

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 675 718**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00	(2006.01)	C22C 38/26	(2006.01)
C22C 38/60	(2006.01)	C22C 38/28	(2006.01)
C21D 8/06	(2006.01)	C22C 38/32	(2006.01)
C21D 9/40	(2006.01)	C22C 38/38	(2006.01)
C21D 9/30	(2006.01)	C22C 38/42	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01)	C22C 38/50	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01)		
C22C 38/06	(2006.01)		
C22C 38/22	(2006.01)		
C22C 38/24	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.05.2011 PCT/JP2011/062000**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **29.11.2012 WO12160675**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.05.2011 E 11866383 (0)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.06.2018 EP 2716781**

54 Título: **Acero para cojinetes con excelentes características de fatiga rodante**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.07.2018

73 Titular/es:
**KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (100.0%)
2-4 Wakinohama-kaigandori 2-chome, Chuo-ku,
Kobe-shi
Hyogo 651-8585, JP**

72 Inventor/es:

KAIZUKA, MASAKI

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 675 718 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 cojinetes con excelentes características de fatiga rodante

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a aceros para su adopción como partes de cojinetes y partes estructurales de máquinas para su uso, normalmente, en automóviles y maquinaria industrial. Concretamente, la presente invención se refiere a aceros que presentan excelentes propiedades de fatiga de contacto rodante cuando se utilizan como partes o elementos.

Antecedentes en la técnica

Los cojinetes, cigüeñales y otras partes análogas son importantes para soportar unidades rotatorias y unidades deslizantes de maquinaria. Dichas partes suelen utilizarse en entornos severos ya que reciben una presión de contacto considerablemente alta (presión de superficie de contacto) y pueden recibir una fuerza externa diversa. Por esta razón, los aceros utilizados como materiales para las piezas requieren una durabilidad satisfactoria.

Dicho requerimiento se ha ido haciendo cada vez más exigente a medida que el rendimiento de la maquinaria ha ido siendo superior y su peso más ligero. Para mejorar la durabilidad de las piezas de cojinetes y ejes, las mejoras técnicas en lubricidad son importantes, pero son particularmente importantes las mejoras en las propiedades de fatiga de contacto rodante del acero.

Se han utilizado aceros de cojinetes de cromo con alto contenido en carbono, como SUJ2, prescritos según la norma industrial japonesa (JIS) G 4805 (1999), como materiales para cojinetes para su uso en automóviles, maquinaria industrial y otras aplicaciones. Sin embargo dichos cojinetes, de forma desventajosa, son susceptibles de fractura por fatiga causada por defectos muy finos (p.ej., inclusiones) ya que se utilizan en entornos severos, normalmente, como carrera interior y exterior y elementos rodantes de cojinetes de bolas y cojinetes de rodillo en los que la presión de contacto es muy alta. Para resolver este inconveniente, se ha tratado de mejorar los aceros de cojinetes para prolongar su vida de fatiga de contacto rodante y reducir así la frecuencia de mantenimiento.

Por ejemplo, en la bibliografía de patentes (PTL) 1 se propone una técnica que se refiere a acero de rodamientos. Dicha técnica especifica un contenido en Ti y Al y conlleva un tratamiento térmico tras la esferoidización. Se controla así la cantidad de partículas finas del carburo de titanio, carbonitruro de titanio y nitruro de aluminio y se reduce en virtud de ello el tamaño de los granos austeníticos previos. Por lo tanto, el acero para cojinetes puede presentar unas mejores propiedades de fatiga de contacto rodante.

De acuerdo con la técnica, sin embargo, se requiere un contenido en titanio muy alto de 0,26 % o más, lo cual aumenta de forma desventajosa el coste del acero y perjudica la viabilidad del acero. El acero resultante, fabricado a través de dicha técnica adolece de la formación de partículas de nitruro de titanio gruesas durante el moldeo y puede presentar una falta de uniformidad en la vida de fatiga debido a la formación de precipitados (partículas de nitruro de titanio). Por otra parte, el acero tiene un alto contenido en titanio, de 0,11 % o más, y presenta desventajosamente grietas y defectos causados por compuestos de nitrógeno con contenido en Al, formados durante el moldeo y el rodamiento, que tienen como resultado una escasa fabricabilidad.

En la patente japonesa JP 2008-88482, se describe un rodillo o bola de cojinete en el que se emplea un acero de cojinete como material, se controla el tamaño de grano de austenita retenido de la estructura de acero de la superficie al menos a una posición de profundidad de 1,5 mm en $\leq 3,5 \mu\text{m}$. Para obtener una estructura de acero en una sección de transferencia, se realiza un tratamiento dos o más veces donde se calienta el material en una región en dos fases de austenita y carburos esferoides, se enfría rápidamente después y se apaga.

En la patente japonesa JP 2008-88478, se describe un componente de acero que tiene una composición de componentes que comprende en masa de 0,6 a 1,5 % C, de 0,1 a 1,0 % Si, de 0,1 a 1,5 % Mn y de 0,05 a 2,0 % Cr, siendo el resto Fe con las impurezas inevitables. La estructura de acero antes del apagado comprende carburos esféricos con un diámetro del grano promedio de 0,30 a 0,55 μm , controlándose también el diámetro promedio de los granos de austenita retenidos en la parte de la capa superficial de la capa endurecida tras el apagado en $\leq 3,5 \mu\text{m}$.

En la patente japonesa JP 2000-96185, se describe acero que tiene una composición que contiene de 0,6 a $<0,95$ % C, de 0,1 a 1,5 % Si, de 0,2 a 1,5 % Mn, $<1,3$ % de Cr, ≤ 1 % Ni, $\leq 0,5$ % Mo, $\leq 0,3$ % Cu, $\leq 0,2$ % Nb, $\leq 0,5$ V, $\leq 0,5$ W, de $>0,0002$ a 0,01 % B, $\leq 0,05$ % Al, siendo el resto Fe con impurezas, controlándose las impurezas en $\leq 0,006$ % N, $\leq 0,002$ % Ti y $\leq 0,002$ % O y, además, en el caso en que los símbolos de los elementos representan los contenidos de los elementos en % en peso, el valor de N-0,3Ti-1,4B es $\geq 0,001$ %.

La solicitud japonesa JPH 10-30150 describe un cojinete de rodamiento utilizado disponiendo varios elementos rodantes 4 entre un anillo exterior (anillo fijo) 2 y un anillo interior (anillo rotatorio) 3. En este caso, el acero de cojinete, al menos del anillo exterior 2, tiene una composición de aleación que contiene en relación en peso, 0,50-1,60 % Cr y que contiene al menos alguna clase entre 0,02-0,10 % Al, 0,005-0,02 % N, 0,02-0,30 % V y 0,02-0,30 % Nb y que satisface la relación de $0,08 \% < \text{Al} + 4\text{N} + \text{V} + \text{Nb} < 0,8 \%$.

La patente japonesa JPS 63-135615 describe un acero de cojinete que tiene una composición de aleación básica

que incluye: C: 0,70-1,10 %, Si: 0,15-1,5 %, Mn: 0,15-1,5 %, Cr: 0,50-1,6 %, S: 0,005-0,02 %, SolAl: 0,015-0,05 %, N: 0,006-0,015 %, Ca: 0,0005-0,005 %, P: 0,02 % o menos, D: 0,0015 % o menos, Ti: 0,0020 % o menos y Fe sustancialmente como residuo. Por lo tanto, el acero de cojinete incluye menos componentes dañinos como MnS y silicato de calcio y excluye otras inclusiones. En consecuencia, no se genera agrietamiento debido a la fatiga de rodamiento en el acero de cojinete.

Lista de documentos citados

Bibliografía de patente

PTL 1: Patente japonesa No. 3591236

Sumario de la invención

Problema técnico

La presente invención se ha realizado en estas circunstancias y su objeto es proporcionar un acero que tiene una fabricabilidad satisfactoria y mejores propiedades de fatiga de contacto rodante.

