(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 709 515**

(51) Int. CI.:

C22C 38/00 (2006.01)
C21D 9/02 (2006.01)
C22C 38/38 (2006.01)
C22C 38/58 (2006.01)
C21D 7/06 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.12.2010 PCT/JP2010/073003**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **30.06.2011 WO11078165**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.12.2010 E 10839395 (0)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.01.2019 EP 2518175**

(54) Título: **Acero para muelles de alta resistencia**

(30) Prioridad:

22.12.2009 JP 2009291143

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.04.2019

(73) Titular/es:

KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (100.0%)
10-26 Wakinohama-cho 2-chome, Chuo-ku
Kobe-shi
Hyogo 651-8585, JP

(72) Inventor/es:

NAGAMATSU, SAYAKA;
MARUO, TOMOTADA y
YOSHIHARA, NAO

(74) Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Acero para muelles de alta resistencia

La presente invención se refiere a un acero para muelles útil como materia prima para un muelle helicoidal y se refiere específicamente a un acero para muelles utilizado en la fabricación de un muelle helicoidal y que tiene la resistencia a la tracción de clase 1,900 MPa en condiciones de templado.

En lo que se refiere a un muelle utilizado para automóviles y similares (muelle de suspensión y similares), se requiere una reducción del peso para reducir el gas de escape y mejorar el consumo de combustible y, como parte del mismo, se refiere a un alto reforzamiento. En un muelle altamente reforzado, se eleva la sensibilidad contra los defectos, está sujeto a que se produzca la rotura por corrosión por picadura causada por la adhesión de agentes para derretir la nieve, por ejemplo, una rotura prematura debido a fatiga con corrosión, lo cual constituye un problema. Por lo tanto, se ha necesitado un muelle con una alta resistencia y excelentes propiedades contra la fatiga con corrosión. Por ejemplo, "UHS1900" desarrollado anteriormente por el autor de la presente solicitud como acero para muelles puede conseguir unas excelentes propiedades contra la fatiga con corrosión si bien la resistencia a la tracción es de hasta clase 1,900 MPa realizando el templado y revenido después del arrollarlo en la forma de muelle. Por consiguiente, un muelle obtenido del acero para muelles puede satisfacer tanto la alta resistencia como unas excelentes propiedades contra la fatiga con corrosión.

En general, dicho muelle se fabrica estirando un acero para muelles (barra de alambre), acabado en frío, a continuación, calentamiento, enrollado en caliente, a continuación, templado, revenido y fraguado. El templado y tratamiento de revenido tras el enrollamiento en caliente se realiza para ajustar la resistencia del muelle. En el tratamiento con calor, como por ejemplo el templado y el tratamiento de revenido, se emite gran cantidad de CO_2. En los últimos años, sin embargo, con el objetivo de reducir la carga que supone contra el medioambiente, se ha requerido la reducción del CO_2 intensamente como una de las medidas preventivas contra el calentamiento global. Por lo tanto, incluso en las etapas de fabricación de un muelle helicoidal, se exige la reducción de la cantidad de CO_2 emitida.

Asimismo, en el documento de patente 1, se propone un acero para un estabilizador en el que se mejoran la tenacidad a la temperatura habitual y la tenacidad a baja temperatura realizando el templado en agua enseguida después de la conformación en caliente y dejándolo como templado en agua sin realizar el revenido. El acero para un estabilizador se caracteriza por que se ajusta la composición de los componentes en un sistema bajo C - alto Mn-Cr o un sistema bajo C - alto Mn-Br-Cr al que se añade un elemento o dos elementos o más entre Ti, V, Nb. El estabilizador que es la materia objeto del documento de patente 1 pertenece a un campo técnico diferente al del muelle helicoidal. Por ejemplo, el nivel de resistencia es clase 800 MPa, en el que las propiedades contra la fatiga con corrosión no suponen un problema, y el estabilizador no está relacionado con el muelle de un alto intervalo de resistencia (clase 1,900 Mpa, por ejemplo), en el que se requiere la satisfacción de las propiedades contra la fatiga por corrosión simultáneamente.

Asimismo, en general, la resistencia de los materiales de hierro y acero aumentan a medida que aumenta la dureza y, a medida que aumenta la dureza, desciende la tenacidad. Es decir, cuando la resistencia de los materiales de hierro y acero aumenta, desciende la tenacidad, sin embargo, como material para un muelle, se requiere propiedades contra la fractura para dar la capacidad de soportar el entorno de uso duro de un muelle y se hace necesario asegurar la tenacidad, o la tenacidad a baja temperatura, en particular, lo cual es importante cuando se utiliza en una región de clima frío, incluso en muelles como los muelles de suspensión altamente reforzados y similares.

Por ejemplo, el documento de patente 2 divulga la mejora de la ductilidad y la tenacidad en un acero para muelles de alta resistencia ajustando diversas composiciones y el documento de patente 3 divulga la obtención de un acero para muelles que tiene tanto dureza como tenacidad ajustando diversas composiciones. Sin embargo, ambos documentos de patente 2 y 3 se centran en la tenacidad a la temperatura habitual y no consideran la tenacidad a baja temperatura. Generalmente, la tenacidad a baja temperatura es inferior a la tenacidad a la temperatura habitual y, teniendo en cuenta la tenacidad a la temperatura habitual divulgada en los documentos de patente 2 y 3, la tenacidad a baja temperatura en la tecnología de los documentos de patente 2 y 3 resulta insuficiente.

[Documento de patente 1] Patente japonesa Nº 4406341
[Documento de patente 2] Patente japonesa Nº 3577411
[Documento de patente 3] Patente japonesa Nº 3246733

Asimismo, la patente japonesa JP 2004-263247 A divulga un acero para un muelle conformado en frío que contiene de 0,36 a 0,46 % en masa de C. Asimismo, la patente japonesa JP 2001-049337 A divulga un método para producir un muelle de alta resistencia excelente en cuanto a la resistencia a la fatiga que contiene de 0,36 a 0,48 % en masa de C.

La presente invención fue desarrollada teniendo en cuenta dichas circunstancias, tal como se ha descrito, y su objeto es proporcionar un acero para muelles con capacidad para fabricar un muelle helicoidal consiguiendo tanto una alta resistencia como unas propiedades contra la fatiga con corrosión excelentes, así como una excelente tenacidad a baja temperatura incluso cuando se omite el tratamiento de revenido tras el templado en el trabajado del muelle helicoidal. Asimismo, otro objeto de la presente invención es proporcionar un muelle obtenido del acero para muelles.

Un acero para muelles de alta resistencia en relación con la presente invención que puede resolver los problemas contiene C: 0,15-0,33 % (significa % en masa, en adelante se aplica lo mismo); Si: 1-3,5 %; Mn: 0,20-2,0 %; y contiene al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en Ti: 0,005-0,10 %, Nb: 0,005-0,05 % y V: 0,05-0,25 %; Cr: 0,05-1,20 %; P: 0,030 % o menos; S: 0,02 % o menos; y que contiene además opcionalmente Ni: 0,05-2 % y Cu: 0,05-0,50 %; y que contiene además opcionalmente B: 0,005 % o menos y/o Mo: 0,60 % o menos siendo el resto hierro e impurezas inevitables, en las que un carbono equivalente Ceq1 expresado por la fórmula (1) a continuación es 0,55 o menos. Ceq1 = [C]+0,108 x [Si]·0,067 x [Mn]+0,024 x [Cr]-0,05 x [Ni]+0,074 x [V]...(1) (En la fórmula (1), cada símbolo entre corchetes representa el contenido (% en masa) del elemento correspondiente).

El acero para muelles de la presente invención puede contener Ni: 0,15-2 %.

