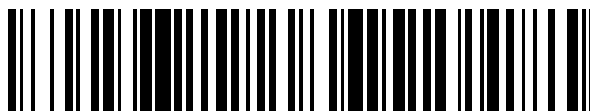


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 731 660**

51 Int. Cl.:

**C22C 38/00** (2006.01)

**C22C 38/04** (2006.01)

**C22C 38/58** (2006.01)

**C21D 9/04** (2006.01)

**C22C 38/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.08.2010 PCT/JP2010/063760**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.02.2011 WO11021582**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.08.2010 E 10809927 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.05.2019 EP 2361995**

54 Título: **Carril de perlita**

30 Prioridad:  
**18.08.2009 JP 2009189508**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**18.11.2019**

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

72 Inventor/es:  
**UEDA MASAHARU;  
SONOYAMA KYOHEI;  
TANAHASHI TAKUYA;  
MIYAZAKI TERUHISA y  
IWANO KATSUYA**

74 Agente/Representante:  
**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 731 660 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**

Carril de perlita

**Campo técnico**

5 La presente invención se refiere a un carril de vía férrea de perlita que mejora la resistencia a los daños por fatiga de la parte superior (cabeza) y la parte inferior (patín) del carril. En particular, la presente invención se refiere a un carril de perlita que se usa para curvas pronunciadas en ferrocarriles nacionales y en ferrocarriles internacionales de mercancías.

**Técnica anterior**

10 En lo que se refiere a los ferrocarriles de mercancías internacionales, con el fin de conseguir una alta eficiencia en el transporte por ferrocarril, se ha mejorado la capacidad de transporte de cargas de mercancías. En particular, en los carriles de las vías usados en secciones a través de las cuales pasan un gran número de trenes o para curvas pronunciadas, se produce un desgaste significativo de la parte superior o cabeza del carril o de la zona de la esquina de la cabeza del carril (la periferia de la esquina de la cabeza del carril que contacta intensamente con las zonas de las pestañas de las ruedas). Por tanto, hay un problema de disminución de la vida útil (de los carriles) debido al  
15 aumento del desgaste.

Además, de manera similar, en los ferrocarriles nacionales de pasajeros, en particular en los carriles usados para las curvas pronunciadas, el desgaste se desarrolla notablemente, como en los ferrocarriles de mercancías internacionales, de modo que existe el problema de la reducción de la vida útil debido al aumento del desgaste que se produce.

20 Teniendo en cuenta estos antecedentes, es necesario desarrollar carriles con alta resistencia al desgaste. Con el fin de solucionar el problema, se ha desarrollado un carril tal como se describe en el documento de patente 1. La principal característica del carril es que su estructura es de tipo perlita con un espaciado laminar fino que se hace realizando un tratamiento por calor con el fin de aumentar la dureza de la estructura de perlita.

25 En el documento de patente número 1, se describe una técnica de realización de un tratamiento térmico sobre un carril de acero que contiene acero alto en carbono lo que provoca que la estructura metálica tenga una estructura de tipo sorbita o una estructura de perlita fina. En consecuencia, consiguiendo una dureza alta del carril de acero, es posible proporcionar un carril con una excelente resistencia al desgaste.

30 Sin embargo, en los últimos años, se ha mejorado adicionalmente la capacidad de transporte y se ha aumentado la velocidad de los trenes de mercancías en los transportes de mercancías internacionales y en los trenes nacionales de pasajeros con el fin de conseguir mejorar la eficiencia en el transporte por ferrocarril. Con el carril descrito en el documento de patente 1, resulta difícil garantizar la resistencia al desgaste de la zona de cabeza del carril, así que existe el problema de la disminución de la vida útil del carril.

35 Con el fin de resolver el problema, se ha considerado aquí un carril de acero con una cantidad de carbono alta. Este carril tiene características tales como que la resistencia al desgaste se mejora aumentando la proporción en volumen de cementita en las láminas de la estructura de perlita.

40 En el documento de patente 2, se describe un carril que tiene una estructura de tipo perlita como estructura metálica aumentando la cantidad de carbono del carril de acero hasta una región hipereutectoide. En consecuencia, se mejora la resistencia frente al desgaste aumentando la proporción en volumen de la fase de cementita en la perlita laminar, de modo que se puede proporcionar un carril con una vida útil mayor. Según el documento de patente 2, se mejora la resistencia frente al desgaste del carril descrito, de manera que se consigue una determinada mejora de la vida útil del mismo. Sin embargo, en los últimos años, se ha producido un aumento excesivo de la densidad en el transporte por ferrocarril, de modo que se produce la generación de daños por fatiga en la zona de cabeza o en la zona del patín (base) del carril. En consecuencia, aunque se usa el carril descrito en el documento de patente 2, hay un problema con la vida útil del carril, que no es suficiente.

45 Lista de citas (bibliografía de patentes)

Documento de patente 1: Solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación número S51-002616

Documento de patente 2: Solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación número H08-144016

Documento de patente 3: Solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación número H08-246100

Documento de patente 4: Solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación número H09-111352

50 El documento de la patente EP 2 071 044 A1 describe métodos para producir carriles de acero perlítico con un alto contenido de carbono que tienen tanto una excelente resistencia al desgaste como ductilidad y que pueden usarse en ferrocarriles para transporte de cargas pesadas.

**Compendio de la invención**

*Problemas que resuelve la invención*

De acuerdo con los antecedentes, se prefiere para el carril de acero que incluye una estructura de perlita que tiene un contenido alto en carbono proporcionar un carril con resistencia a los daños por fatiga de las zonas de cabeza y patín del carril.

La invención se realizó en relación a los problemas descritos previamente: es un objetivo de la presente invención proporcionar un carril de perlita en el cual se mejore la resistencia frente a los daños por fatiga para ferrocarriles de mercancías internacionales y para ferrocarriles nacionales de pasajeros.

*Solución al problema*

La presente invención se refiere a:

(1) Un carril de perlita que incluye, en % en masa, de 0,65 a 1,20 % de C; de 0,05 a 2,00 % de Si; de 0,05 a 2,00 % de Mn; opcionalmente, uno o más de (a) una o dos especies entre: de 0,01 a 2,00 % de Cr y de 0,01 a 0,50 % de Mo; (b) una o dos especies entre: de 0,005 a 0,50 % de V y de 0,002 a 0,050 % de Nb; (c) de 0,01 a 1,00 % de Co; (d) de 0,0001 a 0,00050 % de B; (e) de 0,01 a 1,00 % de Cu; (f) de 0,01 a 1,00 % de Ni; (g) de 0,0050 a 0,05000 % de Ti; (h) una o dos especies entre: de 0,0005 a 0,0200 % de Ca y de 0,0005 a 0,0200 % de Mg; (i) de 0,0001 a 0,0100 % de Zr; (j) de 0,0040 a 1,00 % de Al; y (k) de 0,0060 a 0,0200 % de N; y el resto o saldo compuesto por Fe e impurezas inevitables, en el cual la región situada a la profundidad de 5 mm desde la superficie de la parte superior de la cabeza, en la parte superior de la cabeza y la región a la profundidad de 5 mm desde la superficie de la parte de la planta del patín en la zona del patín tienen una estructura de tipo perlita y la dureza de la superficie de la estructura de perlita está en el intervalo de dureza Vickers de Hv320 a Hv500 cuando se mide con una carga de 98 N y la rugosidad superficial máxima de la estructura de perlita es menor o igual de 180  $\mu\text{m}$ .

(2) En el carril de perlita descrito en el párrafo (1) anterior, es preferible que la proporción de la dureza superficial a la rugosidad superficial máxima sea igual o mayor de 3,5.

(3) En el carril de perlita descrito en los párrafos (1) o (2) anteriores, es preferible que en la zona en la que se mide la rugosidad superficial máxima, el número de concavidades y convexidades que superan 0,30 veces la rugosidad superficial máxima respecto de un valor promedio de rugosidad en la dirección vertical del carril (dirección de la altura) desde la parte del patín hasta la parte de cabeza sea menor o igual de 40 por cada longitud de 5 mm en la dirección longitudinal del carril de las superficies de la zona de la cabeza y de la zona del patín.

(4) a (14) Es preferible que el carril de perlita descrito en los párrafos anteriores (1) o (2) contenga selectivamente los componentes (a) a (k) en las proporciones que siguen (% en masa): (a) una o dos especies entre de 0,01 a 2,00 % de Cr y de 0,01 a 0,50 % de Mo; (b) una o dos especies entre: de 0,005 a 0,50 % de V y de 0,002 a 0,050 % de Nb; (c) una especie de 0,01 a 1,00 % de Co; (d) una especie de 0,0001 a 0,0050 % de B; (e) una especie de 0,01 a 1,00 % de Cu; (f) una especie de 0,01 a 1,00 % de Ni; (g) una especie de 0,050 a 0,0500 % de Ti; (h) una o dos especies entre: de 0,0005 a 0,0200 % de Ca y de 0,0005 a 0,0200 % de Mg; (i) una especie de 0,0001 a 0,0100 % de Zr; (j) una especie de 0,0040 a 1,00 % de Al; y (k) una especie de 0,0060 a 0,0200 % de N.

(15) Es preferible que el carril de perlita descrito en los párrafos (1) o (2) contenga, en % en peso: una o dos especies entre de 0,01 a 2,00 % de Cr y de 0,01 a 0,50 % de Mo; una o dos especies entre: de 0,005 a 0,50 % de V y de 0,002 a 0,050 % de Nb; de 0,01 a 1,00 % de Co; de 0,0001 a 0,0050 % de B; de 0,01 a 1,00 % de Cu; de 0,01 a 1,00 % de Ni; de 0,0050 a 0,0500 % de Ti; de 0,0005 a 0,0200 % de Ca y de 0,0005 a 0,0200 % de Mg; de 0,0001 a 0,2000 % de Zr; de 0,0040 a 1,00 % de Al; y de 0,0060 a 0,0200 % de N.

*Efectos ventajosos de la invención*

En el carril de perlita descrito en el párrafo (1) anterior, puesto que el mismo contiene cantidades de 0,65 % a 1,20 % de C, de 0,05 a 2,00 % de Si y de 0,05 a 2,00 % de Mn, es posible mantener la dureza (resistencia) de la estructura de perlita y mejorar la resistencia frente a los daños por fatiga. Además, no se genera fácilmente una estructura martensítica que es dañina de cara a las propiedades de resistencia frente a la fatiga y se puede eliminar la disminución en la variación del esfuerzo en el límite de fatiga, de modo que resulta posible mejorar la resistencia frente a la fatiga.

Además, en el carril de perlita, al menos una parte de la zona de la cabeza y al menos una parte de la zona del patín tienen una estructura perlítica y la dureza de la superficie de la parte (al menos una) de la zona de cabeza y de la

parte (al menos una) de la zona del patín está en el intervalo de dureza Hv320 a Hv500 y tiene una rugosidad superficial máxima menor o igual de 180 µm. Por lo tanto, resulta posible mejorar la resistencia frente a los daños por fatiga del carril para ferrocarriles de mercancías internacionales y ferrocarriles de transporte de pasajeros nacionales.

5 En el carril de perlita descrito en el párrafo (2) anterior, puesto que la relación entre la dureza en la superficie a la rugosidad superficial máxima es igual o mayor de 3,5, aumenta la variación del esfuerzo en el límite de fatiga, así que resulta posible mejorar la resistencia a la fatiga. Por lo tanto, es posible mejorar adicionalmente la resistencia a los daños por fatiga del carril de perlita.

10 En el carril de perlita descrito en el párrafo (3) anterior, puesto que el número de concavidades y convexidades es igual o menor de 40, aumenta la variación del esfuerzo en el límite de fatiga, de modo que mejora significativamente la resistencia a la fatiga.

15 En el carril de perlita descrito en el párrafo (4) anterior, puesto que contiene una o dos especies escogidas entre Cr (de 0,01 a 2,00 % en peso) y Mo (de 0,01 a 0,50 % en peso), el espaciado laminar de la estructura de la perlita que se forma es fino, de tal forma que se mejora la dureza (resistencia) de la estructura de perlita y se evita la generación de la estructura martensítica que es dañina para las propiedades de resistencia a la fatiga. Como resultado de ello, resulta posible mejorar la resistencia frente a los daños por fatiga del carril de perlita.

20 En el carril de perlita descrito en el párrafo (5) anterior, puesto que contiene una o dos especies escogidas entre V (de 0,005 a 0,50 % en peso) y Nb (de 0,002 a 0,050 % en peso), los granos de austenita producidos son finos, de modo que se mejora la resistencia y tenacidad de la estructura de perlita. Además, puesto que el V y el Nb evitan el reblandecimiento de las zonas afectadas por el calor de las juntas de soldadura, es posible mejorar la tenacidad de la estructura de perlita y la resistencia de las juntas soldadas.

En el carril de perlita descrito en el párrafo (6) anterior, puesto que contiene de 0,01 a 1,00 % en peso de Co, la estructura de ferrita de la superficie en contacto con el tren de laminación se fabrica más finamente, de tal modo que se mejoran las características de resistencia al desgaste.

25 En el carril de perlita descrito en el párrafo (7) anterior, puesto que contiene de 0,0001 a 0,0050 % en peso de B, se disminuye la dependencia de la temperatura de transformación de la perlita de la velocidad de enfriamiento, de tal modo que se proporciona un carril de perlita que tiene una distribución de dureza más uniforme. Como resultado de ello, resulta posible conseguir un aumento de la vida útil del carril de perlita.

30 En el carril de perlita descrito en el párrafo (8) anterior, puesto que contiene de 0,01 a 1,00 % en peso de Cu, se mejora la dureza (resistencia) de la estructura de perlita, de tal forma que se evita la generación de la estructura de martensita que es dañina para las propiedades de resistencia frente a la fatiga. Como resultado de ello, es posible mejorar la resistencia frente a los daños por fatiga del carril de perlita.

35 En el carril de perlita descrito en el párrafo (9) anterior, puesto que contiene de 0,01 a 1,00 % en peso de Ni, se mejora la resistencia y tenacidad de la estructura de perlita, de tal forma que se evita la generación de la estructura de martensita que es dañina para las propiedades de resistencia frente a la fatiga. Como resultado de ello, es posible mejorar la resistencia frente a los daños por fatiga del carril de perlita.

40 En el carril de perlita descrito en el párrafo (10) anterior, puesto que contiene de 0,0050 a 0,0500 % de Ti, se producen granos de austenita finos y de este modo se mejora la resistencia de la estructura de perlita. Además, se puede evitar el debilitamiento de las zonas de las juntas de soldadura, de modo que resulta posible mejorar la resistencia del carril de perlita.

En el carril de perlita descrito en el párrafo (11) anterior, puesto que contiene una o dos especies escogidas entre Mg (de 0,0005 a 0,0200 % en peso) y Ca (de 0,0005 a 0,0200 % en peso), los granos de austenita que se producen son finos y de este modo se mejora la resistencia de la estructura de perlita. Como resultado de ello, resulta posible mejorar la resistencia frente a los daños por fatiga del carril de perlita.

45 En el carril de perlita descrito en el párrafo (12) anterior, puesto que contiene de 0,0001 a 0,2000 % de Zr, se evita la generación de la estructura de martensita o de la cementita pro-eutectoide en una parte segregada del carril de perlita. En consecuencia, es posible mejorar la resistencia frente a los daños por fatiga del carril de perlita.

50 En el carril de perlita descrito en el párrafo (13) anterior, puesto que contiene de 0,0040 a 1,00 % de Al, se puede desplazar la temperatura de transformación eutectoide hacia la zona de temperaturas altas. En consecuencia, la estructura de perlita tiene una dureza (resistencia) alta y resulta posible mejorar la resistencia frente a los daños por fatiga.

En el carril de perlita descrito en el párrafo (14) anterior, puesto que contiene de 0,0060 a 0,0200 % de N, se acelera

la transformación a perlita de las fronteras de grano de austenita y se produce un tamaño de grano de perlita fino. En consecuencia, se mejora por tanto la tenacidad y resulta posible mejorar la resistencia del carril de perlita.

5 En el carril de perlita descrito en el párrafo (15) anterior, añadiendo Cr, Mo, V, Nb, Co, B, Cu, Ni, Ti, Ca, Mg, Zr, Al y N, resulta posible conseguir la mejora de la resistencia frente a los daños producidos por fatiga, la mejora de la resistencia frente al desgaste, la mejora de la tenacidad y resistencia, la prevención del ablandamiento de las zonas de soldadura afectadas por calor y el control de la distribución de dureza transversal de la parte interna de la zona de cabeza del carril de perlita.

*Breve descripción de los dibujos*

10 La figura 1 es un gráfico que muestra la relación entre la dureza o la estructura metálica de la superficie de la zona del patín de un carril de perlita y la variación del esfuerzo en el límite de fatiga, como resultado del ensayo de fatiga sobre el carril de perlita, según una realización de la invención.

La figura 2 es un gráfico que muestra la relación entre la rugosidad superficial máxima  $R_{max}$  de la superficie de la zona inferior (patín) del carril de perlita y la variación del esfuerzo en el límite de fatiga.

15 La figura 3 es un gráfico que muestra la relación entre el cociente  $SVH/R_{max}$  de la superficie de la zona del patín del carril de perlita y la variación del esfuerzo en el límite de fatiga.

La figura 4 es un gráfico que muestra la relación entre el número de concavidades y convexidades del carril de perlita y la variación del esfuerzo en el límite de fatiga.

20 La figura 5 es una vista en sección transversal lateral que muestra una zona que necesita una estructura de perlita con una dureza de Hv320 a Hv500 con indicación de las posiciones de la superficie en la vista de sección transversal, en el carril de perlita.

