

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 710 305**

51 Int. Cl.:

<b>C22C 38/00</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/26</b>	(2006.01)
<b>C21D 9/34</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/28</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/12</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/40</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/02</b>	(2006.01)	<b>C21D 1/18</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/04</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/14</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/16</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/20</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/22</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/24</b>	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.03.2017** **E 17158696 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.11.2018** **EP 3214201**

54 Título: **Rueda ferroviaria**

30 Prioridad:

**02.03.2016 JP 2016039929**

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

**24.04.2019**

73 Titular/es:

**NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION (100.0%)  
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku  
Tokyo 100-8071, JP**

72 Inventor/es:

**KUBOTA, MANABU**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 710 305 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

Rueda ferroviaria

## 5 CAMPO DE LA TÉCNICA

La presente invención se refiere a una rueda y más concretamente, a una rueda ferroviaria empleada para un vehículo ferroviario.

## 10 ANTECEDENTES DE LA TÉCNICA

Para un transporte ferroviario altamente eficaz, se han hecho esfuerzos para aumentar el peso de carga en vehículos ferroviarios y también aumentar la velocidad de los vehículos ferroviarios. Consecuentemente, se han realizado estudios sobre reducción del daño por fatiga debido al contacto de rodadura con un raíl y mejora de la resistencia al desgaste.

15 Técnicas para mejorar la resistencia al desgaste de ruedas ferroviarias se han propuesto en la publicación de solicitud de patente japonesa N.º 2012-107295 (Bibliografía de patentes 1) y en la publicación de solicitud de patente japonesa N.º 2013-231212 (Bibliografía de patentes 2).

20 El acero para rueda descrito en la Bibliografía de patentes 1 contiene: en % en masa, C: 0.65 a 0.84%, Si: 0.02 a 1.00%, Mn: 0.50 a 1.90%, Cr: 0.02 a 0.50%, V: 0.02 a 0.20% y S: no más de 0.04%, siendo el resto Fe e impurezas, en donde Fn1, representada por la Fórmula (1) es  $34 + 43$  y Fn2, representada por la Fórmula (2), no es mayor que 25. Aquí, la Fórmula (1) se da como  $F_n1 = 2.7 + 29.5C + 2.9Si + 6.9Mn + 10.8Cr + 30.3Mo + 44.3V$  y la Fórmula (2) como  $F_n2 = 0.76 \times \exp(0.05C) \times \exp(1.35Si) \times \exp(0.38Mn) \times \exp(0.77Cr) \times \exp(3.0Mo) \times \exp(4.6V)$ .

25 La rueda para vehículo ferroviario descrita en la Bibliografía de patentes 2 contiene: en % en masa, C: 0.65 a 0.84%, Si: 0.4 a 1.0%, Mn: 0.50 a 1.40%, Cr: 0.02 a 0.13%, S: no más de 0.04% y V: 0.02 a 0.12%, siendo el resto Fe e impurezas, en donde Fn1, representada por la Fórmula (1) es  $32 + 43$  y Fn2, representada por la Fórmula (2), no es mayor que 25. Aquí, la Fórmula (1) se da como  $F_n1 = 2.7 + 29.5C + 2.9Si + 6.9Mn + 10.8Cr + 30.3Mo + 44.3V$  y la Fórmula (2) como  $F_n2 = \exp(0.76) \times \exp(0.05C) \times \exp(1.35Si) \times \exp(0.38Mn) \times \exp(0.77Cr) \times \exp(3.0Mo) \times \exp(4.6V)$ .

30 Las Bibliografías de patentes 1 y 2, anteriormente descritas, describen que la resistencia al desgaste de ruedas ferroviarias mejora cuando se satisface la Fórmula (1).

35 A propósito, en el transporte ferroviario se prevé también que cuando una rueda montada en un vehículo ferroviario se somete a un entorno corrosivo muy severo, ocurre fatiga por corrosión, en la cual se combinan corrosión y fatiga. Concretamente, se prevé que cuando una porción de placa de una rueda ferroviaria se expone a un entorno corrosivo, se forma una picadura por corrosión y ocurre un fenómeno de fatiga, en el cual la picadura por corrosión actúa como un origen de grieta. Por lo tanto, una rueda que se va a emplear para un vehículo ferroviario requiere también resistencia a la fatiga por corrosión.

40 Se han propuesto técnicas para mejorar la resistencia a la corrosión del acero en la publicación de solicitud internacional N.º WO2012/056785 (Bibliografía de patentes 3), en la publicación de solicitud internacional N.º WO2013/111407 (Bibliografía de patentes 4) y en la publicación de solicitud de patente japonesa N.º 2008-274367 (Bibliografía de patentes 5).

45 El acero para estructura de maquinaria para cementación en caja descrito en la Bibliografía de patentes 3 consiste en: en % en masa, C: 0.30 a 0.60%, Si: 0.02 a 2.0%, Mn: 0.35 a 1.5%, Al: 0.001 a 0.5%, Cr: 0.05 a 2.0%, Sn: 0.001 a 1.0%, S: 0.0001 a 0.021%, N: 0.0030 a 0.0055%, Ni: 0.01 a 2.0%, Cu: 0.01 a 2.0%, P: no más de 0.030% y O: no más de 0.005%, siendo el resto Fe e impurezas inevitables, en donde se satisfacen las Fórmulas (1) a (3). Aquí, la Fórmula (1) se da como  $-0.19 \leq 0.12 \text{ Sn} + \text{Cu} - 0.1 \times \text{Ni} \leq 0.15$ , la Fórmula (2) como  $60 \leq \text{Mn}/\text{S} \leq 300$  y la Fórmula (3) como  $\text{Sn} \geq 0.2 \times \text{Cr}$ .

50 El material de acero de cementación en caja descrito en la Bibliografía de patentes 4 tiene una composición química que consiste en: en % en masa, C: 0.05 a 0.45%, Si: 0.01 a 1.0%, Mn: más de 0 a 2.0%, Al: 0.001 a 0.06%, N: 0.002 a 0.03%, S: más de 0 a 0.1%, P: más de 0 a 0.05%, además, al menos no menos de un tipo de Mo, V, Nb, Cu, Ni, Cr y Sn y el resto: Fe e impurezas inevitables y satisface las Fórmulas (1) a (3). Aquí, la Fórmula (1) se da como  $\text{Re} = (\text{Ae}/\text{Ao}) \times 100 \leq 30\%$ , la Fórmula (2) como  $(\text{Cmín}, 1/\text{Co}) \geq 0.95$  y la Fórmula (3) como  $(\text{Cmín}, 2/\text{Co}) \geq 0.95$ . La estructura macroscópica de este material de acero de cementación en caja tiene una sección transversal que incluye una región de cristales equiaxiales y una región de cristales en columna dispuesta en los alrededores de la región de cristales equiaxiales.