Asimismo, preferentemente el acero para muelles de la presente invención contiene al menos un elemento seleccionado de un grupo que consiste en Ti: 0,035-0,10 %, Nb: 0,005-0,05 % y V: 0,05-0,25 % y el número de tamaño de grano tras el templado es 7,5 o más.

Cuando se utiliza el acero para muelles, se enrolla en frío el acero para muelles, se apaga y a continuación, se somete a fraguado omitiendo el revenido, pudiéndose fabricar un muelle con ambas propiedades.

En el acero para muelles de la presente invención, se controlan específicamente la cantidad de elementos de la aleación específica y el equilibrio de la mezcla de forma apropiada; por lo tanto, en la fabricación de un muelle helicoidal con el uso del acero para muelles, es posible emitir el tratamiento de revenido después de templado y se puede conseguir un muelle tanto con alta resistencia como con excelentes propiedades contra la fatiga con corrosión y que tenga excelente tenacidad a baja temperatura en un estado templado.

[FIG. 1] FIG. 1 es un gráfico en el que se muestra la relación entre el carbono equivalente (Ceq1) y el período de tiempo hasta que se agrieta por fragilización por hidrógeno una muestra obtenida en el ejemplo 1,
[FIG. 2] FIG. 2 es un gráfico en el que se muestra la relación entre la resistencia a la tracción y una tenacidad a baja temperatura (vE_{-50}) de una muestra obtenida en el ejemplo 2.

Al fabricar un muelle por enrollado de un acero para muelles, los autores de la presente invención han llevado a cabo un intensivo y laborioso estudio para proporcionar un acero para muelles con el que se pueda fabricar un muelle que tenga tanto una alta resistencia como propiedades contra la fatiga con corrosión excelentes, así como una excelente tenacidad a baja temperatura al mismo tiempo que se omite el tratamiento de revenido después de realizar templado tras el enrollado. Como resultado, se ha observado que cuando se limita el tipo de elementos de aleación fundamental contenidos en un acero a C, Si, Mn, Cr y al menos un elemento entre Ti, Nb y V, o se limita a aquel en el que se añade además al grupo de estos elementos (i) Ni y Cu o se añade además (ii) B y/o Mo y se incluyen más positivamente Si y Mn al tiempo que se reduce la cantidad de C, Ti, Nb, V, Cr, Ni y Cu entre estos elementos en la medida de lo posible, se puede omitir el tratamiento de revenido después del templado en la fabricación de un muelle enrollando el acero para muelles y se puede proporcionar un muelle que tiene tanto resistencia a la tracción de clase 1,900 Mpa como unas excelentes propiedades contra la fatiga con corrosión en un estado templado, así como una excelente tenacidad a baja temperatura ajustando más estrictamente el contenido de Ti, Nb y V, por lo que han completado la presente invención.

El acero para muelles de la presente invención se caracteriza por que la cantidad de C en particular se reduce a la cantidad de C utilizada para un acero para muelles ordinario. Al reducir la cantidad de C, la cantidad de carburo precipitada en el acero se puede reducir y por lo tanto, se puede omitir el templado que se realiza tras el revenido en el proceso de fabricación de muelles habitual. Es decir, tal como se ha descrito, normalmente se fabrica el muelle por estirado del acero para muelles (barra de alambre), acabado en frío, a continuación, calentamiento, enrollado en caliente, después templado, revenido y fraguado. De acuerdo con las necesidades, se lleva a cabo el granallado después del fraguado y la pintura después. Sin embargo, dado que se reduce la cantidad de C del acero para muelles de la presente invención, la resistencia del muelle puede asegurarse incluso cuando se realiza el fraguado omitiendo el templado tras el revenido.

Por otra parte, en el acero para muelles de la presente invención, se añaden positivamente Si y Mn. Si y Mn son elementos fácilmente obtenibles y se puede asegurar un suministro estable incluso aunque se aumenten las cantidades de Si y Mn. Asimismo, dado que Si y Mn tienen la acción de mejorar la resistencia sin hacer descender la tenacidad, es posible conseguir tanto una alta resistencia como excelentes propiedades contra la fatiga por corrosión añadiendo Si y Mn positivamente.

Para conseguir de forma segura tanto una alta resistencia como propiedades contra la fatiga con corrosión sobre la base del conocimiento que se ha descrito, es necesario estipular de forma estricta la cantidad de cada elemento y estipular también la relación entre ellos. Es decir, en la presente invención, la composición de componentes del acero para muelles se designó tal como se describe a continuación y el carbono equivalente Ceq1 expresado por la ecuación (1) a continuación se estableció en 0,55 o menos. En la fórmula (1) a continuación, cada símbolo entre corchetes representa el contenido en masa (% en nasa) del elemento correspondiente.

<Composición de componentes de acero para muelles>

El acero para muelles contiene C: 0,15-0,33 %, Si: 1-3,5 %, Mn: 0,20-2,0 % y contiene al menos un elemento seleccionado de un grupo que consiste en Ti: 0,005-0,10 %, Nb: 0,005-0,05 % y V: 0,05-0,25 % y Cr: 0,05-1,20 %.

$$\mathbf{Ceq1 = [C]+0{,}108 \times [Si]\cdot 0{,}067 \times [Mn]+0{,}024 \times [Cr]-0{,}05 \times [Ni]+0{,}074 \times [V]...(1)}$$

La razón para establecer la cantidad de adición de cada elemento y la razón para estipular el carbono equivalente Ceq1 es tal como se describe a continuación.

La razón por la que C es 0,15 % o más es la de mejorar la templabilidad y asegurar la resistencia. Asimismo, la razón de que C sea 0,33 % o menos es la de prevenir el deterioro de la tenacidad y las propiedades contra la fatiga con corrosión. El límite inferior de la cantidad de C es preferentemente 0,2 % o más, más preferentemente 0,25 % o más.

La razón de que Si sea 1 % o más es que Si actúe como un elemento de reforzamiento de la solución sólida y asegurar la resistencia. Cuando Si está por debajo de 1 %, la resistencia de la matriz es insuficiente. Por otra parte, cuando la cantidad de Si resulta excesiva, la disolución del carburo resulta insuficiente en el calentamiento para el templado, el calentamiento a una temperatura más alta se hace necesaria para conseguir que el acero sea uniformemente austenítico, progresa la descarbonización de la superficie y se deterioran las propiedades contra la fatiga del muelle. Por lo tanto, al incluir Si en un 3,5 % o menos, se puede suprimir la descarbonización descrita, se puede suprimir la aparición de oxidación en borde del grano y similar y se puede prevenir el descenso de la resistencia como consecuencia de la formación de una estructura anormal. Se incluye Si preferentemente en un 1,5 % o más y 3,0 % o menos, más preferentemente 1,80 % o más y 2,5 % o menos.

Al incluir Mn en un 0,20 % o más, puede mejorarse la templabilidad y se puede asegurar la resistencia. Asimismo, al formar inclusiones a base de sulfuro, se puede prevenir el debilitamiento del límite del grano debido al S y se puede mejorar la tenacidad o las propiedades contra la fatiga con corrosión. Asimismo, al incluir Mn en un 2,0 % o menos, se genera una estructura superenfriada y se puede prevenir el deterioro de la tenacidad y las propiedades contra la fatiga con corrosión. Asimismo, puede suprimirse la formación y engrosamiento de excesivas inclusiones a base de sulfuro y prevenirse el deterioro de la tenacidad y las propiedades contra la fatiga con corrosión. El límite inferior de la cantidad de MN es preferentemente 0,5 % o más, más preferentemente 0,80 % o más y el límite superior de la cantidad de Mn es preferentemente 1,8 % o menos y especialmente preferentemente 1,5 % o menos.

