contribuye a una mejora de la endurecibilidad. Además, este tiene un efecto de volver nulo el efecto perjudicial del S. Con el fin de obtener estos efectos, es necesario que el Mn se añada a un 0,20 % o mayor. Por otro lado, debido a que una adición excesiva no solo acelera la oxidación del límite de grano en el momento del templeado, induciendo de ese modo fragilidad, sino que también intensifica la dureza de material de alambre después del laminado deteriorando la maquinabilidad del alambre, su límite superior se establece a un 1,40 %. Preferiblemente, este se establece a un 1,10 %.

*P (fósforo): 0,015 % o menos

El límite superior de fósforo se establece a un 0,015 % debido a que el fósforo se segrega en el límite de grano de austenita en el momento del calentamiento para la austenitización de tal modo que el límite de grano se fragiliza.

5

*S (azufre): 0,010 % o menos

El límite superior del azufre se establece a un 0,010 % debido a que el azufre fragiliza el límite de grano de austenita como el fósforo y forma MnS para inducir un deterioro de la resistencia a la fatiga del resorte.

10

*Cu (cobre): 0,10 - 0,50 %

El Cu es efectivo para intensificar la resistencia a la corrosión, potenciando de ese modo la resistencia a la fatiga por corrosión. Además, este es efectivo para evitar la descarburación de la ferrita. Con el fin de obtener estos efectos, es necesario que este se añada a un 0,10 % o mayor. Por otro lado, debido a que una adición excesiva daña la maquinabilidad en caliente, el límite superior del mismo se establece a un 0,50 %. Preferiblemente, este se establece a un 0,40 %.

15

*Ni (níquel): 0,10 - 2,00 %

20

El Ni es efectivo para intensificar la resistencia a la corrosión, potenciando de ese modo la resistencia a la fatiga por corrosión. Además, este es efectivo para evitar la descarburación de la ferrita. Con el fin de obtener estos efectos, es necesario que este se añada a un 0,10 % o más. Por otro lado, debido a que una adición excesiva induce un aumento en el coste, el límite superior del mismo se establece a un 2,00 %. Preferiblemente, este se establece a un 1,80 %. Además, de acuerdo con la presente invención, es necesario que el Cu y el Ni se añadan de forma conjunta de tal modo que la cantidad total de los mismos sea de un 0,4 % o más para que la resistencia a la fatiga por corrosión no se deteriore tal como se describe posteriormente.

25

*Cr (cromo): 0,05 - 1,20 %

30

El Cr es un elemento que contribuye a una mejora de la endurecibilidad. Para ese fin, es necesario que este se añada a un 0,05 % o mayor. Por otro lado, una adición excesiva intensifica la dureza de material de alambre después del laminado y deteriora la maquinabilidad del material de alambre. Además, el carburo de Cr se transforma en un electrodo local sobre la superficie del acero para aumentar una picadura por corrosión de tal modo que disminuye la resistencia a la fatiga por corrosión. Por lo tanto, el límite superior del mismo se establece a un 1,20 %. Preferiblemente, este se establece a un 1,1 %.

35

*s-Al: 0,005 - 0,040 %

40

El Al (aluminio) es un elemento desoxidante y es necesario que el s-Al se añada a un 0,005 % o más para obtener su efecto. Por otro lado, debido a que una adición excesiva da como resultado la generación de marca de arena y aumenta la cantidad de inclusiones de tipo óxido en el acero, dañando de ese modo la pureza del acero de tal modo que este se vuelve un origen de la fractura por fatiga, el límite superior del mismo se establece a un 0,040 %. Preferiblemente, este se establece a un 0,030 %. En el presente caso, s-Al quiere decir Al soluble en ácido.

45

*N (nitrógeno): 0,002 - 0,012 %

El N tiene un efecto de formación de carbonitruro y nitruro que contribuye al refinado del grano de cristal en el acero. Con el fin de obtener este efecto, es necesario que esté contenido a un 0,002 % o más. Por otro lado, debido a que una adición excesiva genera piezas voluminosas de carbonitruro de Nb de tal modo que no puede obtenerse la evitación del efecto de crecimiento del grano y genera inclusiones de tipo TiN, induciendo de ese modo una disminución de la resistencia a la fatiga, el límite superior del mismo se establece a un 0,012 %.

50

*O (oxígeno): 0,002 % o menos

55

Debido a que el O genera inclusiones de tipo óxido y probablemente se vuelve un origen de la fractura por fatiga, el límite superior del mismo se establece a un 0,002 %. Mientras tanto, se necesita una desoxidación de Al suficiente para moderar el contenido de O a este nivel.

60

$$*1,2 \% \leq C (\%) + Mn (\%) + Cr (\%) \leq 2,0 \% \quad \dots \text{ecuación (1)}$$

Para asegurar una dureza de HRC52 o más alta en cuanto a la dureza Rockwell, es necesario que $C (\%) + Mn (\%) + Cr (\%)$ sea de un 1,2 % o mayor. Preferiblemente, este se establece a un 1,3 % o más. Por otro lado, si $C (\%) + Mn (\%) + Cr (\%)$ supera un 2,0 %, el acero se endurece demasiado después del laminado de tal modo que tiene lugar rotura o defecto superficial en el momento del estirado. Preferiblemente, este se establece a un 1,9 % o menos.

65

ES 2 524 326 T3

$$*1,4 \% \leq \text{Si} (\%) / 3 + \text{Cr} (\%) / 2 + \text{Mn} (\%) \leq 2,4 \% \quad \dots \quad \text{ecuación (2)}$$

[en el caso en el que B se añade tal como se describe posteriormente:

5 $1,4 \% \leq \text{Si} (\%) / 3 + \text{Cr} (\%) / 2 + \text{Mn} (\%) + 170 \text{ B} (\%) \leq 2,4 \% \quad \dots \quad \text{ecuación (2)']$

Para proporcionar una endurecibilidad capaz de asegurar la dureza de HRC52 o más alta en una porción de núcleo de material de alambre, es necesario que $\text{Si} (\%) / 3 + \text{Cr} (\%) / 2 + \text{Mn} (\%)$ también sea de un 1,4 % o más. Preferiblemente, este se establece a un 1,5 % o más. Por otro lado, si $\text{Si} (\%) / 3 + \text{Cr} (\%) / 2 + \text{Mn} (\%)$ supera un 2,4 %, la endurecibilidad se intensifica en exceso de tal modo que tiene lugar grieta en el momento del templado. Preferiblemente, este se establece a un 2,1 % o menos.

$$* 0,4 \% \leq \text{Cu} (\%) + \text{Ni} (\%) \quad \dots \quad \text{ecuación (3)}$$

15 En el resorte de alta resistencia que tiene una dureza de HRC52 o más alta, es necesario que $\text{Cu} (\%) + \text{Ni} (\%)$ sea de un 0,4 % o mayor con el fin de asegurar la característica de fatiga bajo un entorno corrosivo.

* La cantidad de inclusiones (inclusiones de tipo óxido) que tienen un diámetro de 10 μm o más es de 10 o menos por campo de visión de 100 mm^2 .

