

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 451 532**

51 Int. Cl.:

**C21D 8/00** (2006.01)  
**B21B 1/085** (2006.01)  
**B21B 3/00** (2006.01)  
**C21D 9/04** (2006.01)  
**C22C 38/00** (2006.01)  
**C22C 38/04** (2006.01)  
**C22C 38/58** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.07.2007 E 07791533 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.03.2014 EP 2045341**

54 Título: **Método para producir carril perlítico excelente en resistencia al uso y ductilidad**

30 Prioridad:

**24.07.2006 JP 2006200860**  
**03.07.2007 JP 2007174800**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**27.03.2014**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**UEDA, MASAHARU;**  
**SEKI, KAZUNORI;**  
**SATO, TAKUYA y**  
**YAMAMOTO, TAKESHI**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

ES 2 451 532 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**

Método para producir carril perlítico excelente en resistencia al uso y ductilidad

**Campo de la invención**

- 5 La presente invención se refiere a un método para producir un carril para uso en ferrocarriles de carga pesada, particularmente a un método de producción de carriles perlíticos dirigido a mejorar la resistencia al uso y la ductilidad de la cabeza del carril.

**Descripción de la técnica relacionada**

Si bien el acero al carbono perlítico se usa como material para carriles ferroviarios debido a su excelente resistencia al uso, es inferior en ductilidad y rigidez debido al alto contenido de carbono.

- 10 Por ejemplo, el carril de acero al carbono común con un contenido de carbono de 0,6 a 0,7% en masa de acuerdo con JIS E1101-1990 tiene un valor de impacto de temperatura normal conforme a la prueba de Charpy con muesca en U JIS Núm. 3 de alrededor de 12 a 18 J/cm<sup>2</sup>. Cuando dicho carril se usa a baja temperatura tal como en una región de clima frío, experimenta fractura por fragilidad comenzando por los pequeños defectos iniciales y grietas de fatiga.

- 15 En los últimos años, además, los esfuerzos por mejorar la resistencia al uso del acero de los carriles aumentando el contenido de carbono a niveles incluso mayores han provocado una reducción adicional de la ductilidad y la rigidez.

Como método general para mejorar la ductilidad y rigidez del acero perlítico, se dice que es eficaz afinar la estructura de la perlita (tamaño del bloque de perlita), específicamente afinar el grano, la estructura austenítica, antes de la transformación de la perlita y también afinar la estructura de la perlita.

- 20 Los métodos para afinar el grano de la estructura austenítica incluyen aquel de reducir la temperatura de la laminación caliente o la reducción durante la laminación en caliente y aquel de tratar con calor el carril laminado en caliente por recalentamiento a baja temperatura. Los métodos para afinar la estructura perlítica incluyen aquel de promover la transformación de la perlita desde dentro de los granos austeníticos mediante el uso de núcleos de transformación.

- 25 No obstante, el grado al cual la temperatura de laminación en caliente puede reducirse y la reducción aumentarse durante la producción del carril se limita a la necesidad de mantener la conformabilidad durante la laminación en caliente. El afinamiento exhaustivo de los granos de austenita es por lo tanto imposible. Además, el afinamiento exhaustivo de la estructura perlítica no puede lograrse usando núcleos de transformación que transforman la perlita desde dentro de los granos de austenita, ya que es difícil controlar la abundancia de los núcleos de transformación, y la transformación de perlita desde dentro de los granos no es estable.

- 30 En vista de estas cuestiones, el método utilizado para lograr la mejora fundamental de la ductilidad y rigidez del carril de estructura perlítica consiste en afinar la estructura perlítica recalentando a baja temperatura el carril laminado por calor y de allí en más inducir la transformación perlítica por enfriamiento acelerado.

- 35 Sin embargo, cuando se aplica el tratamiento térmico de recalentamiento a baja temperatura mencionado a aceros con contenidos de carbono incluso mayores desarrollados en los últimos años en vista de mejorar la resistencia al uso, los carburos gruesos permanecen dentro de los granos de austenita, provocando problemas de reducción de ductilidad y/o rigidez de la estructura perlítica después de la laminación en caliente. Y ya que el método utiliza recalentamiento, no es económico en cuanto a coste de alta producción y baja productividad.

- 40 Debido a las circunstancias mencionadas, existe la necesidad de desarrollar un método para producir carriles con alto contenido de carbono capaces de asegurar buena conformabilidad durante la laminación en caliente y de permitir el afinamiento de la estructura perlítica después de la laminación en caliente sin recalentamiento a baja temperatura.

- 45 Los métodos de producción de carriles de acero con alto contenido de carbono analizados a continuación se desarrollaron para satisfacer esta necesidad. Estos métodos se caracterizan principalmente por afinar la estructura perlítica aprovechando que los granos de austenita de un acero con alto contenido de carbono recristalizan fácilmente a una temperatura relativamente baja e incluso cuando la reducción es pequeña. Mejoran la ductilidad y/o rigidez del acero perlítico usando laminación en caliente continua de baja reducción para obtener granos afinados uniformemente.

- 50 La publicación de patente japonesa no examinada núm. H7-173530A describe un carril de alta ductilidad que se obtuvo, durante el transcurso de la laminación en caliente de acabado de un carril de acero que contenía acero con alto contenido de carbono, realizando tres o más pasadas de laminación en caliente continua con un tiempo entre pasadas predeterminado.

5 La publicación de patente japonesa no examinada núm. 2001-234238A describe que un carril de alta resistencia al uso y alta rigidez se obtiene, en el transcurso de la laminación en caliente de acabado de un carril de acero que contiene acero con alto contenido de carbono, realizando dos o más pasadas de laminación en caliente continuo con un tiempo entre pasadas predeterminado y después realizando la laminación en caliente continua y el enfriamiento acelerado después de la laminación en caliente.

La publicación de patente japonesa no examinada núm. 2002-22 6915A describe que un carril de alta resistencia al uso y alta rigidez se obtiene, en el transcurso de la laminación en caliente de acabado de un carril de acero que contiene acero con alto contenido de carbono, enfriando entre pasadas y después realizando la laminación en caliente continua y enfriamiento acelerado después de la laminación en caliente

10 Los documentos WO-2005/085481 o US2001-0025674 o EP1493831 describen laminación en caliente de gran potencia en el acabado en la región de austenita y/o enfriamiento rápido para suprimir el engrosamiento de los granos.

15 No obstante, dependiendo del contenido de carbono en el acero, la temperatura al momento de la laminación en caliente durante la laminación en caliente continua y la combinación del número de pasadas de laminación y el tiempo entre pasadas, las técnicas descritas por estas referencias de patente no pueden lograr afinamiento de la estructura austenítica, de modo que la estructura perlítica se engrosa obstaculizando la mejora en ductilidad y rigidez.

20 Otra referencia de patente, la publicación de patente japonesa no examinada núm. S62-127453A, describe la producción de un carril excelente en ductilidad y rigidez por laminación en caliente a baja temperatura de acero para carril que tiene un contenido de carbono de 0,90% o menos a 800 °C o menos.

25 No obstante, dado que el único requerimiento especificado por la técnica descrita por esta referencia de patente es una reducción del área de 10% o más, la reducción es algunas veces insuficiente, en cuyo caso es difícil lograr la rigidez y ductilidad requeridas, particularmente para un acero de carril con gran contenido de carbono (C >0.90%) cuya ductilidad y rigidez disminuyen fácilmente y que tiende a experimentar crecimiento del grano durante la laminación en caliente.

### Compendio de la invención

Contra esta desventaja, es conveniente proporcionar un carril perlítico que tiene mejor ductilidad y excelente resistencia al uso, logrando un afinamiento estable de la estructura perlítica.

30 La presente invención se logró en vista de los problemas anteriores y tiene como objeto mejorar la resistencia al uso de la cabeza y la ductilidad requerida por el carril para uso en un ferrocarril de carga pesada, simultánea y uniformemente.

35 La esencia del método para producir un carril perlítico de acuerdo con la presente invención reside en controlar la temperatura de laminación de la superficie de la cabeza, la reducción acumulativa de la cabeza y el índice de la fuerza de reacción durante la laminación en caliente de acabado y de allí en más realizar el tratamiento térmico apropiado para mejorar establemente la ductilidad y resistencia al uso de la cabeza del carril.

Específicamente, la mejora estable de la ductilidad de la cabeza del carril se logra controlando la cantidad de austenita no recristalizada de la superficie de la cabeza inmediatamente después de la laminación en caliente, alcanzando así el afinamiento de la estructura perlítica, tras lo cual se logra buena resistencia al uso realizando enfriamiento acelerado.

40 La invención se describe brevemente como se define en las reivindicaciones 1 y 2:

(A) Un método para producir un carril perlítico excelente en resistencia al uso y ductilidad, sometiendo a por lo menos laminación en caliente basta y laminación en caliente de acabado un tocho que comprende, en % en masa, C: 0,65-1,20%, Si: 0,05-2,00%, Mn: 0,05-2,00% y el resto de hierro e impurezas inevitables, en donde el método comprende:

45 realizar la laminación en caliente de acabado a una temperatura superficial de la cabeza del carril en un intervalo no superior a 900 °C y un punto de transformación no inferior a Ar<sub>3</sub> o un punto de transformación no inferior a Ar<sub>cm</sub> para producir una reducción acumulativa de la cabeza del área no inferior a 20% y un índice de la fuerza de reacción, definido según un valor obtenido dividiendo la fuerza de reacción del laminador por una fuerza de reacción del laminador a la misma reducción acumulativa del área y una temperatura de laminación en caliente de 950 °C, de no  
50 menos de 1,25; y

someter la superficie de la cabeza del carril laminada en caliente para acabado a enfriamiento acelerado o enfriamiento espontáneo a por lo menos 550 °C a un índice de enfriamiento de 2 a 30 °C/seg.

(B) Un método para producir un carril perlítico excelente en resistencia al uso y ductilidad de acuerdo con (A), en donde el enfriamiento acelerado comienza dentro de los 150 seg después de completar la laminación en caliente de acabado.

### Breve descripción de los dibujos

5 La FIG. 1 es un diagrama de equilibrio Fe-Fe<sub>3</sub>C para determinar Ar<sub>3</sub> y Ar<sub>cm</sub> (de *Tekko Zairyo* (Iron and Steel Materials), Japan Institute of Metals).

