

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 765 274**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00	(2006.01)
C21D 7/06	(2006.01)
C21D 7/10	(2006.01)
C21D 9/02	(2006.01)
C22C 38/34	(2006.01)
F16F 1/02	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.03.2014 PCT/JP2014/056057**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.09.2014 WO14136966**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.03.2014 E 14760929 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.10.2019 EP 2966186**

54 Título: **Elemento de resistencia y procedimiento de fabricación del mismo**

30 Prioridad:

08.03.2013 JP 2013047106

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

08.06.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**KUROKAWA, SHIMPEI;
SUZUKI, TAKESHI y
SHIBAIRI, KOSUKE**

74 Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 2 765 274 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

Elemento de resistencia y procedimiento de fabricación del mismo.

- 5 La presente invención se refiere a un elemento de resistencia y a un procedimiento de fabricación del mismo que presenta una resistencia al asentamiento y límite elástico superiores.

10 Por ejemplo, como material para un elemento de resistencia tal como un resorte de válvula para un motor de automóvil, en general, se utiliza ampliamente un alambre templado con aceite de acero con Si-Cr que presenta una estructura de martensita templada desde un punto de vista de resistencia a la fatiga o resistencia al asentamiento. En cambio, el documento JP 2012-111992 divulga una técnica en la que se aplica una deformación plástica mayor que la de la estructura de martensita templada sin disminuir la resistencia a la fatiga formando una bainita fina que presenta una ductilidad superior como estructura principal después del bobinado. En esta técnica, la resistencia al asentamiento se mejora al reducir la densidad de dislocación, que presenta un efecto negativo sobre la resistencia al asentamiento, y al fijar eficazmente la dislocación utilizando envejecimiento por deformación. Además, dado que la deformación plástica grande se aplica mediante fraguado, se aplica un gran esfuerzo residual por compresión al interior del alambre y, como resultado, la resistencia a la fatiga también puede mejorarse además de la resistencia al asentamiento. Además, la técnica anterior también presenta la ventaja de que el coste de fabricación puede disminuir, porque puede utilizarse material económico.

20 Sin embargo, recientemente se requiere una menor utilización de recursos de los automóviles, y además, se requiere también una mayor resistencia al asentamiento o límite elástico en los elementos de resistencia tales como un resorte, un perno, etc.

25 Por tanto, la presente invención se completó en vista de las circunstancias descritas anteriormente, y un objetivo de la presente invención es proporcionar un elemento de resistencia y un procedimiento de fabricación del mismo en el que la resistencia al asentamiento y el límite elástico puedan mejorarse sustancialmente sin reducir las ventajas de coste o añadir cambios sustanciales en el proceso.

30 Los inventores han realizado diversas investigaciones con el fin de solucionar los problemas anteriores y, en consecuencia, han descubierto que la martensita generada por el enfriamiento con agua en el tratamiento de austemplado se descompone en ferrita y cementita mediante templado, la dislocación disminuye y, por lo mismo, la resistencia al asentamiento mejora drásticamente. Además, en general, la estructura se ablanda rápidamente con la disminución de la dislocación en la martensita y, como resultado, se reduce la resistencia a la fatiga. Sin embargo, también han descubierto que la disminución de la resistencia a la fatiga debido a la disminución de la dureza no se genera al utilizar bainita fina como estructura principal. Además, dado que en la presente invención la resistencia al asentamiento mejora con el aumento del límite elástico, la presente invención puede aplicarse a elementos de tornillo tales como un perno, tirantes o similares, en los que se requiere un alto límite elástico.

40 El elemento de resistencia según la presente invención se completó basándose en el conocimiento anterior, y comprende, en % en masa, del 0.5 al 0.7% de C, del 1.0 al 2.0% de Si, del 0.1 al 1.0% de Mn, del 0.1 al 1.0% de Cr, el 0.035% o menos de P, el 0.035% o menos de S, y el resto de Fe e impurezas inevitables, en el que una relación de área de bainita es del 65% o más, y la densidad de dislocación promedio de una sección transversal libremente seleccionada es de $2.0 \times 10^{16} \text{ m}^{-2}$ o menos. La deformación por cizalladura residual es 6.55×10^{-4} o menos y una relación de área de austenita retenida es del 6.5% o menos y la proporciona la reivindicación 1.

