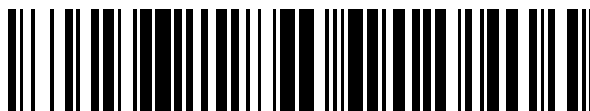


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 794 621**

51 Int. Cl.:

<b>C22C 38/00</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/04</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/58</b>	(2006.01)
<b>E01B 5/02</b>	(2006.01)
<b>C21D 8/00</b>	(2006.01)
<b>C21D 9/04</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/10</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.01.2016 PCT/JP2016/051890**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **28.07.2016 WO16117692**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.01.2016 E 16740299 (9)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.03.2020 EP 3249070**

54 Título: **Vía**

30 Prioridad:

**23.01.2015 JP 2015011007**

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

**18.11.2020**

73 Titular/es:

**NIPPON STEEL CORPORATION (100.0%)  
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku  
Tokyo, JP**

72 Inventor/es:

**UEDA, MASA HARU;  
YAMAMOTO, TAKESHI y  
MIYAZAKI, TERUHISA**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 794 621 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

Vía

**Campo técnico de la invención**

5 La presente invención se refiere a una vía que tiene excelente resistencia a la ruptura y resistencia a la fatiga en vías de alta resistencia usadas en vías férreas de carga.

**Técnica relacionada**

10 Con el desarrollo económico, se han desarrollado recientemente recursos naturales tales como carbón. Específicamente, se ha promovido la explotación minera en regiones con entornos naturales severos que no se desarrollaron aún. Junto con esto, el entorno del ferrocarril de las vías de ferrocarril de carga usadas para recursos de transporte se ha tornado significativamente severo. Por consiguiente, se ha requerido que las vías tengan más resistencia al desgaste que nunca. A partir de estos antecedentes, se ha presentado una demanda de desarrollo de vías con resistencia mejorada al desgaste.

15 Además, en los últimos años, el transporte por ferrocarril se ha abarrotado y, por consiguiente, se ha señalado una posibilidad de ruptura o daño por fatiga de las porciones inferiores de las vías. Consecuentemente, para una mejora adicional de la vida útil del servicio de ferrocarril, se ha presentado una demanda de mejora de la resistencia a la ruptura y la resistencia a la fatiga de las vías, además de la resistencia al desgaste.

20 Con el propósito de mejorar la resistencia al desgaste del acero de las vías, por ejemplo, se han desarrollado las vías de alta resistencia descritas en los Documentos de Patente 1 a 5. Las características principales de estas vías son la dureza del acero aumentada por la separación lamelar de perlita de refinamiento usando un tratamiento con calor para mejorar la resistencia al desgaste y una mayor tasa en volumen de cementita en el lamelar de perlita mediante el aumento de la cantidad de carbono del acero.

25 El Documento de Patente describe que una vía con excelente resistencia al desgaste se obtiene mediante la realización de refrigeración acelerado en una porción delantera de la vía que se enrolla o se recalienta a una tasa de refrigeración de 1°C/seg. a 4°C/seg. desde la temperatura de una región de austenita hasta un intervalo de 850°C a 500°C.

Además, el Documento de Patente 2 describe que una vía que tiene excelente resistencia al desgaste puede obtenerse aumentando la relación en volumen de cementita en el lamelar de una estructura de perlita usando acero hipereutectoide (C: mayor que 0,85% y 1,20% o menos).

30 En las tecnologías descritas de los Documentos de Patente 1 y 2, la resistencia al desgaste de una porción delantera de la vía se mejora de modo tal que una cierta longitud de vida útil de servicio se aumenta refinando la separación lamelar en la estructura de perlita para mejorar la dureza y aumentar la relación en volumen de cementita en el lamelar de la estructura de perlita. Sin embargo, en las vías descritas en los Documentos de Patente 1 y 2, la resistencia a la rotura y la resistencia a la fatiga de la porción inferior de vía no se examinaron.

35 Además, por ejemplo, los Documentos de Patente 3 a 5 describen un procedimiento para realizar un tratamiento con calor en una porción inferior de vía con el fin de controlar el material de la porción inferior de vía y evitar la ruptura originada de la porción inferior de vía. De acuerdo con las tecnologías descritas en estos documentos, se sugiere que el tiempo de servicio de las vías puede mejorarse drásticamente.

40 Específicamente, el Documento de Patente 3 describe un procedimiento de tratamiento con calor para realizar la refrigeración acelerada de la superficie inferior de la vía a una tasa de refrigeración de 1°C/seg. a 5°C/seg., a partir de un intervalo de temperatura de 800°C a 450°C, mientras se realiza la refrigeración acelerada en la porción delantera de la vía a partir de una temperatura de la región de austenita después del rodamiento de la vía. Además, de acuerdo con el procedimiento de tratamiento con calor, se describe que una vía que tiene características mejoradas de resistencia al peso en caída y resistencia a la ruptura puede proporcionarse mediante el ajuste de la dureza promedio de la estructura de perlita de la porción inferior de vía a HB 320 o más.

45 El Documento de Patente 4 describe que una vía que tiene características mejoradas de peso en caída y excelente resistencia a la ruptura puede proporcionarse por recalentamiento de la porción inferior de vía que se enrolla y se somete a un tratamiento con calor en un intervalo de temperatura de 600°C a 750°C, esferodizando la estructura de perlita, y luego realizando la rápida refrigeración en la porción inferior de vía.

50 El Documento de Patente 5 describe un procedimiento de ajuste de la dureza de una porción de borde de pie a Hv 320 o más mediante el recalentamiento de la porción de borde de pie de una vía en un intervalo de temperatura de un punto de transformación Ar3 o un punto de transformación Arcm hasta 950°C, realizando refrigeración acelerada en la porción de borde de pie a una tasa de refrigeración de 0,5°C a 20°C, deteniendo la refrigeración acelerada a 400°C o más, realizando refrigeración con aire o refrigeración acelerada en la porción de borde de pie hasta la temperatura ambiente, recalentando de manera adicional la porción de borde de pie hasta un intervalo de temperatura de 500°C a

650°C, y realizando refrigeración con aire o refrigeración acelerada en la porción de borde de pie hasta la temperatura ambiente. Se describe que puede proporcionarse una vía que tiene excelente resistencia a la ruptura cuando se usa este procedimiento porque puede suprimirse la generación del daño por fatiga a la porción de borde de pie, la generación de ruptura debido al daño por fatiga, y la generación de ruptura debido a fracturas frágiles causadas por una carga de impacto excesiva, entre la ruptura en la porción de borde de pie.

De acuerdo con la tecnología descrita del Documento de Patente 3, dado que la dureza de la estructura de perlita se mejora realizando refrigeración acelerada en la porción inferior de vía, se mejoran las características de la resistencia al peso en caída o la resistencia a la fatiga para lo que principalmente se requiere la fuerza. Sin embargo, la tenacidad se degrada debido a la alta dureza, es improbable que la resistencia a la ruptura se mejore. Además, dado que es probable que se genere una cementita proeutectoide nociva para la tenacidad a la tasa de refrigeración descrita con anterioridad de la refrigeración acelerada en un caso de acero para vía que tiene un alto contenido de carbono, es improbable que la resistencia a la ruptura se mejore desde este punto de vista.

Además, de acuerdo con la tecnología descrita del Documento de Patente 4, dado que la porción inferior de vía completa se recalienta y luego la porción inferior de vía se enfría rápidamente, la tenacidad puede mejorarse al templar la estructura de perlita. Sin embargo, dado que la estructura se ablanda mediante el templado, es improbable que la resistencia a la fatiga se mejore.

Además, de acuerdo con la tecnología descrita del Documento de Patente 5, dado que la porción de borde de pie de la vía se recalienta y luego se realiza la refrigeración controlada, la dureza de la estructura de perlita aumenta y la estructura de perlita puede refinarse. Más aún, un cierto grado de tenacidad se obtiene por templado, que se realiza después de refrigerar. Sin embargo, dado que la dureza de la estructura aumenta, es improbable que la tenacidad mejore lo suficiente y por consiguiente es difícil de obtener una resistencia a la ruptura excelente.

El Documento de Patente 6 se refiere a vías de ferrocarril que tienen resistencia mejorada al desgaste.

#### **Documento de la técnica anterior**

##### **Documento de patente**

- [Documento de Patente 1] Solicitud de Patente japonesa examinada, Segunda Publicación Núm. S63-023244
- [Documento de Patente 2] Solicitud de Patente japonesa no examinada, Primera Publicación Núm. H08-144016
- [Documento de Patente 3] Solicitud de Patente japonesa no examinada, Primera Publicación Núm. HOI-139724
- [Documento de Patente 4] Solicitud de Patente japonesa no examinada, Primera Publicación Núm. H04-202626
- [Documento de Patente 5] Solicitud de Patente japonesa no examinada, Primera Publicación Núm. 2008-266675
- [Documento de Patente 6] US 4 486 248 A

#### **Descripción de la invención**

##### **Problemas a resolver por la invención**

La presente invención se ha realizado en consideración de los problemas descritos con anterioridad. Un objeto de la presente invención es proporcionar una vía que tenga excelentes resistencia a la ruptura y resistencia a la fatiga que se requieren para las vías de vías de ferrocarril de cargamento y en las que la generación de ruptura desde una porción inferior pueda suprimirse.

##### **Medios para resolver el problema**

El alcance de la presente invención se define por la reivindicación independiente, las reivindicaciones dependientes relativas a las realizaciones preferidas. Algunos aspectos ilustrativos son los siguientes.

- (1) De acuerdo con un aspecto de la presente invención, una vía incluye, como composición de acero, en términos de % en masa: C: 0,75% a 1,20%; Si: 0,10% a 2,00%; Mn: 0,10% a 2,00%; Cr: 0% a 2,00%; Mo: 0% a 0,50%; Co: 0% a 1,00%; B: 0% a 0,0050%; Cu: 0% a 1,00%; Ni: 0% a 1,00%; V: 0% a 0,50%; Nb: 0% a 0,050%; Ti: 0% a 0,0500%; Mg: 0% a 0,0200%; Ca: 0% a 0,0200%; REM: 0% a 0,0500%; Zr: 0% a 0,0200%; N: 0% a 0,0200%; Al: 0% a 1,00%; P: 0,0250% o menos; S: 0,0250% o menos; y Fe e impurezas como un resto.
- 90% o mayor de una estructura metalográfica en un intervalo entre una superficie exterior de una porción inferior de vía como origen y una profundidad de 5 mm es una estructura de perlita, y una HC que es una dureza superficial de una porción central de inferior de pie está en un intervalo de Hv 360 a 500. Una HE que es una dureza superficial de una porción de borde de pie está en un intervalo de Hv 260 a 315, y la HC, la HE, y una HM que es la dureza superficial de una porción media posicionada entre la porción central inferior de pie y la porción de borde de pie satisface la siguiente Expresión 1.

$$HC \geq HM \geq HE \dots \text{(Expresión 1).}$$

(2) En la vía de acuerdo con (1), la HM y la HC pueden satisfacer la siguiente Expresión 2.

$$HM/HC \geq 0,900 \dots \text{(Expresión 2)}$$

5 (3) En la vía de acuerdo con (1) o (2), la composición de acero puede incluir, en términos de % en masa, al menos uno seleccionado del grupo que consiste en Cr: 0,01% a 2,00%, Mo: 0,01% a 0,50%, Co: 0,01% a 1,00%, B: 0,0001% a 0,0050%, Cu: 0,01% a 1,00%, Ni: 0,01% a 1,00%, V: 0,005% a 0,50%, Nb: 0,0010% a 0,050%, Ti: 0,0030% a 0,0500%, Mg: 0,0005% a 0,0200%, Ca: 0,0005% a 0,0200%, REM: 0,0005% a 0,0500%, Zr: 0,0001% a 0,0200%, N: 0,0060% a 0,0200%, y Al: 0,0100% a 1,00%.

### Efectos de la invención

10 De acuerdo con el aspecto adicional de la presente invención, es posible proporcionar una vía con excelentes resistencia a la ruptura y resistencia a la fatiga, que se requieren para la porción inferior de vía de las vías de ferrocarril de carga, mediante el control de las composiciones del acero de la vía que sirven como material de la vía, control de la estructura metalográfica de la porción inferior de vía y la dureza superficial de la porción central inferior de pie y la porción de borde de pie, y control de la concentración de presión en la cercanía de la porción media, mediante el control del equilibrio de la dureza superficial de la porción central inferior de pie, la porción de borde de pie, y la porción media.

### Breve descripción de los dibujos

- La FIG. 1 es un gráfico que muestra los resultados de la medición de la tensión superficial aplicada a una porción inferior de vía.
- 20 La FIG. 2 es un gráfico que muestra la relación entre la dureza superficial y el intervalo de tensión al límite de fatiga de una porción central inferior de pie de una vía.
- La FIG. 3 es un gráfico que muestra la relación entre la dureza superficial y el intervalo de tensión al límite de fatiga de una porción de borde de pie de una vía.
- 25 La FIG. 4 es un gráfico que muestra la relación entre la dureza superficial y los valores de impacto de una porción de borde de pie de una vía.
- La FIG. 5 es un gráfico que muestra la relación entre la dureza superficial de una porción media y el intervalo de tensión al límite de fatiga de una porción inferior de una vía.
- La FIG. 6 es un gráfico que muestra la relación entre la dureza superficial de la porción central inferior de pie y la porción media y el intervalo de tensión al límite de fatiga de una porción inferior de una vía.
- 30 La FIG. 7 es un gráfico que muestra los nombres de cada posición de una porción inferior de vía de acuerdo con la presente realización y una región para la cual se requiere estructura de perlita.
- La FIG. 8 es una vista lateral que muestra el resumen de una prueba de fatiga de una vía.
- La FIG. 9 es una vista en perspectiva que muestra una posición de las muestras de prueba de impacto con máquina en una vía.
- 35 La FIG. 10 es una vista que muestra la relación entre la relación de la dureza superficial HM (Hv) de la porción media a la dureza superficial HC (Hv) de la porción central inferior de pie y la tensión al límite de fatiga de una vía.

### Realizaciones de la invención

En lo sucesivo, se describirá en detalle una vía que tiene excelentes resistencia a la ruptura y resistencia a la fatiga de acuerdo con una realización de la presente invención (en lo sucesivo también denominada vía de acuerdo con la presente invención). En lo sucesivo, "%" en la composición indica % en masa.

40 En primer lugar, los inventores de la presente examinaron los detalles de la causa de la ruptura generada de la porción inferior de vía en las vías de ferrocarril de carga actuales. Como resultado, se halló que la ruptura de la vía se divide principalmente en dos tipos de formas de ruptura basadas en sus causas. Es decir, la ruptura se divide en dos tipos de formas de ruptura que son fractura frágil en la cual la porción de borde de pie de una porción inferior de vía es el origen y una fractura por fatiga en la cual la porción central inferior de pie de la porción inferior de vía es el origen.

45 Además, la ocurrencia de fractura frágil de la porción de borde de pie como origen se encuentra frecuentemente en la vía externa de una sección en línea curva y la ocurrencia de la fractura por fatiga de la porción central inferior de pie como origen se encuentra frecuentemente en la vía de una sección en línea recta.

Además, en la fractura frágil que ocurre en la porción de borde de pie de la vía externa de la sección en línea curva, no se encuentra ocurrencia de quebraduras por fatiga. Por lo tanto, se supone que la fractura frágil que ocurre en la porción de borde de pie de la vía externa de la sección en línea curva es la ruptura formada por la tensión de impacto aplicada instantáneamente.

5 La FIG. 7 es una vista esquemática que muestra una porción inferior de vía de acuerdo con la presente realización. La porción inferior de vía (porción inferior de vía 4) de acuerdo con la presente realización se describirá con referencia a la FIG. 7.

10 La porción inferior de vía 4 incluye una porción central inferior de pie 1, una porción de borde de pie 2 posicionada en ambos extremos de la porción central inferior de pie 1, y una porción media 3 posicionada entre la porción central inferior de pie 1 y la porción de borde de pie 2.

15 Como se muestra en la FIG. 7, la porción de borde de pie 2 es una porción posicionada en la cercanía de ambos extremos de la porción inferior de vía 4 en la dirección de ancho y posicionada cerca de una superficie exterior 5 de la porción inferior de vía. Además, como se muestra en la FIG. 7, la porción central inferior de pie 1 es una porción posicionada en la cercanía del centro de la porción inferior de vía 4 en la dirección de ancho y posicionada cerca de la superficie exterior 5 de la porción inferior de vía. Además, como se muestra en la FIG. 7, la porción media 3 es una porción posicionada entre la porción de borde de pie 2 y la porción central inferior de pie 1 y está posicionada cerca de la superficie exterior 5 de la porción inferior de vía. Más específicamente, cuando la dimensión del ancho de la porción inferior de vía 4 en la FIG. 7 se define como W, la porción central inferior de pie 1 está en una región de  $0,1 W$  interpuesta entre la posición de  $\pm 0,05 W$  y el centro del ancho de la porción inferior de vía 4. Además, la porción de borde de pie 2 posicionada en ambos extremos de la porción central inferior de pie 1 está en una región de  $0,1 W$  desde la porción del extremo de la porción inferior de vía 4 en la dirección de ancho. Además, la porción media 3 posicionada entre la porción central inferior de pie 1 y la porción de borde de pie 2 está en una región de  $0,2$  a  $0,3 W$  desde la porción del extremo de la porción inferior de vía 4 en la dirección de ancho.

25 En un caso en el que la vía se ve desde la sección transversal vertical en la dirección de largo, una porción en la que el ancho de la vía está limitado está presente en el centro de la vía en la dirección de alto. Una porción que tiene un ancho mayor que el ancho de la porción limitada y está posicionada en un lado inferior a la porción limitada se denomina porción inferior de vía 4 y una porción que está posicionada en un lado superior a la porción limitada se denomina porción de columna de vía o una porción delantera (no se ilustra). Además, la superficie exterior 5 de la porción inferior de vía indica al menos la superficie, entre las superficies de la porción inferior de vía, orientada al lado inferior cuando la vía está vertical. La superficie exterior 5 de la porción inferior de vía puede incluir las superficies del extremo lateral de la porción inferior de vía.

30 En general, se dice que la baja dureza (blando) es efectiva para la fractura frágil generada por la tensión de impacto aplicada y la alta dureza (muy duro) es efectiva para la fractura por fatiga. Es decir, son necesarios procedimientos contrarios para mejorar estas características. Por consiguiente, no es fácil mejorar estas características simultáneamente. Los inventores de la presente hallaron que la dureza superficial en cada posición de la porción inferior tiene que controlarse de manera adecuada de acuerdo con las causas principales de la generación de fractura, para suprimir el daño que ocurre en la porción inferior de vía.

35 Los inventores de la presente examinaron la causa de ocurrencia de la fractura por fatiga originada de la porción central inferior de pie. Específicamente, la tensión aplicada a la superficie de la porción inferior en la porción central inferior de pie desde la porción de borde de pie se mide realizando una prueba de fatiga por doblez de la vía real suponiendo vías de ferrocarril de carga pesada usando una vía que incluye una composición de acero con 1,00% de C, 0,50% de Si, 0,90% de Mn, P: 0,0250% o menos, y S: 0,0250% o menos (el resto de la composición de acero es Fe e impurezas) y en la que la dureza superficial exterior entera de la porción inferior de vía desde una porción de borde de pie hasta la otra porción de borde de pie se ajusta para ser casi constante. Las condiciones de prueba son como se describen a continuación.

