

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 554 854**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00 (2006.01)

C22C 38/04 (2006.01)

C21D 9/04 (2006.01)

C22C 38/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.01.2010 E 10743487 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.11.2015 EP 2400040**

54 Título: **Raíl perlítico con resistencia al desgaste y tenacidad excelentes**

30 Prioridad:

18.02.2009 JP 2009035472

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

23.12.2015

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;
MOROHOSHI, TAKASHI y
SEKI, KAZUNORI**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 554 854 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

Raíl perlítico con resistencia al desgaste y tenacidad excelentes

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a un raíl perlítico usado para ferrocarriles de mercancías en el extranjero en el que tanto la resistencia al desgaste como la tenacidad se mejoran en la porción de la cabeza.

Antecedentes de la invención

10 Junto con el desarrollo económico, está progresando un nuevo desarrollo de recursos naturales, tales como carbón o similares. Específicamente, está empezando la minería en regiones con un severo medio natural que hasta ahora no se habían desarrollado. Por consiguiente, el medio ambiente de las vías se está volviendo notablemente severo en ferrocarriles de mercancías en el extranjero usados para transportar recursos naturales. Hay una demanda de raíles que tengan tenacidad o similares en regiones con clima frío además de más alta resistencia al desgaste que nunca. En tales circunstancias, hay una demanda para desarrollar raíles que tengan más alta resistencia al desgaste y más alta tenacidad que los actualmente usados raíles de alta resistencia.

15 En general, se sabe que el refinado de la estructura de perlita, específicamente, el refinado de grano en una estructura de austenita que aún se va a transformar en perlita o el refinado de bloques de perlita es efectivo para mejorar la tenacidad de un acero de perlita. Para conseguir el refinado de grano en una estructura de austenita, durante un laminado en caliente, la temperatura de laminado se disminuye y se incrementa la tasa de reducción del laminado y, además, se implementa un tratamiento térmico por recalentamiento a baja temperatura después del laminado en caliente de los raíles. Además, para conseguir el refinado de una estructura de perlita, la transformación a perlita comenzando desde dentro de los granos de austenita se acelera utilizando núcleos de transformación o similares.

20 Sin embargo, en la fabricación de raíles, desde el punto de vista de asegurar la conformabilidad durante el laminado en caliente, hay limitaciones en la disminución de la temperatura de laminado y un incremento en la tasa de reducción de laminado; y por lo tanto, no se pudo conseguir suficiente refinado de granos de austenita. Además, con respecto a la transformación a perlita desde el interior de granos de austenita mediante la utilización de núcleos de transformación, hay problemas por el hecho de que la cantidad de núcleos de transformación es difícil de controlar, y la transformación a perlita desde el interior de los granos no es estable; y de este modo, no se pudo lograr suficiente refinado de una estructura de perlita.

25 Debido a estos problemas, se ha aplicado un método para mejorar sustancialmente la dureza de los raíles que tienen una estructura de perlita en los que se efectúa un recalentamiento de baja temperatura después de laminar en caliente un raíl, y a continuación se realiza la transformación a perlita por enfriamiento acelerado para refinar una estructura de perlita. Sin embargo, recientemente, se han hecho raíles que incluyen un alto contenido en carbono para mejorar la resistencia al desgaste; y por lo tanto, hay un problema por el hecho de que los carburos gruesos permanecen dentro de los granos de austenita durante el anteriormente descrito tratamiento de recalentamiento a baja temperatura, lo que disminuye la ductilidad y la tenacidad de una estructura de perlita después del enfriamiento acelerado. Además, dado que este método incluye recalentamiento, hay otro problema con respecto a la eficiencia económica, tal como un alto coste de fabricación, una baja productividad o similares.

30 En consecuencia, hay una demanda para desarrollar un método para fabricar un raíl de acero de alto contenido en carbono que asegure la conformabilidad durante el laminado en caliente y refine la estructura de perlita después del laminado en caliente. Para resolver este problema, se han desarrollado métodos para la fabricación de un raíl de acero de alto contenido en carbono mostrado a continuación. Las principales características de esos métodos para fabricar un raíl son que el siguiente hallazgo se utiliza para perfeccionar la estructura de perlita; y el hallazgo es que los granos de austenita en un acero de alto contenido en carbono son fácilmente recristalizados a temperaturas relativamente bajas e incluso con una pequeña tasa de reducción del laminado. Como resultado, se obtienen granos finos con diámetros de grano similares por laminado continuo con una pequeña tasa de reducción de laminado; y de este modo, se mejora la ductilidad y la tenacidad de un acero de perlita (por ejemplo, Documentos de patente 1, 2 y 3).

35 En una tecnología descrita por el Documento de patente 1, se efectúan 3 o más pasos continuos de laminado con un intervalo de tiempo predeterminado en el laminado de acabado de un raíl de acero de alto contenido en carbono; y por lo tanto, se proporciona un raíl que tiene una alta ductilidad.

40 En una tecnología descrita por el Documento de patente 2, se efectúan dos o más pasos continuos de laminado con un intervalo de tiempo predeterminado en el laminado de acabado de un raíl de acero de alto contenido en carbono, y además, se efectúa un enfriamiento acelerado después del laminado continuo. Como resultado, se puede proporcionar un raíl que tiene una superior resistencia al desgaste y alta tenacidad.

45 En una tecnología descrita por el Documento de patente 3, se efectúa el enfriamiento entre los pasos de laminado en el laminado de acabado de un raíl de acero de alto contenido en carbono, y se efectúa un enfriamiento acelerado después del laminado continuo. Como resultado, se puede proporcionar un raíl que tiene una superior resistencia

superior al desgaste y alta tenacidad.

Las tecnologías descritas por los Documentos de patente 1 a 3 pueden conseguir el refinado de una estructura de austenita a un cierto nivel y exhibir una ligera mejora de tenacidad por la combinación de la temperatura, el número de pasos de laminado, y el intervalo de tiempo entre los pasos durante el laminado en caliente continuo. Sin embargo, hay un problema por el hecho de que estas tecnologías no exhiben ningún efecto con respecto a la fractura que comienza desde las inclusiones presentes en el interior del acero; y de este modo, la tenacidad no se mejora fundamentalmente.

Considerando estas circunstancias, se ha estudiado la adición de Ca, la reducción del contenido de oxígeno, y la reducción del contenido de Al para suprimir la generación de inclusiones típicas en los raíles, es decir, MnS o Al_2O_3 . Las características de estos métodos de fabricación son que el MnS se cambia a CaS añadiendo Ca en el tratamiento preliminar del metal caliente para que se vuelva inofensivo, y además, el contenido de oxígeno se reduce tanto como sea posible añadiendo elementos desoxidantes o aplicando un tratamiento de vacío para reducir la cantidad de inclusiones en el acero fundido, y tecnologías que han sido estudiadas (por ejemplo, Documentos de patente 4, 5 y 6).

La tecnología en el Documento de Patente 4 describe un método para fabricar un acero fundido de gran pureza de alto contenido en carbono desoxidado con silicio en el que se optimiza la cantidad añadida de Ca para fijar el S como CaS; y por lo tanto, se reduce la cantidad de inclusiones basadas en MnS elongadas. En esta tecnología, el S que se segrega y se concentra en un proceso de solidificación reacciona con Ca que se segrega de manera similar y se concentra o se genera silicato de calcio en el acero fundido; y por lo tanto, el S se fija de forma secuencial como CaS. Como resultado, se suprime la generación de inclusiones de MnS elongadas.

La tecnología en el Documento de Patente 5 describe un método para fabricar un acero fundido de gran pureza de alto contenido en carbono en el que se reduce la cantidad de inclusiones de MnO; y de este modo, se reduce la cantidad de inclusiones de MnS elongadas precipitadas a partir de MnO. En esta tecnología, un acero se sangra en un estado no desoxidado o débilmente desoxidado después de haber sido fundido en un horno de refinado atmosférico, y a continuación se efectúa un tratamiento de vacío a un grado de vacío de 1 Torr o menos para hacer que el contenido de oxígeno disuelto esté en un intervalo de 30 ppm o menos. A continuación, se añaden Al y Si, y a continuación se añade Mn. De este modo, se reduce el número de productos secundarios de desoxidación que se convertirán en núcleos de cristalización de MnS que cristaliza en porciones finalmente solidificadas, y se disminuye la concentración de MnO en los óxidos. De este modo se suprime la cristalización de MnS.

La tecnología en el Documento de Patente 6 describe un método para fabricar un acero fundido de gran pureza de alto contenido en carbono con cantidades reducidas de oxígeno y Al en el acero fundido. En esta tecnología, se puede fabricar un raíl que tiene superior resistencia al deterioro limitando la cantidad total de oxígeno basado en la relación entre el valor de oxígeno total en las inclusiones basadas en óxido y la propiedad de deterioro. Además, la resistencia al deterioro de los raíles se puede mejorar adicionalmente limitando la cantidad de Al disuelto en el sólido o la composición de inclusiones en un intervalo preferible.

Las tecnologías descritas anteriormente descritas en los Documentos de patente de 4 a 6 controlan las configuraciones y cantidades de MnS e inclusiones basadas en Al generadas en una etapa de tocho. Sin embargo, la configuración de inclusiones se altera durante el laminado en caliente en el laminado de raíles. En particular, las inclusiones basadas en sulfuro de Mn elongadas en la dirección longitudinal por el laminado actúan como puntos de partida de fractura en raíles; y por lo tanto, hay un problema por el hecho de que la tenacidad de los raíles no se puede mejorar de forma estable en el caso en que sólo se controlan las inclusiones en la etapa de tocho.

En tales circunstancias, se ha vuelto deseable proporcionar un raíl perlítico que tiene superior resistencia al desgaste y tenacidad en el que se mejoran tanto la resistencia al desgaste como la tenacidad de una estructura de perlita.

Documentos de la técnica anterior

Documentos de patente

Documento de patente 1: Publicación de solicitud de patente japonesa sin examinar No. H07-173530

Documento de patente 2: Publicación de solicitud de patente japonesa sin examinar No. 2001-234238

Documento de patente 3: Publicación de solicitud de patente japonesa sin examinar No. 2002-226915

Documento de patente 4: Publicación de solicitud de patente japonesa sin examinar No. H05-171247

Documento de patente 5: Publicación de solicitud de patente japonesa sin examinar No. H05-263121

Documento de patente 6: Publicación de solicitud de patente japonesa sin examinar No. 2001-220651

El documento CN1793402A describe un acero de raíl que contiene C: de 0,70 a 0,95%, Si: de 0,20 a 1,10%, Mn: de

0,50 a 1,50%, V: de 0,01 a 0,20%, Cr: de 0,15 a 1,20%, P: 0,035% o menos, S: 0,035% o menos, y Al: 0,005% o menos. Según este documento, el V es un elemento de fortalecimiento de la precipitación para mejorar la dureza y la resistencia del acero de raíl, y en el caso en el que el contenido de V sea menor de 0,01%, no se obtiene el efecto anterior.

- 5 El documento JP52-101624A describe un raíl que contiene C: de 0,3 a 1,0%, Si: de 0,05 a 1,0%, Mn: de 0,2 a 2,0%, Cu: de 0,05 a 0,5%, uno o ambos de Ti y Zr: de 0,01 a 0,1%, uno o ambos de Ca y REM: 0,05% o menos. Este documento describe que el Cu junto con Ti y Zr tienen un efecto de dispersar finamente MnS, y en el caso en el que el contenido de Cu sea menor de 0,05%, no se obtiene el efecto anterior.

Descripción de la invención

- 10 Problemas a resolver por la invención

La presente invención se ha realizado en consideración de los problemas anteriores, y el objeto de la presente invención es proporcionar un raíl perlítico en el que tanto de la resistencia al desgaste como la tenacidad se mejoran en la porción de la cabeza que se demandan particularmente como raíl para ferrocarriles de mercancías en el extranjero.

- 15 Medios para resolver los problemas

20 El raíl perlítico según la presente invención tiene una composición de acero que consiste en: en cuanto a porcentaje en masa, C: de 0,65% a 1,20%; Si: de 0,05% a 2,00%; Mn: de 0,05% a 2,00%; y REM: de 0,0005% a 0,0500%, S: de 0,0020% a 0,0200%, opcionalmente uno o más seleccionado de Ca: de 0,0005% a 0,0150%, Al: de 0,0040% a 0,50%, Co: de 0,01% a 1,00%, Cr: de 0,01% a 2,00%, Mo: de 0,01% a 0,50%, Nb: de 0,002% a 0,050%, B: de 0,0001% a 0,0050%, Ni: de 0,01% a 1,00%, Ti: de 0,0050% a 0,0500%, Mg: 0,0005% a 0,0200%, Zr: de 0,0001% a 0,2000%, y N: de 0,0060 a 0,0200%; siendo el resto Fe e impurezas inevitables, en el que, entre una porción de la cabeza del raíl, en una porción de la superficie de la cabeza que se extiende desde las superficies de las porciones de la esquina de la cabeza y una porción superior de la cabeza hasta una profundidad de 10 mm o en una porción que se extiende desde las superficies de las porciones de la esquina de la cabeza y la porción superior de la cabeza hasta una profundidad de 20 mm, el 95% o más de la estructura metalográfica es una estructura de perlita, y la dureza Hv de la porción de la superficie de la cabeza está en un intervalo de 320 a 500.

Aquí, la Hv se refiere a la dureza Vickers definida por la JIS B7774.

30 En el raíl perlítico según la presente invención, un valor medio de las relaciones (L/D) de las longitudes (L) del lado largo a longitudes (D) del lado corto de inclusiones basadas en sulfuro de Mn observadas en una sección transversal arbitraria tomada de una porción que se extiende desde la superficie de la porción superior de la cabeza hasta una profundidad de 3 mm a 10 mm a lo largo de una dirección longitudinal de la estructura de perlita está preferentemente en un nivel de 5,0 o menor.

35 El acero puede incluir adicionalmente inclusiones basadas en sulfuro de Mn que tienen longitudes del lado largo (L) en un intervalo de 1 μm a 50 μm presentes en una cantidad por unidad de área en un intervalo de 10/mm² a 100/mm² en una sección transversal arbitraria tomada a lo largo de la dirección longitudinal de la estructura de perlita.