50 El procedimiento de fabricación del elemento de resistencia según la presente invención proporcionado por la reivindicación 1 contiene un proceso de formación que forma un material de alambre en una forma de producto, un proceso de tratamiento térmico que produce austenización a una temperatura desde un punto Ac3 hasta (punto Ac3 + 250°C), enfría a una velocidad de enfriamiento de 20°C/segundo o más, mantiene una temperatura desde (punto Ms - 20°C) hasta (punto Ms + 60°C) durante 400 segundos o más, y enfría hasta temperatura ambiente, y un proceso de templado en el que el producto tras el tratamiento térmico se mantiene a una temperatura comprendida entre 350 y 450°C durante de 25 a 60 minutos, en el que el material de alambre comprende, en % en masa, del 0.5 al 0.7% de C, del 1.0 al 2.0% de Si, del 0.1 al 1.0% de Mn, del 0.1 al 1.0% de Cr, el 0.035% o menos de P, el 0.035% o menos de S, y el resto de Fe e impurezas inevitables y se proporciona en la reivindicación 2.

60 En este caso, el punto Ac3 es una temperatura límite en la que el material pasa de un área de dos fases de ferrita y austenita a un área de una sola fase de austenita durante el calentamiento, y el punto Ms es una temperatura a la que comienza a generarse martensita durante el enfriamiento. Cuando el elemento de resistencia es un resorte, es deseable que el procedimiento de fabricación incluya un proceso de granallado en el que se hace incidir granalla sobre un producto.

65 La presente invención no se limita a un resorte, y puede aplicarse a elementos de tornillo tales como un perno o diversos elementos de resistencia tales como un tirante que requiere tal resistencia.

Según la presente invención, la resistencia al asentamiento y el límite elástico pueden mejorarse sustancialmente sin reducir las ventajas de coste o añadir cambios sustanciales en el proceso, al reducir la densidad de dislocación promedio en una sección transversal libremente seleccionada.

5 La figura 1 es una vista esquemática que muestra cada proceso en un procedimiento de fabricación de la presente invención.

10 La figura 2 es un gráfico que muestra la relación entre la temperatura de templado y la densidad de dislocación promedio en los ejemplos de la presente invención.

15 La figura 3 es un gráfico que muestra la relación entre la temperatura de templado y la deformación por cizalladura residual en los ejemplos de la presente invención.

20 La figura 4 es un gráfico que muestra la relación entre la temperatura de templado y la resistencia interna de un alambre de resorte en los ejemplos de la presente invención.

En primer lugar, se explicarán las causas de la limitación numérica de las composiciones químicas de los aceros utilizados en la presente invención. En lo siguiente, los términos “%” significan “% en masa”.

25 C: del 0.5 al 0.7%

El C es un elemento importante que garantiza una resistencia deseada, y es necesario que contenga el 0.5% o más con el fin de obtener un efecto de este tipo. Sin embargo, cuando se contiene C excesivamente, es difícil de obtener la resistencia deseada puesto que el contenido de austenita retenida que es una fase blanda aumenta. Por tanto, el contenido de C se fija para que sea del 0.7% o menos.

30 Si: del 1.0 al 2.0%

El Si es un elemento que contribuye al fortalecimiento de la disolución sólida, y es necesario que contenga el 1.0% o más con el fin de obtener la resistencia deseada. Sin embargo, cuando se contiene Si excesivamente, la resistencia disminuye de manera inversa puesto que el contenido de austenita retenida blanda aumenta. Por tanto, el contenido de Si se fija para que sea del 2.0% o menos.

35 Mn: del 0.1 al 1.0%

El Mn es un elemento desoxidante añadido durante el refinado y es también un elemento en el que la resistencia puede mejorarse fácilmente al aumentar la capacidad de endurecimiento del material de acero, y es necesario que contenga el 0.1% o más con el fin de obtener una resistencia deseada. En cambio, cuando se contiene Mn excesivamente, la trabajabilidad disminuye fácilmente al generarse segregación. Por tanto, el contenido de Mn se fija para que sea del 1.0% o menos.

40 Cr: del 0.1 al 1.0%

El Cr es un elemento en el que la resistencia puede mejorarse fácilmente al aumentar la capacidad de endurecimiento de un material de acero. Además, tiene también una función en la que se retrasa la transformación de perlita, y es necesario que se contenga el 0.1% o más, ya que puede obtenerse de manera estable una estructura bainítica (se suprime la estructura de perlita) al enfriar después del calentamiento de austenización. Sin embargo, cuando se contiene Cr excesivamente, se produce fácilmente carburo de hierro. Por tanto, el contenido de Cr se fija para que sea del 1.0% o menos.

45 P, S: el 0.035% o menos

El P y S son elementos en los que se promueve la fractura intergranular por segregación de límite de grano. Por tanto, es deseable que el contenido de los mismos sea tan bajo como sea posible; sin embargo, son impurezas inevitables, y es necesario incurrir en un coste de fundición adicional con el fin de reducir el contenido. Por tanto, el límite superior se fija para que sea del 0.035%. Es preferible que el contenido de P y S sea del 0.01% o menos.

