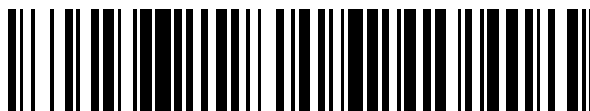


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 774 283**

51 Int. Cl.:

<b>C22C 38/00</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/20</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/38</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/24</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/58</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/28</b>	(2006.01)
<b>C21D 8/10</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/34</b>	(2006.01)
<b>C21D 9/02</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/42</b>	(2006.01)
<b>C21D 9/08</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/44</b>	(2006.01)
<b>C21D 6/00</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/46</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/02</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/48</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/04</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/50</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/06</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/54</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.04.2013 PCT/JP2013/060113**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **10.10.2013 WO13151059**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.04.2013 E 13773106 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.02.2020 EP 2835439**

54 Título: **Tubo hueco sin costura para resorte de alta resistencia**

30 Prioridad:

**02.04.2012 JP 2012084334**

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

**20.07.2020**

73 Titular/es:

**KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (KOBE STEEL, LTD.) (50.0%)  
2-4, Wakinohama-Kaigandori 2-chome, Chuo-ku  
Kobe-shi, Hyogo 651-8585, JP y  
NHK SPRING CO., LTD. (50.0%)**

72 Inventor/es:

**KOCHI, TAKUYA;  
HATANO, HITOSHI;  
TAMURA, EIICHI;  
TOYOTAKE, KOTARO;  
YAJIMA, TAKASHI y  
TANGE, AKIRA**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

ES 2 774 283 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

Tubo hueco sin costura para resorte de alta resistencia

5 La presente invención se refiere a un tubo hueco sin costura para resortes de alta resistencia para su uso en resortes de válvula o resortes de suspensión, o similares, de motores de combustión interna de automóviles y similares y, particularmente, se refiere a un tubo hueco sin costura para resortes de alta calidad y alta resistencia en el que se reduce la descarburación en la superficie periférica interna del mismo.

10 Con la creciente demanda en los últimos años de automóviles más livianos o de mayor potencia con el fin de reducir los gases de escape o mejorar la eficiencia del combustible, se han necesitado también diseños de alto esfuerzo para resortes de válvula, resortes de embrague, resortes de suspensión y similares, que se utilizan en motores, embragues, suspensiones y similares. Estos resortes suelen tener una resistencia mayor y un diámetro más delgado y el esfuerzo de carga suele aumentar más. Para satisfacer dicha tendencia, ha sido enormemente deseable un  
15 acero de resorte con un comportamiento superior en resistencia a la fatiga y resistencia al descuelgue

Asimismo, para conseguir un peso ligero al mismo tiempo que se mantiene la resistencia a la fatiga y la resistencia al descuelgue, se han venido utilizando materiales de acero conformados como tubos huecos que no tienen ninguna parte soldada (es decir, tubos sin costura) como materiales de resortes, en lugar de barras de alambre conformadas como barras, utilizadas hasta ahora como materiales de resortes (es decir, barras de alambre sólidas).  
20

Asimismo, hasta la fecha, se han propuesto diversas técnicas para producir los tubos huecos sin costura, tal como se han descrito. Por ejemplo, el Documento de patente 1, propone una técnica para llevar a cabo la perforación mediante el uso de un perforador Mannesmann, que se encuentra entre las laminadoras perforadoras representativas (perforación de Mannesmann), a continuación, realizar un laminado con mandril (laminado de arrastre) en condiciones frías, realizar además el recalentamiento en condiciones de 820 a 940 °C y durante 10 a 30 minutos y, a continuación, realizar el laminado de acabado.  
25

Por otro lado, el Documento de Patente 2 propone una técnica de realización de extrusión hidrostática en condiciones en caliente para formar un tubo hueco sin costuras y realizar a continuación, recocido de esferoidización, seguido de la realización de extensión (trefilado) mediante una laminadora Pilger, estirado o similar en condiciones frías. Asimismo, en esta técnica, también se muestra que, finalmente, se realiza el recocido a una temperatura predeterminada.  
30

En las correspondientes técnicas descritas, cuando se lleva a cabo la perforación de Mannesmann o la extrusión hidrostática en caliente, es necesario calentar a 1.050 °C, o más, o realizar el recocido antes o después del trabajado en frío y se plantea el problema de que es susceptible de que se produzca la descarburación en la superficie periférica interior o la superficie periférica exterior del tubo hueco sin costura en el momento del calentamiento o el trabajado en condiciones calientes o en el proceso posterior de tratamiento térmico. Además, en el momento del enfriamiento, tras el tratamiento térmico, también tiene lugar, en algunos casos, la descarburación (descarburación de ferrita) causada por la diferencia entre la cantidad de carbono del soluto en la ferrita y en la de austenita.  
35  
40

Cuando tiene lugar la descarburación, tal como se ha descrito, ocurre que las partes de la capa superficial no se endurecen suficientemente en la superficie periférica exterior y la superficie periférica interior en la etapa de templado en el momento de la producción del resorte, lo cual causa el problema de no poderse asegurar una resistencia a la fatiga suficiente en los resortes que se formen. Asimismo, en el caso de resortes normales, por lo general, se imparte un esfuerzo residual a la superficie exterior por granallado o similar para mejorar la resistencia a la fatiga. Sin embargo, en el caso de resortes formados mediante el tubo hueco sin costura, no se puede llevar a cabo el granallado en la superficie periférica interior y son susceptibles de que se produzcan defectos en la superficie periférica interior a través de un método de procesamiento convencional. Por consiguiente, existe el problema de que resulta difícil asegurar la resistencia a la fatiga de la superficie interior.  
45  
50

Como técnica para resolver los problemas descritos, se propone también una técnica divulgada en el Documento de Patente 3. En dicha técnica, se lamina en caliente un material de barra, seguido de perforación con una taladradora y trabajado en frío (trefilado o laminado) produciendo así un tubo de acero sin costura. Por consiguiente, el calentamiento puede evitarse durante la perforación o la extrusión. El Documento de patente 3, que también está publicado como documento EP 2 434 028 A1, divulga un tubo hueco sin costura para resortes de alta resistencia, que está compuesto de un material de acero que comprende de 0,2 a 0,7 % en masa de C, de 0,5 a 3 % en masa de Si, de 0,1 a 2 % en masa de Mn, más de 0 % en masa y de 0,1 % en masa o menos de Al, más de 0 % en masa y 0,02 % en masa o menos de P, más de 0 % en masa y 0,02 % en masa o menos de S y más de 0 % en masa y 0,02 % en masa o menos de N, donde el contenido de C en la superficie periférica interior y superficie periférica exterior del tubo hueco sin costura es 0,10 % en masa o más y el espesor de la capa descarburada completa en cada una de las superficie periférica interior y superficie periférica exterior es 200 µm o menos. Asimismo, en el documento JP 2011-184704 A se divulga un tubo de acero sin costura para resorte hueco de alta resistencia, que comprende: de 0,20 a 0,70 % en masa de C, de 0,5 a 3,0 % en masa de Si, de 0,1 a 3,0 % en masa de Mn, 0,030 %  
55  
60  
65

en masa o menos (incluyendo 0 %) de P, 0,030 % en masa o menos (incluyendo 0 %) de S, 0,02 % en masa o menos (incluyendo 0 %) de N, siendo el resto Fe e impurezas inevitables, en el que el diámetro de círculo equivalente de los carburos es 1,00  $\mu\text{m}$  o menos. El documento US 2011/0253265 A1 divulga un tubo de acero templado/revenido de alta longevidad a la fatiga que tiene una composición que comprende C: de 0,1 a 0,4 % en masa, Si: de 0,5 a 1,5 % en masa, Mn: de 0,3 a 2 % en masa, P: como máximo 0,02 % en masa, S: como máximo 0,01 % en masa, Cr: de 0,1 a 2 % en masa, Ti: de 0,01 a 0,1 % en masa, Nb: de 0,01 a 0,1 % en masa, Al: como máximo 0,1 % en masa, B: de 0,0005 a 0,01 % en masa y N: como máximo 0,01 % en masa, siendo el resto Fe e impurezas inevitables, en el que el tamaño de grano medio de los carburos precipitados es como máximo 0,5  $\mu\text{m}$  y cuya dureza en la parte central del espesor de pared de la sección transversal perpendicular a la dirección longitudinal del tubo de acero es al menos 400 HV.