Efectos de la invención

40 Según la presente invención, los componentes, microestructura, y dureza de un acero de un raíl están controlados, y además, se añade REM. De este modo, la resistencia al desgaste y la dureza de una estructura de perlita se mejoran; y como resultado, es posible mejorar el periodo utilizable (vida útil) de un raíl, en particular, para los ferrocarriles de mercancías en el extranjero (ferrocarriles de mercancías en el extranjero). Además, en el caso en el que el número de inclusiones basadas en sulfuro de Mn esté controlado controlando las configuraciones de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn y reduciendo la cantidad añadida de S, es posible mejorar adicionalmente la tenacidad de la estructura de perlita; y como resultado, es posible mejorar adicionalmente el periodo utilizable.

- 45 **Breve descripción de los dibujos**

La FIG. 1 es una vista que muestra las designaciones nominales de porciones en una sección transversal (una sección transversal perpendicular a la dirección longitudinal) del acero de raíl según la presente invención.

50 La FIG. 2 es una vista que muestra la relación entre el valor medio de las relaciones (L/D) de las longitudes (L) del lado largo a las longitudes (D) del lado corto de inclusiones basadas en sulfuro de Mn y el valor del impacto que son resultados obtenidos sometiendo aceros en los que la cantidad de carbono es 1,00% y se añade adicionalmente REM a un ensayo de laminado de laboratorio que simula equivalentes condiciones de laminado para raíles, y efectuando un ensayo de impacto.

La FIG. 3 es una vista que muestra la localización de la observación de inclusiones basadas en sulfuro de Mn en el acero de raíl según la presente invención.

La FIG. 4 es una vista que muestra la localización en la que se toman las muestras para el ensayo de desgaste mostrado en las tablas 4 a 9.

La FIG. 5 es una vista que muestra la descripción del ensayo de desgaste mostrado en las Tablas 4 a 9.

5 La FIG. 6 es una vista que muestra la localización de la que se toman las muestras para el ensayo de impacto mostrado en las Tablas 4 a 9.

La FIG. 7 es una vista que muestra la relación entre la cantidad de carbono y la cantidad de desgaste en los resultados del ensayo de desgaste de los aceros de raíl nos. 1 a 43 y aceros de raíl de los ejemplos (Aceros nos. 44, 46, 47, 48, 49, 62, 64, y 65).

10 La FIG. 8 es una vista que muestra la relación entre la cantidad de carbono y el valor del impacto en los resultados del ensayo de impacto de los aceros de raíl nos. 1 a 43 y aceros de raíl de los ejemplos comparativos (Aceros nos. 45, 47, 49, 63, 64 y 66).

15 La FIG. 9 es una vista que muestra la relación entre la cantidad de carbono y el valor del impacto en los resultados del ensayo de impacto de aceros de raíl nos. 1 a 43 y aceros de raíl de los ejemplos comparativos (Aceros nos. 50 a 61, y raíles en los que las cantidades añadidas de REM están fuera del intervalo limitado), que se muestran en las Tablas 1 a 3.

La FIG. 10 es una vista que muestra la relación entre la cantidad de carbono y el valor del impacto en los resultados del ensayo de impacto de aceros de raíl según la presente invención (Aceros nos. 9 a 11, 14 a 16, 20 a 22, 25 a 27, 32 a 34, y 41 a 43), que se muestran en las Tablas 1 a 3.

Mejor modo de llevar a cabo la invención

20 De aquí en adelante se describirán raíles perlíticos con excelente resistencia al desgaste y tenacidad como realizaciones de la presente invención. De aquí en adelante, las masas en las composiciones se expresarán simplemente como “%”.

25 La FIG. 1 es una sección transversal perpendicular a la dirección longitudinal del raíl perlítico con excelente resistencia al desgaste y tenacidad según la presente invención. Una porción 3 de la cabeza del raíl incluye una porción 1 superior de la cabeza y porciones 2 de la esquina de la cabeza situadas a ambos extremos de la porción 1 superior de la cabeza. Una de las porciones 2 de la esquina de la cabeza es una porción de esquina de medida (G.C.) que principalmente entra en contacto con las ruedas.

30 Una porción que se extiende desde las superficies de las porciones 2 de la esquina de la cabeza y la porción 1 superior de la cabeza hasta una profundidad de 10 mm se denomina una porción de la superficie de la cabeza (referencia numérica: 3a, el área de la línea continua). Además, una porción que se extiende desde las superficies de las porciones 2 de la esquina de la cabeza y la porción 1 superior de la cabeza hasta una profundidad de 20 mm se señala con un número de referencia 3b (el área de la línea discontinua).

35 Al principio, los inventores de la presente invención determinaron el mecanismo de generación de inclusiones basadas en sulfuro de Mn elongadas en la dirección longitudinal que tienen una influencia adversa en la dureza del raíl. En un procedimiento de laminado de un raíl, se recalienta un tocho hasta una temperatura en el intervalo de 1.200°C a 1.300°C, y a continuación el tocho se somete a laminado en caliente. Se investigó la relación entre estas condiciones de laminado y la configuración del MnS. Como resultado se observó que, en el caso en el que la temperatura de laminado era alta o en el caso en el que la tasa de reducción del laminado era alta durante el laminado, ocurrió fácilmente la deformación plástica de las inclusiones blandas basadas en sulfuro de Mn; y de este modo, las inclusiones basadas en sulfuro de Mn se alargaron fácilmente en la dirección longitudinal del raíl.

40 A continuación, los inventores estudiaron métodos para suprimir la elongación de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn. Como resultado de los experimentos de laminado en caliente de raíles en los que se variaron las temperaturas de laminado y las tasas de reducción del laminado durante el laminado en caliente, se confirmó que la elongación de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn se podría suprimir rebajando la temperatura de laminado. Sin embargo, en el procedimiento de laminado del raíl, la disminución de la temperatura de laminado hace difícil asegurar la conformabilidad; y por lo tanto, se hizo evidente que es difícil suprimir la elongación controlando la temperatura de laminado.

50 En vista de estas circunstancias, los inventores estudiaron métodos para suprimir la elongación de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn mismas. Se efectuaron varios ensayos de fusión y experimentos de laminado en caliente en los que se variaron de diferentes maneras las configuraciones del MnS generado. Como resultado, se confirmó que la elongación se podría suprimir endureciendo las inclusiones que actuaban como núcleos de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn.

Además, los inventores estudiaron inclusiones duras que actuaban como los núcleos de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn durante el laminado en caliente. Como resultado de los experimentos de laminado en caliente usando

óxidos con altos puntos de fusión, se encontró que los oxisulfuros de REM con altos puntos de fusión (REM_2O_2S) tenían una alta consistencia con inclusiones basadas en sulfuro de Mn; y de este modo, las inclusiones basadas en sulfuro de Mn se generaron eficientemente usando los oxisulfuros como núcleos.

5 A continuación, los inventores realizaron ensayos de fusión y experimentos de laminado en caliente de aceros que incluyen REM. Como resultado, se confirmó que las inclusiones basadas en sulfuro de Mn generadas de los núcleos de oxisulfuros de REM raramente eran elongadas después del laminado en caliente; y consecuentemente, disminuyó el número (cantidad) de inclusiones basadas en sulfuro de Mn elongadas en la dirección longitudinal. Además, como resultado de los ensayos de impacto usando estos aceros, se confirmó que, con respecto a aceros en los que se añadió REM y el número de inclusiones elongadas basadas en sulfuro de Mn era pequeño, disminuyó el número de puntos de partida para la fractura; y como resultado, mejoraron los valores de impacto.

10 Además, para suprimir adicionalmente la elongación de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn, los inventores estudiaron métodos para dispersar finamente oxisulfuros de REM por medio de ensayos de fusión y experimentos de laminado en caliente. Como resultado, se confirmó que, ajustando las condiciones de desoxidación cuando se añade REM, los oxisulfuros de REM se dispersaron finamente; y consecuentemente, se podía controlar la configuración de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn después del laminado en caliente.

15 Además del control de la configuración de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn, los inventores estudiaron si la tenacidad mejoraba o no en el caso en el que se redujo el número (cantidad) total de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn disminuyendo la cantidad de S añadida. Se realizaron experimentos de ensayo de fusión y laminado en caliente usando aceros en los que se añadió REM y se varió la cantidad de S añadida. Como resultado, se confirmó que en el caso en el que el número (cantidad) de inclusiones basadas en sulfuro de Mn se redujo disminuyendo la cantidad añadida de S, se redujo drásticamente el número de puntos de partida para la fractura; y de este modo, mejoraron adicionalmente los valores de impacto.

20 Los inventores realizaron un ensayo de fusión de aceros experimentales añadiendo REM a aceros que incluyen carbono con un contenido de 1,00%. A continuación, los inventores efectuaron un ensayo de laminado de laboratorio que simulaba las condiciones de laminado en caliente equivalentes para railes. A continuación, los inventores realizaron un ensayo de impacto, e investigaron el efecto de las relaciones (L/D) de las longitudes (L) del lado largo a las longitudes (D) del lado corto de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn sobre los valores de impacto. Aquí, la dureza de los materiales se estableció en un nivel de HV de 400 controlando las condiciones de tratamiento térmico.

25 La FIG. 2 muestra la relación entre el valor medio de las relaciones (L/D) de las longitudes (L) del lado largo a las longitudes (D) del lado corto de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn y el valor de impacto con respecto a aceros que incluyen carbono en una cantidad de 1,00%. Ajustando las condiciones de desoxidación mientras se añade REM, el valor medio de las relaciones (L/D) de las longitudes (L) del lado largo a las longitudes (D) del lado corto de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn que se observan en una sección transversal arbitraria tomada a lo largo de la dirección longitudinal se convierte en un intervalo de 5,0 o menos, y se mejoran los valores de impacto. Además, en el caso en el que la cantidad añadida de S se reduce, se reduce el número (cantidad) de inclusiones basadas en sulfuro de Mn, y se reduce drásticamente el número de puntos de inicio para la fractura. Como resultado, se mejoran adicionalmente los valores de impacto.

30 De los resultados de estos ensayos de material, se confirmó que, para mejorar la tenacidad de aceros de raíl de alto contenido de carbono con excelente resistencia al desgaste, el control de la configuración de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn, esto es, una adición de REM era efectiva. Además, se encontró recientemente que había un intervalo óptimo de la configuración de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn formadas utilizando REM como núcleos para mejorar la tenacidad, y además, se encontró también que la tenacidad se mejoró adicionalmente reduciendo la cantidad añadida de S.

35 Esto es, en la presente invención, se añade REM a un raíl de acero de alto contenido de carbono; y de este modo, se mejoran la resistencia al desgaste y la tenacidad de una estructura de perlita. Como resultado, particularmente, se hace posible mejorar el periodo utilizable (vida útil) del raíl para ferrocarriles de mercancías en el extranjero. Además, la configuración de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn se controla, y además, se controla el número (cantidad) de inclusiones basadas en sulfuro de Mn reduciendo la cantidad añadida de S. Como resultado, se mejora la tenacidad de la estructura de perlita. De este modo, la presente invención proporciona un raíl perlítico para el propósito de mejorar un periodo utilizable (vida útil) del raíl.

40 A continuación, se describirán con detalle las razones por las que la presente invención está limitada (con respecto a las características). Aquí a continuación "% en masa" en composiciones se denominará simplemente "%".

(1) Las razones por las que los componentes químicos están limitados

45 Las razones por las que los componentes químicos de aceros de raíl están limitados dentro de los intervalos numéricos anteriormente descritos en el raíl perlítico según la presente invención se describirán con detalle.

50 El C es un elemento efectivo que acelera la transformación a perlita y asegura la resistencia al desgaste. En los casos en los que la cantidad de C es menor de 0,65%, no es posible mantener el nivel mínimo de resistencia o

resistencia al desgaste que se requiere para raíles. Además, en el caso en el que la cantidad de C exceda de 1,20%, se genera una gran cantidad de estructura gruesa de cementita proeutectoide; y de este modo, se degrada la resistencia al desgaste y la tenacidad. Por lo tanto, la cantidad de C está limitada a estar en un intervalo de 0,65% a 1,20%. Aquí, es preferible que la cantidad de C esté en un nivel de 0,90% o más para asegurar suficientemente la resistencia al desgaste.

El Si es un elemento esencial como material desoxidante. Además, el Si es un elemento que incrementa la dureza (resistencia) de una porción de la cabeza del raíl por endurecimiento de la disolución sólida en la fase de ferrita en una estructura de perlita. Además, el Si es un elemento que suprime la generación de estructura de cementita proeutectoide en un acero hipereutectoide; y de este modo, se suprime una disminución de la tenacidad. Sin embargo, en el caso en el que la cantidad de Si es menor de 0,05%, no es posible esperar suficientemente tales efectos. Además, en el caso en el que la cantidad de Si exceda de 2,00%, se genera una gran cantidad de defectos de superficie durante el laminado en caliente, y se degrada la soldabilidad debido a la generación de óxidos.

Además, la endurecibilidad se incrementa notablemente, y se genera una estructura de martensita que es perjudicial para la resistencia al desgaste y tenacidad del raíl. Por lo tanto, la cantidad de Si está limitada a estar en un intervalo de 0,05% a 2,00%. Aquí, es preferible que la cantidad de Si esté en un intervalo de 0,25% a 1,25% para asegurar la endurecibilidad y suprimir la generación de estructura de martensita que es perjudicial para la resistencia al desgaste y tenacidad.

El Mn es un elemento que incrementa la endurecibilidad y refina el espaciado laminar de la perlita; y de este modo, se asegura la dureza de la estructura de perlita y se mejora la resistencia al desgaste. Sin embargo, en el caso en el que la cantidad de Mn es menor de 0,05%, tales efectos se vuelven pequeños, y se hace difícil asegurar la resistencia al desgaste necesaria para el raíl. Además, en el caso en el que la cantidad de Mn excede de 2,00%, la endurecibilidad se incrementa notablemente, y la estructura de martensita es fácil de generar lo que es perjudicial para la resistencia al desgaste y la tenacidad. Por lo tanto, la cantidad añadida de Mn está limitada a estar en un intervalo de 0,05% a 2,00%. Aquí, es preferible que la cantidad de Mn esté limitada a estar en un intervalo de 0,05% a 2,00%. Aquí, es preferible que la cantidad de Mn esté en un intervalo de 0,20% a 1,35% para asegurar la endurecibilidad y suprimir la generación de estructura de martensita que es perjudicial para la resistencia al desgaste y tenacidad.