60 A continuación, se explicarán las causas de la limitación numérica de la relación de área de bainita en estructuras totales.

Bainita: el 65% o más

65 La bainita es generalmente una estructura metálica en la que material de acero austenizado se transforma isotérmicamente a un intervalo de temperatura desde la temperatura de inicio de la transformación martensítica hasta aproximadamente 550°C, y se hace de ferrita bainítica y carburo de hierro. La resistencia puede aumentar

por la estructura de bainita, incluso si la dureza disminuye al reducirse la dislocación en martensita, puesto que la ferrita bainítica en la matriz tiene una alta densidad de dislocación y el carburo de hierro presenta un efecto de refuerzo de la precipitación.

5 Según el procedimiento de fabricación de la presente invención, el material de acero austenizado se mantiene isotérmicamente a una temperatura próxima a un punto Ms, y como resultado, la estructura de bainita presenta una estructura en la que se deposita finamente carburo de hierro en la matriz de ferrita bainítica fina, la disminución de la resistencia de límite de grano es pequeña y la disminución de la tenacidad y ductilidad es pequeña, aun cuando la resistencia es alta. Por tanto, la densidad de dislocación puede disminuirse sin generar defectos tales como grietas que presentan un efecto negativo sobre la resistencia a la fatiga, aunque se aplique una deformación plástica grande. Tal como se describió anteriormente, la bainita es una estructura esencial para obtener una alta intensidad y alta ductilidad, es deseable que la relación de área de la misma sea mayor, y es necesario que sea del 65% o más con el fin de obtener una alta tenacidad y alta ductilidad.

15 Además, la austenita no transformada en mantenimiento isotérmico cambia a martensita o austenita retenida al enfriar hasta temperatura ambiente. La relación de área de bainita de no más del 65% significa que el tiempo de mantenimiento isotérmico es demasiado corto, y la relación de área de martensita aumenta al enfriar, puesto que el grado de concentración de C en austenita no transformada en esta condición es bajo. Por tanto, cuando la relación de área de bainita es de no más del 65%, la resistencia aumenta al aumentar la relación de área de martensita; sin embargo, ya que la sensibilidad a la entalla aumenta notablemente, la deformación plástica grande no puede aplicarse y la resistencia al asentamiento no se mejora.

25 En este caso, la deformación por cizalladura generada mediante el procesamiento permanece fácilmente puesto que la austenita retenida es blanda. Por tanto, la cantidad de la austenita retenida es un índice que se refiere a la cantidad de la deformación por cizalladura residual, y la resistencia al asentamiento disminuye cuando la cantidad de la austenita retenida es excesiva. Es deseable que la relación de área de la austenita retenida se fije para que sea del 6.5% o menos desde este punto de vista.

30 Además, es deseable que la dureza Vickers en el centro de una sección transversal libremente seleccionada de un producto sea de 450 HV o más con el fin de garantizar una resistencia que pueda soportar una carga requerida del producto. En cambio, cuando la dureza es excesivamente alta, la cantidad de estiramiento se reduce y la sensibilidad a la entalla de material de acero aumenta, y no puede aplicarse una deformación plástica grande. Por tanto, es deseable que la dureza Vickers sea de 650 HV o menos.

35 A continuación, se explicará un procedimiento de fabricación del elemento de resistencia de la presente invención con referencia a un resorte como ejemplo. La figura 1A es una vista esquemática que muestra un procedimiento de fabricación de una forma de realización de la presente invención, y la figura 1B es una vista esquemática que muestra un procedimiento de fabricación convencional. El material de acero que presenta la composición química anterior se somete a, por ejemplo, un proceso de bobinado, y un proceso de rectificado de superficie de asiento en el que ambas superficies de extremo del resorte se rectifican, según sea necesario, y se austeniza a un intervalo de temperatura de desde un punto Ac3 hasta (punto Ac3 + 250°C). Entonces, se somete a un proceso de tratamiento térmico que enfría a una velocidad de 20°C/segundo, se mantiene en un intervalo de temperatura desde (punto Ms - 20°C) hasta (punto Ms + 60°C) durante 400 segundos o más, y se enfría hasta temperatura ambiente a una velocidad de enfriamiento de 20°C/segundo. A continuación, se temple a un intervalo comprendido entre 350 y 450°C, y se somete a un proceso de granallado, y un proceso de asentamiento, según sea necesario, y de ese modo, se produce un resorte. La estructura del material de acero antes del calentamiento a un punto Ac3 o más no está limitada. Por ejemplo, puede utilizarse material de acero en barra forjado en caliente o material de acero en barra de alambre estirado. A continuación, se explicará cada proceso, y se describirán según sea necesario las causas de la limitación numérica de los mismos.