[Documento de patente 1] JP-A-1-247532

[Documento de patente 2] JP-A-2007-125588

[Documento de patente 3] JP-A-2010-265523

Sin embargo, en la técnica divulgada en el Documento de patente 3, el recocido se lleva a cabo a una temperatura relativamente baja de 750 °C o inferior (en lo que se refiere a este punto, igual que la técnica divulgada en el Documento de patente 2). Cuando se realiza el recocido a dicha baja temperatura, se produce otro problema ya que es probable que se acelere el engrosamiento de carburos.

Los carburos gruesos permanecen en un estado insoluble durante el calentamiento y el templado, lo cual conduce a una disminución de la dureza y la generación de una estructura endurecida defectuosa y, por tanto, causa la disminución de la resistencia a la fatiga (es decir, la "durabilidad"). En particular, recientemente, en un proceso de templado durante la producción de resortes, se ha realizado principalmente un tratamiento de calor a corto plazo utilizando calentamiento por inducción desde el punto de vista de la reducción de la descarburación y en lo que respecta al tamaño de las instalaciones y, por tanto, es significativamente probable que permanezcan carburos en un estado insoluble.

Además, recientemente, se requiere un mayor nivel de resistencia a la fatiga con respecto al de la técnica convencional y las técnicas que se han propuesto hasta la fecha no pueden satisfacer la resistencia a la fatiga requerida y son insuficientes en durabilidad.

La presente invención se ha realizado en tales circunstancias y un objeto de la misma es proporcionar un tubo hueco sin costura para resortes de alta resistencia en el que se reduce en la mayor medida de lo posible que tenga lugar descarburación en una parte de la capa de la superficie interior (parte de la capa superficial en la superficie periférica interior) del mismo y se puede asegurar una resistencia a la fatiga suficiente en los resortes que se formen, controlando la forma de los defectos en su superficie interior.

De acuerdo con la presente invención, se puede conseguir el objeto descrito con un tubo hueco sin costura para un resorte de alta resistencia, que incluye un material de acero que consiste en de 0,2 % a 0,7 % (que representa "en masa" en adelante se aplicará lo mismo en lo que se refiere a la composición de componentes químicos) de C, de 0,5 % a 3 % de Si, de 0,1 % a 2 % de Mn, de 10 ppm a 0,1 % de Al, de 0,2 % a 3 % de Cr, más de 0 % y 0,02 % o menos de P, más de 0 % y 0,02 % o menos de S y de 20 ppm a 0,02 % de N y opcionalmente más de 0 % y 0,015 % o menos de B, más de 0 % y 1 % o menos de V, más de 0 % y 0,3 % o menos de Ti, más de 0 % y 0,3 % o menos de Nb, más de 0 % y 3 % o menos de Ni, más de 0 % y 3 % o menos de Cu, más de 0 % y 2 % o menos de Mo, más de 0 % y 0,005 % o menos de Ca, más de 0 % y 0,005 % o menos de Mg, más de 0 % y 0,02 % o menos de REM, más de 0 % y 0,1 % o menos de Zr, más de 0 % y 0,1 % o menos de Ta y más de 0 % y 0,1 % o menos de Hf, donde el resto está compuesto de hierro e impurezas inevitables, en el que la profundidad de una capa descarburada completa en las partes de la capa de la superficie interiores 100  $\mu\text{m}$  o menos, la profundidad de un defecto presente en la superficie interior es 40  $\mu\text{m}$  o menos, el ancho de un defecto es 60  $\mu\text{m}$  o menos y la densidad numérica de un carburo que tiene un diámetro equivalente de círculo de 500 nm o más y está presente en la parte de la capa de la superficie interior es  $1,8 \times 10^{-2}$  partículas/ $\mu\text{m}^2$  o menos. El "diámetro equivalente de círculo" descrito se refiere al diámetro del círculo que se convierte a partir del área de un carburo, de modo que su área no cambia cuando se presta atención al tamaño del carburo.

En el tubo hueco sin costura para un resorte de alta resistencia de acuerdo con la presente invención, preferentemente, el material de acero utilizado como material incluye al menos uno de los siguientes grupos (a) a (f): (a) más de 0 % y 0,015 % o menos de B, (b) uno o más tipos seleccionados del grupo que consiste en: más de 0 % y 1 % o menos de V; más de 0 % y 0,3 % o menos de Ti; y más de 0 % y 0,3 % o menos de Nb, (c) uno o más tipos seleccionados del grupo que consiste en: más de 0 % y 3 % o menos de Ni; y más de 0 % y 3 % o menos de Cu, (d) más de 0 % y 2 % o menos de Mo, (e) uno o más tipos seleccionados del grupo que consiste en: más de 0 % y 0,005 % o menos de Ca; más de 0 % y 0,005 % o menos de Mg; y más de 0 % y 0,02 % o menos de REM y (f) uno o más tipos seleccionados del grupo que consiste en: más de 0 % y 0,1 % o menos de Zr; más de 0 % y 0,1 % o menos de Ta; y más de 0 % y 0,1 % o menos de Hf. Dependiendo de los tipos de elementos que se incluyan, se mejoran además las propiedades del tubo hueco sin costura (es decir, el resorte que se forme).

En la presente invención, se ajusta apropiadamente la composición de componentes químicos de un material de acero como material y se definen estrictamente las condiciones de producción, con lo cual es posible conseguir un tubo hueco sin costura en el que se reduce la profundidad de la capa descarburada en la parte de la capa de la superficie interior en la mayor medida de lo posible, se controla la forma de un defecto presente en la superficie interior del mismo y se reduce el número de carburos gruesos presentes en la parte de la capa de superficie interior. Llega a ser posible asegurar una resistencia a la fatiga suficiente en un resorte que se forme a partir de dicho tubo hueco sin costura.

Las Figuras 1(a) y 1(b) son diagramas que muestran la forma de un defecto presente en una superficie interior de un tubo.

Las Figuras 2(a) y 2(b) son diagramas que muestran un estado donde se realiza el ensayo de fatiga torsional.

Los autores de la presente invención han estudiado los factores de control necesarios para conseguir una alta resistencia a la fatiga y mejorar la durabilidad desde varios ángulos. Como factores de control para mejorar la durabilidad, por ejemplo, se ha considerado hasta la fecha la profundidad de una capa descarburada y la profundidad de un defecto. Desde este punto de vista, se han propuesto varias técnicas. Sin embargo, en un intervalo de alto esfuerzo, las técnicas que se han propuesto hasta el momento tienen límite para mejorar la durabilidad y es necesario considerar otros factores.

Como resultado, se ha observado que, además de la profundidad de una capa descarburada completa (a la que se hace referencia también en adelante como "capa descarburada") y la profundidad de un defecto, también influye en gran medida la forma del defecto presente en la superficie interior de un tubo de acero. Es decir, al controlar la forma de un defecto presente en la superficie interior de un tubo de acero de modo que el ancho del defecto sea 60  $\mu\text{m}$  menos, se mejora significativamente la durabilidad de un tubo hueco sin costura y su efecto se presenta significativamente en particular en un intervalo de alto esfuerzo.

La capa descarburada completa descrita en la presente memoria descriptiva se define de acuerdo con JIS G0558:2007.

Las Figuras 1(a) y 1(b) son diagramas que muestran la forma de un defecto presente en una superficie interior. La FIG. 1(a) es una vista transversal del tubo y la FIG. 1(b) es una vista aumentada que muestra esquemáticamente el defecto en la superficie interior. Tal como se muestra en las Figuras 1(a) y 1(b), el defecto presente en la superficie interior tiene un ancho en la dirección circunferencial del tubo y tiene una profundidad en la dirección del espesor (dirección radial) del mismo.