55 El acero para pernos descrito en la Bibliografía de patentes 5 consiste en: en % en masa, C: 0.15 a 0.6%, Si: 0.05 a 0.5%, Mn y Cr: 0.5 a 3.5% en total, P: no más de 0.05%, S: no más de 0.03%, Cu: menos de 0.3%, Ni: menos de 1%, O: no más de 0.01% y Sn: 0.05 a 0.50%, siendo el resto Fe e impurezas. Además, el acero para

pernos tiene una composición en la cual la proporción Cu/Sn no es mayor que 1.

La Bibliografía de patentes 6 describe una composición de acero microaleado empleada para un eje de un vagón ferroviario que tiene resistencia alta, buena plasticidad, buena propiedad de impacto a baja temperatura y buena sensibilidad de resistencia a las grietas. La composición contiene: C: 0.50-0.57%, Si: 0.17-0.40%, Mn: 0.60-1.00%, Cr: 0.20-0.35%, Ni: 0.18-0.40%, Mo: 0.08-0.18%, Al: 0.02-0.06%, Ti: 0.020-0.060%, V: 0.030-0.10%, S: menos de o igual a 0.010%, P: menos de o igual a 0.020%, B: menos de o igual a 0.005%, Cu: menos de o igual a 0.20%, Sb: menos de o igual a 0.010%, Sn: menos de o igual a 0.03%, As: menos de o igual a 0.04%, [O]: menos de o igual a 0.0015% y [N]: menos de o igual a 0.0060% y el resto es Fe.

## LISTADO DE CITAS

### BIBLIOGRAFÍA DE PATENTES

Bibliografía de patentes 1: publicación de solicitud de patente japonesa N.º 2012-107295.

Bibliografía de patentes 2: publicación de solicitud de patente japonesa N.º 2013-231212.

Bibliografía de patentes 3: publicación de solicitud internacional N.º WO2012/056785.

Bibliografía de patentes 4: publicación de solicitud internacional N.º WO2013/111407.

Bibliografía de patentes 5: publicación de solicitud de patente japonesa N.º 2008-274367.

Bibliografía de patentes 6: publicación de solicitud de patente china N.º 101497968A.

## COMPENDIO DE LA INVENCION

### PROBLEMA TÉCNICO

Las Bibliografías de patentes 3 a 5, anteriormente descritas, describen que contener Sn mejora la resistencia a la corrosión del acero. No obstante, en las Bibliografías de patentes 3 a 5 no se ha realizado ningún estudio sobre una rueda ferroviaria y sobre la resistencia a la fatiga por corrosión de la rueda ferroviaria. Por lo tanto, cuando las técnicas de las Bibliografías de patentes 3 a 5 se emplean para una rueda ferroviaria, puede haber casos en los cuales la resistencia resulte ser insuficiente y/o no se pueda obtener suficiente resistencia a la fatiga por corrosión.

Es un objeto de la presente invención proporcionar una rueda ferroviaria la cual sea excelente en resistencia a la fatiga por corrosión.

### SOLUCIÓN AL PROBLEMA

La rueda ferroviaria de acuerdo a la presente realización tiene una composición química que consiste en: en% en masa, C: 0.40 a 0.80%, Si: 0.10 a 1.0%, Mn: 0.10 a 1.0%, P: no más de 0.030%, S: no más de 0.030%, Cr: 0.05 a 0.18%, Sn: 0.005 a 0.50%, Al: 0.010 a 0.050%, N: 0.0020 a 0.015%, Cu: 0 a 0.20%, Ni: 0 a 0.20%, Mo: 0 a 0.20%, V: 0 a 0.20%, Nb: 0 a 0.030% y Ti: 0 a 0.030%, siendo el resto Fe e impurezas. Una porción de placa de la rueda ferroviaria tiene una estructura matricial compuesta de perlita, en donde la fracción de área de perlita no es menor del 95%.

### EFFECTOS VENTAJOSOS DE LA INVENCION

Una rueda ferroviaria de acuerdo a la presente realización tiene una excelente resistencia a la fatiga por corrosión.

### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es un diagrama para mostrar una relación entre el contenido de Sn y la resistencia a la fatiga por corrosión.

La Figura 2 es una vista frontal, vista desde el frente, de una rueda ferroviaria.

La Figura 3 es una vista lateral, vista desde una parte del lado, de una rueda ferroviaria.

La Figura 4 es una vista frontal de una probeta de resistencia a la fatiga por corrosión por flexión rotatoria del tipo Ono, la cual es empleada para evaluación de la resistencia a la fatiga por corrosión.

### DESCRIPCIÓN DE LAS REALIZACIONES

El inventor de la presente invención ha realizado una investigación y un estudio sobre la resistencia a la fatiga por corrosión de ruedas ferroviarias empleando ruedas ferroviarias que tienen varias composiciones químicas y microestructuras y ha obtenido los siguientes resultados.

Cuando una rueda ferroviaria en un estado semimanufacturado, antes del recubrimiento, es transportada por mar en un barco, la rueda ferroviaria se expone a la humedad (condensación de rocío), al agua salada y a la sal suspendida en el aire. En ese momento, se puede formar una picadura por corrosión en la rueda ferroviaria. La rueda ferroviaria se emplea después de ser recubierta. Si, mientras se emplea la rueda ferroviaria, el recubrimiento de una porción de placa de la rueda ferroviaria es dañado y retirado, debido al deterioro a largo plazo y a la colisión con un objeto extraño (roca, etc.), y así el acero del material inicial es expuesto y sometido a un entorno atmosférico (incluido un caso en el cual hay presente sal suspendida en el aire), puede formarse una picadura por corrosión en la rueda ferroviaria. Una picadura por corrosión ocurrida en una situación tal

puede causar, posiblemente, deterioro de la resistencia a la fatiga por corrosión.