Solución del problema

La presente invención consigue dicho objeto y proporciona un acero que consiste en C en un contenido comprendido entre 0,65 % y 1,30 %; Si en un contenido comprendido entre 0,05 % y 1,00 %; Mn en un contenido comprendido entre 0,1 % y 2,00 %; P en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,050 %; S en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,050 %; Cr en un contenido comprendido entre 0,15 % y 2,00 %; Al en un contenido comprendido entre 0,010 % y 0,100 %; N en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,025 %; Ti en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,015 %; y O en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,0025 %, que consiste opcionalmente en al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en Cu en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,25 %; Ni en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,25 %; y Mo en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,25 %, que consiste opcionalmente en al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en: Nb en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,5 %; V en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,5 %; y B en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,005 %, que consiste opcionalmente en al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en Ca en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,05 %; elemento(s) de tierras raras en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,05 %; Mg en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,02 %; Li en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,02 %; y Zr en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,2 %, que consiste opcionalmente en al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en Pb en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,5 %; Bi en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,5 %; y Te en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,1 %, en porcentaje en masa, consistiendo el resto en hierro e impurezas inevitables, en el que las partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al dispersadas en el acero tienen un diámetro de círculo equivalente promedio comprendido entre 25 y 200 nm; y estando presentes las partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al que tienen individualmente un diámetro de círculo equivalente comprendido entre 25 y 200 nm en una densidad numérica comprendida entre 1,1 y 6,0 por micrómetro cuadrado.

Tal como se emplea en el presente documento "diámetro de círculo equivalente" se refiere a un diámetro de círculo que, según se asume, tiene el área idéntica al de la partícula. En la presente invención, se calcula un diámetro de círculo equivalente de una partícula del compuesto de nitrógeno con contenido en Al observado en un área de observación, normalmente, con un microscopio electrónico de transmisión (TEM) o microscopio electrónico de barrido (SEM). Asimismo, tal como se emplea en el presente documento "compuesto(s) de nitrógeno con contenido en Al" se refiere no solamente a nitruro de aluminio (AlN), sino también a los compuestos correspondientes, salvo cuando contienen además uno o más elementos como Mn, Cr, S y Si (en un contenido total de hasta aproximadamente 30 %).

En una realización preferente, el acero de acuerdo con la presente invención tiene un número promedio de tamaño de grano austenítico previo de 11,5 o inferior. El acero de acuerdo con dicha realización puede tener propiedades de fatiga de contacto rodante aún mejores.

El acero de acuerdo con la presente invención puede contener eficazmente además uno o más elementos según sea necesario. Entre los ejemplos de dichos elementos se pueden mencionar:

(a) al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en Cu en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,25 %, Ni en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,25 % y Mo en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,25 %;

(b) al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en Nb en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,5 %, V en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,5 % y B en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,005 %;

(c) al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en Ca en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,05 %, elemento(s) de tierras raras en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,05 %, Mg en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,02 %, Li en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,02 % y Zr en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,2 %; y

(d) al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en Pb en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,5 %, Bi en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,5 % y Te en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,1%, El acero puede tener además mejores propiedades según el(los) elemento(s) contenidos.

La presente invención proporciona también un proceso de fabricación de un acero de la presente invención, comprendiendo dicho proceso las etapas de

enfriamiento del acero en un intervalo de temperaturas comprendido entre 850 °C y 650 °C a una velocidad de enfriamiento promedio comprendida entre 0,10 °C y 0,90 °C por segundo; y

enfriamiento del acero a un intervalo de temperaturas comprendido entre 650 °C y 25°C a una velocidad de enfriamiento promedio de 1 °C o más por segundo.

Efectos ventajosos de la invención

La presente invención puede proporcionar un acero que tiene propiedades de fatiga de contacto rodante aún mejores con una buena fabricabilidad controlando su composición química y dispersando adecuadamente compuestos de nitrógeno con contenido en Al que tienen tamaños apropiados en el acero. El acero de acuerdo con la presente invención puede presentar propiedades de fatiga de contacto rodante superiores incluso cuando se utiliza en condiciones de un entorno severo como pueda ser en cojinetes.

Breve descripción de los dibujos

[Fig. 1] Fig. 1 es un gráfico en el que se ilustra cómo varía la vida de fatiga L_{10} dependiendo de la densidad numérica de las partículas del compuesto de nitrógeno con contenido en Al.

[Fig. 2] Fig. 2 es un gráfico en el que se ilustra cómo varía el tamaño de cada una de las partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al, dependiendo de la densidad numérica.

[Fig. 3] Fig. 3 es un gráfico en el que se ilustra cómo varía la vida de fatiga L_{10} dependiendo del número de tamaño de grano austenítico previo.

[Fig. 4] Fig. 4 es un gráfico en el que se ilustra cómo varía el tamaño de las partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al dependiendo de la velocidad de enfriamiento primario.

Descripción de las realizaciones

Los autores de la presente invención han realizado varias investigaciones para proporcionar un acero que tiene propiedades de fatiga de contacto rodante superiores (que tiene una vida de fatiga de contacto rodante larga) sin perjudicar su fabricabilidad. Como resultado, han observado los siguientes hallazgos (A), (B), (C) y (D) que permiten que el acero tenga mejores propiedades de fatiga de contacto rodante.

(A) Se puede obtener una vida de fatiga de contacto rodante satisfactoria reduciendo el contenido en Al y permitiendo simultáneamente que se dispersen las partículas finas del compuesto de nitrógeno con contenido en Al en una gran cantidad y para contribuir al reforzamiento por dispersión, reforzamiento por dispersión que impide la generación y propagación de grietas;

(B) para suprimir el agrietamiento durante el moldeo y el rodamiento, debería especificarse la cantidad (densidad numérica) y el tamaño de las partículas del compuesto de nitrógeno con contenido en Al;

(C) para proporcionar un grado de dispersión deseado (densidad numérica) de las partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al, es importante controlar rigurosamente los contenidos en aluminio y nitrógeno en el acero y es útil enfriar lentamente el acero en un intervalo de temperaturas comprendidas entre 850 °C y 650°C, siendo dicho acero después del laminado en caliente y siendo el intervalo de temperaturas el intervalo de temperaturas de precipitación para los compuestos de nitrógeno con contenido en Al, y es también útil enfriar el acero después a una velocidad de enfriamiento superior en el proceso de fabricación; y

(D) los granos austeníticos previos, si son excesivamente finos, pueden causar a menudo la formación de fases de templado incompleto y pueden causar fácilmente que el acero tenga una corta vida de fatiga de contacto rodante.

Los autores de la presente invención han realizado una mayor investigación sobre la base de estas conclusiones para obtener mejores propiedades de fatiga de contacto rodante del acero. Como resultado, han observado que el acero puede tener unas propiedades de fatiga de contacto rodante significativamente mejores especificando de forma rigurosa el contenido en aluminio y nitrógeno en el acero y controlando las condiciones de fabricación del mismo, de manera que se permita que las partículas del compuesto de nitrógeno con contenido en Al dispersadas en el acero tras el apagado/templado tengan un diámetro del círculo equivalente promedio comprendido entre 20 y 200 nm y se permita que estén presentes partículas del compuesto de nitrógeno con contenido en Al que tengan individualmente un diámetro de círculo equivalente comprendido entre 25 y 200 nm en una densidad numérica

comprendida entre 1,1 y 6,0 por micrómetro cuadrado. Se ha completado la presente invención sobre la base de estos hallazgos.

5 Una clave importante en el acero de acuerdo con la presente invención es un control adecuado de la densidad numérica de las partículas del compuesto de nitrógeno con contenido en Al, que tienen individualmente un diámetro de círculo equivalente comprendido entre 25 y 200 m. Concretamente, el reforzamiento por dispersión de partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al suprime la generación y propagación de grietas y contribuye a conseguir propiedades de fatiga de contacto rodante satisfactorias. Para este fin, deberá controlarse adecuadamente el tamaño de partícula del compuesto de nitrógeno con contenido en Al. Si tienen un tamaño (diámetro de círculo equivalente promedio) por debajo de 25 nm o de más de 200 nm, las partículas del compuesto de nitrógeno con contenido en Al no presentarán los efectos de reforzamiento por dispersión. Las partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al tienen preferentemente un tamaño de 40 nm o más (y más preferentemente 50 nm o más) y preferentemente 150 nm o menos (y más preferentemente 125 nm o menos).

15 Si están presentes partículas del compuesto de nitrógeno con contenido en Al cada una de ellas con un diámetro de círculo equivalente comprendido entre 25 y 200 m, en una a densidad numérica de menos de 1,1 por micrómetro cuadrado, es posible que no presenten el reforzamiento por dispersión eficaz y no contribuyan a unas mejores propiedades de fatiga de contacto rodante, con el resultado propiedades de fatiga de contacto rodante insuficientes. Si están presentes partículas del compuesto de nitrógeno con contenido en Al cada una de ellas con un diámetro de círculo equivalente comprendido entre 25 y 200 m, en una densidad numérica de más de 6,0 por micrómetro cuadrado, pueden causar granos gruesos y en consecuencia fases de templado incompleto (p.ej., fases bainítica y perlítica) y esto puede suponer que el acero tenga una vida de fatiga de contacto rodante más corta (que tenga propiedades de fatiga de contacto rodante inferiores). Preferentemente, las partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al están presentes en una densidad numérica de 1,5 por micrómetro cuadrado o más (y más preferentemente 2,0 por micrómetro cuadrado o más) y preferentemente 5,0 por micrómetro cuadrado o menos (y más preferentemente 4,0 por micrómetro cuadrado o menos).