La FIG. 2 es un gráfico basado en los resultados de una prueba de laminación en caliente realizada usando aceros que tienen contenidos de carbono de 0,65 a 1,20%, lo que demuestra cómo la relación residual de la estructura austenítica no recristalizada inmediatamente después de la laminación en caliente varió como una función del índice de la fuerza de reacción {valor obtenido dividiendo la fuerza de reacción del laminador por la fuerza de reacción de laminación en la misma reducción acumulativa del área y a una temperatura de laminación en caliente de 950° C.

La FIG. 3 muestra las designaciones asignadas a regiones superficiales transversales de la cabeza de un carril producidas por el método de producción de carriles de la presente invención.

La FIG. 4 muestra la ubicación desde la cual se tomaron las muestras de la prueba para realizar los ensayos de tracción que se indican en las Tablas 3 y 5.

La FIG. 5 muestra la ubicación desde la cual se tomaron las muestras de la prueba para realizar los ensayos de desgaste que se indican en las Tablas 3 y 5.

La FIG. 6 es un panorama general de los ensayos de desgaste.

La FIG. 7 es un gráfico que muestra cómo el estiramiento total varió como una función del contenido de carbono en los ensayos de tracción de la cabeza realizados en los carriles que se muestran en las Tablas 2 y 3 producidos por el método de producción de carriles de la presente invención y en los carriles que se muestran en las Tablas 4 y 5 producidos por métodos de producción comparativos.

La FIG. 8 es un gráfico que muestra cómo el desgaste varió como una función del contenido de carbono en los ensayos de desgaste de la cabeza realizados en los carriles que se muestran en las Tablas 2 y 3 producidos por el método de producción de carriles de la presente invención y en los carriles que se muestran en las Tablas 4 y 5 producidos por métodos de producción comparativos.

### Descripción detallada de la invención

Un método para producir un carril perlítico excelente en resistencia al uso y ductilidad se explica detalladamente en lo sucesivo como una realización de la presente invención. A menos que se indique lo contrario, % indica % en masa

30 Los inventores llevaron a cabo laminación en caliente simulada de aceros con alto contenido de carbono de diversos contenidos de carbono (0,50 -1,35%) para observar cómo se relaciona la conducta del grano de austenita con la temperatura y la reducción del área durante la laminación en caliente.

Descubrieron que cuando el acero tiene un contenido de carbono en el intervalo de 0,65 – 1,20% se lamina en caliente a una temperatura dentro del intervalo de no más de 900 °C y no menos del punto de transformación Ar<sub>3</sub> o del punto de transformación Ar<sub>cm</sub>, los granos de austenita inicial no recristalizan además de los granos recristalizados finos de los granos de austenita iniciales recristalizados, de modo que se observa una gran cantidad de granos de austenita no recristalizados residuales (granos gruesos planos).

Los inventores también realizaron un experimento para determinar la conducta de los granos de austenita no recristalizados después de la laminación en caliente. Descubrieron que cuando la temperatura y la reducción del área excedieron determinados valores, la estructura de austenita no recristalizada recristaliza granos de austenita finos durante el enfriamiento espontáneo después de la laminación en caliente.

Los inventores estudiaron también granos de austenita finos obtenidos a partir de la estructura de austenita no recristalizada para hallar un método para mejorar establemente la ductilidad. Realizaron experimentos de laminación en caliente y tratamiento térmico en laboratorio y evaluaron la ductilidad por ensayos de tracción. Descubrieron que el afinamiento de la estructura y la mejora estable de la ductilidad pueden lograrse manteniendo caliente la cantidad de estructura de austenita no recristalizada producida inmediatamente después de la laminación en caliente hasta dentro de un cierto intervalo.

Además de los estudios mencionados, los inventores realizaron una investigación para determinar un método de tratamiento post-térmico inmediato para mejorar la ductilidad. Para ello, efectuaron experimentos de laminación en caliente y tratamiento térmico en laboratorio. Los resultados se ensayaron por tracción para evaluar la ductilidad. A través de este proceso, se supo que el engrosamiento de los granos de austenita recristalizados puede inhibirse para mejorar notablemente la ductilidad, realizando no solamente el enfriamiento espontáneo normal después de

completar la laminación en caliente sino también realizando enfriamiento acelerado dentro de un periodo de tiempo determinado después de completar la laminación en caliente.

5 Los inventores buscaron luego un método para mejorar incluso más la ductilidad, utilizando directamente la estructura austenítica no recristalizada. Para esto, realizaron experimentos de laminación en caliente y tratamiento térmico en laboratorio. La ductilidad se evaluó por ensayos de tracción. Así, se determinó que cuando el tiempo de enfriamiento espontáneo después de completar la laminación en caliente se acorta de forma tal que la estructura austenítica no recristalizada no recristaliza, y el enfriamiento acelerado sucesivo se realiza en este estado, ocurre una estructura perlítica mucho más fina desde dentro de la estructura austenítica no recristalizada para aumentar la ductilidad hasta un nivel incluso superior.

10 Los inventores luego buscaron una forma de controlar la estructura austenítica no recristalizada que genera la estructura perlítica fina. Llevando a cabo experimentos de laminación en caliente y evaluación en aceros con contenido de carbono en el intervalo de 0,65 a 1,20%, descubrieron que existe una correlación directa entre el valor obtenido dividiendo la fuerza de reacción del laminador caliente por la fuerza de reacción de laminación en la misma reducción acumulativa del área y a una temperatura de laminación en caliente de 950 °C (en la presente memoria a veces denominada "índice de la fuerza de reacción") y la cantidad de estructura de austenita no recristalizada que ocurre inmediatamente después de la laminación en caliente. Determinaron que la cantidad de estructura de austenita no recristalizada generada puede controlarse controlando el índice de la fuerza de reacción.

20 Los hallazgos anteriormente expuestos condujeron a los inventores al descubrimiento de que en el proceso de producir un carril laminando en caliente un tocho con alto contenido de carbono, se puede obtener simultáneamente excelente ductilidad y resistencia al uso de la cabeza del carril, controlando la temperatura de laminación del carril y el índice de la fuerza de reacción durante la laminación en caliente hasta no menos de determinados valores, causando así que permanezca una determinada cantidad de estructura de austenita no recristalizada predeterminada, y luego realizando un tratamiento térmico dentro de un periodo de tiempo determinado para afinar la estructura perlítica.

25 Los motivos para los intervalos definidos por la invención se explican a continuación. (1) Motivos para los intervalos de contenido definidos para los componentes químicos de la palanquilla de acero para laminación de carriles

C: 0,65 a 1,20%

30 C promueve la transformación perlítica y es un elemento que trabaja eficazmente para establecer resistencia al uso. Cuando el contenido de C es inferior a 0,65%, la fortaleza mínima y la resistencia al uso requeridas por el carril no pueden mantenerse. Cuando el contenido de C excede 1,20%, la resistencia al uso y la ductilidad se reducen en el caso del método de producción de la invención debido a la aparición abundante de estructura de cementita pro-eutectoide gruesa después del tratamiento térmico y después del enfriamiento espontáneo. El contenido de C se define por lo tanto como 0,65 a 1,20%.

35 Cuando el contenido de carbono es mayor que 0,95% o más, la resistencia al uso mejora notablemente de modo que el efecto de prolongar la vida útil del carril se acentúa. En los métodos de producción convencionales, el alto contenido de carbono tiende a promover el crecimiento del grano y por lo tanto a inhibir la ductilidad. En contraste, la presente invención puede explotar los méritos del alto contenido de carbono. Ya que el método de producción de la invención mejora la ductilidad en aceros que tienen un contenido de carbono de 0,95% o más, que convencionalmente han sido deficientes en ductilidad, es particularmente eficaz como método para proporcionar un carril con gran contenido de carbono excelente tanto en resistencia al uso como en ductilidad.

Si: 0,05 a 2,00%

45 Se requiere Si como desoxidante. Si también aumenta la dureza (fortaleza) de la cabeza del carril por solución sólida que fortalece la fase de ferrita en la estructura perlítica. Asimismo, en un acero hipereutectoide, Si inhibe la generación de estructura de cementita pro-eutectoide, inhibiendo así la reducción de ductilidad. Cuando el contenido de Si es menor que 0.05%, estos efectos no se manifiestan cabalmente. Cuando el contenido de Si excede 2,00%, muchos defectos superficiales ocurren durante la laminación en caliente y se reduce la soldabilidad debido a la generación de óxidos. Además, la templabilidad aumenta marcadamente y tiene lugar la estructura de martensita perjudicial para la resistencia al uso y la ductilidad del carril. El contenido de Si se define por lo tanto como de 0,05 a 2,00%.

50 Mn: 0,05 a 2,00%

55 Mn asegura la dureza de la estructura perlítica y mejora la resistencia al uso aumentando la templabilidad y reduciendo el espacio lamelar de la perlita. Cuando el contenido de Mn es inferior a 0,05%, su efecto es ligero, de modo que la resistencia al uso requerida por el carril no puede alcanzarse fácilmente. Cuando el contenido de Mn excede 2,00%, la templabilidad aumenta marcadamente y se produce la estructura de martensita perjudicial para la resistencia al uso y la ductilidad. El contenido de Mn se define por lo tanto como de 0,05 a 2,00%.

5 S bien la presente invención no estipula particularmente los componentes químicos del tocho de acero para laminación en caliente de carriles distinto de C, Si y Mn, el tocho de acero preferiblemente contiene además, según lo requerido, uno o más de Cr: 0,05 a 2,00%, Mo: 0,01 a 0,50%, V: 0,005 a 0,5000%. Nb: 0,002 a 0,0550%. B: 0,0001 a 0,0050%, Co: 0,003 a 2,00%, Cu: 0,01 a 1,00%, Ni: 0,01 – 1,00%, Ti: 0,0050 – 0,0500%, Mg: 0,0005 a 0,0200%, Ca: 0,0005 a 0,0150%, Al: 0,010 a 1,00%, Zr: 0,0001 – 0,2000% y N: 0,0060 a 0,0200%

Cr: 0,05 a 2,00%

10 Cr afina la estructura de la perlita. Por lo tanto contribuye a mejorar la resistencia al uso, ayudando a lograr una alta dureza (fortaleza). Cuando el contenido de Cr es menor que 0,05%, su efecto es ligero. Cuando el contenido de Cr excede 2,00%, tiene lugar la estructura de martensita perjudicial para la resistencia al uso y la ductilidad. El contenido de Cr es por lo tanto preferiblemente de 0,05 a 2,00%.