- Prueba de fatiga al doblez de la vía real

Vía usada

Forma: Vía de 63,95 kg (peso: 70 kg/m, ancho de la porción inferior: 152 mm)

Estructura metalográfica de la porción inferior: perlita

50 Dureza superficial de la porción inferior: Hv 380 a 420 (valor promedio en la profundidad de 1 mm bajo superficies comprendidas entre la porción de borde de pie y la porción media y entre la porción media y la porción central inferior de pie).

Condiciones de la prueba de fatiga

Procedimiento de prueba: Doblez en 3 puntos de la vía real (extensión: 0,65 m) (véase la FIG. 8).

## ES 2 794 621 T3

Condición de carga: en el intervalo de 7 a 70 toneladas (frecuencia de la carga aplicada: 5 Hz).

Disposición de prueba: la carga se aplica a la porción delantera de la vía (la resistencia a la tensión se aplica a la porción inferior de vía).

### Medición de tensión

5 Procedimiento de medición: medición utilizando un indicador recto que se adhiere a la porción inferior de vía

La FIG. 1 muestra la relación entre la distancia desde el centro en la superficie de la porción inferior de vía en la dirección de ancho y los resultados de la medición de la tensión aplicada a la porción inferior de vía. El eje vertical en la FIG. 1 muestra el intervalo de tensión obtenido por la organización de los resultados de la medición de la tensión superficial tres veces. Como se entiende a partir de la FIG. 1, se halló que el intervalo de tensión es en gran medida diferente para cada sitio en posición en la porción inferior de vía, la tensión máxima es de 200 MPa, que es el valor más alto y medido en la porción central inferior de pie, la tensión disminuye monótonicamente hacia la porción de borde de pie desde la porción central inferior de pie, y la tensión de la porción de borde de pie en la que la limitación es menor y la deformación se hace disminuir fácilmente hasta 150 MPa. Por consiguiente, se sugiere que la dureza superficial requerida para mejorar la resistencia a la fatiga es diferente para cada posición porque la tensión de carga es diferente para cada posición en la porción inferior de vía.

Con el fin de clarificar la dureza superficial requerida para asegurar la resistencia a la fatiga de cada posición de la vía, los inventores producen una pluralidad de vías A en las cuales la dureza de la porción central inferior de pie está cambiada y una pluralidad de vías B en la cual la dureza de la porción de borde de pie está cambiada, mediante la realización de laminado en caliente y un tratamiento con calor sobre el acero de la vía (el acero sirve como material de la vía) que contiene 1,00% de C, 0,50% de Si, 0,90% de Mn, P: 0,0250% o menos, y S: 0,0250% o menos y el resto de Fe e impurezas. Además, se realiza una prueba de fatiga reproduciendo las condiciones de uso de las vías reales a las vías A y B obtenidas para investigar el intervalo de tensión al límite de fatiga. Las condiciones de prueba son como sigue.

<Prueba de fatiga al doblar de la vía real (1)>

25 Vía usada

Forma: Vía de 63,95 kg (peso: 70 kg/m, ancho de la porción inferior: 152 mm)

Estructura metalográfica de la porción inferior: perlita

### Dureza de la vía

Vía A que tiene la porción central inferior de pie de la cual se controla la dureza: dureza superficial HC (Hv) de la porción central inferior de pie: Hv 320 a 540, y dureza superficial HE (Hv) de la porción de borde de pie: Hv 315 (constante).

Vía B que tiene la porción de borde de pie de la cual se controla la dureza: dureza superficial HC (Hv) de la porción central inferior de pie: Hv 400 (constante), y dureza superficial HE (Hv) de la porción de borde de pie: Hv 200 a 340.

En este caso, la dureza superficial de la porción central inferior de pie es un valor promedio obtenido por medición de la dureza superficial (dureza de la sección transversal a las profundidades de 1 mm y 5 mm bajo la superficie) de 20 sitios mostrados en la FIG. 7. Además, la dureza superficial de la porción de borde de pie es un valor promedio obtenido por medición de la dureza superficial (dureza de la sección transversal a las profundidades de 1 mm y 5 mm bajo la superficie) de 20 sitios mostrados en la FIG. 7. Además, Hv representa la dureza de Vickers.

La dureza superficial entre la porción de borde de pie y la porción central inferior de pie que incluye la dureza HM (Hv) de la porción media entre la porción de borde de pie y la porción central inferior de pie está en un estado de distribución que aumenta monótonicamente hacia la porción central inferior de pie desde la región del borde de pie.

### Condiciones de la prueba de fatiga

Procedimiento de prueba: doblar en 3 puntos de la vía real (extensión: 0,65 m) (véase la FIG. 8).

45 Condición de carga: el intervalo de tensión está controlado (carga máxima - carga mínima; la carga mínima es de 10% de la carga máxima), frecuencia de la carga aplicada: 5 Hz.

Disposición de prueba: la carga se aplica a la porción delantera de la vía (la resistencia a la tensión se aplica a la porción inferior).

Control de tensión: la tensión se controla usando el calibre de presión adherido a la porción central inferior de pie de la porción inferior de vía.

50 Número de repetición: el número de repetición se ajusta a 2 millones de veces y el intervalo máximo de tensión en

## ES 2 794 621 T3

el caso de no estar fracturado se ajusta al intervalo de tensión al límite de fatiga.

La FIG. 2 muestra los resultados de la prueba de fatiga de las vías A y la FIG. 3 muestra los resultados de la prueba de fatiga de las vías B.

5 La FIG. 2 es un gráfico organizado en base a la relación entre la dureza superficial HC (Hv) y el intervalo de tensión al límite de fatiga de las porciones centrales inferiores de pie de las vías A. Como se entiende a partir de los resultados de la FIG. 2, se entiende que se requiere que la dureza superficial HC (Hv) de la porción central inferior de pie esté en un intervalo de Hv 360 a 500 para asegurar el intervalo de tensión al límite de fatiga de la tensión de carga (200 MPa) o mayor que se supone que se aplica a una vía real. Cuando la HC (Hv) es menor que Hv 360, la dureza de la estructura de perlita es insuficiente y ocurren rajaduras por fatiga. Cuando la Hc (Hv) es mayor que Hv 500, ocurren rajaduras debido a la fragilidad de la estructura de perlita.

10 La FIG. 3 es un gráfico organizado en base a la relación entre la dureza superficial HE (Hv) y el intervalo de tensión al límite de fatiga de las porciones del borde de pie de las vías B. Como se entiende a partir de los resultados de la FIG. 3, se requiere que la dureza superficial HE (Hv) de la porción de borde de pie sea de Hv 260 o mayor para suprimir la ocurrencia de rajaduras por fatiga desde la porción de borde de pie y para asegurar la resistencia a la fatiga (intervalo de tensión al límite de fatiga de una tensión de carga de 200 MPa o mayor) de la vía.

15 A partir de los resultados de la prueba descrita con anterioridad, es evidente que la dureza HC (Hv) de la porción central inferior de pie está controlada para estar en un intervalo de Hv 360 a 500 y la dureza superficial HE (Hv) de la porción de borde de pie está controlada para ser Hv 260 o mayor para mejorar la resistencia a la fatiga de la porción inferior de vía en las vías reales.

20 Más aún, los inventores de la presente examinan la dureza adecuada para impedir que ocurra fractura frágil de la porción de borde de pie como origen. Específicamente, una vía en la cual la dureza de la porción de borde de pie se cambia se produce realizando laminado en caliente y un tratamiento con calor sobre un acero de la vía que tiene C: 0,75% a 1,20%, 0,50% de Si, 0,90% de Mn, P: 0,0250% o menos, y S: 0,0250% o menos y el resto de Fe e impurezas. Además, se pasan por máquina las piezas de prueba al impacto de la porción de borde de pie de la vía obtenida para investigar las características del impacto de acuerdo con una prueba de impacto para evaluar la resistencia a la ruptura.

25 Las condiciones de prueba son como sigue.

[Prueba de impacto]

Vía usada

30 Forma: Vía de 63,95 kg (peso: 70 kg/m, ancho de la porción inferior: 152 mm).

Estructura metalográfica de la porción inferior: perlita.

Dureza de la porción de borde de pie: Hv 240 a 360.

Dureza de la porción central inferior de pie: Hv 360 a 500.

35 Posición de la dureza de medición: la dureza superficial de la porción de borde de pie de la superficie exterior de la porción inferior de vía a los sitios a profundidades de 1 mm y 5 mm de la porción de borde de pie que se muestra en la FIG. 7 se obtiene midiendo la dureza superficial de 20 sitios y promediando los valores.

Condiciones de prueba de impacto

Forma de la muestra: JIS Núm. pieza de prueba de impacto de 3,2 mm U-notch Charpy.

Posición de las piezas de prueba para la máquina: porción de borde de pie de la vía (véase la FIG. 9).

40 Temperatura de prueba: temperatura ambiente (+20°C).

Condiciones de prueba: se llevaron a cabo de acuerdo con la norma JIS Z2242.

45 La FIG. 4 muestra los resultados de una prueba de impacto realizada en la porción de borde de pie. La FIG. 4 es un gráfico organizado en base a la relación entre la dureza superficial y los valores de impacto de una porción de borde de pie. Como se muestra en la FIG. 4, los valores de impacto tienden a aumentar cuando disminuye la dureza de la porción de borde de pie. Se confirma que se obtiene resistencia excelente (15,0 J/cm<sup>2</sup> o más a 20°C) cuando la dureza de la porción de borde de pie es de Hv 315 o menor.

50 A partir de los resultados descritos con anterioridad, con el fin de mejorar la resistencia a la ruptura y la resistencia a la fatiga de la porción inferior de vía por supresión de la fractura frágil que ocurre de la porción de borde de pie y supresión de la fractura por fatiga que ocurre de la porción de borde de pie o la porción central inferior de pie, se halló que es necesario controlar que la dureza superficial de la porción central inferior de pie esté en un intervalo de Hv 360

a 500 y controlar que la dureza superficial de la porción de borde de pie que esté en un intervalo de Hv 260 a 315.

Además, en la vía con la dureza que tiene el intervalo descrito con anterioridad, los inventores de la presente verifican la relación entre la dureza superficial de la porción media posicionada entre la porción central inferior de pie y la porción de borde de pie y la resistencia a la fatiga de la porción inferior de vía. Específicamente, una pluralidad de vías (vías C a E) en las cuales la dureza superficial HM (Hv) de la porción media se cambia se produce realizando laminado en caliente y un tratamiento con calor sobre un acero de la vía que tiene 1,00% de C, 0,50% de Si, 0,90% de Mn, P: 0,0250% o menos, y S: 0,0250% o menos y el resto de Fe e impurezas y mediante el control de que la dureza superficial HC (Hv) de la porción central inferior de pie y la dureza superficial HE (Hv) de la porción de borde de pie sean constantes. Además, se realiza una prueba de fatiga reproduciendo las condiciones de uso de las vías reales a las vías de prueba C a E obtenidas para investigar el intervalo de tensión al límite de fatiga. Las condiciones de prueba son como sigue.

<Prueba de fatiga al doblar de la vía real (2)>

Vía usada

Forma: Vía de 63,95 kg (peso: 70 kg/m, ancho de la porción inferior: 152 mm).

Estructura metalográfica de la porción inferior: perlita.

Dureza de la vía

Vías C (8 piezas) que tienen la porción media de la cual se controla la dureza: dureza superficial HC (Hv) de la porción central inferior de pie: Hv 400 (constante), dureza superficial HE (Hv) de la porción de borde de pie: Hv 315 (constante), y dureza superficial HM (Hv) de la porción media posicionada entre la porción central inferior de pie y la porción de borde de pie: Hv 315 a 400 ( $HC \geq HM \geq HE$ )

Vías D (2 piezas) que tienen la porción media de la cual se controla la dureza: dureza superficial HC (Hv) de la porción central inferior de pie: Hv 400 (constante), dureza superficial HE (Hv) de la porción de borde de pie: Hv 315 (constante), y dureza superficial HM (Hv) de la porción media posicionada entre la porción central inferior de pie y la porción de borde de pie: Hv 310 o Hv 290 ( $HM < HE$ )

Vías E (2 piezas) que tienen la porción media de la cual se controla la dureza: dureza superficial HC (Hv) de la porción central inferior de pie: Hv 400 (constante), dureza superficial HE (Hv) de la porción de borde de pie: Hv 315 (constante), y dureza superficial HM (Hv) de la porción media posicionada entre la porción central inferior de pie y la porción de borde de pie: Hv 405 o Hv 420 ( $HM > HC$ )

La dureza superficial de la porción central inferior de pie es un valor promedio obtenido por medición de la dureza superficial (dureza de la sección transversal a las profundidades de 1 mm y 5 mm bajo la superficie) de 20 sitios mostrados en la FIG. 7, la dureza superficial de la porción de borde de pie es un valor promedio obtenido por medición de la dureza superficial (dureza de la sección transversal a las profundidades de 1 mm y 5 mm bajo la superficie) de 20 sitios mostrados en la FIG. 7; y la dureza superficial de la porción media es un valor promedio obtenido por medición de la dureza superficial (dureza de la sección transversal a las profundidades de 1 mm y 5 mm bajo la superficie) de 20 sitios mostrados en la FIG. 7.

La dureza superficial entre la porción de borde de pie y la porción media y la dureza superficial entre la porción media y la porción central inferior de pie están respectivamente en un estado de distribución que aumenta o disminuye monotónicamente.

Prueba de fatiga

Procedimiento de prueba: doblar en 3 puntos de la vía real (extensión: 0,65 m) (véase la FIG. 8).

Condición de carga: el intervalo de tensión está controlado (carga máxima - carga mínima; la carga mínima es de 10% de la carga máxima), frecuencia de la carga aplicada: 5 Hz.

Disposición de prueba: la carga se aplica a la porción delantera de la vía (la resistencia a la tensión se aplica a la porción inferior).

Control de tensión: la tensión se controla usando el calibre de presión adherido a la porción central inferior de pie de la porción inferior de vía.

Número de repetición: el número de repetición se ajusta a 2 millones de veces (intervalo máximo de tensión en el caso de no estar fracturado se ajusta al intervalo de tensión al límite de fatiga).

La FIG. 5 muestra los resultados de la prueba de fatiga realizada sobre las vías C (8 piezas), las vías D (2 piezas), y las vías E (2 piezas). La FIG. 5 es un gráfico organizado en base a la relación entre la dureza superficial HM (Hv) de la porción media y el intervalo de tensión al límite de fatiga en la porción central inferior de pie de la porción inferior.



En consideración de la variación en los resultados, la prueba se realiza respectivamente en 4 piezas para cada vía. Como resultado, en las vías D que satisfacen  $HM < HE$ , la tensión se concentra en la porción media (porción blanda) que tiene una dureza superficial menor que la porción de borde de pie y la fractura por fatiga ocurre desde la porción media. Además, en las vías E que satisfacen  $HM > HE$ , la tensión se concentra en la porción del límite entre la porción central inferior de pie y la porción media que tiene una dureza superficial mayor que la de la porción central inferior de pie y la fractura por fatiga ocurre desde la porción del límite. Además, en las vías C, la concentración de la tensión en la porción media o en la porción de borde entre la porción central inferior de pie y la porción media se suprime de modo tal que se asegura la resistencia a la fatiga (tensión de carga de 200 MPa o mayor) de la porción inferior de vía.

A partir de los resultados descritos con anterioridad, se halló que la concentración de tensión sobre la porción inferior de vía tiene que suprimirse mediante el control de la dureza superficial HC (Hv) de la porción central inferior de pie, la dureza superficial HE (Hv) de la porción de borde de pie, y la dureza superficial HM (Hv) de la porción media para satisfacer la siguiente Expresión 3 con el fin de mejorar la resistencia a la fatiga de la porción inferior de vía.

**HC  $\geq$  HM  $\geq$  HE                      Expresión 1**

Los inventores de la presente condujeron la investigación enfocándose en el equilibrio entre la dureza de la porción central inferior de pie y la porción media para mejorar de manera adicional la resistencia a la fatiga de la porción inferior de vía. Específicamente, las Vías F a H en las cuales la dureza superficial HC (Hv) de la porción central inferior de pie y la dureza superficial HM (Hv) de la porción media se cambian se producen realizando laminado en caliente y un tratamiento con calor sobre un acero de la vía que contiene 1,00% de C, 0,50% de S, 0,90% de Mn, P: 0,0250% o menos, y S: 0,0250% o menos y el resto de Fe e impurezas y mediante el control de que la dureza superficial HE (Hv) de la porción de borde de pie sea constante. Además, se realiza una prueba de fatiga reproduciendo las condiciones de uso de las vías reales a las vías de prueba F a H obtenidas para investigar el intervalo de tensión al límite de fatiga. Las condiciones de prueba son como sigue.

<Prueba de fatiga al doblar de la vía real (3)>

Vía usada

Forma: Vía de 63,95 kg (peso: 70 kg/m, ancho de la porción inferior: 152 mm).

Estructura metalográfica de la porción inferior: perlita.

Dureza de la vía

Vías F (6 piezas) que tienen la porción central inferior de pie y la porción media de cada una de las cuales se controla la dureza: dureza superficial HE (Hv) de la porción de borde de pie: Hv 315 (constante), dureza superficial HC (Hv) de la porción central inferior de pie: Hv 360, y dureza superficial HM (Hv) de la porción media posicionada entre la porción central inferior de pie y la porción de borde de pie: Hv 315 a 360 ( $HC \geq HM \geq HE$ ).

Vías G (8 piezas) que tienen la porción central inferior de pie y la porción media de cada una de las cuales se controla la dureza: dureza superficial HE (Hv) de la porción de borde de pie: Hv 315 (constante), dureza superficial HC (Hv) de la porción central inferior de pie: Hv 440, y dureza superficial HM (Hv) de la porción media posicionada entre la porción central inferior de pie y la porción de borde de pie: Hv 315 a 440 ( $HC \geq HM \geq HE$ ).

Vías H (11 piezas) que tienen la porción central inferior de pie y la porción media de cada una de las cuales se controla la dureza: dureza superficial HE (Hv) de la porción de borde de pie: Hv 315 (constante), dureza superficial HC (Hv) de la porción central inferior de pie: Hv 500, y dureza superficial HM (Hv) de la porción media posicionada entre la porción central inferior de pie y la porción de borde de pie: Hv 315 a 500 ( $HC \geq HM \geq HE$ ).

La dureza superficial de la porción central inferior de pie es un valor promedio obtenido por medición de la dureza superficial (dureza de la sección transversal a las profundidades de 1 mm y 5 mm bajo la superficie) de 20 sitios mostrados en la FIG. 7, la dureza superficial de la porción de borde de pie es un valor promedio obtenido por medición de la dureza superficial (dureza de la sección transversal a las profundidades de 1 mm y 5 mm bajo la superficie) de 20 sitios mostrados en la FIG. 7; y la dureza superficial de la porción media es un valor promedio obtenido por medición de la dureza superficial (dureza de la sección transversal a las profundidades de 1 mm y 5 mm bajo la superficie) de 20 sitios mostrados en la FIG. 7.