20 Si existen 10 o más inclusiones (inclusiones de tipo óxido) que tienen un diámetro de 10 μm o más por campo de visión de 100 mm^2 , la resistencia a la fatiga disminuye debido a que la inclusión en el acero se convierte en un origen de la fractura por fatiga. En particular, los materiales de alta resistencia que tienen una dureza de HRC52 o más alta se ven afectados fuertemente por las inclusiones.

25 El acero para resorte de alta resistencia que se fabrica mediante el método de acuerdo con la presente invención contiene además Ti: 0,02 - 0,070 % y, de forma opcional, uno o dos de Nb: 0,020 - 0,050 % y B: 0,0005 - 0,0030 % así como los componentes de acero que se han descrito en lo que antecede. Cuando está contenido B, la ecuación (2) se sustituye con la siguiente ecuación (2)'.
30 $1,4 \% \leq \text{Si} (\%) / 3 + \text{Cu} (\%) / 2 + \text{Mn} (\%) + 170 \text{ B} (\%) \leq 2,4 \% \quad \dots \quad \text{ecuación (2)'$

*Ti (titanio): 0,020 - 0,070 %

El Ti forma carbonitruro en el acero y refina el grano de austenita, y contribuye al endurecimiento por precipitación. Con el fin de obtener este efecto, es preferible que este se añada a un 0,020 % o más. Por otro lado, debido a que una adición excesiva permite que este se deje como un compuesto no disuelto relativamente grande cuando el acero se calienta para templado y puede volverse un origen de fractura, reduciendo de ese modo la resistencia a la fatiga, preferiblemente, este se establece a un 0,070 % o menos.

*Ni (niobio): 0,020 - 0,050 %

40 El Nb contribuye al refinado del grano de cristal y al endurecimiento por precipitación y tiene un efecto de potenciación de la resistencia a la deformación permanente. Con el fin de obtener este efecto, es preferible que este se añada a un 0,020 % o mayor. Por otro lado, debido a que una adición excesiva satura su efecto y baja la maquinabilidad en caliente y en frío, es preferible que este se añada a un 0,050 % o menos.

* B (boro): 0,0005 - 0,0030 %

El B precipita de forma preferente en el límite de grano de cristal, evitando de ese modo una segregación de P y S en el límite de grano de cristal y potenciando la resistencia a la fatiga y la propiedad de fractura diferida. Con el fin de obtener este efecto, es preferible que este se añada a un 0,0005 % o más. Por otro lado, debido a que una adición excesiva forma nitruro de B, dañando de ese modo la tenacidad del acero y deteriorando las características de fatiga, es preferible que este se añada a un 0,0030 % o menos. Si el B se añade tal como se ha descrito en lo que antecede, es necesario que se satisfaga la ecuación (2)' que se ha mencionado en lo que antecede.

55 A continuación, el acero para resorte de alta resistencia que se fabrica mediante el método de acuerdo con la presente invención puede contener además uno o dos de Mo: 0,01 - 0,50 % y V: 0,05 - 0,30 % como componentes de acero.

* Mo (molibdeno): 0,01 - 0,50 %

60 El Mo es un elemento que contribuye a una mejora de la endurecibilidad. Este es un elemento que intensifica la resistencia a la corrosión, potenciando de ese modo la resistencia a la fatiga por corrosión. Con el fin de obtener estos efectos, es preferible que este se añada a un 0,01 % o más. Por otro lado, debido a que una adición excesiva genera bainita en el material de alambre después del laminado y puede inducir un deterioro de la maquinabilidad en frío, es preferible que este sea de un 0,50 % o menos. Más preferiblemente, este se establece a un 0,40 %.

* V (vanadio): 0,05 - 0,30 %

El V contribuye al refinado del grano de cristal y al endurecimiento por precipitación, potenciando de ese modo la resistencia a la deformación permanente. Con el fin de obtener este efecto, es preferible que este se añada a un 0,05 % o más. Por otro lado, debido a que una adición excesiva transforma el carburo de V en un electrodo local sobre la superficie del acero, formando de ese modo una picadura por corrosión de tal modo que este puede volverse un origen de fractura por agrietamiento, es preferible que este se añada a un 0,30 % o menos. Además, una adición excesiva puede cristalizar piezas voluminosas de carburo primario, deteriorando posiblemente de ese modo la maquinabilidad en frío. De acuerdo con el método de fabricación de resorte de alta resistencia de la presente invención, el acero para resorte de alta resistencia se conforma para dar una forma de resorte mediante conformación en caliente o conformación en frío, y se lleva a cabo un chorreo por granalla en caliente.

Se conoce ampliamente que, si se genera un esfuerzo residual compresivo grande sobre la superficie de un resorte mediante un procesamiento de chorreo por granalla, se potencian la resistencia a la fatiga y la resistencia a la fatiga por corrosión del resorte. La magnitud de la distribución de esfuerzos residuales mediante chorreo por granalla está relacionada con las características de deformación del material y, por ejemplo, para la misma resistencia a la tracción, un material que tiene una relación de fluencia (límite de fluencia / resistencia a la tracción) más pequeña puede obtener un esfuerzo residual compresivo mayor mediante chorreo por granalla. A continuación, en la presente invención, se realiza un chorreo por granalla en caliente (*WSP, warm shot peening*) sobre un acero para resorte conformado. El chorreo por granalla en caliente es un método de llevar a cabo el chorreo por granalla en un intervalo de temperaturas calientes de 150 °C - 350 °C. Como consecuencia, el punto de fluencia en el momento del chorreo por granalla de acero para resorte disminuye de tal modo que se obtiene un esfuerzo residual compresivo suficiente y, finalmente, se potencian la resistencia a la fatiga y la resistencia a la fatiga por corrosión del resorte. Para intensificar este efecto adicionalmente, el chorreo por granalla en caliente se lleva a cabo en un intervalo de temperaturas de 200 - 350 °C.

A pesar de que en un acero para resorte ordinario, su cantidad en C es, en general, de un 0,55 - 0,65 %, la cantidad de C en el acero para resorte de alta resistencia de la presente invención es más baja tal como se ha descrito en lo que antecede y, por lo tanto, su relación de fluencia es pequeña de tal modo que puede obtenerse un esfuerzo residual compresivo suficiente mediante chorreo por granalla. Además, debido a que la cantidad de C es baja de tal modo que puede introducirse una deformación mayor, se logra una mejora en la dureza en las proximidades de la superficie mediante envejecimiento por deformación dinámica, asegurando de ese modo un excelente efecto de potenciación de la resistencia a la fatiga.

Si el resorte tiene una alta resistencia, el chorreo por granalla ordinario tiene un problema tal que es necesario que se use un material de SP costoso con una dureza alta debido a que el material de chorreo por granalla (SP, *shot peening*) es fácil de agrietar. Estos problemas se solucionan al llevar a cabo el chorreo por granalla en caliente tal como se menciona en la invención.

