

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 680 631**

51 Int. Cl.:

|                   |           |                   |           |
|-------------------|-----------|-------------------|-----------|
| <b>C21D 8/06</b>  | (2006.01) | <b>C21D 9/52</b>  | (2006.01) |
| <b>C22C 38/02</b> | (2006.01) | <b>C22C 38/20</b> | (2006.01) |
| <b>C22C 38/04</b> | (2006.01) | <b>C22C 38/28</b> | (2006.01) |
| <b>C22C 38/06</b> | (2006.01) | <b>C22C 38/46</b> | (2006.01) |
| <b>C22C 38/34</b> | (2006.01) |                   |           |
| <b>C22C 38/42</b> | (2006.01) |                   |           |
| <b>F16F 1/02</b>  | (2006.01) |                   |           |
| <b>C21D 7/06</b>  | (2006.01) |                   |           |
| <b>C21D 9/02</b>  | (2006.01) |                   |           |
| <b>C22C 38/50</b> | (2006.01) |                   |           |

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.10.2011 PCT/JP2011/074290**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **18.05.2012 WO12063620**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.10.2011 E 11839745 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.05.2018 EP 2639328**

54 Título: **Acero de resorte de alta resistencia, procedimiento de producción de un resorte de alta resistencia y resorte de alta resistencia**

30 Prioridad:

**11.11.2010 JP 2010252856**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**10.09.2018**

73 Titular/es:

**NHK SPRING CO., LTD. (100.0%)  
3-10, Fukuura Kanazawa-ku  
Yokohama-shi, Kanagawa 236-0004, JP**

72 Inventor/es:

**OKADA, HIDEKI;  
TANGE, AKIRA;  
TANGO, KOICHI y  
SUMIYOSHI, ISAO**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 680 631 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

Acero de resorte de alta resistencia, procedimiento de producción de un resorte de alta resistencia y resorte de alta resistencia

### Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere a un acero para resorte de alta resistencia que se usa como una parte de resorte para vehículos, a un procedimiento para producir el mismo y, a un resorte de alta resistencia producido mediante el procedimiento.

### Antecedentes de la técnica

- 10 En una evaluación ambiental para prevenir el calentamiento global, se ha deseado lograr cuerpos más ligeros con el fin de controlar la emisión de gas de dióxido de carbono en la industria del automóvil. Un enfoque para lograr la demanda de cuerpos más ligeros incluye mejorar la resistencia de un resorte helicoidal para soportar cuerpos. Por otra parte, el resorte helicoidal para soportar cuerpos se expone a un entorno corrosivo severo y, por lo tanto, se requiere durabilidad.

- 15 Con el fin de garantizar la durabilidad del resorte helicoidal en el entorno corrosivo, se han llevado a cabo investigación y desarrollo para mejorar la resistencia a la corrosión de materiales añadiendo elementos de aleación, tal como Cr, Mo, y V, que son eficaces para la resistencia a la corrosión, y se han realizado diversos tipos de propuestas. En cuanto a los medios para mejorar la resistencia a la corrosión y la resistencia a la fractura retardada, por ejemplo, en el caso de aceros de alta resistencia para resortes helicoidales producidos añadiendo elementos de aleación caros, tales como Ni, Cr, Mo y V (denominado en lo sucesivo en el presente documento "acero con alto contenido de Cr existente") descrito en la Literatura de Patente 1, la cantidad de aditivo de cada elemento de aleación aumenta a medida que el entorno de uso se vuelve severo. En consecuencia, el coste del material aumenta. Una gran cantidad de aditivo de Cr provoca, no solo un alto coste, sino una inestabilidad de un sistema de suministro de materia prima. Físicamente, esto conduce a una desventaja de que el foso de corrosión se convierta en un ángulo agudo. Es decir, el Cr actúa positivamente sobre la corrosión general, mientras que actúa de negativamente sobre el foso de corrosión (picaduras), es decir, una relación de intercambio. No está claro dónde existe el valor de contenido de Cr óptimo como cantidad de aditivo.

- 25 Adicionalmente, el Ni tiene un efecto de mejorar la resistencia a la corrosión y un efecto de aumentar la composición amorfa del óxido y disminuir la relación de aspecto del foso de corrosión. Esto provoca no solo un aumento de los costes sino también inestabilidad de un sistema de suministro de materia prima porque los países y las áreas productoras de Ni están distribuidos de manera desigual.

- 30 Desde tal contexto, se ha seguido avanzando en el estudio para eliminar factores inestables adicional y se han realizado diversos tipos de propuestas. Por ejemplo, La Literatura de Patente 2 describe un acero de alta resistencia para resortes helicoidales que se produce para tener una alta resistencia deseada con un bajo contenido de Cr y un bajo contenido de Ni. En la Literatura de Patente 2, se sugiere que las relaciones de composición de los elementos constituyentes se especifiquen usando tres parámetros Ceq 1, Ceq 2 y Ceq 3 con el fin de realizar el acero para resorte de alta resistencia que contiene una pequeña cantidad de aleaciones.

Lista de citas

Literatura de Patente

- 40 Literatura de Patente 1: Jpn. Pat. Appln. KOKAI Publicación N°. 7-173577  
Literatura de Patente 2: Jpn. Pat. Appln. KOKAI Publicación N°. 2009-046764

El documento EP2017358 desvela acero de alta resistencia para resortes con una dureza del temple HRC de 50-55 y el procedimiento para producir un resorte de alta resistencia.

### Divulgación de la invención

- 45 Sin embargo, los presentes inventores han vuelto a ensayar y a examinar el rendimiento del acero para resorte descrito en la Literatura de Patente 2 (denominado en lo sucesivo en el presente documento, "acero convencional") y, de este modo, han descubierto que los aceros en los que la vida útil frente a la corrosión no alcanza un nivel de uso práctico como un resorte helicoidal están contenidos en acero convencional. Es decir, se ha descubierto que el análisis basado en tres parámetros Ceq 1, Ceq 2 y Ceq 3 en la Literatura de Patente 2 es suficiente en términos de resistencia, sin embargo, es insuficiente en términos de vida útil frente a la corrosión (durabilidad frente a la corrosión). Por lo tanto, cuando el acero convencional se examina exhaustivamente, no es necesario que tenga un rendimiento necesario y suficiente como un acero para resorte helicoidal.

La presente invención se ha realizado para resolver los problemas anteriores. Un objeto de la misma es proporcionar un acero para resorte de alta resistencia que alcance una alta resistencia, que contenga una pequeña cantidad de elementos de aleación de Ni, Cr, Mo, y V, sea barato y que, además, tenga una vida útil frente a la corrosión para

finés prácticos, que sea excelente en resistencia a la corrosión y en resistencia a la picadura en una relación de composición definida, un procedimiento para producir el mismo y un resorte de alta resistencia.

5 El acero para el resorte de alta resistencia de acuerdo con la presente invención (denominado en lo sucesivo en el presente documento "acero de ejemplo") comprende C: de 0,38 a 0,44 %, Si: de 2,00 a 2,30 %, Mn: de 0,79 a 1,25 %, Cr: de 0,10 a 0,43 %, Ni: de 0,15 a 0,35 %, Cu: de 0,15 a 0,35 %, Ti: de 0,05 a 0,13 %, P: 0,02 % o menos (0 % si no está incluido), S: 0,02 % o menos (0 % si no está incluido), Al: de 0,003 a 0,10 %, N: de 0,002 a 0,012 %, O: 0,0002 % o menos (0 % si no está incluido), en % en masa, y residuos que consisten en hierro e impurezas inevitables, en el que una temperatura de transformación de  $Ac_3$  como indicador del rendimiento de descarbonación, que se calcula mediante la Ecuación (1) siguiente, es de 859 a 885 °C, un diámetro DI máximo endurecido como 10 indicador del rendimiento de endurecimiento, que se calcula mediante la Ecuación (2) siguiente, es de 70 a 238 mm y, una dureza del temple HRC como indicador del rendimiento del resorte, que se calcula mediante la Ecuación (3) siguiente, es de 50 a 55.

$$Ac_3 = 910 - 203 \times \sqrt{C} - 15,2Ni + 44,7Si + 104V + 31,5Mo + 13,1W \dots (1)$$

$$DI = D_0 \times f_{Si} \times f_{Mn} \times f_P \times f_S \times f_{Cu} \times f_{Ni} \times f_{Cr} \dots (2)$$

$$HRC = 38,99 + 17,48C + 2,55Si - 2,28Ni + 2,37Cr + 8,04Ti \dots (3)$$

15 en la que,  $D_0 = 8,65 \times \sqrt{C}$ ,  $f_{Si} = 1 + 0,64 \times \%Si$ ,  $f_{Mn} = 1 + 4,10 \times \%Mn$ ,  $f_P = 1 + 2,83 \times \%P$ ,  $f_S = 1 - 0,62 \times \%S$ ,  $f_{Cu} = 1 + 0,27 \times \%Cu$ ,  $f_{Ni} = 1 + 0,52 \times \%Ni$ , y  $f_{Cr} = 1 + 2,33 \times \%Cr$ .

20 El procedimiento para producir un resorte de alta resistencia de acuerdo con la presente invención comprende: trabajar en caliente o frío un acero que comprende C: de 0,38 a 0,44 %, Si: de 2,00 a 2,30 %, Mn: de 0,79 a 1,25 %, Cr: de 0,10 a 0,43 %, Ni: de 0,15 a 0,35 %, Cu: de 0,15 a 0,35 %, Ti: de 0,05 a 0,13 %, P: 0,02 % o menos (0 % si no está incluido), S: 0,02 % o menos (0 % si no está incluido), Al: de 0,003 a 0,10 %, N: de 0,002 a 0,012 %, O: 0,0002 % o menos (0 % si no está incluido), en % en masa, y residuos que consisten en hierro e impurezas inevitables, en el que una temperatura de transformación de  $Ac_3$  como indicador del rendimiento de descarbonación, que se calcula mediante la Ecuación (1) siguiente, es de 859 a 885 °C, un diámetro DI máximo endurecido como 25 indicador del rendimiento de endurecimiento, que se calcula mediante la Ecuación (2) siguiente, es de 70 a 238 mm y, una dureza del temple HRC como indicador del rendimiento del resorte, que se calcula mediante la Ecuación (3) siguiente, es de 50 a 55, en un alambón;  
 enrollar el alambón para formar una forma de resorte helicoidal deseada;  
 someter el resorte a tratamiento térmico para endurecimiento y templado;  
 trabajar en caliente el resorte;  
 someter el resorte a granallado caliente; y precargar el resorte.

$$Ac_3 = 910 - 203 \times \sqrt{C} - 15,2Ni + 44,7Si + 104V + 31,5Mo + 13,1W \dots (1)$$

$$DI = D_0 \times f_{Si} \times f_{Mn} \times f_P \times f_S \times f_{Cu} \times f_{Ni} \times f_{Cr} \dots (2)$$

$$HRC = 38,99 + 17,48C + 2,55Si - 2,28Ni + 2,37Cr + 8,04Ti \dots (3)$$

en la que,  $D_0 = 8,65 \times \sqrt{C}$ ,  $f_{Si} = 1 + 0,64 \times \%Si$ ,  $f_{Mn} = 1 + 4,10 \times \%Mn$ ,  $f_P = 1 + 2,83 \times \%P$ ,  $f_S = 1 - 0,62 \times \%S$ ,  $f_{Cu} = 1 + 0,27 \times \%Cu$ ,  $f_{Ni} = 1 + 0,52 \times \%Ni$ , y  $f_{Cr} = 1 + 2,33 \times \%Cr$ .

Los términos descritos en el presente documento se definen de la siguiente manera.

5 Un coeficiente de endurecimiento  $D_0$ , que es un coeficiente especificado por el tamaño de grano y el contenido de carbono, se usa cuando se calcula el diámetro DI máximo endurecido. Cuando el número de tamaño de grano es 7, el coeficiente de endurecimiento  $D_0$  viene dado por la siguiente fórmula:  $8,65 \times \sqrt{C}$ . Es decir, el valor (es decir, 8,65) del coeficiente de endurecimiento  $D_0$  se determina inequívocamente cuando el número de tamaño de grano es 7. Por ejemplo, cuando el número de tamaño de grano es 6, el coeficiente es  $D_0$  9,40. Cuando el número de tamaño de grano es 8, el coeficiente es  $D_0$  7,95.