5 Para impedir tal fatiga por corrosión de una rueda ferroviaria, es eficaz mejorar la resistencia a la corrosión del acero en la atmósfera y en sal suspendida en el aire, suprimiendo de este modo la formación de una picadura por corrosión profunda, la cual actúa como un lugar de inicio de una grieta por fatiga. Para mejorar la resistencia a la corrosión del acero, es eficaz incluir una gran cantidad de Cr y Ni en el acero, para formar un acero inoxidable. No obstante, incluir Cr y Ni elevará el coste de la materia prima. Además, la productividad y la resistencia mecánica del acero se deteriorarán. Además, el Cr forma carburos en el acero rico en carbono para uso en ruedas ferroviarias. Por ese motivo, es difícil asegurar una cantidad de Cr disuelto, que contribuya a la resistencia a la corrosión. Por lo tanto, el acero que contiene una gran cantidad de Cr y Ni no es adecuado para uso en ruedas ferroviarias.

15 Como se ha descrito hasta aquí, para mejorar la resistencia a la fatiga por corrosión es fundamental suprimir la formación de una picadura por corrosión profunda en una porción de placa de una rueda ferroviaria. Incluir Sn en una rueda ferroviaria permite la supresión de la corrosión y de la formación de una picadura por corrosión bajo un entorno de agua salada. Como resultado, es posible mejorar la resistencia a la fatiga por corrosión del acero.

20 La Figura 1 es un diagrama para mostrar una relación entre el contenido de Sn y la resistencia a la fatiga por corrosión. La Figura 1 se ha obtenido a partir de Ejemplos que se describirán más adelante.

25 En referencia a la Figura 1, incluir Sn mejora notablemente la resistencia a la fatiga por corrosión de una rueda ferroviaria. Cuando el contenido de Sn no es menor de 0.005%, la resistencia a la fatiga por corrosión resultará mayor de 400 MPa, proporcionando así una rueda ferroviaria que tiene una excelente resistencia a la fatiga por corrosión.

[Estructura matricial]

30 Cuando una porción de placa de una rueda ferroviaria tiene una estructura matricial de perlita, se puede obtener una rueda ferroviaria que tiene una tenacidad y una ductilidad excelentes. El Sn se concentra en los límites de grano de la austenita. El acero compuesto de estructuras no perlíticas, tales como martensítica y bainítica, incluye límites de grano de austenita previos. Por ese motivo, es más probable que ocurra una fractura a lo largo de los límites de grano de la austenita previos, donde el Sn está concentrado. Como resultado, se deterioran la tenacidad y la ductilidad del acero. Cuando la estructura matricial del acero es perlítica, no habrá límites de grano de austenita previos. Por lo tanto, incluso si el Sn está concentrado en los límites de grano de la austenita previos antes del enfriamiento, no ocurrirán fracturas a lo largo de un límite de grano, dado que no hay límites de grano de la austenita previos en la estructura matricial (perlita) después del enfriamiento. Así, es posible suprimir el deterioro de la tenacidad y la ductilidad del acero.

40 Una rueda ferroviaria de la presente realización, la cual se ha completado en base a los resultados anteriormente descritos, tiene una composición química que consiste en: en % en masa, C: 0.40 a 0.80%, Si: 0.10 a 1.0%, Mn: 0.10 a 1.0%, P: no más de 0.030%, S: no más de 0.030%, Cr: 0.05 a 0.20%, Sn: 0.005 a 0.50%, Al: 0.010 a 0.050%, N: 0.0020 a 0.015%, Cu: 0 a 0.20%, Ni: 0 a 0.20%, Mo: 0 a 0.20%, V: 0 a 0.20%, Nb: 0 a 0.030% y Ti: 0 a 0.030%, siendo el resto Fe e impurezas. Una porción de placa de la rueda ferroviaria tiene una estructura matricial compuesta de perlita.

45 La composición química anteriormente descrita puede contener, en % en masa, no menos de un tipo seleccionado del grupo que consiste en Cu: 0.02 a 0.20% y Ni: 0.02 a 0.20%.

50 La composición química anteriormente descrita puede contener, en % en masa, uno o más tipos seleccionados del grupo que consiste en Mo: 0.005 a 0.20%, V: 0.005 a 0.20%, Nb: 0.010 a 0.030% y Ti: 0.010 a 0.030%.

En adelante en la presente memoria, una rueda ferroviaria de la presente realización se describirá en detalle. El símbolo "%" en referencia a elementos significa % en masa, a menos que se indique lo contrario.

55 [Composición química]

La composición química de una rueda ferroviaria de la presente realización contiene los siguientes elementos.

C: 0.40 a 0.80%

60 El carbono (C) aumenta la resistencia mecánica del acero y mejora la resistencia al desgaste y una resistencia a la fatiga. Cuando el contenido de C es demasiado bajo, no se pueden lograr tales efectos. Por otro lado, cuando el contenido de C es demasiado alto, la resistencia mecánica del acero llega a ser excesivamente alta y se deteriora la maquinabilidad durante el trabajo de acabado. Por lo tanto, el contenido de C es 0.40 a 0.80%. El límite inferior del contenido de C es preferiblemente 0.61% y más preferiblemente 0.65%. El límite superior del contenido de C es preferiblemente 0.75% y más preferiblemente 0.73%.