50 **Proceso de bobinado**

El proceso de bobinado es un proceso que forma en frío una forma de bobina deseada. Un procedimiento de formación puede utilizar un procedimiento que utiliza una máquina de formación de resortes (una máquina de bobinado), un procedimiento que utiliza un metal de núcleo, o similar. En este caso, pueden aplicarse resortes opcionales tales como un resorte de láminas, una barra de torsión, un estabilizador, etc., además del resorte de bobina.

60 **Proceso de rectificado de la superficie de asiento**

Este proceso de se lleva a cabo según sea necesario, y es un proceso que rectifica ambas superficies de extremo del resorte de manera que se forme una superficie perpendicular a un núcleo axial del resorte.

65 **Proceso de tratamiento térmico**

El resorte bobinado se austeniza, se mantiene isotérmicamente y luego se enfría, y por tanto, se completa el

proceso de tratamiento térmico. La estructura del material de acero antes de la austenización no está limitada. Por ejemplo, puede utilizarse material de acero en barra forjado en caliente o material de acero en barra de alambre estirado. Es necesario que la temperatura de austenización esté en un intervalo desde un punto Ac3 hasta (punto Ac3 + 250°C). Cuando la temperatura de austenización están en un punto Ac3 o menos, la estructura del material no cambia a austenita. En cambio, cuando excede (punto Ac3 + 250°C), existe el problema de que los granos de austenita previos se engrosan fácilmente y disminuye la ductilidad.

Cuanto mayor es la velocidad de enfriamiento hasta una temperatura de mantenimiento isotérmico tras la austenización, mejor es la estructura del material, y es necesario que la velocidad de enfriamiento sea de 20°C/segundo o más, y es preferible que sea de 50°C/segundo o más. Cuando la velocidad de enfriamiento es de no más de 20°C/segundo, se genera perlita durante el enfriamiento, y como resultado, no puede obtenerse bainita que presenta una razón de área del 65% o más. Es necesario que la temperatura de mantenimiento isotérmico esté en un intervalo comprendido entre (punto Ms - 20°C) y (punto Ms + 60°C), y la temperatura es un elemento de control muy importante en un procedimiento de fabricación para producir material de acero en resorte y resortes de la presente invención. Cuando la temperatura de mantenimiento isotérmico no es mayor de (punto Ms - 20°C), puesto que la cantidad de martensita generada en una fase inicial de transformación es grande, se inhibe la mejora de la ductilidad, y además, no puede obtenerse bainita que presenta una relación de área del 65% o más. En cambio, la temperatura de mantenimiento isotérmico excede (punto Ms + 60°C), puesto que la bainita se engrosa, la resistencia a la tracción disminuye y la resistencia que soporta la carga como resorte no puede obtenerse. Además, puede depositarse bainita fina mediante mantenimiento isotérmico a una temperatura cercana al punto Ms tal como se describió anteriormente. Al depositar la bainita fina, se retienen espacios finos en la austenita, y se forman granos de austenita retenida fina.

La bainita se deposita en la austenita mediante mantenimiento isotérmico. Es necesario que el tiempo de mantenimiento isotérmico sea de 400 segundos o más, y este tiempo también es un elemento de control muy importante en el procedimiento de fabricación de la presente invención. Cuando el tiempo de mantenimiento isotérmico no es mayor de 400 segundos, la transformación bainítica no progresa suficientemente, y como resultado, la relación de área de bainita es pequeña y no mayor del 65%. En este caso, la cantidad de bainita generada se satura, aun cuando el tiempo de mantenimiento isotérmico es excesivamente largo, y como resultado, el coste de producción aumenta. Por tanto, es deseable que el tiempo de mantenimiento isotérmico se fije para que sea de 3 horas o menos.

Cuanto mayor es la velocidad de enfriamiento tras el mantenimiento isotérmico, más uniforme es la estructura. Es preferible que la velocidad de enfriamiento sea de 20°C/segundo o más, y es más preferible que sea de 50°C/segundo o más. Específicamente, se utiliza preferentemente enfriamiento con aceite o enfriamiento con agua.

Proceso de templado

El proceso de templado que retiene el resorte a un intervalo comprendido entre 350 y 450°C se lleva a cabo tras el proceso de tratamiento térmico. Cuando la temperatura de templado no es mayor de 350°C, la martensita no se descompone suficientemente, y la dislocación disminuye insuficientemente. En cambio, cuando la temperatura de templado excede 450°C, la dureza interna del resorte disminuye notablemente, y la resistencia y resistencia a la fatiga se reducen. Es deseable que la temperatura de templado sea de 400°C o menos con el fin de impedir que la dureza interna del resorte disminuya de manera extrema. Es deseable que el tiempo de templado sea de 25 a 60 minutos. Cuando el tiempo de templado no es mayor de 25 minutos, el templado es insuficiente, y en cambio, cuando el tiempo de templado excede 60 minutos, el templado no es económico.