El REM es un elemento desoxidante y desulfurante, y añadiendo REM, se generan oxisulfuros de REM (REM_2O_2S), y estos actúan como núcleos para la generación de inclusiones basadas en sulfuro de Mn. Además, dado que el punto de fusión de los oxisulfuros (REM_2O_2S) que actúan como núcleos es alto, el REM es un elemento que suprime la elongación de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn después del laminado. Sin embargo, en el caso en el que la cantidad de REM es menor de 0,0005%, los efectos son pequeños, y el REM no puede actuar suficientemente como núcleos para la generación de inclusiones basadas en sulfuro de Mn. Además, en el caso en el que la cantidad de REM excede de 0,0500%, el número (cantidad) de oxisulfuros de REM (REM_2O_2S) se vuelve excesivo; y de este modo, el número (cantidad) de oxisulfuros de REM (REM_2O_2S) aislados (independientes) que no actúan como núcleos de inclusiones basadas en sulfuro de Mn se incrementa. Estos duros oxisulfuros (REM_2O_2S) degradan enormemente la tenacidad del acero de raíl. Por lo tanto, la cantidad añadida de REM está limitada a estar en un intervalo de 0,0005% a 0,0500%. Aquí, para mejorar los valores de impacto suprimiendo fiablemente la generación de inclusiones elongadas basadas en sulfuro de Mn y suprimiendo con antelación la generación de oxisulfuros duros de (REM_2O_2S) que no actúan como los núcleos de inclusiones basadas en sulfuro de Mn y son perjudiciales para la tenacidad la cantidad añadida de REM se establece preferentemente para que esté en un intervalo de 0,0010% a 0,0300%.

Aquí, REM se refiere a metales de tierras raras que son uno o más seleccionados de Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb y Lu. La cantidad añadida anteriormente descrita incluye las cantidades de todos los REMs añadidos. Con tal de que la suma de las cantidades de todos los REMs añadidos esté dentro del anteriormente descrito intervalo, los metales de tierras raras solos o combinados (dos o más) pueden exhibir los mismos efectos.

En la presente invención, la cantidad de S está limitada de la siguiente manera. Las razones por las que la cantidad de S está limitada se describirá con detalle.

La cantidad añadida de S está limitada a 0,0200% o menos. El S es un elemento que genera inclusiones basadas en sulfuro de Mn perjudiciales para la tenacidad. En el caso en el que la cantidad de S exceda de 0,0100%, el número (cantidad) de inclusiones de sulfuro de Mn se incrementa; y de este modo no se puede conseguir la notable mejora de la tenacidad. Para asegurar un mínimo nivel de inclusiones basadas en sulfuro de Mn para suprimir defectos de hidrógeno y, al mismo tiempo, para mejorar la tenacidad, la cantidad de S está preferentemente en un intervalo de 0,0020% a 0,0080%.

Además, es preferible añadir elementos de Ca, Al, Co, Cr, Mo, Nb, B, Ni, Ti, Mg, Zr, o N al raíl fabricado con la anteriormente descrita composición según la necesidad para los propósitos de mejora de la dureza (endurecimiento) de una estructura de perlita o una estructura de ferrita proeutectoide, mejora de la tenacidad de una estructura de perlita, prevención del ablandamiento de zonas afectadas por el calor de soldadura y control de la distribución de

dureza en una sección transversal de la porción de la cabeza del raíl.

Aquí, los principales propósitos de añadir los anteriormente descritos elementos se muestran a continuación.

5 El Ca y el Al forman óxidos que tienen altos puntos de fusión y estos óxidos actúan como núcleos de inclusiones basadas en sulfuro de Mn; y de este modo, la elongación de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn se suprime, y se mejora la tenacidad.

El Co refina las estructuras laminares sobre las superficies de contacto de rodadura y también refina los granos de ferrita, y de este modo, se incrementa la resistencia al desgaste de una estructura de perlita.

El Cr y el Mo incrementan el punto de equilibrio de la transformación a perlita, y principalmente refinan el espaciado laminar de perlita; y de este modo, se asegura la dureza de una estructura de perlita.

10 El Nb genera carburos y nitruros en un procedimiento de laminado en caliente y un proceso de enfriamiento subsecuente; y de este modo, se suprime el crecimiento de granos de austenita. Además, el Nb precipita y endurece una estructura de ferrita y una estructura de perlita; y de este modo, se mejora la tenacidad y dureza de una estructura de perlita. Además, el Nb genera establemente carburos y nitruros; y de este modo, se previene el ablandamiento de las zonas afectadas por el calor de la unión soldada.

15 El B reduce la dependencia de la temperatura de transformación a perlita de la velocidad de enfriamiento; y de este modo, la distribución de dureza en la porción de la cabeza del raíl se hace uniforme.

El Ni mejora la tenacidad y dureza de una estructura de ferrita y una estructura de perlita, y simultáneamente, el Ni previene el ablandamiento de zonas afectadas por el calor de la unión soldada.

20 El Ti refina la estructura en las zonas afectadas por el calor de soldadura y previene la fragilización de zonas afectadas por el calor de la unión soldada.

El Mg refina los granos de austenita durante el laminado en caliente del raíl, y al mismo tiempo, acelera la transformación a ferrita o perlita; y de este modo, se mejora la tenacidad.

25 El Zr suprime la formación de zonas de segregación en el medio de un tocho de fundición porque las inclusiones de ZrO_2 actúan como núcleos de solidificación en un acero de raíl de alto contenido de carbono y se incrementa la velocidad de cristalización equiaxial de estructuras solidificadas. Como resultado, se previene la disminución de la tenacidad del raíl.

El N se segrega en los bordes de grano de austenita; y de este modo, se acelera la transformación a perlita. Además, el N refina el tamaño de los bloques de perlita; y de este modo, se mejora la tenacidad.

Las razones por las que estos componentes están limitados se describirán con detalle aquí a continuación.

30 Similarmente al REM, el Ca es un elemento desoxidante y desulfurante, y se generan agregados de óxidos y sulfuros de calcio ($CaO-CaS$) por la adición de Ca. Estos agregados actúan como núcleos para la generación de inclusiones basadas en sulfuro de Mn; y de este modo, se suprime la elongación de inclusiones basadas en sulfuro de Mn después del laminado en caliente. Además, cuando se añade REM, el Ca genera óxidos complejos con oxisulfuros de REM (REM_2O_2S). Estos óxidos complejos suprimen adicionalmente la elongación de inclusiones basadas en sulfuro de Mn. En el caso en el que la cantidad de Ca es menor de 0,0005%, los efectos son pequeños, y los agregados no pueden actuar suficientemente como núcleos para la generación de inclusiones basadas en sulfuro de Mn. Además, en el caso en el que la cantidad de Ca excede de 0,0150%, la cantidad de CaO duro independiente que no actúa como los núcleos de inclusiones basadas en sulfuro de Mn se incrementa dependiendo de la cantidad de oxígeno en un acero. Como resultado, la tenacidad del acero de raíl se degrada enormemente. Por lo tanto, la cantidad añadida de Ca está limitada a estar en un intervalo de 0,0005% a 0,0150%.

45 El Al es un elemento desoxidante que genera alúmina (Al_2O_3), y estos óxidos actúan como núcleos para la generación de inclusiones basadas en sulfuro de Mn; y de este modo, se suprime la elongación de inclusiones basadas en sulfuro de Mn después del laminado en caliente. Además, el Al es un elemento que eleva la temperatura de transformación eutectoide a una temperatura más alta, y el Al contribuye a un incremento de la dureza (resistencia) de una estructura de perlita. Sin embargo, en el caso en el que la cantidad de Al es menor de 0,0040%, el efecto es débil. Además, en el caso en el que la cantidad de Al exceda de 0,50%, se vuelve difícil solubilizar en sólido Al en un acero; y de este modo, se generan inclusiones gruesas basadas en alúmina. Como resultado, se degrada la tenacidad del raíl, y simultáneamente, ocurre daño de fatiga debido a precipitados gruesos. Además, se generan óxidos durante la soldadura; y de este modo, la soldabilidad se degrada notablemente. Por consiguiente, la cantidad de Al está limitada a estar en un intervalo de 0,0040% a 0,50%.

El Co se solubiliza en sólido en una fase de ferrita en una estructura de perlita. De este modo, la estructura de ferrita fina formada por el contacto con las ruedas en la superficie de contacto de rodadura de la porción de la cabeza se refina adicionalmente; y como resultado se mejora la resistencia al desgaste. En el caso en el que la cantidad de Co es menor de 0,01%, el refinado de la estructura de ferrita no se consigue; y por lo tanto, no es posible esperar el

efecto de mejorar la resistencia al desgaste. Además, incluso en el caso en el que la cantidad de Co excede de 1,00%, se satura el efecto descrito anteriormente; y por lo tanto, no se consigue el efecto de refinamiento de la estructura de ferrita correspondiente a la cantidad añadida de Co. Además, un incremento del coste de añadir elementos aleantes degrada la eficiencia económica. Por lo tanto, la cantidad de Co está limitada a estar en el intervalo de 0,01% a 1,00%.

El Cr incrementa la temperatura de equilibrio de la transformación, y consecuentemente el Cr refina la estructura de ferrita y la estructura de perlita; y de este modo, el Cr contribuye a un incremento de la dureza (resistencia). Al mismo tiempo, el Cr fortalece la fase de cementita; y de este modo, se mejora la dureza (resistencia) de la estructura de perlita. Sin embargo, en el caso en el que la cantidad de Cr es menor de 0,01%, tal efecto se vuelve pequeño, y el efecto de mejorar la dureza de un acero de raíl no se observa en absoluto. En el caso en el que el Cr se añade excesivamente en una cantidad de más de 2,00%, se incrementa la endurecibilidad, y se genera estructura de martensita. De este modo, es probable que ocurra daño de desconchado partiendo de la estructura de martensita en las porciones de la esquina de la cabeza y la porción superior de la cabeza; y como resultado, se degrada la resistencia a los daños superficiales. Por lo tanto, la cantidad de Cr está limitada a estar en un intervalo de 0,01% a 2,00%.

El Mo, similarmente al Cr, incrementa la temperatura de equilibrio de la transformación, y consecuentemente el Mo refina la estructura de ferrita y la estructura de perlita; y de este modo, el Mo contribuye a un incremento de dureza (resistencia). Por lo tanto, el Mo es un elemento que mejora la dureza (resistencia). Sin embargo, en el caso en el que la cantidad de Mo es menor de 0,01%, tal efecto se vuelve pequeño, y el efecto de mejorar la dureza de aceros de raíl no se observa en absoluto. En el caso en el que el Mo se añade excesivamente en una cantidad de más de 0,50%, se degrada notablemente la velocidad de transformación. De este modo, es probable que ocurra daño de desconchado de la estructura de martensita en las porciones de la esquina de la cabeza y la porción superior de la cabeza; y como resultado, se degrada la resistencia a los daños superficiales. Por lo tanto, la cantidad de Mo está limitada a estar en un intervalo de 0,01% a 0,50%.

El Nb refina los granos de austenita debido al efecto de fijación de los carburos de Nb y nitruros de Nb en el caso en el que se efectúa un tratamiento térmico a altas temperaturas. Además, el Nb incrementa la dureza (resistencia) de la estructura de ferrita y la estructura de perlita debido al endurecimiento de precipitación de carburos de Nb y nitruros de Nb generados en el proceso de enfriamiento después del laminado en caliente, y simultáneamente, el Nb mejora la tenacidad. El Nb es un elemento efectivo para obtener estos efectos. Además, en porciones afectadas por el calor que son recalentadas a una temperatura en un intervalo de Acl o menos, el Nb es un elemento efectivo para prevenir el ablandamiento de zonas afectadas por el calor de la unión soldada generando establemente los carburos de Nb y los nitruros de Nb desde un intervalo de baja temperatura hasta un intervalo de alta temperatura. Sin embargo, en el caso en el que la cantidad de Nb es menor de 0,002%, no se puede esperar tal efecto, y la mejora de la dureza y la tenacidad de la estructura de ferrita y la estructura de perlita no se observa. En el caso en el que la cantidad de Nb excede de 0,050%, el endurecimiento de precipitación de los carburos y nitruros de Nb se vuelve excesivo, y se degrada la tenacidad de la estructura de ferrita y la estructura de perlita. De este modo, ocurre daño de desconchado en las porciones de la esquina de la cabeza y la porción superior de la cabeza; y como resultado, se degrada la resistencia a los daños superficiales. Por lo tanto, la cantidad de Nb está limitada a estar en un intervalo de 0,002% a 0,050%.

El B forma borocarburos de hierro ($\text{Fe}_{23}(\text{CB})_6$) en bordes de grano de austenita, y el B acelera la transformación a perlita. Este efecto de acelerar la transformación a perlita reduce la dependencia de la temperatura de transformación a perlita de la velocidad de enfriamiento; y de este modo, se consigue una distribución de dureza más uniforme desde la porción de la superficie de la cabeza hasta la porción interior de un raíl. Por lo tanto, es posible extender el periodo utilizable del raíl. En el caso en el que la cantidad de B es menor de 0,0001%, esos efectos no son suficientes, y no se observa mejora de la distribución de dureza en la porción de la cabeza del raíl. En el caso en el que la cantidad de B excede de 0,0050%, se generan borocarburos de hierro gruesos; y de este modo, se degrada la tenacidad. Por lo tanto, la cantidad de B está limitada a estar en un intervalo de 0,0001% a 0,0050%.

El Ni es un elemento que mejora la tenacidad de una estructura de ferrita y una estructura de perlita, y simultáneamente, el Ni incrementa la dureza (resistencia) por fortalecimiento de la disolución sólida. Además, el Ni precipita finamente en forma del compuesto intermetálico Ni_3Ti , que es un compuesto complejo con Ti, en zonas afectadas por el calor de soldadura; y de este modo, el ablandamiento se suprime fortaleciendo la precipitación. En el caso en el que la cantidad de Ni es menor de 0,01% esos efectos son extremadamente pequeños. En el caso en el que la cantidad de Ni excede de 1,00%, la tenacidad de una estructura de ferrita y una estructura de perlita se degrada notablemente. De este modo, es probable que ocurra daño de desconchado en las porciones de la esquina de la cabeza y la porción superior de la cabeza; y como resultado, se degrada la resistencia al daño superficial. Por lo tanto, la cantidad de Ni está limitada a estar en un intervalo de 0,01% a 1,00%.