65 Si: 0.10 a 1.0%

## ES 2 710 305 T3

- 5 El silicio (Si) aumenta la resistencia mecánica del acero. Cuando el contenido de Si es demasiado bajo, no se puede lograr tal efecto. Por otro lado, cuando el contenido de Si es demasiado alto, la resistencia mecánica del acero resulta excesivamente alta y se deteriora la maquinabilidad durante el trabajo de acabado. Por lo tanto, el contenido de Si es 0.10 a 1.0%. El límite inferior del contenido de Si es preferiblemente 0.15% y más preferiblemente 0.20%. El límite superior del contenido de Si es preferiblemente 0.90% y más preferiblemente 0.80%.
- Mn: 0.10 a 1.0%
- 10 El manganeso (Mn) refina el espaciado interlaminar de la estructura de perlita, aumentando así la resistencia del acero. Cuando el contenido de Mn es demasiado bajo, no se puede lograr tal efecto. Por otro lado, cuando el contenido de Mn es demasiado alto, la maquinabilidad durante el trabajo de acabado y el rendimiento en el proceso de producción de ruedas ferroviarias se deterioran, dado que se produce una estructura no perlítica, tal como martensítica y bainítica. Por lo tanto, el contenido de Mn es 0.10 a 1.0%. El límite inferior del contenido de Mn es preferiblemente 0.50% y más preferiblemente 0.55%. El límite superior del contenido de Mn es preferiblemente 0.90% y más preferiblemente 0.85%.
- P: no más de 0.030%
- 20 El fósforo (P) es una impureza. El fósforo se segrega en los límites de grano, deteriorando de este modo la tenacidad del acero. Por lo tanto, el contenido de P no es más de 0.030%. El límite superior del contenido de P es preferiblemente 0.05% y más preferiblemente 0.015% y más preferiblemente 0.012%. El contenido de P es preferiblemente tan bajo como sea posible.
- S: no más de 0.030%
- 25 El azufre (S) está contenido de forma inevitable. Puede permitirse el S dado que el S forma MnS, mejorando de este modo la maquinabilidad del acero. Por otro lado, cuando el contenido de S es demasiado alto, se forman inclusiones groseras de sulfuro, deteriorando de este modo las propiedades de la rueda, tales como resistencia a la fatiga, dureza o similares del acero. Por lo tanto, el contenido de S no es más de 0.030%. El límite superior del contenido de S es preferiblemente 0.025% y más preferiblemente 0.012% y más preferiblemente 0.010%. El límite inferior del contenido de S para mejorar la maquinabilidad es preferiblemente 0.008%.
- 30 Cr: 0.05 a 0.20%
- 35 El cromo (Cr), al igual que el Mn, refina el espaciado interlaminar de la estructura de perlita, aumentando de este modo la resistencia del acero. Cuando el contenido de Cr es demasiado bajo, no se puede lograr tal efecto. Por otro lado, cuando el contenido de Cr es demasiado alto, la maquinabilidad durante el trabajo de acabado y el rendimiento en el proceso de producción de ruedas se deterioran, dado que se produce una estructura no perlítica, tal como martensítica y bainítica. Por lo tanto, el contenido de Cr es 0.05 a 0.20%. El límite inferior del contenido de Cr es preferiblemente 0.07%. El límite superior del contenido de Cr es preferiblemente 0.18% y más preferiblemente 0.16%.
- 40 Sn: 0.005 a 0.50%
- 45 El estaño (Sn) mejora la resistencia a la corrosión del acero. Además, el Sn suprime la formación de una picadura por corrosión, la cual actúa como un origen de grietas de fatiga, mejorando de este modo la resistencia a la fatiga por corrosión de una rueda. Cuando el contenido de Sn es demasiado bajo, no se pueden lograr tales efectos. Por otro lado, cuando el contenido de Sn es demasiado alto, se deteriora la ductilidad en caliente del acero, perjudicando así la productividad del acero. Por lo tanto, el contenido de Si es 0.005 a 0.50%. El límite inferior del contenido de Sn es preferiblemente 0.15% y más preferiblemente 0.20%. El límite superior del contenido de Sn es preferiblemente 0.40% y más preferiblemente 0.35%.
- 50 Al: 0.010 a 0.050%
- 55 El aluminio (Al) forma un nitrúro estable incluso en un rango de temperaturas elevadas. El nitrúro de aluminio suprime el engrosamiento de los granos de austenita como una partícula fijadora durante el calentamiento para el temple, refinando de este modo la estructura del acero. Como resultado, se mejora el equilibrio entre la resistencia mecánica y la tenacidad y la ductilidad del acero. Además, el aluminio es un elemento eficaz para desoxidar el acero durante la fundición. Por otro lado, cuando el contenido de Al es demasiado alto, se producen inclusiones groseras, deteriorando de este modo la dureza. Por lo tanto, el contenido de Al es 0.010 a 0.050%. El límite inferior del contenido de Al es preferiblemente 0.015% y más preferiblemente 0.020%. El límite superior del contenido de Al es preferiblemente 0.045% y más preferiblemente 0.040%. El contenido de Al mencionado en la presente memoria se refiere al contenido de Al soluble en ácido (sol. Al).
- 60 N: 0.0020 a 0.015%
- 65 El nitrógeno (N) forma un nitrúro estable incluso en un rango de temperaturas elevadas y el nitrúro suprime el engrosamiento de los granos de austenita como una partícula fijadora durante el calentamiento para el temple, refinando de este modo la estructura del acero. Por otro lado, cuando el contenido de N es demasiado alto, se producen inclusiones groseras, deteriorando de este modo la tenacidad. Por lo tanto, el contenido de N es 0.0020 a 0.015%. El límite inferior del contenido de N es preferiblemente 0.0030%. El límite superior del contenido de N es preferiblemente 0.0080% y más preferiblemente 0.0070%.

5 El resto de la composición química de la rueda ferroviaria de acuerdo a la presente realización consiste en Fe e impurezas. Aquí, el término impureza se refiere a aquellas, que se introducen desde minerales y chatarras como materias primas, entornos de producción o similares, cuando se produce industrialmente la rueda ferroviaria, y aquellas que estén permitidas dentro de un rango que no afecte de forma adversa a la rueda ferroviaria de la presente realización.

[Elementos opcionales]

10 La rueda ferroviaria anteriormente descrita puede además contener, en lugar de parte de Fe, no menos de un tipo seleccionado del grupo consistente en Cu y Ni. Cualquiera de estos elementos es un elemento opcional y mejora la capacidad de temple del acero, aumentando de este modo la resistencia mecánica del acero.

Cu: 0 a 0.20%

15 El cobre (Cu) es un elemento opcional y puede no estar contenido. Cuando está contenido, el Cu aumenta la resistencia mecánica del acero. No obstante, cuando el contenido de Cu es demasiado alto, se deteriora la ductilidad en caliente del acero y se deteriora la productividad durante la colada continua. Por lo tanto, el contenido de Cu es 0 a 0.20%. El límite inferior del contenido de Cu es preferiblemente 0.02% y más preferiblemente 0.04%. El límite superior del contenido de Cu es preferiblemente 0.15% y más preferiblemente 0.13%.

Ni: 0 a 0.20%

20 El níquel (Ni) es un elemento opcional y puede no estar contenido. Cuando está contenido, el Ni mejora la resistencia y la tenacidad del acero. No obstante, cuando el contenido de Ni es demasiado alto, aumenta el coste de la materia prima. Por lo tanto, el contenido de Ni es 0 a 0.20%. El límite inferior del contenido de Ni es 0.02% y más preferiblemente 0.04%. El límite superior del contenido de Ni es preferiblemente 0.15% y más preferiblemente 0.13%.

30 La rueda ferroviaria anteriormente descrita puede además contener, en lugar de parte de Fe, uno o más tipos seleccionados del grupo consistente en Mo, V, Nb y Ti. Cualquiera de estos elementos es un elemento opcional y refina la estructura del acero, aumentando de este modo la resistencia mecánica del acero.