Proceso de granallado

El granallado es un procedimiento en el que se aplica esfuerzo residual por compresión a una superficie de un resorte golpeando con granalla hecha de metal, arena, etc., y mediante lo cual la resistencia a la fatiga del resorte mejora notablemente. En la presente invención, se forma un esfuerzo residual por compresión mayor y más profunda mediante transformación martensítica inducida por deformación de la austenita retenida, además del esfuerzo residual por compresión obtenida mediante el granallado habitual. Como granalla utilizada en el granallado, pueden utilizarse alambre cortado, bolas de acero, partículas de alta dureza hechas de material basado en FeCrB, etc., y similares. En además, el esfuerzo residual por compresión puede ajustarse mediante la eficacia, el diámetro equivalente de esfera promedio, la velocidad de disparo, el tiempo de disparo y el sistema de disparo de múltiples etapas de la granalla.

Proceso de asentamiento

El asentamiento se lleva a cabo opcionalmente aplicando la deformación plástica con el fin de mejorar notablemente el límite elástico y reducir la cantidad de asentamiento (cantidad de deformación permanente) en utilización. En este caso, la resistencia al asentamiento puede mejorarse adicionalmente llevando a cabo el asentamiento (asentamiento en caliente) a entre 200 y 300°C. Además, la austenita retenida experimenta

transformación inducida por deformación mediante el asentamiento, y se espera que forme martensita que presenta una resistencia superior. Por tanto, la resistencia a la fatiga puede mejorarse adicionalmente aplicando una alta tensión residual por compresión debido a la expansión de volumen con la transformación.

5 Ejemplos

Primer ejemplo

10 Un alambre templado con aceite de acero con Si-Cr (diámetro: 4.1 mm) hecho de la composición química representativa descrita en la Tabla 1 se bobinó en frío en una forma fija mediante una máquina de bobinado, y luego se sometió a un tratamiento térmico (un tratamiento de austemplado). En el tratamiento térmico, se austenizó un resorte mediante retención a 830°C en un horno de calentamiento durante 12 minutos y se enfrió en agua, y luego se retuvo en un baño de sal mantenido a 300°C durante 40 minutos y se enfrió.

15 Tabla 1

C	Si	Mn	P	S	Cr
0.57	1.47	0.67	0.01	0.007	0.68

20 A continuación, se sometió el resorte a templado a una temperatura mostrada en la Tabla 2. El templado se llevó a cabo durante 60 minutos. Además, en un granallado, se utilizó granalla de acero que presentaba un diámetro equivalente de esfera de 0.1 a 1.0 mm. Además, se calentó el resorte a entre 200 y 300°C, y se sometió a asentamiento. Con respecto al resorte obtenido, se investigaron las siguientes características de las maneras descritas a continuación.

25 Tabla 2

N.º	Temperatura de templado (°C)	Dureza interna (HV)	Densidad de dislocación promedio (m ⁻²)	Deformación por cizalladura residual (10 ⁻⁴)	Relación de área de bainita (%)	Relación de área de austenita retenida (%)	
1	Ninguna	587	2.21E+16	9.17	83.5	7.3	Ejemplo comparativo
2	300	584	2.29E+16	6.82	83.5	6.6	Ejemplo comparativo
3	350	571	1.92E+16	6.55	83.5	6.5	Ejemplo
4	375	568	9.39E+15	6.00	83.5	5.9	Ejemplo
5	400	555	6.13E+15	5.24	83.5	5.1	Ejemplo
6	425	509	4.75E+15	5.72	83.5	3.9	Ejemplo
7	450	469	2.72E+15	6.34	83.5	0	Ejemplo

Distinción de fases

30 Las fases se distinguieron de la siguiente manera utilizando estructuras en muestras empapadas en disolución de nital al 3% durante varios segundos. En primer lugar, se observa bainita como color negro o gris en una fotografía de microscopio óptico puesto que se corroe fácilmente mediante la disolución de nital, y en cambio, la austenita retenida se observa como color blanco en una fotografía de microscopio óptico puesto que presenta una alta resistencia a la corrosión a la disolución de nital. Utilizando estas características, se calculó la relación de área total de la bainita (partes negra y gris) y la austenita retenida (parte blanca) mediante procesamiento de imágenes de la fotografía de microscopio óptico. La relación de área de la austenita retenida de muestras terminadas por pulido se obtuvo utilizando un procedimiento de difracción de rayos X. En este caso, en la Tabla 2, la estructura residual de la bainita y la austenita retenida es martensita en n.ºs 1 y 2, y es ferrita y cementita en n.ºs 3 a 7.

