

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 749 882**

51 Int. Cl.:

**C22C 38/00** (2006.01)

**B21B 3/00** (2006.01)

**C21D 8/00** (2006.01)

**C21D 9/04** (2006.01)

**C22C 38/34** (2006.01)

**C22C 38/54** (2006.01)

**B21B 1/085** (2006.01)

**C22C 38/02** (2006.01)

**C22C 38/04** (2006.01)

**C22C 38/18** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.06.2011** **PCT/JP2011/063020**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.12.2011** **WO11155481**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.06.2011** **E 11792438 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2019** **EP 2578716**

54 Título: **Riel de acero**

30 Prioridad:

**07.06.2010 JP 2010130164**

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

**24.03.2020**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**UEDA MASA HARU;**  
**TAKAHASHI JUN;**  
**KOBAYASHI AKIRA y**  
**TANAHASHI TAKUYA**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 749 882 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**

Riel de acero

**Campo técnico**

5 La presente invención se refiere a un riel de acero, que consiste en un riel de acero utilizado para ferrocarriles de carga, con el fin de mejorar al mismo tiempo la resistencia al desgaste y la tenacidad de una porción de la cabeza.

La prioridad se reivindica en la solicitud de patente japonesa No. 2010-130164, presentada el 7 de junio de 2010, cuyo contenido se incorpora aquí como referencia.

**Antecedentes de la técnica**

10 Con el desarrollo económico, el terreno en entornos naturales escarpados, no desarrollados hasta el momento, se explota para obtener recursos naturales tales como el carbón. Por lo tanto, el entorno que rodea las vías de un ferrocarril de carga para el transporte de recursos se ha vuelto significativamente más severo, y en consecuencia, existe una demanda en el ámbito ferroviario de lograr una resistencia al desgaste y una tenacidad en regiones frías y similares, que al menos sean tan importantes como las disponibles actualmente. En este contexto, existe una  
15 demanda para el desarrollo de un riel que tenga resistencia al desgaste y alta tenacidad, al menos tan altas como el riel de alta resistencia que se usa actualmente.

Con el fin de mejorar la resistencia al desgaste del acero del riel, se han desarrollado los rieles que se describen a continuación. Las características principales de tales rieles residen en que, para mejorar la resistencia al desgaste, se incrementa el contenido de carbono presente en el acero, como así también, la relación de volumen de la fase de  
20 cementita presente en las laminillas de perlita y, además, se controla la dureza (por ejemplo, remítase a los documentos de patente 1 y 2).

En la técnica descrita en el documento de patente 1, al utilizar acero hipereutectoide (con más de 0,85 % a 1,20 % de C), se observa un aumento de la relación de volumen de cementita en las laminillas en una estructura de perlita, proporcionando así un riel que tiene una excelente resistencia al desgaste.

25 Además, en la técnica descrita en el documento de patente 2, al utilizar acero hipereutectoide (con más de 0,85 % a 1,20 % de C), se observa un aumento de la relación de volumen de la cementita en las laminillas en una estructura de perlita y, al mismo tiempo, se logra controlar la dureza, con lo cual se obtiene un riel que tiene una excelente resistencia al desgaste.

En las técnicas descritas en los documentos de patente 1 y 2, se logra un incremento de la relación de volumen de la fase de cementita en la estructura de perlita al aumentar el contenido de carbono presente en el acero y, por lo tanto, se consigue un aumento en la resistencia al desgaste hasta cierto punto. Sin embargo, en tales casos, la dureza de la estructura de perlita en sí misma se degrada significativamente y, por lo tanto, existe el problema de que es probable que el riel se rompa.

30 En este contexto, se deseaba proporcionar un riel de acero que tuviera una resistencia al desgaste y una tenacidad excelentes, lo cual se lograría mejorando la resistencia al desgaste de una estructura de perlita y al mismo tiempo, mejorando la tenacidad.