#### 10 **Breve descripción de los dibujos**

La FIG 1 es un diagrama de patrón en sección transversal que muestra esquemáticamente un procedimiento a partir de la formación de un foso de corrosión hasta el desarrollo y la progresión de una grieta.

La FIG 2 es una vista esquemática característica que muestra una correlación entre el número de ciclo de repetición y la pérdida de peso por corrosión por comparación de cada ejemplo con cada ejemplo comparativo.

15 La FIG 3 es una vista esquemática característica que muestra una correlación entre el número de ciclo de repetición y la relación de aspecto del foso por comparación de cada ejemplo con cada ejemplo comparativo.

La FIG 4 es una vista esquemática característica que muestra una correlación entre la profundidad y la frecuencia de generación del foso de corrosión que ha tenido lugar en cada muestra de cada ejemplo.

20 La FIG 5 es una vista esquemática característica que muestra una correlación entre la profundidad y la frecuencia de generación del foso de corrosión que ha tenido lugar en cada muestra de cada ejemplo comparativo.

La FIG 6 es una vista esquemática característica que muestra una correlación entre el número de veces que diversos tipos de resortes helicoidales se rompen y la amplitud de la tensión.

25 La FIG. 7 es una vista esquemática característica que muestra una correlación entre una tensión de apriete y una deformación por cizalladura residual de diversos tipos de resortes helicoidales.

#### **Modo de llevar a cabo la invención**

A continuación, en el presente documento, se describirán las realizaciones preferentes para ejecutar la presente invención.

El acero de ejemplo tiene las siguientes tres características principales.

30 En primer lugar, la descarburación es un factor importante es un factor importante que influye en el rendimiento del resorte y también es uno de los artículos de examen importantes que deben tenerse en cuenta cuando se determina la composición del acero. Como medio para examinar la descarburación, hay una temperatura de transformación  $Ac_3$  para especificar un límite entre dos regiones bifásicas y de austenita. Si la temperatura de transformación  $Ac_3$  es baja, la temperatura puede establecerse a temperaturas más bajas. Incluso si se usa la misma temperatura de calentamiento, la temperatura permisible para el procedimiento de endurecimiento puede establecerse a temperaturas más bajas. Por consiguiente, esto se considera ventajoso para la descarburación. La temperatura  $Ac_3$  en la composición óptima del acero con alto contenido de Cr existente es de 867 °C. Por lo tanto, en el acero de ejemplo, el diseño de la composición se examina al tiempo que se garantiza el rendimiento del resorte (durabilidad atmosférica, resistencia al combado y durabilidad frente a la corrosión), templabilidad y dureza del temple para tener al menos la temperatura  $Ac_3$  igual a la del acero con alto contenido de Cr existente. Aquí, la composición óptima no corresponde necesariamente a un valor central (media aritmética) entre los límites superior e inferior. La composición óptima debería determinarse evaluando exhaustivamente el rendimiento del resorte, la templabilidad y la dureza del temple y, es un valor ligeramente inferior que un valor medio de los límites superiores e inferiores en muchos casos. Como resultado, en el caso de la composición óptima del acero de ejemplo, la temperatura  $Ac_3$  es de 867 °C y el rendimiento de descarburación casi igual al del acero con alto contenido de Cr existente puede obtenerse incluso bajo condiciones (sin adición de V y baja composición de Ni). La temperatura de transformación  $Ac_3$  usada como indicador de la descarburación se calcula usando la Ecuación (1). El nivel de descarburación se ajusta para ser igual al del acero con alto contenido de Cr existente. La temperatura de transformación  $Ac_3$  se calcula usando la Ecuación (1) y es una fórmula empírica generalmente conocida. Sin embargo, estas composiciones no se determinan solo por la descarburación y actúan positivamente sobre la durabilidad frente a la corrosión o la resistencia al combado. De este modo, se compone la porción que se deteriora en durabilidad frente a la corrosión y resistencia al combado reduciendo el contenido de Ni y V y, las composiciones se ajustan de manera que la temperatura de transformación  $Ac_3$  y dureza del temple sean iguales a las del acero con alto contenido de Cr existente.

55 En segundo lugar, la dureza del resorte es un factor importante que influye en el rendimiento del resorte. Es muy importante obtener una dureza uniforme independientemente del diámetro del alambre o del tamaño del resorte. Por lo tanto, es necesario realizar un examen, teniendo en cuenta la templabilidad. El diámetro DI máximo endurecido se

usa para examinar la templabilidad en la presente invención. Con el fin de calcular el diámetro DI máximo endurecido, se usa la ecuación de H. Hollomon & L. D. Jaffe, que se expresa mediante la Ecuación (2) anterior.

En tercer lugar, la dureza del temple especifica la dureza final del resorte helicoidal y tiene un gran impacto en el rendimiento del resorte. Si se puede obtener la misma dureza a la misma temperatura de templado que la del acero con alto contenido de Cr existente, es posible producir el resorte sin cambiar la temperatura de templado. En consecuencia, es uno de los factores importantes, teniendo en cuenta la productividad del resorte. La Ecuación (3) anterior se usa para calcular la dureza del temple. La Ecuación (3) anterior es una ecuación de regresión (fórmula empírica) que se obtiene realizando un análisis multivariante de los resultados de diferentes tipos de aceros sometidos al ensayo en el pasado. Como en el caso de la descarburación, la composición de la composición de acero no se determina solo de acuerdo con la dureza del temple. La composición de la composición de acero se ajusta para satisfacer exhaustivamente la durabilidad frente a la corrosión, la resistencia al comado, la temperatura de transformación Ac<sub>3</sub>, descarburación y similares. La dureza del temple del acero con alto contenido de Cr existente a una temperatura de templado T °C es 52,5 HRC en el caso de la composición óptima. Por otra parte, en el caso del acero de ejemplo, la dureza del temple a la temperatura de templado T °C es 52,6 HRC. Como se ha descrito anteriormente, el contenido de C, Si, Ni, Cr y Ti se ajustan de manera que se obtenga la misma dureza del temple usando la composición óptima.

El acero para el resorte de alta resistencia de la presente invención, que comprende las tres características, el procedimiento para producir un resorte de alta resistencia y el resorte de alta resistencia se enumerarán a continuación.

(1) El acero para el resorte de alta resistencia de la presente invención comprende C: de 0,38 a 0,44 %, Si: de 2,00 a 2,30 %, Mn: de 0,79 a 1,25 %, Cr: de 0,10 a 0,43 %, Ni: de 0,15 a 0,35 %, Cu: de 0,15 a 0,35 %, Ti: más de 0,07 % pero no más de 0,13 % a 0,13%, P: 0,02 % o menos (0 % si no está incluido), S: 0,02 % o menos (0 % si no está incluido), Al: de 0,003 a 0,10 %, N: de 0,002 a 0,012 %, O: 0,002 % o menos (0 % si no está incluido), en % en masa, y residuos que consisten en hierro e impurezas inevitables, en el que una temperatura de transformación de Ac<sub>3</sub> como indicador del rendimiento de descarburación, que se calcula mediante la Ecuación (1) siguiente, es de 859 a 885 °C, un diámetro DI máximo endurecido como indicador del rendimiento de endurecimiento, que se calcula mediante la Ecuación (2) siguiente, es de 70 a 238 mm y, una dureza del temple HRC como indicador del rendimiento del resorte, que se calcula mediante la Ecuación (3) siguiente, es de 50 a 55.

$$Ac_3 = 910 - 203 \times \sqrt{C} - 15,2Ni + 44,7Si + 104V + 31,5Mo + 13,1W \quad \dots (1)$$

$$DI = D_0 \times f_{Si} \times f_{Mn} \times f_P \times f_S \times f_{Cu} \times f_{Ni} \times f_{Cr} \quad \dots (2)$$

$$HRC = 38,99 + 17,48C + 2,55Si - 2,28Ni + 2,37Cr + 8,04Ti \quad \dots (3)$$

en la que,  $D_0 = 8,65 \times \sqrt{C}$ ,  $f_{Si} = 1 + 0,64 \times \%Si$ ,  $f_{Mn} = 1 + 4,10 \times \%Mn$ ,  $f_P = 1 + 2,83 \times \%P$ ,  $f_S = 1 - 0,62 \times \%S$ ,  $f_{Cu} = 1 + 0,27 \times \%Cu$ ,  $f_{Ni} = 1 + 0,52 \times \%Ni$ , y  $f_{Cr} = 1 + 2,33 \times \%Cr$ .

De acuerdo con la presente invención, a pesar de la pequeña cantidad de aditivo de los elementos de aleación, la pérdida de peso por corrosión en el entorno corrosivo llega a ser casi igual o inferior a la del acero con alto contenido de Cr existente (FIG. 2). Adicionalmente, de acuerdo con la presente invención, la forma del foso de corrosión que se produce en el entorno corrosivo se aplanan y la concentración local de tensión se apenas se genera (FIG. 3).

De acuerdo con la presente invención, la profundidad del foso de corrosión que tiene lugar en el entorno corrosivo es superficial. De este modo, apenas se forma una grieta por fatiga y la vida útil frente a la corrosión se mejora (FIGS. 4 a 6).

(2) El procedimiento para producir el resorte de alta resistencia de la presente invención comprende: trabajar en caliente o frío un acero que comprende C: de 0,38 a 0,44 %, Si: de 2,00 a 2,30 %, Mn: de 0,79 a 1,25 %, Cr: de 0,10 a 0,43 %, Ni: de 0,15 a 0,35 %, Cu: de 0,15 a 0,35 %, Ti: más de 0,07 % pero no más de 0,13 %, P: 0,02 % o menos (0 % si no está incluido), S: 0,02 % o menos (0 % si no está incluido), Al: de 0,003 a 0,10 %, N: de 0,002 a 0,012 %, O: 0,002 % o menos (0 % si no está incluido), en % en masa, y residuos que consisten en hierro e impurezas inevitables, en el que una temperatura de transformación de Ac<sub>3</sub> como indicador del rendimiento de descarburación, que se calcula mediante la Ecuación (1) siguiente, es de 859 a 885 °C, un

diámetro DI máximo endurecido como indicador del rendimiento de endurecimiento, que se calcula mediante la Ecuación (2) siguiente, es de 70 a 238 mm y, una dureza del temple HRC como indicador del rendimiento del resorte, que se calcula mediante la Ecuación (3) siguiente, es de 50 a 55, en un alambón; enrollar el alambón para formar una forma de resorte helicoidal deseada; someter el resorte a tratamiento térmico para endurecimiento y templado; trabajar en caliente el resorte; someter el resorte a granallado caliente; y precargar el resorte.

$$Ac_3 = 910 - 203 \times \sqrt{C} - 15,2Ni + 44,7Si + 104V + 31,5Mo + 13,1W \dots (1)$$

$$DI = D_0 \times f_{Si} \times f_{Mn} \times f_P \times f_S \times f_{Cu} \times f_{Ni} \times f_{Cr} \dots (2)$$

$$HRC = 38,99 + 17,48C + 2,55Si - 2,28Ni + 2,37Cr + 8,04Ti \dots (3)$$

en la que,  $D_0 = 8,65 \times \sqrt{C}$ ,  $f_{Si} = 1 + 0,64 \times \%Si$ ,  $f_{Mn} = 1 + 4,10 \times \%Mn$ ,  $f_P = 1 + 2,83 \times \%P$ ,  $f_S = 1 - 0,62 \times \%S$ ,  $f_{Cu} = 1 + 0,27 \times \%Cu$ ,  $f_{Ni} = 1 + 0,52 \times \%Ni$ , y  $f_{Cr} = 1 + 2,33 \times \%Cr$ .