Tal como se ha descrito en lo que antecede, de acuerdo con la presente invención, puede obtenerse un resorte de alta resistencia que tiene una dureza revenido a HRC52 o más alta mientras que su esfuerzo cortante máximo es de 1176 MPa o más alto, provisto con una durabilidad excelente debido a un esfuerzo residual compresivo suficiente. Un resorte de alta resistencia de este tipo puede emplearse preferiblemente para un resorte en espiral, resorte de lámina, barra de torsión, estabilizador y similar, que se use en una unidad de suspensión de automóvil o similar.

Descripción de las realizaciones preferidas

En lo sucesivo en el presente documento se describirá con detalle la realización preferida de la presente invención. El lingote de acero que se obtiene mediante fusión, que tiene una composición química que se muestra en la tabla 1, se desbastó y se laminó para dar un material de varilla para alambre que tiene 13 mm de diámetro y 20 mm de diámetro. El laminado de varilla se realizó a una temperatura de extremo de laminado de 869 °C con el acero calentado a 1100 °C. El material laminado se enfrió con aire después de que se finalizara el laminado.

La tabla 2 muestra unos valores de C (%) + Mn (%) + Cr (%), Si (%) / 3 + Cr (%) / 2 + Mn (%), Cu (%) + Ni (%). De los ejemplos que se desvían con respecto a un intervalo de composiciones que se especifica por la presente invención en composiciones respectivas en la tabla, un ejemplo que es más bajo que el límite inferior incluye una flecha hacia abajo (↓) y un ejemplo que es más alto que el límite más alto incluye una flecha hacia arriba (↑).

[Tabla 1]

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti	Nb	Al	N	B	O
límite superior	0,48	2,80	Mn 1,40	0,015	S 0,010	0,50	2,00	1,20	0,50	0,30	0,070	0,050	0,040	0,012	B 0,0030	0,0020
límite inferior	0,36	1,70	0,20	-	-	0,10	0,10	0,10	0,01	0,05	0,020	0,020	0,005	0,02	0,0005	-
presente invención	0,40	2,20	0,83	0,007	0,004	0,29	0,27	0,16	0	0	0	0	0,020	0,007	0	0,0012
presente invención	0,40	2,19	0,80	0,009	0,003	0,30	0,21	0,13	0	0	0,051	0	0,011	0,007	0	0,0012
presente invención	0,39	2,21	0,78	0,010	0,004	0,31	0,24	0,10	0	0	0	0,049	0,021	0,007	0	0,0013
presente invención	0,39	2,13	0,78	0,015	0,009	0,30	0,11	0,17	0	0	0	0	0,038	0,009	0,0028	0,0011
presente invención	0,44	2,50	0,98	0,011	0,002	0,28	0,78	0,58	0	0	0,037	0,036	0,021	0,007	0,0016	0,0011
presente invención	0,48	2,75	0,24	0,013	0,007	0,48	1,95	1,18	0	0,28	0,068	0	0,007	0,012	0	0,0019
presente invención	0,36	1,72	1,36	0,010	0,004	0,11	0,31	0,20	0,44	0,06	0,021	0	0,018	0,003	0	0,0009
presente invención	0,41	2,52	0,70	0,014	0,010	0,13	1,75	0,75	0,37	0,18	0,040	0	0,018	0,005	0	0,0011
presente invención	0,39	1,78	0,20	0,010	0,003	0,27	0,59	0,95	0,02	0,16	0,055	0,022	0,011	0,011	0,0015	0,0008
ejemplo comparativo	0,39	2,75	1,45	0,013	0,004	0,28	0,24	0,55	0	0	0,050	0	0,018	0,012	0	0,0017
ejemplo comparativo	0,48	2,57	0,70	0,014	0,007	0,28	0,25	↑ 1,27	0	0	0,047	0	0,026	0,009	0	0,0018
ejemplo comparativo	0,37	2,73	0,65	0,009	0,005	0,28	0,25	1,00	↑ 0,53	0	0,052	0	0,026	0,009	0	0,0016
ejemplo comparativo	0,35	2,73	0,73	0,011	0,006	0,31	0,26	0,11	0	0	0,050	0	0,023	0,011	0	0,0012

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti	Nb	Al	N	B	O
ejemplo comparativo	14	0,48	2,22	0,65	0,012	0,005	0,29	0,23	↓ 0,05	0	0,046	0	0,017	0,008	0	0,0009
ejemplo comparativo	15	0,48	1,70	0,15	0,012	0,005	0,28	0,23	0,55	0	0,046	0	0,017	0,008	0	0,0008
ejemplo comparativo	16	0,47	↓ 1,66	0,67	0,011	0,006	0,15	0,20	0,19	0	0,050	0	0,015	0,006	0	0,0012
ejemplo comparativo	17	0,48	2,70	0,22	0,011	0,006	0,20	0,20	0,52	0	0,050	0	0,015	0,006	0	0,0015
ejemplo comparativo	18	0,45	2,75	0,98	0,011	0,006	0,27	0,24	0,55	0	0,044	0	0,017	0,011	0,0020	0,0018
ejemplo comparativo	19	0,47	2,48	0,55	0,012	0,007	0,29	0,25	0,98	0	0,046	0	0,014	0,010	0,0035	0,0012
ejemplo comparativo	20	0,39	2,20	0,81	0,010	0,004	0,32	0,24	0,17	0	0,040	0	↑ 0,060	0,006	0	0,0018
ejemplo comparativo	21	0,40	2,22	0,80	0,010	0,006	0,28	0,27	0,16	0	0,036	0	0,027	0,005	0	0,0025
ejemplo comparativo	22	0,40	2,18	0,80	↑ 0,018	0,014	0,30	0,25	0,15	0	↑ 0,075	0	↑ 0,042	0,001	0	0,0023
ejemplo comparativo	23	0,49	2,62	0,27	0,009	0,003	0,31	1,60	0,88	0	0,052	0,038	0,023	0,007	0	0,0009
ejemplo comparativo	24	0,47	↑ 2,88	0,25	0,011	0,003	0,41	1,62	0,98	0	0,051	0,037	0,022	0,09	0	0,0013
ejemplo comparativo	25	0,46	2,68	0,27	0,010	0,005	0,28	1,48	1,25	0	↑ 0,40	0,041	0,018	0,008	0	0,0012
ejemplo comparativo	26	0,39	2,50	0,97	0,010	0,004	↓ 0,05	0,49	0,50	0	0,050	0,039	0,021	0,007	0	0,0010
ejemplo comparativo	27	0,47	1,82	1,00	0,011	0,004	0,35	↓ 0,07	0,52	0	0,052	0,020	0,018	0,007	0	0,0014
ejemplo comparativo	28	0,37	1,85	1,10	0,010	0,003	0,12	0,26	0,41	0	0,051	0,041	0,022	0,011	0	0,0009

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti	Nb	Al	N	B	O
ejemplo de referencia	0,60	1,99	0,81	0,014	0,005	0,08	0,09	0,04	0	0	0	0	0,022	0,013	0	0,0025
ejemplo de referencia	0,54	0,21	0,91	0,014	0,006	0,02	0,02	0,79	0	0	0	0	0,046	0,010	0	0,0018
ejemplo de referencia	0,55	1,46	0,75	0,011	0,005	0,09	0,10	0,70	0	0	0	0	0,038	0,0006	0	0,0022

Se realizaron las siguientes evaluaciones (1) - (8). La tabla 2 muestra un resultado de las evaluaciones.