El Ti es un elemento efectivo que refina la estructura de las zonas afectadas por el calor que se calientan a un intervalo de austenita utilizando el hecho de que los carburos de Ti y nitruros de Ti, que se precipitan durante el recalentamiento en soldadura, no se fundan; y de este modo, el Ti previene la fragilización de porciones de unión soldadas. Sin embargo, en el caso en el que la cantidad de Ti es menor de 0,0050%, esos efectos son pequeños, y

en el caso en el que la cantidad de Ti excede de 0,0500%, se generan carburos de Ti y nitruros de Ti gruesos; y de este modo, se degrada la tenacidad de un raíl. Al mismo tiempo, ocurre daño por fatiga debido a precipitados gruesos. Por lo tanto, la cantidad de Ti está limitada a estar en un intervalo de 0,0050% a 0,050%.

- 5 El Mg se combina con O, S, Al o similares para formar óxidos finos; y de este modo, el Mg suprime el crecimiento de grano durante el recalentamiento en el laminado en caliente de un raíl, y el Mg refina los granos de austenita. Como resultado el Mg mejora la tenacidad de una estructura de ferrita y una estructura de perlita. El Mg es un elemento efectivo para obtener estos efectos. Además, el MgO y el MgS dispersan finamente MnS; y de este modo, se forman zonas de Mn diluido alrededor de MnS. Esto contribuye a la generación de transformación a ferrita y transformación a perlita. Como resultado, dado que el Mg principalmente miniaturiza los tamaños de los bloques de perlita, el Mg es un elemento efectivo para mejorar la tenacidad de una estructura de perlita. Sin embargo, en el caso en el que la cantidad de Mg es menor de 0,0005%, el efecto es débil. En el caso en el que la cantidad de Mg excede de 0,0200%, se generan óxidos gruesos de Mg; y de este modo, se degrada la tenacidad de un raíl, y al mismo tiempo, se provoca daño de fatiga por los precipitados gruesos. Por lo tanto, la cantidad de Mg añadida está limitada a estar en un intervalo de 0,0005% a 0,0200%.
- 10
- 15 Dado que las inclusiones de Zr_2O tienen una buena consistencia de red con γ -Fe, las inclusiones de Zr_2O actúan como núcleos de solidificación en un acero de raíl de alto contenido en carbono cuyo cristal primario en un proceso de solidificación es γ -Fe; y de este modo, se incrementa la velocidad de cristalización equiaxial de estructuras solidificadas. Como resultado, el Zr es un elemento que suprime la formación de zonas de segregación en el centro de un tocho de fundición y mejora las propiedades de las porciones segregadas. Sin embargo, en el caso en el que la cantidad de Zr es menor de 0,0001%, el número (cantidad) de inclusiones de ZrO_2 es pequeño; y de este modo, las inclusiones de ZrO_2 no pueden actuar suficientemente como núcleos de solidificación. Además, en el caso en el que la cantidad de Zr excede de 0,200%, se genera un gran número (cantidad) de inclusiones gruesas basadas en Zr; y de este modo, se degrada la tenacidad, y al mismo tiempo, se provoca daño de fatiga por los precipitados gruesos. Por lo tanto, la cantidad añadida de Zr está limitada a estar en un intervalo de 0,0001% a 0,200%.
- 20
- 25 El N se segrega en bordes de grano de austenita; y de este modo, el N acelera la transformación a ferrita y la transformación a perlita de los bordes de grano de austenita. Como resultado, el tamaño de los bloques de perlita se refina principalmente; y de este modo, es posible mejorar la tenacidad. El N es un elemento efectivo para obtener estos efectos. Sin embargo, en el caso en el que la cantidad de N es menor de 0,0060%, esos efectos son pequeños. En el caso en el que la cantidad de N excede de 0,0200%, se hace difícil solubilizar N en sólido en un
- 30
- 30 Como resultado, se generan burbujas de aire que actúan como puntos de partida del daño de fatiga; y de este modo, ocurre daño de fatiga dentro de la porción de la cabeza del raíl. Por lo tanto, la cantidad de N está limitada a estar en un intervalo de 0,0060% a 0,0200%.

(2) Las razones por las que las regiones y durezas de una estructura de perlita en la porción (señal de referencia: 3a) de la superficie de la cabeza del raíl están limitadas.

- 35 A continuación, se describirán las razones por las que la porción 3a de la superficie de la cabeza de un raíl tiene una estructura de perlita, de 95% o más y su dureza Hv está limitada a estar en un intervalo de 320 a 500.

Primero, se describirán las razones por las que la dureza Hv de una estructura de perlita está limitada a estar en un intervalo de 320 a 500.

- 40 En el presente sistema de componentes, en el caso en el que la dureza Hv de la estructura de perlita es menor de 320, se hace difícil asegurar la resistencia al desgaste de la porción 3a de la superficie de la cabeza del raíl, y de este modo, el periodo utilizable del raíl se reduce. Además, ocurre daño de descamación en la superficie de contacto de rodadura debido a la deformación plástica; y de este modo, la resistencia a los daños superficiales en la porción 3a de la superficie de la cabeza del raíl se degrada enormemente. Además, en el caso en el que la dureza Hv de una estructura de perlita excede de 500, la tenacidad de la estructura de perlita se degrada enormemente; y de este modo, la resistencia al daño en la porción 3a de la superficie de la cabeza del raíl se degrada. Por lo tanto, la dureza Hv de la estructura de perlita está limitada a estar en un intervalo de 320 a 500.
- 45

A continuación, se describirá la razón por la que un intervalo necesario para incluir una estructura de perlita de 95% o más que tenga una dureza en un intervalo de 320 a 500 está limitado a la porción 3a de la superficie de la cabeza de un raíl de acero.

- 50 Aquí, la porción 3a de la superficie de la cabeza de un raíl se refiere a, como se muestra en la FIG. 1, una porción que se extiende desde las superficies de las porciones 2 de la esquina de la cabeza y la porción 1 superior de la cabeza hasta una profundidad de 10 mm (área de la línea continua). Si una estructura de perlita que tiene los componentes anteriormente descritos se dispone en la porción 3a de la superficie de la cabeza, se suprime el desgaste debido al contacto con las ruedas; y de este modo, se mejora la resistencia al desgaste del raíl.
- 55 Además, es preferible disponer una estructura de perlita que tiene una dureza Hv en un intervalo de 320 a 500 en una porción 3b que se extiende desde las superficies de las porciones 2 de la esquina de la cabeza y la porción 1 superior de la cabeza hasta una profundidad de 20 mm, esto es, por lo menos en el área de la línea discontinua en la FIG. 1. De este modo, se asegura adicionalmente la resistencia al desgaste incluso en el caso en el que ocurre el

desgaste en el interior más profundo de la porción de la cabeza del raíl debido al contacto con las ruedas; y de este modo, se mejora el periodo utilizable de los raíles.

5 Por lo tanto, es preferible disponer una estructura de perlita de 95% o más que tiene una dureza Hv en un intervalo de 320 a 500 en o en la vecindad de la superficie de la porción 3a de la cabeza del raíl, con la que contactan principalmente las ruedas, y otras porciones pueden ser de una estructura metalográfica diferente de la estructura de perlita.

10 Mientras tanto, con respecto a un método para obtener una estructura de perlita que tiene una dureza Hv en un intervalo de 320 a 500 en la porción de la cabeza del raíl, como se describe a continuación, es preferible realizar un enfriamiento acelerado en una porción 3 de la cabeza del raíl con una región de austenita en un estado de alta temperatura después del laminado en caliente o el recalentamiento.

15 Entre la porción 3 de la cabeza del raíl en la presente invención, es preferible que la estructura metalográfica en la porción 3a de la superficie de la cabeza o en la porción 3b que se extiende hasta una profundidad de 20 mm e incluye la porción 3a de la superficie de la cabeza consista en la anteriormente descrita estructura de perlita. Sin embargo, dependiendo de las composiciones de componentes de un raíl y de las condiciones de tratamientos térmicos y métodos de fabricación, hay casos en los que la estructura de perlita está mezclada con estructura de ferrita proeutectoide, estructura de cementita proeutectoide, estructura de vainita y estructura de martensita en una pequeña cantidad, por ejemplo, una relación de área de 5% o menos. Incluso en el caso en el que las anteriormente descritas estructuras están contenidas con un contenido de 5% o menos, estas estructuras no tienen un gran efecto adverso sobre la resistencia al desgaste y la tenacidad de la porción 3 de la cabeza del raíl. Por lo tanto, la anteriormente descrita estructura de perlita puede incluir estructuras mixtas con estructura de ferrita proeutectoide, estructura de cementita proeutectoide, estructura de bainita, estructura de martensita o similares con una relación de área de 5% o menos.

20 En otras palabras, entre la porción 3 de la cabeza de raíl en la presente invención, el 95% o más de la estructura metalográfica en la porción 3a de la superficie de la cabeza o la porción 3b que se extiende hasta una profundidad de 20 mm e incluye la porción 3a de la superficie de la cabeza necesita ser una estructura de perlita, y es preferible que el 98% o más de la estructura metalográfica en la porción 3 de la cabeza del raíl sea una estructura de perlita para asegurar suficientemente la resistencia al desgaste y la tenacidad.

30 Mientras tanto, en las columnas de "Microestructura" en las Tablas 1 y 2 a continuación, la descripción "pequeña cantidad" se refiere a un contenido de 5% o menos, y estructuras distintas de una perlita sin la descripción "pequeña cantidad" quiere decir que las estructuras están incluidas en una cantidad de más de 5% (fuera del intervalo de la presente invención).

(3) Las razones por las que el valor medio de las relaciones (L/D) de las longitudes (L) del lado largo a las longitudes (D) del lado corto de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn está limitado.

35 En la presente invención, el valor medio de las relaciones (L/D) de las longitudes (L) del lado largo a las longitudes (D) del lado corto de las inclusiones observado en una sección transversal arbitraria tomada a lo largo de la dirección longitudinal de una estructura de perlita (una sección transversal paralela a la dirección longitudinal de raíl) está preferentemente en un intervalo de 5,0 o menor (la característica de la Reivindicación 2).

40 Las razones por las que el valor medio de las relaciones (L/D) de las longitudes (L) del lado largo a las longitudes (D) del lado corto de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn observadas en una sección transversal arbitraria tomada a lo largo de la dirección longitudinal está limitado al anterior intervalo se describirán con detalle.

45 En el caso en el que el valor medio de las relaciones (L/D) de las longitudes (L) del lado largo a las longitudes (D) del lado corto de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn en la dirección longitudinal excede de 5,0, las inclusiones basadas en sulfuro de Mn se vuelven mayores; y de este modo, ocurre la concentración de tensiones alrededor de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn. Como resultado, es posible que ocurra daño en el raíl. Por lo tanto, no se puede conseguir una notable mejora de los valores de impacto en el ensayo mecánico del acero. Por lo tanto, el valor medio de las relaciones (L/D) de las longitudes (L) del lado largo a las longitudes (D) del lado corto de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn está limitado a estar en un intervalo de 5,0 o menor.

50 Mientras tanto, el valor medio de las relaciones (L/D) de las longitudes (L) del lado largo a las longitudes (D) del lado corto de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn no está particularmente limitado; sin embargo, en el caso en el que la longitud del lado largo y la longitud del lado corto de una inclusión son las mismas, esto es, en el caso en el que la inclusión tiene un contorno circular, la relación de longitudes (L/D) se vuelve 1,0, que se convierte en el límite inferior sustancial.

55 Además, para suprimir adicionalmente el efecto de grandes inclusiones basadas en sulfuro de Mn que aceleran la concentración de tensión, es preferible limitar el valor de la relación (L/D) de la longitud (L) del lado largo a la longitud (D) del lado corto para que esté en un intervalo de 4,0 o inferior.

Aquí, se describirá un método de medir la relación de la longitud del lado largo (L) a la longitud del lado corto (D) de

una inclusión basada en sulfuro y un método para calcular el valor medio de las relaciones de longitud (L/D).

Como se muestra en la FIG. 3, se cortan muestras de una sección transversal en la dirección longitudinal de la porción de la cabeza del raíl en la que el daño al raíl se vuelve obvio, y se realiza la medida de las inclusiones basadas en sulfuro. Un corte transversal de cada una de las muestras cortadas en la dirección longitudinal del raíl se pule a espejo, y se fotografían alrededor de 100 inclusiones basadas en sulfuro de Mn usando un microscopio óptico en una sección transversal arbitraria. A continuación las fotos se escanean en un aparato de procesado de imágenes para medir las longitudes del lado largo (L) y las longitudes del lado corto (D), y para obtener las relaciones de longitudes (L/D); y a continuación, se calcula el valor medio de estos valores. Se observan las inclusiones basadas en sulfuro de Mn de una porción que se extiende desde la superficie de la porción de la cabeza del raíl, que actúa como punto de partida del daño, hasta una profundidad de 3 a 10 mm.

Mientras tanto, como método para controlar que el valor medio de las relaciones (L/D) de las longitudes (L) del lado largo a las longitudes (D) del lado corto de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn esté en un intervalo de 5,0 o menor, es necesario generar eficiente y finamente oxisulfuros de REM ($\text{REM}_2\text{O}_2\text{S}$) que actúan como núcleos de las inclusiones basadas en sulfuro. Para controlar esto, como se describe a continuación, es necesario controlar la cantidad de oxígeno en un acero fundido antes de que se añada el REM.

(4) Las razones por las que está limitado el número (cantidad) (por unidad de área) de inclusiones basadas en sulfuro de Mn que tienen longitudes (L) del lado largo en un intervalo de $1\ \mu\text{m}$ a $50\ \mu\text{m}$.

En la presente invención, el número (por unidad de área) de inclusiones basadas en sulfuro de Mn que tienen longitudes (L) del lado largo en un intervalo de $1\ \mu\text{m}$ a $50\ \mu\text{m}$ está preferentemente en un intervalo de $10/\text{mm}^2$ a $100/\text{mm}^2$ (inclusiones/ mm^2) (la característica de la Reivindicación 3). En una sección transversal arbitraria tomada a lo largo de la dirección longitudinal (una sección transversal paralela a la dirección longitudinal de un raíl), se describirá con detalle la razón por la que la longitud del lado largo de inclusiones basadas en sulfuro de Mn, que son los objetos de evaluación, está limitada a estar en un intervalo de $1\ \mu\text{m}$ a $50\ \mu\text{m}$.