En general, para aumentar la tenacidad del acero de perlita, se dice que resulta eficaz el refinamiento (aumento de la finura) de una estructura de perlita, específicamente, el refinamiento de los granos de una estructura de austenita antes de la transformación de perlita, o el refinamiento de un tamaño de bloque de perlita. Con el fin de lograr la  
40 estructura de austenita de grano fino, se realiza una reducción en la temperatura de laminado y un aumento en la reducción de laminado durante el laminado en caliente, y además, se lleva a cabo el tratamiento térmico mediante recalentamiento a baja temperatura después del laminado en riel. Por otra parte, para lograr una estructura fina de perlita, se realiza la aceleración de la transformación de perlita desde el interior de los granos de austenita, usando núcleos de transformación o similares.

45 Sin embargo, en la fabricación de rieles, desde el punto de vista de asegurar la formabilidad durante el laminado en caliente, existen limitaciones en la reducción de la temperatura de laminado y en el aumento de la reducción del laminado y, por lo tanto, es difícil lograr un refinamiento suficiente de los granos de austenita. Además, con respecto a la transformación de perlita desde el interior de los granos de austenita, usando los núcleos de transformación, existe el problema de que se dificulta controlar la cantidad de núcleos de transformación, de que no se estabiliza la transformación de perlita desde el interior de los granos y similares, lo cual evita que se logre una estructura de  
50 perlita suficientemente fina.

A partir de estos problemas, con el fin de mejorar fundamentalmente la tenacidad de un riel que tiene una estructura de perlita, se ha utilizado un método de recalentamiento a baja temperatura después del laminado del riel y luego, de transformación de la perlita mediante enfriamiento acelerado, por lo que se logró el refinado de la estructura de perlita. Sin embargo, en los últimos años, ha habido un aumento progresivo en el contenido de carbono en los rieles

para mejorar la resistencia al desgaste. En este caso, existe el problema de que los carburos gruesos permanecen disueltos en los granos de austenita durante el tratamiento térmico de recalentamiento a baja temperatura y, por lo tanto, la ductilidad o tenacidad de la estructura de perlita se degrada después del enfriamiento acelerado. Además, dado que se realiza el recalentamiento, surgen problemas económicos, como el alto costo de fabricación y la baja productividad.

Aquí, existe una demanda para el desarrollo de un método de fabricación de un riel de acero con alto contenido de carbono, asegurando la formabilidad durante el laminado en caliente y el refinamiento de una estructura de perlita después del laminado en caliente. Para resolver los problemas, se han desarrollado métodos de fabricación de un riel de acero con alto contenido de carbono, como se describirá a continuación. Las características principales de tales rieles son que para aumentar la finura de una estructura de perlita, se usa una propiedad de los granos de austenita de acero con alto contenido de carbono que es más probable, que hace que se recristalicen a una temperatura relativamente baja y a una pequeña cantidad de reducción de laminado. En consecuencia, se obtienen granos finos bien ordenados, mediante laminado continuo con una pequeña reducción de laminado, lo que mejora la ductilidad o tenacidad del acero perlita (por ejemplo, véanse los documentos de patente 3, 4 y 5).

En la técnica descrita en el documento de patente 3, en el laminado de acabado de un riel de acero que tiene acero con alto contenido de carbono, se realizan tres o más pasadas continuas de laminado en caliente entre el intervalo de tiempo predeterminado de las pasadas de laminado, proporcionando así una alta ductilidad y una alta tenacidad del riel.

Además, en la técnica descrita en el documento de patente 4, en el laminado de acabado de un riel de acero que tiene acero con alto contenido de carbono, se realizan dos o más pasadas continuas de laminado entre el intervalo de tiempo predeterminado de las pasadas de laminado en caliente y, además, después de realizar un laminado continuo, se realiza un enfriamiento acelerado posterior al laminado en caliente, lo que proporciona un riel de alta resistencia al desgaste y alta tenacidad.