(1) Dureza después del laminado

- 5 La dureza del material de alambre laminado se midió en su sección en corte. La dureza en la escala C de Rockwell se midió en 30 puntos y una dureza promedio más 6 veces de desviación estándar σ (dispersión) se consideró como "dureza después del laminado". Para la determinación acerca de si la dureza después del laminado fue aceptable, HRC35 se estableció para ser un límite superior.

10 (2) Presencia o ausencia de rotura tras el estirado

El material de alambre laminado de 13 mm de diámetro se fosfató y se estiró en frío hasta 12 mm de diámetro con el fin de obtener un material estirado. Se evaluó la presencia o ausencia de rotura tras el procesamiento por estirado.

15 (3) Grieta por temple

Después de que el material estirado se calentara a 900 °C o más alta, este se templó mediante enfriamiento con agua de manera inmediata con el fin de obtener un material templado. Se evaluó la presencia o ausencia de grieta en el material templado.

20 (4) Dureza después del templado

- 25 Se midió la dureza de una porción de núcleo en la sección del material templado. La dureza en la escala C de Rockwell se midió en 20 puntos y se evaluó si una dureza promedio satisface, o no, una dureza previamente predeterminada (más de 52HRC).

(5) Cantidad de inclusiones

- 30 Se evaluó la cantidad de inclusiones de tipo óxido de un diámetro de 10 μm o mayor en el material estirado por 100 mm^2 .

(6) Resistencia a la fatiga

- 35 Se cortó una probeta de ensayo del material estirado de 20 mm de diámetro y se templó a partir de 900 °C o más alta y se revino a 54HRC para obtener una probeta de ensayo de fatiga. Una prueba de fatiga de flexión rotatoria de tipo ONO se realizó usando la probeta de ensayo con el fin de evaluar la resistencia a la fatiga.

(7) Resistencia a la fatiga por corrosión

- 40 Mediante el revenido del material templado que se ha mencionado en lo que antecede, se obtuvo un material revenido que tiene una dureza de HRC52. (a) Una solución acuosa de NaCl al 5 % se pulverizó sobre una probeta de ensayo muestreada a partir del material revenido a 35 °C durante dos horas usando una máquina de pruebas de pulverización de agua salada, (b) la probeta de ensayo se secó con una humedad relativa de un 70 % a 60 °C durante cuatro horas, y (c) la probeta de ensayo se mantuvo con una humedad relativa de un 95 % a 35 °C durante dos horas. Después de que los ciclos (a) - (c) se repitieran nueve veces, una prueba de fatiga de torsión invertida se realizó con una amplitud de esfuerzos establecida a 700 MPa. La propiedad de fatiga por corrosión se evaluó con el número de repeticiones hasta la fractura. Mientras tanto, si el número de repeticiones hasta la fractura alcanzó, o no, 100.000, se adoptó como un criterio para determinar si la propiedad fue, o no, aceptable.

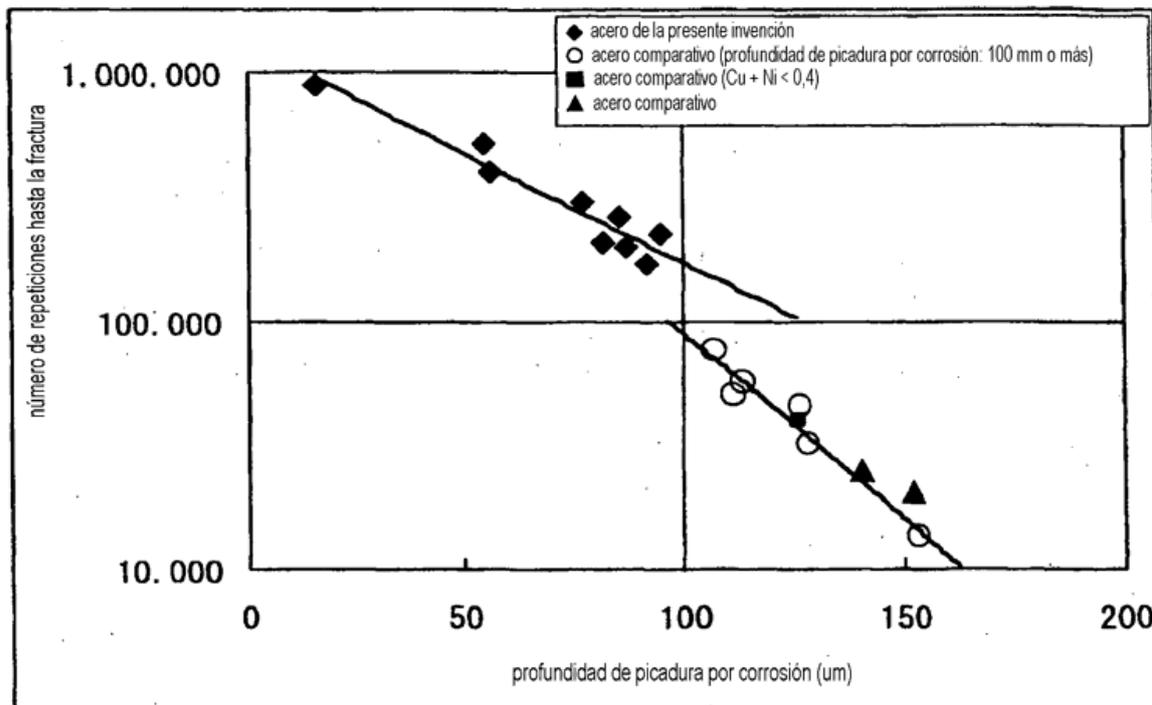
50 (8) Profundidad de picadura por corrosión

- 55 La profundidad de picadura por corrosión se midió en 40 puntos en una sección de una porción corroída después de la prueba de fatiga con el fin de medir un valor máximo (profundidad de picadura máxima) de una profundidad de picadura. Si la profundidad de picadura máxima fue de 100 μm o mayor, o no, se adoptó como un criterio para determinar si la profundidad de picadura fue, o no, aceptable. La tabla 3 muestra una relación entre la profundidad de picadura por corrosión y el número de repeticiones hasta la fractura.