30 En una realización preferente del acero de acuerdo con la presente invención, se controlan eficazmente los granos austeníticos previos. Al aumentar el número del tamaño de grano (con una disminución del tamaño del grano) de los granos de austenita previos, el acero puede tener una dureza superior y se hace más resistente a la propagación de grietas. Sin embargo, con un número del tamaño del grano excesivamente grande (con un tamaño del grano excesivamente pequeño) de los granos de austenita previos, el acero puede tener una templabilidad inferior, incluir más fácilmente fases de temple incompleto y tener una vida de fatiga de contacto rodante más corta, por el contrario. Para prevenirlo, los granos austeníticos previos tienen preferentemente un número del tamaño de grano de 11,5 o inferior, más preferentemente 11,0 o inferior y más preferentemente aún 10,5 o inferior.

El acero de acuerdo con la presente invención se controla adecuadamente no solamente en cuanto al contenido en aluminio y nitrógeno, sino también en cuanto a otras composiciones químicas (C, Si, Mn, P, S, Cr, Al, N, Ti y O). Se especifica el contenido de estas composiciones químicas por las siguientes razones.

40 C: de 0,65 % a 1,30 %

45 El elemento carbono (C) es esencial para aumentar la dureza de templado, para mantener la fuerza a temperatura ambiente y a temperaturas elevadas y para impartir resistencia al desgaste al acero. Para presentar estos efectos, el contenido en carbono es 0,65% o más y deseablemente, se incluye en un contenido preferentemente de 0,8 % o más y más preferentemente 0,95 % o más. Sin embargo, si el carbono se incluye en un contenido alto, puede causar a menudo partículas de carburo gigantes y afectar negativamente en las propiedades de fatiga de contacto rodante al contrario. Para prevenirlo, se controla el contenido en carbono en 1,30 % o menos, preferentemente 1,2 % o menos y más preferentemente 1,1 % o menos.

50 Si: de 0,05 % a 1,00 %

55 El elemento silicio (Si) es útil para permitir que la matriz tenga un mejor reforzamiento de soluto y una mayor templabilidad. Para presentar dichos efectos, el Si se incluye en un contenido de 0,05 % o más y se incluye deseablemente, preferentemente, en un contenido de 0,1 % o más y más preferentemente 0,15 % o más, Sin embargo, si el contenido de Si es un contenido excesivamente alto, puede causar que el acero tenga una viabilidad y/ maquinabilidad significativamente inferiores. Para prevenirlo, se controla el contenido en Si en 1,00 % o menos, preferentemente 0,9 % o menos y más preferentemente 0,8 % o menos.

60 Mn: de 0,1 % a 2,00 %

65 El elemento manganeso (Mn) es útil para un mejor reforzamiento de soluto y la templabilidad de la matriz. Para presentar estos efectos, el Mn está incluido en un contenido de 0,1% o más y, deseablemente, está incluido en un contenido preferentemente de 0,15 % o más y más preferentemente 0,2 % o más. Sin embargo, Mn, si está incluido en un contenido excesivamente alto, puede hacer que el acero presente una viabilidad y/o una maquinabilidad significativamente inferiores. Para prevenirlo, se controla el contenido en Mn en 2,00 % o menos, preferentemente

ES 2 675 718 T3

1,6 % o menos y más preferentemente 1,2 % o menos.

P: más de 0 % a 0,050 %

5 El elemento fósforo (P) está contenido como una impureza inevitable, pero se segrega en el borde del grano dañando la viabilidad y ha de reducirse al mínimo deseablemente. La reducción extrema del contenido en fósforo, sin embargo, puede suponer una elevación de los costes de la fabricación del acero. Por estas razones, se controla el contenido en fósforo en 0,050 % o menos, preferentemente 0,04 % o menos y más preferentemente 0,03 % o menos.

10 S: más de 0 % a 0,050%

15 El elemento azufre (S) está contenido como una impureza inevitable, precipita como MnS (sulfuro de manganeso) para mejorar las propiedades de fatiga de contacto rodante y ha de reducirse al mínimo deseablemente. La reducción extrema del contenido en azufre, sin embargo, puede suponer una elevación de los costes de la fabricación del acero. Por estas razones, se controla el contenido del azufre en 0,050 % o menos, preferentemente 0,04 % o menos y más preferentemente 0,03% o menos.

20 Cr: de 0,15% a 2,00 %

25 El cromo (Cr) se combina con carbono o para formar un carburo, en virtud de lo cual imparte resistencia al desgaste al acero y contribuye a una mejor templabilidad del acero. Para presentar dichos efectos, se incluye Cr en un contenido de 0,15 % o más y, deseablemente, se incluye preferentemente en un contenido de 0,5 % o más y más preferentemente 0,9 % o más, Sin embargo, si Cr está incluido en un contenido excesivamente alto, es posible que se formen partículas de carburo gruesas y que causen que el acero tenga una vida de fatiga de contacto rodante más corta por el contrario. Para prevenirlo, se controla el contenido de Cr en 2,00 % o menos, preferentemente 1,8 % o menos y más preferentemente 1,6 % o menos.

30 Al: de 0,010 % a 0,100 %

35 El elemento aluminio desempeña un importante papel en el acero de acuerdo con la presente invención, se combina con el nitrógeno, en virtud de lo cual se dispersa finamente como partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al en el acero y ayuda a que el acero tenga mejores propiedades de fatiga de contacto rodante, Para formar partículas finas del compuesto de nitrógeno con contenido en Al, Al deberá incluirse en un contenido de al menos 0,010 % o más, Sin embargo, si se incluye Al en un contenido excesivamente alto de más de 0,100 %, puede hacer precipitar las partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al en un tamaño más grande y en un mayor número (densidad numérica) y esto puede hacer que el acero sea susceptible de tener grietas y otros defectos durante el moldeo y el rodamiento. Por otra parte, el Al en dicho contenido excesivamente alto puede causar que los granos sean excesivamente finos, perjudicando así la templabilidad. Es posible que el acero resultante no se pueda aplicar a partes de gran tamaño y que tenga una vida de fatiga de contacto rodante más corta. El contenido en Al es preferentemente 0,013 % o más y más preferentemente 0,015 % o más por lo que respecta su límite inferior y es preferentemente 0,08 % o menos y más preferentemente 0,05 % o menos por lo que respecta a su límite superior.

45 N: más de 0 % a 0,025 %

50 El elemento nitrógeno (N) desempeña un papel importante en el acero de acuerdo con la presente invención, al igual que Al, forma partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al finamente dispersadas y, en virtud de ello ayuda significativamente a que el acero presente mejores propiedades de fatiga de contacto rodante eficazmente. Sin embargo, si el nitrógeno está incluido en un contenido excesivamente alto de más de 0,025 %, puede hacer precipitar las partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al en un tamaño más grande y en mayor densidad numérica y esto puede hacer que el acero sea susceptible de tener grietas o defectos durante el moldeo y el rodamiento. El nitrógeno en dicho contenido excesivamente alto puede causar que los granos sean excesivamente finos perjudicando así la templabilidad. El acero resultante no se puede aplicar a partes de gran tamaño y tiene una vida de fatiga de contacto rodante más corta. Un límite inferior del contenido en nitrógeno no es crítico, siempre y cuando las partículas del compuesto de nitrógeno con contenido en Al puedan precipitar en una cantidad predeterminada. El límite inferior puede establecerse adecuadamente de acuerdo con la velocidad de enfriamiento después del laminado, el contenido de los elementos que se combinen con nitrógeno (p.ej., Ti, V, Nb, B, Zr y Te) y el contenido en Al. Normalmente, el compuesto de nitrógeno con contenido en Al puede precipitar en una cantidad predeterminada en un contenido de nitrógeno 0,0035 % o más. El contenido en nitrógeno es preferentemente 0,004 % o más y más preferentemente 0,006 % o más por lo que se refiere al límite inferior y es preferentemente 0,020 % o menos y más preferentemente 0,022 % o menos por lo respecta al límite superior.