El resorte de formación en caliente se produce a través de una serie de los siguientes procedimientos: calentamiento con alambón; enrollamiento (formando una forma de resorte helicoidal); endurecimiento; templado; trabajado en caliente; granallado caliente; precarga; conversión química; y revestimiento. Por otra parte, el resorte de formación en frío se produce a través de una serie de los siguientes procedimientos: endurecimiento y templado de alambón; enrollamiento; recocado para eliminar el esfuerzo; trabajado en caliente; granallado caliente; precarga; conversión química; y revestimiento.

De acuerdo con la presente invención, a pesar del material que contiene una cantidad reducida de elementos de aleación caros, tales como Ni, Cr, Mo, y V, en los aceros dentro del rango de la presente invención, una disminución en la vida útil frente a la corrosión (durabilidad frente a la corrosión) debido a la diferencia en la relación de la composición puede suprimirse en comparación con la del acero convencional.

(3) En el procedimiento (2), el alambón se enrolla por formación en caliente o en frío para formar la forma de resorte helicoidal deseada y, el resorte se somete a granallado caliente para proporcionar una tensión de cizalladura máxima de 1176 MPa o más. De acuerdo con la presente invención, la tensión de compresión residual que permanece en la porción superficial se incrementa realizando un granallado caliente y, así, la tensión de cizalladura máxima puede aumentar a un nivel de 1176 MPa o más. Aunque la tensión de cizalladura máxima del acero del resorte helicoidal no puede aumentar indefinidamente, el límite superior es de aproximadamente 1400 MPa de acuerdo con diversas restricciones de fabricación.

(4) En el procedimiento (2) o (3), es preferente realizar el granallado caliente de 200 °C a 300 °C.

Cuando la temperatura es inferior a 200 °C, el efecto del granallado caliente no se obtiene o el efecto se hace insuficiente. Por otra parte, cuando la temperatura excede los 300 °C, se necesita recalentamiento o es difícil controlar la temperatura.

(5) El resorte de alta resistencia de la presente invención se produce usando uno cualquiera de los procedimientos (2) a (4). El resorte de alta resistencia de la presente invención puede aplicarse ya sea al resorte helicoidal producido por formación en caliente o un resorte helicoidal formado por formación en frío.

A continuación, en el presente documento, se describirá un rango preferente de diversos elementos de composición y el motivo.

(1) C: de 0,38 a 0,44 %

El carbono (C) está inevitablemente contenido del acero y contribuye a la mejora de la resistencia y de la dureza después del endurecimiento y del templado. Desde el punto de vista de garantizar una resistencia necesaria, es necesario añadir 0,38 % o más al contenido de C. Más preferentemente, 0,39 % o más del contenido de C se añade. Por otra parte, si el contenido de C es demasiado alto, la relación de aspecto del foso de corrosión aumenta, la forma del foso de corrosión se agudiza y la concentración de tensión en el foso de corrosión aumenta. Adicionalmente, la dureza del metal base en el acero se deteriora y, por lo tanto, la fragilización por hidrógeno también se deteriora. Como resultado, si el contenido de C es excesivo, la durabilidad frente a la corrosión se deteriora. Por consiguiente, el límite superior se establece en 0,44 %. Más preferentemente, se establece en 0,43 %.

(2) Si: de 2,00 a 2,30 %

El Si contribuye a la mejora de la resistencia como un elemento de refuerzo de solución sólida y también mejora la tensión de prueba. De este modo, si el contenido de Si es demasiado bajo, la resistencia del metal base se vuelve insuficiente. Adicionalmente, el Si tiene también un efecto de cambio de temperatura de precipitación del carburo durante el templado en el lado de alta temperatura y de cambio de la zona de fragilidad del temple en el lado de alta temperatura para mejorar la fragilización por hidrógeno. Con el fin de obtener estos efectos, es necesario añadir 2,00 % o más del contenido de Si. Sin embargo, si el contenido de Si es excesivo, se facilita la descarburación y se empeora la procesabilidad. En consecuencia, el límite superior se establece en 2,30 %. Preferentemente, se establece en 2,20 %.

(3) Mn: de 0,79 a 1,25%

El Mn es un elemento que extiende la región de austenita en el diagrama de equilibrio y es eficaz en la supresión estable de la descarburación de ferrita. El Mn tiene un efecto de hacer que el S, que es una causa de la formación de inclusiones, sea inofensivo. Con el fin de obtener estos efectos, es necesario añadir 0,79 % o más del contenido de Mn. Sin embargo, si el contenido de Mn es excesivo, la dureza del metal base en el acero se deteriora. De este modo, la fragilización por hidrógeno, se deteriora. Como resultado, la durabilidad frente a la corrosión se deteriora. Por consiguiente, el límite superior se establece en 1,25 %. Más preferentemente, el límite superior del Mn se establece en 1,00 %.

(4) Cr: de 0,1 a 0,43%

el Cr mejora el metal base en el acero mediante refuerzo de la solución sólida y también tiene un efecto de mejorar la templabilidad. Con el fin de obtener estos efectos, es necesario añadir 0,10 % o más del contenido de Cr. Sin embargo, la durabilidad frente a la corrosión del Cr se deteriora al disminuir el valor de pH en el fondo del foso de corrosión para aumentar la relación de aspecto del foso de corrosión (la forma del foso se agudiza). Por consiguiente, el límite superior se establece en 0,43 %. Más preferentemente, el límite superior del Cr se establece en 0,30 % o menos.

(5) Ni: de 0,15 a 0,35 %

El Ni tiene un efecto de mejorar la resistencia a la corrosión como en el caso del Cu y un efecto de aumentar la composición amorfa del óxido y disminuir la relación de aspecto del foso de corrosión. Con el fin de obtener estos efectos, es necesario añadir 0,15 % o más del contenido de Ni. Sin embargo, si el contenido de Ni es excesivo, se provoca un aumento en el coste. Por consiguiente, el límite superior se establece en 0,35 %. Más preferentemente, el límite superior del Ni se establece en 0,25 % o menos.

(6) Cu: de 0,15 a 0,35 %

El Cu es un elemento metálico cuya tendencia de ionización es electroquímicamente superior a la del hierro y que tiene un efecto de mejorar la resistencia a la corrosión del acero. Adicionalmente, el Cu tiene un efecto de aumentar la composición amorfa del óxido generado durante la corrosión y de suprimir el fenómeno en el que el cloro (Cl) se condensa en el fondo del foso de corrosión, que es una de las causas de la corrosión. El efecto permite que la relación de aspecto del foso de corrosión se controle. Adicionalmente, la concentración de tensión se relaja y la durabilidad frente a la corrosión se mejora. Con el fin de obtener estos efectos, es necesario añadir 0,15 % o más del contenido de Cu. Sin embargo, si el contenido de Cu es excesivo, puede formarse una grieta debido al enrollado en caliente. Por consiguiente, el límite superior se establece en 0,35 %. Más preferentemente, el límite superior del Cu se establece en 0,25 %.

(7) Ti: de 0,05 a 0,13 %

El Ti es eficaz para refinar granos de cristal de austenita previos después del endurecimiento y del templado y de mejorar la durabilidad atmosférica y la fragilización por hidrógeno. Con el fin de obtener estos efectos, es necesario tener más de 0,07 % de contenido de Ti. Sin embargo, si el contenido de Ti es excesivo, precipitan nitruros de Ti gruesos y, por lo tanto, se deterioran las características de fatiga. Por consiguiente, el límite superior se establece en 0,13 %. Más preferentemente, el límite superior del Ti se establece en 0,11 %.

(8) Elementos de impureza a los que se alientan limitar sus contenidos

El Al, P, S, O, y N son elementos de impurezas que entran en el acero en el procedimiento de formación del acero y se alientan a limitar sus contenidos. Desde el punto de vista del rendimiento del resorte y la capacidad de las instalaciones de producción, los contenidos deseados y permitidos de estos elementos de impurezas se especifican respectivamente de la siguiente manera.

(8-1) Al: de 0,003 a 0,10 %

El Al es un elemento que actúa como un desoxidante durante el tratamiento del yeso. El Al forma nitruros de aluminio finos. De este modo, tiene un efecto de refinar los granos de cristal debido al efecto de fijación. Con el fin de obtener estos efectos, es necesario añadir al menos 0,003 % o más del contenido de Al. Más preferentemente,

0,005 % o más del contenido de Al se añade.

Sin embargo, si el contenido de Al es excesivo, se forman nitruros de aluminio gruesos (AlN), dando como resultado una mala influencia en las características de fatiga. Por consiguiente, el límite superior se establece en 0,10 %. Más preferentemente, el límite superior del Al se establece en 0,03 %.

5 (8-2) P: 0,02 % o menos (0 % si no está incluido)

El P es un elemento que segrega en un límite de grano de austenita anterior para fragilizar el límite de grano y deteriora las características de fatiga. Por lo tanto, se prefiere que el contenido de P sea lo menor posible y se controla preferentemente a 0,02 % o menos. Con el fin de obtener las características de fatiga a un alto nivel, se controla preferentemente a 0,01 % o menos.

10 (8-3) S: 0,02 % o menos (0 % si no está incluido)

el S es un elemento que segrega en un límite de grano de austenita anterior para fragilizar el límite de grano y deteriora las características de fatiga como en el caso del P. Por lo tanto, se prefiere que el contenido de S sea lo menor posible y se controla preferentemente a 0,02 % o menos. Con el fin de obtener las características de fatiga a un alto nivel, se controla preferentemente a 0,01 % o menos.

15 (8-4) O: 0,002 % o menos (0 % si no está incluido)

El Oxígeno (o) es un elemento que forma una inclusión basada en óxido y reduce las características de fatiga. Si el contenido de O se vuelve excesivo, se forma una inclusión basada en óxido grueso tal como alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), las características de fatiga se reducen significativamente. Por lo tanto, se prefiere el contenido de O sea el menor posible. Con el fin de obtener las características de fatiga a un nivel normal, se controla preferentemente a 0,002 % o menos.

20

(8-5) N: de 0,002 a 0,012 %

El nitrógeno (N) forma nitruros con el Al y contribuye al refinamiento de los granos de cristal. Para lograr esto, es necesario añadir 0,002 % o más del contenido de N. Sin embargo, si el contenido de N es excesivo, el N forma nitruros gruesos con el Ti y el Al, no se obtiene un efecto de prevención del engrosamiento de los granos de cristal y se forma una inclusión basada en TiN. Esto causa una disminución en las características de fatiga. Por consiguiente, el límite superior del N se establece en 0,012 %. Más preferentemente, el límite superior del N se establece en 0,010 %.

25

(9) La temperatura de transformación Ac<sub>3</sub>

Si la temperatura de transformación Ac<sub>3</sub> se establece en un valor bajo, la temperatura de calentamiento puede ser baja, lo cual es ventajoso para la descarburación. Por otra parte, si se supone que la temperatura de calentamiento es la misma, se puede establecer una temperatura permisible hasta que se complete el endurecimiento en un valor bajo. Por lo tanto, esto se considera ventajoso para la descarburación.

30

Se explicará un caso del diseño de la composición del acero de ejemplo con respecto a la temperatura de transformación Ac<sub>3</sub> con referencia a la tabla 1.