Como resultado de una investigación de las longitudes del lado largo de inclusiones basadas en sulfuro de Mn y el rendimiento real del daño de raíles reales con respecto al presente sistema de componentes, se confirmó que había una buena relación entre el número de inclusiones basadas en sulfuro de Mn que tienen longitudes (L) del lado largo en un intervalo de $1\ \mu\text{m}$ a $50\ \mu\text{m}$ y la resistencia al daño de los raíles. Por lo tanto, la longitud del lado largo de inclusiones basadas en sulfuro de Mn, que son los objetos de evaluación, está limitada a estar en un intervalo de $1\ \mu\text{m}$ a $50\ \mu\text{m}$.

A continuación, se describirán con detalle las razones por las que el número (cantidad) (por unidad de área) de inclusiones basadas en sulfuro de Mn que tienen longitudes (L) del lado largo en un intervalo de $1\ \mu\text{m}$ a $50\ \mu\text{m}$ que se observan en una sección transversal arbitraria en la dirección longitudinal está limitado al intervalo anterior en la Reivindicación 3.

En el caso en el que el número total (por unidad de área) de inclusiones basadas en sulfuro de Mn que tienen longitudes (L) del lado largo en un intervalo de $1\ \mu\text{m}$ a $50\ \mu\text{m}$ excede de $100/\text{mm}^2$, el número de inclusiones basadas en sulfuro de Mn se vuelve excesivo y de este modo, aparece la concentración de tensión alrededor de inclusiones basadas en sulfuro de Mn. Como resultado, se vuelve posible que ocurra daño en el raíl. Por lo tanto, no se puede conseguir una mejora adicional de los valores de impacto en el ensayo mecánico del acero. Además, en el caso en el que el número total (por unidad de área) de inclusiones basadas en sulfuro de Mn que tienen longitudes (L) del lado largo en la dirección longitudinal en un intervalo de $1\ \mu\text{m}$ a $50\ \mu\text{m}$ es menor de $10/\text{mm}^2$, los sitios trampa que absorben el hidrógeno inevitable que queda en un acero disminuyen notablemente; y por ello se incrementa la posibilidad de inducir defectos hidrogenados (fragilización por hidrógeno). Como resultado, se puede perjudicar la resistencia al daño del raíl. Por lo tanto, el número total (por unidad de área) de inclusiones basadas en sulfuro de Mn que tienen longitudes (L) del lado largo en un intervalo de $1\ \mu\text{m}$ a $50\ \mu\text{m}$ está limitado a estar en un intervalo de $10/\text{mm}^2$ a $100/\text{mm}^2$.

Además, para reducir adicionalmente los efectos de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn que actúan como puntos de partida de la fractura, y al mismo tiempo, para suprimir los defectos hidrogenados con antelación para mejorar establemente la resistencia a la fractura de un raíl, es preferible controlar que el número total (por unidad de área) de inclusiones basadas en sulfuro de Mn que tienen longitudes del lado largo en un intervalo de $1\ \mu\text{m}$ a $50\ \mu\text{m}$ esté en un intervalo de $20/\text{mm}^2$ a $85/\text{mm}^2$.

Aquí, con respecto al número de inclusiones, se toman muestras por el método mostrado en la FIG. 3. Se investigan las inclusiones basadas en sulfuro de Mn usando un microscopio óptico de una sección transversal arbitraria en la dirección longitudinal. A continuación, se cuenta el número de inclusiones que tienen tamaños en el intervalo anteriormente descrito; y se calcula el número por unidad de área de una sección transversal. Es preferible realizar la observación en por lo menos diez campos de visión y usar el valor medio como valor representativo. Se observan las inclusiones basadas en sulfuro de Mn de una porción que se extiende desde la superficie de la porción de la cabeza del raíl, que actúa como punto de partida del daño, hasta una profundidad de 3 a 10 mm.

Además, para controlar que el número (por unidad de área) de inclusiones basadas en sulfuro de Mn que tienen

longitudes (L) del lado largo de 1 μm a 50 μm está en el intervalo anteriormente descrito, es necesario controlar que la cantidad de S añadido a un acero fundido esté en un intervalo de 0,0100% o menor. Específicamente, en el refinado secundario ordinario, es preferible añadir elementos desulfurantes tales como CaO, Na₂CO₃, CaF₂, o similares, o los elementos desulfurantes junto con Al, y a continuación realizar el refinado. También es preferible establecer que la cantidad de S esté en un intervalo de 0,0020% a 0,0080% para asegurar un nivel mínimo de inclusiones basadas en sulfuro de Mn para suprimir los defectos hidrogenados, y al mismo tiempo, para mejorar la tenacidad.

(5) Método para fabricar el acero de raíl según la presente invención

El método para fabricar el acero de raíl que incluye la anteriormente descrita composición y microestructura de componentes no está particularmente limitado; sin embargo, en general, el acero de raíl se fabrica por el siguiente método.

Al principio, se efectúa la fusión para obtener acero fundido con un horno de fusión usado comúnmente tal como un horno convertidor, un horno eléctrico o similares. A continuación, se añade REM al acero fundido, y se dispersan uniformemente oxisulfuros de REM (REM₂O₂S) para controlar la distribución de inclusiones basadas en sulfuro de Mn. Además, la cantidad de S añadido se reduce a un pequeño valor comparado con las condiciones ordinarias. A continuación, el acero fundido se somete a un método de formación de lingotes y tochos o a un método de fundición continua para fabricar un lingote (un tocho) de acero. A continuación, el lingote de acero se somete adicionalmente a laminado en caliente y tratamientos subsecuentes térmicos (recalentamiento, enfriamiento); y de este modo, se fabrica un raíl.

Particularmente, para dispersar uniformemente oxisulfuros finos de REM (REM₂O₂S), es preferible añadir aleaciones de Fe-Si-REM o metal misch que contiene REM (principales componentes: Ce, La, Pr, y Nd) a una cuchara, una artesa de acero fundido a alta temperatura durante la fundición, o similares después del refinado ordinario. Además, para prevenir la agregación o segregación de oxisulfuros de REM (REM₂O₂S) en una etapa de fundición, es preferible agitar el metal fundido durante un proceso de solidificación usando fuerza electromagnética o similares. Además, para controlar el flujo del acero fundido durante la fundición, es preferible optimizar la forma de una boquilla de fundición.

Las condiciones para fabricar el lingote de acero y condiciones para someter el lingote de acero a laminado en caliente que son los procesos subsecuentes después del proceso de fabricación del acero fundido no están particularmente limitadas, y se pueden aplicar condiciones ordinarias. El acero de raíl que incluye los componentes anteriormente descritos se funde en un horno de fundición generalmente usado, tal como un convertidor, un horno eléctrico, o similares, y un acero fundido se somete a un método de preparación de lingote y tocho o un método de fundición continua para fabricar un tocho para laminado en caliente.

El tocho se recalienta a una temperatura en un intervalo de 1.200°C o más alto, y a continuación se realizan varios pasos de laminado en caliente para moldear el tocho en forma de un raíl. La temperatura a la que se realiza el laminado final está preferentemente en un intervalo de 900°C a 1.000°C desde el punto de vista de asegurar la forma y propiedades del material.

Además, con respecto al tratamiento térmico después del laminado en caliente, es preferible efectuar un enfriamiento acelerado en una porción 3 de la cabeza del raíl a altas temperaturas con regiones de austenita después del laminado en caliente o recalentamiento para obtener una estructura de perlita con una dureza Hv de 320 a 500 en la porción 3 de la cabeza del raíl. Como método de enfriamiento acelerado, efectuando el tratamiento térmico (y enfriamiento) con un método descrito en el documento de patente 7 (Solicitud de patente japonesa sin examinar, Publicación NO. H08-246100), Documento de patente 8 (Solicitud de patente japonesa sin examinar, Publicación No. H09-111352) o similares, es posible obtener una estructura y dureza en intervalos predeterminados.

Aquí, para efectuar el tratamiento térmico con recalentamiento después del laminado del raíl, es preferible calentar la porción de la cabeza del raíl o el raíl entero con una llama o calentamiento de inducción.

Además, como método para controlar que el valor medio de las relaciones (L/D) de las longitudes (L) del lado largo a las longitudes (D) del lado corto de inclusiones basadas en sulfuro esté en un nivel de 5,0 o menor, es necesario generar eficiente y finamente oxisulfuros de REM (REM₂O₂S) que actúan como núcleos de inclusiones basadas en sulfuro. Para controlar esto, es necesario controlar la cantidad de oxígeno en el acero fundido antes de que se añada el REM. Específicamente, es preferible realizar la desoxidación con antelación con Al o Si para reducir la cantidad de oxígeno para que esté en un nivel de 10 ppm o menor, y a continuación añadir REM. En el caso en el que la desoxidación es insuficiente, no se generan oxisulfuros de REM (REM₂O₂S), y se genera REM₂O₃ que no puede actuar como núcleo de inclusiones basadas en sulfuro. De este modo, las inclusiones basadas en sulfuro no se dispersan finamente en el tocho antes del laminado en caliente del raíl. Como resultado, en el raíl después del laminado en caliente, las inclusiones basadas en sulfuro son elongadas; y de este modo, se hace difícil controlar que el valor medio de las relaciones (L/D) de las longitudes (L) del lado largo a las longitudes (D) del lado corto de las inclusiones basadas en sulfuro esté en un nivel de 5,0 o inferior.

Ejemplos

A continuación se describirán ejemplos de la presente invención. Las tablas 1 a 3 muestran los componentes químicos de aceros de raíl para ensayos (aceros de raíl de la invención y aceros de raíl de ejemplos comparativos).

5 Mientras tanto, en las Tablas, se incluyen los componentes químicos nº 1 siendo el resto hierro y las impurezas inevitables. Además, en las Tablas 1 y 2, los componentes químicos de los que las cantidades de S no se muestran incluían S en contenidos en un intervalo de más de 0,0100% a 0,0200%.

Los aceros de raíl que tienen las composiciones de componentes mostradas en las Tablas 1 a 3 se fabricaron de la siguiente manera.

10 Se efectuó la fusión con un horno de fundición comúnmente usado tal como un horno convertidor, un horno eléctrico o similares. Como REM, se añadió metal misch que contiene Ce, La, Pr, y Nd como componentes principales a los metales fundidos, y se dispersaron uniformemente oxisulfuros de REM (REM_2O_2S) para controlar la distribución de inclusiones basadas en sulfuro de Mn. A continuación, se fabricaron lingotes de acero por medio de un método de fabricación de lingotes y tocho o un método de fundición continua, y a continuación, los lingotes de acero se sometieron a laminado en caliente. Después de eso, se realizó un tratamiento térmico para fabricar raíles.

15

Tabla 1

Rail	Acero	Componentes químicos (% en masa) n° 1									
		C	Si	Mn	REM (Cantidad total de Ce, La, Pr, y Nd)	S	Ca/Al/Co/Cr/Mo/V/Nb/B/ Cu/Ni/Ti/Mg/Zr/N				
	* 1	0.65	0.25	0.80	0.0030	-	Cu: 0.15				
	* 2	1.20	0.25	0.80	0.0030	-	Cu: 0.15				
	3	0.85	0.05	0.60	0.0080	-					
	4	0.85	2.00	0.60	0.0080	-					
	5	0.90	0.30	0.05	0.0110	-	Cr: 0.25				
	6	0.90	0.30	2.00	0.0110	-	Cr: 0.25				
	7	1.10	0.50	0.70	0.0005	-					
	8	1.10	0.50	0.70	0.0500	-					
	9	0.65	0.30	0.75	0.0080	-					
	10	0.65	0.30	0.75	0.0080	-					
	11	0.65	0.30	0.75	0.0080	0.0080					
	12	0.70	0.30	0.75	0.0080	0.0050					
	13	0.70	1.25	0.20	0.0050	-	Ni: 0.25				
	14	0.75	0.50	1.00	0.0150	-	Nb: 0.01				
	15	0.75	0.50	1.00	0.0150	-	Nb: 0.01				
	16	0.75	0.50	1.00	0.0150	0.0020	Nb: 0.01				
	17	0.80	0.40	1.10	0.0010	-	Ca: 0.0022				
	18	0.80	0.40	1.10	0.0080	-	Ca: 0.0022				
	19	0.80	0.40	1.10	0.0160	-	Ca: 0.0022				
	20	0.85	0.55	0.85	0.0080	-					
	21	0.85	0.55	0.85	0.0080	-					
	22	0.85	0.55	0.85	0.0080	0.0050					

* = Aceros de referencia

Aceros de rail de la invención

Tabla 2

Rail	Acero	Componentes químicos (% en masa) nº 1							S	Ca/Al/Co/Cr/Mo/V/Nb/B/ Cu/Ni/Ti/Mg/Zr/N
		C	Si	Mn	REM (Cantidad total de Ce, La, Pr, y Nd)	S	Ca/Al/Co/Cr/Mo/V/Nb/B/ Cu/Ni/Ti/Mg/Zr/N			
	23	0.90	0.30	1.25	0.0070	0.0060				
	24	0.90	0.30	1.25	0.0070	0.0060	Co: 0.30			
	25	0.95	0.95	0.80	0.0300	-	Ti: 0.01			
	26	0.95	0.95	0.80	0.0300	-	Ti: 0.01			
	27	0.95	0.95	0.80	0.0300	0.0030	Ti: 0.01			
	28	0.95	0.25	1.20	0.0100	-	Mo: 0.02			
	29	1.00	0.50	0.70	0.0050	-	Cr: 0.20			
	30	1.00	0.50	0.70	0.0100	-	Cr: 0.20			
	31	1.00	0.50	0.70	0.0220	-	Cr: 0.20			
	32	1.05	0.10	0.90	0.0100	-	Al: 0.0080			
	33	1.05	0.10	0.90	0.0100	-	Al: 0.0080			
	34	1.05	0.10	0.90	0.0100	0.0025	Al: 0.0080			
	35	1.05	0.85	0.80	0.0150	0.0080	B: 0.0020 Ti: 0.01			
	36	1.10	0.50	0.70	0.0020	0.0050	Mg: 0.0020			
	37	1.10	0.50	0.70	0.0100	0.0050	Mg: 0.0020			
	38	1.10	0.50	0.70	0.0300	0.0050	Mg: 0.0020			
	39	1.15	0.35	1.35	0.0200	-	Zr: 0.0020			
	*40	1.15	0.95	0.90	0.0085	0.0090	V: 0.02			
	41	1.20	1.25	0.45	0.0250	-	N: 0.0080			
	42	1.20	1.25	0.45	0.0250	-	N: 0.0080			
	43	1.20	1.25	0.45	0.0250	0.0050	N: 0.0080			