[Tabla 2]

	Aptitud para la fabricación		Resistencia	Revenido	Resistencia a la fatiga		Resistencia a la fatiga por corrosión		razón por la cual no es aceptable
	(1) dureza después del laminado	(2) fractura por estrado			Asegurando la endurecibilidad Si/3+Cr/2+M	(4) dureza después del templado (HRC)	(3) grieta por temple	(5) cantidad de inclusiones (número)	
Limite superior	2,0 o menos								
Limite inferior	1,2 o más		52	52 o más			100	100.000	
Presente invención	1,39	28	1,64	56	ninguna	7	0,56	199.800	OK
Presente invención	1,33	27	1,60	56	ninguna	7	0,51	169.500	OK
Presente invención	1,27	26	1,57	56	ninguna	8	0,55	262.500	OK
Presente invención	1,34	27	2,05	56	ninguna	6	0,41	226.400	OK
Presente invención	2,00	35	2,38	58	ninguna	6	1,06	301.400	OK
Presente invención	1,90	33	1,75	60	ninguna	9	2,43	521.000	OK
Presente invención	1,92	35	2,03	55	ninguna	3	0,42	401.400	OK
Presente invención	1,86	35	1,92	57	ninguna	6	1,88	893.200	OK
Presente invención	1,54	29	1,52	56	ninguna	2	0,86	209.600	OK
Ejemplo comparativo	1,239	39	-	-	-	-	-	-	fractura en el momento del estrado
Ejemplo comparativo	1,245	39	-	-	-	-	-	-	fractura en el momento del estrado
Ejemplo comparativo	1,202	43	-	-	-	-	-	-	fractura en el momento del estrado
Ejemplo comparativo	1,19	25	1,42	44	escasa	-	-	-	resistencia insuficiente
Ejemplo comparativo	1,18	25	1,42	50	escasa	-	-	-	resistencia insuficiente
Ejemplo comparativo	1,18	25	0,99	46	escasa	-	-	-	resistencia y endurecibilidad insuficientes
Ejemplo comparativo	1,33	27	1,32	51	escasa	-	-	-	endurecibilidad insuficiente
Ejemplo comparativo	1,22	26	1,38	49	escasa	-	-	-	endurecibilidad insuficiente
Ejemplo comparativo	1,98	34	2,51	60	asegurada	presencia	-	-	grieta por temple
Ejemplo comparativo	2,00	35	2,48	60	asegurada	presencia	-	-	grieta por temple
Ejemplo comparativo	1,37	27	1,63	55	asegurada	ninguna	0,56	39.800	propiedad no satisfactoria
Ejemplo comparativo	1,36	27	1,62	55	asegurada	ninguna	0,55	50.200	propiedad no satisfactoria
Ejemplo comparativo	1,35	27	1,60	55	asegurada	ninguna	0,55	10.400	propiedad no satisfactoria
Ejemplo comparativo	1,64	30	1,58	61	asegurada	ninguna	1,91	50.600	propiedad no satisfactoria
Ejemplo comparativo	1,70	31	1,70	60	asegurada	ninguna	2,03	77.400	propiedad no satisfactoria
Ejemplo comparativo	1,98	34	1,79	59	asegurada	ninguna	1,76	21.600	propiedad no satisfactoria
Ejemplo comparativo	1,86	33	2,05	56	asegurada	ninguna	0,54	46.400	propiedad no satisfactoria
Ejemplo comparativo	1,99	34	1,87	50	asegurada	ninguna	0,42	13.800	propiedad no satisfactoria
Ejemplo comparativo	1,88	33	1,92	55	asegurada	ninguna	1,038	40.400	propiedad no satisfactoria
Ejemplo de referencia (SUP7)	1,45	28	1,49	57	asegurada	ninguna	1,017	25.000	propiedad no satisfactoria
Ejemplo de referencia (SUP9)	1,224	37	-	-	-	-	-	-	fractura en el momento del estrado
Ejemplo de referencia (SUP12)	2,00	35	1,59	62	asegurada	ninguna	1,019	20.400	propiedad no satisfactoria

[Tabla 3]



5 En lo sucesivo en el presente documento, se describirá un resultado de evaluación que se muestra en la tabla 2. Fue evidente que el acero 1 - 9 de la presente invención que satisfizo un intervalo de composiciones que se especifica por la presente invención indicó unas características excelentes en la totalidad de las pruebas.

10 En los ejemplos comparativos 10 - 12, su valor de C (%) + Mn (%) + Cr (%) superó el intervalo que se especifica por la presente invención (también la cantidad de Mn fue excesiva en el ejemplo comparativo 10 y la cantidad de Cr fue excesiva en el ejemplo comparativo 11), de tal modo que (1) la dureza después del laminado superó HRC35 y (2) tuvo lugar fractura en el momento del estirado.

15 En lo que respecta a los ejemplos comparativos 13 - 17, los ejemplos comparativos 13 - 15 fueron escasos en cuanto al valor de C (%) + Mn (%) + Cr (%) en el intervalo que se especifica por la invención, y los ejemplos comparativos 15 - 17 fueron escasos en cuanto al valor de Si (%) / 3 + Cr (%) / 2 + Mn (%) + 170 B (%) (así mismo, el ejemplo comparativo 13 es escaso en cuanto a la cantidad de C, el ejemplo comparativo 14 es escaso en cuanto a la cantidad de Cr, el ejemplo comparativo 15 es escaso en cuanto a la cantidad de Mn y el ejemplo comparativo 16 es escaso en cuanto a la cantidad de Si) y (4) la dureza después del templado era más baja que HRC52 y la resistencia y la endurecibilidad fueron insuficientes.

20 Los ejemplos comparativos 18 y 19 fueron excesivos en cuanto al valor de Si (%) / 3 + Cr (%) / 2 + Mn (%) + 170 B (%) en el intervalo que se especifica por la presente invención, de tal modo que (3) tuvo lugar grieta por temple en el momento del templado.

25 En lo que respecta a los ejemplos comparativos 20 - 22, el ejemplo comparativo 20 superó el intervalo que se especifica por la presente invención en la cantidad de Al, el ejemplo comparativo 21 fue excesivo en cuanto a la cantidad de O, el ejemplo comparativo 22 fue excesivo en cuanto a la cantidad de P, S, Al y O y (5) la cantidad de inclusiones fue de 10 o más mientras que (6) la resistencia a la fatiga fue insuficiente. Además, (7) también la resistencia a la fatiga por corrosión fue insuficiente.

30 En lo que respecta a los ejemplos comparativos 23 - 29, el ejemplo comparativo 23 superó el intervalo que se especifica por la presente invención en la cantidad de C, el ejemplo comparativo 24 fue excesivo en cuanto a la cantidad de Si, el ejemplo comparativo 25 fue excesivo en cuanto a la cantidad de Cr, el ejemplo comparativo 26 fue escaso en cuanto a la cantidad de Cu, el ejemplo comparativo 27 fue escaso en cuanto a la cantidad de Ni, el ejemplo comparativo 28 fue escaso en cuanto al valor de Cu (%) + Ni (%), (8) la profundidad de picadura por corrosión es más grande que 100 µm y (7) la resistencia a la fatiga por corrosión fue insuficiente.

40 El acero para resorte de alta resistencia de la presente invención tiene una maquinabilidad por estirado excelente como un material laminado y una excelente aptitud para la fabricación de tal modo que no tiene lugar grieta alguna en el templado. Además, este tiene una alta resistencia de HRC52 o más alta ($T_{m\acute{a}x} = 1176$ MPa o más) como la

resistencia de material templado / revenido y una resistencia a la fatiga y una resistencia a la fatiga por corrosión excelentes. Además, este tiene unas características requeridas adecuadas para el resorte de alta resistencia.