La figura 6A es un diagrama esquemático que muestra el resumen del ensayo de fatiga sobre la superficie de la zona de cabeza del carril de perlita.

La figura 6B es un diagrama esquemático que muestra el resumen del ensayo de fatiga sobre la superficie de la zona del patín del carril de perlita.

25 La figura 7 es un gráfico que muestra la relación entre la dureza de la superficie de la zona de cabeza y la variación del esfuerzo en el límite de fatiga distinguiendo en función de la relación entre la rugosidad superficial SVH y la rugosidad superficial máxima  $R_{max}$  del carril de perlita.

30 La figura 8 es un gráfico que muestra la relación entre la dureza de la superficie de la zona del patín y la variación del esfuerzo en el límite de fatiga distinguiendo en función de la relación entre la rugosidad superficial SVH y la rugosidad superficial máxima  $R_{max}$  del carril de perlita.

La figura 9 es un gráfico que muestra las relaciones entre la dureza de la superficie de la zona de cabeza del carril a base de perlita y la variación del esfuerzo en el límite de fatiga en función del número de concavidades y convexidades que superan 0,30 veces la rugosidad superficial máxima.

35 La figura 10 es un gráfico que muestra las relaciones entre la dureza de la superficie de la zona del patín del carril a base de perlita y la variación del esfuerzo en el límite de fatiga en función del número de concavidades y convexidades que superan 0,30 veces la rugosidad superficial máxima.

**Descripción de las realizaciones**

40 En lo que sigue, se describirá con detalle un carril a base de perlita (carril de perlita, simplemente) que tiene una excelente resistencia al desgaste y una excelente resistencia a los daños producidos por la fatiga, según una realización de la invención. En este documento, la realización no se limita a la descripción y deberá entenderse por las personas expertas en la técnica que las formas y detalles de dicha descripción se pueden modificar de diversas formas sin que ello signifique salirse del espíritu y alcance de la realización. Por lo tanto, debe interpretarse que la realización no se limita a la descripción que se proporciona más adelante. En lo que sigue de este documento, en términos de composición, los porcentajes en masa se indican simplemente mediante %. Además, cuando es necesario en este documento, el carril a base de perlita según esta realización se denomina carril de acero.

45 En primer lugar, los inventores examinaron situaciones en las cuales se produce daño por fatiga a los carriles de acero en vías reales. Como resultado de ello, se confirmó que el daño por fatiga de la zona de cabeza del carril de acero no se produce en la superficie de rodamiento que está en contacto con las ruedas, sino que se produce en la superficie de una zona que no está en contacto en la periferia de la misma. Además, se confirmó que el daño por fatiga de la zona del patín del carril de acero se produce a partir de la superficie en las cercanías de la parte central

de la zona del patín en la dirección de la anchura en la que el esfuerzo de tensión es relativamente alto. Por lo tanto, se encontró que el daño por fatiga en las vías reales se produce desde la zona de la cabeza y en la superficie de la zona del patín del carril.

5 Además, los inventores mostraron los factores de generación del daño por fatiga del carril de acero tomando como base los resultados del examen realizado. Se sabe que la resistencia a la fatiga del acero se correlaciona con la resistencia a la tracción (dureza) del acero. En este caso, se produjo un carril de acero utilizando acero que tenía una cantidad de C de 0,60 a 1,30 %, una cantidad de Si que tenía de 0,05 a 2,00 % y una cantidad de Mn de 0,05 a 2,00 % y llevando a cabo el laminado del carril y el tratamiento por calor del mismo, y se realizó un ensayo de fatiga que reproduce las condiciones de uso de una vía real. Además, las condiciones de ensayo fueron las siguientes:

10 (x1) Forma del carril: se usa un carril de acero de 67 kg/m (136 libras)

(x2) Ensayo de fatiga:

Método de ensayo: se realiza un ensayo de curvado de tres puntos (longitud de arco de 1 m y frecuencia de 5 Hz) sobre un carril de acero real.

15 Condición de carga: se realiza control de la variación del esfuerzo (máximo-mínimo, la carga mínima es el 10 % de la carga máxima).

(x3) Posición de ensayo: se añade una carga sobre la zona de cabeza del carril (se añade resistencia a la tracción sobre la zona del patín)

(x4) Número de repeticiones: 2 millones de veces, se denomina variación del esfuerzo en el límite de fatiga a la máxima variación de esfuerzo sin que se produzca fractura

20 Los resultados del ensayo de fatiga de curvado en tres puntos del carril de acero real se muestran en la figura 1. La figura 1 es un gráfico que muestra la relación entre la dureza o la estructura metálica de la superficie de la zona del patín del carril de acero y la variación del esfuerzo en el límite de fatiga. Aquí, la superficie de la zona del patín del carril de acero es una parte 3 de la suela o base mostrada en la figura 5. En lo que se refiere a la variación del esfuerzo en el límite de fatiga, tal como se describe en el párrafo precedente (x2), cuando el ensayo se realiza  
25 variando la carga entre el esfuerzo máximo y el esfuerzo mínimo, la diferencia entre el esfuerzo máximo y el esfuerzo mínimo es la misma que la variación del esfuerzo en el ensayo de fatiga y, en particular, tal como se describe en el párrafo (x4) previo, la máxima variación del esfuerzo sin que se produzca fractura es la variación del esfuerzo en el límite de fatiga.

30 En la figura 1 se confirmó que la variación del esfuerzo en el límite de fatiga que determina las propiedades de fatiga del acero se correlacionan con la estructura metálica del acero. Se encontró que el carril de acero en la región indicada por la flecha A en la figura 1 (dureza de la superficie de la zona del patín de Hv250 a Hv300) en la cual una pequeña cantidad de estructura de ferrita se mezcla con la estructura de perlita y el carril de acero en la región indicada por la flecha C de la figura 1 ((dureza de la superficie de la zona del patín de Hv530 a Hv580) en la cual una pequeña cantidad de estructura de martensita y de estructura de cementita pro-eutectoide se mezclan con la  
35 estructura de perlita tienen valores de la variación del esfuerzo en el límite de fatiga mucho menores y, en consecuencia, tienen su resistencia a la fatiga muy disminuida.

40 Además, en la región indicada mediante la flecha B en la figura 1, que representa una estructura de fase única de perlita (dureza de la superficie de la zona del patín de Hv300 a Hv530), hay una tendencia en el sentido de que la variación del esfuerzo en el límite de fatiga aumente a medida que lo hace la dureza de la superficie. Sin embargo, cuando la dureza de la superficie de la zona del patín supera el valor Hv500, la variación del esfuerzo en el límite de fatiga disminuye notablemente. Por lo tanto, se encontró que con el fin de garantizar de manera fiable una resistencia a la fatiga predeterminada, la dureza de la superficie debe estar incluida dentro de un intervalo predeterminado.

45 Además, los inventores verificaron factores que varían los valores de la variación del esfuerzo en el límite de fatiga de carriles de acero que tenían la misma dureza, con el fin de mejorar de forma fiable la resistencia frente a la fatiga del carril de acero. Como se muestra en la figura 1, los valores de la variación del esfuerzo en el límite de fatiga de estructuras de perlita que tienen la misma dureza varían en intervalos de aproximadamente 200 a 250 MPa. Aquí se examinó el punto de partida del carril de acero que se fracturó durante el ensayo de fatiga. Como resultado, se confirmó que el punto de partida tiene concavidades y convexidades y el daño por fatiga se produce a partir de las  
50 concavidades y convexidades.

En este caso, los inventores examinaron con detalle la relación entre la resistencia a la fatiga del carril de acero y las concavidades y convexidades del mismo. El resultado se muestra en la figura 2. La figura 2 es un gráfico que

muestra la relación entre la rugosidad superficial máxima  $R_{max}$  y la variación del esfuerzo en el límite de fatiga, midiendo la rugosidad de la superficie de la zona del patín de un carril de acero que tiene una cantidad de C de 0,65 a 1,20 %, una cantidad de Si de 0,50 %, una cantidad de Mn de 0,80 % y una dureza de Hv320 a Hv500, usando un medidor de rugosidad (rugosímetro). Aquí, la rugosidad superficial máxima es la suma de la profundidad del valle más profundo y de la altura de la montaña más alta, con respecto a un valor promedio de profundidades o alturas desde la zona del patín hasta la zona de cabeza en la dirección vertical del carril (dirección de la altura del mismo) como longitud de referencia de medida; para los detalles, indica la altura máxima ( $R_z$ ) de la curva de rugosidad descrita en el estándar JIS B 0601. Además, cuando se midió la rugosidad de la superficie, previamente se eliminó la película de óxido de la superficie del carril mediante lavado con ácido y limpieza con chorro de arena.

- 5
- 10 La resistencia a la fatiga del acero se correlaciona con la rugosidad superficial máxima y, en la figura 2, cuando la rugosidad superficial máxima  $R_{max}$  es menor o igual de 180  $\mu\text{m}$ , aumenta de manera significativa el valor de la variación del esfuerzo en el límite de fatiga. En consecuencia, se encontró que se garantiza una resistencia mínima frente a la fatiga (mayor o igual de 300 MPa) necesaria para el carril. Además, la variación del esfuerzo en el límite de fatiga del carril que tiene una dureza de Hv320 aumenta adicionalmente cuando su rugosidad superficial máxima  $R_{max}$  es igual o menor de 90  $\mu\text{m}$ , la variación del esfuerzo en el límite de fatiga del carril que tiene una dureza de Hv400 aumenta adicionalmente cuando su rugosidad superficial máxima  $R_{max}$  es igual o menor de 120  $\mu\text{m}$  y la variación del esfuerzo en el límite de fatiga del carril que tiene una dureza de Hv500 aumenta adicionalmente cuando su rugosidad superficial máxima  $R_{max}$  es igual o menor de 150  $\mu\text{m}$ .

20 Teniendo en cuenta estos resultados, con el fin de mejorar la resistencia a la fatiga del carril de acero que tiene una cantidad alta de componente carbono, se encontró de nuevo que la estructura metálica tiene que ser una estructura de una única fase de perlita, que la dureza de la superficie tiene que estar dentro del intervalo de Hv320 a Hv500 y que la rugosidad superficial máxima ( $R_{max}$ ) tiene que ser menor o igual de 180  $\mu\text{m}$ .

25 En este caso, si se mezcla una pequeña cantidad de ferrita, martensita y cementita pro-eutectoide con la estructura de perlita, no se disminuye de manera significativa la resistencia a la fatiga. Sin embargo, al contrario, con el fin de mejorar en el máximo grado posible la resistencia a la fatiga, es preferible que la estructura de perlita sea la única estructura de fase.

Además, los inventores examinaron con detalle la relación entre la variación del esfuerzo en el límite de fatiga, la dureza superficial (SVH: dureza superficial Vickers, por sus siglas en inglés) y la rugosidad superficial máxima  $R_{max}$  del carril de acero. Como resultado de estos estudios se encontró que hay una correlación entre la relación de la dureza superficial (SVH) del carril de acero y la rugosidad superficial máxima  $R_{max}$ , es decir, el cociente SVH/ $R_{max}$  y la variación del esfuerzo en el límite de fatiga. La figura 3 es un gráfico que muestra la relación entre el cociente SVH/ $R_{max}$  de un carril de acero que tiene una cantidad de C de 0,65 a 1,20 %, una cantidad de Si de 0,50 %, una cantidad de Mn de 0,80 % y una dureza de Hv320 a Hv500 y la variación del esfuerzo en el límite de fatiga del mismo. De nuevo se aprendió que en lo que respecta a carriles de acero que tenían cualquiera de los valores de dureza Hv320, Hv400 y Hv500, los valores de la variación del esfuerzo en el límite de fatiga de los carriles de acero que tenían un valor de SVH/ $R_{max}$  igual o mayor a 3,5 aumentaban hasta 380 MPa o más y, en consecuencia, su resistencia a la fatiga aumentaba mucho.

Además de la realización, los inventores examinaron la correlación entre la rugosidad de la superficie y la resistencia a la fatiga del carril de acero con el fin de mejorar la resistencia a la fatiga del carril de acero. La figura 4 muestra el resultado del ensayo de fatiga de carriles de acero que tenía una cantidad de C de 1,00 %, una cantidad de Si de 0,50 %, una cantidad de Mn de 0,80 % y una dureza de Hv400 cuando su rugosidad superficial máxima  $R_{max}$  era de 150  $\mu\text{m}$  y de 50  $\mu\text{m}$ . Con el fin de examinar en detalle la relación entre la rugosidad de la superficie de la zona del patín y la variación del esfuerzo en el límite de fatiga, se establece una correlación entre el número de concavidades y convexidades que superan 0,30 veces la rugosidad superficial máxima respecto de un valor promedio de profundidades y alturas en la dirección vertical del carril (dirección de la altura del mismo) desde la zona del patín hasta la zona de la cabeza del carril y la variación del esfuerzo en el límite de fatiga. Además, se cuenta el número de concavidades y convexidades en una longitud de la zona del patín de 5 mm en la dirección longitudinal del carril. Se encontró que en lo que se refiere a carriles de acero que tienen cualquier dureza y rugosidades superficiales máximas  $R_{max}$  de 150  $\mu\text{m}$  y de 50  $\mu\text{m}$ , usando carriles de acero que tienen un número de concavidades y convexidades de 40 o menos y, preferiblemente, de 10 o menos, el valor de la variación del esfuerzo en el límite de fatiga aumenta adicionalmente y, en consecuencia, la resistencia a la fatiga aumenta mucho.

Es decir, en esta realización, se puede mejorar la resistencia frente a los daños por fatiga del carril a base de perlita usado para ferrocarriles de transportes internacionales de mercancías y ferrocarriles nacionales de transporte de personas, permitiendo que la dureza de la superficie SVH de la zona de cabeza y de la zona del patín del carril de acero esté en el intervalo de Hv320 a Hv500 y usando el carril de acero que tiene una estructura de perlita con una alta cantidad de carbono como componente y que tiene una rugosidad superficial máxima  $R_{max}$  igual o menor de 180  $\mu\text{m}$ . Además, usando el carril a base de perlita que tiene una estructura de perlita con una cantidad alta de

5 carbono como componente en el cual la proporción SVH/Rmax o relación de la dureza de la superficie a la rugosidad máxima de la superficie es igual o mayor de 3,5, o usando el carril a base de perlita que tiene una estructura de perlita con una cantidad alta de carbono como componente en el cual el número de concavidades y convexidades es igual o menor de 40, es posible aumentar la variación del esfuerzo en el límite de fatiga y aumentar mucho la resistencia a la fatiga.

En esta realización, los resultados de la superficie de la parte del patín del carril a base de perlita se muestran en las figuras 1-4. Resultados similares a los mostrados en las figuras 1 a 4 se pueden obtener para la zona de cabeza del carril a base de perlita.

10 Además, la cantidad de C, la cantidad de Si y la cantidad de Mn no están limitadas a los valores descritos previamente y se pueden obtener los mismos resultados mientras la cantidad de C esté en el intervalo de 0,65 a 1,20 %, la cantidad de Si esté en el intervalo de 0,05 a 2,00 % y la cantidad de Mn esté en el intervalo de 0,05 a 2,00 %.

15 Además, se pueden incluir partes o zonas que tienen estructura de perlita, zonas que tienen una dureza superficial SVH en el intervalo de Hv320 a Hv500 y zonas que tienen una rugosidad superficial máxima Rmax igual o menor de 180 µm, al menos parte de la zona de cabeza y al menos parte de la zona del patín del carril a base de perlita.

20 Además, la proporción de la dureza superficial SVH a la rugosidad superficial máxima Rmax puede no ser necesariamente igual o mayor de 3,5 y el número de concavidades y convexidades puede no ser necesariamente igual a o menor de 40. Sin embargo, tal como se describe previamente en el texto, se puede conseguir una mejora adicional de la resistencia a la fatiga permitiendo que la relación SVH/Rmax sea igual o mayor de 3,5 y permitiendo que el número de concavidades y convexidades sea igual a o menor de 40.

A continuación, se describirán con detalle las razones de las limitaciones de esta realización.

En lo que sigue, en términos de la composición de acero, el % en masa aparece simplemente como %.

(1) Razones de la limitación en los componentes químicos

25 Se describirán con detalle las razones de las limitaciones de las cantidades de los componentes químicos del carril a base de perlita, de modo que la cantidad de C esté en el intervalo de 0,65 a 1,20 %, la cantidad de Si esté en el intervalo de 0,05 a 2,00 % y la cantidad de Mn esté en el intervalo de 0,05 a 2,00 %.

30 El C acelera la transformación a perlita y asegura, de este modo, la resistencia frente al desgaste. Cuando la cantidad de C en el carril a base de perlita es menor de 0,65 % es más probable que se forme ferrita pro-eutectoide, la cual es perjudicial para las propiedades de resistencia a la fatiga y además, resulta difícil mantener la dureza (resistencia) de la estructura de perlita. Como resultado de ello, se degrada la resistencia a los daños por fatiga del carril. Además, cuando la cantidad de C en la perlita supera 1,20 %, es más probable que se forme una estructura de cementita pro-eutectoide, que es perjudicial para las propiedades de resistencia a la fatiga. Como resultado de ello, se degrada la resistencia a los daños por fatiga del carril. En consecuencia, la cantidad de C en el carril a base de perlita está limitada al intervalo de 0,65 a 1,20 %.