La profundidad y el ancho del defecto presente en la superficie interior se ven afectados por las condiciones de producción. Como medio para controlar la forma del defecto, se puede considerar un método de control de las condiciones de un proceso de decapado y un proceso de trabajado en frío, pero los autores de la presente invención han tratado de realizar el trabajo mecánico en un proceso final como medio alternativo. Durante este trabajado mecánico, se utiliza un tubo de acero sin costura (tubo hueco sin costura) que tiene un espesor superior al del producto final y se elimina la capa de la superficie de una superficie periférica inferior del mismo por pulido y se acaba con una dimensión predeterminada.

En la técnica convencional, se propone una técnica en la que se reducen los defectos por perforación con taladro en un proceso intermedio (Documento de patente 3 antes descrito). Sin embargo, en este método la aparición de defectos en un proceso posterior está fuera de control en la práctica. Es decir, la aparición de hoyos durante el decapado y la aparición de defectos durante el trabajado en frío están fuera de control. En dicha técnica la aparición de hoyos en el proceso de decapado y la aparición de defectos en el proceso de trabajado en frío está fuera de control y es difícil conseguir un tubo hueco sin costura que presente una durabilidad superior, particularmente, en un intervalo de alto esfuerzo.

Los autores de la presente invención han pulido la capa de la superficie interior de un tubo de acero utilizando papel abrasivo para estudiar mejor los efectos de las condiciones de pulido en la forma de un defecto presente en la superficie interior y la mejora de la durabilidad. Como resultado, al pulir 100  $\mu\text{m}$  o más de la superficie interior utilizando un papel abrasivo que tiene un tamaño del grano abrasivo de más de No. 24 (que tiene un tamaño de grano abrasivo pequeño), es posible controlar la profundidad de la capa descarburada en una parte de la capa de la superficie interior para que sea 100  $\mu\text{m}$  o menos, se puede controlar la profundidad de un defecto presente en la superficie interior para que sea 40  $\mu\text{m}$  o menos (preferentemente 30  $\mu\text{m}$  o menos y más preferentemente 20  $\mu\text{m}$  o menos) y se puede controlar el ancho del defecto para que sea 60  $\mu\text{m}$  o menos (preferentemente 40  $\mu\text{m}$  o menos y más preferentemente 20  $\mu\text{m}$  o menos). Al controlar la forma del defecto tal como se ha descrito, se puede mejorar significativamente la durabilidad.

La profundidad de una capa descarburada en una parte de la capa de la superficie interior puede medirse del siguiente modo. Se corta un tubo hueco sin costura para obtener una pieza de ensayo y se mide la profundidad de la capa descarburada (capa descarburada completa) en una parte de la capa de la superficie interior por observación

utilizando un microscopio óptico de acuerdo con JIS G0558.

Se mide la profundidad y el ancho de un defecto presente en una superficie interior del siguiente modo. Para observar una sección transversal arbitraria de un tubo (una sección transversal de un tubo perpendicular a su eje), se corta el tubo, se rellena con una resina y se pule para obtener una muestra de observación. Se observa la forma del defecto presente en la superficie interior de la muestra de observación utilizando un microscopio óptico. Se miden la profundidad máxima del defecto y el ancho máximo del defecto que se observan en la sección transversal.

Por otra parte, al pulir 100  $\mu\text{m}$  o más de la capa superficial interior, se pueden controlar la profundidad de la capa descarbonada para que sea 100  $\mu\text{m}$  o menos (preferentemente 80  $\mu\text{m}$  o menos y más preferentemente 60  $\mu\text{m}$  o menos). Esta vez, se eliminan los defectos de la superficie interior, y se reduce la profundidad de los defectos. Sin embargo, cuando el tamaño del grano abrasivo del papel abrasivo que se utilice es inferior a No. 24, (cuando se aumenta el tamaño del grano abrasivo), el ancho de los defectos llega a ser más de 60  $\mu\text{m}$  y no se mejora la durabilidad.

En los métodos de producción que se han propuesto hasta ahora, se lleva a cabo el recocido a una temperatura relativamente baja de 750 °C o inferior (se remite a los Documento de patente 2 y 3 antes descritos). Cuando se realiza el recocido a esta baja temperatura, existe otro problema ya que puede acelerarse el engrosamiento de los carburos presentes en el acero de la parte de la capa de la superficie interior (parte de la capa superficial de una superficie interior). Como resultado del estudio referente a este punto, los autores de la presente invención han observado que al controlar apropiadamente las condiciones de recocido, se puede reducir el número de carburos gruesos y se puede mejorar aún más la durabilidad. Es decir, al controlar apropiadamente las condiciones de recocido, tal como se describe más adelante, se puede controlar la densidad numérica de carburos gruesos que tienen un diámetro equivalente de círculo de 500 nm o más para que sea  $1,8 \times 10^{-2}$  partículas/ $\mu\text{m}^2$  o menos. La densidad numérica de carburos es preferentemente  $1,5 \times 10^{-2}$  partículas/ $\mu\text{m}^2$  o menos y más preferentemente  $1,0 \times 10^{-2}$  partículas/ $\mu\text{m}^2$  o menos. Además, el significado de carburos de acuerdo con la presente invención incluye carburos de elementos que forman carburo (por ejemplo, Mn, Cr, V, Ti, Nb, Mo, Zr, Ta y Hf) entre los componentes de acero además de cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) presente en una estructura metalográfica.

La densidad numérica de carburos que tienen un diámetro equivalente de círculo de 500 nm o más y están presentes en una parte de la capa de la superficie interior se mide del siguiente modo. Para observar una sección transversal arbitraria (una sección transversal de un tubo perpendicular a su eje), se corta el tubo, se rellena con una resina, se pule y se somete a corrosión picral para obtener una muestra de observación. Se observa una parte de la capa superficial de la misma a una distancia de 100  $\mu\text{m}$  a 150  $\mu\text{m}$  desde su superficie interior (x 3.000 de aumento) utilizando un microscopio electrónico de barrido (MEB). Sobre la base de la imagen MEB (posiciones de medida: 3 puntos), se mide el área de un carburo utilizando un software de análisis de imagen (Image-Pro), seguido de la conversión en un diámetro equivalente de círculo. En lo que se refiere a los carburos que tienen un diámetro equivalente de círculo de 500 nm o más, se mide la densidad numérica y se mide su promedio.

El tubo hueco sin costura de la presente invención puede producirse de acuerdo con el procedimiento que se describe a continuación con el uso de un material de acero en el que se ajusta apropiadamente la composición de componentes químicos (la composición de componentes químicos apropiada se describirá más adelante). Los correspondientes procesos en el método de producción se describirán más específicamente.

[Técnica de ahuecado]

En primer lugar, como técnica de ahuecado, se prepara un tubo elemental por extrusión en caliente y a continuación, se somete repetidamente a trabajado en frío, como pueda ser laminado o trefilado, recocido blando y decapado varias veces hasta que se forma un tubo que tiene el diámetro deseado (diámetro exterior o diámetro interior) y una longitud deseada. En lo que respecta al diámetro interior, es necesario tener en cuenta la cantidad que se reduce por pulido, tal como se describe a continuación.

[Temperatura de calentamiento durante la extrusión en caliente: por debajo de 1.050 °C]

En la extrusión en caliente mencionada, se recomienda que la temperatura de calentamiento de la misma esté por debajo de 1.050 °C. Cuando la temperatura de calentamiento es 1.050 °C o más, aumenta la descarbonación total (descarbonación completa). Preferentemente, es 1.020 °C o inferior.

[Condiciones de enfriamiento tras la extrusión en caliente: controlando que la velocidad de enfriamiento promedio sea 1,5 °C/s o más hasta que se consiga una temperatura de 720 °C tras la extrusión].

Una vez realizada la extrusión en caliente en las condiciones mencionadas, se realiza el enfriamiento a una velocidad de enfriamiento relativamente alta hasta que se consigue una temperatura de 720 °C. Como resultado, se puede reducir la descarbonación durante el enfriamiento. Para presentar dicho efecto, preferentemente se ajusta la velocidad de enfriamiento promedio hasta que se consigue una temperatura de 720 °C a 1,5 °C/s o más. Preferentemente, la velocidad de enfriamiento promedio se ajusta a 2 °C/s o más.

