

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 681 268**

51 Int. Cl.:

C21D 9/40	(2006.01)
C22C 29/12	(2006.01)
C22C 38/00	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01)
C22C 38/06	(2006.01)
C22C 38/18	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.03.2012 PCT/JP2012/055553**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **04.10.2012 WO12132771**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.03.2012 E 12765877 (1)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.07.2018 EP 2692892**

54 Título: **Acero para rodamiento con excelentes características de fatiga por rodadura, método de fabricación para el mismo, y partes de rodamiento hechas del mismo**

30 Prioridad:

31.03.2011 JP 2011079586

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.09.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**KAIZUKA, MASAKI;
NAGAHAMA, MUTSUHISA;
SHIMAMOTO, MASAKI y
SUGIMURA, TOMOKO**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 681 268 T3

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

DESCRIPCIÓN

Acero para rodamiento con excelentes características de fatiga por rodadura, método de fabricación para el mismo, y partes de rodamiento hechas del mismo

5

Campo técnico

La presente invención se refiere a material de acero para rodamiento que ejerce excelentes propiedades de fatiga por contacto de rodadura cuando se usa como elementos de rodadura para rodamiento (de rodillos, aguja, bolas, etc.) que se usan en diversas máquinas industriales y automóviles, etc., y a partes de rodamientos obtenidas a partir de tal material de acero para rodamiento.

10

Antecedentes en la técnica

15 A los elementos de rodadura para rodamiento (de rodillos, aguja, bolas, etc.) que se usan en los campos de diversas máquinas industriales y automóviles, etc., se aplica un alto esfuerzo repetido en la dirección radial. Por lo tanto, se requiere que los elementos de rodadura para rodamiento tengan excelentes propiedades de fatiga por contacto de rodadura.

20 Se conoce que las propiedades de fatiga por contacto de rodadura disminuyen cuando está presente una inclusión no metálica en el acero. Tradicionalmente, se ha intentado reducir el contenido de oxígeno en el acero tanto como sea posible en los procesos de acero. Sin embargo, las exigencias de las propiedades de fatiga por contacto de rodadura se están volviendo más estrictas cada año en respuesta al alto rendimiento y a la reducción de peso en las máquinas industriales, etc. Se requiere un material de acero para rodamiento que tenga mejores propiedades de fatiga por contacto de rodadura con el fin de mejorar adicionalmente la durabilidad de las partes de los rodamientos.

25

Hasta la fecha, se han presentado diversas técnicas para mejorar las propiedades de fatiga por contacto de rodadura. Por ejemplo, el documento de Patente JP 2007-092164 divulga un material de acero que tiene una capacidad para el estiramiento de alambre y unas propiedades de fatiga por contacto de rodadura excelentes mediante el ajuste apropiado de los intervalos de los contenidos de los elementos, tales como C, Si, Mn, y Al, y mediante la especificación del número de inclusiones de óxidos de acuerdo con las composiciones químicas de los mismos.

30

Sin embargo, esta técnica se usa para convertir la estructura del material de acero en perlita fina, no en una estructura en la que se dispersan carburos esferoidales, y por lo tanto las propiedades de fatiga por contacto de rodadura y la resistencia al desgaste son insuficientes.

35

El documento de Patente JP 2009-030145 divulga material de acero para rodamiento que tiene: una composición química que comprende de un 0,6 a un 1,2 % de C, de un 0,1 a un 0,8 % de Si, de un 0,1 a un 1,5 % de Mn, hasta un 0,03 % de P, hasta un 0,010 % de S, de un 0,5 a un 2,0 % de Cr, hasta un 0,005 % de Al, hasta un 0,0005 % de Ca, y hasta un 0,0020 % de O, siendo el resto Fe e impurezas inevitables; una composición química media de inclusiones de óxidos no metálicos que comprende de un 10 a un 60 % de CaO, hasta un 20 % de Al₂O₃, hasta un 50 % de MnO, y hasta un 15 % de MgO, siendo el resto SiO₂ e impurezas inevitables; y el valor medio aritmético del espesor máximo de cada uno de óxidos y sulfuros, que están presentes en un área de 100 mm² en cada una de diez ubicaciones en la dirección longitudinal de la sección longitudinal del material de acero, son 8,5 μm o menos, respectivamente.

40

45

De acuerdo con esta técnica, las propiedades de fatiga por contacto de rodadura de un miembro, al que se aplica una carga que actúa en la dirección de empuje, mejoran mediante las inclusiones extendiéndose y por lo tanto reduciéndose el espesor; sin embargo, cuando se aplica una carga en la dirección radial, como en un elemento de rodadura, tal como un rodillo, aguja, bola, o similar, no se puede decir que las propiedades de fatiga por contacto de rodadura sean suficientes, y se espera que se pueda producir un pelado temprano.

50

Por otra parte, el documento de Patente JP 2010-007092 divulga material de acero para rodamiento que tiene: una composición química que comprende de un 0,85 a un 1,2 % de C, de un 0,1 a un 0,5 % de Si, de un 0,05 a un 0,6 % de Mn, P ≤ 0,03 %, S ≤ 0,010 %, de un 1,2 a un 1,7 % de Cr, Al ≤ 0,005 %, Ca ≤ 0,0005 %, y O ≤ 0,0020 %, siendo el resto Fe e impurezas inevitables; una composición química media de inclusiones de óxidos no metálicos que incluye de un 10 a un 60 % de CaO, Al₂O₃ ≤ 35 %, MnO ≤ 35 %, y MgO ≤ 15 %, siendo el resto SiO₂ e impurezas inevitables; el valor medio aritmético del espesor máximo de cada uno de los óxidos y sulfuros, que están presentes en un área de 100 mm² en cada una de diez ubicaciones en la dirección longitudinal de la sección longitudinal del material de acero, son 8,5 μm o menos, respectivamente; y la dureza de sección media del material de acero en una posición R/2 desde la superficie del material de acero (donde "R" es el radio del material de acero para rodamiento) estos cientos 90 o menos en dureza Vickers.

55

60

Además, en esta técnica, las propiedades de fatiga por contacto de rodadura de un miembro, al que se aplica una carga que actúa en la dirección de empuje, mejoran mediante las inclusiones extendiéndose y por lo tanto

65

reduciéndose el espesor; sin embargo, cuando se aplica una carga en la dirección radial, como en un elemento de rodadura, tal como un rodillo, aguja, bola, o similar, no se puede decir que las propiedades de fatiga por contacto de rodadura sean suficientes, y se espera que se pueda producir un pelado temprano.

- 5 El documento de Patente JP 2006-200027 divulga un acero de cromo de alto contenido en carbono que tiene una composición química que satisface la norma JIS G 4805, pero no divulga nada acerca del diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos.

Sumario de la invención

10 Problema técnico

15 La presente invención se ha realizado en vista de estas situaciones, y un objetivo de la invención es proporcionar material de acero para rodamiento que sea más excelente en las propiedades de fatiga por contacto de rodadura que las tecnologías convencionales cuando se usa en una parte de un rodamiento a la que se aplica repetidamente una carga que actúa en la dirección radial, tal como un rodillo, aguja, bola, o similar, permitiendo de ese modo que se suprima el pelado temprano.