Mo: 0 a 0.20%

35 El molibdeno (Mo) es un elemento opcional y puede no estar contenido. Cuando está contenido, el Mo aumenta la resistencia mecánica del acero mediante reforzamiento por precipitación. Además, el Mo, al igual que el Mn y el Cr, refina el espaciado interlaminar de la estructura de perlita, aumentando de este modo la resistencia mecánica del acero. No obstante, cuando el contenido de Mo es demasiado alto, se produce una estructura no perlítica, tal como martensítica y bainítica, y la maquinabilidad durante el trabajo de acabado y el rendimiento en el proceso de producción de ruedas se deterioran. Por lo tanto, el contenido de Mo es 0 a 0.20%. El límite inferior del contenido de Mo es preferiblemente 0.005% y más preferiblemente 0.008%. El límite superior del contenido de Mo es preferiblemente 0.15% y más preferiblemente 0.13%.

V: 0 a 0.20%

45 El vanadio (V) es un elemento opcional y puede no estar contenido. Cuando está contenido, el V forma carburos finos y aumenta la resistencia mecánica del acero mediante reforzamiento por precipitación. No obstante, cuando el contenido de V es demasiado alto, se produce una estructura no perlítica, tal como martensítica y bainítica, y la maquinabilidad durante el trabajo de acabado y el rendimiento en el proceso de producción de ruedas se deterioran. Por lo tanto, el contenido de V es 0 a 0.20%. El límite inferior del contenido de V es preferiblemente 0.005% y más preferiblemente 0.007%. El límite superior del contenido de V es preferiblemente 0.15% y más preferiblemente 0.13%.

Nb: 0 a 0.030%

50 El niobio (Nb) es un elemento opcional y puede no estar contenido. Cuando está contenido, el Nb forma un nitruro y un carburo en un rango de temperaturas elevadas y refina la estructura del acero, aumentando de este modo la resistencia mecánica del acero. No obstante, cuando el contenido de Nb es demasiado alto, se deteriora la ductilidad en caliente del acero y se deteriora la productividad durante la colada continua. Por lo tanto, el contenido de Nb es 0 a 0.030%. El límite inferior del contenido de Nb es preferiblemente 0.010% y más preferiblemente 0.012%. El límite superior del contenido de Nb es preferiblemente 0.025% y más preferiblemente 0.022%.

Ti: 0 a 0.030%

60 El titanio (Ti) es un elemento opcional y puede no estar contenido. Cuando está contenido, el Ti forma un nitruro y un carburo en un rango de temperaturas elevadas y refina la estructura del acero, aumentando de este modo la resistencia mecánica del acero. No obstante, cuando el contenido de Ti es demasiado alto, se deteriora la tenacidad del acero. Por lo tanto, el contenido de Ti es 0 a 0.030%. El límite inferior del contenido de Ti es preferiblemente 0.010% y más preferiblemente 0.012%. El límite superior del contenido de Ti es preferiblemente 0.025% y más preferiblemente 0.022%.

[Estructura matricial]

La Figura 2 es una vista frontal, vista desde el frente, de la rueda ferroviaria de la presente realización y la Figura 3 es una vista transversal de una porción cerca de la porción de llanta de la rueda ferroviaria de la presente invención. En referencia a las Figuras 2 y 3, la rueda ferroviaria incluye una porción de llanta 1, una porción de placa 2 y una porción de cubo 5. La porción de llanta 1 está dispuesta en el borde externo de la rueda ferroviaria e incluye una banda de rodadura 3 la cual hace contacto con el raíl. La porción de cubo 5 está formada en la porción central de la rueda ferroviaria. Un orificio pasante está formado en el centro de la porción de cubo 5 y un eje es ajustado a presión en el orificio pasante.

La porción de placa 2 está formada entre la porción de llanta 1 y la porción de cubo 5 y está conectada a la porción de llanta 1 y a la porción de cubo 5. El espesor de la porción de placa es menor que el espesor de la porción de llanta 1 y que el espesor de la porción de cubo 5.

La estructura matricial de la porción de placa 2 de la rueda ferroviaria está compuesta de perlita. En la presente descripción, la afirmación "la estructura matricial está compuesta de perlita" se refiere a que la fracción de área de perlita no es menor del 95% en la estructura matricial de una porción de placa.

Cuando una rueda ferroviaria, la cual está compuesta de una estructura no perlítica, tal como martensítica y bainítica, contiene Sn, el Sn se concentrará en los límites de grano de la austenita previos, deteriorando de este modo la propiedad mecánica de la rueda ferroviaria. Concretamente, se deterioran su tenacidad y ductilidad y las ruedas son más propensas a las grietas. Cuando la estructura matricial de la porción de placa 2 de la rueda ferroviaria está compuesta de perlita, no hay límite de grano de austenita previo. Por lo tanto, es posible lograr una rueda ferroviaria la cual es menos propensa a las grietas y es excelente en resistencia a la fatiga por corrosión.

Nótese que, preferiblemente, en la estructura matricial, la cementita hipereutéctica deteriora la tenacidad del acero. Por lo tanto, es preferible una fracción de área menor de cementita hipereutéctica en la porción de placa 2.

Nótese que la estructura matricial de la porción de llanta 1 de la rueda ferroviaria está compuesta de perlita, como la porción de placa 2. Es decir, en la estructura matricial de la porción de llanta 1, la proporción de área de perlita es 95% o más. Por otro lado, en la estructura matricial de la porción de cubo 5 de la rueda ferroviaria, la proporción de área de perlita es 85% o mayor y la proporción de área de ferrita pro-eutectoide es 15% o menor.

La estructura matricial se mide mediante el siguiente método. Se obtiene una muestra de la rueda ferroviaria (en la placa 2, si el espesor de la placa 2 se define como t, la posición es t/4 de profundidad desde la superficie). De entre las superficies de la muestra obtenida se selecciona una superficie perpendicular a la dirección circunferencial de la porción de placa 2 para la superficie de observación. Después de ser pulida, se ataca la superficie de observación con alcohol y ácido nítrico al 3% (líquido corrosivo Nital). La superficie de observación atacada se observa con un microscopio óptico con un aumento de 500 para producir imágenes fotográficas de 5 campos visuales arbitrarios.

En cada campo visual, cada fase de perlita, ferrita, bainita, martensita o similares exhibe un contraste diferente, respectivamente. Por lo tanto, en base al contraste, se determina cada fase. Se encuentra el área ( $\mu\text{m}^2$ ) de perlita, de entre las fases determinadas, en cada campo visual. Una fracción de área (%) de perlita se define como una relación de la suma total de las áreas de perlita en todos los campos visuales con respecto al área total de todos los campos visuales. El límite inferior de la fracción de área de perlita es preferiblemente 95% y más preferiblemente 98%.