5 Se somete el tubo elemental que se ha obtenido por extrusión en caliente de forma repetida a trabajado en frío, recocido y decapado hasta que se produce un tubo que tiene el tamaño deseado. En este momento, es necesario realizar el recocido y el decapado en las condiciones apropiadas para evitar la descarburación o la aparición de defectos.

[Trabajado en frío]

10 Como trabajado en frío de un tubo de acero, se suele llevar a cabo laminado o trefilado. El laminado se puede llevar a cabo con una reducción relativamente alta del área, mientras que el trefilado tiene efectos ventajosos ya que la velocidad de trabajo es alta y la precisión dimensional es alta. Por lo tanto, puede realizarse tanto el laminado como el trefilado dependiendo de las circunstancias.

15 [Proceso de recocido]

Tras el trabajado en frío, aumenta la dureza del material y, por tanto, puede resultar difícil realizar el trabajado en un proceso posterior en muchos casos. Por lo tanto, se lleva a cabo el recocido según sea necesario. Durante dicho recocido, al controlar la atmósfera para que sea una atmósfera no oxidante, es posible reducir de forma significativa la descarburación que pueda tener lugar durante el recocido. Por otra parte, dado que la costra producida se puede hacer extremadamente fina, puede reducirse el tiempo de inmersión durante el decapado que se realice después del recocido. Por lo tanto, el recocido es eficaz para suprimir la aparición de hoyos profundos causados por el decapado. Por otra parte, la temperatura de calentamiento durante el recocido es preferentemente 950 °C o superior. Por lo que respecta a la temperatura de recocido, en la técnica convencional (Documentos de patente 2 y 3 antes descritos), el recocido se realiza generalmente a una temperatura relativamente baja de 750 °C o inferior. Sin embargo, cuando la temperatura es 750 °C o inferior, se acelera el engrosamiento de carburos. En la presente invención, se centra la atención en este punto y no se realiza el recocido a una temperatura de recocido baja como en la técnica anterior, sino a una temperatura de recocido alta, de modo que se disuelvan los carburos.

30 En lo que se refiere a la temperatura de recocido, puede adoptarse una temperatura de aproximadamente 820 °C a 940 °C (por ejemplo, Documento de patente 1 antes descrito). Sin embargo, dicho intervalo de temperatura sigue siendo insuficiente para disolver los carburos en sólido. Asimismo, en un intervalo de temperatura en torno a 900 °C, es muy probable que tenga lugar la descarburación de ferrita. Por consiguiente, en la presente invención, se ajusta la temperatura de recocido a 950 °C o superior para acelerar la disolución de carburos en sólido y para evitar la aparición de la descarburación de ferrita. Esta temperatura de recocido es más preferentemente 970 °C o superior y aún más preferentemente 990 °C o superior. Sin embargo, cuando la temperatura de recocido es excesivamente alta, aumenta la descarburación total (descarburación completa) y se deteriora la capacidad de trabajado en frío. Por consiguiente, la temperatura de recocido es preferentemente 1.100 °C o inferior, más preferentemente 1.080 °C o inferior y aún más preferentemente 1.040 °C o inferior. Al realizar el recocido al mismo tiempo que se controla la temperatura de recocido en este intervalo de temperatura, se puede producir un tubo hueco sin costura, en el que se reduce la costra oxidada, se suprime la aparición de hoyos profundos causados por el decapado, se reduce la profundidad de la capa descarburada y el número de carburos gruesos es reducido.

[Proceso de decapado]

45 Una vez realizado el recocido tal como se ha descrito, se forma costra sobre la superficie del material en un grado considerable, lo cual afecta negativamente al proceso posterior, como pueda ser el laminado o el trefilado. Por lo tanto, el tratamiento de decapado se lleva a cabo utilizando ácido sulfúrico o ácido clorhídrico. Sin embargo, cuando aumenta el período del proceso de tratamiento de decapado, se forman grandes hoyos causados por el decapado y permanecen como defectos. Desde este punto de vista, es ventajoso reducir el tiempo de decapado. Específicamente, el tiempo de decapado se realiza preferentemente en 30 minutos (más preferentemente, en 20 minutos).

[Pulido de la parte de la capa de la superficie interior]

55 Para controlar que la profundidad de un defecto presente en una superficie interior de un tubo de acero sea 40 μm o menos, controlar que el ancho del defecto sea 60 μm o menos y controlar que la profundidad de la capa descarburada en la parte de la capa de la superficie interior sea 100 μm o menos, se pule la capa de la superficie interior utilizando papel abrasivo sobre la longitud total del tubo después del recocido y el decapado. En este momento, el tamaño del grano abrasivo (No.) se establece en al menos 24 (preferentemente 30 o más) y la cantidad de pulido (menor cantidad de espesor) se establece en 70 μm o más (preferentemente 100 μm o más).

65 En el tubo hueco sin costura de la presente invención, también es importante ajustar apropiadamente la composición de componentes químicos del material de acero utilizado como material. Las razones para limitar los intervalos de los componentes químicos se describen a continuación.  
(C: de 0,2 % a 0,7 %)

C es un elemento necesario para asegurar una alta resistencia y para ese fin, es necesario que C esté contenido en una cantidad de 0,2 % o más. El contenido de C es preferentemente 0,30 % o más y más preferentemente 0,35 % o más. Sin embargo, cuando el contenido de C llega a ser excesivo, resulta difícil asegurar la ductilidad. En consecuencia, se requiere que el contenido de C sea 0,7 % o menos. El contenido de C es preferentemente 0,65 % o menos y más preferentemente 0,60 % o menos.

(Si: de 0,5 a 3 %)

Si es un elemento eficaz para mejorar la resistencia al descuelgue necesaria para los resortes. Para impartir la resistencia al descuelgue necesaria para que los resortes de la presente invención tengan el nivel de resistencia pretendido, se requiere que el contenido de Si sea 0,5 % o más. El contenido de Si es preferentemente 1,0 % o más y más preferentemente 1,5 % o más. Sin embargo, Si es también un elemento que acelera la descarburación. Por consiguiente, cuando Si está contenido en una cantidad excesiva, se acelera la formación de la capa descarburada sobre la superficie del material de acero. Como resultado, se hace necesario un proceso de pelado para eliminar la capa descarburada y, por lo tanto, esto es desventajoso por lo que se refiere a los costes de producción. Por consiguiente, el límite superior del contenido de Si está limitado a 3 % en la presente invención. El contenido de Si es preferentemente 2,5 % o menos y más preferentemente 2,2 % o menos.

(Mn: de 0,1 a 2 %)

Mn se utiliza como elemento desoxidante y es un elemento ventajoso que forma MnS con S como elemento perjudicial en el material de acero para hacerlo inocuo. Para que presente de forma eficaz dicho efecto, es necesario que Mn esté contenido en una cantidad de 0,1 % o más. La cantidad de Mn es preferentemente 0,15 % o más y más preferentemente 0,20 % o más. Sin embargo, cuando el contenido de Mn resulta excesivo, se forma una banda de segregación que causa la aparición de variaciones en la calidad del material. Por consiguiente, el límite superior del contenido de Mn está limitado a 2 % en la presente invención. El contenido de Mn es preferentemente 1,5 % o menos y más preferentemente 1,0 % o menos.

(Al: de 10 ppm a 0,1 %)

Al se añade principalmente como elemento desoxidante. Además, no solamente forma AlN con N para hacer N en el soluto inocuo, sino que también contribuye al refinamiento de la microestructura. Particularmente, para fijar el N del soluto, preferentemente Al está contenido en una cantidad de más del doble del contenido de N. Sin embargo, Al es un elemento que acelera la descarburación, como en el caso de Si. En consecuencia, en un acero de resorte que contiene una gran cantidad de Si, es necesario inhibir la adición de Al en grandes cantidades. En la presente invención, el contenido de Al es 0,1 % o menos, preferentemente 0,07 % o menos y más preferentemente 0,05 % o menos. El límite inferior del contenido de Al es 10 ppm.