35 En el acero de ejemplo, un diseño de la composición básica se realiza usando la composición del acero con alto contenido de Cr existente como composición base. Adicionalmente, con el objetivo de proporcionar un valor óptimo de temperatura Ac<sub>3</sub> igual al del acero con alto contenido de Cr existente, se realiza un diseño de la composición específico. Es decir, en el caso de la composición óptima del acero con alto contenido de Cr existente (C: 0,41 %, Si: 1,75 %, Ni: 0,5 %, y V: 0,16 %), la temperatura Ac<sub>3</sub> es 867,3 °C. Así, el diseño de la composición del acero de ejemplo se examina a la vez el rendimiento del resorte (durabilidad atmosférica, resistencia al combado y durabilidad frente a la corrosión), templabilidad y la dureza del temple se garantizan de manera que la temperatura Ac<sub>3</sub> sea igual a al menos la del acero con alto contenido de Cr existente (mientras que se confirma el mantenimiento del nivel de rendimiento como el acero para el resorte de alta resistencia). Como resultado, en el caso de la composición óptima del acero de ejemplo (C: 0,415 %, Si: 2,05 %, Ni: 0,2 %, y sin adición de V), la temperatura Ac<sub>3</sub> es de 867,8 °C. En el acero de ejemplo, el rendimiento de descarburación es sustancialmente igual al del acero con alto contenido de Cr existente puede obtenerse incluso bajo condiciones (sin adición de V y baja composición de Ni). El "valor óptimo" usado en el presente documento significa una composición ideal para composiciones que proporcionan características de resorte excelentes en un intervalo desde un valor mínimo a un valor máximo en la temperatura Ac<sub>3</sub>. El valor óptimo no corresponde necesariamente a un valor central (media aritmética) entre los valores mínimo y máximo. El valor óptimo es un valor ligeramente inferior a una media aritmética de los valores mínimo y máximo en muchos casos.

40

45

50

De este modo, la temperatura Ac<sub>3</sub> es un factor importante usado como indicador del rendimiento de descarburación de acero. La temperatura Ac<sub>3</sub> se expresa mediante la Ecuación (1) siguiente, en la que cada símbolo de elemento en la ecuación representa el contenido del elemento (% en masa).

$$Ac_3 = 910 - 203 \times \sqrt{C} - 15,2Ni + 44,7Si + 104V + 31,5Mo + 13,1W \dots (1)$$

Un ejemplo de diseño de la composición del acero de ejemplo cuando la temperatura  $Ac_3$  es de 859 °C es el siguiente: C: 0,44 %, Si: 2,0 %, Ni: 0,35 %, y sin adición de V. Un ejemplo de diseño de composición del acero de ejemplo cuando la temperatura  $Ac_3$  es de 885 °C es el siguiente: C: 0,38 %, Si: 2,3 %, Ni: 0,15 %, y sin adición de V.

- 5 Un ejemplo de diseño de la composición óptimo del acero de ejemplo cuando la temperatura  $Ac_3$  es de 867 °C es el siguiente: C: 0,415 %, Si: 2,05 %, Ni: 0,20 %, y sin adición de V.

- 10 Por otra parte, en cuanto al acero con alto contenido de Cr existente, un ejemplo de diseño de la composición del acero con alto contenido de Cr existente cuando la temperatura  $Ac_3$  es de 861 °C es el siguiente: C: 0,42 %, Si: 1,70 %, Ni: 0,6 %, y V: 0,15 %. Un ejemplo de diseño de la composición del acero con alto contenido de Cr existente cuando la temperatura  $Ac_3$  es de 886 °C es el siguiente: C: 0,38 %, Si: 1,90 %, Ni: 0,3 %, y V: 0,20 %. Un ejemplo de diseño de la composición del acero con alto contenido de Cr existente cuando la temperatura  $Ac_3$  es de 867,3 °C es el siguiente: C: 0,41 %, Si: 1,75 %, Ni: 0,5 %, y V: 0,16 %.

Tabla 1: Casos calculados del diseño de la composición con respecto a la temperatura de transformación  $Ac_3$

| Clasificación                            | Aplicación de adición de composición a la temperatura $Ac_3$ | Composición |      |      |      | La temperatura de transformación $Ac_3$ (°C) |
|--|--|-------------|------|------|------|--|
|  |  | C           | Si   | Ni   | V    |  |
| Acero de ejemplo                         | Mínimo   | 0,44        | 2,0  | 0,35 | 0    | 859  |
| Acero de ejemplo                         | Máximo   | 0,38        | 2,3  | 0,15 | 0    | 885  |
| Acero de ejemplo                         | Óptimo   | 0,415       | 2,05 | 0,2  | 0    | 867,8  |
| Acero con alto contenido de Cr existente | Mínimo   | 0,42        | 1,7  | 0,6  | 0,15 | 861  |
| Acero con alto contenido de Cr existente | Máximo   | 0,38        | 1,9  | 0,3  | 0,2  | 886  |
| Acero con alto contenido de Cr existente | Óptimo   | 0,41        | 1,75 | 0,5  | 0,16 | 867,3  |

(10) Templabilidad

- 15 La dureza del resorte es un factor importante que influye en el rendimiento del resorte. Es importante obtener una dureza uniforme independientemente del diámetro del alambre o del tamaño del resorte. Por lo tanto, es necesario realizar un examen, teniendo en cuenta la templabilidad. Con el fin de evaluar la templabilidad, se usa un diámetro DI máximo cuando una barra redonda se somete a endurecimiento por agua y se puede transformar de manera martensítica la sección central el 50 % o más.

- 20 Se explicará un caso del diseño de la composición de los aceros de ejemplo con respecto a la templabilidad con referencia a la Tabla 2.

- 25 En el acero de ejemplo, un diseño de la composición básica se realiza usando la composición del acero con alto contenido de Cr existente como composición base. Adicionalmente, con el objetivo de proporcionar un valor óptimo de diámetro DI máximo igual al del acero con alto contenido de Cr existente, se realiza un diseño de la composición específico. Es decir, el diámetro DI máximo se determina usando la ecuación de H. Hollomon & L. D. Jaffe, que se expresa mediante la Ecuación (2) siguiente:

$$DI = D_0 \times f_{Si} \times f_{Mn} \times f_P \times f_S \times f_{Cu} \times f_{Ni} \times f_{Cr} \dots (2)$$

en la que  $D_0 = 8,65 \times \sqrt{C}$ ,  $f_{Si} = 1 + 0,64 \times \%Si$ ,  $f_{Mn} = 1 + 4,10 \times \%Mn$ ,  $f_P = 1 + 2,83 \times \%P$ ,  $f_S = 1 - 0,62 \times \%S$ ,  $f_{Cu} = 1 + 0,27 \times \%Cu$ ,  $f_{Ni} = 1 + 0,52 \times \%Ni$ , y  $f_{Cr} = 1 + 2,33 \times \%Cr$ .

5 En la realización, es preferente realizar el diseño de la composición de manera que el diámetro DI máximo especificado por la Ecuación (2) anterior sea de 70 a 238 mm. Si el valor DI es inferior a 70 mm, es imposible alcanzar un efecto de endurecimiento deseado que se requiere para el resorte helicoidal. Por otra parte, si el valor DI excede los 238 mm, puede tener lugar una grieta durante el endurecimiento.

10 Un caso del diseño de la composición del acero de ejemplo cuando el diámetro DI máximo es 70 mm es el siguiente: C: 0,38 %, Si: 2,0 %, Mn: 0,79 %, P: 0 %, S: 0 %, Cr: 0,1 %, Ni: 0,15 %, Cu: 0,15 %, y sin adición de V. Un ejemplo de diseño de la composición del acero de ejemplo cuando el diámetro DI máximo es de 238 mm es el siguiente: C: 0,44 %, Si: 2,3 %, Mn: 1,25 %, P: 0,02 %, S: 0,02 %, Cr: 0,43 %, Ni: 0,35 %, Cu: 0,35 %, y sin adición de V.

Adicionalmente, es más preferente que el diámetro DI máximo se establezca en un rango de 115±10 mm (105 a 125 mm), apuntando a 115 mm que es un valor óptimo del diámetro DI máximo. Un ejemplo de diseño de la composición del acero de ejemplo cuando el diámetro DI máximo es de 115 mm es el siguiente: C: 0,415 %, Si: 2,05 %, Mn: 1,00 %, P: 0,009 %, S: 0,006 %, Cr: 0,2 %, Ni: 0,2 %, Cu: 0,2 %, y sin adición de V.

15 Por otra parte, en cuanto al acero con alto contenido de Cr existente (acero convencional), un ejemplo de diseño de la composición del acero con alto contenido de Cr existente cuando el diámetro DI máximo es de 63 mm es el siguiente: C: 0,38 %, Si: 1,7 %, Mn: 0,1 %, P: 0 %, S: 0 %, Cr: 1,0 %, Ni: 0,3 %, y Cu: 0,2 %. Un ejemplo de diseño de la composición del acero con alto contenido de Cr existente cuando el diámetro DI máximo es de 189 mm es el siguiente: C: 0,42 %, Si: 1,9 %, Mn: 0,45 %, P: 0,02 %, S: 0,02 %, Cr: 1,1 %, Ni: 0,6 %, y Cu: 0,3 %. Un ejemplo del  
20 diseño de la composición óptimo del acero con alto contenido de Cr existente cuando el diámetro DI máximo es de 95 mm es el siguiente: C: 0,41 %, Si: 1,75 %, Mn: 0,18 %, P: 0,009 %, S: 0,006 %, Cr: 1,04 %, Ni: 0,5 %, y Cu: 0,22 %.

Tabla 2: Casos calculados del diseño de la composición con respecto al índice de estimación DI de templabilidad

| Clasificación                            | Aplicación de adición de composición al valor DI | Composición |      |      |       |       |      |      |      | Valor DI (mm) |
|--|--|-------------|------|------|-------|-------|------|------|------|---------------|
|  |  | C           | Si   | Mn   | P     | S     | Cr   | Ni   | Cu   |               |
| Acero de ejemplo                         | Mínimo   | 0,38        | 2,0  | 0,79 | 0     | 0     | 0,1  | 0,15 | 0,15 | 70            |
| Acero de ejemplo                         | Máximo   | 0,44        | 2,3  | 1,25 | 0,02  | 0,02  | 0,43 | 0,35 | 0,35 | 238           |
| Acero de ejemplo                         | Óptimo   | 0,415       | 2,05 | 1    | 0,009 | 0,006 | 0,2  | 0,2  | 0,2  | 115           |
| Acero con alto contenido de Cr existente | Mínimo   | 0,38        | 1,7  | 0,1  | 0     | 0     | 1,0  | 0,3  | 0,2  | 63            |
| Acero con alto contenido de Cr existente | Máximo   | 0,42        | 1,9  | 0,45 | 0,02  | 0,02  | 1,1  | 0,6  | 0,3  | 189           |
| Acero con alto contenido de Cr existente | Óptimo   | 0,41        | 1,75 | 0,18 | 0,009 | 0,006 | 1,04 | 0,5  | 0,22 | 95            |

(11) Dureza del temple

25 La dureza del temple es la dureza final del resorte y tiene un gran impacto sobre el rendimiento del resorte. Si se puede obtener la misma dureza a la misma temperatura de templado que la del acero con alto contenido de Cr existente, es posible producir el resorte sin cambiar la temperatura de templado. En consecuencia, es un factor importante, teniendo en cuenta la productividad del resorte.

30 La dureza del temple del acero se evalúa usando la balanza de Rockwell C (HRC). Una dureza del temple HRC se expresa mediante la Ecuación (3) siguiente:

$$\text{HRC}=38,99+17,48\text{C}+2,55\text{Si}-2,28\text{Ni}+2,37\text{Cr}+8,04\text{Ti}$$

... (3)

La Ecuación (3) anterior es una ecuación de regresión (fórmula empírica) que se obtiene realizando un análisis multivariante de los resultados de diferentes tipos de aceros sometidos al ensayo en el pasado. La composición del acero no se determina solo de acuerdo con la dureza del temple. La composición del acero se ajusta para satisfacer exhaustivamente la durabilidad frente a la corrosión, la resistencia al combado, la temperatura de transformación  $A_{c3}$ , decarburación y similares.

Se explicará un caso del diseño de la composición de los aceros de ejemplo con respecto a la templabilidad con referencia a la Tabla 3.

En el acero de ejemplo, un diseño de la composición básica se realiza usando la composición del acero con alto contenido de Cr existente como composición base. Adicionalmente, con el objetivo de proporcionar un valor óptimo de dureza del temple HRC igual al del acero con alto contenido de Cr existente (acero convencional), se realiza un diseño de la composición específico.