* = Acero de referencia

Tabla 3

Rail	Acero	Componentes químicos (% en masa) nº 1						
		C	Si	Mn	REM (Cantidad total de Ce, La, Pr, y Nd)	S	Ca/Al/Co/Cr/Mo/V/Nb/B/ Cu/Ni/Ti/Mg/Zr/N	
	44	0.60	0.25	0.80	0.0030	-	Cu: 0.15	
	45	1.30	0.25	0.80	0.0030	-	Cu: 0.15	
	46	0.85	0.01	0.60	0.0080	-		
	47	0.85	2.50	0.60	0.0080	-		
	48	0.90	0.30	0.01	0.0110	-	Cr: 0.25	
	49	0.90	0.30	2.30	0.0110	-	Cr: 0.25	
	50	1.10	0.50	0.70	0.0001	-		
	51	1.10	0.50	0.70	0.0600	-		
	52	0.65	0.30	0.75	0.0002	-		
	53	0.65	0.30	0.75	0.0700	-		
	54	0.75	0.50	1.00	0.0004	-	Nb: 0.01	
	55	0.85	0.55	0.85	0.0002	-		
	56	0.85	0.55	0.85	0.0700	-		
	57	0.95	0.95	0.80	0.0001	-	Ti: 0.01	
	58	0.95	0.95	0.80	0.0600	-	Ti: 0.01	
	59	1.05	0.10	0.90	0.0004	-	Al: 0.0080	
	60	1.20	1.25	0.45	0.0003	-	N: 0.0080	
	61	1.20	1.25	0.45	0.0600	-	N: 0.0080	
	62	0.65	0.30	0.45	0.0080	-		
	63	1.20	0.50	0.45	0.0250	-	N: 0.0080	
	64	0.95	1.20	1.20	0.0300	-	Ti: 0.01	
	65	0.85	0.30	0.30	0.0080	-		
	66	1.05	1.00	1.35	0.0100	-	Al: 0.0090	

Aceros de rail de ejemplos comparativos

Según el método anteriormente descrito, se midieron las relaciones (L/D) de las longitudes (L) del lado largo a las longitudes (D) del lado corto de inclusiones basadas en sulfuro de Mn y el número (por unidad de área) de inclusiones basadas en sulfuro de Mn que tienen longitudes (L) del lado largo en un intervalo de 1 µm a 50 µm. Además, las microestructuras y durezas de las porciones de la cabeza del raíl se midieron de la siguiente manera.

- 5 Se cortó una muestra de la porción de la superficie de la cabeza del raíl que incluye la porción 3a de la superficie de la cabeza. A continuación, se pulió una superficie a observar; y a continuación la superficie se erosionó con fluido de erosión química nital. La microestructura en la superficie a observar se observó usando un microscopio óptico según la JIS G0551. Además, según la JIS B7774, se midió la dureza Hv Vickers de la muestra cortada. Aquí, se midió la dureza Vickers cargando un indentador de diamante sobre la muestra con una carga de 98 N (10 kgf). La dureza Vickers se expresa como (Hv, 98N) en las Tablas.

Mientras tanto, la observación de microestructuras y la medida de dureza se realizó a una profundidad de 4 mm de la superficie de la porción de la superficie de la cabeza del raíl.

Ensayo de desgaste de la porción de la cabeza

- 15 La FIG. 4 muestra una localización de la que se tomó una muestra de ensayo para el ensayo de desgaste, y los valores numéricos en el dibujo indican las dimensiones (mm). Como se muestra en la FIG. 4, se cortó una muestra de ensayo de tipo de disco de una porción que incluye la porción de la superficie de la cabeza en el raíl de acero.

- 20 A continuación, como se muestra en la FIG. 5, se prepararon dos ejes de rotación opuesta, la muestra de tipo de disco (muestra 4 de ensayo de raíl) se dispuso en uno de los ejes de rotación, y se dispuso un material 5 oponente en el otro eje de rotación. La muestra 4 de ensayo de raíl y el material 5 oponente se pusieron en contacto en un estado en el que se aplicó una carga predeterminada a la muestra 4 de ensayo de raíl. En tal estado, se hicieron rotar los dos ejes de rotación a una velocidad predeterminada suministrando aire comprimido de una boquilla 6 de enfriamiento para enfriar la muestra de ensayo. A continuación, después de hacer girar los ejes 700.000 veces, se midió la cantidad reducida (cantidad abradida) del peso de la muestra 4 de ensayo de raíl.

Las condiciones para el ensayo de desgaste de la porción de la cabeza se muestran a continuación.

- 25 Máquina de ensayo: máquina de ensayo de desgaste del tipo Nishihara (consultar la FIG. 5)

Forma de la muestra de ensayo: muestra de ensayo de tipo de disco (diámetro exterior: 30 mm, grosor: 8 mm).

Localización de la que se tomó la muestra de ensayo: 2 mm debajo de la superficie de la porción de la cabeza de raíl (consultar la FIG. 4).

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

- 30 Relación de deslizamiento: 20%

Material oponente: acero perlítico (Hv 380)

Atmósfera: en la atmósfera (aire)

Enfriamiento: enfriamiento forzado por aire comprimido (caudal: 100 l/min)

Número de repeticiones: 700.000

- 35 Ensayo de impacto de la porción de la cabeza

La FIG. 6 muestra una localización de la que se tomó la muestra de ensayo para el ensayo de impacto. Como se muestra en la FIG. 6, se cortó una muestra de ensayo a lo largo de la dirección de la anchura del raíl (sección transversal) en la sección transversal del raíl de acero de modo que una porción que incluye la porción de la superficie de la cabeza forma el fondo de una muesca.

- 40 A continuación, la muestra de ensayo obtenida se sometió a un ensayo de impacto en las siguientes condiciones; y de este modo, se midieron valores de impacto (J/cm²).

Máquina de ensayo: máquina de ensayo de impacto

Forma de la muestra de ensayo: corte en U de 2 mm en JIS No. 3

- 45 Localización de la que se toma la muestra de ensayo: 2 mm debajo de la superficie de la porción de la cabeza del raíl (consultar la FIG. 69).

Temperatura de ensayo: temperatura normal (20°C)

Los resultados obtenidos se muestran en las Tablas 4 a 9.

5 Mientras tanto, en las Tablas, las microestructuras y durezas de los materiales de la porción de la cabeza con un signo *1 son datos medidos a una profundidad de 4 mm de la superficie de la porción de la cabeza. Los resultados de los ensayos de desgaste con un signo *2 son los resultados de los ensayos de desgaste anteriormente descritos, y los ensayos de desgaste se realizaron por el método mostrado en la FIG. 5 en las condiciones anteriormente descritas después de que se tomaron las muestras de ensayo de las localizaciones mostradas en la FIG. 4. Los resultados del ensayo de impacto con un signo *3 son los resultados de los ensayos de impacto anteriormente descritos, y los ensayos de impacto se realizaron en las condiciones anteriormente descritas después de que se tomaron las muestras de ensayo de la localización mostrada en la FIG. 6.

Tabla 4

Rail	Acero	Valor medio de las longitudes (L) del lado largo/longitudes (D) del lado corto de inclusiones basadas en sulfuro de Mn	Número de inclusiones basadas en sulfuro de Mn que tienen longitudes (L) del lado largo en un intervalo de 1 µm a 50 µm (inclusiones/mm ²)	Material de la porción de la cabeza *1		Resultados del ensayo de desgaste *2 (g, 700 mil veces)	Resultados del ensayo de impacto *3 (J/cm ²)
				Microestructura	Dureza (Hv, 98N)		
	* 1	-	-	perlita + pequeña cantidad de ferrita proeutéctica	320	1.45	35.0
	* 2	-	-	perlita + pequeña cantidad de cementita proeutéctica	400	0.35	9.0
	3	-	-	perlita	330	1.25	16.0
	4	-	-	perlita + pequeña cantidad de martensita	460	1.10	15.5
	5	-	-	perlita	320	1.00	15.0
	6	-	-	perlita + pequeña cantidad de martensita	460	0.91	14.5
	7	-	-	perlita	420	0.46	11.5
	8	-	-	perlita	420	0.45	13.0
	9	-	-	perlita	350	1.35	33.0
	10	3.5	-	perlita	350	1.33	35.0
	11	3.4	85	perlita	350	1.37	37.5

* = Aceros de referencia

Tabla 5

Material de la porción de la cabeza *1	Número de inclusiones basadas en sulfuro de Mn que tienen longitudes (L) del lado largo en un intervalo de 1 µm a 50 µm (inclusiones/mm ²)	Valor medio de las longitudes (L) del lado largo/longitudes (D) del lado corto de inclusiones basadas en sulfuro de Mn	Dureza (Hv, 98N)	Resultados del ensayo de desgaste *2 (g, 700 mill veces)	Resultados del ensayo de Impacto *3
Acero	12	3.4	350	1.25	30.0
	13	4.0	370	1.22	28.0
	14	-	perilita + pequeña cantidad de bainita	1.18	25.0
	15	2.5	perilita + pequeña cantidad de bainita	1.19	27.0
	16	2.4	perilita + pequeña cantidad de bainita	1.18	29.5
	17	-	perilita	1.05	20.5
	18	-	perilita	1.04	21.5
	19	-	perilita	1.06	23.5
	20	-	perilita	0.95	16.5
	21	3.4	perilita	0.94	18.0
	22	3.4	perilita	0.94	21.0
Raíl	Aceros de raíl de la invención				

Tabla 6

Material de la porción de la cabeza *1	Resultados del ensayo de desgaste *2 (g, 700 mil veces)	Resultados del ensayo de Impacto *3	Número de inclusiones basadas en sulfuro de Mn que tienen longitudes (L) del lado largo en un intervalo de 1 µm a 50 µm (inclusiones/mm ²)	Valor medio de las longitudes (L) del lado largo/longitudes (D) del lado corto de inclusiones basadas en sulfuro de Mn	Material de la porción de la cabeza *1	
					Microestructura	Dureza (Hv, 98N)
Acero						
23	0.86	16.0	65	3.8	perlita	420
24	0.70	16.5	65	3.8	perlita	420
25	0.75	12.0	-	-	perlita	430
26	0.74	14.0	-	1.3	perlita	430
27	0.75	16.0	35	1.3	perlita	430
28	0.72	12.3	-	3.0	perlita + pequeña cantidad de martensita	450
29	0.60	12.0	-	4.0	perlita	425
30	0.62	13.0	-	3.0	perlita	425
31	0.60	14.0	-	1.5	perlita	425
32	0.64	11.0	-	-	perlita	375
33	0.63	12.5	-	2.8	perlita	375

Aceros de rail de la invención

Tabla 7

Raíl	Acero	Valor medio de las longitudes (L) del lado largo/longitudes (D) del lado corto de inclusiones basadas en sulfuro de Mn	Número de inclusiones basadas en sulfuro de Mn que tienen longitudes (L) del lado largo en un intervalo de 1 µm a 50 µm (inclusiones/mm ²)	Material de la porción de la cabeza *1		Resultados del ensayo de desgaste *2 (g, 700 mil veces)	Resultados del ensayo de Impacto *3
				Microestructura	Dureza (Hv, 98N)		
	34	2.8	26	perlita	375	0.63	14.0
	35	2.5	82	perlita	460	0.45	12.0
	36	4.8	55	perlita	445	0.44	10.5
	37	3.1	50	perlita	445	0.43	11.5
	38	1.2	40	perlita	445	0.44	13.0
	39	1.8	-	perlita + pequeña cantidad de cementita proeutéctica	500	0.30	9.0
	*40	3.4	85	perlita	450	0.32	10.0
	41	-	-	perlita + pequeña cantidad de cementita proeutéctica	445	0.25	9.0
	42	1.5	-	perlita + pequeña cantidad de cementita proeutéctica	445	0.26	10.0
	43	1.5	50	perlita + pequeña cantidad de cementita proeutéctica	445	0.27	11.0

* = Acero de referencia

Tabla 8.

Acero	Valor medio de las longitudes (L) del lado largo/longitudes (D) del lado corto de inclusiones basadas en sulfuro de Mn	Número de inclusiones basadas en sulfuro de Mn que tienen longitudes (L) del lado largo en un intervalo de 1 µm a 50 µm (inclusiones/mm ²)	Material de la porción de la cabeza nº 1		Resultados del ensayo de desgaste *2 (g, 700 mil veces)	Resultados del ensayo de Impacto *3 (J/cm ²)
			Microestructura	Dureza (Hv, 98N)		
44	-	-	perlita + ferrita proeutéctica	<u>300</u>	2.15 (muy desgastada)	36.5
45	-	-	perlita + cementita proeutéctica	420	0.30	5.0 (valor de impacto rebajado)
46	-	-	perlita	<u>310</u>	1.65 (muy desgastada)	17.5
47	-	-	perlita+ martensita	<u>550</u>	1.80 (muy desgastada)	4.5 (valor de impacto rebajado)
48	-	-	perlita	<u>280</u>	1.62 (muy desgastada)	15.2
49	-	-	perlita + martensita	<u>580</u>	1.90 (muy desgastada)	4.0 (valor de impacto rebajado)
50	-	-	perlita	440	0.48	8.0
51	-	-	perlita	440	0.48	7.5
52	-	-	perlita	350	1.35	27.0
53	-	-	perlita	350	1.35	25.0
54	-	-	perlita + pequeña cantidad de bainita	390	1.18	21.0

Aceros de ralles de ejemplos comparativos

Tabla 9

Acero	Valor medio de las longitudes (L) del lado largo/longitudes (D) del lado corto de inclusiones basadas en sulfuro de Mn	Número de inclusiones basadas en sulfuro de Mn que tienen longitudes (L) del lado largo en un intervalo de 1 µm a 50 µm (Inclusiones/mm ²)	Material de la porción de la cabeza *1		Resultados del ensayo de desgaste *2 (g, 700 mil veces)	Resultados del ensayo de impacto *3 (J/cm ²)
			Microestructura	Dureza (HV, 98N)		
55	-	-	perlita	400	0.95	13.0
56	-	-	perlita	400	0.95	12.0
57	-	-	perlita	430	0.75	9.5
58	-	-	perlita	430	0.75	8.0
59	-	-	perlita	375	0.64	8.5
60	-	-	perlita + pequeña cantidad de cementita proeutéctica	445	0.25	7.0
61	-	-	perlita + pequeña cantidad de cementita proeutéctica	445	0.25	6.0
62	-	-	perlita + ferrita proeutéctica	320	2.15 (muy desgastada)	35.0
63	-	-	perlita + cementita proeutéctica	370	0.40	5.0 (valor de impacto rebajado)
64	-	-	perlita + martensita	490	1.90 (muy desgastada)	4.0 (valor de impacto rebajado)
65	-	-	perlita	300	1.75 (muy desgastada)	15.0
66	-	-	perlita	520	0.40	6.0 (valor de impacto rebajado)
Raíl	Aceros de raíl de ejemplos comparativos					

(1) raíles de la invención. Aceros nos. 3 a 39, 41 a 43

Aceros nos. 3 a 9, 14, 17 a 20, 32, y 41: raíles perlíticos que tienen componentes químicos dentro de los intervalos limitados de la presente invención y microestructuras y durezas de porciones de la cabeza de raíl dentro de los intervalos limitados de la presente invención.