35 El Si es esencial como agente desoxidante. Además, el Si aumenta la dureza (resistencia) de la estructura de perlita debido al fortalecimiento en disolución sólida de la fase de ferrita en la estructura de perlita y mejora de esta forma la resistencia a los daños por fatiga de la estructura de perlita. Además, el Si evita la generación de la estructura de cementita pro-eutectoide en el acero hipereutectoide e inhibe de este modo la degradación de las propiedades de resistencia a la fatiga. Sin embargo, cuando la cantidad de Si en el carril a base de perlita es menor de 0,05 %, no se puede esperar que se produzcan estos efectos de forma significativa. Además, cuando la cantidad de Si en el carril a base de perlita supera el 2,00 %, la capacidad de templado aumenta de manera significativa y, de esta forma, es más probable que se forme una estructura de martensita, la cual es perjudicial para las propiedades de resistencia a la fatiga. En consecuencia, la cantidad de Si añadida al carril a base de perlita está limitada al intervalo de 0,05 a 2,00 %.

45 El Mn aumenta la capacidad de templado y ello produce un espaciado laminar fino en la estructura de perlita, que asegura en consecuencia la dureza (resistencia) de la estructura de perlita y mejora la resistencia a los daños por fatiga. Sin embargo, cuando la cantidad de Mn contenida en el carril a base de perlita es menor de 0,05 %, estos efectos son pequeños, y resulta difícil garantizar la resistencia a los daños por fatiga que se necesita para el carril. Además, cuando la cantidad de Mn en el carril a base de perlita supera el 2,00 %, la capacidad de templado (templabilidad) aumenta de manera significativa y, de esta forma, es más probable que se forme una estructura de martensita, la cual es perjudicial para las propiedades de resistencia a la fatiga. En consecuencia, la cantidad de Mn añadida al carril a base de perlita está limitada al intervalo de 0,05 a 2,00 %.



Además, al carril a base de perlita producido con la composición de componentes indicada previamente, se añaden elementos como Cr, Mo, V, Nb, Co, B, Cu, Ni, Ti, Ca, Mg, Zr, Al y N, según sea necesario, con el objetivo de aumentar la dureza (resistencia) de la estructura de perlita, es decir, mejorar la resistencia frente a los daños por fatiga, mejorar la resistencia al desgaste, mejorar la tenacidad, evitar el reblandecimiento de las zonas afectadas por el calor en las soldaduras y controlar la distribución de dureza transversal de la parte interior de la zona de cabeza del carril.

Aquí, el Cr y el Mo aumentan el punto de transformación de equilibrio de la perlita y principalmente hacen que el espaciado laminar de la perlita sea fino, asegurando de este modo la dureza de la estructura de perlita. El V y el Nb evitan el crecimiento de los granos de austenita del carburo y nitruro generados durante la laminación en caliente y el enfriamiento posterior. Además, el V y el Nb mejoran la tenacidad y la dureza de la estructura de perlita o de la estructura de ferrita por endurecimiento mediante precipitación. Además, el V y el Nb generan carburo y nitruro de manera estable durante el recalentamiento y evitan de esta forma el reblandecimiento de las zonas afectadas por el calor de las juntas de soldadura. El Co hace que la estructura laminar o el tamaño de los granos de ferrita de la superficie en contacto con el tren de laminación sean finos aumentando así la resistencia al desgaste de la estructura de perlita. El B reduce la dependencia de la velocidad de enfriamiento de la temperatura de transformación de la perlita uniformizando así la distribución de dureza en la zona de cabeza del carril. El Cu se solubiliza en estado sólido en ferrita en la estructura de perlita o en la estructura de perlita, aumentando así la dureza de la estructura de perlita. El Ni mejora la tenacidad y dureza de la estructura de ferrita o la estructura de perlita y, simultáneamente, previene el reblandecimiento de las zonas afectadas por el calor de las juntas de soldadura. El Ti refina la estructura en las zonas de soldadura afectadas por el calor y evita el debilitamiento de las zonas afectadas por el calor en las juntas soldadas. El Ca y el Mg hacen finos los granos de austenita durante la laminación del carril y a la vez aceleran la transformación a perlita mejorando de esta forma la tenacidad de la estructura de perlita. El Zr aumenta la tasa de cristalización equiaxial de la estructura solidificada y suprime la formación de una zona de segregación en la parte central del tocho, haciendo de esta forma que el espesor de la estructura de cementita pro-eutectoide sea fino. El Al desplaza la temperatura de transformación eutectoide hacia los valores altos de temperatura y, por lo tanto, aumenta la dureza de la estructura de perlita. El objetivo principal de la adición de N es acelerar la transformación de la perlita puesto que el N se segrega hacia las fronteras de grano de austenita y hace pequeño el tamaño de los bloques de perlita, aumentando así la tenacidad.

A continuación, se describirán con detalle, las razones de las limitaciones en las cantidades de tales componentes en el carril a base de perlita.

El Cr aumenta la temperatura de transformación de equilibrio y, en consecuencia, hace que el espaciado laminar de la estructura de perlita sea fino, contribuyendo por lo tanto al aumento de la dureza (resistencia). Simultáneamente, el Cr refuerza la fase de cementita y en consecuencia mejora la dureza (resistencia) de la estructura de perlita aumentando por tanto la resistencia a los daños por fatiga de la estructura de perlita. Sin embargo, cuando la cantidad de Cr contenida en el carril a base de perlita es menor de 0,01 % esos efectos son pequeños y no se puede manifestar completamente el efecto de aumento de la dureza del carril a base de perlita. Además, cuando la cantidad de Cr contenida en el carril a base de perlita supera el 2,00 %, aumenta la templabilidad y, por tanto, es más probable que se forme una estructura de martensita, la cual es perjudicial para las propiedades de resistencia a la fatiga de la estructura de perlita. Como resultado de ello, se degrada la resistencia frente a los daños por fatiga del carril. En consecuencia, la cantidad de Cr que se añade al carril a base de perlita se limita al intervalo de 0,01 a 2,00 %.

El Mo aumenta la temperatura de transformación de equilibrio, como el Cr, y, en consecuencia, hace que el espaciado laminar de la estructura de perlita sea fino contribuyendo por lo tanto al aumento de la dureza (resistencia) y mejorando la resistencia frente a los daños por fatiga de la estructura de perlita. Sin embargo, cuando la cantidad de Mo contenida en el carril a base de perlita es menor de 0,01 % esos efectos son pequeños y no se puede manifestar completamente el efecto de aumento de la dureza del carril a base de perlita. Además, cuando la cantidad de Mo contenida en el carril a base de perlita supera el 0,50 %, la tasa de transformación disminuye de manera significativa y, en consecuencia, es más probable que se forme la estructura de martensita, la cual es perjudicial para las propiedades de resistencia a la fatiga de la estructura de perlita. Como resultado de ello, se degrada la resistencia frente a los daños por fatiga del carril. En consecuencia, la cantidad de Mo que se añade al carril a base de perlita se limita al intervalo de 0,01 a 0,50 %.

El V precipita como carburo de V o nitruro de V durante el tratamiento típico de laminación en caliente o durante un tratamiento en caliente realizado a alta temperatura y produce granos finos de austenita debido al efecto de sujeción o anclado. En consecuencia, se puede mejorar la tenacidad de la estructura de perlita. Además, el V aumenta la dureza (resistencia) de la estructura de perlita debido al endurecimiento por precipitación del carburo de V y del nitruro de V generados durante el enfriamiento posterior a la laminación en caliente, mejorando por tanto la resistencia frente a los daños por fatiga de la estructura de perlita. Asimismo, el V genera carburo de nitruro y nitruro de V en un intervalo de temperaturas relativamente altas en la zona afectada por el calor que se recalienta en un

intervalo de temperaturas menor o igual al punto Ac1 y, por lo tanto, es eficaz para evitar el reblandecimiento de las zonas afectadas por el calor de las juntas de soldadura. Sin embargo, cuando la cantidad de V es menor de 0,005 %, no se puede esperar que esos efectos se produzcan suficientemente y no se reconocen las mejoras en la tenacidad y la dureza (resistencia) en la estructura de perlita. Además, cuando la cantidad de V supera el 0,50 %, el endurecimiento por precipitación del carburo de V y el nitruro de V se produce en exceso y, en consecuencia, se degrada la tenacidad de la estructura de perlita, degradando así la tenacidad del carril. En consecuencia, la cantidad de V que se añade al carril a base de perlita se limita al intervalo de 0,005 a 0,50 %.

El Nb, como el V, produce finos granos de austenita debido al efecto de sujeción del carburo de Nb o el nitruro de Nb durante el tratamiento típico de laminación en caliente o el tratamiento en caliente realizado a alta temperatura y mejora así la tenacidad de la estructura de perlita, aumentando por lo tanto la resistencia frente a los daños de la fatiga de la estructura de perlita. Además, el Nb aumenta la dureza (resistencia) de la estructura de perlita debido al endurecimiento por precipitación del carburo de Nb y del nitruro de Nb generados durante el enfriamiento posterior a la laminación en caliente. Asimismo, el Nb genera de forma estable carburo de Nb y nitruro de V desde un intervalo de temperaturas bajas hasta un intervalo de temperaturas altas en la zona afectada por el calor que se recalienta en un intervalo de temperaturas igual o menor al punto Ac1 y, por lo tanto, previene el reblandecimiento de las zonas afectadas por el calor de las juntas de soldadura. Sin embargo, cuando la cantidad de Nb contenida en el carril de perlita es menor de 0,002 %, no se puede esperar que esos efectos se produzcan y no se reconocen las mejoras en la tenacidad y la dureza (resistencia) en la estructura de perlita. Además, cuando la cantidad de Nb contenida en el carril a base de perlita supera el 0,050 %, el endurecimiento por precipitación del carburo de Nb y el nitruro de Nb se produce en exceso y, en consecuencia, se degrada la tenacidad de la estructura de perlita, degradando así la tenacidad del carril. En consecuencia, la cantidad de Nb que se añade al carril a base de perlita se limita al intervalo de 0,002 a 0,050 %.

El Co se solubiliza en estado sólido en la fase de ferrita en la estructura de perlita y hace que la estructura fina de ferrita formada por contacto con las ruedas en la superficie de contacto por rodamiento de la parte de cabeza del carril sea más fina mejorando de esta forma la resistencia al desgaste. Cuando la cantidad de Co contenida en el carril a base de perlita es menor de 0,01 % no se puede conseguir una estructura de ferrita fina, de forma que no se puede esperar que se produzca el efecto de mejora de la resistencia al desgaste. Asimismo, cuando la cantidad de Co contenida en el carril a base de perlita supera el 1,00 %, estos efectos se saturan, de modo que no se puede conseguir la finura de la estructura de ferrita que correspondería a la cantidad de aditivo. Además, disminuye la eficiencia económica debido al aumento de los costes provocado al añadir aleaciones. En consecuencia, la cantidad de Co añadida al carril a base de perlita se limita al intervalo de 0,01 a 1,00 %.

El B forma boruro carburo de hierro ( $\text{Fe}_{23}(\text{CB})_6$ ) en las fronteras de grano de austenita y disminuye la dependencia de la velocidad de enfriamiento de la temperatura de transformación de la perlita mediante el efecto de acelerar la transformación de la perlita. En consecuencia, el B proporciona una distribución más uniforme de la dureza, desde la superficie al interior de la zona de cabeza del carril; resulta posible aumentar la vida útil del carril. Sin embargo, cuando la cantidad de B contenida en el carril a base de perlita es menor de 0,0001 %, esos efectos no son suficientes, y no se reconoce la mejora de la distribución de dureza de la zona de cabeza del carril. Asimismo, cuando la cantidad de B contenida en el carril a base de perlita supera 0,0050 %, se genera boruro carburo de hierro de grano grueso, lo que da como resultado una reducción de la tenacidad. En consecuencia, la cantidad de B añadida al carril a base de perlita se limita al intervalo de 0,0001 a 0,0050 %.

El Cu se solubiliza en estado sólido en la fase de ferrita en la estructura de perlita y mejora la dureza (resistencia) de la estructura de perlita debido al reforzamiento de la disolución sólida, aumentando por lo tanto la resistencia frente a los daños por fatiga de la estructura de perlita. Sin embargo, cuando la cantidad de Cu contenida en el carril a base de perlita es menor de 0,01 %, no se puede esperar que se produzcan estos efectos. Además, cuando la cantidad de Cu contenida en el carril a base de perlita supera 1,00 % debido a un aumento significativo en la templabilidad, es más probable que se forme la estructura de martensita, la cual es perjudicial para las propiedades de resistencia a la fatiga de la estructura de perlita. Como resultado de ello, se degrada la resistencia frente a los daños por fatiga del carril. En consecuencia, la cantidad de Cu que se añade al carril a base de perlita se limita al intervalo de 0,01 a 1,00 %.

El Ni mejora la tenacidad de la estructura de perlita y aumenta a la vez la dureza (resistencia) debido al reforzamiento de la disolución sólida, aumentando por lo tanto la resistencia frente a los daños por fatiga de la estructura de perlita. Además, el Ni precipita finamente en forma de un compuesto intermetálico  $\text{Ni}_3\text{Ti}$  con Ti en las zonas de soldadura afectadas por el calor y evita el reblandecimiento debido al endurecimiento por precipitación. Asimismo, el Ni inhibe el debilitamiento o fragilización de las fronteras de grano de cobre a las que se ha añadido Cu. Sin embargo, cuando la cantidad de Ni contenida en el carril a base de perlita es menor de 0,01 % estos efectos son significativamente pequeños y cuando la cantidad de Ni contenida en el carril a base de perlita supera el 1,00 %, es más probable que se forme la estructura de martensita, la cual es perjudicial para las propiedades de resistencia a la fatiga de la estructura de perlita, debido a la mejora significativa de la templabilidad. Como resultado

de ello, se degrada la resistencia frente a los daños por fatiga del carril. En consecuencia, la cantidad de Ni que se añade al carril a base de perlita se limita al intervalo de 0,01 a 1,00 %.

5 El Ti precipita como carburo de Ti o nitruro de Ti durante el tratamiento típico de laminación en caliente o el tratamiento en caliente realizado a alta temperatura y produce finos granos de austenita debido al efecto de anclaje y mejora así la tenacidad de la estructura de perlita. Además, el Ti aumenta la dureza (resistencia) de la estructura de perlita debido al endurecimiento por precipitación mediante el carburo de Ti o el nitruro de Ti generados durante el enfriamiento posterior a la laminación en caliente, aumentando por lo tanto la resistencia frente a los daños de la fatiga de la estructura de perlita. Además, el Ti usado que precipita como carburo de Ti o nitruro de Ti no se disuelve durante el recalentamiento en la soldadura y hace que la estructura de la zona afectada por el calor calentada sea una estructura de austenita fina, evitando por tanto el debilitamiento de la zona de la junta de soldadura. Sin embargo, cuando la cantidad de Ti contenida en el carril a base de perlita es menor de 0,0050 %, esos efectos son pequeños. Además, cuando la cantidad de Ti contenida en el carril a base de perlita supera el 0,0500 %, se generan carburo de Ti y nitruro de Ti de grano grueso, y se produce daño por fatiga a partir del precipitado de grano grueso. Como resultado de ello, se degrada la resistencia frente a los daños por fatiga del carril. En consecuencia, la cantidad de Ti que se añade al carril a base de perlita se limita al intervalo de 0,0050 a 0,0500 %.

20 El Mg se une a O, S o Al y similares y forma óxidos o sulfuros de grano fino. Como resultado de ello, el Mg inhibe el crecimiento de los granos de cristal durante el recalentamiento para la laminación del carril y produce granos de austenita finos, mejorando de ese modo la tenacidad de la estructura de perlita. Además, el Mg contribuye a la generación de la transformación de la perlita puesto que el MgS provoca que el MnS se distribuya finamente y este MnS forma núcleos de ferrita o cementita en su periferia. Como resultado de ello, se puede mejorar la tenacidad de la estructura de la perlita haciendo que el tamaño de los bloques de perlita sea fino. Sin embargo, cuando la cantidad de Mg contenida en el carril a base de perlita es menor de 0,0005 %, estos efectos son débiles y cuando la cantidad de Mg contenida en el carril a base de perlita supera el 0,0200 %, se forman granos gruesos de óxido de Mg y se produce daño por fatiga a partir del óxido de grano grueso. Como resultado de ello, se degrada la resistencia frente a los daños por fatiga del carril. En consecuencia, la cantidad de Mg que se añade al carril a base de perlita se limita al intervalo de 0,0005 a 0,0200 %.

30 El Ca se une fuertemente al S y forma sulfuros como CaS y, además, hace que el MnS se distribuya finamente y provoca que se forme una zona baja en Mn en la periferia del MnS, contribuyendo de este modo a la generación de la transformación de la perlita. Como resultado de ello, se puede mejorar la tenacidad de la estructura de la perlita haciendo que el tamaño de los bloques de perlita sea fino. Sin embargo, cuando la cantidad de Ca contenida en el carril a base de perlita es menor de 0,0005 %, estos efectos son débiles y cuando la cantidad de Ca contenida en el carril a base de perlita supera el 0,0200 %, se forman granos gruesos de óxido de Ca y se produce daño por fatiga a partir del óxido de grano grueso. Como resultado de ello, se degrada la resistencia frente a los daños por fatiga del carril. En consecuencia, la cantidad de Ca que se añade al carril a base de perlita se limita al intervalo de 0,0005 a 0,0200 %.