(Cr: de 0,2 a 3 %)

Desde el punto de vista de mejorar la capacidad de trabajado en frío, es preferente un contenido de Cr más reducido. Sin embargo, Cr es un elemento eficaz para asegurar la resistencia tras el templado y para mejorar la resistencia a la corrosión y es un elemento particularmente importante en muelles de suspensión en los que se requiere un alto nivel de resistencia a la corrosión. Dicho efecto aumenta al aumentar el contenido de Cr. Para que se presente dicho efecto, Cr está contenido en una cantidad de 0,2 % o más y preferentemente 0,5 % o más. Sin embargo, cuando el contenido de Cr llega a ser excesivo, no solamente es susceptible de que se produzca una microestructura superenfriada, sino que también tiene lugar la segregación en cementita para reducir la deformabilidad plástica, lo cual causa el deterioro de la capacidad de trabajado en frío. Por otra parte, cuando el contenido de Cr llega a ser excesivo, es susceptible de que se formen carburos de Cr distintos a cementita, con el resultado de un desequilibrio entre la resistencia y la ductilidad. Por consiguiente, en el material de acero utilizado en la presente invención, se suprime el contenido de Cr a 3 % o menos. El contenido de Cr es preferentemente 2,0 % o menos y más preferentemente 1,7 % o menos.

(P: 0,02 % o menos (sin incluir 0 %))

P es un elemento perjudicial que deteriora la dureza y la ductilidad del material de acero, de modo que conviene reducir P en la mayor medida de lo posible. En la presente invención, el límite superior del mismo está limitado a 0,02 %. Preferentemente, se suprime el contenido de P preferentemente a 0,010 % o menos y más preferentemente a 0,008 % o menos. P es una impureza contenida inevitablemente en el material de acero y es difícil en la producción industrial disminuir su cantidad a 0 %.

(S: 0,02 % o menos (sin incluir 0 %))

S es un elemento perjudicial que deteriora la dureza y la ductilidad del material de acero, como en el caso de P antes descrito, de modo que conviene disminuir S en la mayor medida de lo posible. En la presente invención, el contenido de S se suprime a 0,02 % o menos, preferentemente 0,010 % o menos y más preferentemente 0,008 % o

menos. S es una impureza contenida inevitablemente en el acero y es difícil en la producción industrial disminuir su cantidad a 0 %.

(N: 20 ppm a 0,02 %)

5 N tiene el efecto de formar un nitruro para refinar la microestructura, cuando Al, Ti o similares están presentes. Sin embargo, cuando N está presente en un estado de soluto, N deteriora las propiedades de dureza, ductilidad y resistencia a la fragilización por hidrógeno del material de acero. En la presente invención, el límite superior del contenido de N está limitado a 0,02 % o menos. El contenido de N es preferentemente 0,010 % o menos y más  
10 preferentemente 0,0050 % o menos. El límite inferior del contenido de N es 20 ppm.

En el material de acero aplicado en la presente invención, los demás (el resto) componentes diferentes a los mencionados están compuestos de hierro e impurezas inevitables (por ejemplo, Sn, As y similares), pero pueden estar contenidos componentes traza (componentes aceptable) en un grado en el que no perjudique sus propiedades.  
15 Dicho material de acero también está incluido en el intervalo de la presente invención.

Asimismo, es eficaz que estén contenidos, según sea necesario, (a) 0,015 % o menos (sin incluir 0 %) de B, (b) uno o más tipos seleccionados del grupo que consiste en: 1 % o menos (sin incluir 0 %) de V; 0,3 % o menos (sin incluir 0 %) de Ti; y 0,3 % o menos (sin incluir 0 %) de Nb, (c) 3 % o menos (sin incluir 0 %) de Ni y/o 3 % o menos (sin  
20 incluir 0 %) de Cu, (d) 2 % o menos (sin incluir 0 %) de Mo, (e) uno o más tipos seleccionados del grupo que consiste en: 0,005 % o menos (sin incluir 0 %) de Ca; 0,005 % o menos (sin incluir 0 %) de Mg; y 0,02 % o menos (sin incluir 0 %) de REM, (f) uno o más tipos seleccionados del grupo que consiste en: 0,1 % o menos (sin incluir 0 %) de Zr; 0,1 % o menos (sin incluir 0 %) de Ta; y 0,1 % o menos (sin incluir 0 %) de Hf, so similar. Las razones de  
25 limitar los intervalos cuantos estos componentes están contenidos son las siguientes.

(B: 0,015 % o menos (sin incluir 0 %))

B tiene el efecto de inhibir la fractura de las fronteras del grano de austenita anterior tras el revenido-templado del material de acero. Para que presente dicho efecto, preferentemente B está contenido en una cantidad de 0,001 % o  
30 más. Sin embargo, cuando B está contenido en una cantidad excesiva, se forman carboboruros gruesos que perjudican las propiedades del material de acero. Además, cuando B está contenido en más de lo necesario, contribuye a la aparición de defectos del material laminado. Por consiguiente, el límite superior del contenido de B está limitado a 0,015 %. El contenido de B más preferentemente 0,010 % o menos y aún más preferentemente  
35 0,0050 % o menos.

(Uno o más tipos seleccionados del grupo que consiste en V: 1 % o menos (sin incluir 0 %); Ti: 0,3 % o menos (sin incluir 0 %); y Nb: 0,3 % o menos (sin incluir 0 %))

V, Ti y Nb forman carbonitruros (carburos, nitruros y carbonitruros), sulfuros o similares con C, N, S y similares para tener una acción de hacer que estos elementos sean inocuos y forman además carbonitruros que presentan también un efecto de refinamiento de la microestructura. Asimismo, también tienen el efecto de mejorar las propiedades de resistencia a la fractura retardada. Para presentar estos efectos, preferentemente está contenido al menos un tipo de V, Ti y Nb en una cantidad de 0,02 % o más (en una cantidad de 0,02 % o más en total cuando están contenidos dos tipos o más). Sin embargo, si el contenido de estos elementos llega a ser excesivo, se forman carbonitruros gruesos  
45 que deterioran la dureza o ductilidad en algunos casos. Por consiguiente, en la presente invención, los límites superiores del contenido de Ti, V y Nb son preferentemente 1 % o menos, 0,3 % o menos y 0,3 % o menos, respectivamente. 0,5 % o menos de V, 0,1 % o menos de Ti y 0,1 % o menos de Nb son más preferentes. Además, desde el punto de vista de reducir los costes, son preferentes 0,3 % o menos de V, 0,05 % o menos de Ti y 0,05 % o menos de Nb  
50

(Ni: 3 % o menos (sin incluir 0 %) y/o Cu: 3 % o menos (sin incluir 0 %)).

En cuanto a Ni, su adición está limitada en el caso de que se tenga en cuenta la reducción de los costes, de modo que su límite inferior no se proporciona particularmente. Sin embargo, en el caso de inhibir la descarburación de la  
55 capa superficial o mejorar la resistencia a la corrosión, preferentemente Ni está contenido en una cantidad de 0,1 % o más. Sin embargo, cuando el contenido de Ni llega a ser excesivo, tiene lugar la microestructura superenfriada en el material laminado o está presente austenita residual tras el templado, con el resultado del deterioro de las propiedades del material de acero en algunos casos. En consecuencia, cuando Ni está contenido, su contenido es  
60 3 % o menos. Desde el punto de vista de la reducción de los costes, el contenido de Ni es preferentemente 2,0 % o menos y más preferentemente 1,0 % o menos.

Cu es un elemento eficaz para inhibir la descarburación de la capa superficial o para mejorar la resistencia a la corrosión, como es el caso de Ni, antes descrito. Para presentar dicho efecto, preferentemente Cu está contenido en una cantidad de 0,1 % o más. Sin embargo, cuando el contenido de Cu llega a ser excesivo, tiene lugar la  
65 microestructura superenfriada o se producen grietas en el momento del trabajado en caliente en algunos casos. En consecuencia, cuando Cu está contenido, su límite superior es 3 % o menos. Desde el punto de vista de la



reducción de los costes, el contenido de Cu es preferentemente 2,0 % o menos y más preferentemente 1,0 % o menos.

(Mo: 2 % o menos (sin incluir 0 %)).