Mo: 0,01 a 0,50%

15 Mo mejora la dureza de la estructura perlítica (fortaleza). A saber, ayuda a lograr alta dureza (alta fortaleza) afinando la estructura perlítica. Cuando el contenido de Mo es inferior a 0,01%, su efecto es ligero. Cuando el contenido de Mo excede 0,50%, se produce la estructura de martensita perjudicial para la ductilidad. El contenido de Mo es por lo tanto preferiblemente de 0,01 a 0,50%.

V: 0,005 – 0,500%

20 V forma nitruros y carbonitruros, mejorando así la ductilidad, y también mejora eficazmente la dureza (fortaleza). Cuando V está presente en un contenido de menos de 0,005%, no se puede esperar que exhiba suficiente efecto. Cuando el contenido de V excede 0,500%, se observa la aparición de precipitantes gruesos que actúan como puntos de partida de daño por fatiga. El contenido de V es por lo tanto preferiblemente 0,005 – 0,500%.

Nb: 0,002 a 0,050%

25 Nb forma nitruros y carbonitruros, mejorando así la ductilidad, y también mejora eficazmente la dureza (resistencia). Además, estabiliza la estructura de austenita no recristalizada, aumentando el intervalo de temperatura de no recristalización de austenita. Nb es ineficaz en un contenido menor a 0,002%. Cuando el contenido de Nb excede 0,050%, se observa la aparición de precipitantes gruesos que actúan como puntos de partida de daño por fatiga. El contenido de Nb es por lo tanto preferiblemente 0,002 -0,050%.

B: 0,0001 a 0,0050%

30 B uniformiza la distribución de la dureza de la cabeza del carril afinando la cementita pro-eutectoide generada. Por consiguiente, previene la reducción de ductilidad y prolonga la vida útil del carril. Cuando el contenido de B es inferior a 0,0001%, su efecto es inadecuado. Cuando el contenido de B supera 0,0050%, se producen precipitantes gruesos. El contenido de B es por lo tanto preferiblemente de 0,0001 a 0,0050%.

Co: 0,003 a 2,00%

35 Co mejora la dureza (fortaleza) de la estructura perlítica. También afina las finas lamellas de la estructura perlítica formada inmediatamente debajo de la superficie de laminación por contacto de las ruedas con la superficie de uso de la cabeza del carril, mejorando de este modo la resistencia al uso. Co es ineficaz en un contenido menor a 0,003%. Cuando el contenido de Co excede 2,00%, la superficie de laminación experimenta cuarteado. El contenido de Co es por lo tanto preferiblemente 0,003 a 2,00%.

Cu: 0,01 a 1,00%

40 Cu mejora la dureza (fortaleza) de la estructura perlítica. Cu es ineficaz en un contenido menor a 0,01%. Cuando el contenido de Cu excede 1,00%, se produce la estructura de martensita perjudicial para la resistencia al uso. El contenido de Cu es por lo tanto preferiblemente de 0,01 a 1,00%.

Ni: 0,01 a 1,00%

45 Ni asegura una alta dureza (alta fortaleza) del acero perlítico. Cuando el contenido de Ni es inferior a 0,01%, su efecto es mínimo. Cuando el contenido de Ni supera 1,00%, la superficie de laminación experimenta cuarteado. El contenido de Ni es por ende preferiblemente de 0,01 a 1,00%.

Ti: 0,0050 a 0,0500%

50 Ti forma nitruros y carbonitruros, mejorando así la ductilidad, y también mejora eficazmente la dureza (fortaleza). A su vez, estabiliza la estructura de austenita no recristalizada, aumentando el intervalo de temperatura de no recristalización de la austenita. El efecto de Ti es leve en un contenido inferior a 0,0050%. Cuando el contenido de Ti excede 0,0500%, la ductilidad del carril disminuye notablemente debido a la aparición de precipitantes gruesos. El contenido de Ti es por lo tanto preferiblemente de 0,0050 a 0,0500%.

Mg: 0,0005 a 0,0200%

5 Mg mejora la ductilidad de la estructura de la perlita afinando los granos de austenita y la estructura de la perlita. El efecto de Mg es débil en un contenido de menos de 0,0005%. Cuando el contenido de Mg excede 0,0200%, la ductilidad del carril se reduce debido a la aparición de óxidos de Mg gruesos. El contenido de Mg es por lo tanto preferiblemente 0,0005 a 0,0200%.

Ca: 0,0005 a 0,0150%

10 Ca promueve la transformación de perlita y es por lo tanto eficaz para mejorar la ductilidad de la estructura perlítica. El efecto de Ca es débil en un contenido de menos de 0,0005%. Cuando el contenido de Ca supera 0,0150%, la ductilidad del carril se reduce debido a la aparición de óxido de Ca gruesos. El contenido de Ca es por ende preferiblemente 0,0005 a 0,0150%.

Al: 0,010 a 1,00%

15 Al es eficaz para lograr la estructura perlítica de alta fortaleza e inhibir la generación de estructura de cementita pro-eutectoide. El efecto de Al es débil en un contenido de menos de 0,010%. Cuando el contenido de Al excede 1,00%, la ductilidad del carril se reduce debido a la aparición de inclusiones de alúmina gruesas. El contenido de Al es por lo tanto preferiblemente 0,010 a 1,00%.

Zr: 0,0001 a 0,2000%

20 Zr suprime la generación de estructura de cementita pro-eutectoide en regiones de segregación. Cuando el contenido de Zr es inferior a 0,0001%, se produce la estructura de cementita pro-eutectoide y se reduce la ductilidad del carril. Cuando el contenido de Zr excede 0,2000%, la ductilidad del carril se reduce por la aparición abundante de inclusiones de tipo Zr gruesas. El contenido de Zr es por lo tanto preferiblemente de 0,0001 a 0,2000%.

N: 0,0060 a 0,200%

25 N aumenta la ductilidad de la perlita, mientras que también mejora eficazmente la dureza (fortaleza). El efecto de N es débil en un contenido de menos de 0,0060%. Cuando el contenido de N excede 0,0200%, es difícil poner en solución sólida en el acero y forma burbujas que actúan como puntos de partida del daño por fatiga. El contenido de N es por lo tanto preferiblemente de 0,0060 a 0,0200%. El acero del carril contiene N como una impureza en un contenido máximo de alrededor de 0,0050%. La adición intencional de N se requiere entonces para llevar el contenido de N al intervalo anteriormente mencionado.

30 En la presente invención, el tocho de acero para laminación de carriles que tienen la composición anteriormente mencionada se produce con un horno de fusión comúnmente utilizado, tal como un convertidor u horno eléctrico y luego el acero molido se funde como lingote o fundido continuo.

(2) Razón para definir el intervalo de temperatura de laminación en caliente

35 La razón para limitar la temperatura de la laminación en caliente de la superficie de la cabeza del carril en la laminación en caliente de acabado hasta dentro del intervalo establecido en las reivindicaciones se explicará en detalle. Se ha de observar que el tocho de acero para laminación del carril se somete a laminación en caliente basta y laminación en caliente intermedia antes de llevar a cabo la laminación en caliente de acabado.

40 Cuando la laminación en caliente se realiza con la superficie de la cabeza del carril a una temperatura mayor que 900 °C, el índice de la fuerza de reacción requerida durante la laminación en caliente no puede lograrse bajo la reducción acumulativa del área de la cabeza de acuerdo con la presente invención. Esto hace imposible obtener una cantidad adecuada de estructura austenítica no recristalizada, de modo que la estructura perlítica después de la laminación en caliente y el tratamiento térmico no se afina y en consecuencia la ductilidad no mejora. Asimismo, cuando la laminación en caliente se realiza en un intervalo de temperatura inferior al punto de transformación  $Ar_3$  o al punto de transformación  $Ar_{cm}$ , la estructura de ferrita y/o la estructura de cementita gruesa se forma alrededor de la estructura de austenita no recristalizada, de manera que la resistencia al uso y la ductilidad del carril se reducen en gran medida. El intervalo de la temperatura de laminación en caliente de la superficie de la cabeza del carril es por lo tanto no superior a 900 °C y no inferior al punto de transformación  $Ar_3$  o al punto de transformación  $Ar_{cm}$ .

50 A una temperatura de laminación en caliente de acabado inferior a 850 °C, el índice de la fuerza de reacción requerida puede lograrse de forma particularmente fácil para obtener una cantidad adecuada de estructura austenítica no recristalizada, afinar la estructura perlítica post-laminación y tratamiento térmico y mejorar más la ductilidad del carril. La temperatura de laminación en caliente de acabado es preferiblemente controlada hasta menos de 850 °C hasta no menos del punto de transformación  $Ar_3$  o el punto de transformación  $Ar_{cm}$ .

El punto de transformación  $Ar_3$  y el punto de transformación  $Ar_{cm}$  varían con el contenido de carbono y acero y con la composición de la aleación. La mejor manera de determinar el punto de transformación  $Ar_3$  y el punto de transformación  $Ar_{cm}$  es por medición directa en un ensayo de recalentamiento y enfriamiento o similar. No obstante, dicha medición directa no es fácil y basta adoptar el método más simple de lectura de los puntos de transmisión a

partir de un diagrama de equilibrio de Fe-Fe<sub>3</sub>C tal como se muestra en *Tekko Zairo* (Iron and Steel Materials) publicado por Japan Institute of Metals en función exclusivamente del contenido de carbono. La FIG. 1 muestra un ejemplo de un diagrama de equilibrio de Fe-Fe<sub>3</sub>C.

5 El punto de transformación Ar<sub>3</sub> y el punto de transformación Ar<sub>cm</sub> en el sistema de la composición de la presente invención son preferiblemente valores entre 20 y 30 °C debajo de la línea de A<sub>3</sub> y de la línea de Ar<sub>cm</sub> del diagrama de equilibrio. En el intervalo de contenido de carbono de la presente invención, Ar<sub>3</sub> está en el intervalo de aproximadamente 700 °C a 740 °C y Ar<sub>cm</sub> está en el intervalo de aproximadamente 700 °C a 860 °C.