La razón de que Ti sea 0,005 % o más es la de hacer mínimos los granos austeníticos anteriores tras el templado, para mejorar la resistencia y la relación del límite elástico y mejorar la tenacidad y las propiedades contra la fatiga por corrosión. Al mejorar la tenacidad, puede mejorarse la resistencia al pandeo. Asimismo, la razón de incluir Ti en un Ti 0,10 % o menos es prevenir la precipitación de inclusiones gruesas (nitruro de Ti por ejemplo) y suprimir el deterioro de las propiedades contra la fatiga con corrosión. El límite inferior de la cantidad de Ti es preferentemente 0,01 % o más (es especialmente preferentemente 0,05 % o más) y el límite superior de la cantidad de Ti es preferentemente 0,080 % o menos, más preferentemente 0,07 % o menos.

V es un elemento que actúa de manera eficaz para mejorar aún más la templabilidad y mejorar la resistencia. Asimismo, V es un elemento que mejora la tenacidad para contribuir a mejorar la resistencia al pandeo y reducir el tamaño de los granos para mejorar la resistencia y la relación del límite de elasticidad. Para ejercer dichas acciones, V se incluye preferentemente en un 0,05 % o más, más preferentemente 0,08 % o más y aún más preferentemente 0,1 % o más. Sin embargo, cuando V resulta excesivo, se forma carbonitruro grueso y se deterioran la tenacidad y propiedades contra la fatiga con corrosión. Por consiguiente, V ha de incluirse en un 0,25 % o menos, preferentemente 0,22 % o menos y más preferentemente 0,2 % o menos.

Nb es un elemento que mejora la tenacidad para contribuir a mejorar la resistencia al pandeo y es un elemento que reduce el tamaño de los granos para mejorar la resistencia y relación de límite de elasticidad. Para ejercer dichas acciones, la cantidad de Nb ha de ser 0,005 % o más, preferentemente 0,008 % o más y más preferentemente 0,01 % o más. Por otra parte, cuando la cantidad de Nb resulta excesiva, se influye negativamente sobre la tenacidad. Por consiguiente, la cantidad de Nb ha de ser 0,05 % o menos, preferentemente 0,04 % o menos y más preferentemente 0,03 % o menos.

Ti, V y Nb se pueden añadir en solitario o se pueden añadir combinándolos con dos elementos o más. El contenido de Ti, V y Nb es preferentemente Ti: 0,035-0,10 %, Nb: 0,005-0,05 %, V: 0,05-0,25 % respectivamente y debe haber

un contenido de al menos un elemento de los mi9smos. Asimismo, al contener Ti, V y Nb en estos intervalos, el efecto de reducir el tamaño del grano puede ejercerse eficazmente y el número del tamaño del grano tras en templado puede ser 7,5 o superior, lo cual tiene como resultado ejercer una tenacidad a baja temperatura excelente. El número del tamaño del grano tras el templado es preferentemente 8,0 o superior, más preferentemente 9,0 o superior. La tenacidad a baja temperatura del acero para muelles de la presente invención es por ejemplo, 50J/cm^2 o más en lo que se refiere a la energía absorbida según la prueba de Charpy a -50°C, preferentemente 70 J/cm^2 o más y más preferentemente 80 J/cm^2 o más.

Al incluir Cr en un 0,05 % o más, se refuerza la matriz de acero reforzando la solución sólida, se mejora la templabilidad y se puede asegurar la resistencia. Asimismo, Cr es un elemento que hace la herrumbre formada en la capa superficial en condiciones corrosivas amorfa y densa y contribuye a mejorar la resistencia a la corrosión. Por otra parte, al incluir Cr en un 1,20 % o menos, se evitan el descenso del punto de transformación y la formación de una estructura superenfriada, se pueden asegurar la tenacidad y las propiedades contra la fatiga con corrosión y reducir la resistencia y la dureza como consecuencia de una disolución insuficiente del carburo de Cr –en el templado. Cr es preferentemente 0,1 % o más y 1,10 % o menos, más preferentemente 0,5 % o más y 1,05 % o menos.

El resto del acero para muelles de la presente invención es sustancialmente hierro. Sin embargo, se permite justamente incluir en el acero las impurezas inevitables que entren debido a la situación del material, como material de hierro (incluyendo chatarra), materia prima auxiliar y similares, así como las instalaciones de fabricación y similares. Entre las impurezas inevitables, se estipula particularmente que P sea 0,030 % o menos y S sea 0,02 % o menos. La razón de que se haya estipulado dichos intervalos se describe a continuación.

La razón de que se incluya P en un 0,030 % o menos es suprimir la segregación del límite del grano austenítico anterior y debilitar el límite del grano y prevenir el deterioro de la tenacidad y propiedades contra la fatiga con corrosión. P es preferentemente 0,02 % o menos, más preferentemente 0,01 % o menos. Si bien la cantidad de P es preferentemente la más baja posible, normalmente se incluye en aproximadamente 0,001 %.

La razón de que se incluya S en un 0,02 % o menos es la de prevenir que se formen inclusiones a base de sulfuro en el acero, engrosadas y se deterioren las propiedades contra la fatiga con corrosión. S es preferentemente 0,015 % o menos, especialmente preferentemente 0,01 % o menos. Similar a P, la cantidad de S es preferentemente la más baja posible, si bien normalmente se incluye en aproximadamente 0,001 %.

La cantidad total de P y S es preferentemente 0,015 % o menos, más preferentemente 0,010 % o menos.

La razón por la que se incluye el carbono equivalente Ceq1 en 0,55 o menos es conseguir tanto resistencia como propiedades contra la fatiga con corrosión del muelle incluso cuando se omite el tratamiento de revenido tras el templado en la fabricación de un muelle helicoidal por enrollamiento del acero para muelles. Es decir, el carbono equivalente Ceq1 representa el grado de contribución de un elemento de aleación que ejerce una influencia sobre la dureza tras el templado, la dureza de una parte núcleo del muelle puede asegurarse omitiendo el tratamiento de revenido tras el templado, al mismo tiempo que se reduce el valor y se consigue un alto reforzamiento. Asimismo, al suprimir el carbono equivalente Ceq1 en 0,55 o menos, se puede reducir el elemento de aleación y se puede asegurar más un suministro estable. El carbono equivalente Ceq1 es preferentemente 0,53 o menos, más preferentemente 0,50 o menos. Asimismo, se puede reducir el coste ya que la composición se designa para el carbono equivalente Ceq1 sea lo más reducido posible, aunque, para conseguir tanto resistencia como propiedades contra la fatiga con corrosión, es necesario añadir elementos de aleación en cierto grado. Por lo tanto, el límite inferior del carbono equivalente Ceq1 es 0,30. Asimismo, en el cálculo de la fórmula (1) a continuación, cuando no está contenido un elemento, se deberá ejecutar el cálculo asumiendo que el contenido del elemento es 0 % en masa.

El acero para muelles de la presente invención debe satisfacer la composición química de componentes y el carbono equivalente Ceq1, si bien con el objetivo de mejorar aún más las propiedades, puede incluirse Ni y Cu y puede incluirse B y/o Mo.