Por otro lado, en la técnica descrita en el documento de patente 5, el laminado de acabado de un riel de acero que tiene acero con alto contenido de carbono, el enfriamiento se realiza entre las pasadas de laminado en caliente y, después de realizar un laminado continuo, se lleva a cabo un enfriamiento acelerado posterior al laminado en caliente, con lo cual se obtiene un riel de alta resistencia al desgaste y alta tenacidad.

En las técnicas descritas en los documentos de patente 3 a 5, por la temperatura durante el laminado en caliente continuo, y por una combinación del número de pasadas de laminado y el tiempo entre pasadas, se logra el refinamiento de la estructura de austenita hasta un cierto nivel y, por lo tanto, se reconoce un ligero aumento en dureza. Sin embargo, no se reconoce el efecto con respecto a las fracturas producidas por las inclusiones existentes en el acero como orígenes, o las fracturas producidas por la estructura de perlita, como origen distinto de las inclusiones como orígenes [SIC], y la dureza no se mejora fundamentalmente.

#### Lista de citas

Publicaciones de patentes

Documento de patente 1: solicitud de patente japonesa sin examinar, primera publicación número H8-144016.

Documento de patente 2: solicitud de patente japonesa sin examinar, primera publicación número H8-246100.

Documento de patente 3: solicitud de patente japonesa sin examinar, primera publicación número H7-173530.

Documento de patente 4: solicitud de patente japonesa sin examinar, primera publicación número 2001-234238.

Documento de patente 5: solicitud de patente japonesa sin examinar, primera publicación número 2002-226915.

La patente JP 2005-171327 A se refiere a un método para fabricar un riel basado en perlita, que tiene una excelente resistencia al daño superficial y resistencia al daño por fatiga interna.

#### Compendio de la invención

Problema técnico

La presente invención se ha realizado teniendo en cuenta las circunstancias anteriores, y un objeto de la misma consiste en proporcionar un riel de acero que tenga al mismo tiempo, una porción de la cabeza con una mayor resistencia al desgaste y una mejor tenacidad, lo cual se requiere en un riel para un ferrocarril de carga en un entorno con vías escarpadas.

Solución al problema

Para lograr el objetivo de resolver el problema, la presente invención emplea las siguientes medidas.

(1) Es decir, según un aspecto de la presente invención, se proporciona un riel de acero que incluye, expresado como % en masa, más del 0,85 % y hasta 1,20 % inclusive de C; 0,05 % a 2,00 % de Si;

0,05 % a 0,50 % de Mn; 0,05 % a 0,60 % de Cr; 0,0020 % a 0,0150 % de P y el resto consiste en Fe y las impurezas inevitables, en donde el 97 % o más de una porción de superficie de la cabeza, que se encuentra en un intervalo comprendido desde la superficie de una porción de la esquina de la cabeza y una porción superior de la cabeza, como punto de partida, hasta una profundidad de 10 mm, tiene una estructura de perlita; la dureza Vickers de la estructura de perlita es Hv320 a 500, y el valor de CMn/FMn es un valor obtenido dividiendo CMn [at. %], que es la concentración de Mn de la fase de cementita presente en la estructura de perlita, por FMn [at. %], que es la concentración de Mn de la fase de ferrita es igual o superior a 1,0 e igual o inferior a 5,0.

Aquí, Hv representa la dureza Vickers especificada en la norma JIS Z2244. Además, at. % representa el porcentaje de composición atómica.

(2) En el aspecto descrito en (1), se incluyen, además, un tipo, o dos, o más tipos seleccionados del grupo que consiste, expresado como % en masa, en lo siguiente: 0,01 % a 0,50 % de Mo; 0,005 % a 0,50 % de V; 0,001 % a 0,050 % de Nb; 0,01 % a 1,00 % de Co; 0,0001 % a 0,0050 % de B; 0,01 % a 1,00 % de Cu; 0,01 % a 1,00 % de Ni; 0,0050 % a 0,0500 % de Ti; 0,0005 % a 0,0200 % de Mg; 0,0005 % a 0,0200 % de Ca; 0,0001 % a 0,0100 % de Zr; 0,0040 % a 1,00 % de Al y 0,0060 % a 0,0200 % de N.