(3) Razón para definir la reducción acumulativa del área de la cabeza del carril

10 Se explicará en detalle la razón para limitar la reducción acumulativa del área de la cabeza del carril laminada en caliente acabada hasta dentro de los intervalos determinados en las reivindicaciones.

15 Cuando la reducción acumulativa del área de la cabeza del carril es menor que 20%, la cantidad de tensión en la estructura de austenita no recristalizada declina, de modo que la estructura de austenita después de la recristalización no se afina dentro del intervalo de temperatura de laminación en caliente de la invención. La estructura de austenita es por lo tanto gruesa. Además, la estructura perlítica no forma la banda de deformación de la estructura de austenita no recristalizada procesada. En consecuencia, la estructura de la perlita es gruesa y la ductilidad del carril no mejora. La reducción acumulativa del área de la cabeza del carril se define por lo tanto como de 20% o mayor.

Se explicará la reducción acumulativa del área de la cabeza del carril.

20 La reducción acumulativa del área es la relación mediante la cual el área de la sección transversal de la cabeza del carril después de la pasada de laminación final se reduce en relación a aquella antes de la primera pasada de laminación en la laminación de acabado. De modo que independientemente de qué pasada o pasadas de la laminación se realicen en el curso de la laminación en caliente de acabado, la reducción acumulativa del área es la misma para la misma combinación de formas transversales de la cabeza en la primera pasada y en la pasada final de la laminación en caliente.

25 Si bien no se fija ningún límite superior en particular en la reducción acumulativa del área de la cabeza del carril laminado en caliente de acabado, el límite superior práctico desde el punto de vista de asegurar la conformabilidad de la cabeza del carril y la precisión dimensional es de aproximadamente 50%.

30 Si bien la invención no determina ningún límite en particular sobre el número de pasadas de laminación o intervalo entre pasadas durante la laminación en caliente de acabado, desde el punto de vista de controlar la recuperación de tensión de los granos de austenita no recristalizados en el curso de la laminación en caliente y de obtener una estructura perlítica fina después del enfriamiento espontáneo y el tratamiento térmico, el número de pasadas es preferiblemente 4 o menos y el intervalo máximo entre las pasadas es preferiblemente 6 segundos o menos.

(4) Razón para definir el índice de fuerza de reacción durante la laminación en caliente de acabado

35 Se explicará en detalle la razón para limitar el índice de fuerza de reacción durante la laminación en caliente de acabado hasta dentro del intervalo establecido en las reivindicaciones.

Cuando el índice de fuerza de reacción durante la laminación en caliente de acabado es inferior a 1,25, no se obtiene una cantidad adecuada de estructura austenítica no recristalizada, la estructura perlítica después del tratamiento térmico no se afina y la ductilidad no mejora. El índice de fuerza de reacción durante la laminación en caliente de acabado se define por lo tanto como no inferior a 1,25.

40 La FIG. 2 resume los resultados de un ensayo de laminación en caliente que usa aceros que contienen 0,65 a 1,20% de carbono. Como se muestra en la FIG. 2, la relación entre el valor obtenido dividiendo la fuerza de reacción del laminador por la fuerza de reacción de laminación en la misma reducción acumulativa del área y una temperatura de laminación de 950 °C, es decir, el índice de fuerza de reacción, y la relación residual de estructura austenítica no recristalizada inmediatamente después de la laminación es lineal, y cuando el índice de la fuerza de reacción excede 1,25, la relación residual de estructura austenítica no recristalizada inmediatamente después de la laminación en caliente excede 30%. En consecuencia, la estructura perlítica después del tratamiento térmico se afina y la ductilidad mejora.

50 El índice de la fuerza de reacción puede por lo tanto usarse como un nuevo parámetro para controlar la relación residual de estructura austenítica no recristalizada como para afinar la estructura perlítica después del tratamiento térmico. Cabe destacar que la relación residual de austenita no recristalizada puede llevarse hasta 50% y más elevando el índice de la fuerza de reacción hasta 1,40 y más. Este efecto es particularmente pronunciado en aceros con alto contenido de carbono, a saber, aceros que tienen un contenido de carbono de 0,95% o superior, en los que la ductilidad es difícil de lograr debido a que el crecimiento del grano ocurre fácilmente con el alto contenido de carbono.

El control del índice de la fuerza de reacción en la presente invención preferiblemente se implementa usando un detector de carga (celda de carga) o similar instalado en el laminador. En un proceso de producción real, el valor promedio del índice de la fuerza de reacción es preferiblemente controlado como un valor representativo, ya que la fuerza de reacción varía en la dirección longitudinal del carril durante la laminación del carril.

- 5 Si bien no se fija un límite superior para el índice de la fuerza de reacción, el límite superior práctico en la temperatura de laminación en caliente y de la invención y en la reducción acumulativa del área de la cabeza del carril es aproximadamente 1,60.

- 10 Si bien no se fija ningún límite inferior en particular sobre la relación residual de la austenita no recristalizada, se establece preferiblemente una relación residual de la cabeza del carril de 30% o más con el fin de mejorar la ductilidad de la cabeza del carril controlando el índice de la fuerza de reacción. Se puede asegurar una excelente ductilidad estableciendo una relación residual de la estructura austenítica no recristalizada de 50% o más. Por consiguiente, en el caso de un acero con alto contenido de carbono de 0,95% o más, en donde la buena ductilidad es difícil de lograr, es preferible establecer una relación residual de estructura de austenita no recristalizada de 50% o mayor. Si bien no se establece ningún límite superior en particular sobre la relación residual de la estructura de austenita no recristalizada, el límite superior práctico en la temperatura y la reducción del área de la invención es de aproximadamente 70%.

- 20 La cantidad de estructura austenítica no recristalizada generada inmediatamente después de la laminación en caliente puede determinarse extinguiendo un carril corto del carril largo inmediatamente después de laminar el carril, es posible revisar la estructura de la austenita, por ejemplo cortando una muestra de la cabeza del carril extinguido, lustrando la muestra y luego atacándola con una mezcla de ácido sulfónico y ácido pícrico. La estructura austenítica no recristalizada puede distinguirse con un microscopio óptico porque es más gruesa y más plana en la dirección de laminación que la estructura austenítica recristalizada.

- 25 La relación residual de la estructura de austenita no recristalizada puede calcularse ajustando la estructura de austenita recristalizada hasta una elipse, determinando el área y calculando la relación a partir de su proporción del área de campo. Si bien los detalles del método de medición no se especifican particularmente, se observan preferiblemente 5 o más campos a una magnificación de 100x o más.

- 30 Si, por ejemplo, la relación residual de la estructura de austenita no recristalizada en la cabeza del carril inmediatamente después de completar la laminación en caliente se mide a una profundidad de 6 mm de la superficie de la cabeza del carril 1 (véase la FIG. 3), el resultado puede adoptarse como típico de la superficie total de la cabeza del carril.

(5) Razón para definir las condiciones de tratamiento térmico de laminación en caliente post-acabado

Se hará primero una explicación detallada de la razón para especificar las condiciones del tratamiento térmico de la superficie de la cabeza del carril laminada en caliente post-acabado. .

- 35 Si bien no se especifica el método de enfriamiento hasta el comienzo del enfriamiento acelerado, es preferible el enfriamiento espontáneo o el enfriamiento gradual. Esto se debe a que el enfriamiento espontáneo o enfriamiento gradual realizado después de la laminación en caliente afina la estructura de la austenita no recristalizada inmediatamente después de la laminación en caliente, promoviendo así el afinamiento del grano de austenita. El enfriamiento espontáneo después de la laminación en caliente al que se hace referencia aquí significa enfriamiento permitido para proceder espontáneamente en aire ambiente sin ningún tratamiento de calentamiento o enfriamiento de ningún tipo. Enfriamiento gradual significa el enfriamiento a una velocidad de enfriamiento de 2 °C/seg. o menos.

Se dará a continuación una explicación respecto de la razón por la cual las condiciones de tratamiento térmico expuestas en las reivindicaciones permiten la mejora uniforme de la ductilidad usando granos de austenita finos obtenidos de estructura austenítica no recristalizada remanente después de la laminación en caliente.

- 45 El tiempo desde la finalización de la laminación en caliente de acabado hasta el comienzo del enfriamiento acelerado preferiblemente es de más de 150 seg. Cuando el enfriamiento acelerado comienza después de más de 150 seg, el crecimiento del grano se acentúa. La estructura de austenita recristalizada a partir de la estructura de austenita no recristalizada por lo tanto se engrosa, haciendo que sea imposible obtener una estructura de austenita fina. En consecuencia, la ductilidad puede reducirse. El tiempo para comenzar el enfriamiento acelerado es preferiblemente definido como dentro de 150 seg. después de la laminación en caliente de acabado.

- 50 Si bien no se establece un límite inferior sobre el intervalo de tiempo entre la finalización de la laminación en caliente de acabado y el comienzo del enfriamiento acelerado, es preferible para la generación completa de la estructura perlítica fina desde el interior de la estructura austenítica no recristalizada realizar el enfriamiento acelerado inmediatamente después de la laminación como para evitar la recuperación de la tensión de la laminación. El límite inferior práctico es por lo tanto aproximadamente 0 a 10 seg. después de completar la laminación en caliente.