La dureza superficial entre la porción de borde de pie y la porción media y la dureza superficial entre la porción media y la porción central inferior de pie están respectivamente en un estado de distribución que aumenta o disminuye monotónicamente.

Condiciones de la prueba de fatiga

Procedimiento de prueba: doblar en 3 puntos de la vía real (extensión: 0,65 m) (véase la FIG. 8).

Condición de carga: el intervalo de tensión está controlado (carga máxima - carga mínima; la carga mínima es de

10% de la carga máxima), frecuencia de la carga aplicada: 5 Hz.

Disposición de prueba: la carga se aplica a la porción delantera de la vía (la resistencia a la tensión se aplica a la porción inferior).

5 Control de tensión: la tensión se controla usando el calibre de presión adherido a la porción central inferior de pie de la porción inferior de vía.

Número de repetición: el número de repetición se ajusta a 2 millones de veces (intervalo máximo de tensión en el caso de no estar fracturado se ajusta al intervalo de tensión al límite de fatiga)

10 La FIG. 6 muestra los resultados de la prueba de fatiga realizada sobre las vías F (6 piezas), las vías G (8 piezas), y las vías H (11 piezas). La FIG. 6 es un gráfico organizado en base a la relación entre la dureza superficial HM (Hv) de la porción media y el intervalo de tensión al límite de fatiga en la porción inferior. En todas las vías, se confirmó que la resistencia a la fatiga de la porción central inferior de pie de la porción inferior de vía se mejora en una región en la cual la dureza superficial HM (Hv) de la porción media es 0,900 veces o mayor que la dureza superficial HC (Hv) de la porción central inferior de pie. El motivo de esto se considera que la concentración de tensión en la porción de borde entre la porción central inferior de pie y la porción media se suprime de manera adicional debido a una disminución de la diferencia en dureza entre la porción central inferior de pie y la porción media.

15 A partir de los resultados descritos con anterioridad, se halló que la tensión por fatiga de la porción inferior de vía se mejora de manera adicional mediante el control de la dureza superficial HC (Hv) de la porción central inferior de pie, la dureza superficial HE (Hv) de la porción de borde de pie, y la dureza superficial HM (Hv) de la porción media para cumplir con  $HC \geq HM \geq HE$ , control de la dureza superficial HM (Hv) de la porción media y la dureza superficial HC (Hv) de la porción central inferior de pie para satisfacer la Expresión 2, y suprimir la concentración de la tensión en la porción inferior de vía.

**HM/HC > 0,900                      Expresión 2**

25 En base a los hallazgos descritos con anterioridad, la vía de acuerdo con la presente realización es una vía usada para el fin de mejorar la resistencia a la ruptura y la resistencia a la fatiga de la porción inferior de vía usada en vías de ferrocarril de carga para que la vida útil del servicio se mejore en gran medida mediante el control de las composiciones del acero de la vía, control de la estructura metalográfica de la porción inferior de vía y la dureza superficial de la porción central inferior de pie y la porción de borde de pie de la porción inferior de vía, control del equilibrio de la dureza superficial de la porción central inferior de pie, la porción de borde de pie, y la porción media, y supresión de la concentración de tensión en la cercanía de la porción media.

30 A continuación, la vía de acuerdo con la presente realización se describirá en detalle. En lo sucesivo, "%" en la composición de acero indica % en masa.

(1) Motivo para limitar las composiciones químicas (composiciones de acero) del acero de la vía

El motivo para limitar las composiciones químicas del acero en la vía de acuerdo con la presente realización se describirá en detalle.

35 C: 0,75% a 1,20%

C es un elemento que promueve la transformación perlítica y contribuye a la mejora de la resistencia a la fatiga. Sin embargo, cuando el contenido de C es menor que 0,75%, la resistencia mínima y la resistencia a la ruptura requeridas para la vía no pueden asegurarse. Además, probablemente se genere una gran cantidad de ferrita proeutectoide blanda en la cual ocurren fácilmente rajaduras por fatiga en la porción inferior de vía y es probable que se genere daño por fatiga. Cuando el contenido de C es mayor que 1,20%, es probable que se genere cementita proeutectoide y que ocurran rajaduras por fatiga a partir de la cementita entre la estructura de cementita proeutectoide y perlita de modo tal que se degrada la resistencia a la fatiga. Además, la tensión se degrada y la resistencia a la ruptura de la porción de borde de pie se degrada. Por consiguiente, el contenido de C se ajusta para que quede en el intervalo de 0,75% a 1,20% para promover la generación de estructura de perlita y asegurar un nivel constante de resistencia a la ruptura.

40 Es preferible que el contenido de C se ajuste para que quede en el intervalo de 0,85% a 1,10% para estabilizar de manera adicional la generación de estructura de perlita y mejorar de manera adicional la resistencia a la fatiga o la resistencia a la ruptura.

Si: 0,10% a 2,00%

50 Si es un elemento que es sólido-soluto en ferrita de la estructura de perlita, aumenta la dureza (tenacidad) de la porción inferior de vía, y mejora la resistencia a la fatiga. De manera adicional, Si también es un elemento que suprime la generación de la cementita proeutectoide, previene el daño por fatiga que ocurre desde la interfaz entre la cementita proeutectoide y la estructura de perlita, mejora la resistencia a la fatiga, suprime la degradación de tensión debido a la generación de la ferrita proeutectoide, y mejora la resistencia a la ruptura de la porción de borde de pie. Sin embargo, cuando el contenido de Si es menor que 0,10%, estos efectos no pueden obtenerse suficientemente. Mientras tanto,

cuando el contenido de Si es mayor que 2,00%, se genera una gran cantidad de rajaduras superficiales durante el laminado en caliente. Además, la capacidad de endurecimiento se aumenta significativamente, y es probable que la estructura de martensita con baja resistencia se degrade en la porción inferior de vía de modo tal que se degrada la resistencia a la fatiga. Además, la dureza se aumenta excesivamente y de este modo la resistencia a la ruptura de la porción de borde de pie se degrada. Por consiguiente, el contenido de Si se ajusta para que quede en el intervalo de 0,10% a 2,00% para promover la generación de estructura de perlita y asegurar un nivel constante de resistencia a la ruptura. Es preferible que el contenido de Si se ajuste para que quede en el intervalo de 0,20% a 1,50% para estabilizar de manera adicional la generación de estructura de perlita y mejorar de manera adicional la resistencia a la fatiga o la resistencia a la ruptura.

5 Mn: 0,10% a 2,00%

Mn es un elemento que aumenta la capacidad de endurecimiento, estabiliza la transformación perlítica, refina la separación lamelar de la estructura de perlita y asegura la dureza de la estructura de perlita de modo tal que se mejora la resistencia a la fatiga. Sin embargo, cuando el contenido de Mn es menor que 0,10%, los efectos del mismo son pequeños y es probable que se genere una ferrita proeutectoide en la cual ocurran fácilmente rajaduras por fatiga en la porción inferior de vía. Cuando se genera ferrita proeutectoide, es improbable que se asegure resistencia a la fatiga. Mientras tanto, cuando el contenido de Mn es mayor que 2,00%, la capacidad de endurecimiento se aumenta significativamente, y es probable que se genere estructura de martensita con baja resistencia en la porción inferior de vía de modo tal que se degrada la resistencia a la fatiga. Además, la dureza se aumenta excesivamente y de este modo la resistencia a la ruptura de la porción de borde de pie se degrada. Por consiguiente, el contenido añadido de Mn se ajusta para que quede en el intervalo de 0,10% a 2,00% para promover la generación de estructura de perlita y asegurar un nivel constante de resistencia a la ruptura. Es preferible que el contenido de Mn se ajuste para que quede en el intervalo de 0,20% a 1,50% para estabilizar de manera adicional la generación de estructura de perlita y mejorar de manera adicional la resistencia a la fatiga o la resistencia a la ruptura.

P: 0,0250% o menos

25 P es un elemento que está contenido inevitablemente en el acero. La cantidad del mismo puede controlarse realizando la refinación en un convertidor. Es preferible que el contenido de P sea pequeño. Particularmente, cuando el contenido de P es mayor que 0,0250%, ocurren rajaduras frágiles desde la punta de las rajaduras por fatiga en la porción inferior de vía de modo tal que se degrada la resistencia a la fatiga. Además, la tensión de la porción de borde de pie se degrada y se degrada la resistencia a la ruptura. Por lo tanto, el contenido de P está limitado a 0,0250% o menos. El límite inferior del contenido de P no está limitado, pero el límite inferior del mismo durante la producción real es de aproximadamente 0,0050% cuando se considera la capacidad de desfosforización durante el proceso de refinamiento.

35 S es un elemento que está contenido inevitablemente en el acero. El contenido del mismo puede controlarse realizando la desulfurización en un recipiente tipo cúpula. Es preferible que el contenido de S sea pequeño. Particularmente, cuando el contenido de S es mayor que 0,0250%, la estructura de perlita está fragilizada, es probable que se generen inclusiones de sulfuros gruesos a base de MnS, y que ocurran rajaduras por fatiga en la porción inferior de vía debido a la concentración de tensión en la periferia de las inclusiones, y así se degrada la resistencia a la fatiga. Por lo tanto, el contenido de S está limitado a 0,0250% o menos. El límite inferior del contenido de S no está limitado, pero el límite inferior del mismo durante la producción real es de aproximadamente 0,0030% cuando se considera la capacidad de desulfurización durante el proceso de refinamiento.

40 Básicamente, la vía de acuerdo con la presente realización contiene las composiciones químicas descritas con anterioridad y el resto de Fe e impurezas. Sin embargo, en lugar de una parte de Fe en el resto, al menos puede incluirse adicionalmente uno seleccionado del grupo que consiste en Cr, Mo, Co, B, Cu, Ni, V, Nb, Ti, Mg, Ca, REM, Zr, N, y Al, en los intervalos descritos a continuación, con el fin de mejorar la resistencia a la fatiga debido a un aumento en la dureza (tenacidad) de la estructura de perlita, mejorando la rigidez, evitando que se ablande una zona afectada por el calor, y controlando la distribución de la dureza en la sección transversal en el interior de la porción inferior de vía. Específicamente, Cr y Mo aumentan el punto de transformación en equilibrio, refinan la separación lamelar de la estructura de perlita y mejoran la dureza. Co refina la estructura lamelar directamente debajo de la superficie de contacto del laminado que resulta del contacto con las ruedas y aumenta la dureza. B reduce la dependencia de la tasa de refrigeración de la temperatura de transformación perlítica para hacer uniforme la distribución de la dureza en la sección transversal de la porción inferior de vía. Cu es sólido-soluto en ferrita de la estructura de perlita y aumenta la dureza. Ni mejora la resistencia y la dureza de la estructura de perlita y previene que se ablande la zona afectada por el calor de la junta soldada. V, Nb y Ti mejoran la resistencia a la fatiga de la estructura de perlita por endurecimiento por precipitación de un carburo y un nitruro generada durante un laminado en caliente y un proceso de refrigeración llevado a cabo después del laminado en caliente. Además, V, Nb y Ti hacen que un carburo o un nitruro se generen de manera estable durante el recalentamiento y evitan que se ablande la porción afectada por calor de la junta soldada. Mg, Ca y REM dispersan finamente los sulfuros a base de MnS, refinan los granos de austenita, promueven la transformación perlítica y mejoran la resistencia simultáneamente. Zr suprime la formación de una zona de segregación de una porción central de losa o placa moldeada y suprime la generación de una cementita proeutectoide o la estructura de martensita aumentando la relación de cristal equiaxial de la estructura de solidificación. N promueve la transformación perlítica al segregarse en los bordes del grano de austenita, mejora la resistencia, y promueve la precipitación de un carburo V o un nitruro V durante un proceso de refrigeración

## ES 2 794 621 T3

5 llevado a cabo después del laminado en caliente para mejorar la resistencia a la fatiga de la estructura de perlita. Como consecuencia, estos elementos pueden estar contenidos en los intervalos descritos a continuación con el fin de obtener los efectos descritos con anterioridad. Además, incluso si la cantidad de cada elemento es igual a, o menor que, el intervalo descrito a continuación, las características de la vía de acuerdo con la presente realización no se dañan. Además, dado que estos elementos no son necesarios, su límite inferior es 0%.

Cr: 0,01% a 2,00%

10 Cr es un elemento que refina la separación lamelar de la estructura de perlita y mejora la dureza (tenacidad) de la estructura de perlita de modo tal que la resistencia a la fatiga se mejora aumentando la temperatura de transformación en equilibrio y aumentando el grado de súper refrigeración. Sin embargo, cuando el contenido de Cr es menor que 0,01%, los efectos descritos con anterioridad son pequeños y no pueden lograrse los efectos de mejorar la dureza del acero de la vía. Mientras tanto, cuando el contenido de Cr es mayor que 2,00%, la capacidad de endurecimiento se aumenta significativamente, la estructura de martensita con baja resistencia se genera en la porción inferior de vía, y así se degrada la resistencia a la ruptura. Por lo tanto, es preferible que el contenido de Cr se ajuste para estar en un intervalo de 0,01% a 2,00% cuando se incluye Cr.

15 Mo: 0,01% a 0,50%

20 Similar a Cr, Mo es un elemento que refina la separación lamelar de la estructura de perlita y mejora la dureza (tenacidad) de la estructura de perlita de modo tal que la resistencia a la fatiga se mejora aumentando la temperatura de transformación en equilibrio y aumentando el grado de súper refrigeración. Sin embargo, cuando el contenido de Mo es menor que 0,01%, los efectos descritos con anterioridad son pequeños y no pueden lograrse los efectos de mejorar la dureza del acero de la vía. Mientras tanto, cuando el contenido de Mo es mayor que 0,50%, la tasa de transformación se disminuye significativamente, la estructura de martensita con baja resistencia se genera en la porción inferior de vía, y así se degrada la resistencia a la ruptura. Por lo tanto, es preferible que el contenido de Mo se ajuste para estar en un intervalo de 0,01% a 0,50% cuando se incluye Mo.

Co: 0,01% a 1,00%

25 Co es un elemento que es sólido-soluto en ferrita de la estructura de perlita, refina la estructura lamelar de la estructura de perlita directamente por debajo de la superficie de contacto del laminado que resulta del contacto con las ruedas, y aumenta la dureza (tenacidad) de la estructura de perlita de modo tal que se mejora la resistencia a la fatiga. Sin embargo, cuando el contenido de Co es menor que 0,01%, el refinamiento de la estructura lamelar no se promueve y de este modo no pueden lograrse los efectos de la resistencia a la fatiga. Mientras tanto, cuando el contenido de Co es mayor que 1,00%, los efectos descritos con anterioridad están saturados y la eficacia económica se reduce debido a un aumento en el costo añadido de aleación. Por lo tanto, es preferible que el contenido de Co se ajuste para estar en un intervalo de 0,01% a 1,00% cuando se incluye Co.

B: 0,0001% a 0,0050%

35 B es un elemento que forma borocarburos de hierro ( $\text{Fe}_{23}(\text{CB})_6$ ) en los límites del grano de austenita y reduce la dependencia de la tasa de refrigeración de la temperatura de transformación perlítica promoviendo la transformación perlítica. Cuando se reduce la dependencia de la tasa de refrigeración de la temperatura de transformación perlítica, se imparte una distribución más uniforme de la dureza a una región de la superficie al interior de la porción inferior de vía de la vía y así se mejora la resistencia a la fatiga. Sin embargo, cuando el contenido de B es menor que 0,0001%, los efectos descritos con anterioridad no son suficientes y la mejora de la distribución de la dureza en la porción inferior de vía no se reconoce. Mientras tanto, cuando el contenido de B es mayor que 0,0050%, se generan borocarburos gruesos y la ruptura por fatiga probablemente ocurra debido a la concentración de tensión. Por lo tanto, es preferible que el contenido de B se ajuste para estar en un intervalo de 0,0001% a 0,0050% cuando se incluye B.

Cu: 0,01% a 1,00%

45 Cu es un elemento que es sólido-soluto en ferrita de la estructura de perlita y mejora la dureza (tenacidad) que resulta del fortalecimiento de la solución sólida. Como resultado, se mejora la resistencia a la fatiga. Sin embargo, cuando el contenido de Cu es menor que 0,01%, los efectos no pueden obtenerse. Mientras tanto, cuando el contenido de Cu es mayor que 1,00%, la estructura de martensita se genera en la porción inferior de la guía debido a la mejora significativa de la capacidad de endurecimiento y así se degrada la resistencia a la ruptura. Por lo tanto, es preferible que el contenido de Cu se ajuste para estar en un intervalo de 0,01% a 1,00% cuando se incluye Cu.

50 Ni: 0,01% a 1,00%

55 Ni es un elemento que mejora la resistencia de la estructura de perlita y mejora la dureza (tenacidad) que resulta del fortalecimiento de la solución sólida. Como resultado, se mejora la resistencia a la fatiga. Además, Ni es un elemento que se precipita finamente en la zona afectada con calor como un compuesto intermetálico de  $\text{Ni}_3\text{Ti}$  en la forma de un compuesto con Ti y suprime el ablandamiento debido al fortalecimiento por precipitación. Además, Ni es un elemento que suprime la fragilidad de los límites del grano en el acero que contiene Cu. Sin embargo, cuando el contenido de Ni es menor que 0,01%, estos efectos son extremadamente pequeños. Mientras tanto, cuando el contenido de Ni es

mayor que 1,00%, la estructura de martensita con baja resistencia se genera en la porción inferior de la guía debido a la mejora significativa de la capacidad de endurecimiento y así se degrada la resistencia a la ruptura. Por lo tanto, es preferible que el contenido de Ni se ajuste para estar en un intervalo de 0,01% a 1,00% cuando se incluye Ni.

V: 0,005% a 0,50%

5 V es un elemento que aumenta la dureza (tenacidad) de la estructura de perlita usando endurecimiento por precipitación de un carburo V y un nitruro Y generados durante el proceso de refrigeración después del laminado en caliente y mejora la resistencia a la fatiga. Además, V es un elemento efectivo para evitar que la zona afectada por el calor de la junta soldada se ablande al generarse como un carburo V o un nitruro V en un intervalo relativamente alto de temperatura, en la zona afectada por el calor recalentada hasta un intervalo de temperatura menor o igual que el punto de Acl. Sin embargo, cuando el contenido de V es menor que 0,005%, estos efectos no pueden obtenerse suficientemente y no se reconoce mejora de la dureza (tenacidad). Mientras tanto, cuando el contenido de V es mayor que 0,50%, el endurecimiento por precipitación que resulta del carburo V o del nitruro V se torna excesivo, la estructura de perlita se fragiliza, y luego se degrada la resistencia de la vía a la fatiga.

10 Por lo tanto, es preferible que el contenido de V se ajuste para estar en un intervalo de 0,005% a 0,50% cuando se incluye V.