El método para fabricar el riel de acero descrito en (1) o (2) puede emplear una configuración que incluye lo siguiente: realizar el primer enfriamiento acelerado en una porción de la cabeza del riel de acero a una temperatura igual o superior a un punto Ar1, inmediatamente después del laminado en caliente, o en una porción de la cabeza del riel de acero recalentada a una temperatura igual o superior al punto Ac1 + 30 °C, a los efectos del tratamiento térmico, a una velocidad de enfriamiento de 4 a 15 °C/s, desde un intervalo de temperatura igual o superior a 750 °C; detener el primer enfriamiento acelerado en el momento en el cual la temperatura de la porción de la cabeza del riel de acero alcanza una temperatura de 600 °C a 450 °C; controlar el nivel máximo en el que aumenta la temperatura, incluso el calor de transformación y el calor de recuperación, para que sea igual o inferior a 50 °C desde una temperatura de detención del enfriamiento acelerada; luego, realizar un segundo enfriamiento acelerado, a una velocidad de enfriamiento de 0,5 a 2,0 °C/s y detener el segundo enfriamiento acelerado en el momento en el cual la temperatura de la porción de la cabeza del riel de acero alcanza los 400 °C o menos.

Efectos ventajosos de la invención

De acuerdo con los aspectos descritos en (1) a (2), al controlar la estructura, la dureza y, además, el valor de CMn/FMn de la parte de la cabeza del riel de acero que tiene una estructura de perlita de alto contenido de carbono, a fin de que se ubiquen en los intervalos predeterminados, es posible mejorar simultáneamente tanto la resistencia al desgaste como la tenacidad del riel para un ferrocarril de carga.

### Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un gráfico que muestra la relación entre la adición de Mn y el valor de impacto en el acero de perlita, que tiene un contenido de carbono del 1,00 %.

La figura 2 es un gráfico que muestra la relación entre el valor de CMn/FMn y el valor de impacto en el acero de perlita, que tiene un contenido de carbono del 1,00 %.

La figura 3(A) es un gráfico que muestra la relación entre la velocidad de enfriamiento acelerada (velocidad de enfriamiento del primer enfriamiento acelerado) después del laminado en caliente o después de recalentar el acero de perlita que tiene un contenido de carbono de 1,00 % y un valor de CMn/FMn. La figura 3(B) es un gráfico que muestra la relación entre la velocidad de enfriamiento acelerada después del laminado en caliente o después del recalentamiento del acero de perlita que tiene un contenido de carbono de 1,00 % y el valor de impacto.

La figura 4(A) es un gráfico que muestra la relación entre la cantidad de aumento de la temperatura máxima después del enfriamiento acelerado posterior al laminado en caliente o después de recalentar el acero de perlita que tiene un contenido de carbono de 1,00 % y un valor de CMn/FMn. La figura 4(B) es un gráfico que muestra la relación entre el nivel máximo en el que aumenta la temperatura después del enfriamiento acelerado posterior al laminado en caliente o después del recalentamiento del acero de perlita que tiene un contenido de carbono de 1,00 % y el valor de impacto.

La figura 5(A) es un gráfico que muestra la relación entre la velocidad de enfriamiento acelerado (velocidad de enfriamiento del segundo enfriamiento acelerado) después de un aumento de temperatura del acero de perlita que tiene un contenido de carbono de 1,00 % y un valor de CMn/FMn. La figura 5(B) es un gráfico que muestra la relación entre la velocidad de enfriamiento acelerada después de un aumento de temperatura del acero de perlita que tiene un contenido de carbono de 1,00 % y el valor de impacto.