65 Ti: más de 0 % a 0,015 %

El elemento titanio (Ti) se combina con nitrógeno en el acero para formar TiN (nitruro de titanio) y afecta

negativamente a las propiedades de fatiga de contacto rodante. Por otra parte, Ti afecta negativa y perjudicialmente a la viabilidad en frío y la viabilidad en caliente y deseablemente se reduce al mínimo. Una reducción extrema del contenido en Ti, sin embargo, puede suponer que se eleve el coste de la fabricación del acero. Por estas razones, se controla el contenido en acero en 0,015 % o menos. El contenido en Ti es preferentemente 0,01 % o menos y más preferentemente 0,005 % o menos por lo que respecta al límite superior.

O: más de 0 % a 0,0025 %

El elemento oxígeno (O) afecta significativamente a la forma de las impurezas del acero, forma Al_2O_3 , SiO_2 y otras inclusiones que afectan negativamente a las propiedades de fatiga de contacto rodante y deseablemente, se reduce al mínimo. Sin embargo, la reducción extrema del contenido en oxígeno puede suponer que se eleve el coste de la fabricación de acero. Por estas razones, se controla el contenido en acero en 0,0025 % o menos. El contenido en oxígeno es preferentemente 0,002 % o menos y más preferentemente 0,0015 % o menos por lo que respecta al límite superior.

Los elementos contenidos y especificados en la presente invención son tal como se ha mencionado siendo el resto hierro e impurezas inevitables. Los elementos contenidos en las materias primas, los materiales de construcción y las instalaciones de fabricación pueden penetrar en el acero como impurezas inevitables. Para prolongar más la vida de fatiga de contacto rodante, el acero puede contener positivamente además uno o más de los siguientes elementos.

Al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en Cu: más de 0 % a 0,25 %, Ni: más de 0 % a 0,25 %, y Mo: más de 0 % a 0,25 %.

Los elementos cobre (Cu), níquel (Ni) y molibdeno (Mo) pueden mejorar la templabilidad de matriz, aumentar la dureza y contribuir a unas mejores propiedades de fatiga de contacto rodante del acero. Dichos elementos pueden presentar eficazmente estos efectos cuando se incluyen un contenido de 0,03 % o más, Sin embargo, si dichos elementos se incluyen en un contenido superior a 0,25 %, pueden afectar negativamente a la viabilidad.

Al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en Nb: más de 0 % a 0,5 %, V: más de 0 % a 0,5 % y B: más de 0 % a 0,005 %.

Los elementos niobio (Nb), vanadio (V) y boro (B) pueden combinarse cada uno de ellos con nitrógeno para formar compuestos de nitrógeno y graduar los granos eficazmente para mejorar las propiedades de fatiga de contacto rodante. Cuando se añaden Nb y B, cada uno en un contenido de 0,0005 % o más y cuando se añade V, en un contenido de 0,001 % o más, pueden contribuir a unas mejores propiedades de fatiga de contacto rodante. Sin embargo, si se incluyen Nb y V, en un contenido superior a 0,5 % y si se incluye B en un contenido superior a 0,005 %, pueden causar granos excesivamente finos que causen a menudo al formación de fases de temple incompleto. Los contenidos de Nb y V son más preferentemente 0,3 % o menos y más preferentemente aún 0,1 % o menos; en cambio el contenido en boro es más preferentemente 0,003 % o menos y más preferentemente aún 0,001 % o menos por lo que respecta al límite superior.

Al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en Ca: más de 0 % a 0,05 %, elemento(s) de tierras raras: más de 0 % a 0,05 %, Mg: más de 0 % a 0,02 %, Li: más de 0 % a 0,02 % y Zr: más de 0 % a 0,2 %.

Los elementos calcio (Ca), elementos de tierras raras (REM), magnesio (Mg), litio (Li) y circonio (Zr) esferoidizan cada uno de ellos las inclusiones de óxido y en virtud de ello contribuyen a unas mejores propiedades de fatiga de contacto rodante. Dichos efectos pueden presentarse eficazmente en un contenido de Ca o elemento de tierras raras de 0,0005 % o más, o a un contenido de Mg, Li, o Zr de 0,0001 % o más. Sin embargo, los efectos pueden saturarse a un contenido excesivamente alto de estos elementos no esperándose los correspondientes efectos del contenido, con el resultado de una escasa rentabilidad. Para prevenirlo, se utilizan dichos elementos en los contenidos comprendidos dentro de los intervalos especificados, respectivamente. El contenido en Ca y en elemento de tierras raras son cada uno de ellos preferentemente 0,03 % o menos y más preferentemente 0,01 % o menos; el contenido en Mg y Li son cada uno de ellos más preferentemente 0,01 % o menos y más preferentemente 0,005 % o menos; y el contenido de Zr es más preferentemente 0,15 % o menos y más preferentemente 0,10 % o menos por lo que respecta a los límites superiores.

Al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en Pb: más de 0 % a 0,5 %, Bi: más de 0 % a 0,5 % y Te: más de 0 % a 0,1 %.

Los elementos plomo (Pb), bismuto (Bi) y telurio (Te) contribuyen cada uno de ellos a una mejor maquinabilidad. Dichos efectos se pueden presentar eficazmente con un contenido de Pb y Bi de 0,01 % o más, o a un contenido de Te de 0,0001 % o más. Sin embargo, Pb o Bi en un contenido superior a 0,5 %, o Te en un contenido superior a 0,1 % pueden causar por ejemplo, de manera desventajosa, marcas del rodillo con la fabricación. El contenido de Pb y Bi es de cada uno de ellos más preferentemente 0,3 % o menos y más preferentemente aún 0,2 % o menos; mientras que el contenido de Te es más preferentemente 0,075 % o menos y más preferentemente aún 0,05 % o

menos, por lo que respecta al límite superior.

Para dispersar las partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al en el acero de acuerdo con la presente invención después del apagado/templado, es importante utilizar planchas que tienen una composición química que
 5 satisface las condiciones descritas y controlar la velocidad de enfriamiento tras el laminado en el proceso de fabricación del acero. Las partículas del compuesto de nitrógeno con contenido en Al que precipitan en el proceso de enfriamiento tras el laminado permanecen intactas incluso después de la esferoidización, la fabricación de las partes y el proceso de apagado/templado. En la presente invención, se controlan las partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al para que tengan un diámetro de círculo equivalente promedio comprendido entre 25 y 200 nm y
 10 se controlan las partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al que tienen individualmente un diámetro de círculo equivalente comprendido entre 25 y 200 nm para su dispersión en una densidad numérica comprendida entre 1,1 y 6,0 por micrómetro cuadrado. Para conseguirlo, se controla una velocidad de enfriamiento promedio del acero en un intervalo de temperaturas comprendido entre 850 °C y 650 °C para que entre dentro del intervalo comprendido entre 0,10 °C y 0,90 °C por segundo. La velocidad de enfriamiento promedio en este intervalo de temperaturas se conoce también como "velocidad de enfriamiento primario promedio". El intervalo de temperaturas es un intervalo de temperaturas dentro del cual las partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al precipitan. Asimismo, se controla la velocidad de enfriamiento promedio en un intervalo de temperaturas comprendido entre 650 °C y la temperatura ambiente (25°C) en un 1 °C o más por segundo. Dicha velocidad de enfriamiento se conoce también como "velocidad de enfriamiento secundaria". El diámetro de círculo equivalente promedio de las partículas de
 20 compuesto de nitrógeno con contenido en Al precipitan a través del proceso de enfriamiento tras el laminado y el número por área unitaria (densidad numérica) de partículas del compuesto de nitrógeno con contenido en Al que tienen individualmente un diámetro de círculo equivalente comprendido entre 25 to 200 nm se mantienen intactos incluso después de la esferoidización, la fabricación de las partes y el proceso de templado/enfriamiento, independientemente de las condiciones de proceso de estos procesos.

El enfriamiento realizado a una velocidad de enfriamiento primaria de menos de 0,10 °C por segundo puede causar que las partículas del compuesto de nitrógeno con contenido en Al sean más gruesas. En cambio, el enfriamiento a una velocidad de enfriamiento primaria de más de 0,90 °C por segundo puede hacer que las partículas del compuesto de nitrógeno con contenido en Al tengan un diámetro de círculo equivalente promedio de menos de 25
 30 nm, o hacer que las partículas del compuesto de nitrógeno con contenido en Al tengan individualmente un tamaño predeterminado presente en una densidad numérica de menos de 1,1 por micrómetro cuadrado. Por lo tanto, es posible que las partículas del compuesto de nitrógeno con contenido en Al no tengan el tamaño deseado ni estén presentes en una densidad numérica deseada. En cambio, el enfriamiento, cuando se realiza a una velocidad de enfriamiento secundaria de 1 °C por segundo o más puede impedir que las partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al queden gruesas y controlar su tamaño.