La dureza del temple del acero con alto contenido de Cr existente a una cierta temperatura de templado  $T^{\circ}\text{C}$  es 52,5 HRC en el caso de la composición óptima. Por otra parte, en el caso de la composición óptima en el acero de ejemplo, la dureza del temple a la temperatura de templado  $T^{\circ}\text{C}$  es 52,6 HRC. Como se ha descrito anteriormente, el contenido de C, Si, Ni, Cr y Ti se ajustan respectivamente de manera que se obtenga la misma dureza del temple usando la composición óptima.

En la presente invención, la dureza del temple es preferentemente de 48 a 58 HRC, particularmente más preferentemente de 50 a 56 HRC. Si la dureza del temple es inferior a 48 HRC, las características mecánicas deseadas que se requieren para el resorte helicoidal no se obtienen y, por lo tanto, el resorte se comba fácilmente. Por otra parte, si la dureza del temple excede los 58 HRC, el resorte se ve negativamente afectado cuando se forma una grieta sobre la superficie del resorte. Como resultado, se reduce la durabilidad.

Un ejemplo del diseño de la composición del acero de ejemplo cuando la dureza del temple es 54,3 HRC es el siguiente: C: 0,44 %, Si: 2,3 %, Ni: 0,35 %, Cr: 0,43 %, y Ti: 0,13 %. Un ejemplo del diseño de la composición del acero de ejemplo cuando la dureza del temple es 50,6 HRC es el siguiente: C: 0,38 %, Si: 2,0 %, Ni: 0,15 %, Cr: 0,10 %, y Ti: 0,05%.

Adicionalmente, apuntando a 52,6 HRC que es un valor óptimo de la dureza del temple, un ejemplo del diseño de la composición del acero de ejemplo es el siguiente: C: 0,415 %, Si: 2,05 %, Ni: 0,20 %, Cr: 0,38 %, y Ti: 0,09%.

Por otra parte, en cuanto al acero con alto contenido de Cr existente (acero convencional), un ejemplo del diseño de la composición del acero con alto contenido de Cr existente cuando la dureza del temple es 51,4 HRC es el siguiente: C: 0,38 %, Si: 1,7 %, Ni: 0,60 %, Cr: 1,00 %, y Ti: 0,05%. Un ejemplo del diseño de la composición del acero con alto contenido de Cr existente cuando la dureza del temple es 53,8 HRC es el siguiente: C: 0,42 %, Si: 1,9 %, Ni: 0,30 %, Cr: 1,10 %, y Ti: 0,09%. Adicionalmente, apuntando a 52,5 HRC que es un valor óptimo de la dureza del temple, un ejemplo del diseño de la composición del acero con alto contenido de Cr existente es el siguiente: C: 0,41 %, Si: 1,75 %, Ni: 0,50 %, Cr: 1,05 %, y Ti: 0,07%.

Tabla 3: Casos calculados del diseño de la composición con respecto al dureza del temple HRC

| Clasificación                            | Aplicación de la dureza del templeado | Composición |      |      |      |      | Dureza de templeado |
|--|---------------------------------------|-------------|------|------|------|------|---------------------|
|  |                                       | C           | Si   | Ni   | Cr   | Ti   |                     |
| Acero de ejemplo                         | Mínimo                                | 0,38        | 2,0  | 0,35 | 0,10 | 0,05 | 50,6                |
| Acero de ejemplo                         | Máximo                                | 0,44        | 2,3  | 0,15 | 0,43 | 0,13 | 54,3                |
| Acero de ejemplo                         | Óptimo                                | 0,415       | 2,05 | 0,2  | 0,38 | 0,09 | 52,6                |
| Acero con alto contenido de Cr existente | Mínimo                                | 0,38        | 1,7  | 0,6  | 1,0  | 0,05 | 51,4                |
| Acero con alto contenido de Cr existente | Máximo                                | 0,42        | 1,9  | 0,3  | 1,1  | 0,09 | 53,8                |

(continuación)

| Clasificación                            | Aplicación de la dureza del templado | Composición |      |     |      |      | Dureza de templado |
|--|--------------------------------------|-------------|------|-----|------|------|--------------------|
|  |                                      |             |      |     |      |      |                    |
| Acero con alto contenido de Cr existente | Óptimo                               | 0,41        | 1,75 | 0,5 | 1,05 | 0,07 | 52,5               |

(12) Pérdida de peso por corrosión

La pérdida de peso por corrosión es uno de los criterios para evaluar la durabilidad frente a la corrosión general del material. Generalmente, la corrosión general y la frecuencia de generación del foso de corrosión tienen una relación de intercambio, de tal manera que cuando la corrosión general (pérdida de peso por corrosión) del material metálico es alta, la frecuencia de generación del foso de corrosión (picaduras) es baja, cuando la corrosión general (pérdida de peso por corrosión) es baja, la frecuencia de generación del foso de corrosión (picaduras) es alta. Por ejemplo, la adición del Cr actúa positivamente sobre la corrosión general, sin embargo, mientras que actúa de manera negativa sobre el foso de corrosión (picaduras).

(13) Frecuencia y Profundidad de generación del foso de corrosión

La frecuencia de generación del foso de corrosión se evalúa usando una variable normalizada y. Los resultados examinados de una relación entre la frecuencia y la profundidad de generación del foso de corrosión con respecto al acero de ejemplo y al acero con alto contenido de Cr existente se muestran en las FIGS. 4 y 5 como se describirá a continuación en el presente documento. Aquí, el término "variable normalizada y" significa una variable calculada mediante un procedimiento que usa una función de distribución de Gumbel, que se encuentra entre los procedimientos estadísticos de valor extremo que se usan para evaluar las inclusiones en el material metálico (procedimientos estadísticos que usan la función de distribución acumulativa o una función de distribución de Gumbel). Las variables normalizadas y calculadas se escriben secuencialmente en un gráfico estadístico de valor extremo y, por lo tanto, se determina la pendiente de un grupo de puntos graficados en el gráfico estadístico de valor extremo. La frecuencia de generación (en esta realización, la frecuencia de generación del foso de corrosión en lugar de las inclusiones) puede entenderse a partir de la pendiente. En este sentido, el procedimiento del procedimiento estadístico de valor extremo que usa la variable normalizada y de la distribución de Gumbel se describe particularmente en "Metal Fatigue: Effects of Small Defects and Nonmetallic Inclusions; escrito por Yukiitaka Murakami; publicado por Yokendo Co., Ltd.; Apéndice A, páginas 233 a 239".

Se explicará un mecanismo en el que se genera el foso de corrosión y luego se forma la grieta, con referencia a la FIG. 1.

Si una reacción electroquímica se genera por iones de soluto altamente corrosivos que se condensan sobre la superficie del acero que forma el resorte, se genera un pequeño foso de corrosión con forma hueca, como se muestra en (a) de la FIG. 1. Si el foso de corrosión inicial crece y se profundiza como se muestra en (b) de la FIG. 1, la concentración de tensión local se genera en el fondo del foso y se forma una pequeña grieta como se muestra en (c) de la FIG. 1. Entonces, la grieta progresa por tensión repetitiva según se muestra en (d) de la FIG. 1 y el resorte se fractura finalmente.

Retrasar la generación y el crecimiento del foso causado por la corrosión o controlar los resultados de la forma retrasando la formación de la grieta en el fondo del foso. Como resultado, la vida útil de la fatiga por corrosión se hace más larga.

La anchura del foso de corrosión puede medirse dentro del ámbito de observación de un microscopio metalográfico.

Adicionalmente, la profundidad del foso de corrosión puede medirse dentro del ámbito de corrosión del microscopio metalográfico.

La forma del foso de corrosión puede determinarse usando la profundidad y la anchura medidas del foso de corrosión.

(14) Durabilidad atmosférica

La durabilidad atmosférica cuando el material de resorte se expone al aire también es uno de los artículos de evaluación importantes. El ensayo de durabilidad atmosférica se realiza aplicando repetidamente una carga en la dirección de compresión hasta que el resorte se fractura (rompe) en el aire. Como el número de ciclos repetido hasta que el resorte se rompa es grande, el material se valúa como un material que tiene una durabilidad atmosférica excelente.

(15) Resistencia al combado

La resistencia al combado es un artículo de evaluación importante para los materiales del resorte. La resistencia al

combado de un resorte helicoidal se mide mediante el ensayo de apriete, que aplica una carga de compresión al resorte. El ensayo de apriete mide en qué grado se recupera la forma del resorte hasta la forma original cuando el resorte se coloca en condiciones predeterminadas (carga de compresión, tiempo y temperatura) y la carga se desactiva y se evalúa el resultado.

5 (16) Ensayo de durabilidad frente a la corrosión

El ensayo de durabilidad frente a la corrosión es un ensayo en el que un ciclo (ensayo de rociado de sal, ensayo de fatiga y mantenimiento de cámara de temperatura y humedad constantes) por día se realiza hasta que un resorte helicoidal sin revestimiento se rompa (fractura). En el ensayo de rociado con sal, se rocía una solución acuosa de NaCl al 5 % en el resorte helicoidal sin revestimiento durante 30 minutos (de acuerdo con JIS Z2371). En el ensayo de fatiga, el resorte helicoidal sin revestir se hace vibrar 3000 veces (se repite la carga alternativa). La cámara de temperatura y humedad constantes es un contenedor para mantener el resorte después del ensayo de fatiga a temperatura ambiente (23 a 25 °C) y una humedad relativa de 50 a 60 % durante 23 horas. Después de mantenerse en la cámara de temperatura y humedad constantes, el resorte helicoidal se somete de nuevo al ensayo de rociado con sal.

15 (17) Procedimiento para producir el resorte

La presente invención puede aplicarse a resortes helicoidales formados en frío y en caliente.

El resorte helicoidal formado en caliente se produce a través del siguiente procedimiento: calentamiento con alambón (calentamiento de alta frecuencia); enrollamiento (formando una forma de resorte helicoidal); endurecimiento (endurecimiento del aceite); templado; trabajado en caliente; granallado caliente; refrigeración por agua; precarga; conversión química; y revestimiento.

El resorte helicoidal formado en frío se produce a través del siguiente procedimiento: endurecimiento y templado de alambón; enrollamiento (formando una forma de resorte helicoidal); recocido para eliminar el esfuerzo; trabajado en caliente; granallado caliente; precarga; conversión química; y revestimiento.

**Ejemplos**

25 A continuación, en el presente documento, la presente invención se describirá específicamente al comparar ejemplos comparativos con los ejemplos de referencia, citando ejemplos con referencia a los dibujos y tablas adjuntos. Sin embargo, la presente invención no se limita solo a los siguientes ejemplos y se pueden añadir diversas modificaciones dentro del ámbito que cumplen el objeto y el fin de la presente invención.

30 Los resortes helicoidales formados en caliente y en frío mostrados en la Tabla 6 se produjeron usando los aceros de los Ejemplos comparativos 1 a 4 (aceros A a D), los Ejemplos 1 a 7 (aceros E a K) y los Ejemplos de Referencia 1 y 2 (aceros L y M) que tienen las composiciones mostrada en las Tablas 4 y 5. Aquí, los aceros A a D de los ejemplos comparativos se obtuvieron reproduciendo los aceros convencionales que tienen las relaciones de composición descritas en la Literatura de Patente 2. Los aceros L y M de los ejemplos de referencia se obtuvieron reproduciendo los aceros con alto contenido de Cr existentes de las relaciones de composición descritas en la Literatura de Patente 1.

40 El resorte helicoidal se produjo mediante un procedimiento de trabajo en caliente que incluye lo siguiente: calentamiento con alambón (calentamiento de alta frecuencia o calentamiento en horno a 980 °C o más); enrollamiento (formando una forma de resorte helicoidal); endurecimiento (endurecimiento del aceite); templado (a aproximadamente 390 °C); trabajado en caliente; granallado caliente; refrigeración por agua; precarga; conversión química; y revestimiento.

El resorte helicoidal formado en frío se produjo mediante un procedimiento de trabajo en frío que incluye lo siguiente: endurecimiento y templado de alambón; enrollamiento (formando una forma de resorte helicoidal); recocido para eliminar el esfuerzo (a aproximadamente 380 °C); trabajado en caliente; granallado caliente; precarga; conversión química; y revestimiento.