[Método de producción]

Se describirá un ejemplo del método de producción de la rueda ferroviaria anteriormente descrita.

El método de producción de una rueda ferroviaria de la presente realización incluye un paso de preparar un material inicial (proceso de preparación), un paso de formar la rueda ferroviaria a partir del material inicial (proceso de formación) y un paso de realizar el tratamiento térmico de la rueda ferroviaria formada (proceso de tratamiento térmico). En adelante en la presente memoria, se describirá cada paso.

[Proceso de preparación]

Se produce acero fundido que tenga la composición química anteriormente descrita empleando un horno eléctrico, un convertidor o similares. Se emplea el acero fundido para producir un material. Por ejemplo, se emplea el acero fundido para producir una pieza colada mediante un método de colada continua. Alternativamente, se emplea el acero fundido para producir un lingote mediante el método de fabricación de lingotes. Se emplea la pieza colada o el lingote para producir una palanquilla como materia prima mediante laminador desbastador o forja. La materia prima puede ser una pieza colada producida mediante un método de colada continua. La forma de la materia prima es preferiblemente de columna.

[Proceso de formación]

Se forma un producto intermedio para ruedas ferroviarias empleando la materia prima preparada. Se corta la materia prima en una dirección perpendicular a la dirección longitudinal. Se realiza el trabajo en caliente en una dirección perpendicular a la superficie de corte de la materia prima para formarla en una forma de disco. Además, el producto intermedio de la rueda ferroviaria se forma de modo que tenga una forma aproximada de las ruedas mediante el trabajo en caliente. El trabajo en caliente es, por ejemplo, forja en caliente, laminado en caliente o similares. Dado que el producto intermedio tiene la forma de una rueda ferroviaria, el producto intermedio tiene una porción de banda de rodadura 3 y una porción de pestaña 4.

[Proceso de tratamiento térmico]

En el proceso de tratamiento térmico, se realiza un tratamiento térmico en el producto intermedio de las ruedas ferroviarias moldeadas. Concretamente, se realiza un tratamiento térmico en la porción de banda de rodadura 3 y en la porción de pestaña 4 del producto intermedio a alta temperatura, después del trabajo en caliente. Después del trabajo en caliente (forja en caliente o laminado en caliente), el producto intermedio puede ser recalentado (tratamiento de recalentamiento) y entonces puede llevarse a cabo el tratamiento térmico. El proceso de tratamiento térmico incluye un tratamiento de temple. Después del tratamiento de temple instantáneo, puede realizarse un tratamiento de templado. Como resultado, puede asegurarse una estructura de perlita dura en la porción de banda de rodadura 3 y en la porción de pestaña 4 de la porción de llanta 1 en la capa inferior de la estructura martensítica (capa de temple instantáneo) de la capa superficial más externa, la cual puede ser retirada mediante trabajo de corte.

En el temple instantáneo, por ejemplo, puede aplicarse un temple instantáneo a la banda de rodadura mediante agua de refrigeración. El medio de refrigeración del temple instantáneo no está particularmente limitado, siempre que se pueda obtener una tasa de refrigeración adecuada para una estructura deseada. El medio de refrigeración incluye, por ejemplo, aire, neblina, vapor (pulverizado), baño salino, etc. Incluso si se aplica temple instantáneo a la banda de rodadura, la estructura de la porción de placa, la cual tiene una tasa de refrigeración menor que la de la parte de banda de rodadura y la de la parte de pestaña, resulta perlita.

Se realiza el templado sobre el producto intermedio después del temple instantáneo. El templado puede ser realizado suficientemente a una temperatura conocida y durante un periodo de tiempo conocido. Por ejemplo, la temperatura de templado es de 400 a 600° C y el tiempo de estabilización térmica es de 60 a 180 minutos.

Una rueda ferroviaria, la cual ha sido producida mediante los pasos de producción anteriormente descritos, tendrá una estructura en la cual la fracción de área de perlita no es menor de 95% en la porción de placa 2. Por ese motivo, se reducirá la cantidad de desgaste de la rueda ferroviaria. Además, es posible conseguir una rueda ferroviaria la cual es excelente en capacidad de moldeado, no propensa a las grietas y también excelente en resistencia a la fatiga por corrosión, incluso si se contiene Sn.

**EJEMPLOS**

Piezas coladas que tienen composiciones químicas mostradas en la Tabla 1 se produjeron mediante colada continua. La pieza colada tenía un diámetro de 453 mm (Φ453 mm). Empleando las piezas coladas, se formaron ruedas ferroviarias mediante forjado en caliente.

Tabla 1

Prueba N.º	Composición química (% en masa, siendo el resto Fe e impurezas)													Fracción de área de perlitita (%)	Resistencia a la fatiga por corrosión (Mpa)		
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Sn	Al	N	Cu	Ni	Mo	V			Nb	Ti
1	0.66	0.30	0.70	0.015	0.010	0.10	0.15	0.030	0.004	-	-	-	-	-	-	97	440
2	0.50	0.35	0.70	0.017	0.011	0.20	0.15	0.030	0.004	-	-	0.04	-	-	-	95	410
3	0.70	0.29	0.79	0.017	0.011	0.08	0.15	0.030	0.004	-	-	-	-	-	-	98	460
4	0.70	0.29	0.79	0.017	0.011	0.08	0.15	0.030	0.004	-	0.20	-	-	-	-	98	500
5	0.70	0.29	0.79	0.017	0.011	0.08	0.15	0.030	0.004	0.20	0.20	-	-	-	0.010	96	540
6	0.70	0.29	0.79	0.017	0.011	0.08	0.15	0.030	0.004	-	-	-	-	0.010	-	96	560
7	0.72	0.83	0.78	0.014	0.009	0.11	0.15	0.030	0.004	-	-	-	0.03	-	-	99	590
8	0.73	0.84	0.81	0.006	0.011	0.09	0.15	0.030	0.004	-	-	-	0.09	-	-	95	510
9	0.70	0.29	0.79	0.017	0.011	0.08	0.005	0.030	0.004	-	-	-	-	-	-	99	400
10	0.70	0.29	0.79	0.017	0.011	0.08	0.10	0.030	0.004	-	-	-	-	-	-	99	400
11	0.70	0.29	0.79	0.017	0.011	0.08	0.20	0.030	0.004	-	-	-	-	-	-	99	530
12	0.70	0.29	0.79	0.017	0.011	0.08	0.30	0.030	0.004	-	-	-	-	-	-	99	540
13	0.70	0.29	0.79	0.017	0.011	0.08	0.40	0.030	0.004	-	-	-	-	-	-	99	580
14	0.70	0.29	0.79	0.017	0.011	0.08	0.50	0.030	0.004	-	-	-	-	-	-	99	610
15	0.70	0.29	0.79	0.017	0.011	0.08	-	0.030	0.004	-	-	-	-	-	-	99	230
16	0.70	0.29	0.79	0.017	0.011	0.08	0.03	0.030	0.004	-	-	-	-	-	-	99	230
17	0.70	0.29	0.79	0.017	0.011	0.08	-	0.030	0.004	0.20	-	-	-	-	-	100	380