15 Nb: 0,0010% a 0,050%

Similar a lo que ocurre con V, Nb es un elemento que aumenta la dureza (tenacidad) de la estructura de perlita usando endurecimiento por precipitación de un carburo Nb y un nitruro Nb generados durante el proceso de refrigeración después del laminado en caliente y mejora la resistencia a la fatiga. Además, Nb es un elemento efectivo para evitar que la zona afectada por el calor de la junta soldada se ablande al generarse de manera estable como un carburo Nb o un nitruro Nb a partir de un intervalo de temperatura bajo a un intervalo alto de temperatura, en la zona afectada por el calor recalentada hasta un intervalo de temperatura menor o igual que el punto de Acl. Sin embargo, cuando el contenido de Nb es menor que 0,0010%, estos efectos no pueden obtenerse suficientemente y no se reconoce mejora de la dureza (tenacidad) de la estructura de perlita. Mientras tanto, cuando el contenido de Nb es mayor que 0,050%, el endurecimiento por precipitación que resulta del carburo Nb o del nitruro Nb se torna excesivo, la estructura de perlita se fragiliza, y luego se degrada la resistencia de la vía a la fatiga.

20 Por lo tanto, es preferible que el contenido de Nb se ajuste para estar en un intervalo de 0,0010% a 0,050% cuando se incluye Nb.

25 Ti: 0,0030% a 0,0500%

30 Ti es un elemento que se precipita como carburo Ti o nitruro Ti generados durante el proceso de refrigeración después del laminado en caliente, aumenta la dureza (tenacidad) de la estructura de perlita usando endurecimiento por precipitación, y mejora la resistencia a la fatiga. Además, Ti es un elemento efectivo para evitar que la junta soldada se fragilice al intentar el refinamiento de la estructura de la zona afectada por calor calentada hasta la región de austenita porque el carburo Ti o el nitruro Ti precipitados no se disuelven al mismo tiempo de recalentamiento durante el soldado. Sin embargo, cuando el contenido de Ti es menor que 0,0030%, estos efectos son pequeños. Mientras tanto, cuando el contenido de Ti es mayor que 0,0500%, se generan un carburo Ti y un nitruro Ti que son gruesos y el daño por fatiga probablemente ocurra debido a la concentración de tensión. Por lo tanto, es preferible que el contenido de Ti se ajuste para estar en un intervalo de 0,0030% a 0,0500% cuando se incluye Ti.

35 Mg: 0,0005% a 0,0200%

40 Mg es un elemento que está unido a S para formar un sulfuro (MgS). MgS dispersa finamente MnS. Además, el MnS finamente disperso se convierte en un núcleo de transformación perlítica de modo tal que se promueve la transformación perlítica y se mejora la resistencia de la estructura de perlita. Sin embargo, cuando el contenido de Mg es menor que 0,0005%, estos efectos son pequeños. Mientras tanto, cuando el contenido de Mg es mayor que 0,0200%, se genera un óxido de Mg gruesos y el daño por fatiga probablemente ocurra debido a la concentración de tensión. Por lo tanto, es preferible que el contenido de Mg se ajuste para estar en un intervalo de 0,0005% a 0,0200% cuando se incluye Mg.

45 Ca: 0,0005% a 0,0200%

50 Ca es un elemento que tiene una fuerte fuerza de unión con S y forma un sulfuro (CaS). CaS dispersa finamente MnS. Además, el MnS finamente disperso se convierte en un núcleo de transformación perlítica de modo tal que se promueve la transformación perlítica y se mejora la resistencia de la estructura de perlita. Sin embargo, cuando el contenido de Ca es menor que 0,0005%, estos efectos son pequeños. Mientras tanto, cuando el contenido de Ca es mayor que 0,0200%, se genera un óxido de Ca gruesos y el daño por fatiga probablemente ocurra debido a la concentración de tensión. Por lo tanto, es preferible que el contenido de Ca se ajuste para estar en un intervalo de 0,0005% a 0,0200% cuando se incluye Ca.

55

REM: 0,0005% a 0,0500%

REM es un elemento de desoxidación y desulfurización y también es un elemento que genera oxisulfuro ( $\text{REM}_2\text{O}_2\text{S}$ ) de REM cuando se incluye y se convierte en un núcleo que genera inclusiones a base de sulfuro Mn. Además, dado que el punto de fusión de oxisulfuro ( $\text{REM}_2\text{O}_2\text{S}$ ) es alto como este núcleo, se suprime el estiramiento de las inclusiones a base de sulfuro Mn después del laminado en caliente. Como resultado, cuando se incluye REM, MnS se dispersa finamente, la concentración de tensión se relaja, y la resistencia a la fatiga se mejora. Sin embargo, cuando el contenido de REM es menor que 0,0005%, los efectos son pequeños y REM se torna insuficiente como núcleo que genera sulfuros a base de MnS. Mientras tanto, cuando el contenido de REM es mayor que 0,0500% de oxisulfuro ( $\text{REM}_2\text{O}_2\text{S}$ ) del REM totalmente duro se genera un óxido de Ca grueso y el daño por fatiga probablemente ocurra debido a la concentración de tensión. Por lo tanto, es preferible que el contenido de REM se ajuste para estar en un intervalo de 0,0005% a 0,0500% cuando se incluye REM.

En este caso, REM es un metal de tierra raro tal como Ce, La, Pr o Nd. El contenido descrito con anterioridad se obtiene mediante limitación de la cantidad total de todo el REM. Cuando la cantidad total de todos los elementos REM está por encima del intervalo descrito con anterioridad, se obtienen los mismos efectos incluso cuando se incluye un solo elemento o una combinación de elementos (dos o más clases).

Zr: 0,0001% a 0,0200%

Zr está unido a O y genera una inclusión de  $\text{ZrO}_2$ . Dado que esta inclusión de  $\text{ZrO}_2$  tiene excelente desempeño de equivalencia con el retículo con  $\gamma\text{-Fe}$ , la inclusión de  $\text{ZrO}_2$  se convierte en un núcleo solidificado de acero de la vía con alto contenido de carbono en el cual  $\gamma\text{-Fe}$  es una fase primaria solidificada y suprime la formación de una zona de segregación en una porción central de una losa o un bloque moldeados y suprime la generación de estructura de martensita o cementita proeutectoide en una porción de segregación de la vía, aumentando la relación de cristal equiaxial de la estructura de solidificación. Sin embargo, cuando el contenido de Zr es menor que 0,0001%, el número de inclusiones a base de  $\text{ZrO}_2$  es pequeño y las inclusiones no exhiben suficientemente efectos como núcleos solidificados. En este caso, es probable que se genere la estructura de martensita o la cementita proeutectoide en la porción de segregación de la porción inferior de vía, y en consecuencia, no puede esperarse la resistencia de la vía a la fatiga. Mientras tanto, cuando el contenido de Zr es mayor que 0,0200%, se genera una gran cantidad de inclusiones a base de Zr gruesas y el daño por fatiga probablemente ocurra debido a la concentración de tensión. Por lo tanto, es preferible que el contenido de Zr se ajuste para estar en un intervalo de 0,0001% a 0,0200% cuando se incluye Zr.

N: 0,0060% a 0,0200%

N es un elemento que es efectivo para mejorar la resistencia al promover la transformación perlítica a partir de los límites del grano de austenita al segregarse sobre los límites del grano de austenita y refinar el tamaño del bloque de perlita. Además, N es un elemento que promueve la precipitación de un carbonitruro de V durante el proceso de refrigeración después del laminado en caliente, aumenta la dureza (tenacidad) de la estructura de perlita, y mejora la resistencia a la fatiga cuando N y V se añaden simultáneamente. Sin embargo, cuando el contenido de N es menor que 0,0060%, estos efectos son pequeños. Mientras tanto, cuando el contenido de N es mayor que 0,0200%, se torna difícil que N se disuelva en acero. En este caso, se generan burbujas como origen del daño por fatiga de modo tal que es probable que ocurra daño por fatiga. Por lo tanto, es preferible que el contenido de N se ajuste para estar en un intervalo de 0,0060% a 0,0200% cuando se incluye N.

Al: 0,0100% a 1,00%

Al es un elemento que funciona como desoxidante. Además, Al es un elemento que cambia la temperatura de transformación eutectoide a un lado de temperatura alta, contribuye a aumentar la dureza (tenacidad) de la estructura de perlita, y mejora la resistencia a la fatiga. Sin embargo, cuando el contenido de Al es menor que 0,0100%, sus efectos son pequeños. Mientras tanto, cuando el contenido de Al es mayor que 1,00%, se torna difícil que Al se disuelva en acero. En este caso, se generan inclusiones a base de alúmina gruesas y ocurren rajaduras por fatiga de los precipitados gruesos de modo tal que es probable que ocurra daño por fatiga. Además, se genera un óxido durante la soldadura de modo tal que se degrada significativamente la capacidad de soldadura. Por lo tanto, es preferible que el contenido de Al se ajuste para estar en un intervalo de 0,0100% a 1,00% cuando se incluye Al.

(2) Motivo para limitar la estructura metalográfica y las regiones requeridas de la estructura de perlita

En la vía de acuerdo con la presente realización, el motivo para limitar el 90% o mayor del área de la estructura metalográfica a una profundidad de 5 mm de la superficie exterior de la porción inferior como el origen de la perlita se describirá en detalle.

En primer lugar, se describirá el motivo para limitar el 90% o mayor del área de la estructura metalográfica a perlita.

La perlita es una estructura ventajosa para mejorar la resistencia a la fatiga porque es posible obtener la tenacidad (dureza) por la estructura de perlita incluso si la cantidad del elemento de aleación es baja. Además, la tenacidad (dureza) se controla fácilmente, la tenacidad se mejora fácilmente y la resistencia a la ruptura es excelente. Por lo tanto, con el fin de mejorar la resistencia a la ruptura y la resistencia a la fatiga de la porción inferior de vía, 90% o

mayor del área de la estructura metalográfica se limita a perlita.

A continuación, se describirá el motivo para limitar la región requerida de la estructura de perlita a la región a una profundidad de 5 mm desde la superficie exterior de la porción inferior como origen.

5 Cuando la región requerida de la estructura de perlita es menor que una profundidad de 5 mm desde la superficie exterior de la porción inferior, los efectos de mejorar la resistencia a la ruptura o la resistencia a la fatiga requeridas para la porción inferior de vía son pequeñas y la vida útil de la vía es difícil de mejorar suficientemente. Por lo tanto, el 90% o mayor del área de la estructura metalográfica a una profundidad de 5 mm desde la superficie exterior de la porción inferior como origen se ajusta a la estructura de perlita.

10 La FIG. 7 muestra una región requerida para la estructura de perlita. Como se describe anteriormente, la porción inferior de vía 4 incluye la porción central inferior de pie 1, la porción de borde de pie 2 posicionada en ambos extremos de la porción central inferior de pie 1, y la porción media 3 posicionada entre la porción central inferior de pie 1 y la porción de borde de pie 2. La superficie exterior 5 de la porción inferior de vía indica la superficie entera de la porción inferior de vía 4 que incluye la porción central inferior de pie 1, la porción media 3 y la porción de borde de pie 2 de la vía que se muestra por la línea negrita e indica la superficie orientada hacia abajo cuando la vía está vertical. Además, 15 la superficie exterior 5 de la porción inferior de vía puede incluir las superficies del extremo lateral de la porción inferior de vía.

20 Cuando la estructura de perlita se dispone sobre la porción de la capa superficial de la porción inferior hasta una profundidad de 5 mm desde la superficie exterior 5 de la porción inferior de vía como origen, en una región desde la porción central inferior de pie 1 hasta la porción de borde de pie 2 en ambos extremos a través de la porción media 3, la resistencia a la ruptura y la resistencia a la fatiga se mejoran. Por consiguiente, como se muestra en la región sombreada en la FIG. 7, la perlita P se dispone al menos en una región a una profundidad de 5 mm de la superficie exterior 5 de la porción inferior de vía como origen para la cual se requieren mejora de la resistencia a la ruptura y resistencia a la fatiga. Además, otras porciones pueden ser la estructura de perlita o la estructura metalográfica distinta de la estructura de perlita. Además, en un caso en el que se consideran las características de la sección transversal entera de la vía, se considera que el aseguramiento de la resistencia al desgaste es lo más importante particularmente 25 en la porción delantera de la vía que entra en contacto con las ruedas. Como resultado de la investigación de la relación entre la estructura metalográfica y la resistencia al desgaste, dado que se confirmó que la estructura de perlita es excelente, es preferible que la estructura de la porción delantera de la vía sea perlita.

30 Más aún, es preferible que la estructura metalográfica de la porción de la capa superficial de la porción inferior de vía de acuerdo con la presente realización sea la perlita descrita con anterioridad, pero una pequeña cantidad de ferrita proeutectoide, cementita proeutectoide, estructura de bainita o estructura de martensita pueden mezclarse en la estructura de perlita a razón de 10% o menos en términos de la relación de área dependiendo de la composición química o un procedimiento de producción por tratamiento con calor de la vía. Sin embargo, incluso cuando estas estructuras se mezclan en la estructura de perlita, dado que la resistencia a la ruptura y la resistencia a la fatiga de la porción inferior de vía no están afectadas en gran medida si su cantidad es pequeña, la mezcla de una pequeña 35 cantidad de ferrita proeutectoide, cementita proeutectoide, estructura de bainita, o estructura de martensita en la estructura de perlita a razón de 10% o menos en términos de relación de área se acepta como la estructura de la vía que tiene excelente resistencia a la ruptura y resistencia a la fatiga. En otras palabras, 90% o mayor de la relación de área de la estructura metalográfica de la porción de la capa superficial de la porción inferior de acuerdo con la presente realización puede ser perlita. Con el propósito de mejorar suficientemente la resistencia a la ruptura y la resistencia a la fatiga, es preferible que 95% o mayor de la relación de área de la estructura metalográfica de la porción de la capa superficial de la porción inferior se ajuste para ser perlita. 40

45 La relación de área se obtiene mediante colocación en máquina de piezas de prueba de la sección transversal perpendicular a la superficie exterior de la porción inferior de vía, lustre de las piezas de prueba, mostrando que la estructura metalográfica aparezca a través de grabado, y observando la estructura metalográfica en las posiciones respectivas de 1 mm y 5 mm desde la superficie. Específicamente, en la observación en cada posición descrita con anterioridad, la relación de área se obtiene observando la estructura metalográfica en el campo visual de un microscopio óptico de 200 ampliaciones y determinando el área de cada estructura. Como resultado de la observación, cuando tanto las relaciones de área de la estructura de perlita en las posiciones de una profundidad de 1 mm y una 50 profundidad de 5 mm desde la superficie son mayores que 90% o mayores, 90% o mayor de la estructura metalográfica a una profundidad de 5 mm desde la superficie exterior de la porción inferior de vía como origen puede determinarse para ser la estructura de perlita (la relación de área de la estructura de perlita a una profundidad de 5 mm desde la superficie exterior de la porción inferior de vía como origen es de 90% o mayor). Es decir, cuando la relación de área de cada posición descrita con anterioridad es mayor que 90%, la posición media interpuesta por cada una de las 55 posiciones puede tener una relación de área de la estructura de perlita de 90% o mayor.

(3) Motivo para limitar la dureza superficial de la porción central inferior de pie

En la vía de acuerdo con la presente realización, se describirá el motivo para limitar la dureza superficial de la porción central inferior de pie a un intervalo de Hv 360 hasta 500.

Cuando la dureza superficial de la porción central inferior de pie es menor que Hv 360, el intervalo de tensión al límite de fatiga no puede asegurarse con respecto a la tensión de carga (200 MPa) de la posición central inferior de pie aplicada a las vías de ferrocarril de carga pesada como se muestra en la FIG. 2 y así se degrada la resistencia a la fatiga de la porción inferior de vía.

- 5 Mientras tanto, cuando la dureza superficial es mayor que Hv 500, la fragilidad de la estructura de perlita avanza, el intervalo de tensión al límite de fatiga no puede asegurarse debido a la ocurrencia de rajaduras, y de este modo la resistencia a la fatiga de la porción inferior de vía se degrada como se muestra en la FIG. 2. Por este motivo, la dureza superficial de la porción central inferior de pie está limitada a un intervalo de Hv 360 a 500.

(4) Motivo para limitar la dureza superficial de la porción de borde de pie

- 10 En la vía de acuerdo con la presente realización, se describirá el motivo para limitar la dureza superficial de la porción de borde de pie a un intervalo de Hv 260 hasta 315. Cuando la dureza superficial de la porción de borde de pie es menor que Hv 260, el intervalo de tensión al límite de fatiga no puede asegurarse con respecto a la tensión de carga (150 MPa) de la posición del borde de pie aplicada a las vías de ferrocarril de carga pesada como se muestra en la FIG. 3 y así se degrada la resistencia a la fatiga de la porción inferior de vía. Mientras tanto, la dureza superficial es mayor que Hv 315, la resistencia de la estructura de perlita se degrada y la resistencia a la ruptura de la porción inferior de vía se degrada debido a la promoción de la fractura frágil como se muestra en la FIG. 4. Por este motivo, la dureza superficial de la porción de borde de pie está limitada a un intervalo de Hv 260 a 315.

(5) Motivo para limitar la relación de la dureza superficial HC de la porción central inferior de pie, dureza superficial HE de la porción de borde de pie, y dureza superficial HM de la porción media

- 20 Cuando la dureza superficial de la porción media se ajusta para ser menor que la dureza superficial de la porción de borde de pie, como se muestra en la FIG. 5, la tensión se concentra en la porción media (porción blanda) de modo tal que la fractura por fatiga ocurre desde la porción media. Además, cuando la dureza superficial de la porción media se ajusta para ser mayor que la dureza superficial de la porción central inferior de pie, como se muestra en la FIG. 5, la tensión se concentra en la porción de borde entre la porción central inferior de pie y la porción media de modo tal que la fractura por fatiga ocurre desde la porción del borde.

Por consiguiente, la relación de la dureza superficial HC de la porción central inferior de pie, la dureza superficial HE de la porción de borde de pie, y la dureza superficial HM de la porción media se limita a satisfacer las siguientes condiciones.

$$HC \geq HM \geq HE$$

- 30 (6) Motivo para limitar la relación entre la dureza superficial HC de la porción central inferior de pie y dureza superficial HM de la porción media

- 35 Cuando la dureza superficial HC (Hv) de la porción central inferior de pie, la dureza superficial HE (Hv) de la porción de borde de pie, y la dureza superficial HM (Hv) de la porción media se controlan para que estén en la relación descrita con anterioridad ( $HC \geq HM \geq HE$ ), la dureza superficial HM (Hv) de la porción media se controla para que sea 0,900 veces o mayor que la dureza superficial HC (Hv) de la porción central inferior de pie, y una diferencia en la dureza entre la porción central inferior de pie y la porción media, la concentración de la tensión sobre la porción de borde entre la porción central inferior de pie y la porción media se suprime de manera adicional y la resistencia a la fatiga de la porción inferior de vía se mejora de forma adicional como se muestra en la FIG. 6. Por consiguiente, la relación de la dureza superficial HC de la porción central inferior de pie y la dureza superficial HM de la porción media se limita a satisfacer las siguientes condiciones.

$$HM/HC \geq 0,900$$

Es preferible que la dureza superficial de la porción inferior de vía se mida en las siguientes condiciones.