20 Solución al problema

25 En el material de acero para rodamiento con excelentes propiedades de fatiga por contacto de rodadura de acuerdo con la presente invención, el material de acero consiste en un 0,8 a un 1,1 % de C (donde % significa % en masa, y se aplicará del mismo modo en lo sucesivo en el presente documento con respecto a las composiciones químicas), de un 0,15 a un 0,8 % de Si, de un 0,10 a un 1,0 % de Mn, hasta un 0,05 % de P, hasta un 0,01 % de S, de un 1,3 a un 1,8 % de Cr, de un 0,0002 a un 0,005 % de Al, de un 0,0002 a un 0,0010 % de Ca, y hasta un 0,0030 % de O, siendo el resto hierro e impurezas inevitables; la composición química media de inclusiones de óxidos contenidas en el material de acero es de un 10 a un 45 % de CaO, de un 20 a un 45 % de Al₂O₃, de un 30 a un 50 % de SiO₂, de un 2 a un 15 % de MnO, y de un 3 a un 10 % de MgO, y el resto son impurezas inevitables; el diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos en una sección longitudinal del material de acero es 20 µm o menos; y el material de acero tiene una estructura de cementita esferoidal; véase la reivindicación 1.

35 Además, se proporciona un método de fabricación de dicho material de acero para rodamiento; véase la reivindicación 2. Además, se puede obtener una parte de un rodamiento con excelentes propiedades de fatiga por contacto de rodadura mediante el uso de tal material de acero para rodamiento; véase la reivindicación 3.

Efectos ventajosos de la invención

40 De acuerdo con la presente invención, se puede obtener material de acero para rodamiento, que tiene unas propiedades de fatiga por contacto de rodadura más excelentes que las tecnologías convencionales, permitiendo de ese modo que se suprima el pelado temprano: mediante el ajuste apropiado de la composición química del material de acero; mediante el control de la composición de las inclusiones de óxidos contenidas en el acero de un modo tal que se haga que las propias inclusiones se dividan fácilmente al ablandarse; y mediante el control del diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos en la sección longitudinal de un modo tal que sea un valor predeterminado o menos. Tal material de acero para rodamiento es extremadamente útil como material para partes de rodamientos a las que se aplica repetidamente una carga que actúa en la dirección radial, tal como un rodillo, aguja, y bola.

Breve descripción de las figuras

50 La Figura 1 es un gráfico que muestra la relación entre el diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos y la vida L₁₀.

La Figura 2 es un gráfico que muestra la relación entre la proporción de trabajo en frío y el diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos.

55 Descripción de realizaciones

60 Con el fin de mejorar las propiedades de fatiga por contacto de rodadura de una parte de rodamiento a la que se aplica repetidamente una carga que actúa en la dirección radial, los presentes inventores han realizado estudios, centrándose en particular en el control de las inclusiones. Como resultado, los inventores han descubierto que se hace que las propiedades de fatiga por contacto de rodadura sean extremadamente buenas: mediante el ajuste apropiado de la composición química del material de acero; mediante el control de la composición de inclusiones de óxidos con desoxidación de Si de un modo tal que se haga que las propias inclusiones se dividan con mayor facilidad al ablandarse; y mediante el control del diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos en la sección longitudinal de un modo tal que sea un valor predeterminado o menos sometiendo el material de acero a trabajo en frío en una proporción de trabajo predeterminada después de recocido esferoidizante, que conduce a la consecución de la presente invención.

Se conoce de forma convencional que las propiedades de fatiga por contacto de rodadura (vida de fatiga por contacto de rodadura) del material de acero para rodamiento usado en un entorno tratado con aceite (donde se usa un lubricante que no incluye ninguna sustancia extraña) están generalmente en un estado de estar probablemente para retirarse por pelado con una inclusión no metálica (en particular, una inclusión de óxidos) que llega a ser una fuente de concentración de tensión que se convertirá en un punto de partida para el estado anterior. De acuerdo con el estudio que han llevado a cabo los presentes inventores, el uso de una máquina de ensayo de fatiga por contacto de rodadura radial, con respecto a la relación entre la forma de una inclusión de óxido y la propiedad de fatiga por contacto de rodadura, se ha descubierto que las propiedades de fatiga por contacto de rodadura se pueden mejorar por ablandamiento de la inclusión de óxidos y haciendo que el diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos en la sección longitudinal sea pequeño. En el presente documento, la máquina de ensayo de fatiga por contacto de rodadura radial mencionada anteriormente se refiere a una máquina de ensayo de fatiga por contacto de rodadura de tipo punto de contacto, con la que se somete a ensayo la fatiga por contacto de rodadura aplicando una carga en la dirección radial a una parte de rodamiento, tal como rodillo, aguja, o similar (véase, por ejemplo, "NTN TECHNICAL REVIEW" n.º 71 (2003), Figura 2).

Con el fin de ablandar las inclusiones de óxidos en el material de acero para rodamiento, es necesario ajustar la composición química (composición química media) de las inclusiones de óxidos como sigue a continuación. Esta composición química puede comprender una pequeña cantidad de impurezas (por ejemplo, CuO, NiO, etc.), aunque se supone que el total de los elementos (total de CaO, Al₂O₃, SiO₂, MnO, y MgO) es un 100 %.

[CaO: de un 10 a un 45 %]

En un óxido cuya composición química básica está compuesta por SiO₂ que es un óxido ácido, la temperatura de la línea de líquido del óxido se disminuye por inclusión de CaO que es básico, exhibiendo de ese modo ductilidad dentro de la región de temperatura de rodadura. Tal efecto se puede obtener cuando el contenido de CaO es un 10 % o más en la composición química de óxidos media. Sin embargo, si el contenido de CaO es demasiado alto, se genera una inclusión gruesa, y por lo tanto es necesario hacer que el contenido de la misma sea hasta un 45 %. El límite inferior del contenido de CaO es preferentemente un 13 % o más (más preferentemente un 15 % o más) en las inclusiones de óxidos, y el límite superior del mismo es preferentemente hasta un 43 % (más preferentemente hasta un 41 %).

[Al₂O₃: de un 20 a un 45 %]

Si el contenido de Al₂O₃ que es un óxido anfótero es más de un 45 % en la composición química de óxidos media, cristaliza una fase de Al₂O₃ (corindón) dentro de la región de temperatura de rodadura, o cristaliza una fase de MgO·Al₂O₃ (espinela) junto con MgO. Estas fases sólidas son duras y difíciles de dividir durante el trabajo de rodadura y el trabajo en frío y existen en forma de inclusiones gruesas, y por lo tanto es probable que se genere un vacío durante el trabajo y se deterioran las propiedades de fatiga por contacto de rodadura. A partir de estos puntos de vista, es necesario hacer que el contenido de Al₂O₃ sea hasta un 45 % en la composición química de óxidos media. Por otra parte, si el contenido de Al₂O₃ es menos de un 20 % en las inclusiones de óxidos, la resistencia a la deformación de las inclusiones aumenta durante el trabajo en caliente, y por lo tanto no se puede obtener un efecto de afinado en el posterior trabajo en frío. El límite inferior del contenido de Al₂O₃ es preferentemente un 22 % o más (más preferentemente un 24 % o más) en las inclusiones de óxidos, y el límite superior del mismo es preferentemente hasta un 43 % (más preferentemente hasta un 41 %).