Cuando se incluyen Ni y Cu (es decir, cuando se utilizan Ni y Cu simultáneamente), la cantidad de Ni ha de ser 0,05-2 % y la cantidad de Cu ha de ser 0,05-0,50 %. La razón de que Ni sea 0,05 % o más es mejorar la tenacidad, reducir la sensibilidad a los defectos y mejorar las propiedades contra la fatiga con corrosión. Asimismo, Ni tiene una acción de hacer la herrumbre formada amorfa y densa para mejorar la resistencia a la corrosión y también una acción de mejorar la resistencia de fraguado que es una propiedad del muelle importante. Por otra parte, al incluir Ni en un 2 % o menos, se puede prevenir el descenso del punto de transformación y formación de una estructura superenfriada y asegurar la tenacidad y las propiedades contra la fatiga con corrosión. Ni es preferentemente 0,15 % o más y 2 % o menos, más preferentemente 0,18 % o más y 1,5 % o menos, más preferentemente aún 0,20 % o más y 1 % o menos, especialmente 0,5 % o menos.

Dado que Cu es un elemento electroquímicamente más noble que el hierro, es un elemento que tiene la acción de hacer la herrumbre densa y mejorar la resistencia a la corrosión. Por lo tanto, cuando se incluye Cu, la cantidad de

Cu ha de ser 0,05 % o más. Sin embargo, incluso cuando se añade Cu en exceso, su efecto satura y es posible que se produzca adversamente el debilitamiento de la materia prima como consecuencia del laminado en caliente. Por consiguiente el límite superior de la cantidad de Cu se establece en 0,50 % o menos. Cu es preferentemente 0,1 % o más y 0,4 % o menos, más preferentemente 0,15 % o más (especialmente 0,18 % o más) y 0,3 % o menos.

B es un elemento que potencia la templabilidad para mejorar además la resistencia del límite del grano, que potencia la tenacidad para mejorar la resistencia de fraguado y que hace que la herrumbre formada en la superficie sea densa para mejorar la resistencia a la corrosión. Para ejercer dichas acciones, B se incluye preferentemente en un 0,0005 % o más, más preferentemente 0,001 % o más y más preferentemente aún 0,0015 % o más. Sin embargo cuando B resulta excesivo, los efectos se saturan y se forma carbonitruro grueso y se deterioran la tenacidad y las propiedades contra la fatiga con corrosión. Por lo tanto, B ha de ser 0,005 % o menos, preferentemente 0,004 % o menos y más preferentemente 0,003 % o menos.

Mo es un elemento que potencia la tenacidad y contribuye a mejorar la resistencia de fraguado y es un elemento que asegura la templabilidad y potencia la resistencia y la tenacidad del acero. Para ejercer dichas acciones eficazmente, la cantidad de Mo es preferentemente 0,05 % o más, más preferentemente 0,08 % o más y más preferentemente aún 0,10 % o más. Por otra parte, incluso si la cantidad de Mo resulta excesiva, se saturan los efectos. Por lo tanto, la cantidad de Mo ha de ser 0,60 % o menos, más preferentemente 0,50 % o menos y más preferentemente aún 0,35 % o menos. B y Mo pueden estar contenidos en solitario o se pueden utilizar los dos simultáneamente.

Tal como se ha descrito, el acero para muelles de la presente invención se caracteriza por que la cantidad de cada elemento de la aleación se estipula estrictamente y se estipula la relación ente los mismos, y cuando se utiliza el acero para muelles, se puede omitir el tratamiento de revenido tras el templado realizado tras el enrollamiento y se puede fabricar un muelle que tiene tanto una alta resistencia de 1,900 MPa o más como resistencia a la tracción incluso en un estado templado y propiedades contra la fatiga con corrosión excelentes. Asimismo, al controlar más estrictamente el contenido de los elementos que tienen una acción de reducción del tamaño del grano (Ti, Nb y V), se puede mejorar la tenacidad a baja temperatura. A continuación, se describirá un método para fabricar un muelle a partir del acero para muelles.

En la fabricación de un melle a partir del acero para muelles de la presente invención es necesario omitir el revenido tras el templado. Es decir, aunque el proceso es el mismo que el de la técnica anterior, al incluir las etapas de estirado del acero para muelles (barra de alambre) que satisface la composición química de componentes, acabado en frío, a continuación calentamiento, enrollamiento en caliente para formar una forma de muelle y templado, es necesario realizar el fraguado omitiendo el revenido tras el templado. Dado que se reduce la cantidad de C del acero para muelles de la presente invención con respecto a la del acero para muelles de la técnica anterior, cuando se reviene tras el templado, el acero para muelles se ablanda excesivamente y se deterioran la tenacidad y las propiedades contra la fatiga con corrosión. Por consiguiente, es necesario omitir el revenido tras el templado.

En el presente documento “omisión del revenido” significa que no se calienta el muelle a una temperatura por encima de 350 ºC tras el templado.

El fraguado se puede realizar tanto en un estado en frío como en un estado en caliente. La temperatura del fraguado en frío puede ser la temperatura normal y la temperatura del fraguado en caliente puede ser aproximadamente 200-250 °C.

Después del fraguado, puede realizarse la pintura tras el granallado de acuerdo con las necesidades. Las condiciones del granallado y la pintura no están limitadas en particular y se pueden emplear las condiciones normales.

De este modo se puede obtener un muelle que tenga tanto una alta resistencia como excelentes propiedades contra la fatiga con corrosión, así como una excelente tenacidad a baja temperatura.

Las condiciones de fabricación del acero para muelles en relación con la presente invención no está limitado en particular, sin embargo, para conseguir el tamaño de grano número 7,5 o superior, que es un aspecto preferente de la presente invención, es recomendable realizar el calentamiento a temperatura antes del templado a 925°C o por debajo de esta temperatura con un período de calentamiento de 15 minutos o menos. Los límites inferiores de la temperatura de calentamiento antes del templado y el período de calentamiento no están limitados en particular, sin embargo, el límite inferior de la temperatura de calentamiento es aproximadamente 850 ºC y el límite inferior del período de calentamiento es aproximadamente 10 minutos normalmente.

[Ejemplos]

Aunque la presente invención se describe a continuación más específicamente haciendo referencia a los ejemplos, la presente invención no queda limitada con los ejemplos descritos a continuación, pudiéndose implementar naturalmente la presente invención incorporando modificaciones de forma apropiada dentro del intervalo adaptable a

los fines descritos anteriormente y más adelante y cualquiera de ellas queda incluida dentro del alcance técnico de la presente invención

Ejemplo 1

Después de fundir la composición química de componentes que se muestra en la Tabla 1, más adelante (el resto es hierro e impurezas inevitables) en un horno de fundido al vacío de 150 kg, se mantuvo el acero a 1,200 ºC, se forjó en caliente después en un tocho de 155 mm^2, se laminó en caliente el tocho y se fabricó el acero para muelles con un diámetro de 13,5 mm (barra de alambre para el muelle). Se sometió la barra de alambre para un muelle a laminado de acabado para que el diámetro llegara a ser 12,5 mm, a continuación se cortó a la longitud de 70 mm y después se templó. Se llevó a cabo el templado por calentamiento durante 10 minutos a la temperatura de 925 ºC y después se sumergió en un baño de aceite con una temperatura de 50 ºC. Después del templado, se cortó una muestra de 10 mm de ancho, 31,5 mm de espesor, 365 mm de longitud por mecanizado.

El Nº 29 y Nº 30 presentados en la Tabla 1 son datos que imitan la barra de alambre para un muelle "UHS1900" fabricado por Kobe Steel, Ltd. y en el Nº 30 entre ellos, se fabricó una muestra por templado, después revenido manteniéndolo durante 1 hora a 400 ºC después de mecanizado en las mismas condiciones que antes. En la Tabla 2 se indica si se realizó o no el revenido.

Asimismo, en la Tabla 1 a continuación, se muestra la cantidad de los componentes químicos en el acero y el resultado del cálculo del carbono equivalente (Ceq1) calculado a partir de la fórmula (1) más adelante.

Se examinó la resistencia y las propiedades contra la fatiga con corrosión de la muestra obtenida tal como se describe a continuación.