45 En el trabajado en caliente, el resorte se empujó hasta una tensión de 1300 MPa a 250 °C para deformar plásticamente el resorte.

En la precarga, el resorte se empujó hasta una tensión de 1300 MPa a temperatura ambiente °C para deformar plásticamente el resorte.

Como en la conversión química, se realizó un tratamiento para formar un revestimiento de fosfato de cinc.

50 Como revestimiento, se realizó un revestimiento electrostático.

Los tres parámetros Ceq 1, Ceq 2, y Ceq 3 en la Tabla 5 son parámetros para especificar los aceros convencionales descritos en la Literatura de Patente 2, que se obtienen usando las Ecuaciones (4), (5) y (6) siguientes.

$$\text{Ceq1} = [\text{C}] + 0,11 [\text{Si}] - 0,07 [\text{Mn}] - 0,05 [\text{Ni}] + 0,02 [\text{Cr}] \quad \dots (4)$$

$$\text{Ceq2} = [\text{C}] + 0,30 [\text{Cr}] - 0,15 [\text{Ni}] - 0,70 [\text{Cu}] \quad \dots (5)$$

$$\begin{aligned} \text{Ceq3} = & [\text{C}] - 0,04 [\text{Si}] + 0,24 [\text{Mn}] + 0,10 [\text{Ni}] \\ & + 0,20 [\text{Cr}] - 0,89 [\text{Ti}] - 1,92 [\text{Nb}] \quad \dots (6) \end{aligned}$$

Tabla 4

| Clasificación           | Tipo de acero | Componente (% en masa) |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |    |   | N (ppm) | O (ppm) |
|-------------------------|---------------|------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|----|---|---------|---------|
|                         |               | C                      | Si   | Mn   | Cu   | Ni   | Cr   | Ti    | Al    | P     | S     |       |    |   |         |         |
| Ejemplo Comparativo 1   | A             | 0,41                   | 2,18 | 0,79 | -    | -    | 0,21 | 0,071 | 0,1≥  | 0,02≥ | 0,02≥ | 0,02≥ | 70 | 8 |         |         |
| Ejemplo Comparativo 2   | B             | 0,41                   | 2,18 | 0,77 | 0,16 | 0,20 | -    | 0,069 | 0,1≥  | 0,02≥ | 0,02≥ | 0,02≥ | 70 | 8 |         |         |
| Ejemplo Comparativo 3   | C             | 0,41                   | 2,20 | 0,81 | -    | 0,30 | 0,21 | 0,072 | 0,1≥  | 0,02≥ | 0,02≥ | 0,02≥ | 70 | 8 |         |         |
| Ejemplo Comparativo 4   | D             | 0,40                   | 2,19 | 0,78 | 0,31 | 0,20 | 0,20 | 0,072 | 0,1≥  | 0,02≥ | 0,02≥ | 0,02≥ | 20 | 5 |         |         |
| Ejemplo 1               | E             | 0,42                   | 2,22 | 1,22 | 0,25 | 0,25 | 0,19 | 0,095 | 0,035 | 0,02≥ | 0,02≥ | 0,02≥ | 70 | 8 |         |         |
| Ejemplo 2               | F             | 0,41                   | 2,10 | 1,04 | 0,25 | 0,26 | 0,40 | 0,090 | 0,035 | 0,02≥ | 0,02≥ | 0,02≥ | 70 | 8 |         |         |
| Ejemplo 3               | G             | 0,40                   | 2,15 | 1,00 | 0,22 | 0,24 | 0,38 | 0,098 | 0,035 | 0,02≥ | 0,02≥ | 0,02≥ | 70 | 8 |         |         |
| Ejemplo 4               | H             | 0,41                   | 2,09 | 0,99 | 0,24 | 0,24 | 0,37 | 0,097 | 0,035 | 0,02≥ | 0,02≥ | 0,02≥ | 70 | 8 |         |         |
| Ejemplo 5               | I             | 0,42                   | 2,19 | 0,99 | 0,23 | 0,25 | 0,19 | 0,091 | 0,035 | 0,02≥ | 0,02≥ | 0,02≥ | 70 | 8 |         |         |
| Ejemplo 6               | J             | 0,43                   | 2,20 | 1,21 | 0,25 | 0,25 | 0,20 | 0,095 | 0,035 | 0,02≥ | 0,02≥ | 0,02≥ | 70 | 8 |         |         |
| Ejemplo 7               | K             | 0,41                   | 2,10 | 1,04 | 0,25 | 0,26 | 0,40 | 0,090 | 0,035 | 0,02≥ | 0,02≥ | 0,02≥ | 70 | 8 |         |         |
| Ejemplo de Referencia 1 | L             | 0,41                   | 1,75 | 0,18 | 0,25 | 0,45 | 1,05 | 0,063 | 0,035 | 0,02≥ | 0,02≥ | 0,02≥ | 70 | 8 |         |         |

Tabla 5

| Clasificación           | Tipo de acero | Vida de corrosión (%) | Ceq 1 | Ceq 2 | Ceq 3 |
|-------------------------|---------------|-----------------------|-------|-------|-------|
| Ejemplo Comparativo 1   | A             | 83                    | 0,599 | 0,473 | 0,491 |
| Ejemplo Comparativo 2   | B             | 86                    | 0,586 | 0,268 | 0,466 |
| Ejemplo Comparativo 3   | C             | 86,7                  | 0,585 | 0,428 | 0,524 |
| Ejemplo Comparativo 4   | D             | 92                    | 0,580 | 0,213 | 0,496 |
| Ejemplo 1               | E             | 102                   | -     | -     | -     |
| Ejemplo 2               | F             | 106                   | -     | -     | -     |
| Ejemplo 3               | G             | 106                   | -     | -     | -     |
| Ejemplo 4               | H             | 101                   | -     | -     | -     |
| Ejemplo 5               | I             | 105                   | -     | -     | -     |
| Ejemplo 6               | J             | 107                   | -     | -     | -     |
| Ejemplo 7               | K             | 106                   | -     | -     | -     |
| Ejemplo de Referencia 1 | L             | 100                   | -     | -     | -     |

Tabla 6

| Tipo de trabajo     | Diámetro del alambre (mm) | Diámetro medio (mm) | Longitud libre (mm) | Número de vuelta helicoidal eficaz | Constante de resorte (N/mm) |
|---------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| Trabajo en caliente | 12,5                      | 110,0               | 382,0               | 5,39                               | 33,3                        |
| Trabajo en frío     | 10,8                      | 108,3               | 380,5               | 4,69                               | 22,4                        |

Estos resortes helicoidales se evaluaron usando diversos tipos de los siguientes ensayos.

[Ensayo de pérdida de peso por corrosión]

5 Modo de ensayo de corrosión cíclica combinada

Un ciclo de rociado con agua salada (a 35 °C, NaCl al 5 %) en los resortes durante 8 horas y mantenerlos a una temperatura constante y a una humedad constante (35 °C y 60 H.R.) durante 16 horas se realizó 14 veces.

Forma de la pieza de ensayo:  $\phi$ : 10 mm, longitud: 100 mm

Dureza de la muestra: 53,5 HRC

10 Después de 7 y 14 ciclos, el peso y la forma del foso de corrosión se midió con un microscopio y los resultados se estructuraron.

Resultados del ensayo:

15 La relación entre el número de ciclo y la pérdida de peso por corrosión en cuanto a los resortes de los ejemplos y los resortes de los ejemplos comparativos se examinaron y los resultados se muestran en la FIG. 2. Los resultados de los ejemplos se muestran con una línea característica E1, mientras que los resultados de los ejemplos comparativos se muestran con una línea característica C1.

Como se desprende de estos resultados, se confirma que los ejemplos tienen una resistencia a la corrosión no inferior a la de los ejemplos comparativos a los que se añaden una gran cantidad de elementos de aleación.

[Ensayo de evaluación de la forma del foso de corrosión]

20 La forma del foso de corrosión puede especificarse mediante una relación de aspecto que se determina realizando el siguiente ensayo de corrosión.

Una barra redonda se calentó a 960 °C durante 10 minutos, se enfrió con aceite a 70 °C para endurecimiento por aceite y se calentó a 340 °C durante 60 minutos para atemperar. Entonces, la barra redonda se cortó para tener un

diámetro de 10 a 12,5 mm.

Se roció 5 % en masa de solución acuosa de NaCl en la pieza de ensayo a 35 °C durante 8 horas de acuerdo con JIS Z 2371. A continuación, un ciclo de mantenimiento de la pieza de ensayo en un entorno húmedo (a una humedad del 60 % y a una temperatura de 35 °C) durante 16 horas fue 14 veces.

- 5 La pieza de ensayo se sumergió en un líquido de eliminación de óxido predeterminado a una temperatura normal para retirar el óxido generado por el rociado de agua salada. Posteriormente, los fosos de corrosión de la superficie de la pieza de ensayo se observaron con un microscopio láser. 20 o más fosos de corrosión se seleccionaron de entre los fosos de corrosión observados en la superficie de la pieza de ensayo en orden creciente de profundidad. Las relaciones de aspecto de los fosos de corrosión se calcularon mediante la Ecuación (7) siguiente.

$$\text{Relación de aspecto} = \frac{(\text{profundidad del foso de corrosión} \times 2)}{(\text{anchura del foso de corrosión})} \dots (7)$$

10 En el caso de los materiales ferrosos, la relación de aspecto del foso de corrosión es generalmente alrededor de 1,0.

Resultados del ensayo:

15 La relación de aspecto entre el número de ciclo y la relación de aspecto del foso de corrosión en cuanto a los ejemplos y los ejemplos comparativos se examinaron y los resultados se muestran en la FIG. 3. En el dibujo, los resultados de los ejemplos se muestran con una línea característica E2 y los resultados de los ejemplos comparativos se muestran con una línea característica C2.

20 Como se desprende de estos resultados, se confirmó que las relaciones de aspecto de los fosos de corrosión en los ejemplos son inferiores que aquellas de los ejemplos comparativos y, la forma de los fosos de corrosión es plana en comparación con la de los ejemplos comparativos. Este resultado se consideró mostrar que un efecto de suprimir picaduras se ejerce por el bajo contenido de Cr en los ejemplos. Esto se debe a que el CR es un elemento en el que el pH del fondo del foso de corrosión (el extremo distal) generalmente disminuye durante la formación de hidróxidos en comparación con el Fe y se facilita fácilmente la picadura.

25 La relación entre la profundidad del foso de corrosión y la frecuencia de generación en cuanto a los ejemplos y los ejemplos comparativos se examinó y los resultados se muestran en las FIGS. 4 y 5. La frecuencia de generación de un foso de corrosión se evaluó usando la variable normalizada y. Los resultados de los ejemplos se muestran con una línea característica E3 en la FIG. 4. Los resultados de los ejemplos comparativos se muestran con una línea característica C3 en la FIG. 5.

30 Como queda claro al comparar ambos dibujos, la pendiente de la línea característica E3 de los ejemplos es más alta que la de la línea característica C3 de los ejemplos comparativos. Esto permite que la frecuencia de generación de un foso de corrosión superficial aumente en los ejemplos, mientras que la frecuencia de generación de un foso de corrosión profundo aumenta en los ejemplos comparativos. En otras palabras, la frecuencia de generación de un foso de corrosión profundo es baja en los ejemplos.

[Dureza del resorte]

- 35 51,5 HRC (2,75 HBD): para el ensayo de durabilidad atmosférica, para el ensayo de apriete  
53,5 HRC (2,65 HBD): para el ensayo de durabilidad frente a la corrosión

El acero convencional y el acero de ejemplo se refinaron a la misma dureza. El rendimiento del resorte del acero convencional se comparó relativamente con el del acero de ejemplo.

[Evaluación de la templabilidad]

El rendimiento de endurecimiento del acero se evaluó usando el valor DI.