El acero de acuerdo con la presente invención se conforma en la forma de la parte predeterminada, a continuación se apaga/templa y produce por ejemplo una parte de cojinete. El acero como material puede adoptar cualquier forma, como por ejemplo un alambre, un bastoncillo o cualquier otra forma, siempre y cuando sea aplicable para la
 40 fabricación. El tamaño del acero también se determina adecuadamente según el producto final.

La presente invención quedará ilustrada con mayor detalle haciendo referencia a varios ejemplos expuestos a continuación. Debe señalarse, sin embargo, que no se pretende que dichos ejemplos limiten el alcance de la invención; es posible introducir diversos cambios y modificaciones sin por ello alejarse del alcance y espíritu de la
 45 invención y que entran en su totalidad dentro del alcance de la invención.

Ejemplos

Se calentaron aceros (Números de Prueba 1 a 51) con las composiciones químicas que se indica en las Tablas 1 y 2
 50 a continuación, a una temperatura comprendida entre 1100°C y 1300°C en un horno de calentamiento y un horno de termo-difusión y se sometieron a desbastado a una temperatura comprendida entre 900 °C y 1200 °C. Después de la desbastado, se calentaron los aceros a una temperatura comprendida entre 900 °C y 1100 °C, se sometieron a laminación (incluyendo forjado que simula la laminación) y se produjeron barras redondas con un diámetro de 70 mm. Una vez completada la laminación, se enfriaron las barras redondas desde 850 °C hasta 650 °C a diferentes
 55 velocidades de enfriamiento promedio (tal como se expone en las Tablas 3 y 4) y se siguió enfriando desde 650 °C a la temperatura ambiente (25°C) a una velocidad de enfriamiento promedio de 1 °C por segundo y se produjeron aceros laminados y aceros forjados.

Se sometieron los aceros laminados o los aceros forjados a esferoidización a 795 °C durante un tiempo de retención
 60 de 6 horas y se afeitó la superficie por cortado. Se cortaron placas circulares de 60 mm de diámetro y 5 mm de espesor a partir de los aceros laminados o los aceros forjados resultantes, se calentaron a 840 °C durante 30 minutos, a continuación, se sometieron a apagado en aceite y templado a 160 °C durante 120 minutos. Se sometieron finalmente los trabajos a pulido final y produjeron muestras con una rugosidad superficial Ra (rugosidad superficial de media aritmética) de 0,04 µm o menos.

ES 2 675 718 T3

[Tabla 1]

Nº prueba	Composición química (en porcentaje en masa)*										Otros elementos
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Ti	N	O	
1	0,98	0,25	0,29	0,011	0,002	1,57	0,031	0,0009	0,011	0,0006	-
2	0,97	0,24	0,34	0,013	0,005	1,43	0,022	0,0015	0,0043	0,0005	-
3	0,96	0,24	0,33	0,013	0,004	1,45	0,023	0,0015	0,0102	0,0008	-
4	0,98	0,23	0,35	0,012	0,003	1,46	0,033	0,0021	0,0182	0,0008	-
5	0,97	0,24	0,35	0,012	0,002	1,45	0,019	0,0018	0,018	0,0008	-
6	0,99	0,33	0,31	0,012	0,003	1,41	0,029	0,0010	0,0165	0,0007	-
7	1,06	0,25	0,34	0,013	0,005	1,48	0,015	0,0025	0,0074	0,0010	-
8	0,99	0,34	0,29	0,012	0,001	1,49	0,027	0,0021	0,0098	0,0006	-
9	1,00	0,25	0,33	0,011	0,002	1,45	0,023	0,0006	0,0043	0,0006	-
10	1,01	0,25	0,39	0,011	0,003	1,45	0,019	0,0006	0,0075	0,0006	-
11	1,03	0,28	0,35	0,016	0,007	0,94	0,042	0,0014	0,0108	0,0011	-
12	1,02	0,29	0,34	0,015	0,001	1,53	0,057	0,0009	0,0198	0,0009	-
13	1,02	0,24	0,74	0,068	0,003	1,46	0,061	0,0010	0,0174	0,0007	-
14	0,99	0,33	0,31	0,012	0,003	1,41	0,036	0,0010	0,0175	0,0007	-
15	0,93	0,46	0,33	0,013	0,002	1,45	0,029	0,0015	0,0165	0,0007	-
16	0,98	0,23	0,35	0,012	0,003	1,46	0,035	0,0016	0,0164	0,0013	B:0,0021
17	0,99	0,35	0,29	0,025	0,008	1,57	0,034	0,0012	0,0121	0,0009	Ni:0,20,Cu:0,24
18	1,24	0,32	0,54	0,021	0,023	1,63	0,022	0,0035	0,0069	0,0012	Mo:0,06
19	0,89	0,86	0,85	0,036	0,025	1,13	0,042	0,0024	0,0135	0,0008	REM:0,001
20	0,93	0,46	0,26	0,025	0,014	1,12	0,038	0,0027	0,0112	0,0008	Ca:0,002,Mg:0,0002
21	0,87	0,41	1,24	0,043	0,018	1,27	0,038	0,0013	0,0109	0,0013	Li:0,0003,Zr:0,0002
22	1,02	0,24	0,74	0,018	0,012	1,34	0,038	0,0012	0,0096	0,0009	Pb:0,05
23	1,02	0,36	0,83	0,002	0,003	1,42	0,072	0,0010	0,0108	0,0006	-
24	0,98	0,53	0,28	0,017	0,006	1,63	0,026	0,0008	0,0137	0,0008	-
25	1,11	0,28	0,64	0,016	0,014	1,23	0,042	0,0020	0,0157	0,0014	-
26	0,98	0,53	0,31	0,015	0,017	1,63	0,061	0,0013	0,0158	0,0010	-

* Resto: hierro e impurezas inevitables distintos a P, S y O

[Tabla 2]

Nº prueba	Composición química (en porcentaje en masa)*										Otros elementos
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Ti	N	O	
27	0,98	0,23	1,28	0,011	0,002	0,94	0,062	0,0016	0,0142	0,0013	-
28	1,21	0,85	0,69	0,025	0,006	1,53	0,052	0,0015	0,0176	0,0007	Bi:0,07
29	1,05	0,28	0,37	0,026	0,009	1,47	0,072	0,0016	0,0198	0,0013	Nb:0,0010
30	1,02	0,36	0,34	0,015	0,006	1,44	0,092	0,0013	0,0168	0,0010	V:0,0031
31	1,03	0,33	0,39	0,012	0,003	1,56	0,023	0,0005	0,0038	0,0006	Te:0,02
32	0,99	0,34	0,33	0,012	0,002	1,47	0,021	0,0007	0,0039	0,0005	-
33	1,02	0,36	0,64	0,002	0,003	1,34	0,114	0,0013	0,0085	0,0013	-
34	0,85	0,27	1,51	0,014	0,005	1,15	0,281	0,0009	0,0078	0,0010	-
35	1,01	0,25	0,39	0,013	0,005	1,48	0,067	0,0025	0,0235	0,0009	-
36	0,97	0,72	0,28	0,037	0,003	1,23	0,009	0,0020	0,0201	0,0014	-
37	1,13	0,79	0,69	0,026	0,022	2,17	0,102	0,0102	0,0161	0,0015	-
39	0,97	0,53	0,29	0,001	0,018	1,39	0,024	0,0008	0,0070	0,0026	-
40	0,98	0,24	0,33	0,013	0,005	1,44	0,019	0,0160	0,0040	0,0007	-
41	1,06	0,34	0,57	0,013	0,004	1,42	0,022	0,0011	0,0272	0,0008	-
42	1,11	0,60	0,53	0,002	0,017	1,63	0,064	0,016	0,0122	0,0012	-
43	1,04	0,38	0,83	0,017	0,008	0,13	0,024	0,0015	0,0077	0,0012	-
44	1,08	0,48	0,32	0,054	0,004	0,76	0,026	0,0011	0,0147	0,0008	-
45	1,34	0,36	0,34	0,016	0,002	0,94	0,020	0,0013	0,0014	0,0013	-
46	1,01	0,35	0,33	0,014	0,052	1,43	0,027	0,0012	0,0074	0,0009	-
47	0,97	0,04	0,29	0,001	0,001	1,39	0,020	0,0008	0,007	0,0005	-
48	0,63	0,28	2,02	0,016	0,002	1,41	0,020	0,0013	0,0076	0,0006	-
49	1,13	1,04	1,38	0,023	0,018	1,77	0,019	0,0083	0,0085	0,0011	-
50	1,13	0,72	0,08	0,024	0,021	1,94	0,074	0,0087	0,0146	0,0014	-
51	1,05	0,39	0,37	0,018	0,009	2,02	0,043	0,0016	0,0078	0,0013	-

* Resto: hierro e impurezas inevitables distintos a P, S y O

5 Se sometieron las muestras preparadas a mediciones en cuanto al número (densidad numérica) y el tamaño de las partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al y los granos (número de tamaño de grano) de austenita

previa y a evaluaciones de la vida de fatiga y el agrietamiento (presencia o ausencia de grietas).