[SiO₂: de un 0 a un 50 %]

Cuando está comprendido un 30 % o más de SiO₂ en las inclusiones de óxidos, las inclusiones de óxidos se vuelven blandas disminuyéndose el punto de fusión de las mismas, permitiendo de ese modo que la resistencia a la deformación de la inclusión se reduzca durante el trabajo en caliente y el trabajo en frío. Y, las propiedades de fatiga por contacto de rodadura se pueden mejorar dividiéndose y afinándose la inclusión durante el trabajo en frío. Con el fin de ejercer tal efecto, es necesario que esté comprendido un 30 % o más de SiO₂ en las inclusiones de óxidos. Sin embargo, si el contenido de SiO₂ es más de un 50 %, las inclusiones llegan a ser duras aumentándose la viscosidad y el punto de fusión, y por lo tanto la inclusión llega a ser difícil de dividir durante el posterior trabajo en frío. El límite inferior del contenido de SiO₂ es preferentemente un 32 % o más (más preferentemente un 35 % o más) en las inclusiones de óxidos, y el límite inferior del mismo es hasta un 45 % (más preferentemente hasta un 40 %).

[MnO: de un 2 a un 15 %]

El MnO tiene basicidad como óxido y tiene el efecto de facilitar el ablandamiento de un óxido de SiO₂. Sin embargo, si el contenido de MnO es más de un 15 %, cristaliza una fase de MnO·Al₂O₃ (galaxita) dentro de la región de la temperatura de rodadura. Esta fase sólida es dura y es difícil que se divida durante el trabajo de rodadura y el trabajo en frío y existe en forma de una inclusión gruesa, y por lo tanto se deterioran las propiedades de fatiga por contacto de rodadura. Por lo tanto, se hace que el contenido de MnO sea hasta un 15 % en la composición química de óxidos media. El límite inferior del contenido de MnO es un 2 % o más (preferentemente un 5 % o más) en las inclusiones de óxidos, y el límite superior del mismo es preferentemente hasta un 13 % (más preferentemente hasta un 10 %).

un 11 %).

[MgO: de un 3 a un 10 %]

- 5 El MgO es un óxido básico, y puede ablandar un óxido de SiO₂ con una pequeña cantidad del mismo y además tiene el efecto de disminuir el punto de fusión de un óxido, y por lo tanto la resistencia a la deformación del óxido se reduce durante el trabajo en caliente, permitiendo de ese modo que el óxido se afine fácilmente. Con el fin de ejercer tal efecto, es necesario que esté comprendido un 3 % o más de MgO en las inclusiones de óxidos. Por otra parte, si el contenido de MgO es más de un 10 %, aumenta la cantidad de cristalización de una fase de MgO·Al₂O₃ (espinela)
- 10 junto con una fase de MgO dura y Al₂O₃, y por lo tanto la resistencia a la deformación del óxido aumenta durante el trabajo en caliente y el trabajo en frío y el óxido se vuelve grueso. Por lo tanto, es deseable para la mejora de las propiedades de fatiga por contacto de rodadura que esté comprendido de un 3 a un 10 % de MgO en los óxidos. El límite inferior del contenido de MgO es preferentemente un 3,5 % o más (más preferentemente un 4,0 % o más) en las inclusiones de óxidos, y el límite superior del mismo es preferentemente hasta un 9,6 % (más preferentemente hasta un 9,4 %).

El material de acero para rodamiento de acuerdo con la presente invención tiene una estructura de cementita esferoidal al someterse a recocido esferoidizante, y se hace que el diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos en la sección longitudinal sea de 20 μm o menos al someterse a trabajo en frío a una proporción de trabajo predeterminada después del recocido esferoidizante (que se describirá posteriormente).

[Diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos en la sección longitudinal: 20 μm o menos]

- 25 Cuando se aplica repetidamente a un rodamiento cierta carga en un entorno tratado con aceite, la concentración de esfuerzo se genera en la inclusión no metálica, dando como resultado el pelado a través de la aparición y la extensión de una grieta. Si el diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos es elevado con respecto a la dirección de rodadura, aumenta la posibilidad de que pueda estar presente una inclusión en una superficie de contacto de rodadura que recibe fatiga, y se genera una alta concentración de esfuerzo, y por lo tanto es probable que se cause un pelado temprano. Con el fin de suprimir tal fenómeno, se hace que el diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos en la sección longitudinal sea de 20 μm o menos. El diámetro máximo del eje principal es preferentemente 18 μm o menos, y más preferentemente 16 μm o menos.

La composición química del material de acero de acuerdo con la presente invención también se requiere que se ajuste de forma apropiada con el fin de satisfacer los elementos básicos como material de acero para rodamiento y controlar de forma apropiada la composición química de las inclusiones de óxidos. Desde estos puntos de vista, la razón por la que se ajusta el intervalo de la composición química del material de acero es la que sigue a continuación.

[C: de un 0,8 a un 1,1 %]

- 40 El C es un elemento esencial para proporcionar resistencia al desgaste mediante el aumento de la dureza de templado y el mantenimiento de la resistencia a temperatura ambiente y a alta temperatura. Con el fin de ejercer tal efecto, se necesita que esté comprendido al menos un 0,8 % o más de C. Sin embargo, si el contenido de C es demasiado alto más allá de un 1,1 %, es probable que se genere una gran cantidad de carburos en la parte del núcleo del rodamiento, lo que afecta de forma adversa a las propiedades de fatiga por contacto de rodadura. El límite inferior del contenido de C es preferentemente un 0,85 % o más (más preferentemente un 0,90 % o más), y el límite superior del mismo es preferentemente hasta un 1,05 % (más preferentemente hasta un 1,0 %).

[Si: de un 0,15 a un 0,8 %]

- 50 El Si actúa de forma eficaz como elemento desoxidante, y también tiene la función de aumentar la dureza mediante el aumento de la resistencia al ablandamiento de templado y revenido. Con el fin de ejercer de forma eficaz tal efecto, es necesario que esté comprendido un 0,15 % o más de Si. Sin embargo, si el contenido de Si es excesivo más allá de un 0,8 %, se acorta la vida del molde durante la forja, lo que también conduce a un aumento de coste. El límite inferior del contenido de Si es preferentemente un 0,20 % o más (más preferentemente un 0,25 % o más), y el límite superior del mismo es preferentemente hasta un 0,7 % (más preferentemente hasta un 0,6 %).

[Mn: de un 0,10 a un 1,0 %]

- 60 El Mn es un elemento que aumenta el fortalecimiento de la solución sólida de una matriz de acero y la capacidad de endurecimiento. Si el contenido de Mn es menos de un 0,10 %, el efecto no se ejerce; por otra parte, si el contenido del mismo es más de un 1,0 %, aumenta el contenido de MnO que es un óxido inferior, y por lo tanto se deterioran las propiedades de fatiga por contacto de rodadura y disminuyen en gran medida la trabajabilidad y la mecanizabilidad. El límite inferior del contenido de Mn es preferentemente un 0,2 % o más (más preferentemente un 0,3 % o más), y el límite superior del mismo es hasta un 0,8 % (más preferentemente hasta un 0,6 %).