5 A continuación, un resorte en espiral que se obtiene mediante la realización de chorreo por granalla en caliente sobre un acero para resorte en el intervalo que se especifica por la invención que se ha descrito en lo que antecede, en el que se logran una resistencia a la fatiga, una resistencia a la fatiga por corrosión y una resistencia a la deformación permanente excelentes, se mostrará como un ejemplo. A pesar de que un método de conformación en frío y un método de conformación en caliente se encuentran disponibles como un método de conformación de resorte, se obtuvo un resorte en espiral que tiene tales características en ambos de los métodos. En el presente
10 caso, el ejemplo A es un resorte conformado en frío y el ejemplo B es un resorte conformado en caliente. La condición de temperatura del chorreo por granalla en caliente se estableció a 250 °C. Como un ejemplo comparativo, se usó un resorte que se obtiene mediante la conformación en frío de un acero convencional (SUP7).

15 La tabla 4 muestra unas composiciones de acero para resorte de alta resistencia de la presente invención que se usan en los ejemplos A, B y el acero convencional (SUP7) que se usa en el ejemplo comparativo.

[Tabla 4]

material	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Ti	Nb	B	Al	N	O	C + Mn + Cr	Si / 3 + Cr / 2 + Mn + 170 B	Cu + Ni
ejemplo A	0,39	2,19	0,85	0,008	0,001	0,28	0,16	0,13	-	-	-	0,014	0,009	0,0011	1,37	1,65	0,44
ejemplo B	0,44	2,50	0,98	0,011	0,002	0,28	0,78	0,58	0,037	0,036	0,0016	0,021	0,007	0,0011	2,00	2,38	1,06
ejemplo comparativo (SUP7)	↑ 0,60	2,00	0,93	0,012	0,008	↓ 0,01	↓ -	0,15	-	-	-	0,015	0,009	0,0009	1,68	1,67	0,01 o menos

5 Se usaron dos métodos alternativos, en concreto, métodos de conformación en frío y de conformación en caliente, como métodos de conformación de resorte de acuerdo con el método reivindicado y los ejemplos A y B se produjeron respectivamente de ese modo. El ejemplo comparativo (SUP7) se conformó en frío. En lo sucesivo se indican procesos específicos. Mientras tanto, la condición de temperatura de chorreo por granalla en caliente se estableció a 250 °C.

* Método mediante conformación en frío (ejemplo A y ejemplo comparativo)

10 calentamiento para templado - templado - revenido - bobinado en frío - recocido de atenuación de esfuerzos internos - chorreo por granalla en caliente - fraguado

* Método mediante conformación en caliente (ejemplo B)

15 calentamiento para templado - bobinado en caliente - templado - revenido - chorreo por granalla en caliente - fraguado

La forma de un resorte que se obtiene en consecuencia se describirá en lo sucesivo.

* Forma de resorte conformado en frío

20 diámetro: □ 10,8, diámetro promedio de espira: □ 108,3, altura libre: 380,5 mm, número efectivo de vueltas: 4,69, constante de resorte: 22,4 N / mm

* Forma de resorte conformado en caliente

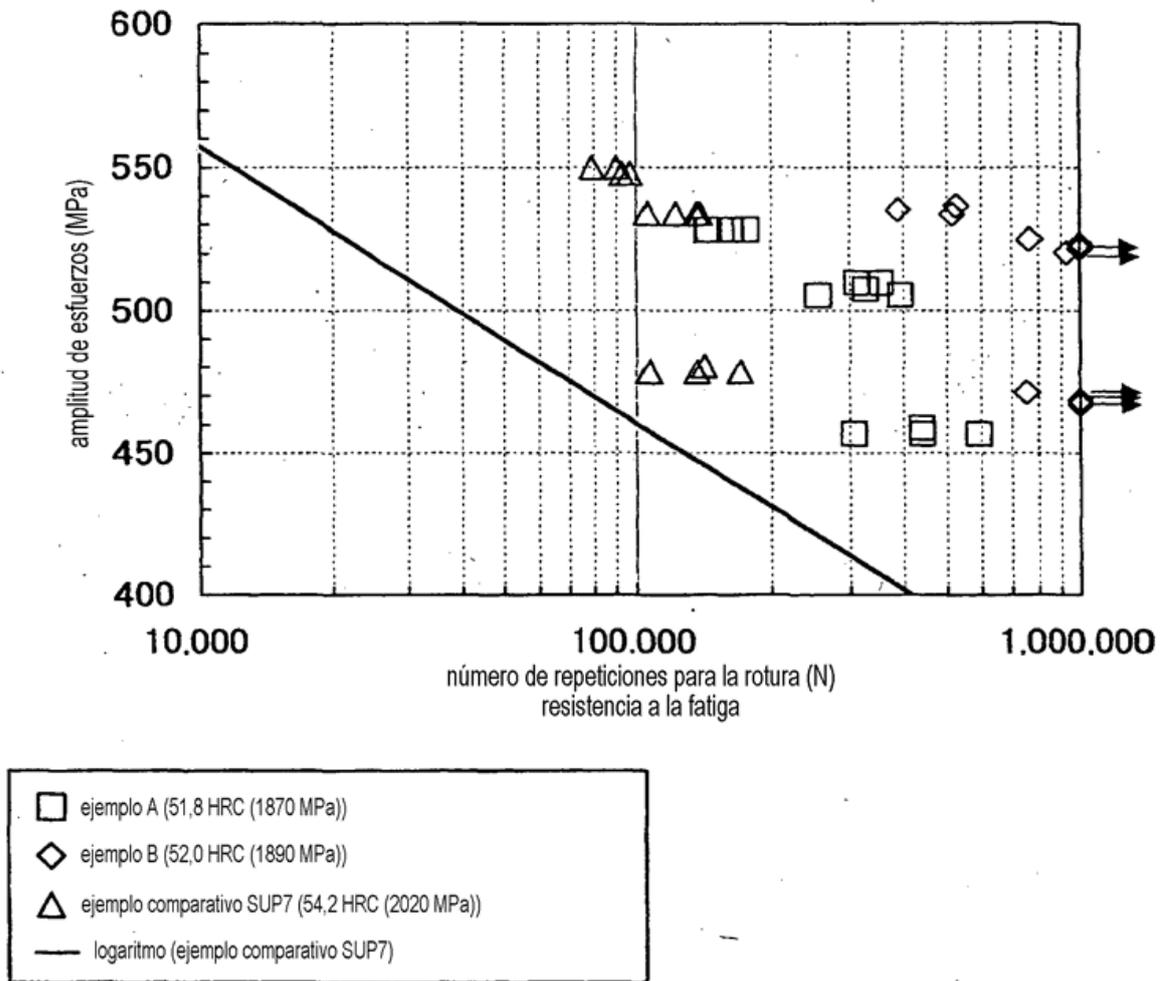
25 diámetro: □ 12,5, diámetro promedio de espira: □ 110,0, altura libre: 382,0 mm, número efectivo de vueltas: 5,41, constante de resorte: 33,3 N / mm