Medición de la densidad numérica y el tamaño de partícula de compuesto de nitrógeno con contenido en Al

5 Se determinó cómo se habían dispersado las partículas del compuesto de nitrógeno con contenido en Al del siguiente modo:

Se cortó cada una de las muestras después del tratamiento térmico, se pulió la sección transversal de las mismas y se sometió la sección transversal a depósito de vapor de carbono para dar una réplica y se observó la réplica con un microscopio electrónico de transmisión de emisión de campo (FE-TEM). En este proceso, se determinó la composición química del compuesto de nitrógeno con contenido en Al que contenía aluminio y nitrógeno con el detector de rayos X por energía dispersiva del TEM y se observaron los campos de visión de los mismos con un aumento de 30000. Se estableció que un campo de visión tenía un área de $16.8 \mu\text{m}^2$. Se observaron tres campos de visión arbitrarios en un área total de $50,4 \mu\text{m}^2$ y se analizaron los datos con un software de análisis de partículas ["Parade Analysis III para Windows. Versión 3.00 SUMITOMO METAL TECHNOLOGY" (marca comercial)] para determinar el tamaño (diámetro de círculo equivalente promedio) de las partículas y el número de partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al, teniendo cada una de ellas un diámetro de círculo equivalente comprendido entre 25 y 200 nm. Se convirtió el número en un valor por micrómetro cuadrado y se definió como densidad numérica.

20 Medición del grano austenítico previo (número de tamaño de grano)

Se cortó cada una de las muestras después del tratamiento térmico, se pulió la sección transversal de las mismas y se grabó al aguafuerte la sección transversal para revelar el borde del grano austenítico, se tomaron imágenes en cuatro puntos a una profundidad de 150 pm desde la capa superficial y se midió el tamaño del grano austenítico previo (número de tamaño de grano) de acuerdo con JIS G 0551 según el método de comparación con gráficos de tamaño de grano normal.

Medición de la vida de fatiga

30 Se sometió cada uno de los aceros (muestras) a una prueba de fatiga de contacto rodante 16 veces utilizando un equipo para pruebas de fatiga de contacto rodante de tipo empuje a una velocidad de ciclo de 1500 rpm, una presión de contacto de 5,3 GPa y un número de interrupciones de 2×10^6 . Se determinó la vida de fatiga L_{10} , trazando un gráfico de la probabilidad de fallos acumulada en un papel de probabilidades Weibull y definiendo la vida de fatiga L_{10} , como número de ciclos de esfuerzo hasta que la muestra experimentó fractura por fatiga a una probabilidad de fallo acumulada de 10 %. Se evaluó la vida de fatiga L_{10} resultante. En este punto fue aceptable un acero de muestra con una vida de fatiga L_{10} (vida L_{10}) de $1,0 \times 10^7$ o más.

Evaluación de agrietamiento

40 Se cortó la superficie de cada una de las muestras tras el laminado y la de las muestras tras el forjado y se observó a simple vista su superficie expuesta. Se determinó como grieta una muestra con un defecto (grieta) de 3 mm o más.

En las Tablas 3 y 4 a continuación se indican estos datos junto con las condiciones de fabricación (la velocidad de enfriamiento primaria y la presencia/ausencia de enfriamiento secundario).

45

[Tabla 3]

Nº prueba	Densidad numérica (número/ μm^2) de partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al	Tamaño (nm) de partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al	Velocidad de enfriamiento tras laminado promedio ($^{\circ}\text{C/s}$) desde $850 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $650 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Presencia/ ausencia de enfriamiento secundario	Número tamaño de grano	Presencia/ ausencia de grietas	Vida L_{10} (ciclo)
1	6,3	216,0	0,16	Ausencia	12,6	Ausencia	$5,9 \times 10^6$
2	0,6	84,0	1,24	Presencia	9,0	Ausencia	$4,3 \times 10^6$
3	1,7	52,0	0,33	Presencia	10,0	Ausencia	$2,4 \times 10^7$
4	2,3	112,0	0,20	Presencia	10,3	Ausencia	$1,2 \times 10^6$
5	1,5	64,0	0,41	Presencia	9,5	Ausencia	$2,5 \times 10^7$
6	4,6	228,0	0,24	Ausencia	11,0	Ausencia	$6,2 \times 10^6$
7	1,0	29,0	0,95	Presencia	9,0	Ausencia	$3,5 \times 10^6$
8	1,6	78,0	0,35	Presencia	9,0	Ausencia	$4,4 \times 10^7$
9	0,5	45,0	1,54	Presencia	9,1	Ausencia	$4,3 \times 10^6$
10	2,1	98,0	0,12	Presencia	10,4	Ausencia	$1,7 \times 10^6$
11	4,8	176,0	0,15	Presencia	11,2	Ausencia	$8,2 \times 10^7$

Nº prueba	Densidad numérica (número/ μm^2) de partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al	Tamaño (nm) de partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al	Velocidad de enfriamiento tras laminado promedio ($^{\circ}\text{C/s}$) desde 850°C a 650°C	Presencia/ ausencia de enfriamiento secundario	Número tamaño de grano	Presencia/ ausencia de grietas	Vida L_{10} (ciclo)
12	6,2	198,0	0,03	Presencia	12,8	Ausencia	$4,2 \times 10^6$
13	6,1	194,0	0,06	Presencia	11,7	Ausencia	$7,2 \times 10^6$
14	5,2	182,0	0,12	Presencia	11,4	Ausencia	$3,2 \times 10^7$
15	3,8	224,0	0,32	Ausencia	10,6	Ausencia	$8,4 \times 10^6$
16	3,4	106,0	0,18	Presencia	10,5	Ausencia	$2,0 \times 10^6$
17	2,8	122,0	0,10	Presencia	10,0	Ausencia	$2,0 \times 10^6$
18	1,2	60,3	0,40	Presencia	9,0	Ausencia	$1,2 \times 10^7$
19	2,9	94,0	0,58	Presencia	10,2	Ausencia	$1,9 \times 10^6$
20	2,3	76,8	0,62	Presencia	9,7	Ausencia	$1,4 \times 10^6$
21	1,6	47,0	0,84	Presencia	9,3	Ausencia	$5,3 \times 10^7$
22	2,0	71,4	0,64	Presencia	9,5	Ausencia	$1,0 \times 10^6$
23	6,5	238,6	0,06	Ausencia	12,4	Ausencia	$7,3 \times 10^6$
24	1,1	18,8	0,92	Presencia	9,0	Ausencia	$3,9 \times 10^6$
25	1,6	15,2	1,20	Presencia	9,4	Ausencia	$6,6 \times 10^6$
26	5,8	202,8	0,08	Presencia	11,9	Ausencia	$6,3 \times 10^6$

[Tabla 4]