- 55 Se explicará a continuación el intervalo de velocidad de enfriamiento acelerado de la superficie de la cabeza del carril. Bajo las condiciones de producción de la presente invención, no se obtiene mejora de la ductilidad a una

- 5 velocidad de enfriamiento acelerado menor que 2 °C/seg. debido a que la estructura de austenita recristalizada se engrosa durante el enfriamiento. Además, la alta dureza de la cabeza del carril no puede lograrse, entonces es difícil asegurar buena resistencia al uso de la cabeza del carril. Asimismo, dependiendo de la composición de acero, pueden tener lugar la estructura de cementita pro-eutectoide y/o de ferrita pro-eutectoide para reducir la resistencia al uso y la ductilidad de la cabeza del carril. Cuando la velocidad de enfriamiento acelerado excede 30 °C/seg., la ductilidad y rigidez de la cabeza del carril disminuyen notablemente bajo las condiciones de producción de la invención debido a la aparición de estructura de martensita. El intervalo de velocidad de enfriamiento acelerado de la superficie de la cabeza del carril se define por ende como 2 a 30 °C/seg.
- 10 Finalmente, se explicará el intervalo de temperatura de enfriamiento acelerado de la superficie de la cabeza del carril. Cuando el enfriamiento acelerado de la cabeza del carril se termina a una temperatura por encima de 550 °C, una gran cantidad de calor recuperativo desde el interior del carril eleva la temperatura después de finalizar el enfriamiento acelerado, incrementando de este modo la temperatura de transformación de la perlita. Como resultado, la resistencia al uso requerida no puede lograrse debido a que la estructura perlítica no puede endurecerse hasta un alto grado. Además, la estructura perlítica se engrosa, de modo que la ductilidad de la cabeza del carril también disminuye. El enfriamiento acelerado se define por lo tanto como de por lo menos 550 °C.
- 15 Si bien la temperatura desde la cual comienza el enfriamiento acelerado de la superficie de la cabeza del carril no se especifica particularmente, el límite inferior práctico de la temperatura de partida es el punto de transformación  $Ar_3$  o el punto de transformación  $Ar_{cm}$ , debido al deseo de inhibir la aparición de estructura de ferrita perjudicial para la resistencia al uso y la estructura de cementita gruesa perjudicial para la rigidez.
- 20 Si bien el límite inferior no se especifica particularmente para la temperatura a la cual se finaliza el enfriamiento acelerado de la cabeza del carril, el límite inferior práctico es 400 °C desde el punto de vista de asegurar la dureza de la cabeza del carril y prevenir la aparición de estructura de martensita que tiene lugar fácilmente en regiones de segregación y similares dentro de la cabeza del carril.
- Se explicarán las regiones del carril.
- 25 La FIG. 3 muestra las designaciones asignadas a las regiones del carril. Como se indica en la FIG. 3, la cabeza del carril de acuerdo con la presente invención tiene una porción situada encima de una línea horizontal que pasa a través de un punto A en donde las extensiones situadas debajo de las superficies de los lados de la cabeza 3 se intersectan, en donde la porción incluye una parte superior de la cabeza del carril 1, vértices de la cabeza 2 y lados de la cabeza 3. La reducción del área durante la laminación en caliente puede calcularse a partir del índice de reducción del área transversal de la región sombreada. En cuanto a la temperatura de la superficie de la cabeza del carril durante la laminación en caliente, es posible, controlando la temperatura de la superficie de la cabeza en la parte superior de la cabeza del carril 1 y los vértices de la cabeza 2, controlar el índice de la fuerza de reacción durante la laminación en caliente y por ende lograr el control del grano de austenita no recristalizado para mejorar la ductilidad del carril.
- 30 La velocidad de enfriamiento acelerado y la temperatura de terminación del enfriamiento acelerado en el tratamiento térmico post-laminación explicado anteriormente pueden medirse en la superficie o dentro de un intervalo profundo de 3 mm debajo de la superficie de la parte superior de la cabeza del carril 1 y los vértices del carril 2 que se muestran en la FIG. 3 para obtener temperaturas típicas de la cabeza del carril como un todo, y una estructura de perlita fina excelente en resistencia al uso y ductilidad puede obtenerse controlando las temperaturas de estas regiones y la velocidad de enfriamiento.
- 35 La velocidad de enfriamiento acelerado y la temperatura de terminación del enfriamiento acelerado en el tratamiento térmico post-laminación explicado anteriormente pueden medirse en la superficie o dentro de un intervalo profundo de 3 mm debajo de la superficie de la parte superior de la cabeza del carril 1 y los vértices del carril 2 que se muestran en la FIG. 3 para obtener temperaturas típicas de la cabeza del carril como un todo, y una estructura de perlita fina excelente en resistencia al uso y ductilidad puede obtenerse controlando las temperaturas de estas regiones y la velocidad de enfriamiento.
- 40 Si bien la presente invención no especifica particularmente el medio de enfriamiento utilizado para el enfriamiento acelerado, es preferible, desde el punto de vista de asegurar una velocidad de enfriamiento predeterminada para controlar confiablemente la condición de enfriamiento en las respectivas regiones del carril, realizar el enfriamiento predeterminado en la superficie externa de las regiones del carril usando aire, niebla o un medio mixto de aire y niebla.
- 45 Si bien la presente invención no define particularmente la dureza de la cabeza del carril, se establece preferiblemente una dureza de Hv 350 o mayor para asegurar la resistencia al uso requerida para uso en un ferrocarril de carga pesada.
- 50 Si bien la estructura metalográfica del carril de acero producido de acuerdo con la presente invención es preferiblemente perlita, se pueden formar cantidades leves de estructura de ferrita pro-eutectoide, estructura de cementita pro-eutectoide estructura de bainita en la estructura perlítica, dependiendo del sistema de componentes seleccionado y de las condiciones de enfriamiento acelerado. No obstante, la aparición de pequeñas cantidades de estas estructuras en la estructura de la perlita no tiene un efecto importante sobre la resistencia a la fatiga y la rigidez del carril. La estructura metalográfica de la cabeza del carril de acero producido de acuerdo con la presente invención se define por lo tanto que incluye casos en los que cierta cantidad de estructura de ferrita pro-eutectoide, estructura de cementita pro-eutectoide y estructura de bainita también están presentes.
- 55

**Ejemplos**

Los ejemplos de la presente invención se explican a continuación.

5 Las composiciones químicas de los aceros de los carriles de ensayo se indican en la Tabla 1. La Tabla 2 muestra las condiciones de laminación en caliente de acabado, los índices de la fuerza de reacción, las relaciones residuales de la cabeza de la estructura de austenita no recristalizada inmediatamente después de la laminación en caliente y las condiciones de tratamiento térmico cuando se usan los aceros de ensayo que se indican en la Tabla 1 (Aceros A a J, O y P) para llevar a cabo la producción mediante el método de producción de carriles de la invención. La Tabla 3 muestra las microestructuras y las durezas a 2 mm bajo la superficie de la cabeza del carril de los carriles producidos bajo las condiciones de la Tabla 2, los estiramientos totales en las pruebas de tracción de sus piezas de prueba tomadas en el lugar que se muestra en la FIG. 4, y los resultados de las pruebas de desgaste realizadas por el método que se muestra en la FIG. 6 en sus piezas de ensayo tomadas en el sitio que se muestra en la FIG. 5. Los valores numéricos en las FIG 4 y 5 se expresan en milímetros (mm) En la FIG. 6, los números de referencia 4, 5 y 6 designan una pieza de prueba de carril, un material de contraparte y una boquilla de enfriamiento, respectivamente.

Tabla 1

15

Acero	Composición química (% en masa)				A <sub>r3</sub> (°C)	A <sub>cm</sub> (°C)
	C	Si	Mn	Cr/Mo/V/Nb/B/Co/ Cu//Ni/Ti/Mg/Ca/Al/Zr/N		
A	0,65	0,25	1,75	Cu: 0,30, Ni: 0,15	740	Ninguno
B	0,75	0,80	0,80	Ti: 0,0150, B: 0,0011, Mo: 0,02	710	Ninguno
C	0,85	0,60	0,85	Co: 0,14	Ninguno	710
D	0,90	0,50	1,05	Nb: 0,01	Ninguno	750
E	0,90	0,10	1,05	Cr: 0,21	Ninguno	760
O	0,95	0,40	0,80		Ninguno	770
P	0,95	0,80	0,80	Cr: 0,50	Ninguno	770
F	1,00	0,50	0,85		Ninguno	790
G	1,00	0,50	0,70	Cr: 0,25, V: 0,02, N: 0,0080	Ninguno	790
H	1,10	1,25	0,50		Ninguno	810
I	1,10	0,70	0,70	Mg: 0,0010, Ca: 0,0015	Ninguno	810
J	1,20	1,85	0,10	Al: 0,05, Zr: 0,0010	Ninguno	860
K	0,50	0,25	1,75	Cu: 0,30, Ni: 0,15	780	Ninguno
L	1,10	2,25	0,50		Ninguno	830
M	0,90	0,50	2,35	Nb: 0,01	Ninguno	750
N	1,35	1,85	0,10	Al: 0,05, Zr: 0,0010	Ninguno	920

Observación: Equilibrio de impurezas inevitables y Fe

Tabla 2

Método de producción	No.	Acero	Condiciones de laminación en caliente de acabado				Relación residual de la cabeza de la estructura de austenita no recristalizada justo después de la laminación (%)	Condiciones de tratamiento térmico			
			Temp. de laminación en caliente (°C)	Reducción acumulativa del área de la cabeza (%)	Índice de fuerza de reacción	Otras condiciones de laminación		Método de enfriamiento desde el final de la laminación hasta el comienzo del calor (seg.)	Tiempo desde el final de la laminación hasta el comienzo del calor (seg.)	Velocidad de enfriamiento acelerado (°C/seg.)	Temp. de enfriamiento acelerado (°C/seg.)
Método de producción de la invención	1	A	850	35	1,35	Pasadas de laminación: 2 Intervalo máximo entre pasadas: 6s	40	Espontáneo			
	2	B	720	25	1,50	Pasadas de laminación: 4 Intervalo máximo entre pasadas: 3s	60	Espontáneo	140	2	540
	3	B	850	25	1,25	Pasadas de laminación: 4 Intervalo máximo entre pasadas: 3s	30	Espontáneo	140	2	540
	4	C	800	30	1,35	Pasadas de laminación: 3 Intervalo máximo entre pasadas: 3s	40	Espontáneo			
	5	C	800	30	1,34	Pasadas de laminación: 3 Intervalo máximo entre pasadas: 3s	40	Espontáneo	100	5	520
	6	C	800	50	1,39	Pasadas de laminación: 3 Intervalo máximo entre pasadas: 3s	50	Espontáneo	100	5	520
	7	O	900	20	1,30	Pasadas de laminación: 4 Intervalo máximo entre pasadas: 4s	35	Espontáneo	70	6	500
	8	D	900	20	1,40	Pasadas de laminación: 4 Intervalo máximo entre pasadas: 1s	50	Espontáneo	70	6	500
	9	E	850	30	1,41	Pasadas de laminación: 3 Intervalo máximo entre pasadas: 5s	50	Gradual 1,5 °C/seg	5	8	480
	10	E	850	30	1,40	Pasadas de laminación: 3 Intervalo máximo entre pasadas: 5s	50	Gradual 1,5 °C/seg	60	8	480
	11	E	850	30	1,42	Pasadas de laminación: 3 Intervalo máximo entre pasadas: 5s	50	Gradual 1,5 °C/seg	120	8	480
	35	O	850	30	1,35	Pasadas de laminación: 3 Intervalo máximo entre pasadas: 2s	45	Espontáneo	50	7	500