[Procedimiento de medición de la dureza superficial de la porción inferior de vía]

Medición

- 45 Dispositivo de medición: analizador de dureza de Vickers (carga de 98 N).
- Recolección de piezas de prueba para medición: colocar en máquina la muestra de la sección transversal de la porción inferior.
- Procesamiento previo: pulido de sección transversal con granos de diamante que tienen un tamaño de grano promedio de 1  $\mu$ m.
- 50 Procedimiento de medición: se llevó a cabo de acuerdo con la norma JIS Z2244.



Cálculo de dureza

Porción central inferior de pie: la medición se realiza en respectivamente 20 sitios a una profundidad de 1 mm y una profundidad de 5 mm bajo la superficie del sitio que se muestra en la FIG. 7 y su valor promedio se ajusta a la dureza de cada posición.

- 5 Porción de borde de pie: la medición se realiza en respectivamente 20 sitios a una profundidad de 1 mm y una profundidad de 5 mm bajo la superficie del sitio que se muestra en la FIG. 7 y su valor promedio se ajusta a la dureza de cada posición.

Porción media: la medición se realiza en respectivamente 20 sitios a una profundidad de 1 mm y una profundidad de 5 mm bajo la superficie del sitio que se muestra en la FIG. 7 y su valor promedio se ajusta a la dureza de cada posición.

- 10 Cálculo de la relación entre la dureza superficial de la porción media (HM) y la dureza superficial de la porción central inferior de pie (HC).

La relación entre la dureza superficial de la porción media (FIM) y la dureza superficial de la porción central inferior de pie (HC) se calcula por el ajuste del valor obtenido promediando de manera adicional el valor promedio de cada dureza a una profundidad de 1 mm y una profundidad de 5 mm bajo la superficie en cada sitio como la dureza superficial de la porción central inferior de pie (HC) y la dureza superficial de la porción media (HM).

- 15

(7) Procedimiento de control de la dureza de la porción inferior de vía

La dureza de la porción inferior de vía puede controlarse mediante el ajuste de las condiciones de laminado en caliente y las condiciones de tratamiento con calor después del laminado en caliente a la dureza requerida para la porción central inferior de pie, la porción de borde de pie y la porción media.

- 20 La vía de acuerdo con la presente realización puede obtener sus efectos independientemente del procedimiento de producción cuando la vía incluye las composiciones, estructuras descritas con anterioridad, y similares. Sin embargo, los efectos pueden obtenerse mediante el acero de la vía que tiene las composiciones descritas con anterioridad realizando una fundición en un horno de fusión tal como un convertidor o un horno eléctrico que se usa normalmente, realizando un procedimiento de placa y producción de lingotes o un procedimiento de moldeado continuo en el acero fundido y luego laminado caliente, y realizando un tratamiento con calor, para controlar la estructura metalográfica o la dureza de la porción inferior de vía según la necesidad.
- 25

Por ejemplo, la vía de acuerdo con la presente realización se forma en una forma de vía moldeando el acero fundido después de que las composiciones se ajusten para obtener una losa o placa, calentando la losa o placa en un intervalo de temperatura de 1250°C a 1300°C, y llevando a cabo laminado en caliente. Además, la vía puede obtenerse realizando refrigeración con aire o refrigeración acelerada después del laminado en caliente o realizando refrigeración acelerada después del laminado en caliente, refrigeración con aire y recalentamiento.

- 30

En estas series de procesos, cualquiera de una o más condiciones de producción entre las condiciones de laminado en caliente, tasa de refrigeración de la refrigeración acelerada después del laminado en caliente, temperatura de recalentamiento después del laminado en caliente, y tasa de refrigeración de refrigeración acelerada después del recalentamiento posterior al laminado en caliente pueden controlarse para ajustar la dureza superficial de la porción central inferior de pie, la porción de borde de pie y la porción media.

- 35

- Condiciones preferibles de laminado en caliente y recalentamiento

Con el fin de asegurar las características de la porción de borde de pie con una dureza baja cuando se compara con la dureza de la porción central inferior de pie, las temperaturas finales de laminado en caliente de la porción central inferior de pie y la porción de borde de pie se controlan individualmente, por ejemplo, la porción de borde de pie se enfría antes del laminado en caliente. Al igual que las condiciones de laminado en caliente de la vía real, la dureza de cada posición puede controlarse individualmente ajustando la temperatura final de laminado en caliente de la porción central del borde de pie para quedar en un intervalo de 900°C a 1000°C (temperatura de la superficie exterior de la porción inferior de vía) y ajustando la temperatura de laminación final de la porción de borde de pie en un intervalo de 800°C a 900°C (temperatura de la superficie exterior de la porción inferior de vía).

- 45

Con el propósito de controlar la dureza de la porción inferior para impartir la ruptura de la resistencia a la fatiga, resulta suficiente controlar la temperatura final del laminado en caliente a través del laminado con calibre de una vía típica. Las otras condiciones de laminación de la porción inferior de vía pueden ajustarse de modo tal que la estructura de perlita se obtenga principalmente de acuerdo con un procedimiento de alimentación. Por ejemplo, con referencia a un procedimiento descrito en la Solicitud de Patente japonesa no examinada, Primera publicación Núm. 2002-226915, el laminado en caliente bruto se realiza en una losa o placa, el laminado intermedio se realiza sobre una pluralidad de pasadas usando un molino inverso, la superficie de la porción delantera de la vía y la superficie central de la porción inferior se enfrían de modo tal que sus temperaturas estén respectivamente en el intervalo de 50°C a 100°C inmediatamente después del laminado en caliente después de realizar cada pasada de laminación intermedia, y luego puede realizarse el laminado en caliente de terminación en dos pasadas o más usando un molino continuo. En este

- 50
- 55

caso, con el propósito de controlar la dureza de la porción inferior de vía, las temperaturas de la porción de borde de pie y la porción central inferior de pie de la porción inferior de vía pueden controlarse respectivamente para estar en el intervalo descrito con anterioridad antes del laminado en caliente final del laminado de terminación.

5 Más aún, en un caso en el cual la porción inferior de vía se recalienta después del laminado en caliente, las condiciones de calentamiento pueden controlarse para ajustar que la temperatura de calentamiento de la porción de borde de pie sea baja al comparar la temperatura de calentamiento de la porción central inferior de pie para reducir la dureza de la porción de borde de pie al comparar la dureza de la porción central inferior de pie. Al igual que las condiciones de recalentamiento de la vía real, la dureza de la porción inferior de vía puede controlarse realizando el recalentamiento de modo tal que la temperatura de recalentamiento de la porción central inferior de pie quede en un intervalo de 950°C a 1050°C (superficie exterior de la porción inferior de vía) y la temperatura de recalentamiento de la porción de borde de pie esté en un intervalo de 850°C a 950°C (superficie exterior de la porción inferior de vía).

15 En la porción media, es preferible que la temperatura final de laminado en caliente o la temperatura de recalentamiento de una porción en la cercanía de la porción de borde de pie se ajuste para estar levemente por encima de la de la porción de borde de pie y la temperatura final de laminado en caliente o la temperatura de recalentamiento de una porción en la cercanía de la porción central inferior de pie se ajuste levemente por debajo de la de la porción central inferior de pie, en base a las condiciones en conformidad con las condiciones de laminado en caliente y las condiciones de recalentamiento de la porción central inferior de pie y la región del borde de pie. Como resultado, puede asegurarse la dureza objetivo.

- Condiciones de refrigeración acelerada después del laminado en caliente y recalentamiento

20 El procedimiento de realización de refrigeración acelerada sobre la porción inferior de vía no está limitado particularmente. Con el propósito de impartir la resistencia a la ruptura o la resistencia a la fatiga y controlar la dureza, la tasa de refrigeración de la porción inferior de vía durante el tratamiento con calor puede controlarse por medio de refrigeración por inyección de aire, refrigeración con neblina, refrigeración por inyección mixta de agua y aire, o una combinación de estos. Sin embargo, por ejemplo, en un caso en el cual la refrigeración acelerada se realiza después del laminado en caliente, se usa agua o neblina como refrigerante para la refrigeración acelerada de la porción central inferior de pie y se usa aire como refrigerante para la refrigeración acelerada de la porción de borde de pie con el fin de reducir la dureza de la porción de borde de pie al comparar con la dureza de la porción central inferior de pie de modo tal que la tasa de refrigeración de la porción de borde de pie se reduce en comparación con la tasa de refrigeración de la porción central inferior de pie. Además, la tasa de refrigeración y el intervalo de temperatura de refrigeración se controlan en base a la temperatura de la superficie exterior de la porción inferior de vía.

35 En un caso en el cual la refrigeración acelerada se realiza después del laminado en caliente, por ejemplo, la dureza de cada porción puede controlarse realizando refrigeración en la porción central inferior de pie a una tasa de refrigeración acelerada de 3°C/seg. a 10°C/seg. (intervalo de temperatura de refrigeración: 850°C a 600°C) y la porción de borde de pie a una tasa de refrigeración acelerada de 1 °C/seg. a 5°C/seg. (intervalo de temperatura de refrigeración: 800°C a 650°C). De manera adicional, la refrigeración acelerada puede realizarse en un intervalo de temperatura de 800°C a 600°C y las condiciones de refrigeración de una temperatura inferior a 600°C no están limitadas en particular.

40 En un caso en el cual el recalentamiento y luego la refrigeración acelerada se realizan después del laminado en caliente, por ejemplo, la dureza de cada porción puede controlarse realizando refrigeración en la porción central inferior de pie a una tasa de refrigeración acelerada de 5°C/seg. a 12°C/seg. (intervalo de temperatura de refrigeración: 850°C a 600°C) y la porción de borde de pie a una tasa de refrigeración acelerada de 3°C/seg. a 8°C/seg. (intervalo de temperatura de refrigeración: 800°C a 600°C). De manera adicional, la refrigeración acelerada puede realizarse en un intervalo de temperatura de 800°C a 600°C y las condiciones de refrigeración de una temperatura inferior a 600°C no están limitadas en particular.

45 En la porción media, es preferible que la tasa de refrigeración acelerada de una porción en la cercanía de la porción de borde de pie se ajuste para estar levemente por encima de la de la porción de borde de pie y la tasa de refrigeración acelerada de una porción en la cercanía de la porción central inferior de pie se ajuste levemente por debajo de la de la porción inferior de pie, en base a las condiciones en conformidad con las condiciones de refrigeración acelerada de la porción central inferior de pie y la región del borde de pie. Como resultado, puede asegurarse la dureza objetivo.

50 Con el propósito de reducir la diferencia en la dureza entre la porción media y la porción central inferior de pie con el fin de mejorar de manera adicional la resistencia a la fatiga, es preferible que la tasa de refrigeración acelerada de la porción media se ajuste para estar cerca de la tasa de refrigeración de la porción central inferior de pie o la temperatura de terminación de la refrigeración acelerada se ajuste para que sea levemente baja, específicamente, la refrigeración acelerada se realiza a una temperatura de aproximadamente 600°C.

55 La dureza de la porción inferior de vía puede controlarse usando una combinación de las condiciones de producción descritas con anterioridad y la relación del área de la estructura de perlita puede ajustarse en 90% o mayor en la estructura metalográfica con un intervalo predeterminado.

En la producción de una vía real, el ajuste dentro del intervalo de las condiciones de producción descritas con

anterioridad es necesario de acuerdo con la composición del acero de la vía. En el ajuste, la relación entre los granos de cristal y las condiciones del laminado en caliente del acero, pueden consultarse los diagramas del equilibrio de acero, los diagramas de transformación por refrigeración continua (diagramas CCT) y similares, descritos en los documentos conocidos descritos.

5 Cuando se controla la temperatura de laminado en caliente de terminación, la dureza de cada porción puede diferenciarse y la estructura puede determinarse seleccionando la temperatura de laminado en caliente de la porción de borde de pie, la porción central inferior de pie, o la porción media en base a la relación entre las condiciones de laminado en caliente y el tamaño del grano de austenita. Como ejemplo específico, en la porción de borde de pie que se espera reduzca su dureza, el tamaño del grano de austenita puede reducirse (el número de tamaño del grano aumenta) mediante la reducción de la temperatura de laminación del neumático. Además, la demora antes del laminado en caliente o la refrigeración forzada de la porción de borde de pie puede aplicarse a una reducción en la temperatura de laminado en caliente de la porción de borde de pie.

10 Además, cuando la temperatura de recalentamiento se controla, la temperatura de recalentamiento puede seleccionarse desde el estado de equilibrio del carbono de hierro. Como ejemplo específico, el tamaño del grano de austenita se reduce al reducir la temperatura de recalentamiento en la porción de borde de pie que se espera reduzca su dureza. Además, cuando la temperatura se reduce extremadamente, la estructura metalográfica no se austeniza completamente en algunos casos. Por este motivo, es preferible que la temperatura mínima de calentamiento se controle usando la línea A1, línea A3 y línea A cm como base. Con el fin de ajustar que la temperatura de recalentamiento de la porción de borde de pie de modo que sea baja, la supresión del calentamiento tal como la instalación de una placa de revestimiento o similares puede aplicarse en un caso de recalentamiento con calor de radiación. En un caso de uso de calentamiento por inducción, el calentamiento de la porción de borde de pie se suprime mediante el ajuste de la disposición de una pluralidad de bobinas o el calentamiento de la porción de borde de pie se suprime mediante el ajuste de emisión de las bobinas de calentamiento por inducción en la cercanía de la porción de borde de pie.

15 Cuando la tasa de refrigeración de la refrigeración acelerada se controla (refrigeración llevada a cabo como tratamiento después de control del laminado de terminación o el recalentamiento), la tasa de refrigeración acelerada puede determinarse a partir de los diagramas CCT de acuerdo con la composición del acero de la vía. Específicamente, con el fin de asegurar la generación de la estructura de perlita, es preferible que una tasa de refrigeración apropiada de transformación de perlita derive de los diagramas CCT y la tasa de refrigeración se controle de manera tal que la dureza ponderada pueda obtenerse a partir del intervalo. Como ejemplo específico, es necesario controlar que la tasa de refrigeración sea baja en la porción de borde de pie que se espera que reduzca su dureza mediante comparación de la tasa de refrigeración de la porción central inferior de pie.

20 La vía de acuerdo con la presente realización puede producirse mediante la utilización del procedimiento de control de microestructuras descrito con anterioridad en combinación con el conocimiento nuevo obtenido por los inventores de la presente invención.

### Ejemplos

A continuación, se describirán los ejemplos de la presente invención.

25 Las tablas 1 a 4 muestran las composiciones químicas y las características de las vías en los ejemplos de la presente invención. Las Tablas 1 a 4 muestran los valores de la composición química, la microestructura de la porción inferior, la dureza superficial de la porción inferior, y la relación entre la dureza superficial de la porción central inferior de pie y la dureza superficial de la porción media. El resto de las composiciones químicas es Fe e impurezas. Los resultados de la prueba de fatiga realizada de acuerdo con el procedimiento que se muestra en la FIG. 8 y los resultados de la prueba de impacto realizada sobre la porción de borde de pie mediante piezas de prueba en máquina de la posición que se muestra en la FIG. 9 también se presentan en la lista. En un caso en el que solo se describe la "perlita", la relación del área de la estructura de perlita a una profundidad de 5 mm desde la superficie exterior de la porción inferior de vía como origen es de 90% o mayor y la microestructura de la porción inferior incluye una pequeña cantidad de al menos una ferrita proeutectoide, cementita proeutectoide, estructura de bainita, y estructura de martensita, mezcladas en la estructura de perlita, a razón de 10% o menos en términos de relación de área.

30 Además, las Tablas 5 a 9 muestran los valores de la composición química, la microestructura de la porción inferior, la dureza superficial de la porción inferior, y la relación entre la dureza superficial de la porción central inferior de pie y la dureza superficial de la porción media de las vías en los ejemplos comparativos. Además, los resultados de la prueba de fatiga realizada de acuerdo con el procedimiento que se muestra en la FIG. 8 y los resultados de la prueba de impacto realizada sobre la porción de borde de pie mediante piezas de prueba en máquina de la posición que se muestra en la FIG. 9 también se presentan en la lista. En un caso en el que solo se describe la "perlita", la relación del área de la estructura de perlita a una profundidad de 5 mm desde la superficie exterior de la porción inferior de vía como origen es de 90% o mayor y la microestructura de la porción inferior incluye una pequeña cantidad de al menos una ferrita proeutectoide, cementita proeutectoide, estructura de bainita, y estructura de martensita, mezcladas en la estructura de perlita, a razón de 10% o menos en términos de la relación de área, además, cuando una estructura distinta de la perlita se describe en las columnas de la microestructura, la relación de área es mayor que 10% en base

a la relación de área entera. Por ejemplo, en un caso en el que hay una descripción de "perlita + ferrita proeutectoide", la relación de área de la estructura de perlita es inferior a 90% y la estructura principal del resto es ferrita proeutectoide.

El resumen del proceso de producción y las condiciones de producción de las vías de la presente invención y las vías para comparación enumeradas en las Tablas 1 a 4 y en las Tablas 5 a 9 se describirán a continuación de dos maneras.

5 [Proceso de producción de vías de la presente invención]

Las vías de la presente invención se producen en el siguiente orden:

- (1) fundición de acero;
- (2) ajuste de composición;
- (3) moldeado (placa);
- 10 (4) recalentamiento (1250°C a 1300°C);
- (5) laminado en caliente; y
- (6) refrigeración con aire o tratamiento con calor (refrigeración acelerada).

Otras vías de la presente invención se producen en el siguiente orden:

- (1) fundición de acero;
- 15 (2) ajuste de composición;
- (3) moldeado;
- (4) recalentamiento;
- (5) laminado en caliente;
- (6) refrigeración con aire;
- 20 (7) recalentamiento (vía); y
- (8) tratamiento con calor (refrigeración acelerada).

Además, el resumen de las condiciones para producir las vías de la presente invención enumeradas en las Tablas 1 a 4 es como sigue. En las condiciones para producir las vías para comparación en las Tablas 5 a 9, las vías de los Ejemplos comparativos 1 a 8 se produjeron dentro del intervalo de las condiciones para producir las vías de la presente invención. De manera adicional, en las condiciones para producir las vías de los Ejemplos comparativos 9 a 20, las vías se produjeron en condiciones, algunas de las cuales estaban fuera de las condiciones para producir las vías de la presente invención.

25 [Condiciones para producir las vías de la presente invención]

- 30
  - Condiciones de laminado en caliente (solo ejemplos a los cuales se aplicaron las condiciones). Temperatura final de laminado en caliente de la porción central inferior de pie: 900°C a 1000°C. Temperatura final de laminado en caliente de la porción de borde de pie: 800°C a 900°C
  - Condiciones de recalentamiento (solo ejemplos a los cuales se aplicaron las condiciones) Temperatura de recalentamiento de la porción central inferior de pie: 950°C a 1050°C. Temperatura de recalentamiento de la porción de borde de pie: 850°C a 950°C
  - 35
    - Condiciones para el tratamiento con calor realizado en la porción inferior (solo ejemplos a los cuales se aplicaron las condiciones)

Tasa de refrigeración del tratamiento por calor inmediatamente después del laminado en caliente

Porción central inferior de pie: 3°C/seg. a 10°C/seg. (intervalo de temperatura de refrigeración: 850°C a 600°C)

Porción de borde de pie: 1 °C/seg. a 5°C/seg. (intervalo de temperatura de refrigeración: 800°C a 600°C)

40 Tasa de refrigeración del tratamiento por calor inmediatamente después de recalentamiento

Porción central inferior de pie: 5°C/seg. a 12°C/seg. (intervalo de temperatura de refrigeración: 850°C a 600°C)

Porción de borde de pie: 3°C/seg. a 8°C/seg. (intervalo de temperatura de refrigeración: 800°C a 650°C)

Además, los detalles de las vías de la presente invención y las vías para comparación enumerados respectivamente en las Tablas 1 a 4 y en las Tablas 5 a 9 son como sigue.