[Cr: de un 1,3 a un 1,8 %]

El Cr es un elemento que mejora la capacidad endurecimiento y mejora la resistencia general y la resistencia al desgaste mediante la formación de un carburo estable, permitiendo de ese modo que las propiedades de fatiga por contacto de rodadura aumenten de forma eficaz. Con el fin de ejercer tal efecto, es necesario que esté comprendido un 1,3 % o más de Cr. Sin embargo, si el contenido de Cr es excesivo más allá de un 1,8 %, el carburo se vuelve grueso, y por lo tanto las propiedades de fatiga por contacto de rodadura y la propiedad de corte se deterioran. El límite inferior del contenido de Cr es preferentemente un 1,4 % o más (más preferentemente un 1,5 % o más), y el límite superior del mismo es preferentemente hasta un 1,7 % (más preferentemente hasta un 1,6 %).

[P: hasta un 0,05 %]

El P es un elemento impureza que se segrega en el límite de grano cristalino y afecta de forma adversa a las propiedades de fatiga por contacto de rodadura. En particular, si el contenido de P es más de un 0,05 %, las propiedades de fatiga por contacto de rodadura se deterioran en gran medida. Por lo tanto, es necesario suprimir el contenido de P para que sea hasta un 0,05 %. El contenido del mismo es preferentemente hasta un 0,03 %, y más preferentemente hasta un 0,02 %. En el presente documento, el P es una impureza que es inevitable comprendida en el material de acero, y desde el punto de vista industrial es difícil hacer que la cantidad del mismo sea de un 0 %.

[S: hasta un 0,01 %]

El S es un elemento que forma un sulfuro, y si el contenido del mismo es más de un 0,01 %, permanece un sulfuro grueso, y por lo tanto se deterioran las propiedades de fatiga por contacto de rodadura. Por lo tanto, es necesario suprimir el contenido de S para que sea hasta un 0,01 %. Desde el punto de vista de mejorar las propiedades de fatiga por contacto de rodadura, es más adecuado un contenido inferior de S, y el contenido del mismo es preferentemente hasta un 0,007 %, y más preferentemente hasta un 0,005 %. En el presente documento, el S es una impureza que está comprendida de forma inevitable en el material de acero, y desde el punto de vista industrial es difícil hacer que la cantidad del mismo sea de un 0 %.

[Al: de un 0,0002 a un 0,005 %]

El Al es un elemento no deseado, y se necesita hacer que la cantidad del mismo sea tan pequeña como sea posible en el material de acero de acuerdo con la presente invención. Por lo tanto, no se lleva a cabo un tratamiento de desoxidación mediante la adición del Al después del refinado de oxidación. Si el contenido de Al es elevado, en particular, más de un 0,005 %, se generan óxidos duros en una gran cantidad, que están formados principalmente por Al_2O_3 , y permanecen incluso después del laminado en forma de óxidos gruesos, y por lo tanto se deterioran las propiedades de fatiga por contacto de rodadura. Por lo tanto, se hace que el contenido de Al sea hasta un 0,005 %. El contenido de Al es preferentemente hasta un 0,004 %, y más preferentemente hasta un 0,003 %. Sin embargo, si se hace que el contenido del mismo sea menos de un 0,0002 %, el contenido de Al_2O_3 es demasiado bajo en las inclusiones de óxidos, y por lo tanto la resistencia a la deformación de la inclusión aumenta y no se puede obtener un efecto de afinado. Por lo tanto, se hace que el límite inferior del contenido de Al sea de un 0,0002 % o más (preferentemente un 0,0005 % o más).

[Ca: de un 0,0002 a un 0,0010 %]

El Ca sirve para; controlar las inclusiones en el material de acero; hacer que las inclusiones se extiendan con facilidad durante el trabajo en caliente; y hacer que las inclusiones se descompongan y afinen con facilidad durante el trabajo en frío, y por lo tanto el Ca es eficaz para mejorar las propiedades de fatiga por contacto de rodadura. Con el fin de ejercer tal efecto, se necesita hacer que el contenido de Ca sea de un 0,0002 % o más. Sin embargo, si el contenido del mismo es excesivo más allá de un 0,0010 %, la proporción de CaO se vuelve demasiado elevada en la composición química de óxidos, causando de ese modo un óxido grueso. Por lo tanto, se hace que el contenido de Ca sea hasta un 0,0010 %. El límite inferior del contenido de Ca es preferentemente un 0,0003 % o más (más preferentemente un 0,0005 % o más), y el límite superior del mismo es preferentemente hasta un 0,0009 % (más preferentemente hasta un 0,0008 %). En el presente documento, por lo general se introduce Ca en forma de elemento de aleación en la etapa final durante la etapa de fusión.

[O: hasta un 0,0030 %]

El O es un elemento impureza no deseado. Si el contenido de O es elevado, en particular, más de un 0,0030 %, permanecen inclusiones de óxidos muy gruesas después de laminarse, y por lo tanto se deterioran las propiedades de fatiga por contacto de rodadura. Por lo tanto, se necesita hacer que el contenido de O sea hasta un 0,0030 %. El límite superior del mismo es preferentemente hasta un 0,0024 % (más preferentemente hasta un 0,0020 %).

Los elementos contenidos que se especifican en la presente invención son como se han descrito anteriormente, y el resto es hierro e impurezas inevitables, y elementos (por ejemplo, As, H, N, etc.), que se pueden incorporar dependiendo de las situaciones de las materias primas, los materiales, las instalaciones de fabricación, etc., se

puede permitir que se mezclen en forma de impurezas inevitables.

Con el fin de controlar el material de acero para que tenga la composición química de inclusiones de óxidos mencionada anteriormente, se necesita seguir los procedimientos que se describen a continuación. En primer lugar, en la fusión del material de acero, se lleva a cabo una desoxidación mediante la adición de Si, no el tratamiento de desoxidación mediante la adición de Al que se lleva a cabo por lo general. Con el fin de controlar las composiciones de CaO, Al₂O₃, y MnO en la fusión, los contenidos de Al, Ca, y Mn, que están comprendidos en la cero, se controlan para que sean de un 0,0002 a un 0,005 %, de un 0,0002 a un 0,0010 %, y de un 0,10 a un 1,0 %, respectivamente. El contenido de MgO se puede controlar mediante el uso de materiales refractarios que comprenden MgO como horno de fusión, vaso de refinado, y vaso de transporte en la fusión y mediante el control del periodo de tiempo de fusión después de la entrada de la aleación para que sea de 5 a 30 minutos. Además, la composición SiO₂ se puede obtener mediante el control de las demás composiciones químicas de óxidos como se ha descrito anteriormente.