- 40 El valor DI en el caso de la composición óptima del ejemplo comparativo fue de 95 mm en número 7 de tamaño de grano. Por otra parte, el valor DI en el caso de la composición óptima del ejemplo fue de 115 mm en número 7 de tamaño de grano. A partir de los resultados, se confirmó que incluso si el contenido de Ni es bajo en los ejemplos, se puede asegurar una templabilidad igual o superior a la de los ejemplos comparativos a la vez que se satisfacen respectivamente el rendimiento del resorte, la descarburación y la dureza del temple.

- 45 [Ensayo de durabilidad en aire]

Se realizaron ensayos de cambio de cargas medias y variables y la tensión de cizalladura media  $\tau_m$  de las tensiones

de cizalladura resultantes se convirtieron a 735 MPa. Los resultados se muestran en la FIG. 6. En el dibujo, El ejemplo de referencia 1 se indica mediante un diagrama de rombo negro, los ejemplos comparativos se indican mediante diagramas de rombos blancos y los ejemplos se indican mediante diagramas triangulares.

5 Como se desprende de estos resultados, se confirma que los tiempos de vida atmosféricos de los resortes de formación en frío y en caliente en los ejemplos son iguales o superiores que aquellos en los ejemplos comparativos.

[Ensayo de apriete]

Condiciones para el ensayo de apriete

Tensión de ensayo (tensión de cizalladura máxima): 1176 MPa, 1225 MPa, y 1274 MPa

10 Tiempo y temperatura de apriete: resistencia al combado a 80 °C durante 96 horas (deformación por cizalladura residual  $\gamma$ ):  $\gamma=8D/\pi Gd3x(P1-P2)$

Los resultados del ensayo que muestran la resistencia al combado del resorte se muestran en la FIG. 7. En el dibujo, los resultados en el Ejemplo de Referencia 1 se indicaron mediante diagramas de rombos y los resultados en los ejemplos se indicaron mediante diagramas triangulares.

15 A partir de estos resultados, la resistencia al combado en los ejemplos fue casi igual a la del Ejemplo de referencia 1. La resistencia al combado del resorte de formación en caliente fue ligeramente superior a la del resorte de formación en frío. Se mantiene esto mismo para los resultados en los ejemplos y en el Ejemplo de Referencia 1.

[Ensayo de durabilidad frente a la corrosión]

20 El ensayo de durabilidad frente a la corrosión se realiza usando el resorte helicoidal sin revestimiento y, por lo tanto, su objeto es evaluar el rendimiento del propio material y el rendimiento por el procedimiento de producción del resorte. Como se ha descrito anteriormente, el ensayo de durabilidad frente a la corrosión es un ensayo en el que se realiza un ciclo (ensayo de rociado de sal, ensayo de fatiga y mantenimiento de cámara de temperatura y humedad constantes) por día hasta que un resorte helicoidal se rompa y, entonces, el número de ciclos repetidos se evalúa como la vida útil frente a la corrosión. La vida útil frente a la corrosión se expresa en porcentaje usando el Ejemplo de referencia 1 como un valor normal (100 %) para la comparación relativa con el valor normal.

25 Los resultados del ensayo de durabilidad frente a la corrosión en cuanto a los aceros de los ejemplos, los ejemplos comparativos y los ejemplos de referencia se muestran en la Tabla 5. A partir de estos resultados del ensayo, se confirmó que la durabilidad frente a la corrosión de los aceros de los ejemplos es igual o superior a la de los aceros con alto contenido de Cr existentes de los ejemplos de referencia y los resortes de formación en caliente y de formación en frío no incluyen aceros que tienen una baja vida útil frente a la corrosión, como los aceros convencionales de los ejemplos comparativos.

30 Se enumerarán a continuación las ventajas básicas de la presente invención:

- (i) en la relación de composición definida por los tres parámetros  $Ac_3$ , DI, y HRC, la vida útil frente a la corrosión es larga y la resistencia es alta;
- (ii) el coste del material es barato;
- 35 (iii) apenas se ve afectado por la fluctuación de los precios del mercado de metales raros y un sistema de suministro de material se vuelve estable; y
- (iv) se ahorran recursos.

40 De acuerdo con la presente invención, el rendimiento del resorte que es igual o no inferior al de los aceros convencionales se obtiene a pesar de que la cantidad de aditivo de los elementos de aleación caros tales como Ni, Cr, Mo y V es igual a o inferior al de los aceros convencionales. Además, los aceros que tienen composiciones cuyas vidas útiles frente a la corrosión es inferior no se incluyen.

Los resortes se evaluaron usando el acero de ejemplo. Como resultados del ensayo, en la relación de composición definida por los tres parámetros  $Ac_3$ , DI, y HRC, la durabilidad atmosférica, la resistencia al combado y la durabilidad anticorrosiva fueron iguales o superiores a los de los aceros convencionales.

45 Se enumerarán a continuación las ventajas en el rendimiento de la presente invención:

- (a) a pesar de la pequeña cantidad de aditivo de los elementos de aleación, tales como Ni, Cr, Mo, y V, la pérdida de peso por corrosión en el entorno corrosivo llega a ser casi igual o inferior a la del acero convencional; la forma del foso de corrosión que se produce en el entorno corrosivo es plana y la concentración local de tensión se apenas se genera;
- 50 (c) la profundidad del foso de corrosión que tiene lugar en el entorno corrosivo es superficial y, por lo tanto, apenas se forma una grieta por fatiga y la vida útil frente a la corrosión se mejora; y
- (d) la presente invención puede aplicarse tanto al resorte de formación en caliente como al resorte de formación en frío.

Como se ha descrito anteriormente, la pérdida de peso por corrosión del acero de ejemplo es casi igual o inferior a la de los aceros convencionales, a pesar de la condición (sin adición de V y el bajo contenido de Ni y el bajo contenido de Cr). La pérdida de peso por corrosión no aumenta con los cambios en la relación de composición. La forma del foso de corrosión del acero de ejemplo es plana y la profundidad del foso de corrosión se vuelve superficial.

5

REIVINDICACIONES

1. Un acero para resorte de alta resistencia **caracterizado porque** consiste en: C: de 0,38 a 0,44 %, Si: de 2,00 a 2,30 %, Mn: de 0,79 a 1,25 %, Cr: de 0,10 a 0,43 %, Ni: de 0,15 a 0,35 %, Cu: de 0,15 a 0,35 %, Ti: más de 0,07 % pero no más de 0,13 %, P: 0,02 % o menos (0 % si no está incluido), S: 0,02 % o menos (0 % si no está incluido), Al: de 0,003 a 0,010 %, N: de 0,002 a 0,012 %, O: 0,002 % o menos (0 % si no está incluido), en % en masa, y residuos que consisten en hierro e impurezas inevitables, en el que una temperatura de transformación de  $Ac_3$  como indicador del rendimiento de descarbonación, que se calcula mediante la Ecuación (1) siguiente, es de 859 a 885 °C, un diámetro DI máximo endurecido como indicador del rendimiento de endurecimiento, que se calcula mediante la Ecuación (2) siguiente, es de 70 a 238 mm y, una dureza del temple HRC como indicador del rendimiento del resorte, que se calcula mediante la Ecuación (3) siguiente, es de 50 a 55.

$$Ac_3 = 910 - 203 \times \sqrt{C} - 15,2Ni + 44,7Si + 104V + 31,5Mo + 13,1W \dots (1)$$

$$DI = D_0 \times f_{Si} \times f_{Mn} \times f_P \times f_S \times f_{Cu} \times f_{Ni} \times f_{Cr} \dots (2)$$

$$HRC = 38,99 + 17,48C + 2,55Si - 2,28Ni + 2,37Cr + 8,04Ti \dots (3)$$

en las que,  $D_0 = 8,65 \times \sqrt{C}$ ,  $f_{Si} = 1 + 0,64x\%Si$ ,  $f_{Mn} = 1 + 4,10x\%Mn$ ,  $f_P = 1 + 2,83x\%P$ ,  $f_S = 1 - 0,62x\%S$ ,  $f_{Cu} = 1 + 0,27x\%Cu$ ,  $f_{Ni} = 1 + 0,52x\%Ni$ , y  $f_{Cr} = 1 + 2,33x\%Cr$ .

2. Un procedimiento de producción de un resorte de alta resistencia **caracterizado porque** consiste en:  
 15 trabajar en caliente o frío un acero que comprende C: de 0,38 a 0,44 %, Si: de 2,00 a 2,30 %, Mn: de 0,79 a 1,25 %, Cr: de 0,10 a 0,43 %, Ni: de 0,15 a 0,35 %, Cu: de 0,15 a 0,35 %, Ti: más de 0,07 % pero no más de 0,13 %, P: 0,02 % o menos (0 % si no está incluido), S: 0,02 % o menos (0 % si no está incluido), Al: de 0,003 a 0,010 %, N: de 0,002 a 0,012 %, O: 0,002 % o menos (0 % si no está incluido), en % en masa, y residuos que consisten en hierro e impurezas inevitables, en el que una temperatura de transformación de  $Ac_3$  como indicador del rendimiento de descarbonación, que se calcula mediante la Ecuación (1) siguiente, es de 859 a 885 °C, un diámetro DI máximo endurecido como indicador del rendimiento de endurecimiento, que se calcula mediante la Ecuación (2) siguiente, es de 70 a 238 mm y, una dureza del temple HRC como indicador del rendimiento del resorte, que se calcula mediante la Ecuación (3) siguiente, es de 50 a 55, en un alambión;  
 20 enrollar el alambión para formar una forma de resorte helicoidal deseada;  
 25 someter el resorte a tratamiento térmico para endurecimiento y templado;  
 trabajar en caliente el resorte;  
 someter el resorte a granallado caliente;  
 precargar el resorte; y  
 obtener, de este modo, un resorte helicoidal que tiene una durabilidad atmosférica excelente.

$$Ac_3 = 910 - 203 \times \sqrt{C} - 15,2Ni + 44,7Si + 104V + 31,5Mo + 13,1W \dots (1)$$

$$DI = D_0 \times f_{Si} \times f_{Mn} \times f_P \times f_S \times f_{Cu} \times f_{Ni} \times f_{Cr} \dots (2)$$

$$HRC = 38,99 + 17,48C + 2,55Si - 2,28Ni + 2,37Cr + 8,04Ti \dots (3)$$

en las que,  $D_0 = 8,65 \times \sqrt{C}$ ,  $f_{Si} = 1 + 0,64 \times \%Si$ ,  $f_{Mn} = 1 + 4,10 \times \%Mn$ ,  $f_P = 1 + 2,83 \times \%P$ ,  $f_S = 1 - 0,62 \times \%S$ ,  
 $f_{Cu} = 1 + 0,27 \times \%Cu$ ,  $f_{Ni} = 1 + 0,52 \times \%Ni$ , y  $f_{Cr} = 1 + 2,33 \times \%Cr$ .

- 5 3. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado porque** el alambión se enrolla por formación en caliente o en frío para formar la forma de resorte helicoidal deseada y, el resorte se somete a granallado caliente para proporcionar una tensión de cizalladura máxima de 1176 MPa o mayor.
4. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado porque** el granallado caliente se realiza entre 200 y 300 °C.
5. Un resorte de alta resistencia producido usando el procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4.