40 Dureza Vickers en el centro

Se midió la dureza Vickers en 5 puntos en la parte central de una sección transversal de las muestras, y se calculó un valor promedio de la misma.

45 Densidad de dislocación promedio

La densidad de dislocación promedio ρ se calculó mediante la siguiente Ecuación 1 utilizando la deformación ε en referencia al documento ("Evaluation Method of dislocation density using X-ray diffraction" en Material and Process: Iron and Steel Inst. of Japan lecture proceedings 17 (3), páginas 396-399).

50

Ecuación 1

$$\rho = 14.4 \varepsilon^2 / b^2$$

5 En este caso, b es un vector de Burgers (= 2.5×10^{-10} m). Se midieron picos de difracción de (110), (211) y (220) de ferrita en la parte central de una sección transversal de las muestras, mediante equipo de difracción de rayos X (nombre comercial: D8 DISCOVER producido por Bruker Corporation) utilizando un colímetro de 0.3 mm, y luego, utilizando la mitad de la anchura β de cada pico, $\beta \cos \theta / \lambda$ y $\text{sen} \theta / \lambda$ de cada pico de difracción se representó gráficamente en el eje vertical y el eje horizontal de un gráfico, según la siguiente Ecuación 2, y se
10 obtuvo la inclinación 2ε de una curva aproximada de la misma, y por tanto, se calculó la deformación ε .

Ecuación 2

$$\beta \cos \theta / \lambda = 0.9 / D + 2\varepsilon \text{sen} \theta / \lambda$$

15 En este caso, θ es la mitad del valor de la posición de pico de difracción de rayos X 2θ , λ es la longitud de onda de la onda $K\alpha_1$ de la bombilla tubular que se utiliza como fuente de emisión de rayos X y D es el tamaño de la unidad cristalina.

20 Deformación por cizalladura residual

La deformación por cizalladura residual es un índice que muestra la resistencia al asentamiento de un resorte. Cuando menor es la deformación por cizalladura residual, mejor es la resistencia al asentamiento. En una prueba de asentamiento del resorte, la muestra se comprimió y fijó añadiendo carga de modo que la tensión de cizalladura máxima era de 1,050 MPa, y se empapó en aceite de silicona a 165°C. Se sacó la muestra del aceite de silicona tras empapar durante 24 horas, y se liberó la carga tras enfriar hasta temperatura ambiente. Se midió la carga cuando se comprimió el resorte hasta una altura dada antes y después de la prueba de asentamiento, se sustituyó la cantidad de reducción de carga ΔP en la siguiente Ecuación 3 y, por tanto, se obtuvo la cantidad de asentamiento.
25

Ecuación 3

$$\gamma = \{8D / (\pi d^3 G)\} \times \Delta P$$

30 En este caso, D es el diámetro de bobina promedio, d es el diámetro de alambre y G es el módulo de elasticidad transversal (= 78,500 MPa).
35

Los resultados medidos tal como se describió anteriormente se muestran en la Tabla 2, y las relaciones entre los valores medidos y la temperatura de templado se muestran en las figuras 2 a 4. Tal como se muestra en la figura 2, se confirmó que la densidad de dislocación promedio disminuyó rápidamente de modo que fuera $2.0 \times 10^{16} \text{ m}^{-2}$ o menos, cuando la temperatura de templado era de 350°C o más. Por consiguiente, tal como se muestra en la figura 3, se confirmó que la deformación por cizalladura residual también disminuyó rápidamente de modo que fuera 6.7×10^{-4} o menos, cuando la temperatura de templado era de 350°C o más. Cuando menor es la deformación por cizalladura residual, mayor es la resistencia al asentamiento, puesto que la deformación por cizalladura residual es un índice de la resistencia al asentamiento. Además, tal como se muestra en la figura 4, se confirmó que la dureza interna del resorte disminuyó rápidamente, cuando la temperatura de templado excedía 400°C.
40

Tal como se describió anteriormente, se confirmó que la resistencia al asentamiento podría mejorarse reduciendo la deformación por cizalladura residual hasta 6.7×10^{-4} o menos, cuando la densidad de dislocación promedio disminuyó hasta $2.0 \times 10^{16} \text{ m}^{-2}$ o menos.
45

Segundo ejemplo

55 Una varilla de alambre estirada en frío de acero con Si-Cr (diámetro: 6.0 mm), hecha de la composición química representativa de la Tabla 1, se cortó a un tamaño predeterminado, y se sometió a forjado de cabeza y laminación de rosca para formar un perno, y se sometió a tratamiento térmico (tratamiento de austemplado). En el tratamiento térmico, el perno se austenizó mediante retención en un horno de calentamiento a 830°C durante 12 minutos y se enfrió con agua, y luego se retuvo en un baño de sal mantenido a 300°C durante 40 minutos, y se enfrió.
60