40 El Zr aumenta la tasa de cristalización equiaxial de la estructura solidificada puesto que la inclusión de ZrO<sub>2</sub> tiene alta consistencia de cristal con el  $\gamma$ -Fe y se convierte en un núcleo de solidificación del carril a base de perlita alto en carbono que es una solidificación cristalina primaria. Como resultado de ello, el Zr inhibe la formación de la zona de segregación en la parte central del tocho, evitando así la generación de martensita a partir de la zona de segregación del carril o la generación de la estructura de cementita pro-eutectoide. Sin embargo, cuando la cantidad de Zr contenida en el carril a base de perlita es menor de 0,0001 %, el número de inclusiones de base ZrO<sub>2</sub> es pequeño y el Zr no desempeña una función suficiente como núcleo de solidificación. Como resultado de ello, se genera una estructura de martensita o cementita pro-eutectoide a partir de la zona de segregación, de modo que la resistencia a los daños por fatiga del carril se degrada. Además, cuando la cantidad de Zr contenida en el carril a base de perlita supera el 0,2000 %, se genera una gran cantidad de inclusiones gruesas a base de Zr y se producen daños por fatiga a partir de las inclusiones gruesas a base de Zr como puntos de partida, de modo que la resistencia a los daños por fatiga del carril se degrada. En consecuencia, la cantidad de Zr que se añade al carril a base de perlita se limita al intervalo de 0,0001 a 0,2000 %.

50 El Al es un componente esencial como componente desoxidante. Asimismo, el Al desplaza la temperatura de transformación eutectoide hacia el lado de temperaturas altas y por lo tanto contribuye al aumento de la dureza (resistencia) de la estructura de perlita, mejorando de esta forma la resistencia frente a los daños por fatiga de la estructura de perlita. Sin embargo, cuando la cantidad de Al contenida en el carril a base de perlita es menor de 0,0040 %, esos efectos son débiles. Además, cuando la cantidad de Al contenida en el carril a base de perlita supera 1,00 %, resulta difícil hacer que el Al se disuelva en estado sólido en el acero, se generan inclusiones gruesas a base de alúmina y se producen daños por fatiga a partir de los precipitados gruesos. Como resultado de ello, la resistencia a los daños por fatiga del carril se degrada. Además, se genera óxido durante el proceso de soldadura y la soldabilidad se degrada de manera significativa. En consecuencia, la cantidad de Al que se añade al carril a base

de perlita se limita al intervalo de 0,0040 a 1,00 %.

El N precipita en las fronteras de grano de austenita y acelera la transformación de la perlita a partir de las fronteras de grano de austenita. Principalmente, haciendo fino el tamaño de bloques de la perlita, y por lo tanto mejorando la tenacidad. Además, el N se añade simultáneamente con V o Al para acelerar la precipitación de VN o AlN. Como resultado de ello, el N produce granos finos de austenita debido al efecto de sujeción del VN o AlN durante el tratamiento de laminación en caliente típico o el tratamiento por calor realizado a alta temperatura, aumentando de esta forma la tenacidad de la estructura de perlita. Sin embargo, cuando la cantidad de N contenida en el carril a base de perlita es menor de 0,0060 %, estos efectos son débiles. Cuando la cantidad de N contenida en el carril a base de perlita supera 0,0200 % resulta difícil que el N se disuelva en estado sólido en el acero y se generan burbujas que son puntos de partida para los daños por fatiga, y la resistencia a los daños por fatiga del carril se degrada. En consecuencia, la cantidad de N que se añade al carril a base de perlita se limita al intervalo de 0,0060 a 0,0200 %.

El carril a base de perlita que tiene la composición de elementos descrita previamente se produce en un horno de fusión de los que se usan típicamente, como un horno convertidor o un horno eléctrico. Además, los tochos o palanquillas (desbastes de sección cuadrada, "blooms") se fabrican a partir de acero fundido que se disuelve en el horno de fusión mediante el método de generación de palanquillas en lingotes, el método de separación de lingotes o la generación en continuo y el carril a base de perlita se produce mediante laminación en caliente, de nuevo.

(2) Razones de la limitación de la estructura metálica

Se describirán las razones por las que la estructura metálica de la zona de cabeza y de la zona del patín del carril a base de perlita se limita a la estructura de perlita.

Cuando se mezclan la estructura de ferrita, la estructura de cementita pro-eutectoide y la estructura de martensita con la estructura de perlita, se concentra la tensión sobre la estructura de ferrita que tiene una dureza (resistencia) relativamente baja y se provoca la generación de grietas de fatiga. Además, en la estructura de cementita pro-eutectoide y en la estructura de martensita que tienen una tenacidad relativamente baja se producen zonas finas de debilitamiento y roturas y se provoca la generación de grietas de fatiga. Además, puesto que es necesario que se garantice la resistencia al desgaste de la zona de cabeza del carril a base de perlita, es preferible que la zona de cabeza tenga estructura de perlita. En consecuencia, la estructura metálica de al menos parte de la zona de cabeza y de al menos parte de la zona del patín de del carril está limitada a la estructura de perlita.

Además, es preferible que la estructura metálica del carril a base de perlita según esta realización tenga una única estructura de fase de perlita en la cual no se mezclen con ella las estructuras de ferrita, de cementita pro-eutectoide y de martensita. Sin embargo, dependiendo del sistema de componentes del carril a base de perlita o del método de fabricación y tratamiento térmico del mismo, se podrían mezclar en la estructura de perlita una pequeña cantidad de la estructura de ferrita pro-eutectoide, la estructura de cementita pro-eutectoide o la estructura de martensita, con una proporción de área del 3 % o menor. Aunque se mezclen tales estructuras, las estructuras no tienen un efecto adverso significativo sobre la resistencia frente a los daños por fatiga o la resistencia al desgaste de la zona de cabeza del carril. Por lo tanto, incluso aunque se mezcle una pequeña cantidad de la estructura de ferrita pro-eutectoide, la estructura de cementita pro-eutectoide o la estructura de martensita, de 3 % o menos, con el carril a base de perlita, es posible proporcionar un rail a base de perlita con excelente resistencia frente a los daños por fatiga.

En otras palabras, el 97 % o más de la estructura metálica de la zona de cabeza del carril a base de perlita según esta realización puede ser la estructura de perlita. Con el fin de garantizar suficientemente la resistencia frente a los daños por fatiga o la resistencia al desgaste, es preferible que el 98 % o más de la estructura metálica de la zona de cabeza sea la estructura de perlita. Además, en la sección de "microestructura" de las tablas 1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 2-1, 2-2, 3-1 y 3-2, se entiende que los carriles de acero (carriles a base de perlita) denominados como "perlita" tienen 97 % o más de estructura de perlita.

(3) Razones de la limitación de la dureza superficial

A continuación, se describirán las razones por las cuales la dureza de superficie SVH de las estructuras de perlita de la zona de cabeza del carril y de la zona del patín del carril a base de perlita están limitadas y deben estar en el intervalo de Hv320 a Hv500.

En esta realización, cuando la dureza de la superficie SVH de la estructura de perlita es menor de Hv320, disminuyen las resistencias a la fatiga de la superficie de la zona de cabeza y de la zona del patín del carril a base de perlita. Como resultado de ello, disminuye la resistencia frente a los daños por fatiga del carril. Asimismo, cuando la dureza de superficie SVH de la estructura de perlita supera Hv500, disminuye de manera significativa la tenacidad de la estructura de perlita y es más probable que se produzcan roturas finas por debilitamiento. Como resultado de

ello, se induce la generación de grietas por fatiga. En consecuencia, la dureza de superficie SVH de la estructura de perlita se limita al intervalo de Hv320 a Hv500.

Además, la dureza SVH (dureza Vickers en la superficie, por sus siglas en inglés) es la dureza superficial de la estructura de perlita de la zona de cabeza o de la zona del patín del carril según esta realización y, específicamente, es el valor medido por un equipo medidor de dureza Vickers a una profundidad de 1 mm desde la superficie del carril. El método de medida se describe como sigue:

(y1) Pretratamiento: una vez cortado el carril a base de perlita, se pule una sección transversal del mismo.

(y2) Método de medida: se mide la dureza SVH siguiendo el estándar JIS Z 2244.

(y3) Equipo de medida: se mide la dureza SVH mediante un aparato de medida de dureza Vickers (con una carga de 98 N).

(y4) Puntos de medida: posiciones a una profundidad de 1 mm desde la superficie de la zona de cabeza del carril y de la zona del patín.

\* Las posiciones específicas de las superficies de la zona de cabeza del carril y de la zona del patín se ajustan a las indicaciones de la figura 5.

(y5) Número de medidas: Es preferible medir 5 o más puntos y usar el valor medio de los mismos como valor representativo del carril a base de perlita.

A continuación, se describirá la razón por la que los intervalos con estructura de perlita que tiene una dureza superficial SVH de Hv320 a Hv500 están limitados a al menos parte de las superficies de la zona de cabeza y de la zona del patín del carril a base de perlita.

Aquí, la figura 5 ilustra la denominación de las partes del carril a base de perlita que tienen una resistencia frente a los daños por fatiga excelente en posiciones de la superficie transversal de la zona de cabeza y regiones que necesitan que la estructura de perlita tenga una dureza superficial SVH de Hv320 a Hv500.

En la zona de la cabeza 11 del carril a base de perlita 10, una región que incluye las porciones angulares 1A situadas enfrente de las superficies laterales a la izquierda y a la derecha en la dirección de la anchura a partir de la línea central L indicada por la línea de puntos y rayas en la figura 5, es la zona superior de la cabeza 1 y las regiones que incluyen las superficies laterales a partir de las partes angulares 1A a ambos lados de la zona superior de cabeza 1 son las zonas de esquina de la cabeza 2. La zona 2 de la esquina de la cabeza es la esquina del ancho de vía (G.C. por sus siglas en inglés) que está principalmente en contacto con las ruedas. En esta realización, "la superficie de la zona de la cabeza del carril" es la superficie 1S de la parte superior de la cabeza 1.

Asimismo, en la parte inferior o patín 12 del carril a base de perlita 10, la zona que incluye  $\frac{1}{4}$  de la anchura del patín W a partir de la línea central L a la izquierda y a la derecha en la dirección de la anchura es la zona de la suela del patín, 3. En esta realización, "la superficie de la zona del patín del carril" es la superficie 3S de la zona de la suela o base 3.

En la parte de la cabeza 11 del carril a base de perlita 10, cuando se dispone la estructura de perlita que tiene una dureza superficial SVH de Hv320 a Hv500 en al menos una parte de la zona de cabeza 11, es decir, en una región R1 a una profundidad de 5 mm desde la superficie 1S de la zona superior de la cabeza 1 como punto de partida, se puede garantizar la resistencia a los daños por fatiga de la zona de cabeza 11. Además, la profundidad de 5 mm es solamente un ejemplo, y la resistencia frente a los daños por fatiga de la zona de cabeza 11 del carril a base de perlita 10 se puede asegurar siempre que la profundidad esté en el intervalo de 5 mm a 15 mm.

Asimismo, en la zona del patín 12 del carril a base de perlita 10 cuando se dispone la estructura de perlita que tiene una dureza superficial SVH de Hv320 a Hv500 en al menos una parte de la zona del patín 12, es decir, en una región R3 a una profundidad de 5 mm desde la superficie 3S de la zona de la suela o base 3 como punto de partida, se puede garantizar la resistencia a los daños por fatiga de la zona del patín 12. Además, la profundidad de 5 mm es solamente un ejemplo, y la resistencia frente a los daños por fatiga de la zona del patín 12 del carril a base de perlita 10 se puede asegurar siempre que la profundidad esté en el intervalo de 5 mm a 15 mm.

Por lo tanto, es preferible que la estructura de perlita que tiene una dureza superficial SVH de Hv320 a Hv500 se disponga en la superficie 1S de la zona de cabeza del carril 1 y en la superficie 3S de la zona de la suela del patín 3 y otras zonas o partes del carril pueden tener estructuras metálicas distintas de la estructura de perlita.

Además, aunque solo la zona superior de la cabeza 1 de la zona de cabeza 11 tenga la estructura de perlita, la región a partir de la superficie completa de la zona de cabeza 11 como punto de partida puede tener la estructura de

perlita. Asimismo, aunque solo la zona de la suela 3 de la zona del patín 12 tenga la estructura de perlita, una región a partir de la superficie completa de la zona del patín 12 como punto de partida puede tener la estructura de perlita.

5 En particular, puesto que la zona de cabeza del carril se desgasta debido al contacto con las ruedas, es preferible que la estructura de perlita se disponga en la zona de cabeza del carril que incluye la zona superior de la cabeza 1 y la región de la esquina 2, con el fin de asegurar la resistencia al desgaste. En términos de resistencia al desgaste, es preferible que la estructura de perlita se disponga en un rango de profundidad de 20 mm contando desde la superficie.

10 Se prefiere como método de obtener la estructura de perlita que tiene una dureza superficial SVH de Hv320 a Hv500 el enfriamiento natural después de la laminación y el enfriamiento acelerado de las superficies de la zona de cabeza del carril o de la zona del patín a una temperatura alta a la cual existe una región austenítica después de la laminación o después de recalentamiento, según sea necesario. Como método de enfriamiento acelerado, se pueden emplear tratamientos térmicos usando los métodos descritos en los documentos de patente 3 y 4 y similares, para obtener estructuras y durezas predeterminadas.

(4) Razones de la limitación de la rugosidad superficial máxima

15 A continuación, se explican las razones por las que se limita a 180  $\mu\text{m}$  o menos la rugosidad superficial máxima  $R_{\text{max}}$  de las superficies de la zona de cabeza y de la zona del patín del carril a base de perlita 10.

20 En esta realización, cuando la rugosidad superficial máxima ( $R_{\text{max}}$ ) de las superficies de la zona de cabeza y de la zona del patín del carril a base de perlita supera 180  $\mu\text{m}$ , la concentración de tensiones sobre la superficie del carril resulta excesiva y se provoca la generación de grietas por fatiga a partir de la superficie del carril. En consecuencia, se limita a 180  $\mu\text{m}$  o menos la rugosidad superficial ( $R_{\text{max}}$ ) de las superficies de la zona de cabeza y de la zona del patín del carril a base de perlita.

25 Además, aunque el valor mínimo de la rugosidad superficial máxima ( $R_{\text{max}}$ ) no está particularmente limitado, en el supuesto en el que el carril se fabrique mediante laminación en caliente, el límite inferior es de aproximadamente 20  $\mu\text{m}$  en la fabricación industrial. Asimismo, las zonas que tienen una rugosidad superficial máxima en el intervalo de 20  $\mu\text{m}$  a 180  $\mu\text{m}$  son, como se ilustra en la figura 5, la superficie 1S de la zona superior de la cabeza 1 del carril 10 y la superficie 3S de la zona de la suela 3, y cuando la rugosidad superficial máxima de las mismas es menor o igual de 180  $\mu\text{m}$ , se puede asegurar la resistencia a los daños por fatiga del carril.

Es preferible que la medida de la rugosidad superficial máxima ( $R_{\text{max}}$ ) se realice mediante el método siguiente.

30 (z1) Pretratamiento: se eliminan el óxido y suciedad superficiales del carril mediante lavado con ácido y limpieza con chorro de arena.

(z2) Medida de la rugosidad: se mide la rugosidad superficial máxima ( $R_{\text{max}}$ ) según el estándar JIS B 0601.

(z3) Equipo de medida: la rugosidad superficial máxima ( $R_{\text{max}}$ ) se mide con un equipo de medida de rugosidad general 2D o 3D.

35 (z4) Puntos de medida: tres puntos arbitrarios en la superficie 1S de la zona superior de la cabeza 1 de la zona de cabeza del carril 11 y de la superficie 3S de la zona de la suela 3 de la zona del patín ilustradas en la figura 5.

(z5) Número de medidas: es preferible que la medida se realice 3 veces en cada punto y que se tome un valor promedio de las mismas (número de medidas igual a 9) como valor representativo del carril a base de perlita.

(z6) Longitud de la medida (para cada medida): una longitud de 5 mm desde la superficie de la medida en la dirección longitudinal del carril.

40 (z7) Condición de medida: velocidad de barrido: 0,5 mm/s

Además, la definición de la rugosidad superficial máxima  $R_{\text{max}}$  es como sigue.

45 (z8) Rugosidad superficial máxima  $R_{\text{max}}$ : la rugosidad superficial máxima  $R_{\text{max}}$  es la suma de la profundidad del valle más profundo y de la altura del pico más alto respecto de un valor medio de longitudes desde la zona del patín a la zona de la cabeza en la dirección vertical del carril (dirección de la altura) como base que es la longitud de referencia de la medida, y " $R_{\text{max}}$ " se cambia a " $R_z$ " en el estándar JIS 2001.

(5) Razones por las que la proporción SVH/ $R_{\text{max}}$  de la dureza superficial SVH a la rugosidad superficial máxima  $R_{\text{max}}$  se limita a 3,5 o más

A continuación, se explican las razones por las que el cociente SVH/ $R_{\text{max}}$  entre la dureza superficial (SVH) y la

rugosidad superficial máxima (Rmax) se limita a 3,5 o más.

Los inventores examinaron en detalle la relación entre la variación del esfuerzo en el límite de fatiga del carril a base de perlita, la dureza superficial SVH y la rugosidad superficial máxima Rmax. Como resultado de ello se encontró que la proporción entre la dureza superficial SVH y la rugosidad superficial máxima Rmax del carril a base de perlita, es decir, el cociente SVH/Rmax está relacionada con la variación del esfuerzo en el límite de fatiga.

Asimismo, como resultado de experimentos avanzados, como se muestra en la figura 3, se observó que con independencia de la dureza de las superficies de la zona de cabeza o de la zona del patín del carril, si el valor del cociente SVH/Rmax que es la proporción entre la dureza superficial SVH y la rugosidad superficial máxima Rmax es igual o mayor de 3,5, aumenta la variación del esfuerzo en el límite de fatiga y se mejora adicionalmente la resistencia a la fatiga.

Sobre la base de la evidencia experimental, la proporción entre la dureza superficial SVH y la rugosidad superficial máxima Rmax, es decir, el valor del cociente SVH/Rmax, se limita a 3,5 o más.