Con el fin de hacer que el diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos en la sección longitudinal sea de 20 µm o menos, el material de acero cuya composición química se ha controlado como se ha descrito anteriormente se somete a laminado y recocido esferoidizante y a continuación se somete a trabajo en frío con una proporción de trabajo de un 5 % o más, permitiendo de ese modo un material de acero de cementita esferoidal en el que el diámetro máximo del eje principal se reduce al dividirse las inclusiones que se obtienen.

El trabajo en frío mencionado anteriormente se lleva a cabo para hacer que el diámetro máximo del eje principal sea de 20 µm o menos mediante la división de las inclusiones; sin embargo, para la consecución del fin, se necesita hacer que al menos la tasa de trabajo en frío sea un 5 % o más. El límite superior de la proporción de trabajo en frío no se limita de forma particular, pero por lo general se hace que sea aproximadamente un 50 %. La "proporción de trabajo en frío" mencionada anteriormente es un valor (tasa de reducción superficial: RA) representado por la siguiente ecuación (1):

$$\text{Proporción de trabajo en frío} = \{(S_0 - S_1) / S_0\} \times 100 (\%) \quad (1)$$

donde S₀ es el área de sección del material de acero antes de que se someta al trabajo y S₁ es el área de sección del material de acero después de que se someta al trabajo.

Después de que se conforme en una forma de parte predeterminada, el material de acero para rodamiento de acuerdo con la presente invención se somete a templado y revenido para convertirlo en una parte de rodamiento, pero la forma del material de acero puede ser una forma lineal o de varilla a partir de la que se puede fabricar la forma de parte mencionada anteriormente y el tamaño del material de acero se puede determinar de forma apropiada de acuerdo con el producto final.

En lo sucesivo en el presente documento, la presente invención se describirá con mayor detalle por referencia a Ejemplos, pero la invención no estaría limitada por los siguientes Ejemplos.

Ejemplos

Cada uno de los materiales de acero (tipos de acero) que tienen las composiciones químicas respectivas que se muestran en la Tabla 1 se fundieron en un pequeño horno de fusión (150 kg/1 ch) sometiendo a un tratamiento de desoxidación mediante la adición de Si, no el tratamiento de desoxidación mediante la adición de Al que se lleva a cabo por lo general (sin embargo, el tipo 11 de acero se sometió a un tratamiento de desoxidación mediante la adición de Al), permitiendo de ese modo que se fabricara un desbaste plano de metal que tenía un tamaño de 245 mm φ x 480 mm. En este caso, el contenido de MgO se ajustó mediante el uso de materiales refractarios que comprendían MgO como horno de fusión, vaso de refinado, y vaso de transporte. Además, se controló el periodo de tiempo de fusión después de la entrada del acero fundido (Tabla 1), y se controlaron los contenidos de Al, Ca, y Mn, que están comprendidos en el acero, como se muestra en la Tabla 1. La composición química de las inclusiones de óxidos en cada material de acero también se muestra en la Tabla 1 (el método de medición se describirá posteriormente).

[Tabla 1]

N.º del material de acero	Composición química * (% en masa) del material de acero											Composición química de las inclusiones de óxidos ** (% en masa)					Período de tiempo de fusión (min)
	C	Si	Mn	Cr	P	S	Al	Ca	O	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MnO	MgO			
1	0,95	0,25	0,34	1,43	0,013	0,005	0,0006	0,0007	0,0017	24,4	27,7	38,0	6,6	3,3	5		
2	1,02	0,25	0,27	1,55	0,014	0,006	0,0007	0,0007	0,0016	22,1	31,6	35,0	1,9	9,3	30		
3	0,86	0,16	0,44	1,30	0,018	0,005	0,0015	0,0003	0,0019	14,0	39,5	30,2	11,1	5,2	10		
4	1,00	0,76	0,33	1,45	0,010	0,009	0,0005	0,0007	0,0017	25,8	21,9	44,4	2,5	5,4	10		
5	1,01	0,19	0,40	1,39	0,011	0,006	0,0005	0,0008	0,001	30,9	25,2	34,8	4,7	4,3	8		
6	0,96	0,25	1,28	1,48	0,014	0,009	0,0005	0,0006	0,0026	23,9	24,0	31,7	17,6	2,8	2		
7	0,99	0,26	0,34	1,44	0,013	0,007	0,0005	0,0005	0,0012	29,1	21,2	37,9	0,7	11,1	35		
8	0,99	0,25	0,33	1,46	0,014	0,007	0,0055	0,0005	0,0014	17,5	46,1	30,3	1,1	4,9	10		
9	0,99	0,28	0,38	1,44	0,010	0,010	0,0005	0,0001	0,0024	3,2	21,0	55,8	10,9	9,1	30		
10	1,01	0,36	0,17	1,41	0,006	0,004	0,0001	0,0009	0,0022	40,6	10,8	38,8	0,8	9,0	30		
11	0,97	0,20	0,47	1,50	0,012	0,005	0,0210	-	0,0007	-	87,7	-	2,7	9,6	30		
12	0,99	0,24	0,35	1,44	0,014	0,006	0,0006	0,0014	0,0014	45,9	20,1	30,3	0,5	3,2	5		
13	0,96	0,35	0,37	1,40	0,012	0,019	0,0005	0,0006	0,0018	22,8	24,5	38,2	5,6	8,9	30		
14	1,01	0,12	0,08	1,45	0,062	0,005	0,0005	0,0008	0,0014	28,9	32,7	32,3	0,4	5,7	15		
15	1,09	0,70	0,22	0,98	0,012	0,005	0,0005	0,0007	0,0017	28,3	20,6	43,3	3,7	4,1	10		
16	1,22	0,28	0,36	1,92	0,012	0,004	0,0006	0,0007	0,0017	26,9	26,5	36,7	5,2	4,7	10		
17	0,62	0,30	0,28	1,45	0,014	0,006	0,0007	0,0007	0,0016	24,6	30,4	33,7	3,4	7,9	20		
18	1,08	0,30	0,79	1,72	0,013	0,005	0,0005	0,0009	0,0023	33,4	20,2	30,5	12,8	3,1	5		
19	0,99	0,26	0,34	1,40	0,013	0,005	0,0007	0,0007	0,0014	27,0	29,5	30,6	12,1	0,8	1		
20	1,03	0,22	1,35	1,42	0,012	0,005	0,0004	0,0004	0,0024	19,5	22,2	35,3	19,3	3,7	5		
21	1,01	0,21	0,85	1,43	0,014	0,004	0,0004	0,0006	0,0031	25,6	20,3	30,5	14,4	9,2	30		

* Resto: impurezas inevitables distintas de hierro, P, S, y O.

** Cuando el total es < 100 %, el resto son impurezas inevitables.

ES 2 681 268 T3

Después de calentarse de 1100 a 1300 °C en un horno de calentamiento, el desbaste plano de metal obtenido se sometió a eflorescencia de 900 a 1200 °C. Después de esto, la plancha de metal se laminó de 830 a 1100 °C, es decir, se sometió a laminado en caliente o forja en caliente de un modo que tuviera un diámetro predeterminado (20 mm ϕ).