ES 2 451 532 T3

Método de producción	No.	Acero	Condiciones de laminación en caliente de acabado				Relación residual de la cabeza de la estructura de austenita no recristalizada justo después de la laminación (%)	Condiciones de tratamiento térmico			
			Temp. de laminación en caliente (°C)	Reducción acumulativa del área de la cabeza (%)	Índice de fuerza de reacción	Otras condiciones de laminación		Método de enfriamiento desde el final de la laminación hasta el comienzo del calor (seg.)	Tiempo desde el final de la laminación hasta el comienzo del calor (seg.)	Velocidad de enfriamiento acelerado (°C/seg.)	Temp. de enfriamiento acelerado (°C/seg.)
	36	O	850	40	1,43	Pasadas de laminación: 3 Intervalo máximo entre pasadas: 2s	55	Espontáneo	50	7	500
	37	P	825	35	1,55	Pasadas de laminación: 3 Intervalo máximo entre pasadas: 3s	65	Espontáneo	10	15	480
	12	F	840	30	1,35	Pasadas de laminación: 1	45	Espontáneo			
	13	F	840	30	1,34	Pasadas de laminación: 1	45	Espontáneo	8	10	420
	14	G	800	50	1,55	Pasadas de laminación: 2 Intervalo máximo entre pasadas: 4s	65	Espontáneo	1	15	520
	15	H	830	30	1,50	Pasadas de laminación: 1	60	Espontáneo	30	15	500
	16	H	830	30	1,40	Pasadas de laminación: 2 Intervalo máximo entre pasadas: 1s	50	Espontáneo	30	15	500
	17	H	830	30	1,35	Pasadas de laminación: 4 Intervalo máximo entre pasadas: 1s	40	Espontáneo	30	15	500
	18	I	820	40	1,45	Pasadas de laminación: 2, Intervalo máximo entre pasadas: 4s	55	Espontáneo	20	20	520
	38	I	820	45	1,60	Pasadas de laminación: 2 Intervalo máximo entre pasadas: 4s	70	Espontáneo	20	20	520
	19	J	870	35	1,34	Pasadas de laminación: 3 Intervalo máximo entre pasadas: 2s	40	Gradual 0,5 °C/seg	5	30	540
	39	J	870	45	1,50	Pasadas de laminación: 3 Intervalo máximo entre pasadas: 2s	60	Gradual 0,5 °C/seg	5	30	540

Tabla 3 (Tabla 2 continuación)

Método de producción	No.	Acero	Propiedades del carril			
			Microestructura de la cabeza (2 mm debajo de la superficie)	Dureza de la cabeza (2 mm debajo de la superficie) (Hv 10 kgf)	Resultado del ensayo de tracción*1	Resultado del ensayo de desgaste*2
					Estiramiento total (%)	Desgaste (g, 700K veces)
Invención	1	A	Perlita	350	21,0	1,32
	2	B	Perlita	370	17,0	1,10
	3	B	Perlita	370	15,2	1,12
	4	C	Perlita	360	13,0	1,18
	5	C	Perlita	390	14,5	1,08
	6	C	Perlita	390	15,5	1,07
	7	D	Perlita	445	14,0	0,98
	8	D	Perlita	445	14,8	0,94
	9	E	Perlita	430	15,5	0,96
	10	E	Perlita	430	14,8	0,92
	11	E	Perlita	430	14,5	0,95
	35	O	Perlita	420	12,0	0,73
	36	O	Perlita	420	13,0	0,71
	37	P	Perlita	460	13,0	0,67
	12	F	Perlita	360	11,5	0,71
	13	F	Perlita	440	13,2	0,58
	14	G	Perlita	480	13,5	0,51
	15	H	Perlita	450	12,5	0,45
	16	H	Perlita	450	12,0	0,41
	17	H	Perlita	450	11,6	0,43
18	I	Perlita	485	11,0	0,35	
38	I	Perlita	485	12,0	0,34	
19	J	Perlita	470	10,2	0,30	
39	J	Perlita	470	10,8	0,28	

\*1: Pieza de ensayo de tracción tomada del sitio que se indica en la FIG. 4.

\*2: Ensayo por el método de la FIG. 6 que usa una pieza de ensayo tomada del sitio que se indica en la FIG. 5.

5

10

La Tabla 4 muestra las condiciones de laminación en caliente de acabado, los índices de fuerza de reacción, las relaciones residuales de la cabeza de la estructura de austenita no recristalizada inmediatamente después de la laminación en caliente, y las condiciones de tratamiento térmico cuando se usan los aceros de prueba que se muestran en la Tabla 1 (Aceros: B a N,) para llevar a cabo la producción de acuerdo con el método de producción de carriles de la invención y con métodos de producción de carriles comparativos. La Tabla 5 muestra las microestructuras y durezas a 2 mm debajo de la superficie de la cabeza del carril de los carriles producidos bajo las condiciones de la Tabla 4, los estiramientos totales en los ensayos de tracción de sus pruebas de ensayo tomadas en el sitio que se indica en la FIG. 4, y los resultados de los ensayos de desgaste realizados por el método que se indica en la FIG. 6 sobre piezas de ensayo tomadas del sitio que se indica en la FIG. 5.

15

Tabla 4

Método de producción	No	Acero	Condiciones de la laminación en caliente de acabado				Relación residual de la cabeza de estructura austenítica no recristalizada justo después de la laminación (%)	Condiciones del tratamiento térmico			
			Temp. de laminación en caliente (°C)	Reducción acumulativa del área de la cabeza (%)	Índice de la fuerza de reacción	Otras condiciones de laminación		Método de enfriamiento desde el final de la laminación hasta el comienzo del tratamiento térmico	Tiempo desde el final de la laminación hasta el comienzo del tratamiento térmico (seg)	Velocidad de enfriamiento acelerado (°C/seg)	Temp de terminación de enfriamiento (°C/seg)
Método de producción de carril comparativo	20	K	800	25	1,33	Pasadas de laminación: 3 Intervalo máximo entre pasadas: 3s	40	Espontáneo	130	6	520
	21	N	930	35	1,30	Pasadas de laminación: 3 Intervalo máximo entre pasadas: 3s	35	Gradual 0,5 °C/seg	60	10	550
	22	L	830	30	1,48	Pasadas de laminación: 1 Intervalo máximo entre pasadas: 1s	60	Espontáneo	30	15	500
	23	M	900	20	1,30	Pasadas de laminación: 4 Intervalo máximo entre pasadas: 4s	35	Espontáneo	70	6	500
	24	B	650 (< punto Ar <sub>3</sub> )	25	1,35	Pasadas de laminación: 4 Intervalo máximo entre pasadas: 3s	45	Espontáneo	140	3	540
	25	J	800 (< punto Ar <sub>cm</sub> )	35	1,25	Pasadas de laminación: 3 Intervalo máximo entre pasadas: 2s	30	Gradual 0,5 °C/seg	5	25	540
	26	E	950	30	1,00	Pasadas de laminación: 3 Intervalo máximo entre pasadas: 5s	0	Gradual 1,5 °C/seg	60	8	480
	27	H	920	30	1,15	Pasadas de laminación: 1 Intervalo máximo entre pasadas: 1s	15	Espontáneo	30	15	500
	28	D	900	12	1,28	Pasadas de laminación: 4 Intervalo máximo entre pasadas: 4s	35	Espontáneo	70	6	500
	29	F	840	5	1,10	Pasadas de laminación: 1	10	Espontáneo	8	6	420

ES 2 451 532 T3

Método de producción	No	Acero	Condiciones de la laminación en caliente de acabado				Relación residual de la cabeza de estructura austenítica no recristalizada justo después de la laminación (%)	Condiciones del tratamiento térmico			
			Temp. de laminación en caliente (°C)	Reducción acumulativa del área de la cabeza (%)	Índice de la fuerza de reacción	Otras condiciones de laminación		Método de enfriamiento desde el final de la laminación hasta el comienzo del tratamiento térmico	Tiempo desde el final de la laminación hasta el comienzo del tratamiento térmico (seg)	Velocidad de enfriamiento acelerado (°C/seg)	Temp de terminación de enfriamiento (°C/seg)
Método de producción del carril de la invención	X	B	720	25	1,58	Pasadas de laminación: 4 Intervalo máximo entre pasadas: 3s	60	Espontáneo	200	3	540
	31	E	850	30	1,40	Pasadas de laminación: 3 Intervalo máximo entre pasadas: 5s	50	Gradual 1,5 °C/seg	180	8	480
Método de producción de carril comparativo	32	I	820	40	1,45	Pasadas de laminación: 2 Intervalo máximo entre pasadas: 4s	55	Espontáneo	20	1	520
	33	C	800	30	1,32	Pasadas de laminación: 3 Intervalo máximo entre pasadas: 3s	40	Espontáneo	100	35	520
	34	G	800	50	1,55	Pasadas de laminación: 2 Intervalo máximo entre pasadas: 4s	65	Espontáneo	1	15	600

Tabla 5 (Tabla 4 continuación)

Método de producción	No.	Acero	Propiedades de los carriles			
			Microestructura de la cabeza (2 mm debajo de la superficie)	Dureza de la cabeza (2 mm debajo de la superficie) (Hv 10 kgf)	Resultado del ensayo de tracción 1	Resultado del ensayo de desgaste*2
					Estiramiento total (%)	Desgaste (g, 700K veces)
Método de producción de carril comparativo	20	K	<u>Perlita + ferrita proeutectoide</u>	325	20,0	1,85 (Estructura irregular y alto desgaste)
	21	N	<u>Perlita + cementita proeutectoide</u>	450	6,5 (Estructura irregular y mal estiramiento)	0,45
	22	L	<u>Perlita + martensita</u>	620	4,5 (Estructura irregular y mal estiramiento)	2,25 (Estructura irregular y alto desgaste)
	23	M	<u>Perlita + martensita</u>	580	5,0 (Estructura irregular y mal estiramiento)	2,15 (Estructura irregular y alto desgaste)
	24	B	<u>Perlita + ferrita proeutectoide</u>	330	18,0	1,80 (Estructura irregular y alto desgaste)
	25	J	<u>Perlita + cementita proeutectoide</u>	470	6,0 (Estructura irregular y mal estiramiento)	0,60
	26	E	Perlita gruesa	430	11,0 (engrosamiento de perlita y mal estiramiento)	0,85
	27	H	Perlita gruesa	450	7,5 (engrosamiento de perlita y mal estiramiento)	0,44
	28	D	Perlita gruesa	445	10,0 (engrosamiento de perlita y mal estiramiento)	0,80
	29	F	Perlita gruesa	440	9,5 (engrosamiento de perlita y mal estiramiento)	0,59
Método de producción del carril de la invención	30	B	Perlita	370	13,0	1,09
	31	E	Perlita	430	12,0	0,85
Método de producción de carril comparativo	32	I	<u>Perlita + cementita proeutectoide</u>	360	6,5 (Estructura irregular y mal estiramiento)	0,70
	33	C	<u>Perlita + martensita</u>	640	4,5 (Estructura irregular y mal estiramiento)	2,30 (estructura irregular y alto desgaste)
	34	G	<u>Perlita gruesa</u>	370	10,0 (Estructura irregular y mal estiramiento)	0,70

\*1: Pieza de ensayo de tracción tomada del sitio que se indica en la FIG. 4.