(1) Vías de la presente invención (35 piezas)

5 Ejemplos 1 a 35 de la presente invención: vías en las que los valores de las composiciones químicas, la microestructura de la porción inferior, la dureza superficial de la porción inferior (porción central inferior de pie y porción de borde de pie), y la relación entre la dureza superficial de la porción central inferior de pie y la dureza superficial de la porción media estaban en los intervalos de la invención de la presente solicitud.

(2) Vías para comparación (20 piezas)

10 Ejemplos comparativos 1 a 8 (8 piezas): vías en las que cualquiera de los contenidos de C, Si, Mn, P y S y la microestructura de la porción inferior estaba fuera del intervalo de la invención de la presente solicitud.

Ejemplos comparativos 9 a 20 (12 piezas): vías en las que la porción central inferior de pie de la porción inferior de vía, la dureza superficial de la porción de borde de pie, y el equilibrio de las durezas superficiales de la porción central inferior de pie, la porción de borde de pie y la porción media estaban en los intervalos de la invención de la presente solicitud.

15 Además, las condiciones para varias pruebas son las siguientes.

[Prueba de fatiga al doblar de la vía real (véase la FIG. 8)]

Procedimiento de prueba: doblar en 3 puntos de la vía real (extensión: 0,65 m, frecuencia: 5 Hz).

Condición de carga: se controló el intervalo de tensión (carga máxima - carga mínima; la carga mínima fue de 10% de la carga máxima).

20 Disposición de prueba: la carga se aplicó a la porción delantera de la vía (la resistencia a la tensión se aplicó a la porción inferior).

Control de tensión: la tensión se controló usando el calibre de presión adherido a la porción central inferior de pie de la porción inferior de vía.

25 Número de repetición: 2 millones de veces, el intervalo máximo de tensión en el caso de no estar fracturado se ajustó al intervalo de tensión al límite de fatiga.

[Prueba de impacto]

Forma de muestra: JIS Núm. 3, pieza de prueba de impacto de 2 mm U-notch Charpy. Posición de piezas de prueba para la máquina: porción de borde de pie de la vía (véase la FIG. 9). Temperatura de prueba: temperatura ambiente (+20°C).

30 [Procedimiento de medición de la dureza superficial de la porción inferior de vía]

Medición

Dispositivo de medición: analizador de la dureza de Vickers (carga de 98 N).

Recolección de piezas de prueba para medición: colocar en máquina la muestra de la sección transversal de la porción inferior.

35 Procesamiento previo: pulido de sección transversal con granos de diamante que tienen un tamaño de grano promedio de 1 µm.

Procedimiento de medición: se llevó a cabo de acuerdo con la norma JIS Z2244.

Procedimiento de cálculo de la dureza

40 Dureza superficial de la porción central inferior de pie: la medición se realizó en respectivamente 20 sitios a una profundidad de 1 mm y una profundidad de 5 mm bajo la superficie del sitio que se muestra en la FIG. 7 y su valor promedio se ajustó a la dureza de cada posición.

Dureza superficial de la porción de borde de pie: la medición se realizó en respectivamente 20 sitios a una profundidad de 1 mm y una profundidad de 5 mm bajo la superficie del sitio que se muestra en la FIG. 7 y su valor promedio se ajustó a la dureza de cada posición.

45 Dureza superficial de la porción media: la medición se realizó en respectivamente 20 sitios a una profundidad de 1 mm y una profundidad de 5 mm bajo la superficie del sitio que se muestra en la FIG. 7 y su valor promedio se ajustó

a la dureza de cada posición.

Procedimiento para calcular la relación entre la dureza superficial (HM) de la porción media y la dureza superficial (HC) de la porción central inferior de pie

5 La relación entre la dureza superficial (HM) de la porción media y la dureza superficial (HC) de la porción central inferior de pie se calculó por el ajuste del valor obtenido promediando de manera adicional el valor promedio de cada dureza a una profundidad de 1 mm y una profundidad de 5 mm bajo la superficie en cada sitio como la dureza superficial (HC) de la porción central inferior de pie y la dureza superficial (HM) de la porción media.

10 Como se muestra en las Tablas 1 a 4 y en las Tablas 5 a 9, en las vías de la presente invención (Ejemplos 1 a 35) comparadas con las vías para comparación (Ejemplos comparativos 1 a 8), la resistencia a la fatiga de la porción central inferior de pie y la tenacidad de la porción de borde de pie se mejoraron y la resistencia a la ruptura y la resistencia a la fatiga de las vías se mejoraron mediante el ajuste de los contenidos de C, Si, Mn, P y S del acero para que estén dentro de los intervalos limitados, suprimiendo la generación de ferrita proeutectoide, cementita proeutectoide, estructura de bainita, o estructura de marutensita, controlando las inclusiones o la tenacidad de la estructura de perlita, y controlando la dureza superficial de la porción central inferior del pe y la porción de borde de pie de la porción inferior de vía.

15 Además, en las vías de la presente invención (Ejemplos 1 a 35) en comparación con las vías para comparación (Ejemplos comparativos 9 a 20), la resistencia a la fatiga se mejoró mediante el control del equilibrio de la dureza superficial de la porción central inferior de pie y la porción de borde de pie de la porción inferior de vía y la dureza superficial de la porción media.

20 Además, como se muestra en las Tablas 1 a 4 y la FIG. 10, la resistencia a la fatiga de las vías de la presente invención (Ejemplos 9, 10, 12, 13, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 29, 30, 32 y 33) se mejoró de manera adicional mediante el control de la dureza superficial HC (Hv) de la porción central inferior de pie de la porción inferior de vía y la dureza superficial (HM) (Hv) de la porción media para satisfacer la expresión  $HM/HC > 0,900$  y además el control del equilibrio de la dureza superficial.

25

[Tabla 1]

Ejemplo de la invención	Composición química (% en masa)																A1			
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Co	B	Cu	Ni	V	Nb	Ti	Mg	Ca		REM	Zr	N
1	0,75	0,25	1,00	0,0150	0,0120	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1,20	0,25	1,00	0,0150	0,0120	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	0,80	0,10	0,80	0,0180	0,0100	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	0,80	2,00	0,80	0,0180	0,0100	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0,90	0,45	0,10	0,0120	0,0080	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	0,90	0,45	2,00	0,0120	0,0080	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	1,00	0,75	0,75	0,0250	0,0100	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	1,10	0,65	0,55	0,0120	0,0250	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	0,76	0,35	0,85	0,0140	0,0130	0,22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	0,76	0,35	0,85	0,0140	0,0130	0,22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0,77	0,60	0,75	0,0200	0,0200	0,00	-	-	-	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	0,80	0,35	0,85	0,0190	0,0150	0,17	-	-	-	-	-	0,025	-	-	-	-	-	-	-	-
13	0,80	0,35	0,85	0,0190	0,0150	0,17	-	-	-	-	-	0,025	-	-	-	-	-	-	-	-
14	0,80	1,60	0,25	0,0150	0,0180	0,00	-	-	-	-	0,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0,80	0,50	1,35	0,0070	0,0150	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	0,80	0,50	1,35	0,0070	0,0150	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	0,86	0,35	1,15	0,0200	0,0240	0,00	-	-	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

[Tabla 2]

Ejemplo de la invención	Composición química (% en masa)																				
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Co	B	Cu	Ni	V	Nb	Ti	Mg	Ca	REM	Zr	N	A1	
18	0,90	0,40	0,65	0,0120	0,0180	0,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	0,90	0,40	0,65	0,0120	0,0180	0,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	0,90	0,50	1,10	0,0150	0,0120	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	0,90	0,50	1,10	0,0150	0,0120	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	0,96	0,85	0,85	0,0120	0,0120	0,00	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	1,00	0,85	0,65	0,0150	0,0245	0,00	-	-	-	-	-	-	0,0025	0,0050	-	-	-	-	-	-	-
24	1,00	0,85	0,65	0,0150	0,0245	0,00	-	-	-	-	-	-	0,0025	0,0050	-	-	-	-	-	-	-
25	1,00	0,45	1,00	0,0135	0,0090	0,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	1,00	0,45	1,00	0,0135	0,0090	0,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	1,04	0,25	1,15	0,0050	0,0100	0,00	-	-	0,0009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	1,04	0,85	0,75	0,0190	0,0110	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0025	0,0015	-	-	-	-	-
29	1,05	0,25	1,15	0,0150	0,0070	0,00	-	-	-	-	-	0,050	-	-	-	-	-	-	0,011	-	-
30	1,05	0,25	1,15	0,0150	0,0070	0,00	-	-	-	-	-	0,050	-	-	-	-	-	-	0,011	-	-
31	1,06	0,65	0,85	0,0150	0,0030	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0025	-	-	-	-
32	1,10	0,45	0,35	0,0080	0,0080	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	1,10	0,45	0,35	0,0080	0,0080	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	1,15	0,50	0,85	0,0180	0,0090	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0025	-	-
35	1,20	0,80	0,65	0,0150	0,0050	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0200



Ejemplo de la invención	Posición para observar la microestructura y medir la dureza	Microestructura de la porción inferior				Dureza superficial de la porción inferior		Relación entre dureza superficial de la porción central inferior de pie y la dureza superficial de la porción media (HM/HC)	Resultado de la prueba de fatiga realizada en la porción de borde de pie (temperatura de la prueba: 20°C)	Resultado de la prueba de impacto realizada en la porción de borde de pie (temperatura de la prueba: 20°C)	Nota especial de procedimiento de producción	Comentario de
		Porción central inferior de pie	Porción de borde de pie	Porción de media HE (Hv)	Porción de borde de pie HC (Hv)	Porción central inferior de pie (Hv)	Porción de media HE (Hv)					
1	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	Perfita	380	280	300	0,801	215	22,0	Realizar el tratamiento con calor después del laminado en caliente Controlar la tasa de refrigeración	Límite inferior de C
		Perfita	Perfita	Perfita	375	280	305					
2	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	Perfita	460	280	350	0,781	230	17,0	Realizar el tratamiento con calor después del laminado en caliente Controlar la tasa de refrigeración	Límite superior de C
		Perfita	Perfita	Perfita	456	275	365					
3	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	Perfita	400	285	325	0,824	220	21,0	Realizar el tratamiento con calor después del laminado en caliente Controlar la tasa de refrigeración	Límite inferior de Si
		Perfita	Perfita	Perfita	395	280	330					
4	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	Perfita	410	280	380	0,944	260	20,5	Realizar el tratamiento del laminado en caliente después de Si Controlar la tasa de refrigeración	Límite superior de Si
		Perfita	Perfita	Perfita	400	275	385					
5	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	Perfita	365	260	325	0,898	220	21,0	Realizar el tratamiento del laminado en caliente después de Si Controlar la tasa de recalentamiento	Límite inferior de Mn
		Perfita	Perfita	Perfita	364	260	330					

6	Profundidad de 1 mm Perfita	Perfita	Perfita	450	300	395	0,898	230	18,0	Controlar la temperatura del recalentamiento	Límite superior de Mn
	bajo la superficie Profundidad de 5 mm Perfita bajo la superficie	Perfita	Perfita	435	290	400					
7	Profundidad de 1 mm Perfita	Perfita	Perfita	430	295	385	0,894	225	16,5	Controlar la temperatura de la minado caliente de la terminación	Límite superior de P
	bajo la superficie Profundidad de 5 mm Perfita bajo la superficie	Perfita	Perfita	420	290	375					
8	Profundidad de 1 mm Perfita	Perfita	Perfita	430	305	395	0,918	265	16,5	Controlar la temperatura de la minado caliente de la terminación	Límite superior de S
	bajo la superficie Profundidad de 5 mm Perfita bajo la superficie	Perfita	Perfita	425	295	390					
9	Profundidad de 1 mm Perfita	Perfita	Perfita	370	260	310	0,836	215	24,0	Realizar el tratamiento con calor después del laminado en caliente Controlar la tasa de refrigeración	Añadido de Cr
	bajo la superficie Profundidad de 5 mm Perfita bajo la superficie	Perfita	Perfita	360	260	300					
10	Profundidad de 1 mm Perfita	Perfita	Perfita	370	260	360	0,986	270	24,0	Controlar la temperatura de laminado en caliente de terminación + realizar el tratamiento con calor y refrigeración después del laminado caliente	Añadido de Cr
	bajo la superficie Profundidad de 5 mm Perfita bajo la superficie	Perfita	Perfita	360	260	360					
11	Profundidad de 1 mm Perfita	Perfita	Perfita	360	290	320	0,882	215	21,5	Controlar la temperatura de laminado en caliente de terminación + realizar el tratamiento con calor y refrigeración después del laminado caliente	Añadido de Cu
	bajo la superficie Profundidad de 5 mm Perfita bajo la superficie	Perfita	Perfita	360	280	315					
12	Profundidad de 1 mm Perfita	Perfita	Perfita	420	300	335	0,796	230	20,0	Controlar la temperatura de la minado caliente de la terminación	Añadido de Cr + V
	bajo la superficie Profundidad de 5 mm Perfita bajo la superficie	Perfita	Perfita	415	295	330					
13	Profundidad de 1 mm Perfita	Perfita	Perfita	420	300	385	0,916	265	20,0	Controlar la temperatura de laminado en caliente de terminación + realizar el tratamiento con calor y refrigeración después del laminado caliente	Añadido de Cr + V
	bajo la superficie Profundidad de 5 mm Perfita bajo la superficie	Perfita	Perfita	415	295	380					

14	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	380	265	325	0,860	220	22,0	Controlar la temperatura del recalentamiento	Añadido de Ni
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	370	260	320					
15	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	430	290	350	0,813	230	21,0	Controlar la temperatura del laminado en caliente de terminación	Ninguno
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	425	285	345					
16	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	430	290	405	0,942	275	21,0	Controlar la temperatura del laminado en caliente de terminación + realizar el tratamiento con calor y refrigeración después del laminado caliente	Ninguno
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	425	285	400					
17	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	445	300	420	0,944	285	19,0	Controlar la temperatura del laminado en caliente de terminación	Añadido de Co
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	440	295	415					

[Tabla 4]

Ejemplo de la invención	Posición para observar la microestructura y medir la dureza	Microestructura de la porción inferior	Dureza superficial de la porción inferior			Relación entre dureza superficial de la porción central inferior de la pie y la dureza superficial de la porción media (HM/HC)	Resultado de la prueba de fatiga	Resultado de la prueba de impacto realizada en la porción de borde de pie (temperatura de la prueba: 20°C)	Nota especial de procedimiento de producción	Comentario
		Porción central inferior de pie	Porción central inferior de pie HC(Hv)	Porción borde de pie HC(Hv)	Porción media HE(Hv)					
18	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perfita	460	310	405	0,885	230	18,0	Controlar la temperatura de laminado en caliente de terminación	Añadido de Cr
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perfita	455	300	405					
19	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perfita	460	310	440	0,951	285	18,0	Controlar la temperatura de laminado en caliente de terminación + realizar el tratamiento con calor y controlar la tasa de refrigeración después del laminado caliente	Añadido de Cr
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perfita	455	300	430					
20	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perfita	420	280	340	0,813	230	19,5	Realizar el tratamiento con calor después del laminado en caliente Controlar la tasa de refrigeración	Ninguno
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perfita	410	275	335					
21	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perfita	420	280	375	0,910	265	19,5	Controlar la temperatura de laminado en caliente de terminación + realizar el tratamiento con calor y controlar la tasa de refrigeración después del laminado caliente	Ninguno
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perfita	410	275	380					

22	Profundidad de 1 mm	Perfita	Perfita	430	295	335	0,782	230	19,0	Controlar la temperatura de recalentamiento	Añadido de Mo
	bajo la superficie	Perfita	Perfita	420	290	330					
23	Profundidad de 5 mm	Perfita	Perfita	435	290	370	0,860	235	18,5	Controlar la temperatura de laminado en caliente de terminación	Añadido de Nb + Ti
	bajo la superficie	Perfita	Perfita	425	285	370					
24	Profundidad de 1 mm	Perfita	Perfita	435	290	400	0,924	280	18,5	Controlar la temperatura de laminado en caliente de terminación + realizar el tratamiento con calor y controlar la tasa de refrigeración después del laminado caliente	Añadido de Nb + Ti
	bajo la superficie	Perfita	Perfita	425	285	395					
25	Profundidad de 5 mm	Perfita	Perfita	420	290	350	0,837	230	18,0	Controlar la temperatura de laminado en caliente de terminación	Añadido de Cr
	bajo la superficie	Perfita	Perfita	410	285	345					
26	Profundidad de 1 mm	Perfita	Perfita	420	290	380	0,910	265	18,0	Controlar la temperatura de laminado en caliente de terminación + realizar el tratamiento con calor y controlar la tasa de refrigeración después del laminado caliente	Añadido de Cr
	bajo la superficie	Perfita	Perfita	410	285	375					
27	Profundidad de 1 mm	Perfita	Perfita	465	300	385	0,842	240	17,0	Realizar el tratamiento con calor después del recalentamiento Controlar la tasa de refrigeración	Añadido de B
	bajo la superficie	Perfita	Perfita	450	295	385					
28	Profundidad de 5 mm	Perfita	Perfita	415	290	365	0,878	225	17,5	Realizar el tratamiento con calor después del laminado en caliente Controlar la tasa de refrigeración	Añadido de Mg + Ca
	bajo la superficie	Perfita	Perfita	405	280	355					
29	Profundidad de 1 mm	Perfita	Perfita	500	315	410	0,818	240	16,5	Controlar la temperatura de laminado en caliente de terminación	Añadido de V + N
	bajo la superficie	Perfita	Perfita	490	305	400					

30	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	500	315	480	0,960	300	16,5	Controlar la temperatura de laminado en caliente de terminación + realizar el tratamiento con calor y controlar la tasa de refrigeración después del laminado caliente	Añadido de V + N
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	490	305	470					
31	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	450	270	380	0,843	235	18,0	Realizar el tratamiento con calor después del laminado en caliente Controlar la tasa de refrigeración	Añadido de REM
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	440	265	370					
32	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	405	280	315	0,781	225	18,5	Realizar el tratamiento con calor después del laminado en caliente Controlar la tasa de refrigeración	Ninguno
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	395	275	310					
33	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	405	280	390	0,969	280	17,0	Controlar la temperatura de laminado en caliente de terminación + realizar el tratamiento con calor y controlar la tasa de refrigeración después del laminado caliente	Ninguno
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	395	275	385					
34	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	475	300	360	0,761	235	17,5	Realizar el tratamiento con calor después del laminado en caliente Controlar la tasa de refrigeración	Añadido de Zr
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	465	290	355					
35	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	480	310	400	0,842	240	16,5	Controlar la temperatura de laminado en caliente de terminación	Añadido de A1
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	470	305	400					