Nº prueba	Densidad numérica (número/ μm^2) de partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al	Tamaño (nm) de partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al	Velocidad de enfriamiento tras laminado promedio ($^{\circ}\text{C/s}$) desde 850°C a 650°C	Presencia/ ausencia de enfriamiento secundario	Número tamaño de grano	Presencia/ ausencia de grietas	Vida L_{10} (ciclo)
27	4,1	82,0	0,26	Presencia	11,0	Ausencia	$1,6 \times 10^6$
28	1,8	163,7	0,26	Presencia	10,3	Ausencia	$7,5 \times 10^7$
29	2,2	131,1	0,46	Presencia	9,6	Ausencia	$1,3 \times 10^6$
30	5,8	78,0	0,14	Presencia	11,4	Ausencia	$1,8 \times 10^7$
31	1,6	102,0	0,11	Presencia	9,3	Ausencia	$5,3 \times 10^7$
32	1,3	88,8	0,18	Presencia	9,1	Ausencia	$1,7 \times 10^7$
33	8,0	292,2	0,12	Ausencia	13,8	Presencia	$6,9 \times 10^6$
34	18,5	628,2	0,12	Presencia	14,2	Presencia	$5,9 \times 10^6$
35	7,1	222,5	0,12	Presencia	10,5	Presencia	$1,4 \times 10^7$
36	1,3	14,5	0,76	Presencia	9,2	Ausencia	$8,5 \times 10^6$
37	7,7	251,4	0,34	Presencia	13,2	Ausencia	$4,5 \times 10^6$
39	1,2	61,4	0,47	Presencia	9,0	Ausencia	$2,2 \times 10^6$
40	0,6	54,0	0,50	Presencia	8,6	Ausencia	$4,7 \times 10^6$
41	4,5	121,8	0,24	Presencia	11,2	Ausencia	$7,9 \times 10^6$
42	4,0	128,3	0,64	Presencia	10,8	Ausencia	$8,9 \times 10^6$
43	1,6	75,9	0,37	Presencia	9,2	Ausencia	$7,5 \times 10^6$
44	2,9	103,7	0,28	Presencia	10,1	Ausencia	$7,0 \times 10^6$
45	0,6	68,0	0,29	Presencia	8,6	Ausencia	$6,5 \times 10^6$
46	1,7	80,2	0,38	Presencia	9,3	Ausencia	$4,9 \times 10^6$
47	1,7	38,7	0,58	Presencia	8,7	Ausencia	$7,2 \times 10^6$
48	1,4	71,7	0,34	Presencia	9,1	Ausencia	$7,7 \times 10^6$
49	1,3	12,6	0,78	Presencia	8,5	Ausencia	$7,7 \times 10^6$
50	4,4	123,2	0,86	Presencia	11,1	Ausencia	$5,7 \times 10^6$
51	2,1	78,5	0,64	Presencia	9,6	Ausencia	$7,7 \times 10^6$

5 Los datos indican lo siguiente. Específicamente, los datos demuestran que las muestras de las pruebas Nº 3 a 5, 8, 10, 11, 14, 16 a 22 y 27 a 32 satisficieron las condiciones (composición química, tamaño y densidad numérica de partículas del compuesto con contenido en Al) especificadas en la presente invención, o satisficieron además una condición preferente (número de tamaño de grano austenítico previo); y que estas tres muestras tuvieron cada una de ellas propiedades de fatiga de contacto rodante sin presentar grietas.

10 En cambio, las muestras de las pruebas Nº 1, 2, 6, 7, 9, 12, 13, 15, 23 a 26 y 33 a 51 no satisficieron una o más de

las condiciones especificadas en la presente invención y presentaron vidas de fatiga de contacto rodante corta.

Concretamente, las muestras de las pruebas N° 1, 6, 15, 23, 26, 33, 35 y 37 experimentaron enfriamiento tras el laminado en condiciones no adecuados, presentaron unos tamaños de partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al excesivamente grandes y tuvieron unas vidas de fatiga de contacto rodante cortas. De estas muestras, las muestras de las pruebas N° 23, 26, 33 y 37 también presentaron un número del tamaño de grano austenítico previo del intervalo preferente especificado en la presente invención.

Las muestras de las pruebas N° 2, 7, 9, 24 y 25 experimentaron un enfriamiento tras el laminado a una velocidad de enfriamiento excesivamente alta; en cambio la muestra de la prueba N° 40 presentó formación de nitruro de titanio (TiN) debido al contenido en Ti excesivamente alto. Estas muestras contenían partículas del compuesto de nitrógeno con contenido en Al en densidades numéricas insuficientes. La muestra de la prueba N° 34 incluyó Al en un contenido mayor que el intervalo especificado en la presente invención y en virtud de ello incluyó el compuesto de nitrógeno con contenido en Al en una densidad numérica excesivamente alta y en un tamaño excesivamente grande. Estas muestras presentaron vidas de fatiga de contacto rodante cortas.

Las muestras de las pruebas N° 12 y 13 incluyeron partículas del compuesto de nitrógeno con contenido en Al en una densidad numérica excesivamente alta y presentaron un número de tamaño de grano austenítico previo fuera del intervalo preferente especificado en la presente invención. Estas muestras presentaron vidas de fatiga de contacto rodante cortas.

Las muestras de las pruebas 36 a 39 y 41 a 51 tuvieron cada una de ellas una composición química fuera del intervalo especificado en la presente invención, y entre ellas la muestra de la prueba N° 37 tampoco satisfizo las demás condiciones tal como se han especificado. Estas muestras presentaron vidas de fatiga de contacto rodante cortas.

Sobre la base de los datos, la Fig. 1 ilustra cómo varía la vida de fatiga L_{10} dependiendo de la densidad numérica de partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al (las partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al tienen cada una de ellas un diámetro de círculo equivalente comprendido entre 25 y 200); y la Fig. 2 ilustra cómo varía el tamaño (diámetro de círculo equivalente promedio) dependiendo de la densidad numérica, cada una de las partículas del compuesto de nitrógeno con contenido en Al. En estas figuras se traza un gráfico de los datos de las muestras que tienen composiciones químicas que satisfacen las condiciones especificadas en la presente invención. Estas figuras demuestran que los aceros pueden tener cada uno de ellos una vida de fatiga L_{10} larga (vida de fatiga de contacto rodante) controlando la densidad numérica y el tamaño de partícula del compuesto de nitrógeno con contenido en Al.

La Fig. 3 ilustra cómo varía la vida de fatiga L_{10} dependiendo del número del tamaño del grano austenítico previo. La Fig. 3 demuestra que el control del número de tamaño de grano austenítico previo dentro de un intervalo apropiado es eficaz para proporcionar una vida de fatiga L_{10} larga (vida de fatiga de contacto rodante). La Fig. 4 ilustra cómo varía el tamaño del compuesto de nitrógeno con contenido en Al (diámetro de círculo equivalente promedio de las partículas del compuesto de nitrógeno con compuesto en Al) dependiendo de la velocidad de enfriamiento primaria (velocidad de enfriamiento promedio). La Fig. 4 demuestra que el control de la velocidad de enfriamiento primario dentro de un intervalo apropiado es eficaz para controlar el tamaño de partícula del compuesto de nitrógeno con contenido en Al.

REIVINDICACIONES

1. Un acero que consiste en:

- 5 C en un contenido comprendido entre 0,65 % y 1,30 %;
 Si en un contenido comprendido entre 0,05 % y 1,00 %;
 Mn en un contenido comprendido entre 0,1 % y 2,00 %;
 P en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,050 %;
 S en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,050 %;
 10 Cr en un contenido comprendido entre 0,15 % y 2,00 %;
 Al en un contenido comprendido entre 0,010 % y 0,100 %;
 N en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,025 %;
 Ti en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,015%; y
 O en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,0025%,

15 que consiste opcionalmente además en al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en:

- 20 Cu en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,25 %;
 Ni en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,25 %; y
 Mo en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,25 %,

que consiste opcionalmente además en al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en:

- 25 Nb en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,5 %;
 V en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,5 %; y
 B en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,005%,

que consiste opcionalmente además en al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en:

- 30 Ca en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,05 %;
 elemento(s) de tierras raras en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,05 %;
 Mg en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,02 %;
 Li en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,02 %; y
 Zr en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,2 %,

35 que consiste opcionalmente además en al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en:

- 40 Pb en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,5 %;
 Bi en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,5 %; y
 Te en un contenido comprendido entre más de 0 % y 0,1 %,

en porcentaje en masa, consistiendo el resto en hierro e impurezas inevitables, en el que:

- 45 las partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al dispersadas en el acero tienen un diámetro de círculo equivalente promedio comprendido entre 25 y 200 nm; y
 las partículas de compuesto de nitrógeno con contenido en Al que tienen individualmente un diámetro de círculo equivalente comprendido entre 25 y 200 nm están presentes en una densidad numérica comprendida entre 1,1 y 6,0 por micrómetro cuadrado.

50 2. El acero de la reivindicación 1, en el que el acero tiene un número promedio del tamaño de grano austenítico previo de 11,5 o inferior.