10

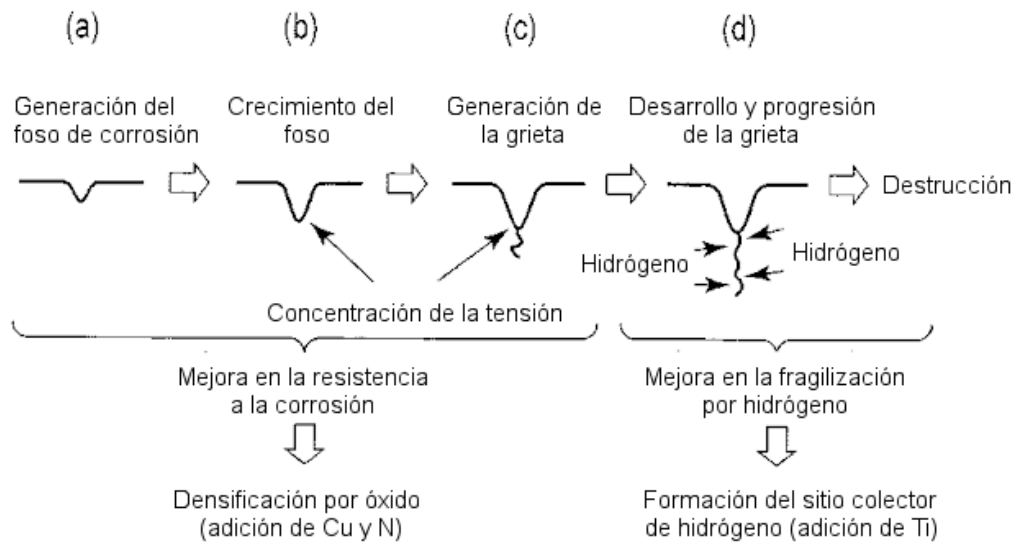


FIG. 1

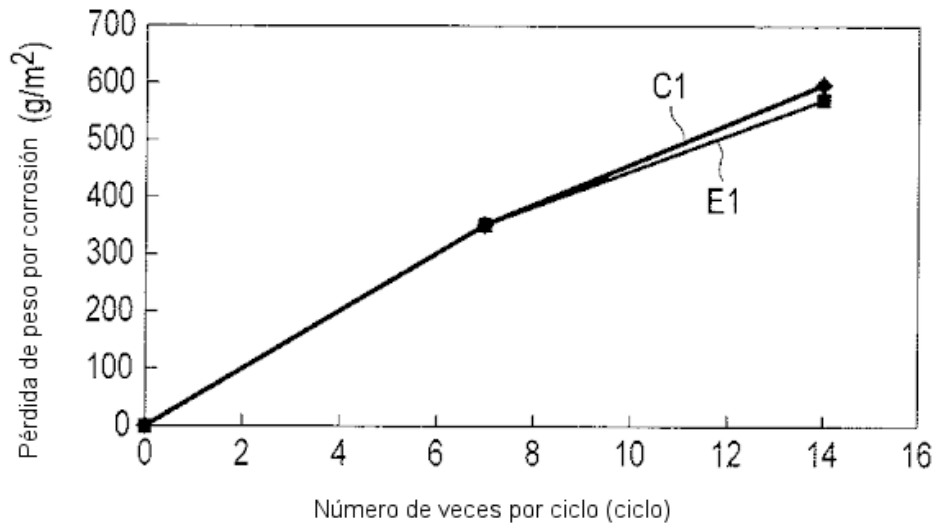


FIG. 2

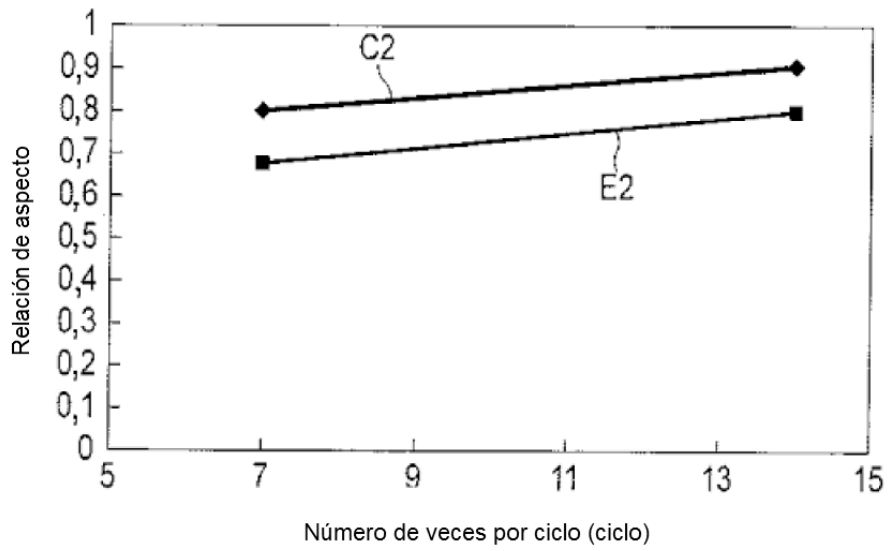


FIG. 3

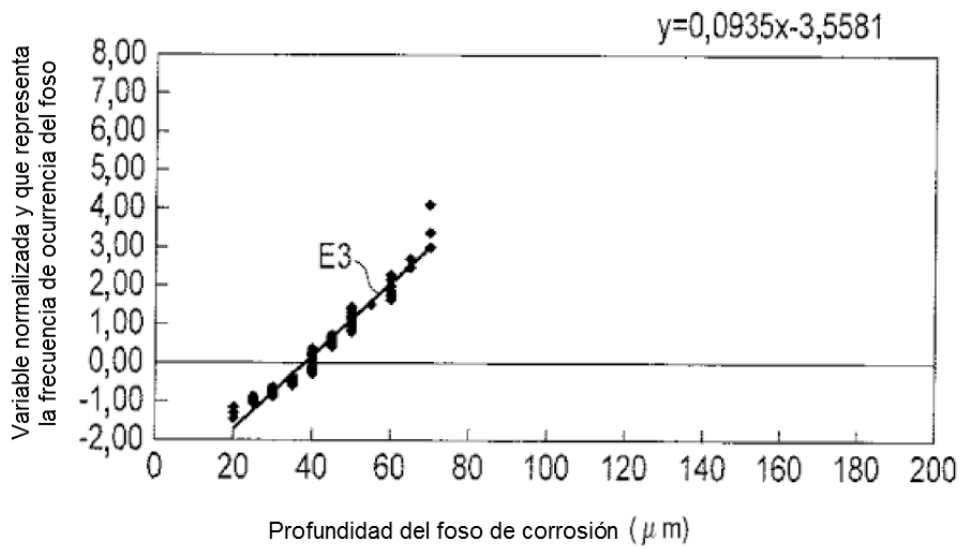


FIG. 4

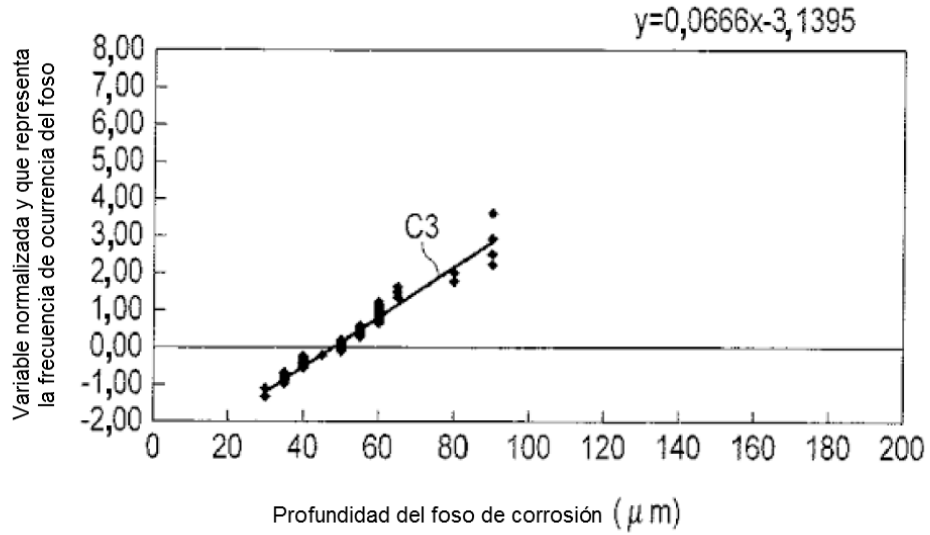


FIG. 5

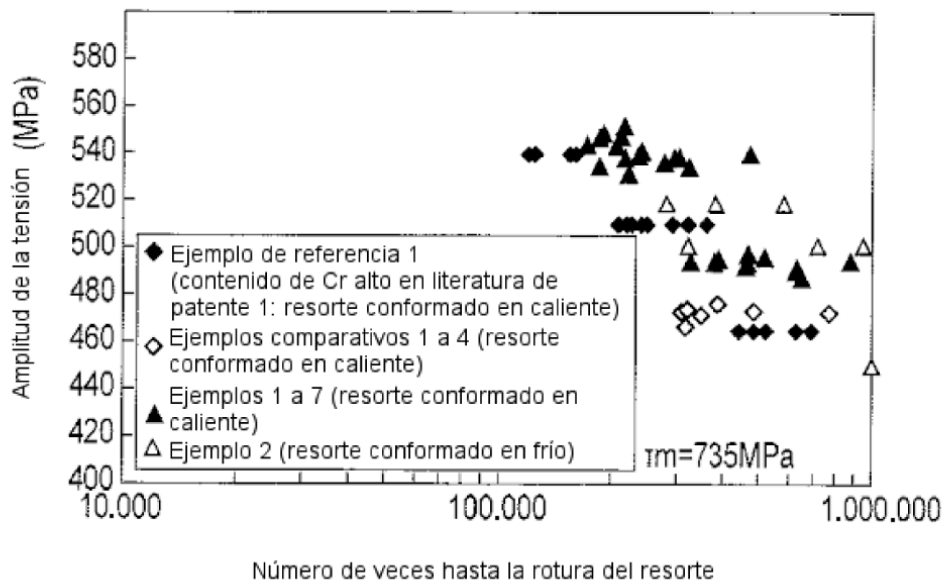


FIG. 6

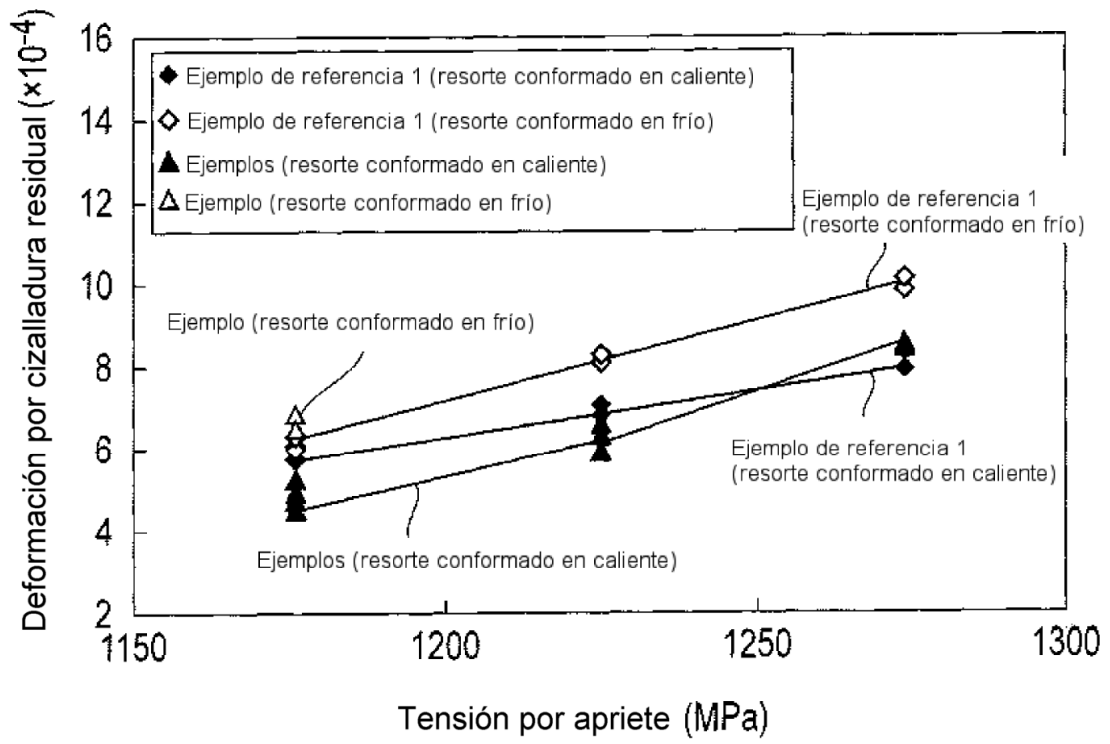


FIG. 7