La figura 6 es una vista explicativa de la porción de la cabeza de un riel de acero fabricado por un método de fabricación de un riel de acero de acuerdo con una realización de la presente invención.

La figura 7 es un diagrama que muestra la porción de la cabeza del riel de acero y es una vista explicativa que muestra una posición de recolección de muestras en las pruebas de desgaste que se muestran en las tablas 1-1 a 3-2.

5 La figura 8 es una vista lateral que muestra el resumen de las pruebas de desgaste que se muestran en las tablas 1-1 a 3-2.

La figura 9 es un diagrama que muestra la porción de la cabeza del riel de acero y es una vista explicativa que muestra una posición de recolección de muestras en las pruebas de impacto que se muestran en las tablas 1-1 a 3-2.

10 La figura 10 es un gráfico que muestra la relación entre el contenido de carbono y la magnitud del desgaste de los aceros para riel (números de referencia A1 a A47) de la presente invención y los aceros de riel comparativos (números de referencia a1, a3, a4, a5, a7, a8 y a12), mostrados en las tablas 1-1 a 2.

La figura 11 es un gráfico que muestra la relación entre el contenido de carbono y el valor de impacto de los aceros para riel (números de referencia A1 a A47) de la presente invención y los aceros de riel comparativos (números de referencia a2, a4, a6 y a9 a a12) mostrados en las tablas 1-1 a 2.

15 La figura 12 es un gráfico que muestra la relación entre el contenido de carbono y la magnitud del desgaste de los aceros para riel (números de referencia B1 a B25) fabricados por el método de fabricación de un riel de acero de acuerdo con la realización y aceros de riel (números de referencia b1, b3, b5 a b8, b12 y b13) fabricados por un método de fabricación comparativo, se muestra en las tablas 3-1 y 3-2.

20 La figura 13 es un gráfico que muestra la relación entre el contenido de carbono y el valor de impacto de los aceros de riel (números de referencia B1 a B25) fabricados por el método de fabricación de un riel de acero de acuerdo con la realización y aceros de riel (números de referencia b2 a b6 y b9 a b12) fabricados por el método de fabricación comparativo, que se muestra en las tablas 3-1 y 3-2.

#### Descripción de las realizaciones

25 A continuación, se describirá en detalle un riel de acero que tiene una resistencia al desgaste y una tenacidad excelentes, de acuerdo con una realización de la presente invención.

Por lo tanto, la presente invención no ha de interpretarse como limitada por el contenido de las realizaciones descritas a continuación. En lo sucesivo, el % en masa que representa la composición se describe simplemente como %.

30 Primero, los inventores examinaron un sistema de componentes de acero, que tenía un efecto adverso sobre la tenacidad de un riel. Usando aceros con un contenido de carbono de 1,00 % C como base y modificando el contenido de P, se efectuó un laminado en caliente y experimentos de tratamiento térmico, en condiciones de laminado en caliente simuladas correspondientes a un riel. Además, se examinó el efecto del contenido de P sobre el valor de impacto, para lo que se llevó a cabo una prueba de impacto.

35 Como resultado, se confirmó que cuando el contenido de P en un acero de riel que tiene una estructura de perlita con una dureza de Hv320 a 500 se reduce a 0,0150 % o menos, se incrementa el valor de impacto.

40 Más adelante, los inventores aclararon los factores que controlan los valores de impacto para aumentar aún más el valor de impacto de un riel, es decir, para mejorar la tenacidad. Para investigar el origen de una fractura en un riel de acero que tiene una estructura de perlita en la que una estructura en capas está compuesta de una fase de ferrita y una fase de cementita, se observaron en detalle unas muestras sometidas a la prueba de impacto Charpy. Como resultado, en muchos casos, no se reconocieron inclusiones y similares en las porciones de origen de la fractura, y el origen fue la estructura de perlita.

Además, los inventores habían investigado en detalle la estructura de la perlita que se convierte en el origen de la fractura. Como resultado, se confirmó que se producen grietas en la fase de cementita en la estructura de perlita del origen.