Se midieron la resistencia y las propiedades contra la fatiga con corrosión de la muestra imitando el fraguado en estado frío y en estado caliente. Es decir, cuando se imitó el fraguado en frío, se utilizó la muestra para cada prueba como tal y cuando se imitó el fraguado en caliente, se utilizó la muestra calentada durante 60 minutos a 200 ºC. La Tabla 2 a continuación presenta cuál entre el fraguado en frío y el fraguado en caliente se utilizó.

<Resistencia>

Se evaluó la resistencia de la muestra midiendo la dureza de la muestra con un analizador de dureza Rockwell utilizando la escala C. En la Tabla 2, más adelante, se muestran los resultados de la medición de la dureza C. En la presente invención, las muestras que tienen una dureza C según la escala de Rockwell de 51 o más se evalúan como aprobadas.

<Propiedades contra la fatiga con corrosión>

Se evaluaron las propiedades contra la fatiga con corrosión realizando una prueba de agrietamiento con fragilización por hidrógeno. En la prueba de agrietamiento con fragilización por hidrógeno, se sumergió la muestra en la solución acuosa de una mezcla de ácido sulfúrico (0,5 mol/L) y tiocianato potásico (KSCN: 0,01 mol/l) aplicando un esfuerzo de 1,400 MPa sobre la muestra por plegado en 4 puntos, se aplicó la tensión de -700 mV que es inferior a la del electrodo SCE utilizando un potenciostato y se midió el tiempo hasta que se produjo el agrietamiento (en adelante se hará referencia a él como “el tiempo transcurrido hasta el agrietamiento por fragilización con hidrógeno”). En la tabla más adelante se muestra el resultado de la medición de la prueba de agrietamiento por fragilización por hidrógeno. En la presente invención, se evalúan como aprobadas aquellas en las que el tiempo transcurrido hasta que se produce el agrietamiento es 600 segundos o más.

Asimismo, los criterios de dureza HRC 51 o superiores y de tiempo transcurrido hasta que se produce el agrietamiento de 600 segundos o más significan una propiedad igual o mejor a la de un muelle de suspensión de acuerdo con la técnica anterior (Nº 30 de la Tabla 2 más adelante) obtenida realizando el revenido tras el templado.

En la FIG. 1, la relación entre el carbono equivalente (Ceq1) y el tiempo hasta que se produce el agrietamiento por fragilización por hidrógeno, los resultados de los Nº 1-15, 31, 33 se indican con □, los resultados de Nº 16-29, 32 se indican con ● y los resultados del Nº 30 (con revenido) se muestra con ○.

Tal como se puede deducir de la FIG.1, se sabe que existe la tendencia de que a medida que se reduce el carbono equivalente (Ceq1), se puede prolongar el tiempo transcurrido hasta que se produce el agrietamiento por fragilización por hidrógeno y se pueden mejorar las propiedades contra la fatiga con corrosión.

Se puede deducir de la Tabla 2 el siguiente estudio.

El Nº 30 es un ejemplo en el que se realizó el revenido tras el templado. En el ejemplo, se aseguró la dureza de la parte del núcleo, la resistencia fue alta, el tiempo hasta que se produjo el agrietamiento por fragilización por hidrógeno fue excelente y las propiedades contra la fatiga con corrosión mejoraron. Sin embargo, dado que se

realizó el tratamiento de revenido tras el templado, no fue posible reducir la cantidad de CO_2 emitido.

Aunque la composición de componentes del Nº 29 es similar a la del Nº 30, es un ejemplo de omisión del revenido tras el templado. En el ejemplo, dado que se omite el tratamiento de revenido, la emisión de la cantidad de CO_2 puede reducirse, sin embargo, ya que el carbono equivalente excede 0,55 y se omite el revenido a pesar de que la cantidad del elemento de la aleación es elevado, la dureza de la parte del núcleo resulta demasiado dura, la tenacidad desciende, el tiempo hasta que se produce el agrietamiento por fragilización de hidrógeno resulta corto y se deterioran las propiedades contra la fatiga con corrosión.

Los Nº 16-28, 32 son ejemplos que no satisfacen el requerimiento estipulado en la presente invención y no se consiguieron la alta resistencia ni las excelentes propiedades contra la fatiga con corrosión simultáneamente. Es decir, el carbono equivalente (Ceq1) del acero para los muelles excedió el intervalo estipulado en la presente invención, se omitió el revenido tras el templado y por tanto se pudo reducir la cantidad de CO_2 emitida, si bien la dureza de la parte del núcleo resultó demasiado dura, descendió la tenacidad, el tiempo hasta producirse el agrietamiento por fragilización por hidrógeno resultó muy corto y se deterioraron las propiedades contra la fatiga con corrosión.

Los Nº 1, 4, 13 y 15 son ejemplos de referencia que no satisfacen los requerimientos estipulados en la presente invención. Los Nº 2, 3, 5-12, 14 y 33 son ejemplos que satisfacen el requerimiento estipulado en la presente invención y se consiguieron tanto una alta resistencia como unas excelentes propiedades contra la fatiga con corrosión. Es decir, al tiempo que se suprimió el carbono equivalente (Ceq1) a 0,55 o inferior, pudo reducirse la cantidad de CO_2 emitida ya que se omitió el revenido tras el templado, se pudo asegurar la dureza de la parte del núcleo apropiadamente y se consiguió una alta resistencia. Asimismo, el tiempo transcurrido hasta producirse el agrietamiento por fragilización por hidrógeno fue prolongado y mejoraron también las propiedades contra la fatiga con corrosión. Asimismo, dado que se suprimió el carbono equivalente (Ceq1) del acero para muelles a 0,55 o menos, el grado de dependencia del elemento de la aleación se puede reducir y puede conseguirse un suministro estable. Por consiguiente, se sabe que cuando se utiliza el acero para muelles de la presente invención, se puede proporcionar un muelle con las propiedades al mismo nivel que el Nº 30 que imita "UHS1900" o superiores.

[Tabla 1]