5 Para cada una de las ruedas ferroviarias formadas se realizó el temple instantáneo a 850° C en la porción de banda de rodadura 3 y en la porción de pestaña 4 de la rueda ferroviaria. Concretamente, una rueda ferroviaria calentada a 850° C fue enfriada mediante pulverización de agua desde una boquilla mientras se rotaba la rueda (denominado “temple instantáneo de la banda de rodadura”). Se realizó templado adicional a 450° C en la porción de banda de rodadura 3 y en la porción de pestaña 4 de la rueda ferroviaria después del temple instantáneo. Dado que una capa templada instantáneamente (martensita y bainita como una estructura superenfriada) existe en la capa más externa de la banda de rodadura 3, se realizó trabajo de corte en la capa

10

más externa de la banda de rodadura 3 para retirar la capa templada instantáneamente. A través del proceso anterior, se fabricaron las ruedas ferroviarias de prueba números 1 a 17.

5 Las formas de las ruedas ferroviarias eran como se muestra en las Figuras 2 y 3. El diámetro de la rueda ferroviaria era 1200 mm, la anchura W 3 de la llanta 1 era 125 mm y el espesor D 3 de la banda de rodadura 3 de la llanta 1 era 65 mm.

[Prueba de observación de microestructura]

10 Se tomó una muestra para observación de microestructura desde la posición de t/4 de profundidad desde la superficie de la porción de placa 2 cortando perpendicularmente a la superficie de la porción de placa 2 de la rueda ferroviaria. La muestra se llenó con resina, de modo que la superficie de corte de la parte de placa 2 fuese la superficie a inspeccionar y se realizó pulido de espejo. A partir de ahí, se llevó a cabo la observación de la microestructura mediante el método anterior. Como resultado de la observación microscópica, en cualquier número de prueba, la proporción de área de perlita en la estructura matricial era 95% o mayor y la microestructura era sustancialmente perlita.

[Prueba de resistencia a la fatiga por corrosión]

20 Una probeta 10 de fatiga por flexión rotatoria del tipo Ono, mostrada en la Figura 4, se cortó de las posiciones mostradas en la Figura 2 y en la Figura 3 de la porción de placa 2 de la rueda ferroviaria de cada número de prueba. Se cortó una probeta de modo que la dirección longitudinal de la probeta estuviese a lo largo de la dirección circunferencial de la rueda.

25 En referencia a la Figura 4, la probeta 10 de fatiga por flexión rotatoria del tipo Ono tenía una sección transversal circular y una porción paralela de una longitud de 15 mm. Las cantidades mostradas sin unidades en la Figura 4 indican dimensiones (en mm) de zonas correspondientes de la probeta. En la Figura, "magnitudes de  $\Phi$ " indican diámetros (mm) de zonas especificadas.

30 Se realizó una PCC (Prueba de Corrosión Cíclica) a las probetas 10 de fatiga por flexión rotatoria del tipo Ono. Para impedir los efectos de corrosión causados por la PCC, las porciones de la probeta distintas de la porción paralela se sometieron a enmascaramiento. Las condiciones de la PCC fueron como sigue. Primero, se roció una solución de NaCl al 5% a una temperatura atmosférica de 35° C durante 8 horas (paso de rociado). Después, se mantuvo la probeta en una atmósfera de una temperatura de 35° C y una humedad relativa del 60% durante 16 horas (paso de mantenimiento). Siendo un paso de rociado y un paso de mantenimiento 1 ciclo, se realizaron 14 ciclos.

35 Se llevó a cabo una prueba de fatiga por flexión rotatoria del tipo Ono empleando probetas de las cuales se había retirado el enmascaramiento. Concretamente, la prueba de fatiga por flexión rotatoria de conformidad con JIS Z2274 (1974) se llevó a cabo en una condición alterna a una frecuencia de rotación de 3000 rpm en la atmósfera a temperatura ambiente (25° C) y la resistencia a la fatiga por corrosión (MPa) se definió como la tensión máxima a la cual no se producía rotura después de la repetición de un número de veces de  $N = 10^7$ .

[Resultados de las pruebas]

Los resultados de las pruebas se muestran en la Tabla 1.

45 En referencia a la Tabla 1, la composición química de la rueda ferroviaria de cada una de las pruebas Números 1 y 3 a 14 fue apropiada y la fracción de área de perlita de la estructura matricial de su porción de placa no fue menor del 95%. Como resultado, la resistencia a la fatiga por corrosión no fue menor de 400 MPa, mostrando una resistencia a la fatiga por corrosión excelente.

50 Por otro lado, en las pruebas Números 15 a 17 el contenido de Sn era demasiado bajo. Por ese motivo, la resistencia a la fatiga por corrosión fue menor de 400 MPa, mostrando una resistencia a la fatiga por corrosión baja.

55 Hasta el momento se han descrito realizaciones de la presente invención. No obstante, las realizaciones anteriormente descritas son meramente ejemplificaciones para llevar a cabo la presente invención. Por lo tanto, la presente invención no estará limitada a las realizaciones anteriormente descritas y puede llevarse a cabo alterando adecuadamente las realizaciones anteriormente descritas dentro de un rango que no se aleje del espíritu de la misma.