45 Aquí, los inventores estudiaron la relación entre la aparición de grietas de la fase de cementita y sus componentes. Unos aceros que tenían una estructura de perlita que tenía como base un acero cuyo contenido de P era igual o inferior al 0,0150 % y un contenido de carbono de 1,00 % y que se modificaba según el contenido de Mn adicionado, se fundieron para la prueba, y se llevaron a cabo un laminado de prueba, en condiciones simuladas de laminado en caliente, correspondientes a la fabricación de rieles y experimentos de tratamiento térmico. Además, se examinó el efecto de la adición de Mn en un valor de impacto, mediante la realización de una prueba de impacto.

50 La figura 1 es un gráfico que muestra la relación entre la adición de Mn y el valor de impacto. Se confirmó que cuando se redujo la adición de Mn, el valor de impacto se incrementó, y que cuando la adición de Mn fue igual o inferior al 0,50 %, el valor de impacto se incrementó significativamente. Además, como resultado de observar la estructura de perlita en la porción de origen, se confirmó que cuando la adición de Mn es igual o inferior al 0,50 %, el valor de impacto se incrementó significativamente.

se reduce el número de grietas en la fase de cementita.

Después, los inventores estudiaron el contenido de Mn en la fase de ferrita y la fase de cementita en la estructura de perlita. Como resultado, se confirmó que cuando la adición de Mn en la estructura de perlita se redujo, el contenido de Mn en la fase de cementita se redujo particularmente.

5 A partir de estos resultados, fue evidente que la tenacidad de la estructura de perlita tenía una correlación con la adición de Mn, y cuando se reducía la adición de Mn, disminuía el contenido de Mn en la fase de cementita, se eliminaba el agrietamiento de la fase de cementita en la porción de origen y, en consecuencia, mejoraba la dureza de la estructura de perlita.

10 El Mn en la estructura de perlita se disuelve como una solución sólida en las fases de cementita y ferrita. Cuando se suprime la concentración de Mn de la fase de cementita que se convierte en el origen de una fractura, aumenta la concentración de Mn de la fase de ferrita. Aquí, los inventores investigaron básicamente la relación entre el equilibrio de las concentraciones de Mn de las fases y la tenacidad, al reducir la adición de Mn.

15 En un laboratorio, se produjeron unos aceros que tenían una estructura de perlita con un contenido de P igual o inferior a 0,0150 %, una adición de Mn de 0,30 % y un contenido de carbono de 1,00 %, se produjeron en forma de lingotes y se laminaron en condiciones de laminado en caliente simuladas, correspondiente a la fabricación de rieles y se llevaron a cabo experimentos de tratamiento térmico en diversas condiciones. Además, al realizar una investigación del contenido de Mn en la fase de ferrita y la fase de cementita y una prueba de impacto, se investigó la relación entre el valor de impacto y el contenido de Mn en la fase de ferrita y en la fase de cementita.

20 La figura 2 muestra la relación entre el valor de CMn/FMn y el valor de impacto. Se confirmó que cuando las estructuras de perlita tenían la misma adición de Mn, al reducir el valor de CMn/FMn, al aumentar el valor de impacto y si el valor de CMn/FMn era igual o menor a 5,0, el valor de impacto aumentaba de un modo significativo.

25 A partir del resultado, fue evidente que al controlar la adición de Mn de la estructura de perlita para que fuera igual o inferior al 0,50 % y al controlar el valor de CMn/FMn para que fuera igual o inferior a 5,0, el agrietamiento en la fase de cementita en el origen, donde se ejercía el impacto, disminuía sensiblemente y, como resultado, mejoraba la tenacidad de la estructura de perlita.