(6) Razones por las que el número de concavidades y convexidades que superan 0,30 veces la rugosidad superficial máxima respecto de un valor promedio de rugosidad en la dirección vertical del carril (dirección de la altura) se limita a 40 o menos por tramo de 5 mm

A continuación, se explica la razón por la cual el número de concavidades y convexidades que superan 0,30 veces la rugosidad superficial máxima respecto de un valor promedio de rugosidad en la dirección vertical del carril (dirección de la altura) se limita a 40 o menos por tramo de 5 mm en la dirección longitudinal del carril de la zona de cabeza 11 y de la zona del patín 12. Aquí, el número de concavidades y convexidades mencionado es el número de picos y valles que superan un rango respecto del valor promedio de rugosidad en la dirección vertical del carril (dirección de la altura) desde la zona de cabeza 11 a la zona del patín 12, hasta 0,30 veces la rugosidad superficial máxima en la dirección vertical (dirección de la altura).

Los inventores examinaron con detalle la rugosidad de las superficies del carril a base de perlita con el fin de mejorar la resistencia a la fatiga del carril a base de perlita. Como resultado de ello, se encontró que el número de concavidades y convexidades que superan 0,30 veces la rugosidad superficial máxima respecto de un valor promedio de rugosidad en la dirección de la altura está relacionado con la variación del esfuerzo en el límite de fatiga. Además, como resultado de experimentos avanzados, como se muestra en la figura 4, se observó que en lo que respecta al carril a base de perlita con cualquier valor de dureza y con rugosidades superficiales máximas de 150 µm y 50 µm, cuando el número de concavidades y convexidades supera 40, disminuye la variación del esfuerzo en el límite de fatiga y, como resultado de ello, disminuye significativamente la resistencia a la fatiga. Cuando el número de las mismas es igual o menor de 40, aumenta la variación del esfuerzo en el límite de fatiga y, como resultado de ello, aumenta significativamente la resistencia a la fatiga. Asimismo, se vio que cuando el número de concavidades y convexidades es igual o menor de 10, la variación del esfuerzo en el límite de fatiga aumenta adicionalmente y, como resultado de ello, aumenta la resistencia a la fatiga. Por lo tanto, tomando como base las evidencias experimentales, es preferible que el número de concavidades y convexidades que superan 0,30 veces la rugosidad superficial máxima respecto del valor promedio de rugosidad en la dirección vertical sea menor o igual de 40 por tramo de 5 mm en toda la extensión de la zona de cabeza y de la zona del patín. Además, el número de concavidades y convexidades es igual o menor de 10.

El método de medida del número de concavidades y convexidades que superan 0,30 veces la rugosidad superficial máxima se basa en el método de medida de la rugosidad superficial máxima (Rmax). El número de concavidades y convexidades que superan 0,30 veces la rugosidad superficial máxima se obtiene analizando los datos de rugosidad con detalle. Es preferible usar como valor representativo del carril a base de perlita el valor promedio (número de medidas: 9) de concavidades y convexidades medido en cada punto tres veces.

(7) Método de fabricación para controlar la rugosidad superficial máxima

Se confirmó que las concavidades y convexidades se producen sobre la superficie del carril cuando la capa de cascarilla o incrustaciones de un rodillo de laminación es impulsada hacia el material durante el proceso de laminación en caliente y, como resultado, aumenta la rugosidad de la superficie.

En este caso, con el fin de disminuir la rugosidad de la superficie, se reduce o se elimina la generación de la capa de cascarilla primaria de un tocho producido dentro de una superficie de calentamiento. Además, resulta una medida efectiva la eliminación de las incrustaciones secundarias del tocho producido durante la laminación en caliente.

Para la reducción de capa de cascarilla primaria del tocho o desbaste cuadrado generado dentro del horno de calentamiento, son medidas eficaces la reducción de la temperatura de calentamiento del horno de calentamiento, la reducción del tiempo de espera, el control de la atmósfera del horno de calentamiento, la eliminación mecánica de la

capa de cascarilla del tocho extraído del horno de calentamiento, y la eliminación de la capa de cascarilla utilizando agua o aire a alta presión antes de la laminación en caliente.

5 Existen importantes limitaciones para calentar de manera uniforme el tocho en su parte central, desde el punto de vista de asegurar la conformación del laminado, si se disminuyen la temperatura de calentamiento del tocho o el tiempo de espera. En consecuencia, desde un punto de vista práctico, se prefieren el control de la atmósfera del horno de calentamiento, la eliminación mecánica de la capa de cascarilla del tocho extraído del horno de calentamiento, y el descascarillado utilizando agua o aire a alta presión antes de la laminación en caliente.

Para la reducción de la capa de cascarilla secundaria del tocho generado durante el proceso de laminación en caliente, es eficaz eliminar la capa de cascarilla usando agua o aire a alta presión.

10 (8) Método de fabricación para controlar el número de concavidades y convexidades que superan 0,30 veces la rugosidad superficial máxima

15 El número de concavidades y convexidades grandes sobre las superficies de la zona de cabeza y la zona del patín del carril varía dependiendo del proceso de descascarillado mecánico del tocho para disminuir la capa de cascarilla primaria, de la aplicación de agua a alta presión antes de la laminación en caliente y del descascarillado usando agua o aire a alta presión antes de cada laminación en caliente para eliminar la cascarilla secundaria.

20 En este caso, con el objetivo de retirar de manera uniforme la cascarilla de la superficie y suprimir de ese modo nuevas concavidades y convexidades generadas debido a un descascarillado excesivo, es preferible establecer que el número de concavidades y convexidades sea igual o menor que un número determinado mediante descascarillado mecánico, control de los parámetros de proyección del material pulverizado, como velocidad de proyección, presión durante la inyección de aire o agua a alta presión y fluctuaciones en la inyección.

En lo que sigue, se describirá con detalle cada condición. Sin embargo, las condiciones siguientes son condiciones preferibles y la invención no se limita a tales condiciones.

(A) Control de la atmósfera del horno de calentamiento

25 En lo que se refiere al control de la atmósfera del horno de calentamiento, una atmósfera de nitrógeno que incluya tan poco oxígeno como sea posible en la periferia del tocho, no tiene efecto sobre las características del material de acero y es barata y preferible. Se prefiere una proporción en volumen de 30 % a 80 % como cantidad de nitrógeno añadida al horno de calentamiento. Cuando la proporción de nitrógeno en volumen es inferior al 30 %, aumenta la cantidad de cascarilla primaria generada en el horno de calentamiento e incluso cuando se lleva a cabo el descascarillado a continuación, el óxido primario no se elimina suficientemente, lo que da como resultado un aumento de la rugosidad de la superficie. Además, incluso aunque la cantidad de nitrógeno supere el 80 % en proporción de volumen, el efecto se satura y, en consecuencia, la eficiencia económica disminuye. En consecuencia, es preferible emplear una cantidad de nitrógeno en una proporción en volumen comprendida entre aproximadamente 30 % y 80 %.

(B) Descascarillado mecánico

35 En relación al descascarillado mecánico del tocho, es preferible realizar el granallado inmediatamente después del recalentamiento del tocho para el carril en el que se está generando la capa de cascarilla. En lo que se refiere a las condiciones de granallado, se prefiere el método que sigue.

(a) Material de granallado: bolas duras

40 Diámetro: de 0,05 a 1,0 mm; velocidad de proyección: 50 a 100 m/s; densidad de proyección: 5 a 10 kg/m<sup>2</sup> o mayor.

(b) Material de granallado: fragmentos poligonales de hierro (malla)

Longitud: de 0,1 a 2 mm; velocidad de proyección: de 50 a 100 m/s; densidad de proyección: 5 a 10 kg/m<sup>2</sup>

(c) Material de granallado: fragmentos poligonales (malla) que incluyen alúmina y carburo de silicio

Longitud: de 0,1 a 2 mm; velocidad de proyección: de 50 a 100 m/s; densidad de proyección: 5 a 10 kg/m<sup>2</sup>

45 Además de controlar la atmósfera del horno de calentamiento dentro del intervalo previamente descrito y de realizar el descascarillado mecánico, la rugosidad de la superficie se reduce realizando un descascarillado usando agua o aire a alta presión, tal como se describe más adelante; como resultado de ello, resulta posible controlar la rugosidad superficial máxima (R<sub>max</sub>) para que sea igual o menos de 180 μm.



Además del control de la atmósfera del horno de calentamiento, el descascarillado mecánico y el descascarillado utilizando agua o aire a alta presión, en el caso en el que la proporción de la dureza superficial SVH a la rugosidad superficial máxima  $R_{max}$  tenga que ser igual o mayor de 3,5 con el fin de mejorar la resistencia a los daños por fatiga, esto es, cuando se necesita aumentar la resistencia adicionalmente, es preferible que se realice adicionalmente el descascarillado usando agua o aire a alta presión.

(C) Descascarillado utilizando agua o aire a alta presión

Es preferible que el descascarillado usando agua o aire a alta presión se realice inmediatamente después de recalentamiento y extracción del tocho para el carril en el cual se ha generado la cascarilla primaria, durante la laminación en caliente del bruto y durante la laminación en caliente del producto acabado en el que se produce el óxido secundario. En lo que se refiere a las condiciones de descascarillado usando agua o aire a alta presión, se prefiere el método que se describe a continuación.

(a) Agua a alta presión:

Presión de inyección: de 10 a 50 MPa

Intervalo de temperatura de eliminación de la cascarilla (temperatura del tocho para inyección):

Inmediatamente después de recalentamiento y extracción y durante la laminación en caliente del material bruto (eliminación de la cascarilla primaria): de 1250 a 1050 °C.

Durante la laminación en caliente del producto acabado (eliminación de la cascarilla secundaria): de 1050 a 950 °C.

(b) Aire

Presión de inyección: de 0,01 a 0,10 MPa

Intervalo de temperatura de eliminación de la cascarilla (temperatura del tocho para inyección):

Inmediatamente después de recalentamiento y extracción y durante la laminación en caliente del material bruto (eliminación de la cascarilla primaria): de 1250 a 1050 °C.

Durante la laminación en caliente del producto acabado (eliminación de la cascarilla secundaria): de 1050 a 950 °C.

(D) Control detallado del descascarillado mecánico y descascarillado usando agua o aire a alta presión.

Con el fin de retirar la cascarilla de las superficies de la zona de cabeza y de la zona del patín del carril y suprimir las concavidades y convexidades generadas de nuevo durante el descascarillado para hacer que el número de concavidades y convexidades que supera 0,30 veces la rugosidad superficial máxima sea igual o menor de un determinado número, es preferible que el proceso de eliminación de la cascarilla se realice en las condiciones siguientes.

En el caso del descascarillado mecánico, se necesitan medidas para hacer que la velocidad de proyección no sea excesiva y que los elementos de granallado como bolas de acero, fragmentos poligonales de granalla hechos de hierro y fragmentos poligonales de granalla que incluyen alúmina y carburo de silicio sean finos y tengan unas dimensiones (diámetro, longitud) apropiadas.

Además, en el caso de inyectar agua o aire a alta presión, son necesarias medidas para evitar que la presión de inyección sea excesiva y hacer agujeros de inyección con las dimensiones adecuadas para hacer que se rocíe finamente el material de rociado.

Además, en lo que respecta a la fluctuación de las boquillas de inyección, es preferible que la fluctuación de la boquilla sea periódica en respuesta a la velocidad de movimiento de la palanquilla o del carril. Aunque la velocidad de fluctuación no está limitada, es preferible controlar la velocidad de fluctuación para que el material rociado se pulverice de manera uniforme sobre las zonas que corresponden a las superficies de la zona de cabeza y de la zona del patín del carril.

(E) Intervalo de temperaturas de descascarillado

Es preferible que el intervalo de temperaturas de descascarillado que se realiza inmediatamente después de la extracción y recalentamiento del tocho para carril y durante la laminación en caliente del bruto sea de 1250 a 1050 °C. Puesto que el descascarillado se realiza inmediatamente después del recalentamiento (1250 a 1300 °C) y extracción del tocho o desbaste cuadrado, en la práctica el límite superior para la temperatura de descascarillado es 1250 °C. Además, cuando la temperatura de descascarillado se hace igual o menor de 1050 °C, la cascarilla

primaria se hace más resistente y no se puede eliminar con facilidad. En consecuencia, el intervalo de temperaturas preferido para el descascarillado es de 1250 a 1050 °C.

Es preferible que el intervalo de temperaturas de descascarillado durante la laminación en caliente del producto acabado del carril sea de 1050 a 950 °C. La cascarilla secundaria se genera a 1050 °C o menos, siendo el límite superior prácticamente 1050 °C. Además, cuando la temperatura de descascarillado se hace igual a 950 °C o menor de esa temperatura, es probable que la temperatura del carril se reduzca de tal forma que no se puede asegurar que esté a la temperatura de partida del tratamiento por calor durante el tratamiento térmico descrito en los documentos de patente 3 y 4. Según ello, disminuye la dureza del carril lo que da como resultado una reducción significativa de la resistencia a los daños por fatiga. Por lo tanto, es preferible que la temperatura de descascarillado esté en el intervalo de 1050 a 950 °C.

(F) Número de descascarillados

Con el fin de eliminar suficientemente la cascarilla primaria inmediatamente después de la extracción del tocho recalentado y durante la laminación en caliente del bruto, es preferible realizar el proceso de descascarillado de 4 a 12 veces inmediatamente antes de la laminación en caliente. Cuando el descascarillado se lleva a cabo menos de cuatro veces, no se puede eliminar suficientemente la cascarilla primaria, se producen concavidades y convexidades sobre la superficie del carril debido a que la cascarilla es proyectada sobre el material y la rugosidad superficial aumenta. Esto es, es difícil conseguir que la rugosidad superficial máxima  $R_{max}$  de la superficie del carril sea igual o menos de 180  $\mu m$ . Por otra parte, cuando el descascarillado se realiza más de 12 veces se disminuye la rugosidad de la superficie del carril. Sin embargo, se disminuye también la temperatura del propio carril y no se puede asegurar que esté a la temperatura de partida de tratamiento por calor durante el tratamiento térmico descrito en los documentos de patente 3 y 4. Como resultado de ello, la dureza del carril disminuye y la resistencia frente a los daños por fatiga disminuye de forma significativa. Según ello, es preferible realizar el descascarillado de 4 a 12 veces inmediatamente después de la extracción del tocho recalentado y la laminación en caliente del material bruto.

Con el fin de eliminar suficientemente la cascarilla secundaria durante la laminación en caliente el producto terminado, es preferible realizar el descascarillado de 3 a 8 veces inmediatamente antes de la laminación en caliente. Cuando el descascarillado se lleva a cabo menos de 3 veces, no se puede eliminar suficientemente la cascarilla secundaria y se producen concavidades y convexidades debido a que la cascarilla es proyectada sobre el material y la rugosidad superficial aumenta. Por otra parte, cuando el descascarillado se realiza más de 8 veces, se disminuye la rugosidad de la superficie del carril. Sin embargo, se disminuye también la temperatura del propio carril y no se puede asegurar que esté a la temperatura de partida de tratamiento por calor durante el tratamiento térmico descrito en los documentos de patente 3 y 4. Como resultado de ello, la dureza del carril disminuye y la resistencia frente a los daños por fatiga disminuye de forma significativa. Según ello, es preferible realizar el descascarillado de 3 a 8 veces inmediatamente durante la laminación en caliente del producto acabado.

Con el fin de hacer que la relación entre la dureza superficial SVH y la rugosidad superficial máxima  $R_{max}$  del carril a base de perlita sea igual o mayor de 3,5 para aumentar más la resistencia frente a los daños por fatiga, es preferible que el descascarillado se haga de 8 a 12 veces a una temperatura de laminación en caliente del tocho de 1200 a 1050 °C o de 5 a 8 veces a una temperatura de laminación en caliente del producto acabado de 1050 a 950 °C.

En relación a las zonas en las cuales hay que realizar el descascarillado, es preferible que el descascarillado se haga en las posiciones de las superficies correspondientes a la zona de cabeza y a la zona del patín del carril en el tocho para la laminación del carril. En lo que respecta a otras partes, no se puede esperar la mejora en la resistencia frente a los daños por fatiga, incluso aunque se lleve a cabo un descascarillado activo y el carril se enfría excesivamente; como resultado de ello, existe el riesgo de que se deteriore el material del carril.

En las tablas 3-1 y 3-2 se muestran las relaciones entre el control de la atmósfera del horno de calentamiento durante la laminación en caliente, el descascarillado mecánico, las condiciones de descascarillado durante la laminación en caliente del tocho inmediatamente después de la extracción del tocho recalentado y durante el descascarillado del producto terminado por laminación en caliente, el control del descascarillado mecánico utilizando agua o aire a alta presión, la temperatura de inicio del tratamiento térmico y el tratamiento térmico y las características de los carriles de acero (carriles a base de perlita) A8 y A17.

Realizando el control de la atmósfera (del horno), el descascarillado mecánico y el descascarillado usando agua o aire a alta presión en ciertas condiciones y realizando los tratamientos térmicos adecuados que sean necesarios, se pueden asegurar los valores deseados de dureza (SVH) de las superficies de la zona de cabeza y de la zona del patín del carril y, además, disminuir la rugosidad superficial máxima ( $R_{max}$ ), y el número de concavidades y convexidades que superan 0,30 veces la rugosidad superficial máxima puede ser igual o menor de un número predeterminado. En consecuencia, puesto que se puede aumentar la relación de la dureza superficial (SVH) a la rugosidad superficial máxima,  $R_{max}$ , y el número de concavidades y convexidades se puede disminuir a 40 o

menos, y preferiblemente, puede ser menos de 10, se mejora de manera significativa la resistencia frente a los daños por fatiga del carril

### Ejemplos

A continuación, se explican ejemplos de la invención.