5 Después de que el material de acero laminado en caliente o el material de acero forjado en caliente se calentara en un intervalo de temperatura de 760 a 800 °C durante 2 a 8 horas, se enfrió a una temperatura (punto de transformación Ar1 - 60 °C) con una velocidad de enfriamiento de 10 a 15 °C/h y a continuación se enfrió en la atmósfera (recocido esferoidizante), permitiendo de ese modo que se obtuviera un material de acero recocido esferoidizado en el que están dispersas cementitas esferoidales.

15 Los materiales de acero recocidos esferoidizados se sometieron a trabajo en frío con diversas proporciones de trabajo en frío para fabricar varillas de alambre (ϕ de 15,5 a 20,0 mm: diámetro del alambre después del trabajo en frío). Después de esto, se retiró por corte una muestra que tenía un tamaño de 12 mm ϕ x 22 mm de longitud, que se calentó a 840 °C durante 30 minutos y a continuación se sometió a templado en aceite seguido de revenido a 160 °C durante 120 minutos. Posteriormente, se llevó a cabo el pulido final de la muestra de un modo tal que se produjo una muestra de ensayo de fatiga por contacto de rodadura radial que tenía una rugosidad superficial de 0,04 μ m Ra

20 La composición química de inclusiones de óxidos (composición química media) y el diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos en la sección longitudinal en cada una de las muestras de ensayo mencionadas anteriormente se midió de acuerdo con los siguientes métodos, respectivamente.

[Medición de la composición química media de las inclusiones de óxidos]

25 Diez micromuestras que tenían cada una un tamaño de 20 mm (longitud en la dirección de rodadura) x 5 mm (profundidad desde la capa superficial), que eran para usarse para la observación de la estructura, se retiraron por corte en la dirección longitudinal (que corresponde a la dirección de rodadura) de cada muestra en la posición situada en la mitad del diámetro D de la misma, y se pulieron las secciones de las muestras. Las composiciones químicas de inclusiones de óxidos arbitrarias que tenían cada una un eje menor de 1 μ m o más, que estaban situadas dentro de un área (superficie pulida) de 100 mm², se analizaron mediante un EPMA, los resultados de las cuales se convirtieron en los contenidos de óxidos. En este caso, las condiciones de la medición mediante el EPMA fueron las que siguen a continuación.

35 (Condiciones de medición mediante EPMA)

Aparato EPMA: nombre de producto "JXA-8500F" fabricado por JEOL Ltd.
Análisis EDS: NORAN System Six fabricado por Thermo Fisher Scientific K.K.
Tensión de aceleración: 15 kV
40 Corriente de barrido: 1,7 nA

[Medición del diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos]

45 Diez micromuestras que tenían cada una un tamaño de 20 mm (longitud en la dirección de rodadura) x 5 mm (profundidad desde la capa superficial), que eran para usarse para la observación de la estructura, se retiraron por corte en la dirección longitudinal (que corresponde a la dirección de rodadura) de cada muestra en la posición situada en la mitad del diámetro D de la misma, y se pulieron las secciones de las muestras. El diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos en la superficie pulida de cada muestra (100 mm²) se midió mediante un microscopio óptico, y se hizo que el mayor diámetro del eje principal en 1000 mm² fuera el diámetro máximo del eje principal. En el presente documento, cuando el área de medición es pequeña, se puede determinar un diámetro máximo del eje principal predicho por 1000 mm² mediante un método estadístico de valor extremo.

55 Se llevó a cabo un ensayo de fatiga por contacto de rodadura radial mediante el uso de la muestra de ensayo de fatiga por contacto de rodadura radial obtenida de ese modo y una máquina para someter a ensayo la fatiga por contacto de rodadura radial (nombre de producto "Point-Contact-Type Life Test Machine" fabricado por NTN Corporation) en unas condiciones en las que la velocidad de repetición fue de 46485 cpm, la presión de contacto fue de 5,88 GP, y el número de ciclos cuando el ensayo se fue a terminar fue de 300 millones de ciclos (3×10^8 ciclos). En este caso, se sometieron a ensayo 15 muestras de ensayo por cada material de acero para evaluar la vida de fatiga L₁₀ (número de ciclos de esfuerzo repetidos hasta el fallo con una probabilidad de fallo acumulada de un 10 %: denominado en lo sucesivo en el presente documento "vida L₁₀"); y se evaluó que el material de acero era excelente en la vida de fatiga por contacto de rodadura, en la que todas las vidas L₁₀ fueron de 30 millones de ciclos (3×10^7 ciclos) o más (no se produjo ningún pelado para un número de ciclos menor que 3×10^7 ciclos) y la proporción (proporción de vida) de la vida L₁₀ del mismo con respecto a la (Ensayo n.º 6) del acero convencional (acero n.º 11) fue de 2,5 o más (la vida L₁₀ correspondió a un número de ciclos mayor o igual que 27,50 millones de ciclos).

65 Los resultados de estas mediciones [resultados de evaluar los ensayos de fatiga por contacto de rodadura radial

ES 2 681 268 T3

(vidas L_{10} , proporciones de vida, número de piezas con aparición de pelado para un número de ciclos menor que 3×10^7 ciclos), diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos] se muestran en la Tabla 2, junto con las proporciones de trabajo en frío durante el trabajo y los diámetros de alambre después del trabajo en frío.

5

[Tabla 2]

N.º de ensayo	Tipo	Resultado de la evaluación del ensayo de fatiga por contacto de rodadura			Diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos (μm)	Proporción de trabajo en frío (%)	Diámetro de alambre después de trabajo en frío (mm)
		Vida L_{10} del acero (3×10^7 ciclos)	Proporción de vida	Número de piezas con aparición de pelado para menos de 3×10^7 ciclos			
1	1	1,5	1,3	2	26,0	0,0	20,0
2		2,5	2,1	1	22,2	2,0	19,8
3		5,3	4,4	0	19,5	5,9	19,4
4		8,0	6,7	0	13,5	19,0	18,0
5		11,1	9,3	0	8,8	39,9	15,5
6	11	1,2	1,0	4	13,5	0,0	20,0
7		2,5	2,1	1	12,6	39,9	15,5
8	8	1,1	0,9	4	23,4	0,0	20,0
9		1,9	1,6	2	21,5	39,9	15,5
10	3	2,3	1,9	2	24,7	0,0	20,0
11		2,8	2,3	1	22,1	2,0	19,8
12		3,2	2,7	0	17,8	5,9	19,4
13		3,9	3,3	0	14,7	19,0	18,0
14		5,6	4,7	0	11,2	39,9	15,5
15		2,1	1,8	3	28,5	0,0	20,0
16	4	2,7	2,3	2	24,6	2,0	19,8
17		3,8	3,2	0	19,2	5,9	19,4
18		4,2	3,5	0	16,0	19,0	18,0
19		4,9	4,1	0	14,6	39,9	15,5
20	2	3,6	3,0	0	16,3	39,9	15,5
21	5	4,2	3,5	0	14,9	39,9	15,5
22	9	2,7	2,3	5	33,5	0,0	20,0
23		2,9	2,4	2	32,5	39,9	15,5
24	8	2,0	1,7	1	23,4	39,9	15,5
25	10	1,1	0,9	4	30,1	0,0	20,0
26		1,8	1,5	3	28,6	39,9	15,5
27	6	1,0	0,8	4	25,0	39,9	15,5
28	7	1,4	1,2	2	24,7	39,9	15,5
29	18	3,8	3,2	0	17,4	39,9	15,5
30	12	1,3	1,1	2	28,2	39,9	15,5
31	13	1,1	0,9	4	15,4	39,9	15,5
32	14	1,2	1,0	2	16,0	39,9	15,5
33	15	1,3	1,1	1	14,4	39,9	15,5