30 Además, los inventores examinaron un método para controlar el valor de CMn/FMn cuando la adición de Mn de la estructura de perlita se controlaba para que fuera igual o inferior al 0,50 %. En un laboratorio, se produjo un acero cuya estructura de perlita tenía un contenido de P igual o inferior a 0,0150 %, una adición de Mn de 0,30 % y un contenido de carbono de 1,00 %, en forma de lingotes, y se llevaron un laminado de prueba, como laminado en caliente simulado para los rieles y experimentos de tratamiento térmico en diversas condiciones. Además, se investigó el efecto de las condiciones de tratamiento térmico sobre la relación entre el valor de CMn/FMn y el valor de impacto, mediante la investigación de los valores de CMn/FMn y una prueba de impacto.

La figura 3(A) es un gráfico que muestra la relación entre la velocidad de enfriamiento acelerada después del laminado en caliente o después del recalentamiento y el valor de CMn/FMn.

35 La figura 3(B) es un gráfico que muestra la relación entre la velocidad de enfriamiento acelerada después del laminado en caliente o después del recalentamiento y el valor de impacto.

La figura 4(A) es un gráfico que muestra la relación entre el nivel máximo en el que aumenta la temperatura después del enfriamiento acelerado y el valor de CMn/FMn.

40 La figura 4(B) es un gráfico que muestra la relación entre el nivel máximo en el que aumenta la temperatura después del enfriamiento acelerado y el valor de impacto.

La figura 5(A) es un gráfico que muestra la relación entre la velocidad de enfriamiento acelerada después de un aumento de temperatura y el valor de CMn/FMn.

La figura 5(B) es un gráfico que muestra la relación entre la velocidad de enfriamiento acelerada después de un aumento de temperatura y un valor de impacto.

45 Además, las condiciones de fabricación de la base de aceros para rieles mostradas en las figuras 3 a 5 son tales como se las describe a continuación, y con respecto a las condiciones básicas de fabricación, la fabricación se realizó cambiando solo las condiciones a evaluar.

Condiciones de enfriamiento tras el laminado en caliente y el recalentamiento

Temperatura de inicio del enfriamiento: 800 °C, velocidad de enfriamiento: 7 °C/s.

50 Temperatura de detención del enfriamiento: 500 °C, nivel máximo en el que aumenta la temperatura: 30 °C.

Condiciones de enfriamiento tras el aumento de la temperatura

Temperatura de inicio del enfriamiento: 530 °C, velocidad de enfriamiento: 1,0 °C/s.

Temperatura de detención del enfriamiento: 350 °C.

Por ejemplo, con respecto a la relación entre la velocidad de enfriamiento acelerada después del laminado en caliente o después del recalentamiento y el valor de CMn/FMn que se muestra en la figura 3, se cita la fabricación en condiciones en la que solo se modificó la velocidad de enfriamiento acelerada después del laminado en caliente o después del recalentamiento en condiciones básicas de fabricación.

Como resultado, fue evidente que el valor de CMn/FMn se modificó significativamente mediante: (1) una velocidad de enfriamiento acelerada después del laminado en caliente o después del recalentamiento, (2) el nivel máximo en el que aumenta la temperatura después del enfriamiento acelerado y (3) una velocidad de enfriamiento acelerada después de un aumento de temperatura. Además, se descubrió que al controlar la velocidad de enfriamiento y el nivel en el que aumenta la temperatura en intervalos constantes, se eliminaba el aumento en la concentración de Mn en la fase de cementita, se reducía el valor de CMn/FMn y se eliminaba en consecuencia el agrietamiento en la fase de cementita de la estructura de perlita en la porción de origen, lo cual derivaba en un aumento significativo en el valor del impacto.

Es decir, de acuerdo con esta realización, al controlar la estructura, la dureza, la adición de Mn y el valor de CMn/FMn de la porción de la cabeza de un riel de acero, cuya estructura de perlita tiene un alto contenido de carbono, para mantenerse en intervalos constantes y al realizar tratamientos térmicos apropiados en la porción de la cabeza del riel, es posible mejorar simultáneamente tanto la resistencia al desgaste como la tenacidad del riel para un ferrocarril de carga.