5 Mo es un elemento eficaz para asegurar la resistencia y mejorar la dureza tras el revenido. En consecuencia, cuando Mo está contenido, su contenido es preferentemente 0,2 % o más. Sin embargo, cuando el contenido de Mo llega a ser excesivo, se deteriora la dureza. En consecuencia, el límite superior del contenido de Mo es preferentemente 2 % o menos. El contenido de Mo es más preferentemente 0,5 % o menos.

10 (Uno o más tipos seleccionados del grupo que consiste en Ca: 0,005 % o menos (sin incluir 0 %); Mg: 0,005 % o menos (sin incluir 0 %); y REM: 0,02 % o menos (sin incluir 0 %))

15 Ca, Mg y REM (elemento de tierras raras) forman sulfuros para evitar el alargamiento de MnS, teniendo así un efecto de mejorar la dureza y pueden añadirse dependiendo de las propiedades requeridas. En consecuencia, cuando está contenido o uno o más tipos seleccionados del grupo que consiste en Ca, Mg y REM su contenido es preferentemente 5 ppm o más. Sin embargo, cuando se añaden por encima de los límites superiores que se han mencionado, respectivamente, se deterioran negativamente la dureza. Los correspondientes límites superiores preferentes son 0,0030 % o menos para Ca, 0,0030 % o menos para Mg y 0,010 % o menos para REM. En la presente invención, el significado de REM incluye elementos lantanoides (15 elementos de La a Ln), Sc (escandio) e Y (itrio).

20 (Uno o más tipos seleccionados del grupo que consiste en Zr: 0,1 % o menos (sin incluir 0 %); Ta: 0,1 % o menos (sin incluir 0 %); y Hf: 0,1 % o menos (sin incluir 0 %))

25 Estos elementos se combinan con N para formar nitruros, con lo cual se inhibe establemente el crecimiento del tamaño del grano de austenita ( $\gamma$ ) durante el calentamiento para refinar la microestructura final, lo cual lleva a un efecto de mejorar la dureza. En consecuencia, cuando están contenidos uno o más tipos seleccionados del grupo que consiste en Zr, Ta y Hf su contenido es preferentemente 0,03 % o más. Sin embargo, cuando se añade cada uno de ellos en una cantidad que exceda más de 0,1 %, se engrosan los nitruros para deteriorar las propiedades de fatiga y tal caso no es preferente. En consecuencia, el contenido de cada uno de ellos está limitado a 0,1 % o menos. El contenido más preferente de cada uno de ellos es 0,050 % o menos y el contenido aún más preferente es 0,040 % o menos.

35 A continuación, se describirá la presente invención con más detalle haciendo referencia a ejemplos, pero no debe interpretarse que los siguientes ejemplos limitan la presente invención.

### Ejemplos

40 Se fundieron varios tipos de aceros fundidos (aceros de carbono medio) que tenían las composiciones de componentes químicos que se muestran en la Tabla 1, que se describe a continuación, a través de un método de fundición habitual. Se enfriaron los aceros fundidos, seguido de laminado de masa para formar tochos que tenían una forma transversal de 155 mm x 155 mm. Se conformaron estos tochos en barras redondas que tenían un diámetro de 150 mm por forjado en caliente, seguido de trabajado mecánico, con lo cual se prepararon tochos extruidos. En la Tabla 1 que se describe a continuación, se añadió REM en forma de un metal de misch que contenía aproximadamente 20 % de La y aproximadamente 40 % a 50 % de Ce. En la Tabla que se describe a continuación “—” indica que no se añadió ningún elemento.

[Tabla 1]

Especies de acero	Composición de componentes químicos (% en masa)																					
	C	Si	Mn	P	S	N	Al	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Ti	Nb	Zr	Ta	Hf	Mg	Ca	REM	B	
A	0,40	2,50	1,00	0,005	0,005	0,0030	0,0030	1,05	0,45	0,20	-	-	0,150	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0030
B	0,41	1,70	0,15	0,003	0,003	0,0020	0,0250	1,00	0,30	0,15	-	0,170	0,070	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	0,42	1,80	0,25	0,008	0,008	0,0030	0,0300	0,95	0,20	0,20	-	0,100	-	-	0,050	0,050	0,0020	-	-	-	-	-
D	0,44	1,91	0,20	0,006	0,006	0,0040	0,0320	1,01	0,62	0,25	-	0,150	0,077	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	0,45	1,70	0,35	0,009	0,009	0,0050	0,0300	0,50	0,20	0,10	-	-	0,050	0,050	-	-	-	-	0,0020	-	-	-
F	0,45	1,75	0,70	0,015	0,015	0,0030	0,0020	0,75	0,15	0,10	-	-	0,080	-	0,050	-	-	-	-	-	0,0015	-
G	0,45	1,70	0,20	0,005	0,005	0,0025	0,0280	0,90	0,20	0,40	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	0,54	1,40	0,70	0,019	0,019	0,0045	0,0400	0,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I	0,60	2,00	0,68	0,020	0,020	0,0045	0,0350	0,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Resto: hierro e impurezas inevitables distintas a P y S

Utilizando los tochos extruidos que se han descrito, se prepararon tubos extruidos que tenían un diámetro exterior de 54 mmφ y un diámetro interior de 38 mmφ (velocidad de enfriamiento promedio hasta que la temperatura alcanzada fue 720 °C tras la extrusión: 2 °C/s). A continuación, se repitieron el trabajado en frío (trellado y laminado), recocido (Tabla 2 descrita a continuación) y decapado varias veces. Como resultado, se prepararon tubos huecos sin costura que tenían un diámetro exterior de 16 mm y un diámetro interior de 7,6 mm o 8,0 mm (Tabla 2 descrita a continuación). En este momento, en lo que se refiere a cada uno de los tubos huecos sin costura que tenían un diámetro interior de 7,6 mm, se pulió como máximo 0,2 mm (50 μm a 200 μm) de su capa de la superficie interior a lo largo de la longitud total con un papel abrasivo para su eliminación (un diámetro interior final es 7,7 mm a 8,0 mm).

[Tabla 2]

Nº Prueba	Especie de acero	Tamaño procesamiento (mm)	Condiciones de recocido		Pulido de la capa de la superficie interior	
			Atmósfera	Temperatura (°C)	Cantidad de pulido (μm)	Tamaño de grano abrasivo (no.)
1	A	16φx8,0φ	Gas Ar	980	0	-
2	B	16φx7,6φ	Gas Ar	980	200	20
3	B	16φx7,6φ	Gas Ar	950	200	30
4	B	16φx7,6φ	Gas Ar	950	200	60
5	B	16φx7,6φ	Gas Ar	980	50	60
6	C	16φx7,6φ	Gas Ar	980	200	120
7	D	16φx,8,0φ	Gas Ar	980	0	-
8	D	16φx7,6φ	Gas Ar	980	50	20
9	D	16φx7,6φ	Gas Ar	980	100	20
10	D	16φx7,6φ	Gas Ar	1100	100	60
11	D	16φx7,6φ	Gas Ar	1040	100	120
12	D	16φx7,6φ	Gas Ar	980	200	320
13	D	16φx7,6φ	Gas Ar	980	50	600
14	D	16φx7,6φ	Gas Ar	980	200	600
15	D	16φx7,6φ	Aire	680	100	320
16	D	16φx7,6φ	Aire	730	100	320
17	D	16φx7,6φ	Aire	770	100	320
18	D	16φx7,6φ	Aire	850	100	320
19	E	16φx7,6φ	Gas Ar	1080	200	320
20	F	16φx7,6φ	Gas Ar	1080	200	320
21	G	16φx7,6φ	Gas Ar	1000	200	120
22	H	16φx7,6φ	Gas Ar	980	200	120
23	I	16φx7,6φ	Gas Ar	980	200	120

En lo que se refiere a cada uno de los tubos huecos sin costura obtenidos, se examinaron la profundidad de una capa descarburada en la parte de la capa de la superficie interior, la profundidad (profundidad del defecto) de un defecto en la superficie interior, el ancho (ancho del defecto) del defecto y la densidad numérica de los carburos gruesos (carburos que tenían un diámetro equivalente de círculo de 500 nm o más) a través de los siguientes métodos.