5 Las tablas 1-1 a 1-4 presentan la composición química y las características del carril de acero (a base de perlita) de los ejemplos. Las tablas 1-1 (carriles de acero A1 a A19), 1-2 (carriles de acero A20 a A38), 1-3 (carriles de acero A39 a A52) y 1-4 (carriles de acero A53 a A65) presentan los valores en % en masa de los componentes químicos, las microestructuras de las superficies de la zona de cabeza y de la zona del patín del carril, la dureza superficial (SVH), la rugosidad superficial máxima (Rmax) y el número de concavidades y convexidades (NCC) que superan  
10 0,30 veces la rugosidad superficial máxima y la variación del esfuerzo en el límite de fatiga (FLSR por sus siglas en inglés). Además, se incluyen los resultados de los ensayos de fatiga realizados mediante los métodos mostrados en las figuras 6A y 6B.

15 Las tablas 2-1 (carriles de acero a1 a a10) y 2-2 (carriles de acero a11 a a20) muestran la composición química y las características de carriles de acero para comparación con los carriles de acero de los ejemplos (A1 a A65). Las tablas 2-1 y 2-2 presentan los valores en % en masa de los componentes químicos, las microestructuras de las superficies de la zona de cabeza y de la zona del patín del carril, la dureza superficial (SVH), la rugosidad superficial máxima (Rmax) y el número de concavidades y convexidades (NCC) que superan 0,30 veces la rugosidad superficial máxima y la variación del esfuerzo en el límite de fatiga (FLSR por sus siglas en inglés). Además, se incluyen los resultados de los ensayos de fatiga realizados mediante los métodos mostrados en las figuras 6A y 6B.

20 Los carriles cuyos datos se muestran en las tablas 1-1 a 1-4, 2-1 y 2-2 se sometieron de forma selectiva a (A) control de la atmósfera del horno de calentamiento, (B) descascarillado mecánico y (C) descascarillado usando agua o aire a alta presión.

25 El descascarillado usando aire o agua a alta presión se hizo de 4 a 12 veces a una temperatura de laminación en caliente del material bruto de 1250 a 1050 °C y de 3 a 8 veces a una temperatura de laminación en caliente del producto acabado de 1050 a 950 °C.

Durante el tratamiento térmico después de la laminación en caliente, en función de las necesidades en cada caso, se llevó a cabo enfriamiento acelerado como se describe en los documentos de patente 3 y 4.

30 En especial, los carriles de acero A1 a A6 de los ejemplos y los carriles de comparación a1 a a6 se sometieron a descascarillado utilizando agua o aire a alta presión 6 veces a una temperatura de laminación en caliente del bruto de 1250 a 1050 °C y de 4 veces a una temperatura de laminación en caliente del producto acabado de 1050 a 950 °C, sin control de la atmósfera del horno y sin descascarillado mecánico y se sometieron a enfriamiento acelerado tal como se describe en los documentos de patente 3 y 4 o similares, después de fabricarse mediante laminación en caliente en condiciones predeterminadas, y se examinaron los efectos de los componentes.

Tabla 1-1

Acero n°	COMPOSICIÓN QUÍMICA (% EN MASA)										SVH (Hv, 98N)	R <sub>max</sub> (µm)	SVH/ R <sub>max</sub>	NCC (UNIDADES)	FLSR (MPa)	NOTAS
A1											335	120	2,8	22	310	C LÍMITE INFERIOR
A2											340	110	3,1	20	315	C LÍMITE SUPERIOR
											430	160	2,7	28	340	
											425	175	2,4	30	330	
											350	115	3,0	24	325	INFERIOR
A4											445	170	2,6	28	355	S LÍMITE SUPERIOR
											442	180	2,5	30	350	
A5											320	180	1,8	32	300	Mn LÍMITE SUPERIOR
											322	170	1,9	30	300	
A6											455	160	2,8	28	345	Mn LÍMITE INFERIOR
											465	170	2,7	30	340	
A7											360	120	3,0	22	335	MEJOR
											365	130	2,8	24	340	
A8											395	160	2,5	28	320	MEJOR
											384	155	2,5	27	315	
A9											395	160	2,5	9	355	MEJOR
											384	155	2,5	9	350	
A10											396	100	4,0	20	420	MEJOR
											380	110	3,5	21	385	
A11											398	55	7,2	13	440	MEJOR
											388	60	6,5	14	430	

ES 2 731 660 T3

A12	ZONA DE CABEZA	PERLITA	398	55	7.2	4	465	MEJOR
	ZONA DEL PATIN	PERLITA	388	60	6.5	5	450	
A13	ZONA DE CABEZA	PERLITA	402	180	2.2	33	315	MEJOR
	ZONA DEL PATIN	PERLITA	332	180	1.8	34	305	
A14	ZONA DE CABEZA	PERLITA	403	110	3.7	13	400	MEJOR
	ZONA DEL PATIN	PERLITA	335	95	3.5	11	375	
A15	ZONA DE CABEZA	PERLITA	405	25	16.2	12	455	MEJOR
	PATIN							
A17	ZONA DE CABEZA	PERLITA	485	155	4.2	22	440	MEJOR
	ZONA DEL PATIN	PERLITA	480	100	4.8	23	435	
A18	ZONA DE CABEZA	PERLITA	485	115	4.2	8	465	MEJOR
	ZONA DEL PATIN	PERLITA	480	100	4.8	8	470	
A19	ZONA DE CABEZA	PERLITA	490	45	10.9	4	480	MEJOR
	ZONA DEL PATIN	PERLITA	480	35	13.7	3	480	

Tabla 1-2

Aceros n°	COMPOSICIÓN QUÍMICA (% EN MASA)													ESTRUCTURA	Rmax (µm)	SVH / Rmax	NCC (UNIDADES)	FLSR (MPa)	NOTAS					
A20														CABEZA DEL PATÍN									MEJOR	
A22														CABEZA DEL PATÍN										ALTA ADICIÓN DE Cr
A23														CABEZA DEL PATÍN										ALTA ADICIÓN DE Cr
A24														CABEZA DEL PATÍN	ITA									M <sub>0</sub> AÑADIDO
A25														CABEZA DEL PATÍN	ITA									M <sub>0</sub> AÑADIDO
A26														CABEZA DEL PATÍN	ITA									V AÑADIDO
A27														CABEZA DEL PATÍN	ITA									V AÑADIDO
A28														CABEZA DEL PATÍN	ITA									V AÑADIDO
A29														CABEZA DEL PATÍN	ITA									V AÑADIDO
A30														CABEZA DEL PATÍN	ITA									Cr+V

EJEMPLOS DE LA INVENCIÓN



Tabla 1-3

Acero n°	COMPOSICIÓN QUÍMICA (% EN MASA)										SITIO	MICRO ESTRUCTURA	SVH (Hv, 98N)	Rmax (µm)	SVH/Rmax	NCC (UNIDADES)	FLSR (MPa)	NOTAS
A39											ZONA DE CABEZA	PERLITA	415	125	3.3	22	335	Cu AÑADIDO
A40											ZONA DEL PATIN	PERLITA	420	130	3.2	26	330	Cu AÑADIDO
											ZONA DE CABEZA	PERLITA	415	75	5.5	13	440	
A41											ZONA DEL PATIN	PERLITA	420	70	6.0	14	445	Cu AÑADIDO
											ZONA DE CABEZA	PERLITA	350	140	2.5	23	315	
A42											ZONA DEL PATIN	PERLITA	345	125	2.8	20	320	Ni AÑADIDO
											ZONA DE CABEZA	PERLITA	350	80	4.4	14	410	
A43											ZONA DEL PATIN	PERLITA	345	70	4.9	13	415	Cu + Ni AÑADIDOS
											ZONA DE CABEZA	PERLITA	385	125	3.1	21	330	
A44											ZONA DEL PATIN	PERLITA	390	130	3.0	22	330	Ti AÑADIDO
											ZONA DE CABEZA	PERLITA	345	125	2.8	24	310	
A45											ZONA DEL PATIN	PERLITA	340	150	2.3	24	305	Ti AÑADIDO
											ZONA DE CABEZA	PERLITA	345	45	7.7	12	405	
A46											ZONA DEL PATIN	PERLITA	340	50	6.8	13	405	B + Ti AÑADIDOS
											ZONA DE CABEZA	PERLITA	350	125	2.8	18	310	
A47											ZONA DEL PATIN	PERLITA	360	135	2.7	19	310	Ca AÑADIDO
											ZONA DE CABEZA	PERLITA	400	130	3.1	22	335	
A48											ZONA DEL PATIN	PERLITA	350	140	2.5	23	315	Ca AÑADIDO
											ZONA DE CABEZA	PERLITA	400	80	5.0	14	430	
A49											ZONA DEL PATIN	PERLITA	350	70	5.0	13	415	Mg AÑADIDO
											ZONA DE CABEZA	PERLITA	430	150	2.9	26	330	
											ZONA DEL PATIN	PERLITA	445	130	3.4	25	320	





A60	CABEZA DEL PATÍN	345	140	2,5	28	310	N ANADIDO
A61	CABEZA DEL PATÍN	345	50	6,9	12	430	N ANADIDO
	CABEZA DEL PATÍN	345	60	5,8	14	415	
A62	CABEZA DEL PATÍN	345	50	6,9	2	465	N ANADIDO
	CABEZA DEL PATÍN						
A63	CABEZA DEL PATÍN	360	140	2,6	24	310	Al + N ANADIDOS
	CABEZA DEL PATÍN	370	150	2,5	23	310	
A64	CABEZA DEL PATÍN	365	110	3,3	20	335	V + N ANADIDOS
	CABEZA DEL PATÍN	370	110	3,4	20	335	
A65	CABEZA DEL PATÍN	365	110	3,3	7	355	V + N ANADIDOS
	CABEZA DEL PATÍN	370	110	3,4	6	350	

Tabla 2-1

Acero n°	COMPOSICIÓN QUÍMICA (% EN MASA)										ESTRUCTURA	SVH (HV, 98N)	Rmax (µm)	SVH / Rmax	NCC (UNIDADES)	FLSR (MPa)	NOTA
a1											FERRITA	260	120	2,2	23	180	C POR DEBAJO DEL LIMITE INFERIOR
a2											FERRITA	260	110	2,4	21	185	C POR ENCIMA DEL LIMITE SUPERIOR
											CEMENTITA PRO-EUTECTOIDE	540	160	3,4	25	190	
a3											CEMENTITA PRO-EUTECTOIDE	540	175	3,1	30	185	SI POR DEBAJO DEL LIMITE INFERIOR
											CABEZA DEL PATÍN	300	100	3,0	20	250	
											CABEZA DEL PATÍN	310	115	2,7	20	240	

EJEMPLOS DE COMPARACIÓN

ES 2 731 660 T3

a4	CABEZA DEL PATIN	MARTENSITA	560	180	3,1	28	150	Si POR ENCIMA DEL LIMITE SUPERIOR
								150
a5	CABEZA DEL PATIN		270	170	1,6	27	235	Mn POR DEBAJO DEL LIMITE INFERIOR
								230
a6	CABEZA DEL PATIN	MARTENSITA	560	170	3,3	24	165	Mn POR ENCIMA DEL LIMITE SUPERIOR
								170
a7	CABEZA DEL PATIN		310	110	2,8	19	235	DUREZA POR DEBAJO DEL LIMITE INFERIOR
								230
a8	CABEZA DEL PATIN		300	180	2,2	28	315	DUREZA POR DEBAJO DEL LIMITE INFERIOR
								270
a9	CABEZA DEL PATIN		430	155	2,8	24	335	DUREZA POR ENCIMA DEL LIMITE SUPERIOR
								260
a10	CABEZA DEL PATIN		515	170	3,0	25	245	DUREZA POR ENCIMA DEL LIMITE SUPERIOR
								250



a19	0.67	0.45	0.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	PERLITA	300	190	1,6	27	240	ZONA DEL PATIN: VALORES DE DUREZA Y RUGOSIDAD FUERA DE INTERVALO ADECUADO
																			PERLITA	340	150	2,3	24	305	
a20	0.84	0.45	1,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	PERLITA	390	120	3,3	23	340	ZONA DEL PATIN: VALORES DE DUREZA Y RUGOSIDAD FUERA DE INTERVALO ADECUADO
																			PERLITA	300	185	1,6	27	270	

Tabla 3-1

Acero n°	Sitio	CONTROL DE LA ATMOSFERA DEL HORNO DE CALENTAMIENTO	ELIMINACIÓN MECÁNICA DE CASCARILLA	DESCASCARILLADO DURANTE LAMINACIÓN DEL TOCHO JUSTO DESPUES DE LA EXTRACCIÓN Y RECALENTAMIENTO		DESCASCARILLADO DURANTE LAMINACIÓN DEL PRODUCTO ACABADO	CONTROL DE AIRE O AGUA A ALTA PRESIÓN Y DESCASCARILLADO MECÁNICO	TEMPERATURA DE INICIO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO (°C)	TRATAMIENTO TÉRMICO	MICRO ESTRUCTURA	SVH (Hv. 98N)	Rmax (µm)	SVH/Rmax	NCC (UNIDADES)	FSLR (MPa)	NOTAS
				T (°C)	Nº DE VECES											
A8	ZONA DE CABEZA DEL PATIN	NO	NO	1250-1050	4	1050-950	4	-	NO	PERLITA	320	160	2,1	26	305	
	ZONA DEL PATIN	NO	NO	1250-1050	6	1050-950	4	-	NO	PERLITA	325	155	2,1	24	305	
	ZONA DE CABEZA DEL PATIN	NO	NO	1250-1050	6	1050-950	4	-	NO	PERLITA	330	120	2,8	22	315	
	ZONA DEL PATIN	NO	NO	1250-1050	6	1050-950	4	-	NO	PERLITA	325	115	2,8	23	315	
	ZONA DE CABEZA DEL PATIN	NO	NO	1250-1050	4	1050-950	4	800	SI	PERLITA	330	120	2,8	8	335	
	ZONA DEL PATIN	NO	NO	1250-1050	4	1050-950	4	800	SI	PERLITA	325	115	2,8	7	335	
	ZONA DE CABEZA DEL PATIN	NO	NO	1250-1050	6	1050-950	4	780	SI	PERLITA	395	160	2,5	24	320	
	ZONA DEL PATIN	NO	NO	1250-1050	6	1050-950	4	780	SI	PERLITA	384	155	2,5	23	315	
	ZONA DE CABEZA DEL PATIN	NO	NO	1250-1050	6	1050-950	4	780	SI	PERLITA	395	120	3,3	22	340	
	ZONA DEL PATIN	NO	NO	1250-1050	6	1050-950	4	780	SI	PERLITA	384	115	3,3	21	335	
	ZONA DE CABEZA DEL PATIN	NO	NO	1250-1050	6	1050-950	4	780	SI	PERLITA	395	120	3,3	7	360	
	ZONA DEL PATIN	NO	NO	1250-1050	6	1050-950	4	780	SI	PERLITA	384	115	3,3	7	355	

ES 2 731 660 T3

CABEZA	NO	SI (BOLA DURA)	1250-1050	6	1050-950	4	NO	780	SI	PERLITA	395	110	3,6	21	410
PATIN										PERLITA	384	100	3,8	20	415
CABEZA	SI (30% DE NITROGENO)	NO	1250-1050	6	1050-950	4	NO	780	SI	PERLITA	395	95	4,2	15	425
PATIN										PERLITA	384	90	4,3	17	425
CABEZA	NO	NO	1250-1050	8	1050-950	4	NO	770	SI	PERLITA	395	85	4,6	14	430
PATIN										PERLITA	384	70	5,5	13	430
CABEZA	NO	NO	1250-1050	12	1050-950	4	NO	750	SI	PERLITA	395	50	7,9	12	440
PATIN										PERLITA	384	50	7,7	11	445
CABEZA															
PATIN															
CABEZA	NO	SI (MALLA DE ALUMINA)	1250-1050	12	1050-950	4	NO	750	SI	PERLITA	384	50	7,7	3	465
PATIN										PERLITA	395	45	8,8	13	450
CABEZA										PERLITA	384	45	8,5	12	450
PATIN										PERLITA	395	40	9,9	13	455
CABEZA	SI (30% DE NITROGENO)	NO	1250-1050	12	1050-950	4	NO	750	SI	PERLITA	384	40	9,6	12	455
PATIN										PERLITA	395	35	11,3	11	460
CABEZA	SI (30% DE NITROGENO)	SI (BOLA DURA)	1250-1050	12	1050-950	4	NO	750	SI	PERLITA	384	30	12,8	11	465
PATIN										PERLITA	395	35	11,3	3	480
CABEZA	SI (30% DE NITROGENO)	SI (BOLA DURA)	1250-1050	12	1050-950	4	SI	750	SI	PERLITA	384	30	12,8	2	485
PATIN										PERLITA	305	25	12,0	11	230
CABEZA	NO	NO	1250-1050	14	1050-950	4	NO	700	DE TEMPERATURA → NO PERMITIDO	PERLITA	305	20	15,3	12	240
PATIN										PERLITA	395	190	2,1	28	270
CABEZA	NO	NO	1250-1050	2	1050-950	4	NO	820	SI	PERLITA	384	180	2,1	24	280
PATIN										PERLITA	300	50	6,0	12	215
CABEZA	NO	NO	1250-1050	12	1050-950	4	NO	700	DE TEMPERATURA → NO PERMITIDO	PERLITA	305	50	6,1	13	220
PATIN										PERLITA	395	120	3,3	22	340
CABEZA	NO	NO	1250-1050	6	1050-950	4	NO	780		PERLITA	400	200	2,0	35	260
PATIN										PERLITA	400	195	2,1	25	255
CABEZA	NO	NO	1250-1050	2	1050-950	4	NO	820		PERLITA	384	120	3,2	20	345
PATIN										PERLITA	384	120	3,2	20	345