## 60 LISTADO DE REFERENCIAS NUMÉRICAS

- 1 Porción de llanta
- 2 Porción de placa
- 3 Banda de rodadura
- 4 Porción de pestaña
- 65 5 Porción de cubo

**REIVINDICACIONES**

- 5      **1.** Una rueda ferroviaria, que comprende una composición química que consiste en: en % en masa,  
C: 0.40 a 0.80%,  
Si: 0.10 a 1.0%,  
Mn: 0.10 a 1.0%,  
P: no más de 0.030%,  
S: no más de 0.030%,  
10      Cr: 0.05 a 0.18%,  
Sn: 0.005 a 0.50%,  
Al: 0.010 a 0.050%,  
N: 0.0020 a 0.015%,  
Cu: 0 a 0.20%,  
Ni: 0 a 0.20%,  
15      Mo: 0 a 0.20%,  
V: 0 a 0.20%,  
Nb: 0 a 0.030% y  
Ti: 0 a 0.030%,  
20      siendo el resto Fe e impurezas, en donde  
una porción de placa (2) tiene una estructura matricial compuesta de perlita, en donde la fracción de área de perlita  
no es menor de 95%.
- 25      **2.** La rueda ferroviaria de acuerdo a la reivindicación 1, en donde la rueda ferroviaria contiene no menos de un tipo  
seleccionado del grupo que consiste en  
Cu: 0.02 a 0.20% y  
Ni: 0.02 a 0.20%.
- 30      **3.** La rueda ferroviaria de acuerdo a las reivindicaciones 1 o 2, en donde la rueda ferroviaria contiene uno o más  
tipos seleccionados del grupo que consiste en  
Mo: 0.005 a 0.20%,  
V: 0.005 a 0.20%,  
Nb: 0.010 a 0.030% y  
Ti: 0.010 a 0.030%.
- 35

FIG. 1

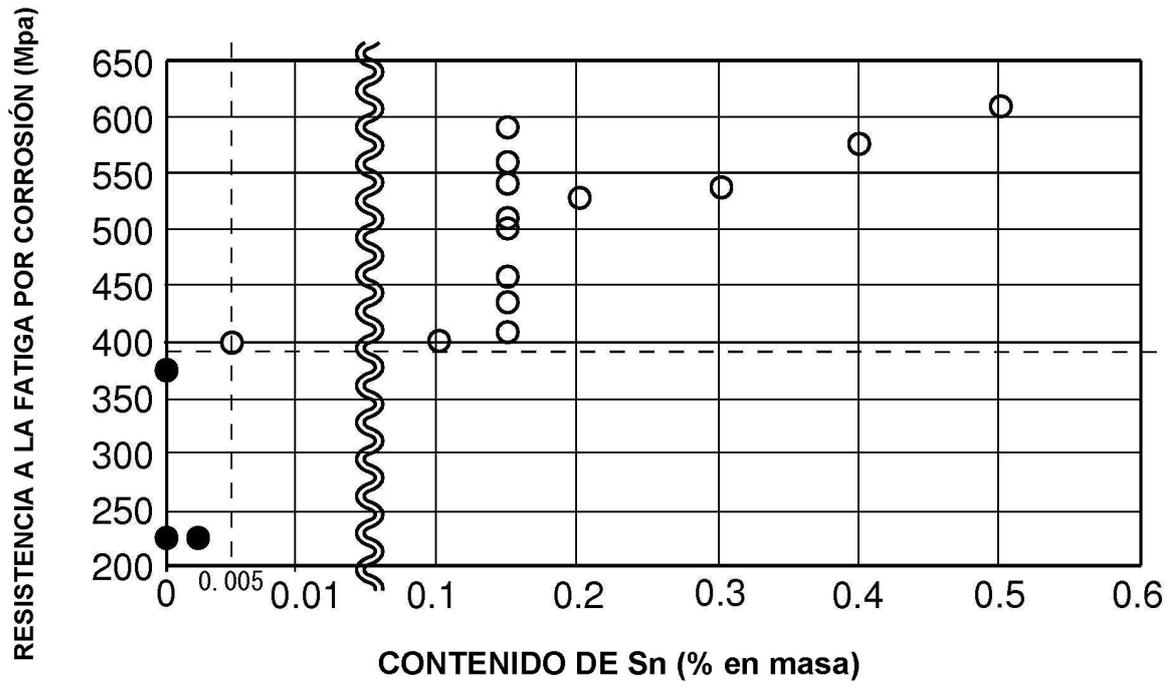


FIG. 2

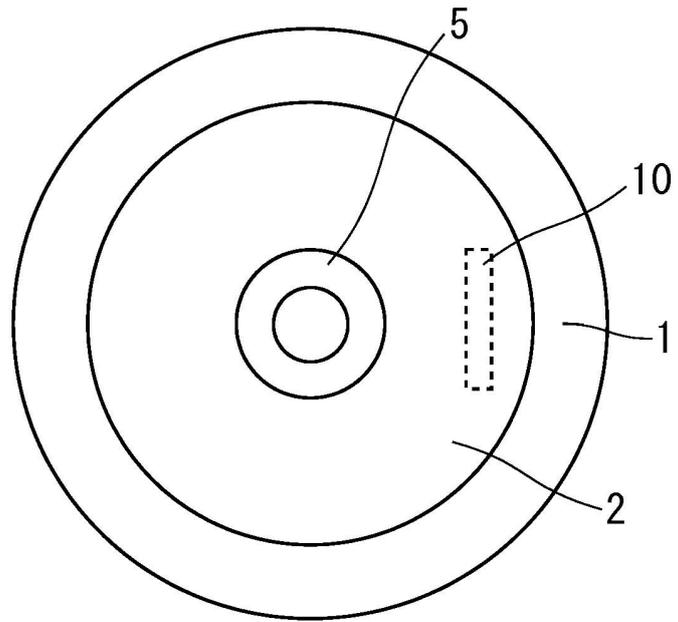


FIG. 3

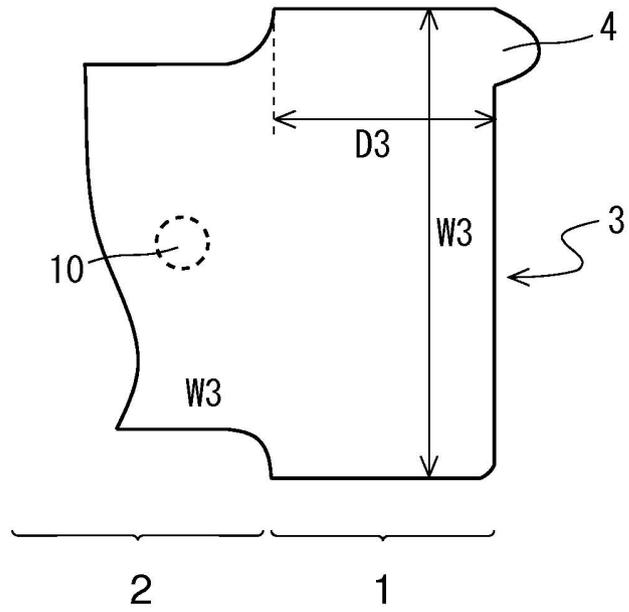


FIG. 4