[Medición de la profundidad de la capa descarburada]

Se cortó un tubo hueco sin costura para obtener una pieza de ensayo y se midió la profundidad de la capa descarburada (capa descarburada completa) en una parte de la capa de la superficie interior de la misma por observación utilizando un microscopio óptico de acuerdo con JIS G0558.

Se evaluó un tubo hueco sin costura en el que la profundidad de la capa descarburada era 100 μm como "aprobado" (lo cual se indica mediante el símbolo "o") y un tubo hueco sin costura en el que la profundidad de la capa descarburada fue más de 100 μm se evaluó como "suspense" (indicado con el símbolo "x". Los resultados se muestran en la Tabla 3 que se describe a continuación.

[Medición de la profundidad de defecto y ancho de defecto en la superficie interior]

En lo que respecta a un defecto en la superficie interior, para observar una sección transversal arbitraria (una sección transversal de un tubo perpendicular al eje del mismo), se cortó el tubo y se rellenó con resina y se pulió para obtener una muestra de observación. Se observó la forma de un defecto presente en una superficie interior de la muestra de observación utilizando un microscopio óptico. Se midieron la profundidad y el ancho del defecto que se observó en el punto más profundo de la sección transversal.

[Método de medición de la densidad numérica de carburos gruesos]

En lo que se refiere a la densidad numérica de carburos gruesos en la capa superficial interior, para observar una sección transversal arbitraria (una sección transversal de un tubo perpendicular a su eje), se cortó el tubo, se rellenó con una resina, se pulió y se sometió a corrosión picral para obtener una muestra de observación. Se observó una parte de la capa superficial de la muestra de observación a una distancia de 100 µm desde su superficie interior (x 3.000 de aumento) utilizando un microscopio electrónico de barrido (MEB). Sobre la base de la imagen MEB (posiciones de medición: 3 punto), se midió el área de un carburo utilizando un software de análisis de imagen (Image-Pro), seguido de la conversión en un diámetro equivalente de círculo. En lo que respecta a los carburos que tienen un diámetro equivalente de círculo de 500 nm o más, se midió la densidad numérica y se midió su promedio.

Se sometió a templado y revenido cada uno de los tubos huecos sin costura descritos en las siguientes condiciones para preparar una pieza de ensayo cilíndrica 1 presentada en las Figuras 2(a) y 2(b). La (FIG. 2(a) es una vista frontal y la FIG. 2(b) es una vista lateral que muestra una superficie del extremo de la pieza de ensayo). En los dibujos, el número de referencia 1a representa una parte limitada de una pieza de ensayo cilíndrica, el número de referencia 1b representa la parte del centro de la pieza de ensayo cilíndrica y el número de referencia 3 representa una guía que limita la pieza de ensayo.

(Condiciones de templado y revenido)

Condiciones de templado: enfriamiento con aceite después de mantener a 925 °C durante 10 minutos  
 Condiciones de revenido: enfriamiento con agua después de mantener a 390 °C durante 40 minutos

[Ensayo de fatiga torsional]

Utilizando la pieza de ensayo cilíndrica 1, se llevó a cabo un ensayo de fatiga torsional.

Diámetro interior de la pieza de ensayo: 7,7 mm a 8,0 mm  
 Diámetro exterior de la parte limitada: 16 mm  
 Diámetro exterior de la parte central: 12 mm  
 Espesor de la parte central: 2,0 mm a 2,15 mm

Esfuerzo de carga (esfuerzo sobre la superficie exterior de la parte central): 550±375 MPa

Número de veces de ensayo repetidas: se evaluó una pieza de ensayo que no se había roto después de repetir ensayo 10<sup>5</sup> veces como "o" y una pieza de ensayo que se rompió antes de repetir el ensayo 10<sup>5</sup> veces se evaluó como "x".

En la Tabla 3 descrita a continuación se muestran estos resultados.

[Tabla3]

No. de ensayo	Especie de acero	Evaluación de capa descarburada	Profundidad de defecto (µm)	Ancho de defecto (µm)	Densidad numérica de carburos gruesos (artículos P /µm <sup>2</sup> )	Resultados del ensayo de fatiga torsional (550±375 MPa)
1	A	X	80	16	0,8x10 <sup>-2</sup>	X
2	B	o	55	61	0,7x10 <sup>-2</sup>	X
3	B	o	35	50	1,7x10 <sup>-2</sup>	o
4	B	o	16	27	1,8x10 <sup>-2</sup>	o
5	B	X	30	11	0,5x10 <sup>-2</sup>	X
6	C	o	7	14	0,6x10 <sup>-2</sup>	o
7	D	X	75	14	0,5x10 <sup>-2</sup>	X
8	D	o	55	69	0,7x10 <sup>-2</sup>	X
9	D	o	35	61	0,7x10 <sup>-2</sup>	X
10	D	o	15	30	0,1x10 <sup>-2</sup>	o
11	D	o	6	12	0,1x10 <sup>-2</sup>	o
12	D	o	4	10	0,6x10 <sup>-2</sup>	o
13	D	X	35	12	0,6x10 <sup>-2</sup>	X
14	D	o	2	7	0,6x10 <sup>-2</sup>	o
15	D	o	25	50	5,8x10 <sup>-2</sup>	X
16	D	o	17	43	6,5x10 <sup>-2</sup>	X
17	D	o	20	50	3,7x10 <sup>-2</sup>	X
18	D	X	15	38	1,9x10 <sup>-2</sup>	X
19	E	o	5	13	0,1x10 <sup>-2</sup>	o
20	F	o	5	13	0,1x10 <sup>-2</sup>	o
21	G	o	10	20	0,2x10 <sup>-2</sup>	o
22	H	o	10	20	1,4x10 <sup>-2</sup>	o
23	I	o	10	20	1,4x10 <sup>-2</sup>	o

Tal como se puede deducir de estos resultados, los tubos huecos sin costura obtenidos en condiciones de producción apropiadas (ensayos Nos. 3, 4, 6, 10 a 12, 14 y 19 a 23: ejemplos de la presente invención) satisfacen los requisitos especificados en la presente invención y se revela que se obtienen tubos huecos sin costura que tienen una buena resistencia a la fatiga torsional.

5 Por otro lado, los tubos huecos sin costura de los ensayos Nos. 1, 2, 5, 7 a 9, 13 y 15 a 18 (ejemplos comparativos) no satisfacen los requisitos especificados en la presente invención por los métodos de producción inapropiados y se revela que se deteriora la resistencia a la fatiga de los resortes. Es decir, en los tubos huecos sin costuras de los ensayos Nos. 1 y 7, la capa superficial de la superficie periférica interior no se pulió. Como resultado, la profundidad de la capa descarbonada es grande, la profundidad del defecto es grande y disminuye la resistencia a la fatiga (durabilidad). En el tubo hueco sin costura del ensayo No. 2, el tamaño de grano abrasivo (no.) utilizado para pulir la capa superficial de la superficie periférica interiores reducida. Como resultado, la profundidad del defecto y el ancho del defecto son grandes y disminuye la resistencia a la fatiga (durabilidad).

15 En el tubo hueco sin costura del ensayo No. 5, la cantidad de pulido de la capa superficial de la superficie periférica interior es reducida. Como resultado, la profundidad de la capa descarbonada es grande y la resistencia a la fatiga (durabilidad) disminuye. En el tubo hueco sin costura del ensayo No. 9, la cantidad de pulido de la capa superficial de la superficie periférica interior es reducida y el tamaño de grano abrasivo (No.) utilizado para pulir la capa superficie de la superficie periférica inferior es reducido. Como resultado, la profundidad del defecto y el ancho del defecto son grandes y disminuye la resistencia a la fatiga (durabilidad).

25 En el tubo hueco sin costura del ensayo No. 9, el tamaño del grano abrasivo es pequeño. Como resultado, el ancho del defecto es grande y la resistencia a la fatiga (durabilidad) disminuye. En el tubo hueco sin costura del No. de ensayo 13, el tamaño del grano abrasivo (No.) utilizado para pulir la capa superficial de la superficie periférica interior es grande, pero la cantidad de pulido de la capa superficial de la superficie periférica inferior es pequeña. Como resultado, la profundidad de la capa descarbonada es grande y disminuye la resistencia a la fatiga (durabilidad).