A continuación, se sometió el perno a templado a una temperatura mostrada en la Tabla 3. El templado se llevó a cabo durante 60 minutos. Con respecto al perno obtenido, se sometieron a prueba la dureza interna, la densidad de dislocación promedio y la relación de área de bainita de la misma manera que en el Ejemplo 1, y se midieron la resistencia a la tracción y el límite elástico al 0.2% mediante un medidor de tensión. Estos resultados se muestran en la Tabla 3.
65

Tabla 3

N.º	Temperatura de templado (°C)	Dureza interna (HV)	Densidad de dislocación promedio (m ⁻²)	Relación de área de bainita (%)	Relación de área de austenita retenida (%)	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite elástico al 0.2% (MPa)	Relación de elasticidad (límite elástico al 0.2%/resistencia a la tracción)	Ejemplo comparativo
1	Ninguna	585	2.25E+16	82.0	8.1	1806	1377	0.76	Ejemplo comparativo
2	300	586	2.13E+16	82.0	7.0	1799	1398	0.77	Ejemplo comparativo
3	350	570	1.86E+16	82.0	6.4	1749	1711	0.98	Ejemplo
4	375	563	9.15E+15	82.0	6.1	1736	1700	0.98	Ejemplo
5	400	557	5.87E+15	82.0	5.2	1698	1652	0.97	Ejemplo
6	425	504	4.50E+15	82.0	4.1	1577	1515	0.96	Ejemplo
7	450	459	2.38E+15	82.0	0	1499	1410	0.97	Ejemplo

Tal como se muestra en la Tabla 3, en el perno según el Ejemplo de la presente invención, se confirmó que la alta relación de elasticidad podría obtenerse disminuyendo la densidad de dislocación promedio hasta 2.0×10^{16} m^{-2} o menos.

5

La presente invención puede aplicarse a resortes tales como un resorte bobinado, un resorte de láminas, una barra de torsión y un estabilizador; elementos de tornillo tales como un perno; o elementos de resistencia tales como un tirante en el que se requiere resistencia.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Elemento de resistencia que comprende, en % en masa, del 0.5 al 0.7% de C, del 1.0 al 2.0% de Si, del 0.1 al 1.0% de Mn, del 0.1 al 1.0% de Cr, el 0.035% o menos de P, el 0.035% o menos de S, y el resto de Fe e impurezas inevitables,
- 10 en el que la relación de área de bainita es del 65% o más, y la densidad de dislocación promedio de una sección transversal libremente seleccionada es de $2.0 \times 10^{16} \text{ m}^{-2}$ o menos,
- 10 una deformación por cizalladura residual es de 6.7×10^{-4} o menos, y
- 15 una relación de área de austenita retenida es del 6.5% o menos,
- 15 en el que la dureza Vickers en el centro de una sección transversal libremente seleccionada de un producto es de 450 a 650 HV.
- 20 2. Procedimiento de fabricación de un elemento de resistencia según la reivindicación 1, que comprende:
- 20 un proceso de formación que forma material de alambre en una forma de producto,
- 25 un proceso de tratamiento térmico que produce austenización a una temperatura desde un punto Ac3 hasta (punto Ac3 + 250°C), enfría a una velocidad de enfriamiento de 20°C/segundo o más, mantiene una temperatura desde (punto Ms - 20°C) hasta (punto Ms + 60°C) durante 400 segundos o más, y enfría hasta temperatura ambiente, y
- 30 un proceso de templado en el que el producto tras el tratamiento térmico se mantiene a una temperatura comprendida entre 350 y 450°C durante 25 a 60 minutos,
- 30 en el que el material de alambre comprende, en % en masa, del 0.5 al 0.7% de C, del 1.0 al 2.0% de Si, del 0.1 al 1.0% de Mn, del 0.1 al 1.0% de Cr, el 0.035% o menos de P, el 0.035% o menos de S y el resto de Fe e impurezas inevitables.
- 35 3. Procedimiento de fabricación de un elemento de resistencia según la reivindicación 2, que comprende además un proceso de granallado en el que se hace incidir granalla sobre un producto, tras el proceso de templado.
- 40 4. Procedimiento de fabricación de un elemento de resistencia según la reivindicación 2 o 3, en el que la velocidad de enfriamiento en el enfriamiento hasta temperatura ambiente es de 20°C/segundo o más.
- 40 5. Procedimiento de fabricación de un elemento de resistencia según la reivindicación 3, que comprende además un proceso de asentamiento que aplica una deformación permanente al producto, tras el proceso de granallado.