No.	Composición química (% en masa)													Carbono equivalente (% en masa)
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Ti	Cu	P	S	V	B	P+S	Otros	
1	0,34	1,90	0,25	0,58	1,00	0,081	0,23	0,003	0,008	-	-	0,011		0,52
2	0,33	1,76	0,21	0,40	1,07	0,061	0,28	0,002	0,004	-	-	0,006		0,51
3	0,33	1,76	0,21	0,37	1,08	0,060	0,28	0,001	0,004	0,160	-	0,005		0,53
4	0,34	1,77	0,21	0,33	1,06	0,060	0,28	0,001	0,005	0,158	-	0,006		0,54
5	0,33	2,01	1,21	0,20	0,05	0,031	0,20	0,003	0,005	-	0,002	0,008		0,46
6	0,15	2,20	1,00	0,25	0,20	0,090	0,25	0,015	0,005	-	-	0,020		0,31
7	0,29	3,00	1,70	0,20	0,05	0,032	0,20	0,003	0,005	-	-	0,008		0,49
8	0,29	2,17	0,78	0,20	0,20	0,073	0,16	0,007	0,004	-	-	0,011		0,47
9	0,29	1,76	0,21	0,30	1,06	0,061	0,28	0,001	0,003	0,161	-	0,004		0,49
10	0,15	2,20	1,00	0,25	0,20	0,090	0,25	0,015	0,005	-	0,002	0,020		0,31
11	0,28	2,01	0,48	0,26	1,05	0,060	0,21	0,002	0,006	0,158	0,002	0,008		0,49
12	0,16	2,01	0,80	0,25	1,06	0,061	0,21	0,009	0,007	0,157	0,002	0,016		0,35
13	0,40	2,01	1,20	0,19	0,05	0,031	0,20	0,006	0,005	-	0,002	0,011		0,53
14	0,29	2,01	1,21	0,20	0,05	0,031	0,20	0,007	0,006	-	0,002	0,013		0,42
15	0,40	2,01	1,20	0,19	0,05	0,031	0,20	0,006	0,005	-	0,002	0,011		0,53
16	0,60	1,73	0,88	0,08	0,20	-	0,19	0,010	0,019	0,154	-	0,029	Nb,0,020, Mo:0,03	0,74
17	0,48	1,82	0,21	0,15	1,48	0,072	0,20	0,006	0,006	0,204	-	0,012		0,71
18	0,54	1,81	0,20	0,34	1,25	0,077	0,42	0,006	0,008	0,098	-	0,014		0,74
19	0,45	1,86	0,15	0,50	0,96	0,050	0,19	0,003	0,003	0,104	-	0,006		0,65
20	0,48	2,08	-	0,78	1,50	0,091	0,69	0,007	0,002	-	-	0,009	Nb:0,002	0,70
21	0,49	2,10	0,18	0,67	1,22	0,093	0,52	0,004	0,004	-	-	0,008		0,70
22	0,48	2,10	0,32	0,73	1,12	0,072	0,20	0,007	0,005	-	-	0,012		0,68
23	0,48	2,08	0,36	0,70	1,06	0,075	0,19	0,003	0,004	0,100	-	0,007		0,68
24	0,42	1,92	0,15	0,58	1,02	0,080	0,23	0,025	0,002	0,184	-	0,027		0,63
25	0,40	2,27	1,01	0,25	0,21	0,089	0,26	0,032	0,005	-	-	0,037		0,57
26	0,42	2,24	1,01	0,25	0,21	0,088	0,26	0,040	0,004	-	0,002	0,044		0,59
27	0,41	2,17	0,79	0,25	0,21	0,010	0,27	0,014	0,004	-	0,002	0,018		0,58
28	0,42	2,27	1,21	0,25	0,20	0,015	0,26	0,012	0,005	-	-	0,017		0,58
29	0,41	1,79	0,16	0,44	1,06	0,063	0,26	0,007	0,003	0,154	-	0,010		0,61
30	0,41	1,75	0,18	0,51	1,05	0,070	0,21	0,009	0,004	0,160	-	0,013		0,61
31	0,38	1,71	0,85	0,06	1,02	0,052	0,21	0,003	0,006	0,104		0,009		0,54
32	0,39	2,98	1,70	0,21	0,05	0,035	0,21	0,007	0,005		0,002	0,012		0,59
33	0,32	2,06	1,22		0,05	0,038		0,008	0,006			0,014		0,46

[Tabla 2]

No.	Con/sin revenido	Fraguado	Dureza (HRC)	Tiempo hasta agrietamiento por fragilización por hidrógeno (s)
1	Sin	Frío	55,9	717
2	Sin	Frío	55,8	613
3	Sin	Frío	55,6	844
4	Sin	Frío	56,0	797
5	Sin	Frío	55,3	876
6	Sin	Frío	51,4	1800
7	Sin	Frío	54,6	1797
8	Sin	Frío	55,5	1280
9	Sin	Frío	55,3	1188
10	Sin	Frío	51,1	1800
11	Sin	Frío	55,2	1235
12	Sin	Frío	51,3	1800
13	Sin	Frío	56,2	1562
14	Sin	Calor	54,2	1640
15	Sin	Calor	56,1	1510
16	Sin	río	61,3	40
17	Sin	Frío	59,5	38
18	Sin	Frío	61,3	48
19	Sin	Frío	58,5	466
20	Sin	Frío	58,7	114
21	Sin	Frío	59,0	164
22	Sin	Frío	58,7	144
23	Sin	Frío	59,7	246
24	Sin	Frío	56,0	226
25	Sin	Frío	55,7	355
26	Sin	Frío	55,5	128
27	Sin	Frío	55,9	284
28	Sin	Frío	56,0	411
29	Sin	Frío	55,8	575
30	Con	Frío	52,2	603
31	Sin	Frío	55,5	954
32	Sin	Frío	56,8	579
33	Sin	Frío	55,2	925

Ejemplo 2

Después de fundir el acero con la composición química de componentes indicada en la Tabla 3 (el resto es hierro e impurezas inevitables) en un horno de fundido al vacío de 150 kg, se coló el acero a través de un método de fabricación de lingotes o un método de colada continuo, se fabricó un tocho de 155 mm^2 a continuación se laminó en caliente en un laminador desbastador para dar una barra de alambre con un diámetro de 13,5 mm que se utilizó como material de pruebas. Se calentaron estos materiales de pruebas durante 10 minutos a la temperatura de 925 ºC y, a continuación, se colocaron en un baño de aceite de 50 ºC para el templado. Únicamente, Nº 2-24 fueron sometidos a tratamiento de revenido durante 1 hora a 400 ºC tras el templado.

[Tabla 3]

No.	Composición química (% en masa)												Carbono equivalente (% en masa)
	C	Si	Mn	Cr	V	Ti	P	S	Ni	Cu	P+S	Otros	
2-1	0,30	3,00	1,70	0,05		0,037	0,003	0,005	0,20	0,20	0,008		0,50
2-2	0,30	2,01	1,21	0,05		0,036	0,003	0,005	0,20	0,20	0,008	B:0,002	0,43
2-3	0,15	2,20	1,00	0,20	0,180	0,090	0,010	0,005	0,25	0,25	0,015		0,33
2-4	0,15	2,20	1,00	0,20		0,090	0,010	0,005	0,25	0,25	0,015	B:0,002	0,31
2-5	0,34	2,15	1,00	0,38		0,098	0,009	0,006	0,24	0,22	0,015	Nb:0,01	0,50
2-6	0,34	2,21	1,15	0,65	0,150	0,072	0,005	0,005	0,20	0,31	0,010	Mo:0,23	0,52
2-7	0,38	1,76	0,86	1,08	0,160	0,060	0,001	0,004	0,37	0,28	0,005		0,53
2-8	0,34	1,76	0,86	1,06	0,161	0,061	0,001	0,003	0,30	0,28	0,004	B:0,001	0,49
2-9	0,37	1,79	0,82	1,06	0,170	0,068	0,002	0,006	0,53	0,22	0,008		0,52
2-10	0,37	1,87	0,80	0,98	0,107	0,052	0,002	0,004	0,51	0,06	0,006		0,52
2-11	0,38	1,75	0,84	1,05	0,160	0,074	0,006	0,003	0,51	0,48	0,009		0,52
2-12	0,34	1,79	0,81	1,06	0,154	0,063	0,005	0,003	0,44	0,06	0,008		0,49
2-13	0,35	1,75	0,82	1,09		0,041	0,004	0,004	0,77	0,21	0,008		0,47
2-14	0,38	1,71	0,85	1,02	0,104	0,052	0,003	0,006	0,06	0,21	0,009		0,54
2-15	0,60	1,73	0,88	0,20	0,154		0,010	0,019	0,08	0,19	0,029	Mo:0,13, Nb:0,02	0,74
2-16	0,52	1,89	0,15	1,01	0,179	0,078	0,003	0,023	0,29	0,23	0,026		0,74
2-17	0,46	2,18	0,79	0,21		0,071	0,005	0,004			0,009		0,65
2-18	0,46	2,20	0,41	0,21		0,072	0,007	0,004	0,30		0,011		0,66
2-19	0,45	2,18	0,77			0,069	0,005	0,005	0,20	0,31	0,010		0,62
2-20	0,40	2,21	0,82	0,15			0,005	0,005	0,20	0,31	0,010		0,58
2-21	0,30	3,00	1,70	0,05			0,010	0,005	0,20	0,20	0,015		0,50
2-22	0,30	2,01	1,21	0,05			0,012	0,005	0,20	0,20	0,017	B:0,002	0,43
2-23	0,54	1,50	0,70	0,70			0,012	0,006			0,018		0,67
2-24	0,54	1,50	0,70	0,70			0,012	0,006			0,018		0,67
2-25	0,32	2,06	1,22	0,05		0,038	0,008	0,006			0,014		0,46
2-26	0,39	2,98	1,70	0,05		0,035	0,007	0,005	0,21	0,21	0,012	B:0,002	0,59