30 La dureza del resorte se estableció a 52HRC y 54HRC. Esto se debe a la siguiente razón. La dureza del resorte varía en un determinado intervalo debido a componentes y a cambios inevitables en la temperatura de revenido. Por lo tanto, de acuerdo con la presente invención, se realizaron experimentos en un intervalo de 52HRC a 54HRC como límites superior e inferior. En el presente caso, la resistencia a la fatiga y la propiedad de deformación permanente no relacionada con la corrosión son más altas a medida que aumenta la dureza del resorte. Por otro lado, la resistencia a la fatiga por corrosión es más baja a medida que aumenta la dureza del resorte. Por lo tanto, con el fin de lograr una resistencia a la fatiga, una propiedad de deformación permanente y una resistencia a la fatiga por corrosión suficientes bajo un esfuerzo de diseño de 1176 MPa, es necesario que se satisfagan la resistencia a la fatiga y la propiedad de deformación permanente, incluso si la dureza es más baja y es necesario mejorar la resistencia a la fatiga por corrosión incluso si la dureza es más alta. A continuación, con la dureza del resorte de la presente invención establecida a 52HRC, la resistencia a la fatiga y la propiedad de deformación permanente se compararon con la del acero convencional SUP7 que tiene una dureza de 49HRC y 54HRC. Además, la resistencia a la fatiga por corrosión se comparó con el acero convencional SUP7 que tiene una dureza de 51HRC.

(9) Resistencia a la fatiga

45 La resistencia a la fatiga se evaluó sobre la base del número de repeticiones hasta que el resorte que se ha descrito en lo que antecede se rompió cuando este se hizo vibrar para cada amplitud de esfuerzos mientras que un esfuerzo promedio fue de $\tau_m = 735$ MPa. La tabla 5 muestra un resultado de la prueba.

[Tabla 5]



5 De acuerdo con la tabla 5, al comparar la resistencia a la fatiga de 49HRC y 54HRC en el ejemplo comparativo SUP7, es evidente que la longevidad a la fatiga de 54HRC que tiene una dureza más alta es más larga que la longevidad de 49HRC a todas las amplitudes de esfuerzos. A pesar de que las durezas del ejemplo A y el ejemplo B son HRC52 y más bajas que HRC54 del ejemplo comparativo SUP7, los ejemplos A, B tienen unas longevidades más largas que 54HRC de la comparación SUP7 a todas las amplitudes de esfuerzo. Además, es evidente que los ejemplos A, B indican una resistencia a la fatiga de más de 200.000 veces bajo una condición en la que el esfuerzo cortante máximo es de 1176 MPa (esfuerzo promedio 735 MPa + amplitud de esfuerzos 441 MPa), indicando de ese modo que estos son unos resortes que logran una reducción del peso. Además, al comparar entre los ejemplos, el ejemplo B que tiene más elemento aditivo indica una longevidad más larga que el ejemplo A.

15 (10) Propiedad de deformación permanente

La evaluación de la propiedad de deformación permanente se llevó a cabo mediante una prueba de apriete.

La prueba de apriete se lleva a cabo en un procedimiento siguiente. (a) Una carga P1 se aplica al resorte en espiral con una máquina de realización de pruebas de carga con el fin de generar un esfuerzo cortante previamente predeterminado, por ejemplo, 1176 MPa de tal modo que se permite que el resorte se desvíe hasta una altura H correspondiente. Con esta condición, la altura del resorte se fuerza con una plantilla de posicionar. (b) El resorte se calienta a una temperatura previamente determinada en un intervalo de tiempo previamente determinado, a 80 °C durante 96 horas en esta prueba, con el fin de generar una deformación por fluencia en el resorte. (c) Después de que se genere la deformación por fluencia, el resorte se libera de la plantilla de posicionar después de que transcurra el tiempo de prueba y se permite que el resorte se desvíe hasta la altura H y a continuación, se lee en ese instante una carga P2. (d) Una distorsión cortante residual y se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación (1) con una diferencia ΔP entre una carga aplicada inicial y una carga después de que finalice la prueba. En donde D es un diámetro promedio de espira, d es un diámetro de alambre y G es el módulo de cizallamiento.

30

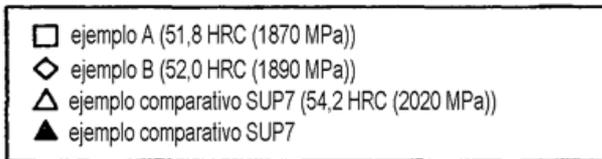
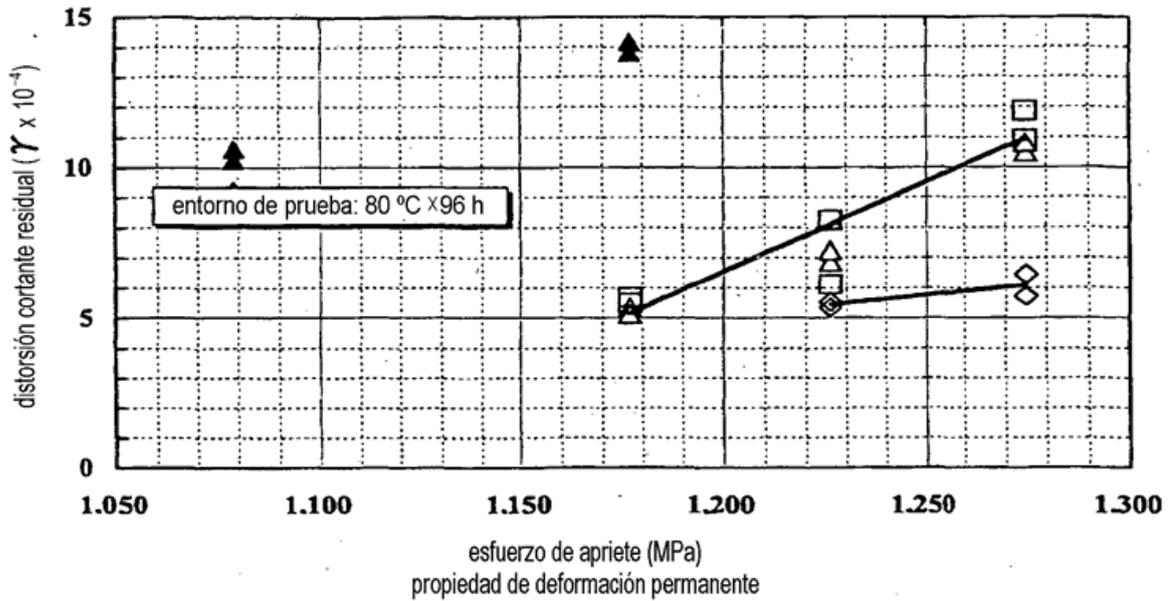
$$\gamma = 8D / \pi Gd^3 \times (P1 - P2) \dots \text{Ecuación (1)}$$

Esta distorsión cortante residual e indica la propiedad de deformación permanente del resorte.