5 \*2: Ensayo por el método de la FIG. 6 que usa una pieza de ensayo tomada del sitio que se indica en la FIG. 5.

Con respecto a los Ejemplos:

5 (1) Los 26 carriles designados No. 1 a 19, 30, 31 y 35 a 39 son carriles producidos por el método de producción de carriles de la presente invención. Utilizan aceros para carril de composiciones que yacen dentro del intervalo definido por la presente invención y son carriles perlíticos producidos usando laminación en caliente de acabado y condiciones de tratamiento térmico dentro de los intervalos definidos por la invención. Se ha de observar que en la producción de los carriles No. 30 y 31, los tiempos entre la terminación de la laminación y el comienzo del tratamiento térmico estuvieron fuera del intervalo preferido.

(2) Los 13 carriles designados No. 20 a 29 y 32 a 34 son carriles producidos por métodos comparativos, como se explica a continuación.

10 Carriles No. 20 a 23: carriles producidos a partir de aceros para carriles de composiciones que yacen fuera del intervalo anteriormente mencionado que usa condiciones de tratamiento térmico inmediatamente después de la laminación en caliente que yace dentro del intervalo de definido anteriormente.

15 Carriles No. 24 a 29: carriles producidos a partir de aceros para carriles de las composiciones que yacen dentro del intervalo precedentemente mencionado que usa condiciones de laminación en caliente de acabado que yacen fuera del intervalo anteriormente definido.

Carriles No. 32 a 34: carriles producidos a partir de aceros para carriles de composiciones que yacen dentro del intervalo anteriormente mencionado que usa condiciones de tratamiento térmico fuera de los intervalos anteriormente definidos.

20 LA FIG. 7 muestra cómo en los ensayos de tracción de la cabeza del carril se halló que el estiramiento total variaba con el contenido de carbono en los carriles que se muestran en las Tablas 2 y 3 producidos por el método de la invención (carriles de la invención) y en los carriles que se indican en las Tablas 4 y 5 producidos por métodos de producción de carriles comparativos (carriles comparativos). La FIG. 8 indica cómo en los ensayos de desgaste de la cabeza del carril se halló que el desgaste variaba con el contenido de carbono en los carriles que se indican en las Tablas 2 y 3 producidos por el método de producción de la invención y en los carriles que se indican en las Tablas .4 y 5 producidos por métodos de producción de carriles comparativos.

Las condiciones de ensayo fueron las siguientes:

1. Ensayo de tracción de la cabeza del carril

Medidor: máquina de ensayos de tracción universal para la parte superior de mesas de trabajo

Forma de la pieza de ensayo: Similar a JIS No. 4

30 Longitud de sección paralela: 30 mm; diámetro de sección paralela: 6 mm; distancia entre las marcas de medición de estiramiento: 25 mm

Ubicación de muestreo de la pieza de ensayo: 6 mm debajo de la superficie de la cabeza del carril (véase FIG. 4)

Velocidad de deformación por tracción: 10 mm / min; temperatura del ensayo:

temperatura ambiente . (20 °C)

35 2. Ensayo de desgaste

Medidor: Medidor de desgaste Nishihara (véase FIG. 6)

Forma de la pieza de ensayo: pieza de ensayo discoidea (diámetro exterior: 30 mm; espesor: 8 mm)

Sitio de muestreo de la pieza de ensayo: 2 mm debajo de la superficie de la cabeza del carril (véase FIG. 5)

Carga de ensayo: 686 N (presión superficial de contacto: 640 MPa)

40 Deslizamiento: 20%

Material de contrapartida: acero perlítico (Hv 380)

Atmósfera: aire

Enfriamiento: Enfriamiento forzado con aire comprimido (Caudal<sup>1</sup>: 100 NI / min)

Número de repeticiones: 700.000

Como se indica en la Tabla 3, los carriles de la invención No. 5 y 13 fueron marcadamente mejores en ductilidad que los carriles de la invención No. 4 y 12 debido a que además de ser enfriados espontáneamente, fueron dentro de un tiempo predeterminado sucesivo sometidos a enfriamiento acelerado que inhibió el engrosamiento de los granos de austenita recristalizados.

- 5 En el caso de los carriles de la invención No. 36, 38 y 39, el índice de la fuerza de reacción durante la laminación en caliente de acabado fue 1,40 o más, estableciendo así una relación residual de estructura de austenita no recristalizada de 50% o más. En consecuencia, estos carriles mejoraron en gran medida en ductilidad en comparación con los carriles de la invención No. 35, 18 y 19.

- 10 Como se indica en las Tablas 1, 2 y 4, a diferencia de los carriles comparativos No. 20 a 23, los carriles de la invención No. 1 a 19, 30, 31 y 35 a 39 tuvieron contenidos de C, Si y Mn dentro de ciertos intervalos prescritos, de modo que se formó la estructura perlítica excelente en resistencia al uso y ductilidad sin la formación de estructura de ferrita pro-eutectoide, estructura de cementita pro-eutectoide, estructura de martensita y similares, que afectan adversamente la resistencia y ductilidad del carril.

- 15 Como se indica en las Tablas 2 a 5 y en la FIG. 7, a diferencia de los carriles comparativos No. 25 a 29, los carriles de la invención No. 1 a 19 y 35 a 39, se acabaron con laminación en caliente bajo condiciones que yacen dentro de los intervalos especificados, de modo que la estructura de la perlita se formó establemente para mejorar la ductilidad de la cabeza del carril con el mismo contenido de acero al carbono. Asimismo, a diferencia de los carriles comparativos No. 32 a 34, los carriles de la invención No. 1 a 19 y 35 a 39 se trataron con calor bajo condiciones dentro de los intervalos especificados, de modo que la estructura de perlita fina se formó establemente para mejorar más la ductilidad de la cabeza del carril con el mismo contenido de acero al carbono.

- 20 Como se indica en las Tablas 2 a 5 y en la FIG. 8, a diferencia de los carriles comparativos No. 24 y 25, los carriles de la invención No. 1 a 19 y 35 a 39 se acabaron con laminación en caliente bajo condiciones dentro de los intervalos especificados, de modo que la estructura perlítica fina se formó establemente para establecer buena resistencia al uso. Además, a diferencia de los carriles comparativos No. 32 y 33, los carriles de la invención No. 1 a 19 y 35 a 39 se trataron con calor bajo condiciones dentro de los intervalos especificados, de modo que se inhibió la aparición de estructura de cementita pro-eutectoide y estructura de martensita perjudicial para la resistencia al uso.

#### **Aplicabilidad industrial**

- 30 En la producción de un carril para uso en un ferrocarril de carga pesada, la presente invención controla la composición de acero del carril, las condiciones de laminación en caliente de acabado y las subsiguientes condiciones de tratamiento térmico para controlar la estructura de la cabeza del carril, logrando así una dureza dentro de un intervalo prescrito y permitiendo la mejora de la resistencia al uso y la ductilidad. La invención provee por lo tanto un carril con alta utilidad en un ferrocarril de carga pesada.

**REIVINDICACIONES**

5 1. Un método para producir un carril perlítico excelente en resistencia al uso y ductilidad, sometiendo a por lo menos laminación en caliente basta y laminación en caliente de acabado una palanquilla que comprende, en % en masa, C: 0,65-1,20%, Si: 0,05-2,00%, Mn: 0,05-2,00%, opcionalmente uno o más de Cr: 0,05 a 2,00%, Mo: 0,01 a 0,50%, V: 0,005 a 0,5000%, Nb: 0,002 a 0,050%, B: 0,0001 a 0,0050%, Co: 0,003 a 2,00%, Cu: 0,01 a 1,00%, Ni: 0,01 – 1,00%, Ti: 0,0050 – 0,0500%, Mg: 0,0005 a 0,0200%, Ca: 0,0005 a 0,0150%, Al: 0,010 a 1,00%, Zr: 0,0001 – 0,2000%, y N: 0,0060 a 0,0200%, y un remanente de hierro e impurezas inevitables, en donde el método comprende:

10 realizar la laminación en caliente de acabado a una temperatura de superficie de la cabeza del carril no superior a 900 °C hasta no inferior al punto de transformación de  $Ar_3$  y al punto de transformación de  $Ar_{cm}$  para producir una reducción acumulativa del área de la cabeza de no menos de 20% y un índice de la fuerza de reacción, definido como un valor obtenido dividiendo la fuerza de reacción de un laminador por la fuerza de reacción de un laminador en la misma reducción acumulativa del área y una temperatura de reacción de 950 °C, de no menos de 1,25, en donde la relación residual de estructura de austenita no cristalizada inmediatamente después de la laminación en caliente excede 30%, y

15 someter la superficie de la cabeza del carril acabada por laminación en caliente a enfriamiento acelerado o enfriamiento espontáneo a por lo menos 550 °C a una velocidad de enfriamiento de 2 a 30 °C/seg.