[Tabla 5] Composición química (% en masa)

Ejemplo comparativo	C	Si	Mn	P	S	Cl	Mo	Co	B	Cu	Ni	V	Nb	Ti	Mg	Ca	REM	Zr	N	Al
1	0,70	0,25	1,00	0,0150	0,0120	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1,30	0,25	1,00	0,0150	0,0120	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	0,80	0,05	0,80	0,0180	0,0100	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	0,80	2,35	0,80	0,0180	0,0100	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0,90	0,45	0,05	0,0120	0,0080	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	0,90	0,45	2,50	0,0120	0,0080	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	1,00	0,75	0,75	0,0300	0,0100	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	1,10	0,65	0,55	0,0120	0,0350	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	0,76	0,35	0,85	0,0140	0,0130	0,22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	0,77	0,60	0,75	0,0200	0,0200	0,00	-	-	-	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0,80	0,50	1,35	0,0070	0,0150	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	1,10	0,45	0,35	0,0080	0,0080	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	0,90	0,40	0,65	0,0120	0,0180	0,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	0,90	0,50	1,10	0,0150	0,0120	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	1,05	0,25	1,15	0,0150	0,0070	0,00	-	-	-	-	-	0,050	-	-	-	-	-	-	0,011	-
16	1,10	0,45	0,35	0,0080	0,0080	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	0,90	0,50	1,10	0,0150	0,0120	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	1,00	0,45	1,00	0,0135	0,0090	0,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	0,76	0,35	0,85	0,0140	0,0130	0,22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	1,10	0,45	0,35	0,0080	0,0080	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

[Tabla 6]

Ejemplo comparativo	Posición para observar la microestructura y medir la dureza	Microestructura de la porción inferior			Dureza superficial de la porción inferior			Relación superficial entre la dureza de la porción central inferior de pie y la dureza superficial de la porción media (HM/HC)
		Porción inferior de pie	Porción de borde de pie	Porción media	Porción inferior (Hv)	Porción de borde HE (Hv)	Porción media HM (Hv)	
1	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perlita + ferrita proeutectoide	Perlita + ferrita proeutectoide	Perlita + ferrita proeutectoide	345	240	300	0,881
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perlita + ferrita proeutectoide	Perlita + ferrita proeutectoide	Perlita + ferrita proeutectoide	330	235	295	
	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perlita + ferrita proeutectoide	Perlita + cementita proeutectoide	Perlita + cementita proeutectoide	440	270	320	
2	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perlita + ferrita proeutectoide	Perlita + cementita proeutectoide	Perlita + cementita proeutectoide	430	260	315	0,730
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perlita + ferrita proeutectoide	Perlita + cementita proeutectoide	Perlita + cementita proeutectoide	390	265	330	
	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perlita	Perlita + cementita proeutectoide	Perlita + cementita proeutectoide	380	260	325	
3	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perlita + martensita	Perlita	Perlita	540	330	450	0,836
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perlita + martensita	Perlita	Perlita	530	325	445	
	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perlita	Perlita + ferrita proeutectoide	Perlita	355	250	300	
5	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perlita	Perlita + ferrita proeutectoide	Perlita	345	245	310	0,871
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perlita	Perlita + ferrita proeutectoide	Perlita	345	245	310	
	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perlita	Perlita + ferrita proeutectoide	Perlita	345	245	310	



6	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perita + martensita	Perita	525	330	420	0,798
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perita + martensita	Perita	515	310	410	
7	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perita	Perita	430	295	360	0,835
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perita	Perita	420	285	350	
8	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perita	Perita	430	305	345	0,806
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perita	Perita	420	300	340	

Ejemplo comparativo	Posición para observar la microestructura y medir la dureza	Microestructura de la porción inferior			Dureza superficial de la porción inferior			Relación entre la dureza superficial de la porción inferior de pie y la dureza superficial de la porción media (HM/HC)
		Porción inferior de pie	Porción de borde de pie	Porción media	Porción inferior de pie HC (Hv)	Porción de borde de pie HE (Hv)	Porción media HM (Hv)	
9	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perlita	Perlita	Perlita	370	250	310	0,836
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perlita	Perlita	Perlita	360	240	300	
10	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perlita	Perlita	Perlita	345	290	320	0,934
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perlita	Perlita	Perlita	335	280	315	
11	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perlita	Perlita	Perlita	350	255	350	1,007
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perlita	Perlita	Perlita	340	245	345	
12	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perlita	Perlita	Perlita	405	250	315	0,776
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perlita	Perlita	Perlita	400	240	310	
13	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perlita	Perlita	Perlita	520	310	405	0,786
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perlita	Perlita	Perlita	510	300	405	
14	Profundidad de 1 mm bajo la superficie	Perlita	Perlita	Perlita	420	320	340	0,813
	Profundidad de 5 mm bajo la superficie	Perlita	Perlita	Perlita	410	320	335	

15	Profundidad de 1Perita mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	530	330	410	0,768
	Profundidad de 5Perita mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	525	325	400	
16	Profundidad de 1Perita mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	505	280	315	0,619
	Profundidad de 5Perita mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	505	275	310	
17	Profundidad de 1Perita mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	420	280	435	1,042
	Profundidad de 5Perita mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	410	275	430	
18	Profundidad de 1Perita mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	420	290	270	0,645
	Profundidad de 5Perita mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	410	285	265	
19	Profundidad de 1Perita mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	370	260	250	0,678
	Profundidad de 5Perita mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	360	260	245	
20	Profundidad de 1Perita mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	405	280	425	1,056
	Profundidad de 5Perita mm bajo la superficie	Perfita	Perfita	395	275	420	

[Tabla 8]

Ejemplo comparativo	Resultado de la prueba de fatiga	Resultado de la prueba de impacto	Nota especial para el procedimiento de producción	Comentario
Intervalo de tensión del límite de fatiga de la porción central inferior de pie (MPa)	Valor de impacto (J/cm <sup>2</sup> )	Realizado en la porción de borde de producción (temperatura de la prueba: 20°C)		
110 Generación de ferrita proeutectoide	26,0	Realizar el tratamiento con calor después del laminado en caliente Controlar la tasa de refrigeración	Limite inferior de C	
135 Generación de cementita proeutectoide	7,8 (reducción de la dureza) proeutectoide	Realizar el tratamiento con calor después del laminado en caliente Controlar la tasa de refrigeración	Limite superior de C	
140 Generación de cementita proeutectoide	8,0 (reducción de la dureza) proeutectoide	Realizar el tratamiento con calor después del recalentamiento Controlar la tasa de refrigeración	Limite inferior de Si	
95 Generación de martensita en la porción central de la porción inferior	14,0 (reducción de la dureza) Endurecimiento de la perlita	Realizar el tratamiento con calor después del recalentamiento Controlar la tasa de refrigeración	Limite superior de Si	
115 Generación de ferrita proeutectoide en la porción de borde de pie	22,0	Controlar la temperatura del recalentamiento	Limite inferior de Mn	
100 Generación de martensita en la porción central de la porción inferior	12,0 (reducción de la dureza) Endurecimiento de la perlita	Controlar la temperatura del recalentamiento	Limite superior de Mn	
145 Aumento en el contenido de P y fragilidad de la perlita	9,0 (reducción de la dureza) Fragilidad de la perlita	Controlar la temperatura del laminado en caliente de terminación	Limite superior de P	
65 Generación de MnS grueso → concentración de tensión	18,0	Controlar la temperatura del laminado en caliente de terminación	Limite superior de S	

Ejemplo comparativo	Resultado de la prueba de fatiga		Resultado de la prueba de impacto realizada en la porción de borde de pie (temperatura de la prueba: 20°C) Valor de impacto (J/cm <sup>2</sup> )	Nota especial para el procedimiento de producción	Comentario
	Intervalo de tensión del límite de fatiga de la porción central inferior de pie (MPa)				
9	170 Ablandamiento de la perfitá en la porción de borde de pie		24,0	Realizar tratamiento con calor después del laminado en caliente Tasa de refrigeración fuera del intervalo de la presente invención	Añadido de Cr
10	185 Ablandamiento de la perfitá en la porción central inferior de pie		21,5	Realizar laminado en caliente de terminación Temperatura fuera del intervalo de la presente invención	Añadido de Cu
11	170 Ablandamiento de la perfitá en la porción central inferior de pie y de la porción inferior de pie		21,0	Realizar laminado en caliente de terminación Temperatura fuera del intervalo de la presente invención	Ninguno
12	165 Ablandamiento de la perfitá en la porción de borde de pie		18,5	Realizar tratamiento con calor después del laminado en caliente Tasa de refrigeración fuera del intervalo de la presente invención	Ninguno
13	150 Fragilidad de la perfitá en la porción central inferior de pie		18,0	Realizar laminado en caliente de terminación Temperatura fuera del intervalo de la presente invención	Añadido de Cr
14	215		12,0 (reducción de la dureza) Endurecimiento de la perfitá	Realizar tratamiento con calor después del laminado en caliente Tasa de refrigeración fuera del intervalo de la presente invención	Ninguno
15	140 Fragilidad de la perfitá en la porción central inferior de pie		9,5 (reducción de la dureza) Endurecimiento de la perfitá	Realizar laminado en caliente de terminación Temperatura fuera del intervalo de la presente invención	Añadido de V + N
16	155 Fragilidad de la perfitá en la porción central inferior de pie		18,5	Realizar tratamiento con calor después del laminado en caliente Tasa de refrigeración fuera del intervalo de la presente invención	Ninguno
17	150 Aumento en la dureza de la porción media → concentración de la presión en la cercanía de la porción central inferior de pie		19,5	Realizar tratamiento con calor después del laminado en caliente Tasa de refrigeración fuera del intervalo de la presente invención	Ninguno
18	130 Ablandamiento de la perfitá en la porción media → concentración de la tensión		18,0	Realizar laminado en caliente de terminación Temperatura fuera del intervalo de la presente invención	Añadido de Cr
19	110 Ablandamiento de la perfitá en la porción media → concentración de la tensión		24,0	Realizar tratamiento con calor después del laminado en caliente Tasa de refrigeración fuera del intervalo de la presente invención	Añadido de Cr
20	140 Aumento en la dureza de la porción media → concentración de la presión en la		17,0	Temperatura del laminado en caliente de terminación fuera del intervalo de la presente invención + tasa de refrigeración del tratamiento con calor después de	Ninguno

**Aplicabilidad industrial**

5 De acuerdo con la presente invención, es posible proporcionar una vía que tiene excelentes resistencia a la ruptura y resistencia a la fatiga, que se requieren para la porción inferior de vía de las vías de ferrocarril de carbón, mediante el control de las composiciones del acero de la vía que sirven como material de la vía, el control de la estructura metalográfica de la porción inferior de vía y la dureza superficial de la porción central inferior de pie y la porción de borde de pie, y control del equilibrio de la dureza superficial de la porción central inferior de pie, la porción de borde de pie, y la porción media, y control de la concentración de la tensión en la cercanía de la porción media.

**Breve descripción de los símbolos de referencia**

- 1: PORCIÓN CENTRAL INFERIOR DE PIE
- 10 2: PORCIÓN DE BORDE DE PIE
- 3: PORCIÓN MEDIA
- 4: PORCIÓN INFERIOR
- 5: SUPERFICIE EXTERIOR DE LA PORCIÓN INFERIOR

**REIVINDICACIONES**

1. Una vía que comprende, como composición de acero, en términos de % en masa:

C: 0,75% a 1,20%;

Si: 0,10% a 2,00%;

5 Mn: 0,10% a 2,00%;

Cr: 0% a 2,00%;

Mo: 0% a 0,50%;

Co: 0% a 1,00%;

B: 0% a 0,0050%;

10 Cu: 0% a 1,00%;

Ni: 0% a 1,00%;

V: 0% a 0,50%;

Nb: 0% a 0,050%;

Ti: 0% a 0,0500%;

15 Mg: 0% a 0,0200%;

Ca: 0% a 0,0200%;

REM: 0% a 0,0500%;

Zr: 0% a 0,0200%;

N: 0% a 0,0200%;

20 Al: 0% a 1,00%;

P: 0,0250% o menos;

S: 0,0250% o menos; y

Fe e impurezas como resto, en la que

25 90% o mayor de una estructura metalográfica en un intervalo entre una superficie exterior (5) de una porción inferior de vía como origen y una profundidad de 5 mm es una estructura de perlita,

una HC que es una dureza superficial de una porción central de inferior de pie está en un intervalo de Hv 360 a 500,

una HE que es una dureza superficial de una porción de borde de pie (2) está en un intervalo de Hv 260 a 315, y

30 la HC, la HE, y una HM que es la dureza superficial de una porción media (3) posicionada entre la porción central inferior de pie y la porción de borde de pie satisface la siguiente Expresión 1, y

en la que la HC, la HE, y la HM se obtienen por medición de la dureza de Vickers con carga de 98 N,

$$HC \geq HM \geq HE \dots \text{(Expresión 1).}$$

2. La vía de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la HM y la HC satisface la siguiente Expresión 2.

$$HM/HC \geq 0,900 \dots \text{(Expresión 2)}$$

35 3. La vía de acuerdo con la reivindicación 1 o 2,

en la que la composición de acero comprende, en términos de % en masa, al menos uno seleccionado del grupo que consiste en

Cr: 0,01% a 2,00%,

## ES 2 794 621 T3

	Mo: 0,01% a 0,50%,
	Co: 0,01% a 1,00%,
	B: 0,0001% a 0,0050%,
	Cu: 0,01% a 1,00%,
5	Ni: 0,01% a 1,00%,
	V: 0,005% a 0,50%,
	Nb: 0,0010% a 0,050%,
	Ti: 0,0030% a 0,0500%,
	Mg: 0,0005% a 0,0200%,
10	Ca: 0,0005% a 0,0200%,
	REM: 0,0005% a 0,0500%,
	Zr: 0,0001% a 0,0200%,
	N: 0,0060% a 0,0200%, y
	Al: 0,0100% a 1,00%.
15	