<Tenacidad a baja temperatura>

Se tomó una muestra para la prueba de impacto con una muesca en U de 2 mm desde el material de ensayo tras el templado y se obtuvo la energía absorbida según la prueba de Charpy a -50 ºC (vE_{-50}) de acuerdo con JIS Z 2242. Se llevaron a cabo las pruebas en dos piezas de cada tipo de acero y se obtuvo el valor promedio de los mismos fue la energía absorbida según la prueba de Charpy de cada tipo de acero.

<Número del tamaño del grano>

En la posición D/4 (D es el diámetro de la barra de alambre) del material de ensayo tras el templado, se observó un área opcional de 15 mm^2 con un microscopio óptico (aumento: 400 veces más) y se midió el número del tamaño del grano de acuerdo con JIS G 0551, Se llevó a cabo la medición en dos campos de visión y se obtuvo el valor promedio de los mismos como el tamaño de grano austenítico.

En la Tabla 4 se muestran los resultados.

[Tabla 4]

Nº	Número del tamaño del grano	Energía absorbida según la prueba de Charpy **vE_{-50}(J/cm^2)**	Resistencia a la tracción **TS (MPa)**
2-1	**7,5**	**67,7**	**1726**
2-2	**8,5**	**65,7**	**1534**
2-3	**8,7**	**91,8**	**1109**
2-4	**7,8**	**68,0**	**1137**
2-5	**9,0**	**60,9**	**1833**
2-6	**8,2**	**68,4**	**1710**
2-7	**9,5**	**81,3**	**1804**
2-8	**10,0**	**85,7**	**1638**
2-9	**10,8**	**85,8**	**1897**
2-10	**9,5**	**86,5**	**1982**
2-11	**9,0**	**81,6**	**1713**
2-12	**9,0**	**92,3**	**1857**
2-13	**8,8**	**94,3**	**1811**
2-14	**9,5**	**74,7**	**1747**
2-15	**10,5**	**12,2**	**2418**
2-16	**9,5**	**36,7**	**2409**
2-17	**8,2**	**38,5**	**2336**
2-18	**8,4**	**32,2**	**2422**
2-19	**8,2**	**38,5**	**2106**
2-20	**7,0**	**37,5**	**1823**
2-21	**6,0**	**25,5**	**1648**
2-22	**5,4**	**47,5**	**1457**
2-23	**6,3**	**7,0**	**2356**
2-24	**6,3**	**27,5**	**1565**
2-25	**8,2**	**72,5**	**1776**

Los Nº 2-5 a 2-14 de la Tabla 4 son ejemplos de referencia. En los Nº 2-1 a Nº 2-4 de la Tabla 4, dado que se satisfizo el requerimiento de la presente invención y que se ajustaron apropiadamente las cantidades de Ti, Nb y V, en particular se pudo obtener el acero con una alta resistencia y una tenacidad a baja temperatura.

Por otra parte, en los Nº 2-15 a Nº 2-24, dado que no se satisfizo al menos uno cualquiera de los requerimientos de la presente invención, la tenacidad fue insuficiente.

Los Nº 2-15 a Nº 2-19 son ejemplos en los que la cantidad de C fue excesiva y la tenacidad a baja temperatura descendió debido a que la resistencia aumento siendo demasiado alta.

En los Nº 2-20 a Nº 2-22, dado que no hubo un contenido en ninguno de Ti, Nb y V no se ejerció el efecto de la reducción del tamaño del grano y descendió la tenacidad a baja temperatura.

Cualquiera de los Nº 2-23 y Nº 2-24 es el tipo de acero equivalente al acero normalizado 9254 y el Nº 2-24 fue sometido al tratamiento de revenido tras el templado. En los Nº 2-23, la cantidad de C fue elevada y la resistencia aumentó excesivamente, no hubo contenido de ninguno de Ti, Nb y V y por lo tanto descendió la tenacidad a baja temperatura. Asimismo, en los Nº 2-24, descendió la resistencia en comparación con los Nº 2-23 ya que se realizó el tratamiento de revenido, pero descendió la tenacidad a baja temperatura ya que no se incluyó ninguno de Ti, Nb y V.

La FIG. 2 es un gráfico en el que se muestra la relación entre la resistencia y la tenacidad a baja temperatura (energía absorbida según la prueba de Charpy a -50 ºC) con respecto a los Nº 2-1 a 2-24, En la FIG. 2, se muestran los resultados de los Nº 2-1 a 2-14, 2-25 con □, los resultados de los Nº 2-15 a Nº 2-23, 2-26 se muestran con ● y los resultados de los Nº 2-24 se muestran con ○. De acuerdo con la FIG. 2, se sabe que en todos los aceros que satisfacen los requerimientos de la presente invención (se muestra con □ en la FIG. 2), la energía absorbida según la prueba de Charpy fue 50 J/cm^2 o más y se consiguió una tenacidad más alta que la del acero que no satisface ninguno de los requerimientos de la presente invención (se muestra con ● y o en la FIG. 2) en comparación con la misma resistencia.

REIVINDICACIONES

1, Un acero para muelles de alta resistencia que contiene:

C: 0,15-0,33 % (significa % en masa, en adelante lo mismo);
Si: 1-3,5 %;
Mn: 0,20-2,0 %; y que contiene:

al menos un elemento seleccionado de un grupo que consiste en Ti: 0,005-0,10 %, Nb: 0,005-0,05 % y V: 0,05-0,25 %;
Cr: 0,05-1,20 %;
P: 0,030 % o menos;
S: 0,02 % o menos; y
que contiene además opcionalmente Ni: 0,05-2 % y Cu: 0,05-0,50 %; y

que contiene además opcionalmente B: 0,005 % o menos y/o Mo: 0,60 % o menos siendo el resto hierro o impurezas inevitables, donde
un carbono equivalente Ceq1 expresado según la fórmula (1) a continuación es 0,55 o menos.
Ceq1=[C]+0,108 x [Si]-0,067 x [Mn]+0,024 x [Cr]-0,05 x [Ni]+0,074 x [V]...(1) (En la fórmula (1), cada símbolo entre corchetes representa el contenido (% en masa) del elemento correspondiente.)

2. El acero para muelles de alta resistencia de acuerdo con la reivindicación 1 que contiene Ni: 0,15-2 %.

3. El acero para muelles de alta resistencia de acuerdo con la reivindicación 1, que contiene al menos un elemento seleccionado de un grupo que consiste en Ti: 0,035-0,10 %, Nb: 0,005-0,05 % y V: 0,05-0,25 %, donde el tamaño del grano después del templado es 7,5 o superior.

4. Un método para fabricar un muelle de alta resistencia excelente en sus propiedades contra la fatiga con corrosión que comprende las etapas de

enrollado en caliente del acero para muelles de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-3;
templado; y
fraguado después mientras se omite el revenido.