ES 2 681 268 T3

N.º de ensayo	Tipo	Resultado de la evaluación del ensayo de fatiga por contacto de rodadura			Diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos (μm)	Proporción de trabajo en frío (%)	Diámetro de alambre después de trabajo en frío (mm)
		Vida L_{10} del acero (3×10^7 ciclos)	Proporción de vida	Número de piezas con aparición de pelado para menos de 3×10^7 ciclos			
34	16	1,1	0,9	1	16,1	39,9	15,5
35	17	1,4	1,2	1	15,8	39,9	15,5
36	19	1,2	1,0	1	23,2	39,9	15,5
37	20	1,1	0,4	1	24,5	39,9	15,5
38	21	1,0	0,4	1	26,3	39,9	15,5

A partir de estos resultados, se puede considerar lo que sigue a continuación. Es decir, se puede conocer que los Números de ensayo 3 a 5, 12 a 14, 17 a 21 y 29 satisfacen los requisitos de las composiciones químicas (composición química del material de acero y composición química de las inclusiones de óxidos) y del diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos, que se especifican ambos en la presente invención, y todos son excelentes en las vidas de fatiga por contacto de rodadura.

Por otra parte, se puede conocer que cada uno de los Números de ensayo 1, 2, 6 a 11, 15, 16, 22 a 28, y 30 a 38 representa un ejemplo en el que no se satisface ninguno de los dos requisitos que se especifican en el presente documento, y no se obtiene una vida de fatiga por contacto la rodadura excelente.

Entre ellos, en cada uno de los Números de ensayo 1, 2, 10, 11, 15, y 16, el diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos es elevado debido a que la proporción de trabajo en frío es pequeña (la composición química está dentro del intervalo que se especifica en la presente invención), y se deterioran las propiedades de fatiga por contacto de rodadura.

Cada uno de los Números de ensayo 6 y 7 representa un ejemplo en el que se usa un tipo de acero obtenido mediante un tratamiento de desoxidación de Al (tipo de acero n.º 11: acero calmado con aluminio convencional), y el contenido de Al_2O_3 es elevado en las inclusiones de óxidos debido a que el contenido de Al es excesivo, y se deterioran las propiedades de fatiga por contacto de rodadura.

Cada uno de los Números de ensayo 8, 9, y 24 representa un ejemplo en el que se usa un tipo de acero que tiene un contenido excesivo de Al (tipo de acero n.º 8), y el contenido de Al_2O_3 es elevado en las inclusiones de óxidos y el diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos también es elevado, y se deterioran las propiedades de fatiga por contacto de rodadura.

Cada uno de los Números de ensayo 22 y 23 representa un ejemplo en el que se usa un tipo de acero que tiene un contenido insuficiente de Ca (tipo de acero n.º 9), y el contenido de CaO es bajo en las inclusiones de óxidos, el contenido de SiO_2 es elevado, y el diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos también es elevado, y se deterioran las propiedades de fatiga por contacto de rodadura.

El Número de ensayo 25 representa un ejemplo en el que se usa un tipo de acero que tiene un contenido insuficiente de Al (tipo de acero n.º 10), y el contenido de Al_2O_3 es bajo en las inclusiones de óxidos y el diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos también es elevado, y se deterioran las propiedades de fatiga por contacto de rodadura.

Cada uno de los Números de ensayo 26 y 27 representa un ejemplo en el que se usa un tipo de acero que tiene un contenido excesivo de Mn (tipo de acero n.º 6) y el tipo de acero se ha sometido a un tratamiento en el que el periodo de tiempo de fusión es tan corto como 2 minutos, y el contenido de MgO es elevado en las inclusiones de óxidos, el contenido de MgO es bajo, y el diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos es elevado, y se deterioran las propiedades de fatiga por contacto de rodadura.

El Número de ensayo 28 representa un ejemplo en el que el acero se ha sometido a un tratamiento en el que el periodo de tiempo de fusión es tan largo como 35 minutos, el contenido de MgO es elevado en las inclusiones de óxidos debido a que se mezcla el MgO comprendido en los materiales refractarios, y el diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos también es elevado, y se deterioran las propiedades de fatiga por contacto de rodadura. El Número de ensayo 30 representa un ejemplo en el que se usa un tipo de acero que tiene un contenido excesivo de Ca (tipo de acero n.º 12), y el contenido de CaO es elevado en las inclusiones de óxidos y el diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos también es elevado, y se deterioran las propiedades de fatiga por contacto de rodadura.

El Número de ensayo 31 representa un ejemplo en el que se usa un tipo de acero que tiene un contenido excesivo de S (tipo de acero n.º 13), y se espera que pueda aumentar la cantidad de generación de MnS, y se deterioran las propiedades de fatiga por contacto de rodadura. El Número de ensayo 32 representa un ejemplo en el que se usa un tipo de acero que tiene contenidos de Si, Mn, y P que están fuera del intervalo que se especifica en la presente invención (tipo de acero n.º 14), y se espera que se pueda disminuir la resistencia, y se deterioran las propiedades de fatiga por contacto de rodadura.

El Número de ensayo 33 representa un ejemplo en el que se usa un tipo de acero que tiene un contenido insuficiente de Cr (tipo de acero n.º 15), y se espera que no se pueda obtener una estructura esferoidal deseada, y se deterioran las propiedades de fatiga por contacto de rodadura. El Número de ensayo 34 representa un ejemplo en el que se usa un tipo de acero que tiene contenidos excesivos de C y Cr (tipo de acero n.º 16), y se espera que se pueda generar una gran cantidad de carburo, y se deterioran las propiedades de fatiga por contacto de rodadura.

El Número de ensayo 35 representa un ejemplo en el que se usa un tipo de acero que tiene un contenido insuficiente de C (tipo de acero n.º 17), y se espera que no se pueda obtener una estructura esferoidal deseada, y se deterioran las propiedades de fatiga por contacto de rodadura. El Número de ensayo 36 representa un ejemplo en el que el tipo de acero se ha sometido a un tratamiento en el que el periodo de tiempo de fusión es tan corto como 1 minuto, el contenido de MgO es bajo en las inclusiones de óxidos, y el diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos también es elevado, y se deterioran las propiedades de fatiga por contacto de rodadura.

El Número de ensayo 37 representa un ejemplo en el que se usa un tipo de acero que tiene un contenido excesivo de Mn (tipo de acero n.º 20) y el contenido de MnO es elevado en las inclusiones de óxidos y el diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos también es elevado, y se deterioran las propiedades de fatiga por contacto de rodadura. El Número de ensayo 38 representa un ejemplo en el que se usa un tipo de acero que tiene un contenido excesivo de O (tipo de acero n.º 21), y se espera que las inclusiones de óxidos puedan ser gruesas, y se deterioran las propiedades de fatiga por contacto de rodadura.