FIG. 1

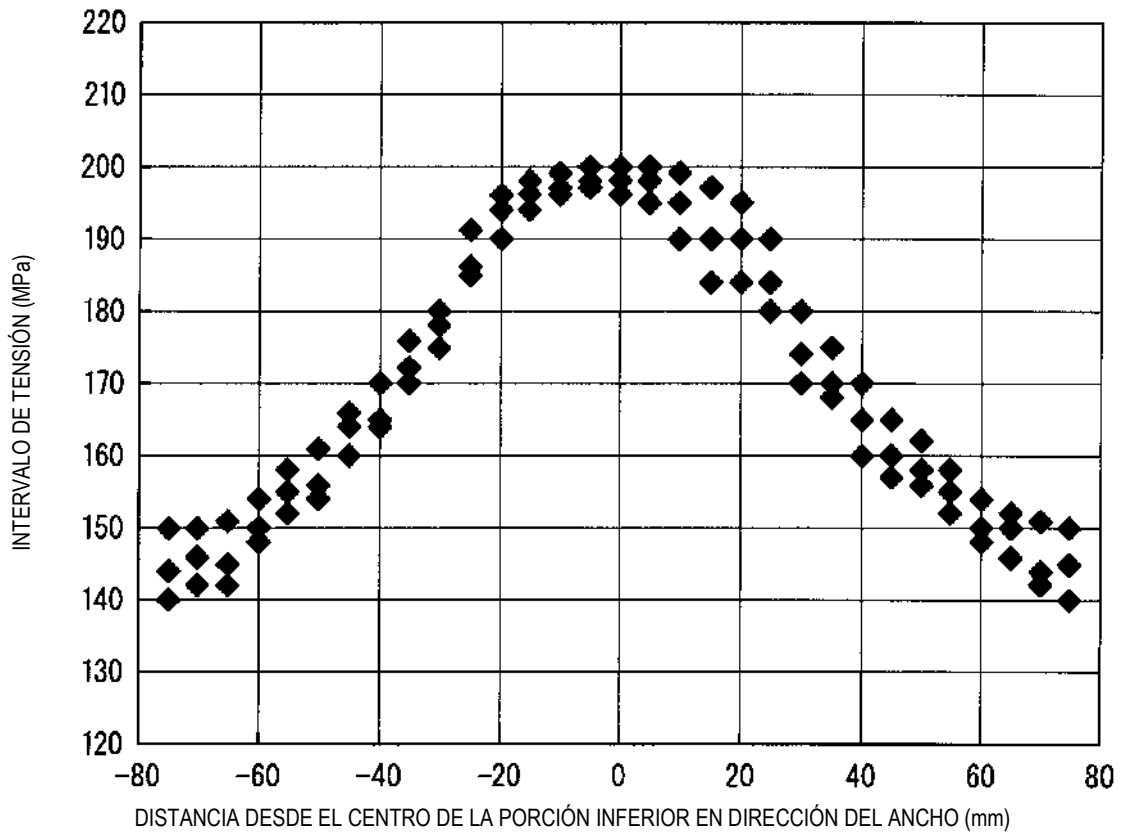


FIG. 2

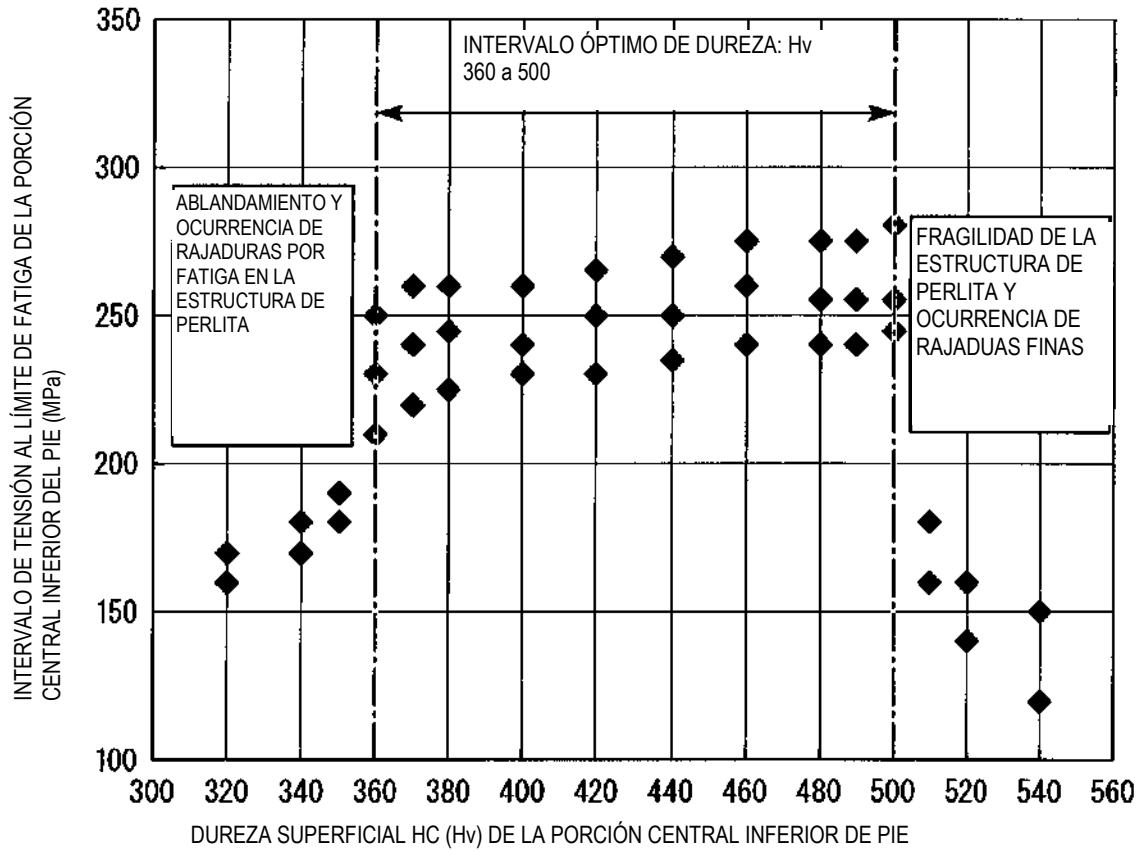


FIG. 3

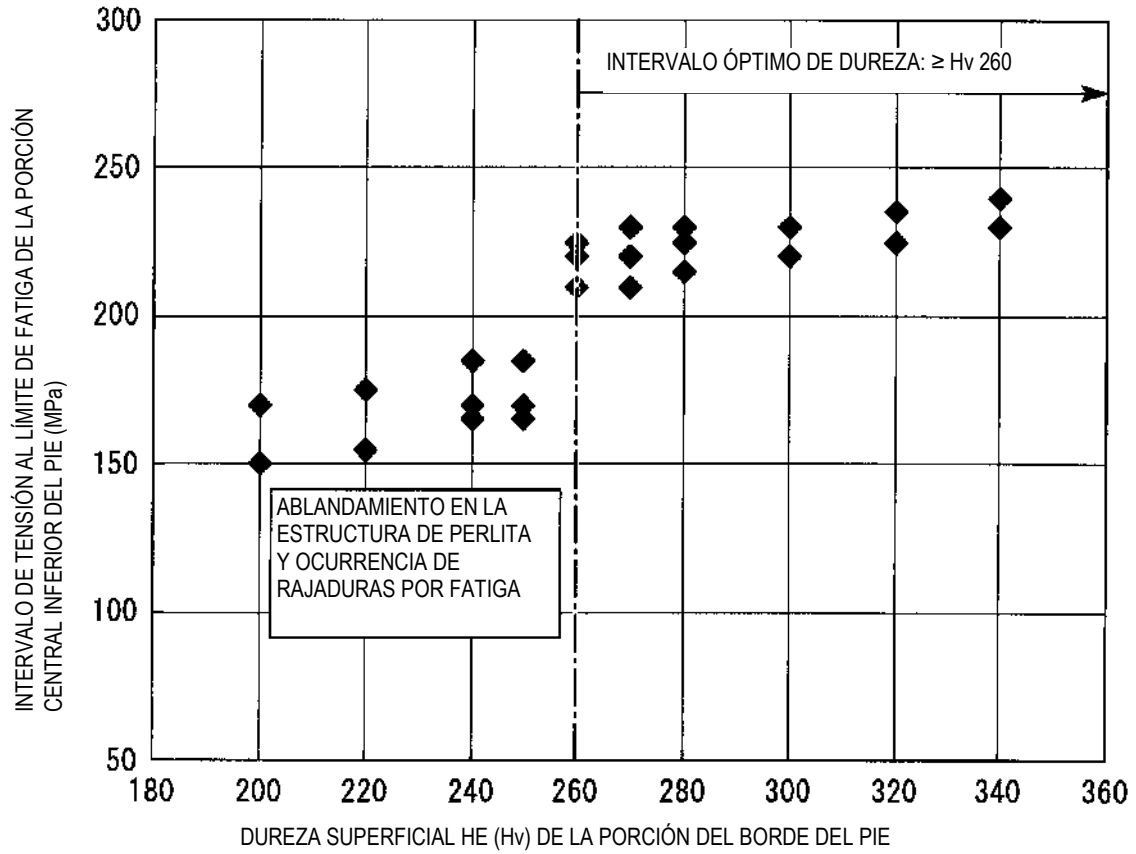


FIG. 4

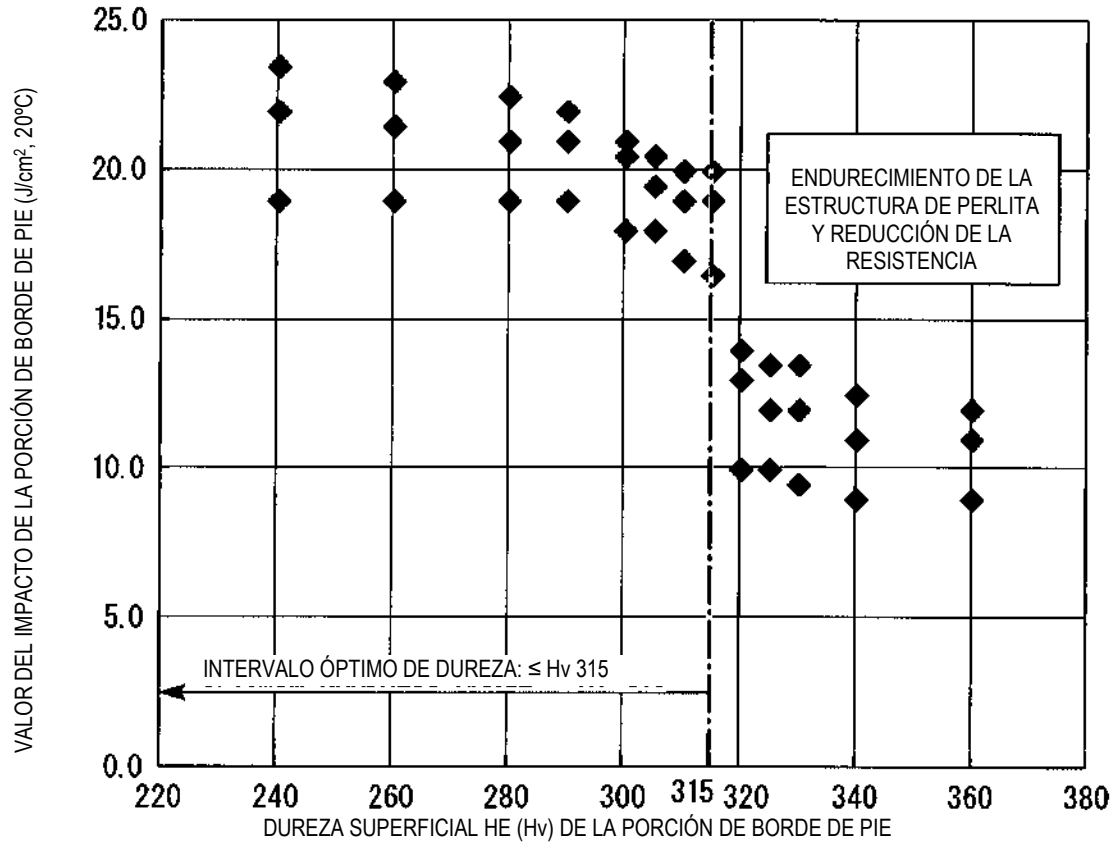


FIG. 5

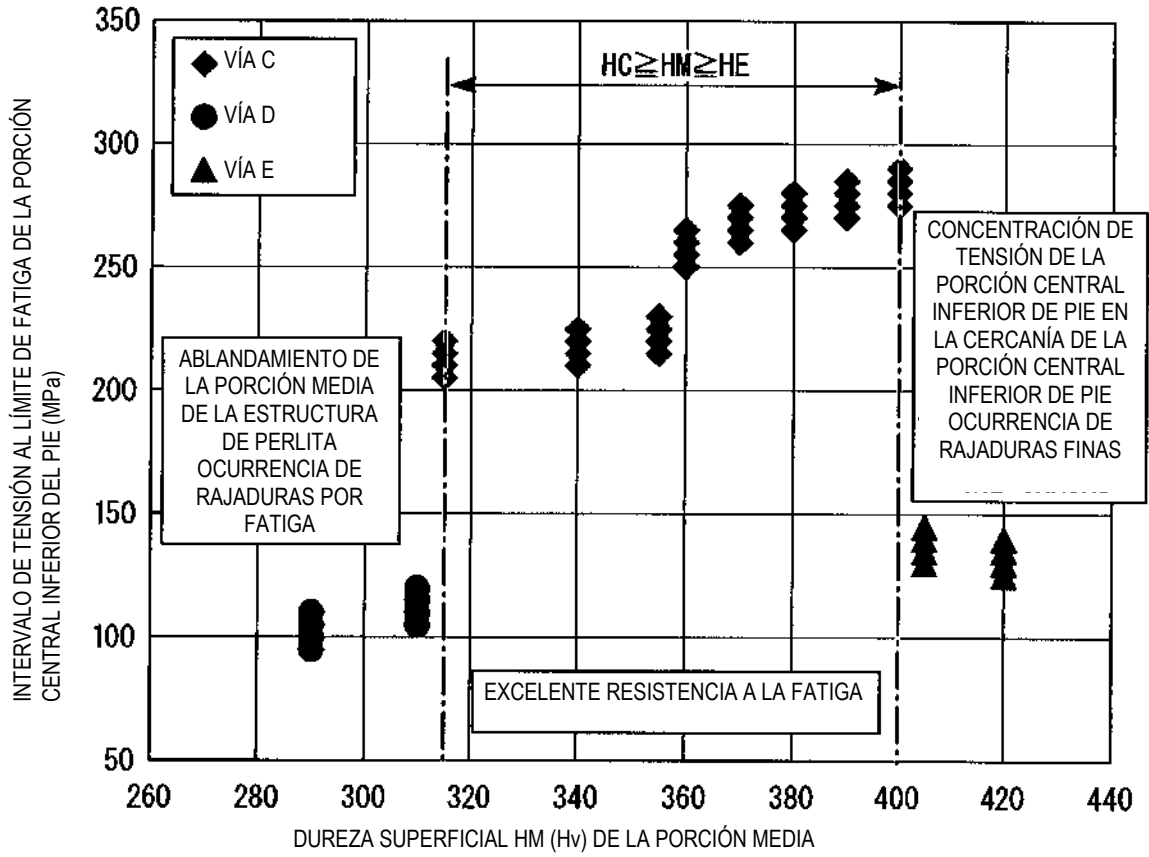


FIG. 6

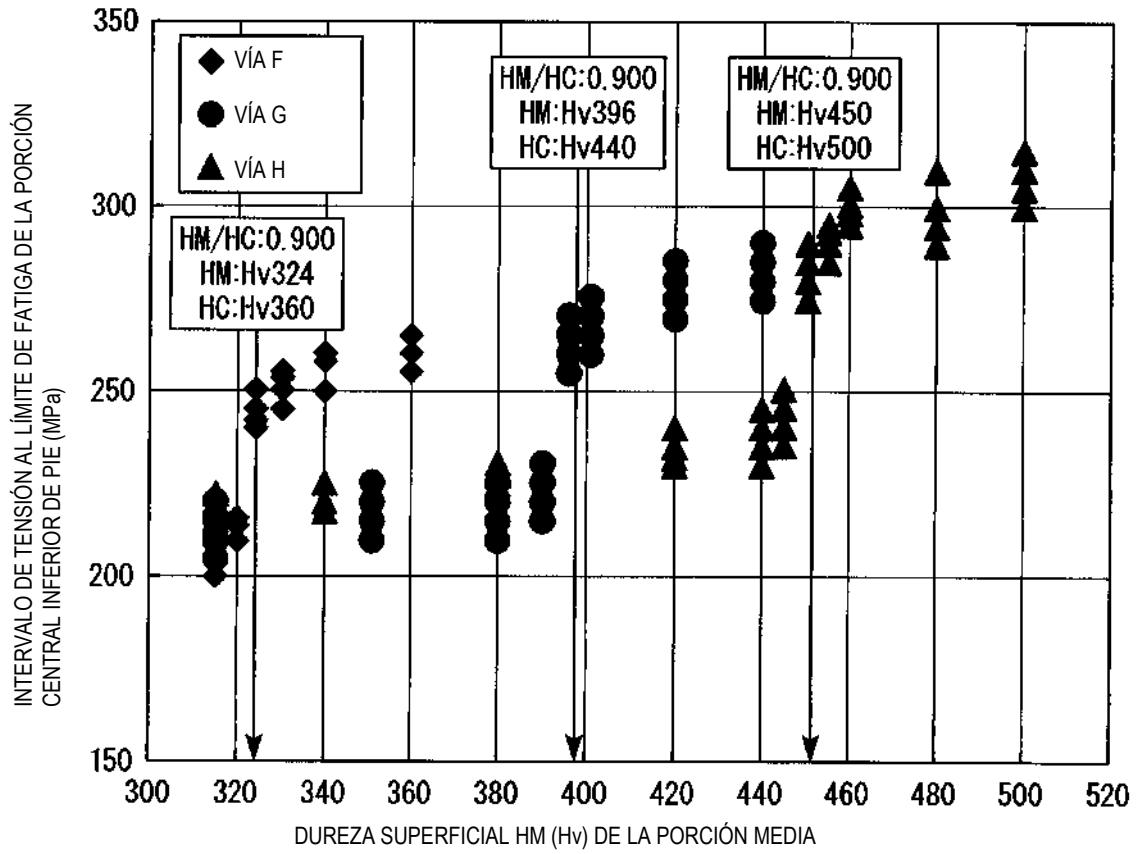


FIG. 7

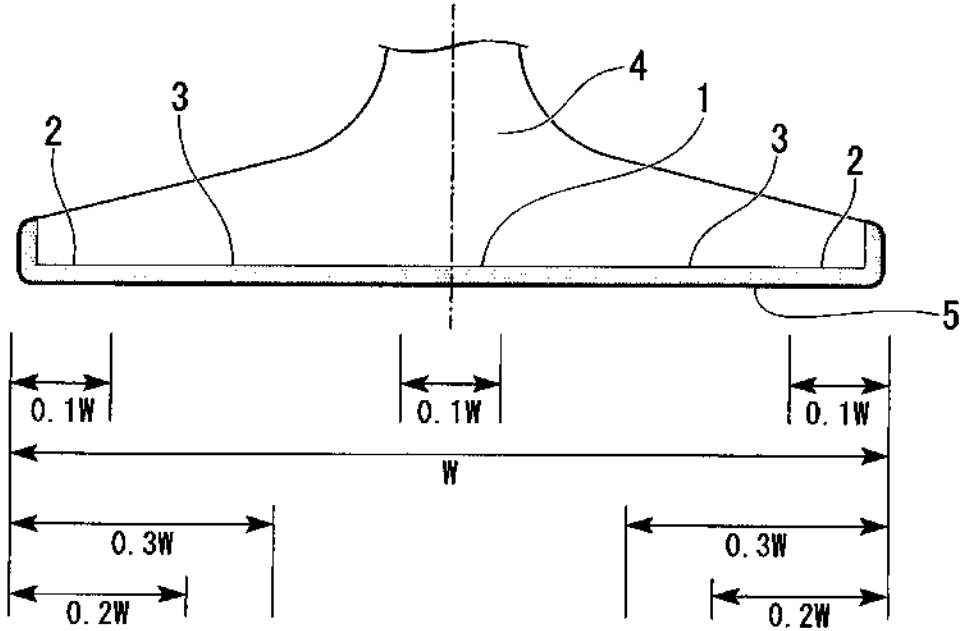


FIG. 8

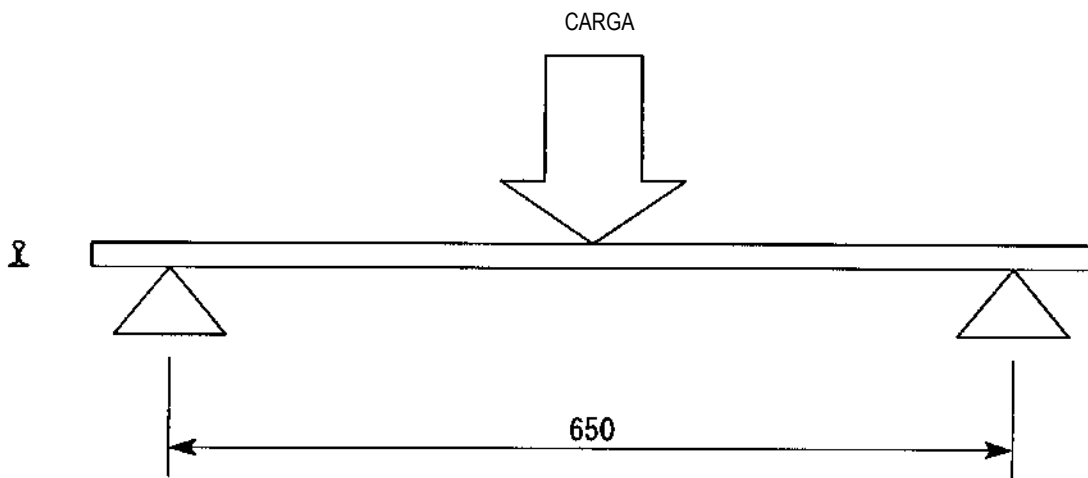


FIG. 9

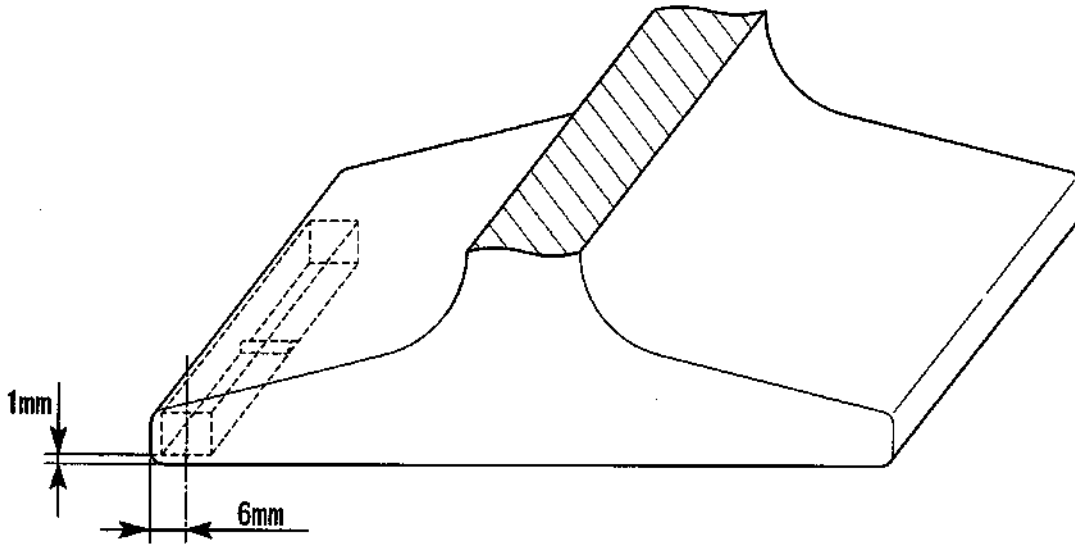


FIG. 10