La tabla 6 muestra una comparación de la propiedad de deformación permanente en la prueba de apriete entre los ejemplos y los ejemplos comparativos.

5

[Tabla 6]



- 10 De acuerdo con la tabla 6, el ejemplo A que tiene una dureza de 52HRC indica una propiedad de deformación permanente mucho mejor que la del ejemplo comparativo (SUP7) que tiene una dureza más baja de 49 HRC. Además, este indica una propiedad de deformación permanente sustancialmente igual bajo todos los esfuerzos de apriete en comparación con el SUP7 que tiene una dureza de 54HRC, que es más alta que la del ejemplo A. Además, el ejemplo B que tiene una dureza de 52HRC indica una propiedad de deformación permanente excelente en comparación con el SUP7 de la 54HRC que tiene una dureza más alta.
- 15

(11) Resistencia a la fatiga por corrosión

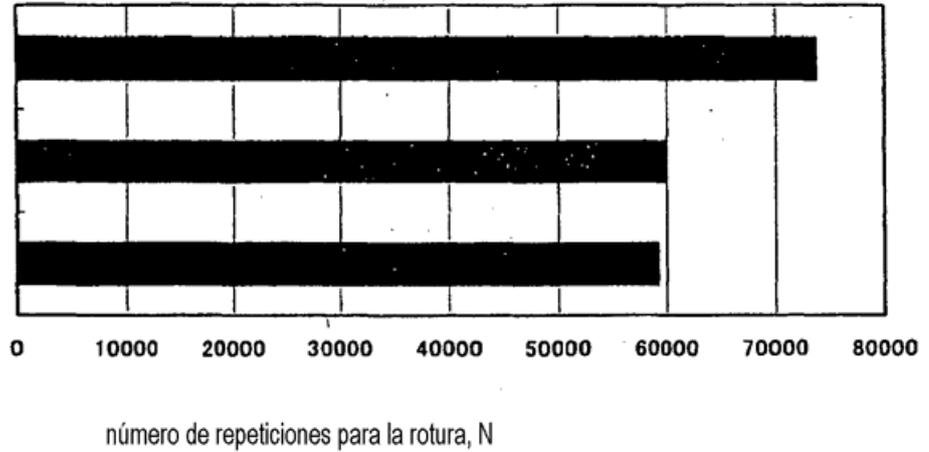
- La prueba de fatiga por corrosión se llevó a cabo en un procedimiento siguiente. (a) Agua salada de NaCl al 5 % a 35 °C se pulveriza sobre un resorte en espiral para su uso en una prueba durante 0,5 horas. (b) El resorte se hace vibrar 3.000 veces para un esfuerzo de prueba previamente predeterminado, por ejemplo, con 735 ± 490 MPa a temperatura ambiente en una condición húmeda, durante 30 minutos. (c) Después de la vibración, el resorte se deja en un baño de temperatura constante y de humedad constante bajo una atmósfera húmeda de un 95 % a 26 °C durante 23 horas. El presente procedimiento se repite hasta que el resorte se rompe. La tabla 7 muestra resultados de la prueba.
- 20
- 25

[Tabla 7]

ejemplo B
54 HRC
735 ± 490 MPa

ejemplo A
54 HRC
735 ± 490 MPa

ejemplo comparativo SUP7
51 HRC
735 ± 395 MPa



De acuerdo con la tabla 7, el ejemplo comparativo SUP7 tiene una dureza de 51HRC y la condición de vibración es de 735 ± 395 MPa. El número de repeticiones de resistencia a la fatiga es de 59.000 veces. Contrariamente a esto, en el caso del ejemplo A, el número de repeticiones de resistencia a la fatiga es igual o más alta que la del ejemplo comparativo, es decir, de 60.000 veces a pesar de que su dureza es de 54HRC y su esfuerzo de prueba es de 735 ± 490 MPa. Además, el ejemplo B indicó una resistencia a la fatiga por corrosión excelente debido a que el número de repeticiones de resistencia a la fatiga es de 74.000 veces bajo la condición en la que la dureza es de 54HRC y la condición de prueba es de 735 ± 490 MPa.

REIVINDICACIONES

1. Un método de fabricación de un resorte de alta resistencia, donde un acero para resorte de alta resistencia que contiene en por ciento en masa: C: 0,36 - 0,48 %; Si: 1,80 - 2,80 %; Mn: 0,20 - 1,40 %; P: 0,015 % o menos; S: 0,010 % o menos; Cu: 0,10 - 0,50 %; Ni: 0,10 - 2,00 %; Cr: 0,05 - 1,20 %; Ti: 0,020 - 0,070 %; s-Al: 0,005 - 0,04 %; N: 0,002 - 0,012 %; O: 0,002 % o menos, y que contiene además, de forma opcional, uno o dos de Nb: 0,020 - 0,050 % y B: 0,0005 - 0,0030 %, y que contiene además, de forma opcional, uno o dos de Mo: 0,01 - 0,50 % y V: 0,05 - 0,30 %, mientras que el resto está constituido por Fe e impurezas inevitables, donde las siguientes ecuaciones (1), (2), (3) se satisfacen cuando no está contenido B alguno y las siguientes ecuaciones (1), (2)', (3) se satisfacen cuando está contenido B y la cantidad de inclusiones de un diámetro de 10 μm o mayor por campo de visión de 100 mm^2 es de 10 o menos, que se conforma para dar una forma de resorte mediante conformación en caliente o conformación en frío:

$$1,2 \% \leq \text{C} (\%) + \text{Mn} (\%) + \text{Cr} (\%) \leq 2,0 \% \quad \text{ecuación (1)}$$

$$1,4 \% \leq \text{Si} (\%) / 3 + \text{Cr} (\%) / 2 + \text{Mn} (\%) \leq 2,4 \% \quad \text{ecuación (2)}$$

$$1,4 \% \leq \text{Si} (\%) / 3 + \text{Cr} (\%) / 2 + \text{Mn} (\%) + 170 \text{ B} (\%) \leq 2,4 \% \quad \text{ecuación (2')}$$

$$0,4 \% \leq \text{Cu} (\%) + \text{Ni} (\%) \quad \text{ecuación (3)}$$

caracterizado por que el método mediante conformación en frío comprende las etapas de: calentamiento para templado, templado, revenido a HRC52 o más alta, bobinado en frío, recocido de atenuación de esfuerzos internos, chorreo por granalla en caliente, fraguado en este orden, y

el método mediante conformación en caliente comprende las etapas de: calentamiento para templado, bobinado en caliente, templado, revenido a HRC52 o más alta, chorreo por granalla en caliente, fraguado en este orden, donde el chorreo por granalla en caliente se ejecuta en un intervalo de temperaturas de 200 - 350 °C.

2. Un resorte de alta resistencia que se produce mediante el método de fabricación de acuerdo con la reivindicación 1, donde la dureza se reviene a HRC52 o más alta y el esfuerzo cortante máximo es de 1176 MPa o más alto.