A8

Tabla 3-2

Acero nº	Sitio	ATMÓSFERA DEL HORNO DE CALENTAMIENTO	ELIMINACIÓN MECÁNICA DE CASCARILLA	DURANTE LAMINACIÓN DEL TOCHO JUSTO DESPUÉS DE LA EXTRACCIÓN Y RECALENTAMIENTO		DURANTE LAMINACIÓN DEL PRODUCTO ACABADO		AGUA A ALTA PRESIÓN Y DESCARILLADO MECÁNICO	DE INICIO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO (°C)	TÉRMINICO	ESTRUCTURA							
				VECES	1250-1050	VECES	1050-950											
A17	CABEZA	NO	NO	6	1250-1050	3	1050-950	NO	-	NO	PERLITA	350	140	2,5	23	310		
	PATÍN										PERLITA	345	135	2,6	21	310		
	CABEZA										PERLITA	355	125	2,8	20	320		
	PATÍN										PERLITA	350	125	2,8	8	340		
	CABEZA	NO	NO	6	1250-1050	4	1050-950	SI	-	NO	PERLITA	355	125	2,8	9	340		
	PATÍN										PERLITA	430	140	3,1	23	330		
	CABEZA	NO	NO	6	1250-1050	3	1050-950	NO	800	SI	PERLITA	430	140	3,1	23	330		
	PATÍN										PERLITA	430	140	3,1	23	330		
	CABEZA	NO	NO	6	1250-1050	4	1050-950	NO	780	SI	PERLITA	430	125	3,4	21	345		
	PATÍN										PERLITA	420	125	3,4	19	350		
	CABEZA	NO	NO	6	1250-1050	4	1050-950	SI	780	SI	PERLITA	430	125	3,4	20	365		
	PATÍN										PERLITA	420	125	3,4	18	375		
	CABEZA	NO	SI (MALLA DE HIERRO)	6	1250-1050	4	1050-950	NO	780	SI	PERLITA	430	110	3,9	17	420		
	PATÍN										PERLITA	420	105	4,0	16	420		
CABEZA	SI (80 % DE NITROGENO)	NO	NO	6	1250-1050	4	1050-950	NO	780	SI	PERLITA	430	100	4,3	15	425		
PATÍN										PERLITA	420	90	4,7	16	435			
CABEZA	NO	NO	6	1250-1050	5	1050-950	NO	770	SI	PERLITA	430	100	4,3	15	425			
PATÍN										PERLITA	420	105	4,0	16	420			
CABEZA	NO	NO	6	1250-1050	5	1050-950	SI	770	SI	PERLITA	430	100	4,3	6	445			
PATÍN										PERLITA	420	105	4,0	7	450			
CABEZA	NO	NO	6	1250-1050	8	1050-950	NO	750	SI	PERLITA	430	80	5,4	14	125			
PATÍN										PERLITA	430	80	5,4	14	125			
CABEZA	NO	NO	SI (BOLA DURA)	6	1250-1050	8	1050-950	NO	750	SI	PERLITA	430	60	7,2	12	455		
PATÍN										PERLITA	420	70	6,0	13	460			
CABEZA	SI (80 % DE NITROGENO)	NO	NO	6	1250-1050	8	1050-950	NO	750	SI	PERLITA	430	50	8,6	11	470		
PATÍN										PERLITA	420	60	7,0	12	460			
CABEZA	SI (80 % DE NITROGENO)	NO	NO	6	1250-1050	8	1050-950	SI	750	SI	PERLITA	430	50	8,6	4	490		
PATÍN										PERLITA	420	60	7,0	5	475			





## ES 2 731 660 T3

Además, las tablas 3-1 y 3-2 presentan las condiciones de fabricación usadas para los carriles de acero A8 y A17 mostrados en la tabla 1-1 y las características de los carriles. Las tablas 3-1 y 3-2 indican los datos relativos al control de la atmósfera del horno de calentamiento durante la laminación en caliente, al descascarillado mecánico, los intervalos de temperatura o el número de descascarillados usando agua o aire a alta presión durante la laminación en caliente del tocho inmediatamente después de la extracción del tocho recalentado y durante la laminación en caliente del producto acabado, el control del agua o aire a alta presión y el descascarillado mecánico, la temperatura de inicio del tratamiento térmico, las microestructuras de las superficies de la zona de cabeza y de la zona del patín del carril, la dureza superficial (SVH), la rugosidad superficial máxima (Rmax) y el número de concavidades y convexidades (NCC) que superan 0,30 veces la rugosidad superficial máxima y la variación del esfuerzo en el límite de fatiga (FLSR por sus siglas en inglés). Además, se incluyen los resultados de los ensayos de fatiga realizados mediante los métodos mostrados en las figuras 6A y 6B.

Asimismo, las condiciones de los diferentes ensayos fueron las siguientes.

Ensayo de fatiga

Forma del carril: se usa un carril de acero de 67 kg/m (136 libras)

15 Ensayo de fatiga: ver figuras 6A y 6B.

Método de ensayo: se realiza un ensayo de curvado de tres puntos (longitud de arco de 1 m y frecuencia de 5 Hz) sobre un carril de acero real.

Condición de carga: se realiza control de la variación del esfuerzo (máximo-mínimo, la carga mínima es el 10 % de la carga máxima).

20 Ensayo de la superficie de la zona de cabeza: carga sobre la zona del patín (ejerce resistencia a la tracción sobre la zona de cabeza)

Ensayo de la superficie de la zona del patín: carga sobre la zona de cabeza (ejerce resistencia a la tracción sobre la zona del patín)

25 Número de repeticiones: 200 millones de veces, se denomina variación del esfuerzo en el límite de fatiga a la máxima variación de esfuerzo sin que se produzca fractura

(1) Carriles de ejemplos (65 piezas)

Los carriles A1 a A65 son carriles para los cuales los valores de % en masa de los componentes químicos, las microestructuras de las superficies de la zona de cabeza y de la zona del patín, la dureza superficial (SVH) y el valor de la rugosidad superficial máxima (Rmax) están en los intervalos de los ejemplos.

30 Los carriles de acero A9, A27, A50, A58 y A65 son carriles con las condiciones más adecuadas de los ejemplos; además de los valores de masa de los componentes químicos, las microestructuras de las superficies de la zona de cabeza y de la zona del patín, la dureza superficial (SVH) y el valor de la rugosidad superficial máxima (Rmax), también el número de concavidades y convexidades que superan 0,30 veces la rugosidad superficial máxima es igual o menor de 10.

35 Los carriles de acero A10, A11, A14, A15, A17, A19, A21, A23, A25, A28, A32, A34, A38, A40, A42, A45, A48, A51, A56, A59 y A61 son carriles para los cuales los valores del cociente dureza superficial (SVH)/rugosidad superficial máxima (Rmax), así como los valores de las masas de los componentes, las microestructuras de las superficies de la zona de cabeza y de la zona del patín del carril, la dureza superficial (SVH) y la rugosidad superficial máxima (SVH) y la rugosidad superficial máxima (Rmax) están en los intervalos de los ejemplos.

40 Los carriles de acero A12, A18, A35, A52 y A62 son carriles para los cuales los valores del cociente dureza superficial (SVH)/rugosidad superficial máxima (Rmax), así como los valores de las masas de los componentes, las microestructuras de las superficies de la zona de cabeza y de la zona del patín del carril, la dureza superficial (SVH) y la rugosidad superficial máxima (SVH) y la rugosidad superficial máxima (Rmax) están en los intervalos de los ejemplos, y el número de concavidades y convexidades (NCC) que superan 0,30 veces la rugosidad superficial máxima es igual o menor de 10 en las condiciones más adecuadas de los ejemplos.

45 Los carriles mostrados en las tablas 1-1 a 1-4 cuyos valores del cociente dureza superficial SVH/rugosidad superficial máxima Rmax son iguales o mayores de 3,5 se sometieron de manera selectiva a (A) control de la atmósfera del horno de calentamiento, (B) descascarillado mecánico y (C) descascarillado usando agua o aire a alta presión durante la laminación en caliente.

50 En particular, aumentando el número de veces que se realiza el descascarillado, el descascarillado usando aire o

agua a alta presión se hizo de 8 a 12 veces a una temperatura de laminación en caliente del tocho de 1250 a 1050 °C y de 5 a 8 veces a una temperatura de laminación en caliente del producto acabado de 1050 a 950 °C. Después de ello, se llevó a cabo enfriamiento acelerado después de la laminación en caliente, como se describe en los documentos de patente 3 y 4 y similares.

5 (2) Carriles de comparación (20 piezas)

Los carriles de acero a1 a a6 son carriles cuyos % en masas de sus componentes químicos no están dentro de los intervalos de la invención.

10 Los carriles de acero a7 a a20 son carriles cuya dureza superficial (SVH) de las superficies de la zona de cabeza y de la zona del fondo del carril y cuyo valor de la rugosidad superficial máxima (Rmax) no están en los intervalos de la invención.

15 Como se muestra en las tablas 1-1, 1-2, 2-1 y 2-2, en los carriles de acero a1 a a6, los componentes químicos C, Si y Mn no están en el acero en cantidades correspondientes a los rangos o intervalos de la invención, de modo que se generan estructuras de ferrita, estructuras de cementita pro-eutectoide y estructuras de martensita. Es decir, puesto que el C contenido en los carriles de acero A1 a A65 de los ejemplos lo está en una cantidad en el intervalo de 0,65 a 1,20 %, el Si lo está en una cantidad en el intervalo de 0,05 a 2,00 % y el Mn lo está en una cantidad en el intervalo de 0,05 a 2,00 %, cuando se comparan con los carriles de acero a1 a a6, no se generan las estructuras de ferrita, las estructuras de cementita pro-eutectoide y las estructuras de martensita, que tienen efectos adversos sobre la resistencia frente a los daños por fatiga. Por lo tanto, las superficies de la zona de cabeza y de la zona del patín del carril de acero se pueden proporcionar de manera estable con la estructura de perlita en intervalos de dureza predeterminados. En consecuencia, resulta posible garantizar la resistencia frente a la fatiga (la variación del esfuerzo en el límite de fatiga es igual o mayor de 300 MPa) que se necesita para los carriles de acero y, por tanto, mejorar la resistencia frente a los daños por fatiga del carril.

25 Además, como se muestra en las tablas 1-1 a 1-4, 2-1 y 2-2, la dureza superficial SVH de la zona de cabeza y de la zona del patín y la rugosidad superficial Rmax máxima de los carriles de acero a7 a a20 no están en los intervalos de la invención y no se puede garantizar la resistencia a la fatiga necesaria para el carril (es decir que la variación del esfuerzo en el límite de fatiga sea igual o mayor de 300 MPa). Es decir, en los carriles de acero A1 a A65 de los ejemplos, la dureza superficial de la zona de cabeza y de la zona del patín está en el intervalo de Hv320 a Hv500 y la rugosidad superficial máxima Rmax es igual o menor de 180 µm y se garantiza la resistencia a la fatiga (valor de la variación del esfuerzo en el límite de fatiga igual o mayor de 300 MPa). Como resultado, resulta posible mejorar la resistencia frente a los daños por fatiga del carril.

30 La figura 7 muestra la relación entre la dureza superficial de la zona de cabeza y la variación del esfuerzo en el límite de fatiga de los carriles de acero (los carriles de acero A8, A10 a A11, A13 a A17, A19 a A26, A28, A31 a A34, 37 a A42, A44 a A45, A47 a A49, A51, A55 a A57, A59 a A61 y A64 presentados en las tablas 1-1 a 1-2) de ejemplos a destacar por los valores del cociente de la dureza superficial (SVH)/la rugosidad superficial máxima (Rmax).

35 La figura 8 muestra la relación entre la dureza superficial de la zona del patín y la variación del esfuerzo en el límite de fatiga de los carriles de acero (los carriles de acero A8, A10 a A11, A13 a A17, A19 a A26, A28, A31 a A34, 37 a A42, A44 a A45, A47 a A49, A51, A55 a A57, A59 a A61 y A64 presentados en las tablas 1-1 a 1-4) de ejemplos a destacar por los valores del cociente de la dureza superficial (SVH)/la rugosidad superficial máxima (Rmax).

40 Como se muestra en las figuras 7 y 8, puesto que los valores del cociente de la dureza superficial (SVH)/la rugosidad superficial máxima (Rmax) de los carriles de acero de los ejemplos se circunscriben a determinados intervalos, la resistencia a la fatiga (variación del esfuerzo en el límite de fatiga) del carril que presenta la estructura de perlita se puede mejorar más. Como resultado, se aumenta de manera significativa la resistencia frente a los daños por fatiga.

45 Asimismo, la figura 9 muestra las relaciones entre la dureza superficial de la zona de cabeza y la variación del esfuerzo en el límite de fatiga de los carriles de acero (los carriles de acero A8 a A9, A11 a A12, A17 a A18, A26 a A27, A34 a A35, A49 a A50, A51 a A52, A57 a A58, A61 a A62 y A64 a A65 mostrados en las tablas 1-1 a 1-4) de los ejemplos, en función del número de concavidades y convexidades que superan 0,30 veces la rugosidad superficial máxima.

50 La figura 10 muestra las relaciones entre la dureza superficial de la zona del patín y la variación del esfuerzo en el límite de fatiga de los carriles de acero (los carriles de acero A8 a A9, A11 a A12, A17 a A18, A26 a A27, A34 a A35, A49 a A50, A51 a A52, A57 a A58, A61 a A62 y A64 a A65 mostrados en las tablas 1-1 a 1-4) de los ejemplos, en función del número de concavidades y convexidades que superan 0,30 veces la rugosidad superficial máxima.

Como se muestra en las figuras 9 y 10, en los carriles de acero de los ejemplos, cuando el número de concavidades

y convexidades que superan 0,30 veces la rugosidad superficial máxima se restringe a un intervalo predeterminado, la resistencia a la fatiga (variación del esfuerzo en el límite de fatiga) del carril que presenta la estructura de perlita se puede mejorar adicionalmente. En consecuencia, la resistencia frente a los daños por fatiga se puede mejorar más.

- 5 Además, como se muestra en las tablas 3-1 y 3-2, el control de la atmósfera, el descascarillado mecánico y el descascarillado usando agua o aire a alta presión se realizan en condiciones predeterminadas. Además, se realiza de manera adecuada un tratamiento térmico según sea necesario, para garantizar la dureza superficial de la zona de cabeza y de la zona del patín y disminuir la rugosidad superficial máxima (Rmax), restringiendo de este modo a intervalos predeterminados los valores del cociente dureza superficial (SVH)/rugosidad superficial máxima (Rmax) y el número de concavidades y convexidades que superan 0,30 veces la rugosidad superficial máxima. De este modo, se puede mejorar adicionalmente la resistencia a la fatiga (variación del esfuerzo en el límite de fatiga) del carril que presenta la estructura de perlita. Como resultado de ello, se puede mejorar adicionalmente, la resistencia frente a los daños por fatiga.

Lista de marcas de referencia

- 15            1    zona superior de la cabeza (del carril)  
                  2    zona de la esquina de la cabeza (del carril)  
                  3    zona de la base o suela (del carril)  
                  10 carril a base de perlita  
                  11 zona de cabeza (del carril)  
 20            12 zona del patín (del carril)  
                  1S superficie de la zona superior de la cabeza  
                  3S superficie de la zona de base o suela  
                  R1 región de 5 mm desde 1S  
                  R3 región de 5 mm desde 3S  
 25            1A frontera entre la parte superior de la cabeza y la zona de la esquina

**REIVINDICACIONES**

1. Un carril de perlita (10) que contiene:  
 en % en masa:  
 de 0,65 a 1,20 % de C;
- 5 de 0,05 a 2,00 % de Si;  
 de 0,05 a 2,00 % de Mn; y  
 opcionalmente, uno o más de  
 una o dos especies entre: de 0,01 a 2,00 % de Cr y de 0,01 a 0,50 % de Mo;  
 una o dos especies entre: de 0,005 a 0,50 % de V y de 0,002 a 0,050 % de Nb;
- 10 de 0,01 a 1,00 % de Co;  
 de 0,0001 a 0,0050 % de B;  
 de 0,01 a 1,00 % de Cu;  
 de 0,01 a 1,00 % de Ni;  
 de 0,0050 a 0,0500 % de Ti;
- 15 una o dos especies entre: de 0,0005 a 0,0200 % de Mg y de 0,0005 a 0,0200 % de Ca;  
 de 0,0001 a 0,2000 % de Zr;  
 de 0,0040 a 1,00 % de Al;  
 de 0,0060 a 0,0200 % de N; y  
 siendo el resto Fe e impurezas inevitables,
- 20 que tiene una estructura de perlita en una región a una profundidad de 5 mm desde la superficie de la zona superior de la cabeza en la zona de cabeza del carril (11) y en una región a una profundidad de 5 mm desde la superficie de la zona de la base en la zona del patín del carril (11), y  
 la dureza superficial de la estructura de perlita medida con un medidor de dureza Vickers con una carga de 98 N está en el intervalo de Hv320 a Hv500 y la rugosidad superficial máxima de la estructura de perlita es  
 25 igual o menor de 180 µm, y  
 en el que la rugosidad superficial máxima se define como la altura máxima Rz de la curva de rugosidad descrita en el estándar JIS B 0601.
2. El carril de perlita (10) según la reivindicación 1, en el que la relación de la dureza superficial a la rugosidad superficial máxima es igual o mayor de 3,5.
- 30 3. El carril de perlita (10) según las reivindicaciones 1 o 2, en el que, en la zona en la cual se mide la rugosidad superficial máxima,  
 el número de concavidades y convexidades que supera 0,30 veces la rugosidad superficial máxima respecto de un valor promedio de rugosidad en la dirección vertical del carril desde la zona del patín (12) hasta la zona de la cabeza (11) es igual o menor de 40 por cada distancia de 5 mm en la dirección longitudinal del carril de las superficies de la  
 35 zona de la cabeza (11) y del zona del patín (12); donde el número de concavidades y convexidades es el número de picos y valles que superan un rango desde el valor promedio de rugosidad en la dirección vertical del carril desde la zona de cabeza (11) a la zona del patín (12).
4. El carril de perlita (10) según las reivindicaciones 1 o 2 que contiene, en % en masa, una o dos especies entre de 0,01 a 2,00 % de Cr y de 0,01 a 0,50 % de Mo.
- 40 5. El carril de perlita (10) según las reivindicaciones 1 o 2 que contiene, en % en masa, una o dos especies entre de 0,005 a 0,50 % de V y de 0,002 a 0,050 % de Nb.
6. El carril de perlita (10) según las reivindicaciones 1 o 2 que contiene, en % en masa, de 0,01 a 1,00 % de Co.