Basándose en estos datos, la relación entre el diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos (indicado simplemente como "Diámetro máximo del eje principal") y la vida L_{10} se muestra en la Figura 1, y la que hay entre la proporción de trabajo en frío (%) y el diámetro máximo del eje principal se muestra en la Figura 2. En la Figura 1, se representan "símbolos circulares", "símbolos cuadrados rellenos", y "xx", respectivamente, donde el símbolo circular representa cada una de las muestras de la presente invención (Números de ensayo 3 a 5, 12 a 14, 17 a 21, y 29), el símbolo cuadrado relleno representa cada una de las muestras de los ejemplos de las tecnologías convencionales (Números de ensayo 6 y 7), la x representa cada uno de los ejemplos comparativos (Números de ensayo 1, 2, 8 a 11, 15, 16, 22 a 28, 30, 33, y 36 a 38) en los que se usan tipos de acero (tipos de acero 1 a 5, 7 a 10, 12, 15, 19, y 21) cuyos contenidos de C, Si, Cr, P, y S satisfacen los intervalos que se especifican en la invención, pero no se satisfacen otros requisitos. En la Figura 2, se representan "símbolos circulares", "símbolos triangulares", "símbolos romboidales", y "símbolos cuadrados rellenos", respectivamente, donde el símbolo circular representa cada uno de los ejemplos (Números de ensayo 1 a 5) en los que se usa el tipo de acero 1, el símbolo triangular representa cada uno de los ejemplos (Números de ensayo 10 a 14) en los que se usa el tipo de acero 3, el símbolo romboidal representa cada uno de los ejemplos (Números de ensayo 15 a 19) en los que se usa el tipo de acero 4, el símbolo cuadrado relleno representa cada uno de los ejemplos de las tecnologías convencionales (Números de ensayo 6 y 7), y la x representa cada uno de los ejemplos comparativos (Números de ensayo 8, 9, 22, 23, 25, y 26).

A partir de los resultados de la Figura 1, se conoce que se pueden ejercer buenas propiedades de fatiga por contacto de rodadura (vida L_{10}) haciendo que el diámetro máximo del eje principal sea de 20 μm o menos. A partir de los resultados de la Figura 2, se conoce que se puede controlar el diámetro máximo del eje principal para que sea de 20 μm o menos haciendo que la proporción de trabajo en frío sea de un 5 % o más.

REIVINDICACIONES

1. Material de acero para rodamiento con excelentes propiedades de fatiga por contacto de rodadura, donde:

5 el material de acero consiste en un 0,8 a un 1,1 % de C, donde % significa % en masa, lo mismo que se aplicará en lo sucesivo en el presente documento con respecto a las composiciones químicas, de un 0,15 a un 0,8 % de Si, de un 0,10 a un 1,0 % de Mn, hasta un 0,05 % de P, hasta un 0,01 % de S, de un 1,3 a un 1,8 % de Cr, de un 0,0002 a un 0,005 % de Al, de un 0,0002 a un 0,0010 % de Ca, y hasta un 0,0030 % de O, siendo el resto hierro e impurezas inevitables;

10 la composición química media de inclusiones de óxidos contenidas en el material de acero consiste en un 10 a un 45 % de CaO, de un 20 a un 45 % de Al₂O₃, de un 30 a un 50 % de SiO₂, de un 2 a un 15 % de MnO, de un 3 a un 10 % de MgO, siendo el resto impurezas inevitables; el diámetro máximo del eje principal de las inclusiones de óxidos en una sección longitudinal del material de acero es 20 µm o menos; y el material de acero tiene una estructura de cementita esferoidal.

15 2. Método de fabricación del material de acero para rodamiento de acuerdo con la reivindicación 1, que incluye las etapas de:

20 (a) fusión del acero y desoxidación mediante la adición de Si, no mediante la adición de aluminio, ajuste de los contenidos de Mg, Al, Ca y Mn y además control del período de tiempo de fusión después de la entrada del acero fundido para que sea de 5 a 30 minutos,

(b) calentamiento del desbaste plano para desbastado a 900-1200 °C, y laminado a 830-1100 °C, y

25 (c) para recocido esferoidizante, calentamiento a 760-800 °C durante 2-8 horas y enfriamiento hasta la temperatura del punto de transformación Ar1 - 60 °C a una velocidad de enfriamiento de 10 a 15 °C/h, seguido de enfriamiento en la atmósfera,

(d) donde el material de acero se obtiene sometándose a trabajo en frío con una proporción de trabajo de un 5 % o más después del recocido esferoidizante, y la proporción de trabajo en frío es un valor representado por la siguiente ecuación (1):

30
$$\text{Proporción de trabajo en frío} = \{(S_0 - S_1) / S_0\} \times 100 (\%) \quad (1)$$

donde S₀ es el área de sección del material de acero antes de someterse al trabajo y S₁ es el área de sección del material de acero después de someterse al trabajo.

35 3. Parte de rodamiento hecha del material de acero para rodamiento de acuerdo con la reivindicación 1.

FIG. 1

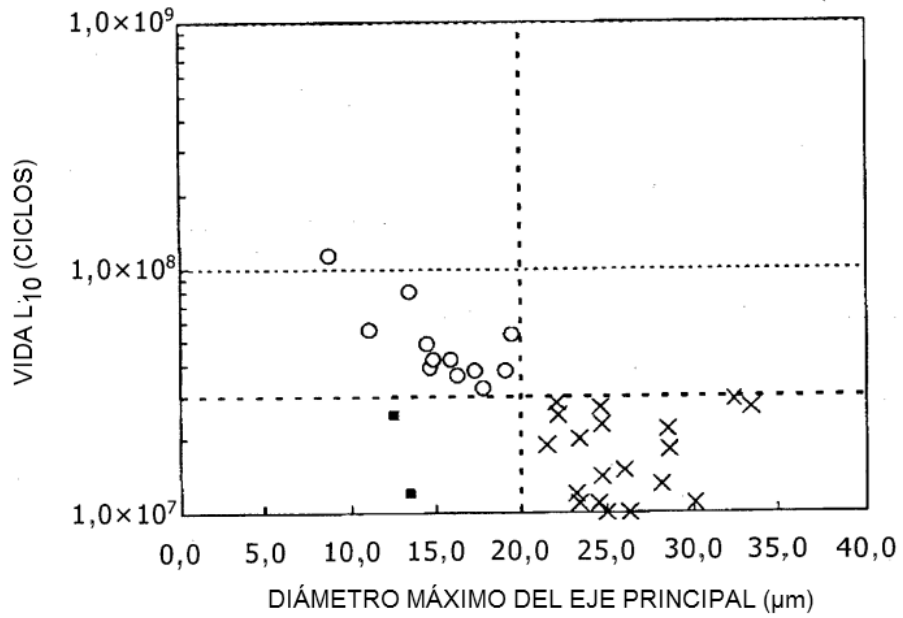


FIG. 2