5 Aceros nos. 10, 13, 15, 21, 26, 28 a 31, 33, 39, y 42: raíles perlíticos que tienen componentes químicos dentro de los intervalos limitados de la presente invención, relaciones (L/D) de las longitudes (L) del lado largo a longitudes (D) del lado corto de inclusiones basadas en sulfuro de Mn dentro del intervalo limitado de la presente invención, y microestructuras y durezas de porciones de raíl dentro de intervalos limitados de la presente invención.

10 Aceros nos. 11, 12, 16, 22 a 24, 27, 34 a 38 y 43: raíles perlíticos que tienen componentes químicos dentro de los intervalos limitados de la presente invención, relaciones (L/D) de las longitudes (L) del lado largo a longitudes (D) del lado corto de inclusiones basadas en sulfuro de Mn dentro del intervalo limitado de la presente invención, cantidades añadidas de S dentro del intervalo limitado de la presente invención, números (por unidad de área) de inclusiones basadas en sulfuro de Mn que tienen longitudes (L) del lado largo en un intervalo de 1 μm a 50 μm dentro del intervalo limitado de la presente invención, y la microestructura y dureza de la porción de la cabeza de raíl dentro de los intervalos limitados de la presente invención.

Aquí, entre los raíles de la invención, en raíles que incluyen una pequeña cantidad de ferrita proeutectoide, una pequeña cantidad de cementita proeutectoide, una pequeña cantidad de bainita, o una pequeña cantidad de martensita en las microestructuras, las relaciones de estas pequeñas cantidades de estructuras distintas de una estructura de perlita eran 5% o menos.

20 (2) Raíles de ejemplos comparativos (23 raíles), Aceros nos. 44 a 46

Aceros no. 44 a 49: raíles de los cuales las cantidades de C, Si y Mn están fuera de los intervalos de la invención.

Aceros no. 50 a 61: raíles de los cuales las cantidades de REM están fuera del intervalo de la invención.

25 Aceros no. 62 a 64: raíles de los cuales los componentes químicos están dentro de los intervalos de la presente invención; sin embargo, las microestructuras de las porciones de la cabeza no cumplen las anteriormente descritas características de la presente invención.

Aceros no. 65 a 66: raíles de los cuales las cantidades de componentes químicos están dentro de los intervalos de la presente invención; sin embargo, la dureza de las porciones de la cabeza está fuera del intervalo limitado de la presente invención.

30 Aquí, entre los raíles de los ejemplos comparativos, en raíles que incluyen ferrita proeutectoide, cementita proeutectoide, o martensita en las microestructuras, las relaciones de estas pequeñas cantidades de estructuras distintas de una estructura de perlita eran más de 5%. En raíles que incluyen una pequeña cantidad de cementita proeutectoide o una pequeña cantidad de bainita, las relaciones de estas pequeñas cantidades de estructuras eran 5% o menos.

35 Como se muestra en las Tablas 1 a 9, en comparación con los aceros de raíl de los ejemplos comparativos (Aceros nos. 44 a 49), los aceros de raíl de la invención (aceros nos. 3 a 39, 41 a 43) incluyen los componentes químicos de C, Si, y Mn en cantidades dentro de intervalos limitados de la presente invención. Por lo tanto, era posible obtener establemente una estructura de perlita que tiene dureza dentro del intervalo limitado de la presente invención sin generar estructura de ferrita eutectoide, estructura de cementita eutectoide y estructura de martensita, que afecta adversamente a la resistencia al desgaste y la tenacidad.

40 Como se muestra en las Talas 1 a 9, en comparación con los aceros de raíl de los ejemplos comparativos (aceros nos. 62 a 66), los aceros de raíl de la invención (aceros nos. 3 a 39, 41 a 43) incluían estructuras de perlita en las microestructuras de las porciones de la cabeza, y la dureza de las estructuras de perlita estaba dentro del intervalo limitado de la presente invención. Como resultado, era posible mejorar la resistencia al desgaste y la tenacidad de los raíles.

45 La FIG. 7 muestra los resultados del ensayo de desgaste de los aceros de raíl nos. 1 a 43 y los aceros de raíl de los ejemplos comparativos (aceros nos. 44, 46, 47, 48, 49, 62, 64, y 65). En el caso en el que el C, Si y Mn estaban incluidos en cantidades dentro de los intervalos limitados de la presente invención, se evitó la generación de estructura de ferrita eutectoide y estructura de martensita, que afecta adversamente a la resistencia al desgaste, y además, la dureza estaba dentro del intervalo limitado de la presente invención, de este modo era posible mejorar enormemente la resistencia al desgaste con cualquier cantidad de carbono.

55 La FIG. 8 muestra los resultados del ensayo de impacto de los aceros de raíl nos. 1 a 43 y los aceros de raíl de los ejemplos comparativos (aceros nos. 45, 47, 49, 63, 64, y 66). En el caso en el que el C, Si y Mn estaban incluidos en cantidades dentro de los intervalos limitados de la presente invención, se evitó la generación de estructura de ferrita eutectoide y estructura de martensita, que afecta adversamente a la resistencia a la tenacidad, y además, la dureza estaba dentro del intervalo limitado de la presente invención, de este modo era posible mejorar enormemente la

tenacidad con cualquier cantidad de carbono.

5 Como se muestra en las Tablas 1 a 9 y la FIG. 9, en comparación con los aceros de raíl de los ejemplos comparativos (aceros nos. 50 a 61), los aceros de raíl de la invención (aceros nos. 3 a 39, 41 a 43) incluían REM en cantidades dentro del intervalo de la presente invención; y de este modo, era posible mejorar enormemente la tenacidad del raíl perlítico con cualquier cantidad de carbono.

10 Además, como se muestra en las Tablas 1 a 9 y la FIG. 10, con respecto a los aceros de raíl de la invención (aceros nos. 9 a 11, 14 a 16, 20 a 22, 25 a 27, 32 a 34, y 41 a 43), durante la fabricación de los aceros fundidos de raíles, las cantidades de oxígeno en el momento en el que se añade REM en un convertidor se controlaron por pre-desoxidación, y además, las cantidades añadidas de REM se estableció que estaban en el intervalo de la presente invención. De este modo, las relaciones (L/D) de las longitudes (L) del lado largo a las longitudes (D) del lado corto de las inclusiones basadas en sulfuro de Mn se controlaron para que estuvieran en el intervalo de la presente invención. Como resultado, era posible mejorar la tenacidad de los raíles perlíticos. Además de lo anterior, reduciendo la cantidad añadida de S y estableciendo que el número de inclusiones basadas en sulfuro de Mn que tienen longitudes (L) del lado largo en un intervalo de 1 μm a 50 μm estuviera en el intervalo de la presente invención, era posible mejorar adicionalmente la tenacidad del raíl perlítico.

Aplicabilidad industrial

20 El raíl perlítico según la presente invención tiene resistencia al desgaste y tenacidad superior a aquellas de un raíl de alta resistencia actualmente en uso. Por lo tanto, la presente invención se puede aplicar preferentemente a raíles usados en un entorno de las vías extremadamente severo, tal como raíles para ferrocarriles de mercancías que transportan recursos naturales extraídos de regiones con severos entornos naturales.

Breve descripción de los signos de referencia

25 1: porción superior de la cabeza, 2: porción de la esquina de la cabeza, 3: porción de la cabeza del raíl, 3a: porción de la superficie de la cabeza, 3b: una porción que se extiende desde las superficies de las porciones de la esquina de la cabeza y una porción superior de la cabeza hasta una profundidad de 20 mm, 4: muestra de ensayo del raíl, 5: material opuesto, y 6: boquilla para enfriamiento.

REIVINDICACIONES

1. Un raíl perlítico que tiene una composición de acero que consiste en: en cuanto a porcentaje en masa,
- 5 C: de 0,65% a 1,20%;
- Si: de 0,05% a 2,00%;
- Mn: de 0,05% a 2,00%; y
- REM: de 0,0005% a 0,0500%;
- S: de 0,0020% a 0,0200%,
- 10 opcionalmente uno o más seleccionado de Ca: de 0,0005% a 0,0150%, Al: de 0,0040% a 0,50%, Co: de 0,01% a 1,00%, Cr: de 0,01% a 2,00%, Mo: de 0,01% a 0,50%, Nb: de 0,002% a 0,050%, B: de 0,0001% a 0,0050%, Ni: de 0,01% a 1,00%, Ti: de 0,0050% a 0,0500%, Mg: de 0,0005% a 0,0200%, Zr: de 0,0001% a 0,2000%, y N: de 0,0060 a ,0200%,
- siendo el resto Fe e impurezas inevitables,
- 15 en el que, entre una porción (3) de la cabeza del raíl, en una porción (3a) de la superficie de la cabeza que se extiende desde superficies de porciones (2) de la esquina de la cabeza y una porción (1) superior de la cabeza hasta una profundidad de 10 mm o en una porción (3b) que se extiende desde las superficies de las porciones (2) de la esquina de la cabeza y la porción (1) superior de la cabeza hasta una profundidad de 20 mm, el 95% o más de una estructura metalográfica es una estructura de perlita, y la dureza Hv de la porción de la superficie de la cabeza está en un intervalo de 320 a 500.
- 20 2. El raíl perlítico según la reivindicación 1, en el que un valor medio de las relaciones (L/D) de las longitudes (L) del lado largo a las longitudes (D) del lado corto de inclusiones basadas en sulfuro de Mn observadas en una sección transversal arbitraria tomada de una porción que se extiende desde la superficie de la porción superior de la cabeza hasta una profundidad de 3 mm a 10 mm a lo largo de una dirección longitudinal de la estructura de perlita está en un intervalo de 5,0 o menos.
- 25 3. El raíl perlítico según la reivindicación 2, teniendo las inclusiones basadas en sulfuro de Mn longitudes (L) del lado largo en un intervalo de 1 μm a 50 μm están presentes en una cantidad por unidad de área en un intervalo de 10/mm² a 100/mm² en una sección transversal arbitraria tomada a lo largo de la dirección longitudinal de la estructura de perlita.