## ES 2 731 660 T3

7. El carril de perlita (10) según las reivindicaciones 1 o 2 que contiene, en % en masa, de 0,0001 a 0,0050 % de B.
8. El carril de perlita (10) según las reivindicaciones 1 o 2 que contiene, en % en masa, de 0,01 a 1,00 % de Cu.
9. El carril de perlita (10) según las reivindicaciones 1 o 2 que contiene, en % en masa, de 0,01 a 1,00 % de Ni.
10. El carril de perlita (10) según las reivindicaciones 1 o 2 que contiene, en % en masa, de 0,0050 a 0,0500 % de Ti.
- 5 11. El carril de perlita (10) según las reivindicaciones 1 o 2 que contiene, en % en masa, una o dos especies entre de 0,0005 a 0,0200 % de Mg y de 0,0005 a 0,0200 % de Ca.
12. El carril de perlita (10) según las reivindicaciones 1 o 2 que contiene, en % en masa, de 0,0001 a 0,2000 % de Zr.
13. El carril de perlita (10) según las reivindicaciones 1 o 2 que contiene, en % en masa, de 0,0040 a 1,00 % de Al.
14. El carril de perlita (10) según las reivindicaciones 1 o 2 que contiene, en % en masa, de 0,0060 a 0,0200 % de N.
- 10 15. El carril de perlita (10) según las reivindicaciones 1 o 2 que contiene, en % en masa:  
una o dos especies entre: de 0,01 a 2,00 % de Cr y de 0,01 a 0,50 % de Mo;  
una o dos especies entre: de 0,005 a 0,50 % de V y de 0,002 a 0,050 % de Nb;  
de 0,01 a 1,00 % de Co;  
de 0,0001 a 0,0050 % de B;  
15 de 0,01 a 1,00 % de Cu;  
de 0,01 a 1,00 % de Ni;  
de 0,0050 a 0,0500 % de Ti;  
de 0,0005 a 0,0200 % de Mg y de 0,0005 a 0,0200 % de Ca;  
de 0,001 a 0,2000 % de Zr:  
20 de 0,0040 a 1,00 % de Al; y  
de 0,0060 a 0,0200 % de N.

FIG. 1

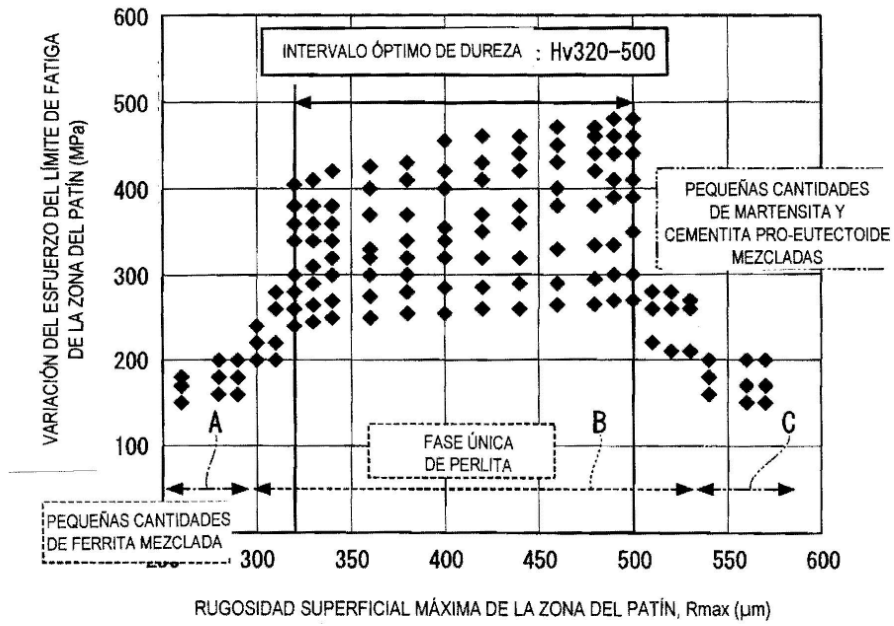


FIG. 2

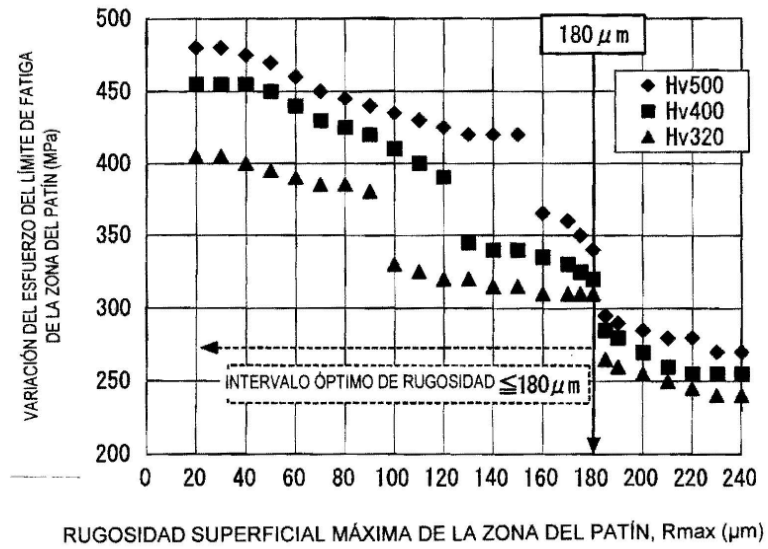
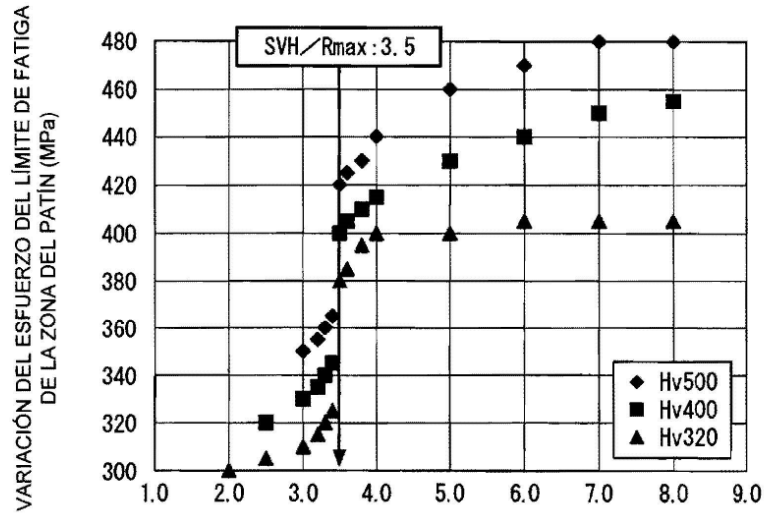


FIG. 3



RELACIÓN ENTRE LA DUREZA SUPERFICIAL Y LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL MÁXIMA DE LA ZONA DEL PATÍN: SVH/Rmax

FIG. 4

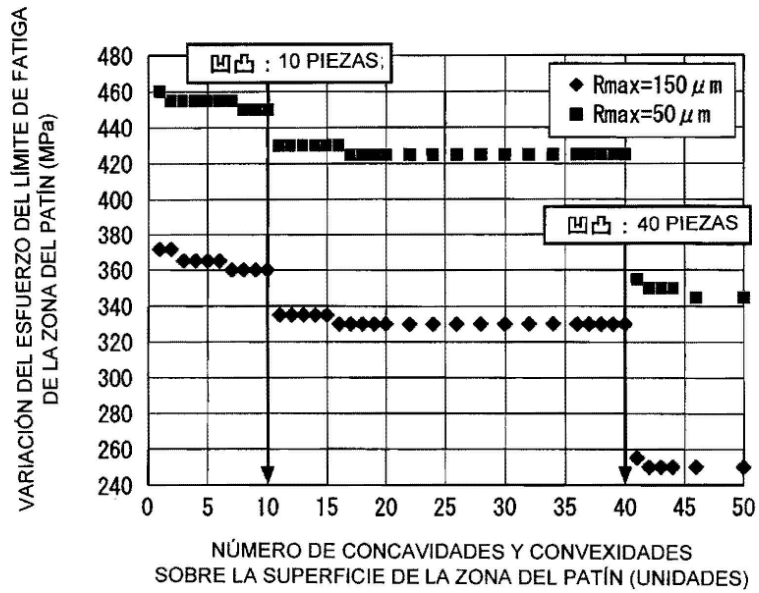


FIG. 5

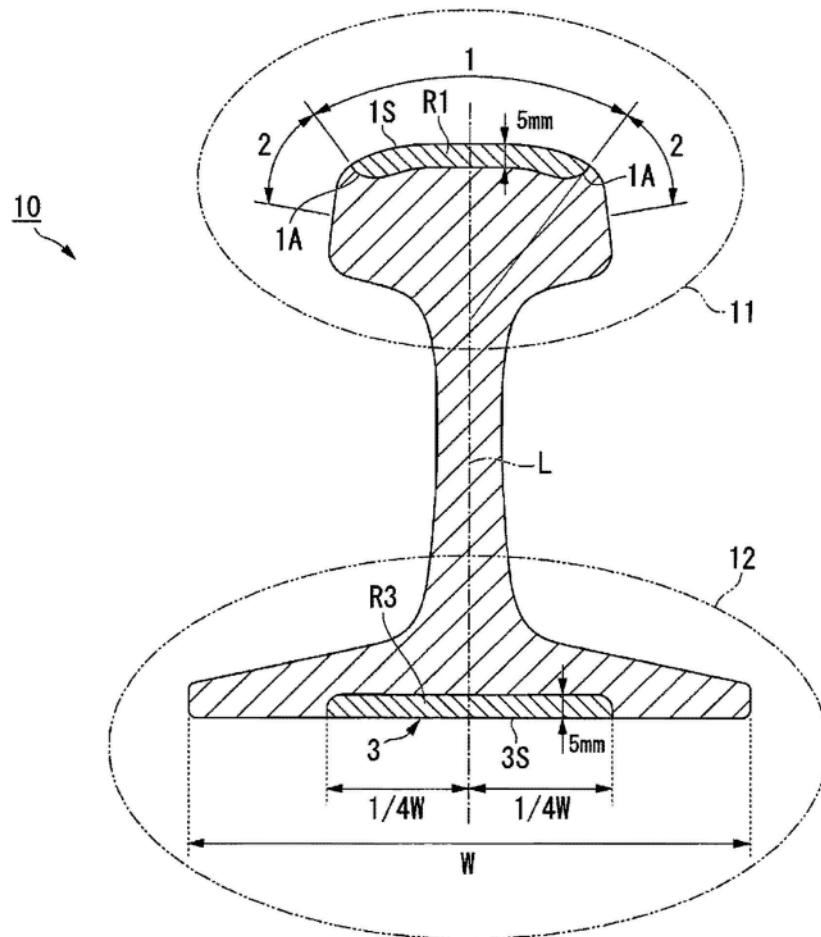




FIG. 6A

ENSAYO DE FATIGA DE LA SUPERFICIE  
DE LA ZONA DE CABEZA

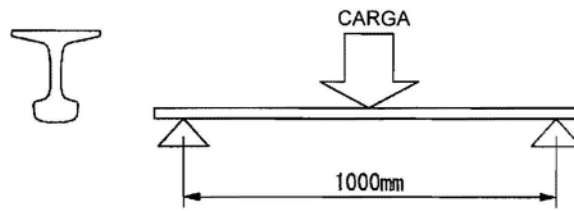


FIG. 6B

ENSAYO DE FATIGA DE LA SUPERFICIE  
DE LA ZONA DEL PATÍN

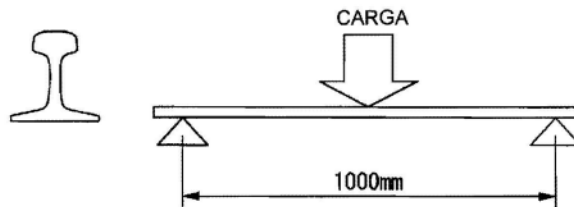


FIG. 7

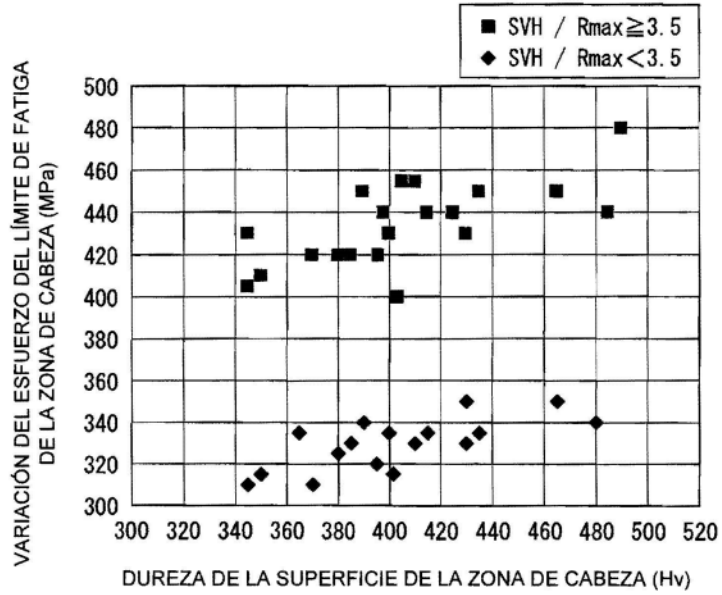


FIG. 8

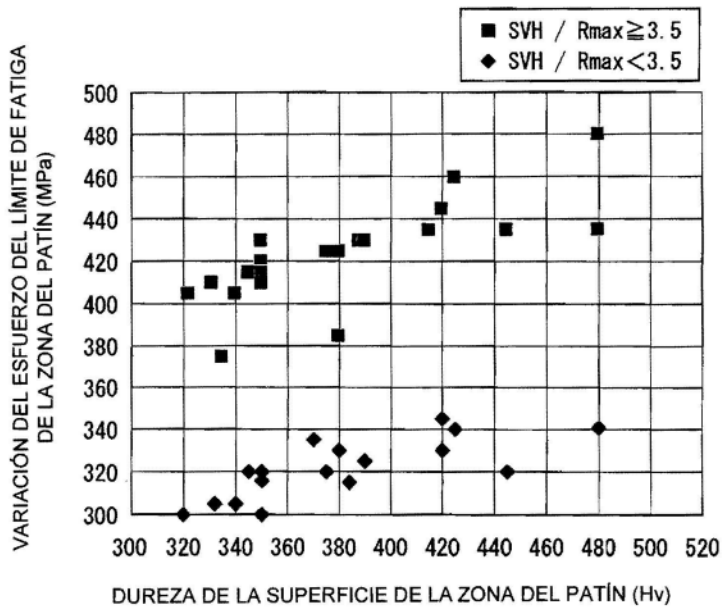


FIG. 9

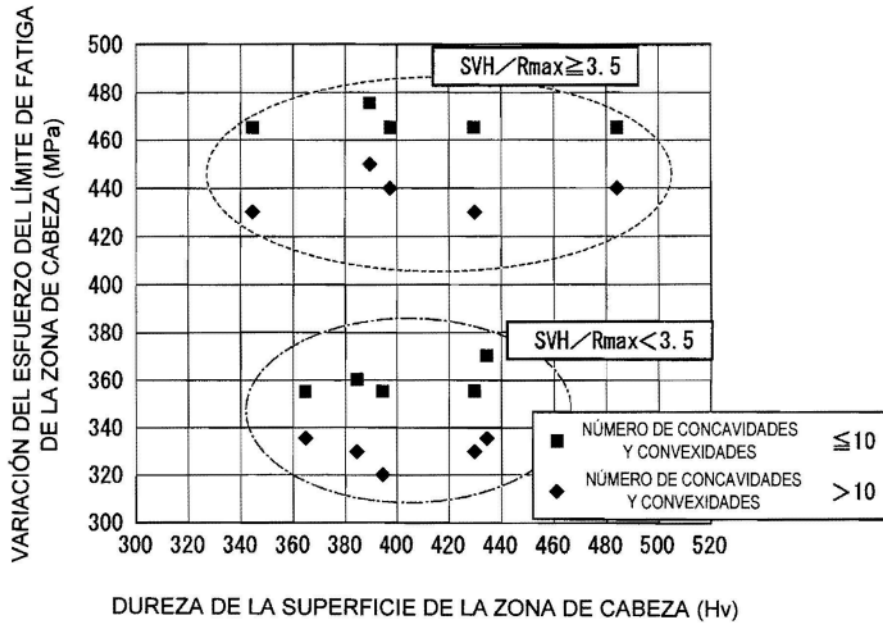


FIG. 10