FIG. 1

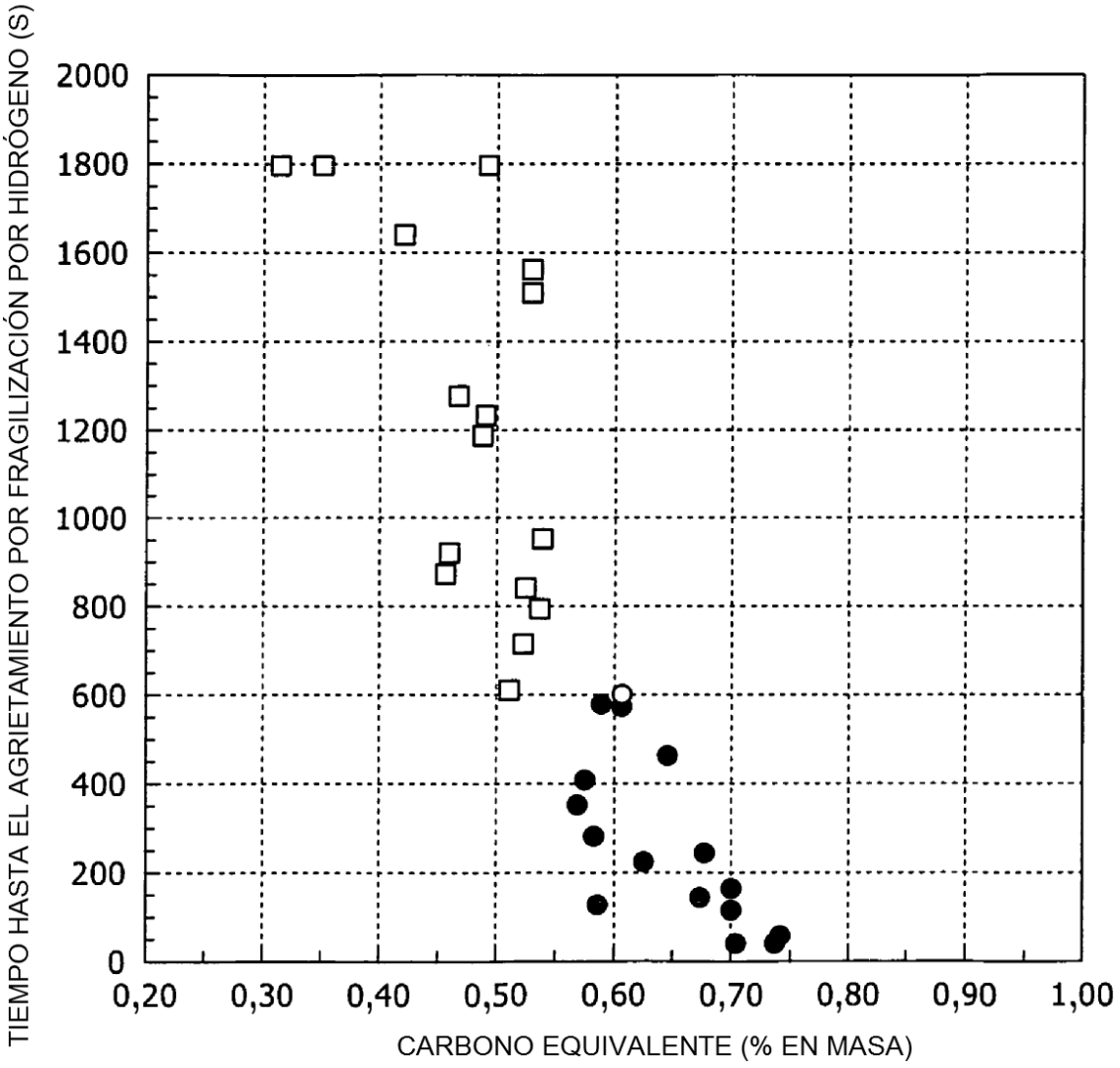
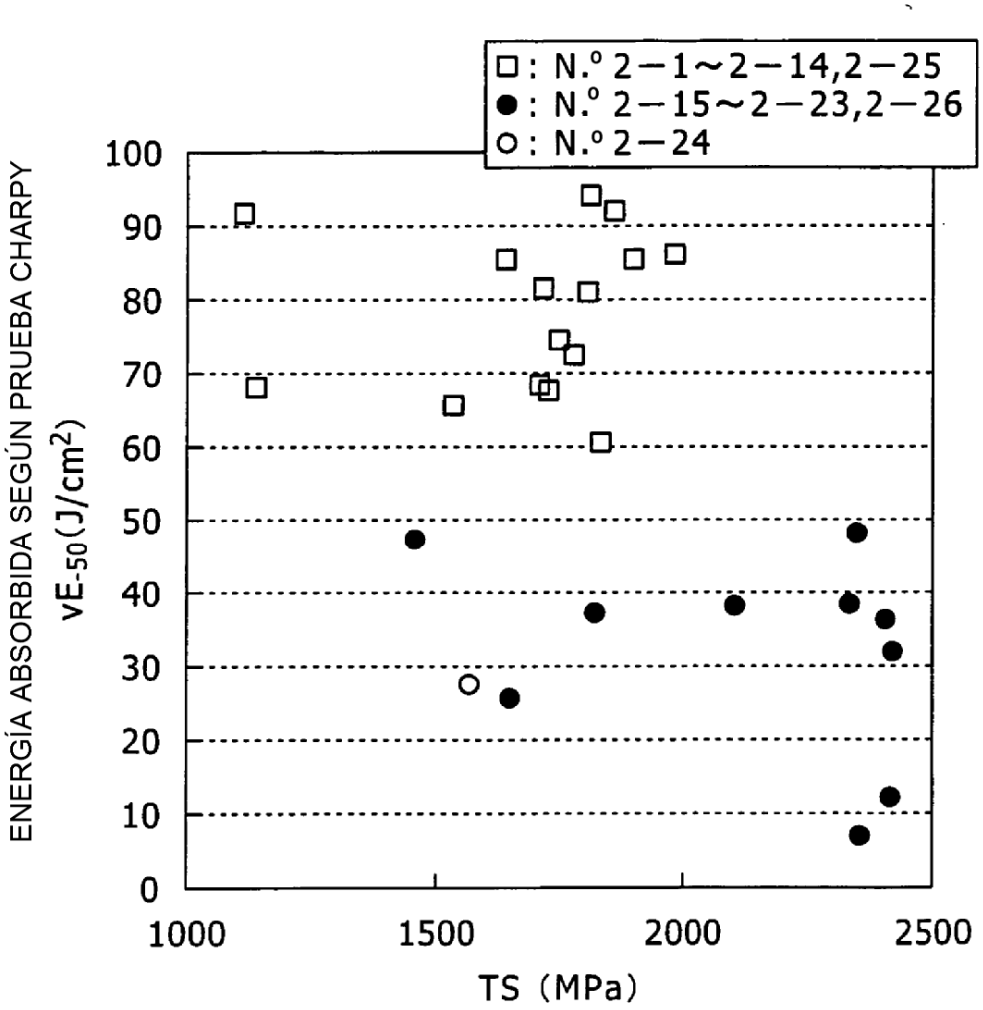

TIEMPO HASTA EL AGRIETAMIENTO POR FRAGILIZACIÓN POR HIDRÓGENO (S)
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0,20
0,30
0,40
0,50
0,60
0,70
0,80
0,90
1,00
CARBONO EQUIVALENTE (% EN MASA)

FIG. 2


□: N.º 2−1~2−14,2−25
●: N.º 2−15~2−23,2−26
○: N.º 2−24
ENERGÍA ABSORBIDA SEGÚN PRUEBA CHARPY
vE-50(J/cm2)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1000
1500
2000
2500
TS (MPa)