20 2. Un método para producir un carril perlítico excelente en resistencia al uso y ductilidad de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el enfriamiento acelerado se inicia dentro de los 150 segundos posteriores a completar la laminación en caliente de acabado.

Fig 1

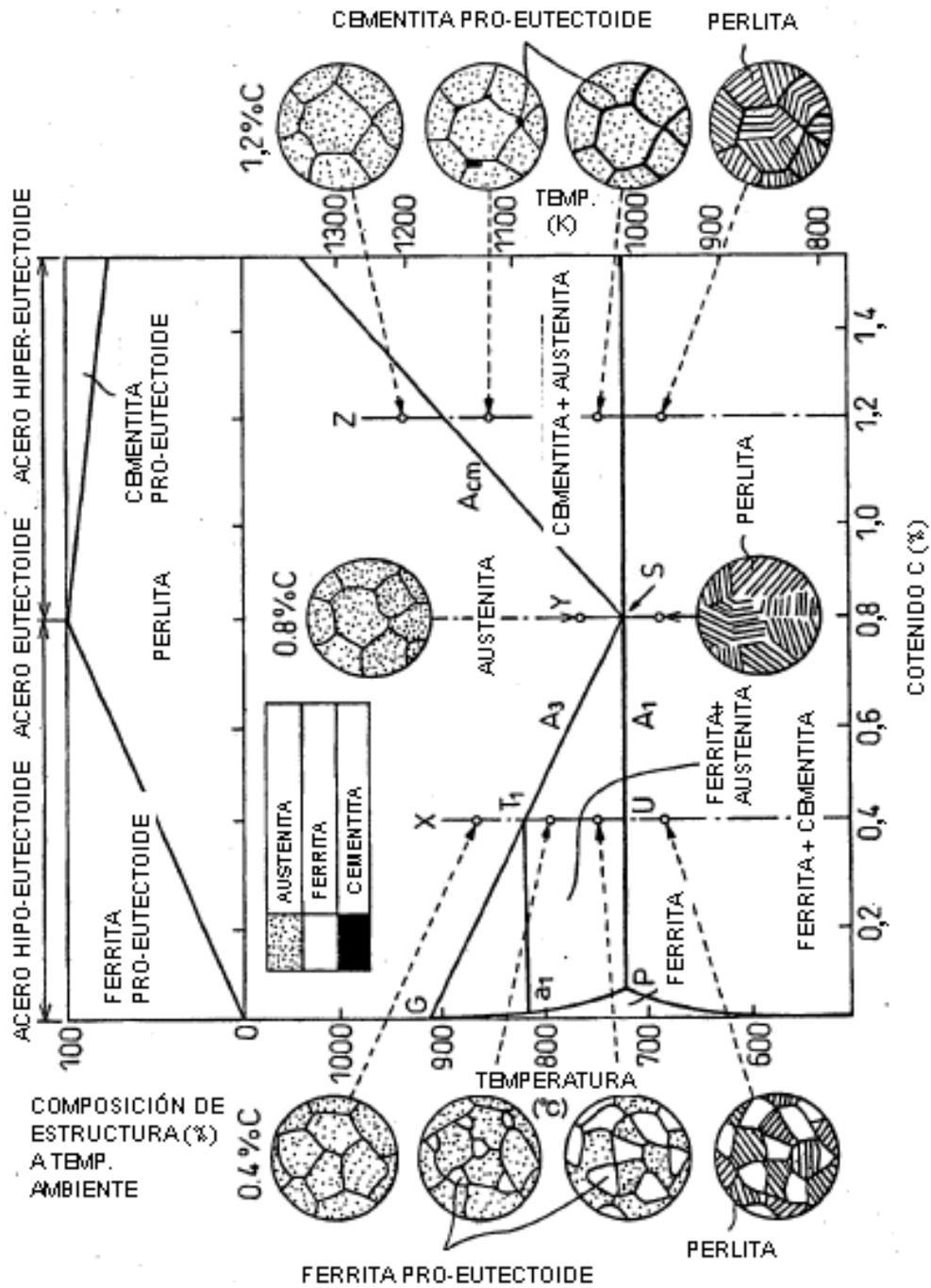


Fig 2

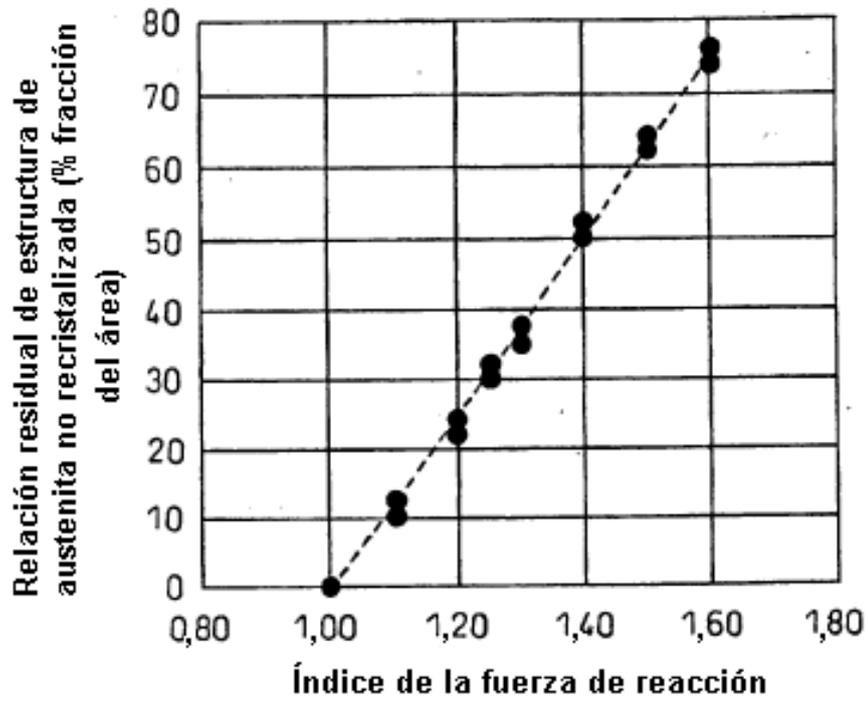


Fig.3

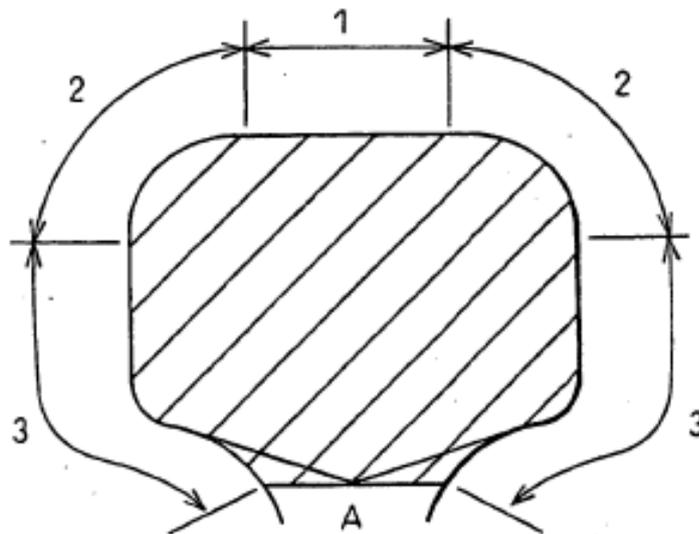


Fig. 4

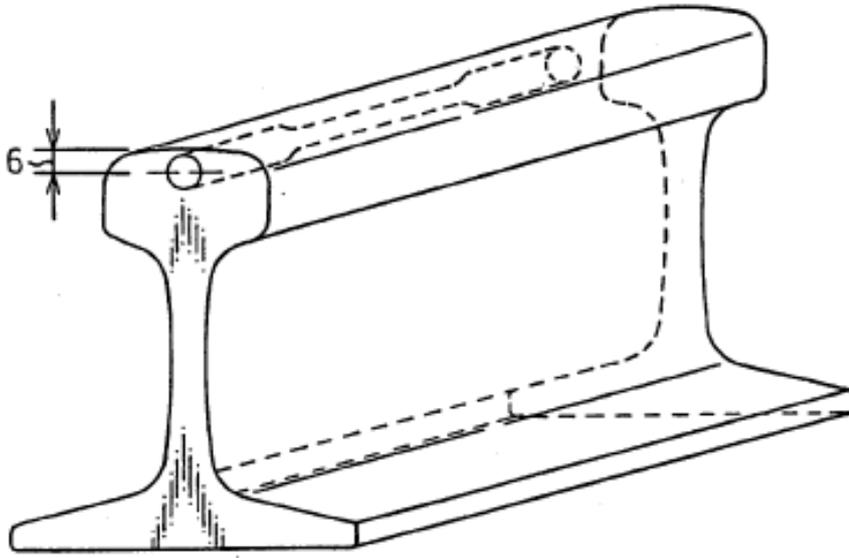


Fig. 5

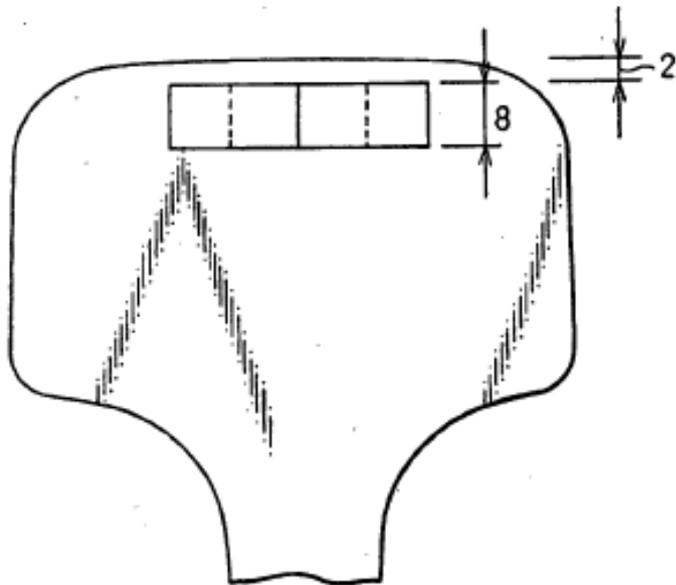




Fig.8