3. Un proceso de fabricación de un acero según se reivindica en la reivindicación 1 o 2, comprendiendo dicho proceso las etapas de:

- 55 enfriamiento del acero a un intervalo de temperaturas comprendido entre 850 °C y 650 °C, a una velocidad de enfriamiento promedio comprendida entre 0,10 °C y 0,90 °C por segundo; y
 enfriamiento del acero en un intervalo de temperaturas comprendido entre 650 °C y 25 °C, a una velocidad de enfriamiento promedio de 1 °C o más por segundo.

60

FIG. 1

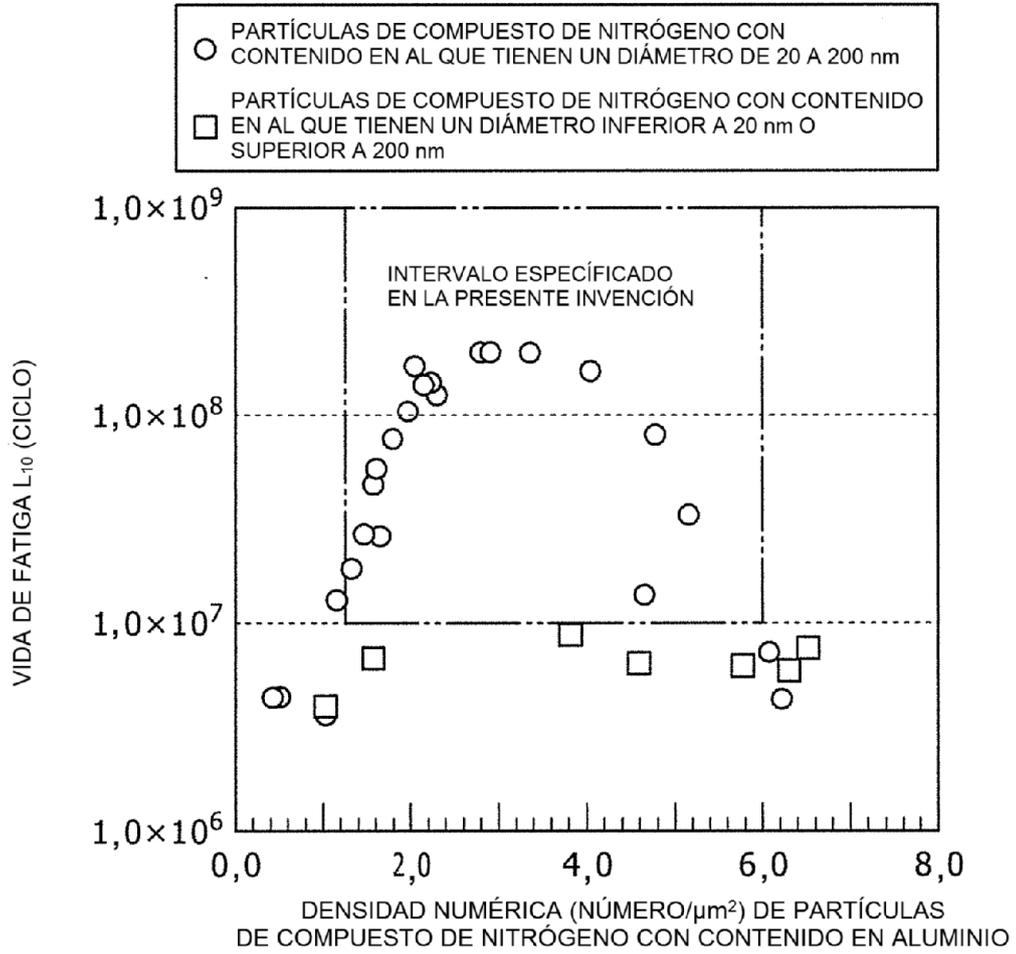


FIG. 2

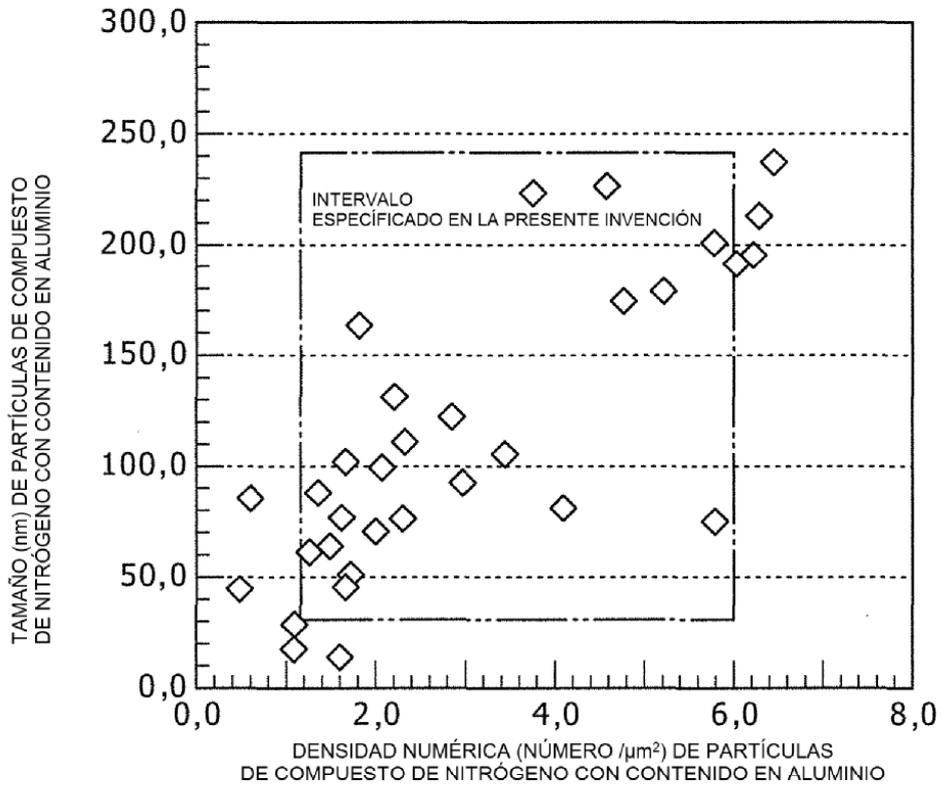


FIG. 3

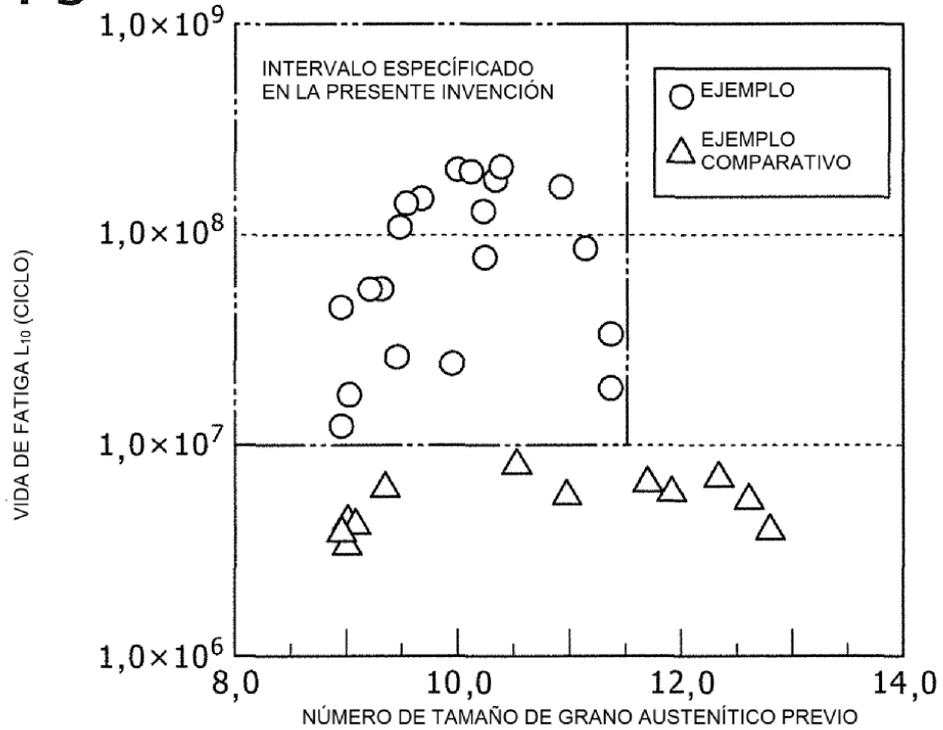


FIG. 4