Fig. 1A

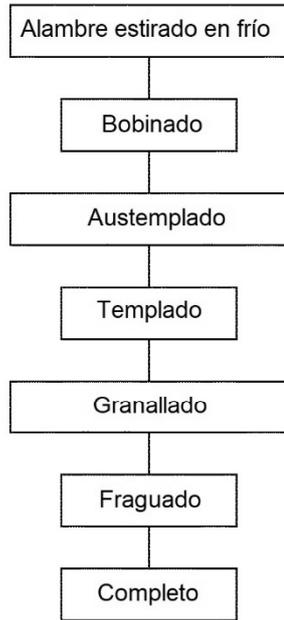


Fig. 1B

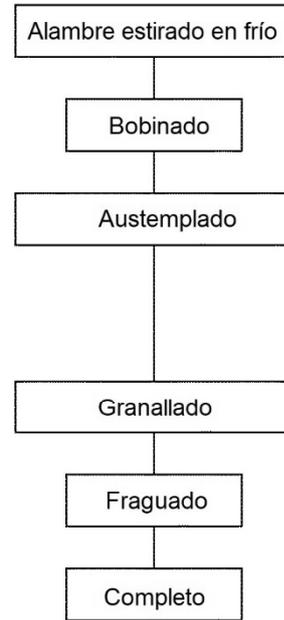


Fig. 2

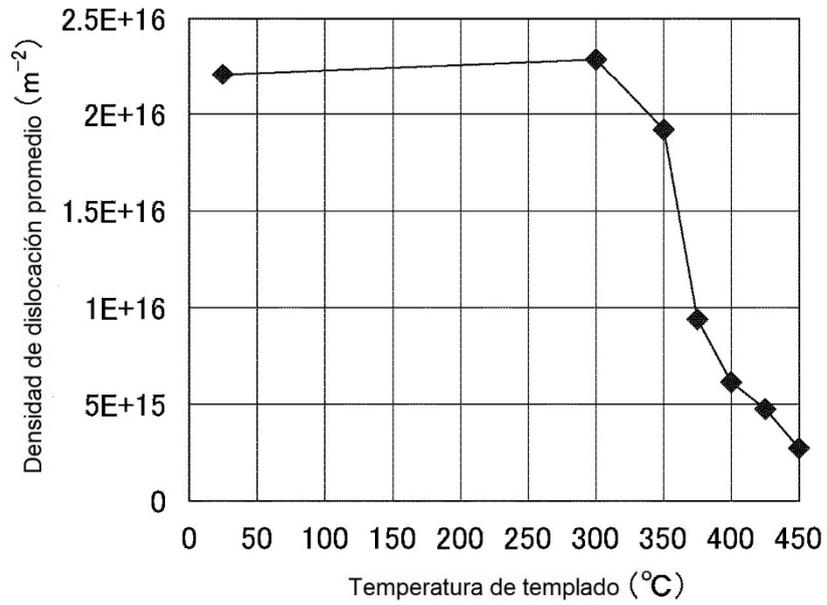


Fig. 3

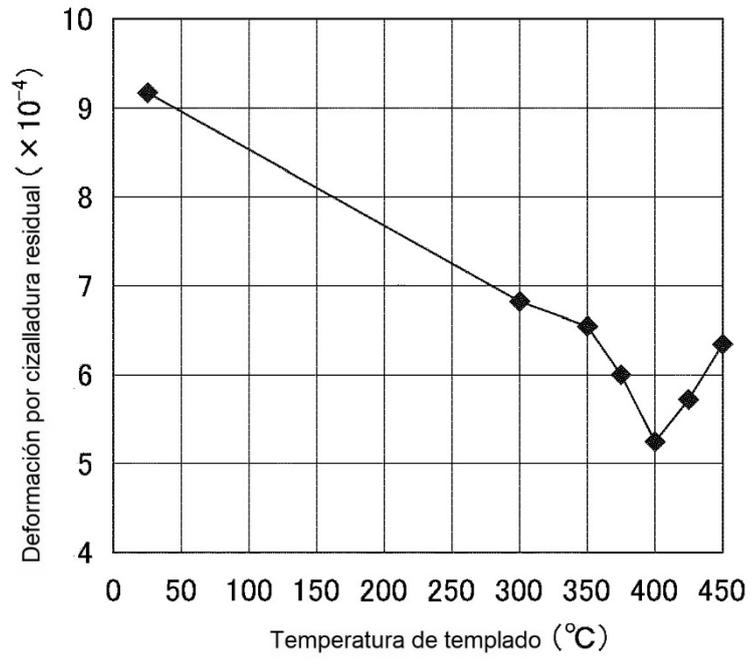


Fig. 4