FIG. 1

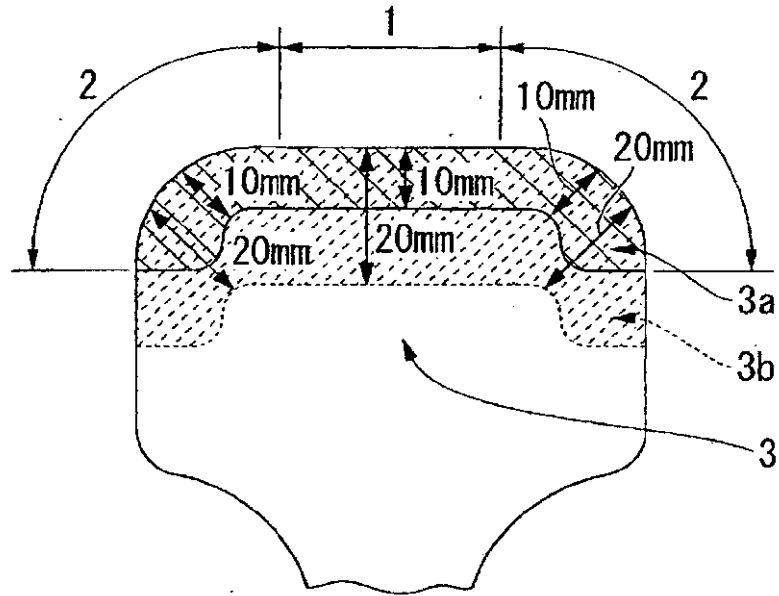


FIG. 2

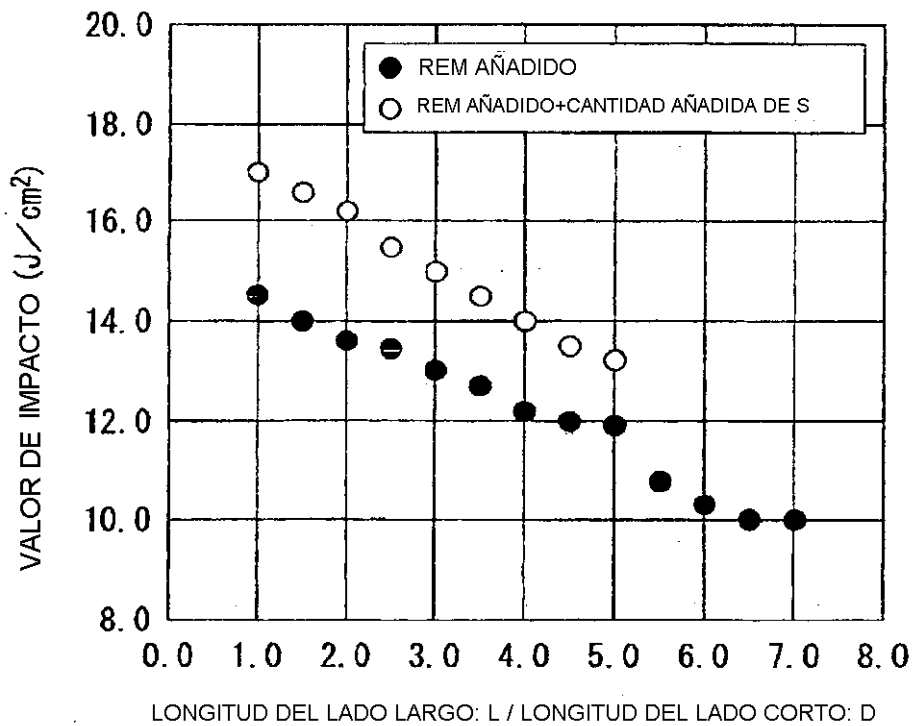


FIG. 3

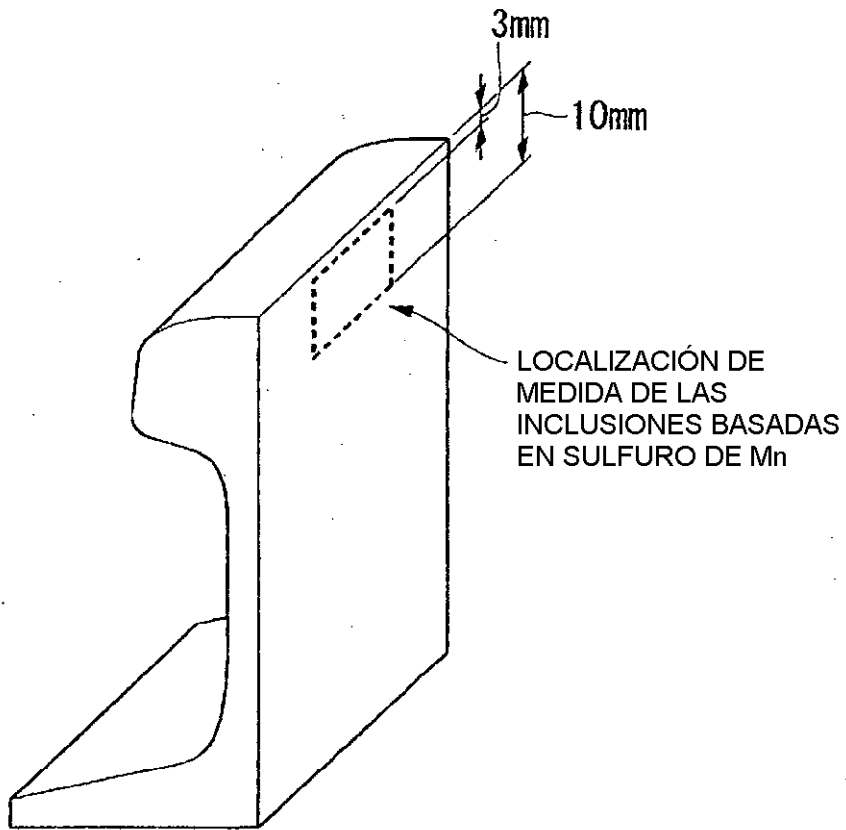


FIG. 4

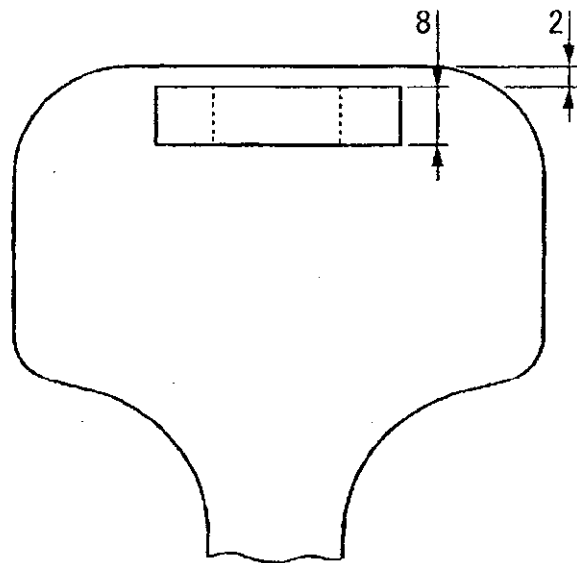


FIG. 5

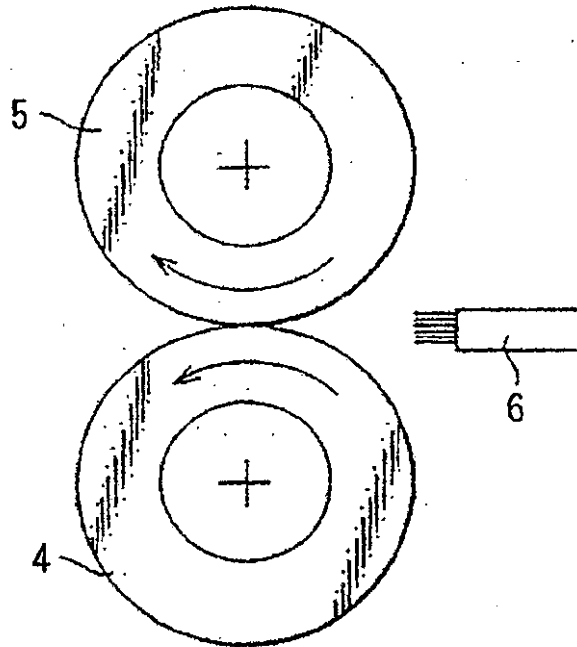


FIG. 6

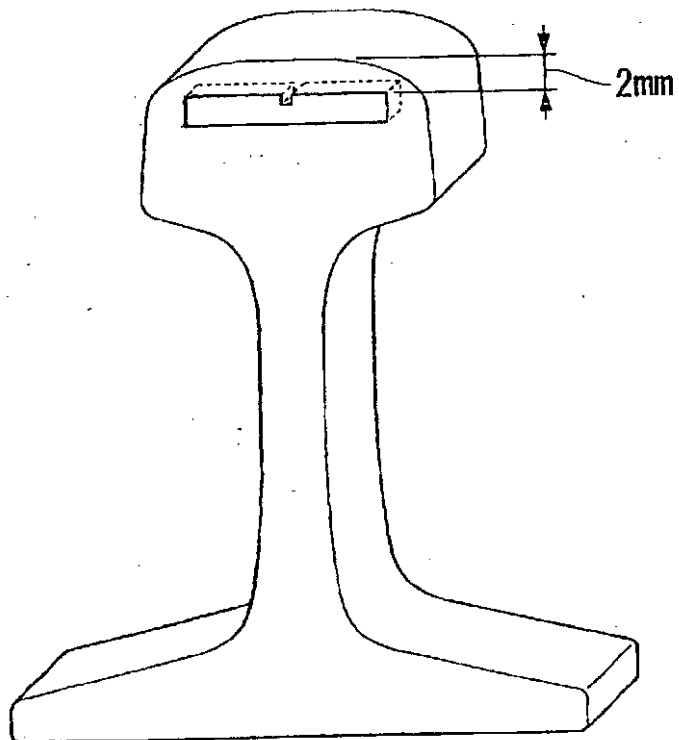


FIG. 7

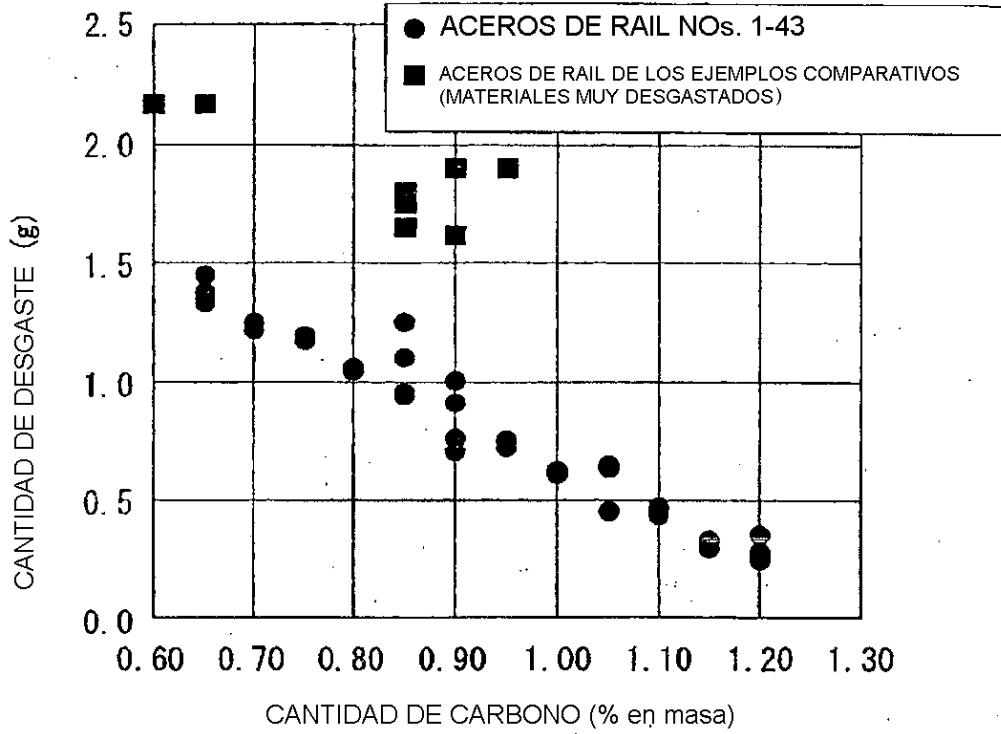


FIG. 8

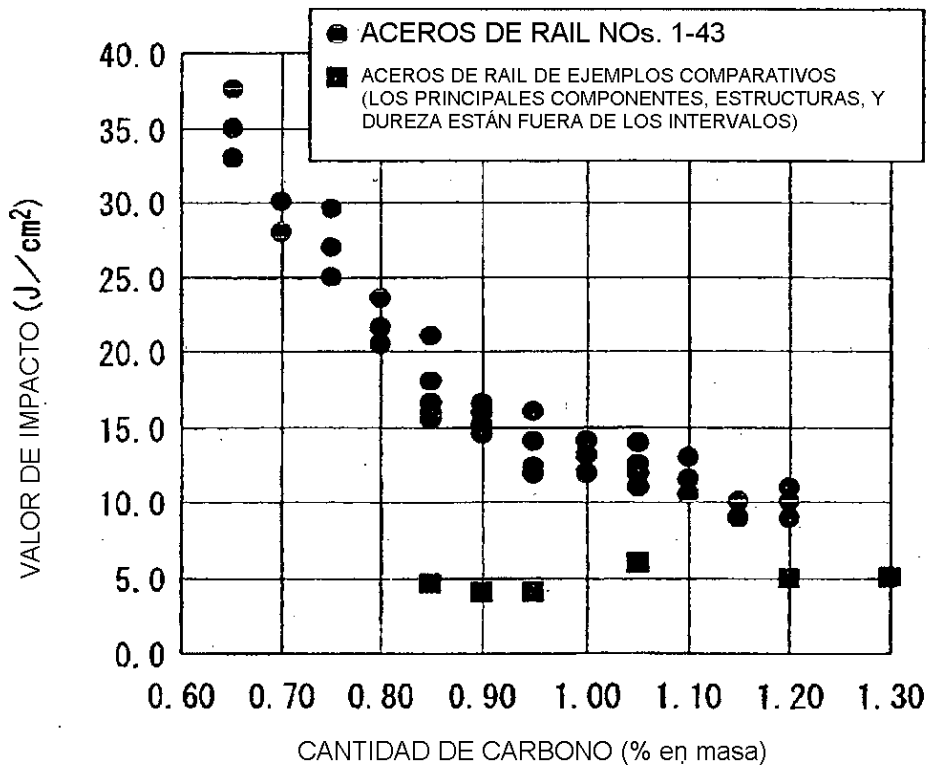


FIG. 9

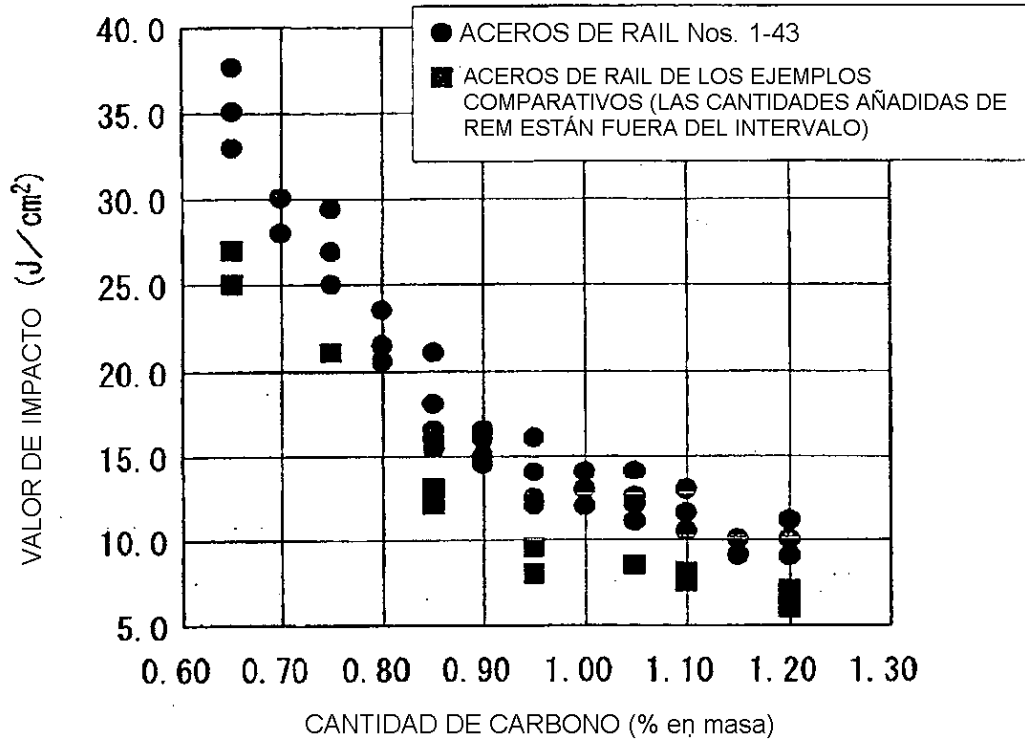


FIG. 10