30 En los tubos huecos sin costura de los ensayos Nos. 15 a 18, se lleva a cabo el recocido al aire y la temperatura durante el recocido es baja. Como resultado, la densidad numérica de los carburos gruesos es grande y la resistencia a la fatiga (durabilidad) disminuye. Entre estos, en el tubo hueco sin costura del ensayo No. 18, al establecer la temperatura de recocido a 850 °C, la profundidad de la capa descarbonada es grande por efecto de la aparición de la descarbonación de ferrita.

35 Hasta aquí se han descrito las realizaciones de la presente invención en detalle. Sin embargo, la presente invención no está limitada a las realizaciones descritas y es posible introducir diversas modificaciones en ella sin por ello alejarse del alcance de la misma.

40 En la presente invención, se ajusta apropiadamente la composición de componentes químicos del material de acero como material y se definen estrictamente las condiciones de producción del mismo, siendo capaces de conseguir un tubo hueco sin costura en el que la profundidad de una capa descarbonada en la parte de la capa de la superficie interior es lo más reducida posible, se controla la forma de un defecto presente en su superficie interior y se reduce el número de carburos gruesos presentes en la parte de la capa de la superficie interior. Resulta posible asegurar una resistencia a la fatiga suficiente en el resorte que se forme a partir del dicho tubo hueco sin costura.

45

## REIVINDICACIONES

1. Un tubo hueco sin costura para un resorte de alta resistencia, que comprende un material de acero que consiste en:

5 de 0,2 % en masa a 0,7 % en masa de C,  
 de 0,5 % en masa a 3 % en masa de Si,  
 de 0,1 % en masa a 2 % en masa de Mn,  
 de 10 ppm a 0,1 % en masa de Al,  
 10 de 0,2 % en masa a 3 % en masa de Cr,  
 más de 0 % en masa y 0,02 % en masa o menos de P,  
 más de 0 % en masa y 0,02 % en masa o menos de S, y  
 de 20 ppm a 0,02 % en masa de N y opcionalmente  
 15 más de 0 % en masa y 0,015 % en masa o menos de B,  
 más de 0 % en masa y 1 % en masa o menos de V,  
 más de 0 % en masa y 0,3 % en masa o menos de Ti,  
 más de 0 % en masa y 0,3 % en masa o menos de Nb,  
 más de 0 % en masa y 3 % en masa o menos de Ni,  
 más de 0 % en masa y 3 % en masa o menos de Cu,  
 20 más de 0 % en masa y 2 % en masa o menos de Mo,  
 más de 0 % en masa y 0,005 % en masa o menos de Ca,  
 más de 0 % en masa y 0,005 % en masa o menos de Mg,  
 más de 0 % en masa y 0,02 % en masa o menos de REM,  
 25 más de 0 % en masa y 0,1 % en masa o menos de Zr,  
 más de 0 % en masa y 0,1 % en masa o menos de Ta y  
 más de 0 % en masa y 0,1 % en masa o menos de Hf,  
 donde el resto está compuesto de hierro e impurezas inevitables,  
 donde una profundidad de una capa descarburada completa en una parte de la capa de superficie interior es  
 100  $\mu\text{m}$  o menos, una profundidad de un defecto que está presente en una superficie interior es 40  $\mu\text{m}$  o menos,  
 30 un ancho del defecto es 60  $\mu\text{m}$  o menos y una densidad numérica de un carburo que tiene un diámetro  
 equivalente de círculo de 500 nm o más y está presente en la parte de la capa de la superficie interior es  
 $1,8 \times 10^{-2}$  partículas/ $\mu\text{m}^2$  o menos.

35 2. El tubo hueco sin costura para un resorte de alta resistencia de acuerdo con la reivindicación 1, donde el material  
 de acero comprende más de 0 % en masa y 0,015 % en masa o menos de B.

40 3. El tubo hueco sin costura para un resorte de alta resistencia de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, donde el  
 material de acero comprende uno o más tipos seleccionados del grupo que consiste en: más de 0 % en masa y 1 %  
 en masa o menos de V; más de 0 % en masa y 0,3 % en masa o menos de Ti; y más de 0 % en masa y 0,3 % en  
 masa o menos de Nb.

45 4. El tubo hueco sin costura para un resorte de alta resistencia de acuerdo con una cualquiera de las  
 reivindicaciones 1 a 3, donde el material de acero comprende uno o más tipos seleccionados del grupo que consiste  
 en: más de 0 % en masa y 3 % en masa o menos de Ni; y más de 0 % en masa y 3 % en masa o menos de Cu.

50 5. El tubo hueco sin costura para un resorte de alta resistencia de acuerdo con una cualquiera de las  
 reivindicaciones 1 a 4, donde el material de acero comprende más de 0 % en masa y 2 % en masa o menos de Mo.

55 6. El tubo hueco sin costura para un resorte de alta resistencia de acuerdo con una cualquiera de las  
 reivindicaciones 1 a 5, donde el material de acero comprende uno o más tipos seleccionados del grupo que consiste  
 en: más de 0 % en masa y 0,005 % en masa o menos de Ca; más de 0 % en masa y 0,005 % en masa o menos de  
 Mg; y más de 0 % en masa y 0,02 % en masa o menos de REM.

7. El tubo hueco sin costura para un resorte de alta resistencia de acuerdo con una cualquiera de las  
 reivindicaciones 1 a 6, donde el material de acero comprende uno o más tipos seleccionados del grupo que consiste  
 en: más de 0 % en masa y 0,1 % en masa o menos de Zr; más de 0 % en masa y 0,1 % en masa o menos de Ta; y  
 más de 0 % en masa y 0,1 % en masa o menos de Hf.

FIG. 1

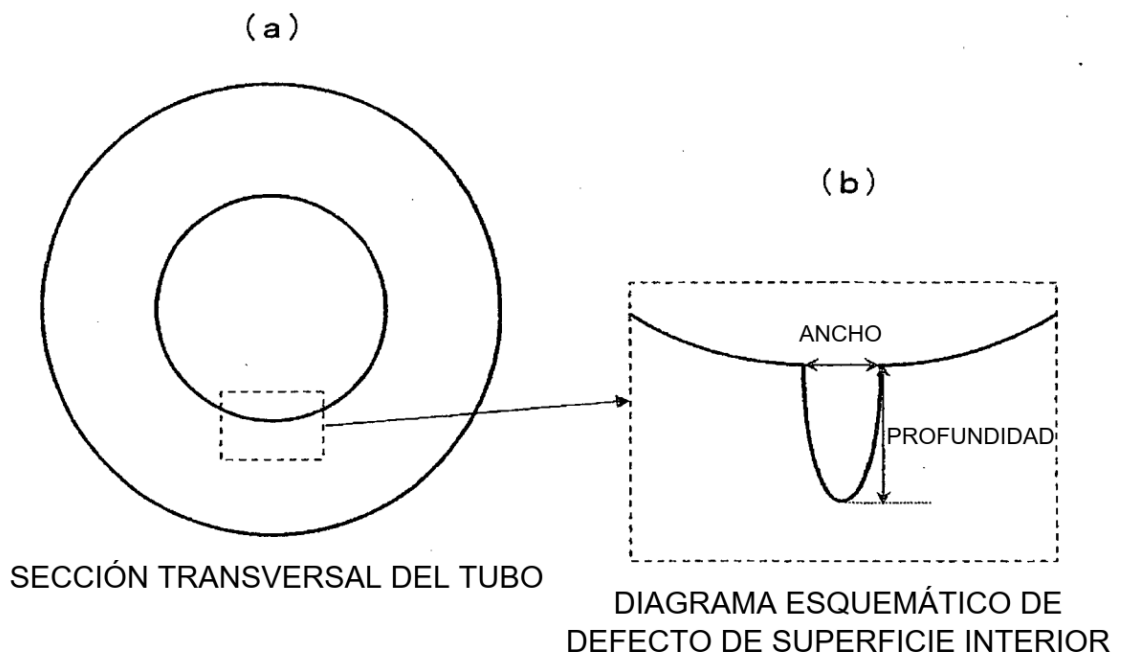


FIG. 2