A continuación, se describirán en detalle los motivos por los que se imponen limitaciones en la presente invención.

(1) Motivo para limitar los componentes químicos del acero

La razón por la cual los componentes químicos del acero en el riel de acero de esta realización están limitados a los intervalos numéricos descritos con anterioridad se describirá de un modo pormenorizado.

El C es un elemento eficaz para acelerar la transformación de perlita y garantizar la resistencia al desgaste. Cuando el contenido de C es inferior al 0,85 %, puede no mantenerse la robustez mínima o la resistencia al desgaste requerida en riel en este sistema de componentes. Además, cuando el contenido de C supera el 1,20 %, se genera una gran cantidad de estructura de cementita de proeutectoide gruesa y, por lo tanto, se degrada la resistencia al desgaste o la tenacidad. En consecuencia, la adición de C se limita a más de 0,85 % a 1,20 %. Además, para mejorar la resistencia al desgaste y la tenacidad, se prefiere más que el contenido de C varíe del 0,90 % al 1,10 %.

El Si es un componente esencial como material desoxidante. Además, el Si aumenta la dureza (resistencia) de la porción de la cabeza del riel a través del fortalecimiento de una solución sólida en la fase de ferrita en la estructura de perlita y, por lo tanto, mejora la resistencia al desgaste. Además, el Si es un elemento que suprime la generación de una estructura de cementita de proeutectoide en acero hipereutectoide y, por lo tanto, suprime la degradación de la tenacidad. Sin embargo, cuando el contenido de Si es inferior al 0,05 %, esos efectos pueden no ser lo suficientemente previsible. Además, cuando el contenido de Si supera el 2,00 %, se generan muchos defectos en la superficie durante el laminado en caliente o se generan óxidos, lo que da como resultado la degradación de la soldabilidad. Además, la capacidad de endurecimiento aumenta significativamente y, por lo tanto, es más probable que se genere una estructura de martensita que sea perjudicial para la resistencia al desgaste o la tenacidad del riel. Por lo tanto, la adición de Si está limitada a 0,05 % a 2,00 %. Además, para aumentar la dureza (robustez) de la porción de la cabeza del riel y suprimir la generación de la estructura de martensita que es perjudicial para la resistencia al desgaste o la tenacidad, es más preferible que el contenido de Si varíe del 0,10 % al 1,30 %.

El Mn es un elemento que aumenta la capacidad de endurecimiento y, por lo tanto, aumenta la finura de un espaciado laminar de perlita, asegurando así la dureza de la estructura de perlita y mejorando la resistencia al desgaste. Sin embargo, cuando el contenido de Mn es inferior al 0,05 %, esos efectos son menores y es difícil garantizar la resistencia al desgaste necesaria para el riel. Además, cuando el contenido de Mn excede el 0,50 %, la concentración de Mn de la fase de cementita en la estructura de perlita aumenta, el agrietamiento en la fase de cementita de la porción de origen de la fractura se exagera, lo que deriva en una degradación significativa en la tenacidad de la estructura de perlita. Por lo tanto, la adición de Mn está limitada a 0,05 % a 0,50 %. Además, para suprimir el agrietamiento en la fase de cementita y la dureza de la estructura de perlita, se prefiere más que el contenido de Mn varíe del 0,10 % al 0,45 %.

El Cr es un elemento que aumenta la temperatura de transformación de equilibrio y, en consecuencia, aumenta la finura de la separación laminar de la estructura de perlita, contribuyendo así a un aumento de la dureza (robustez). En simultáneo, el Cr fortalece la fase de cementita y, por lo tanto, mejora la dureza (robustez) de la estructura de perlita, mejorando así la resistencia al desgaste de la estructura de perlita. Sin embargo, cuando el contenido de Cr es inferior al 0,05 %, esos efectos son menores, y un efecto de mejorar la dureza del acero del riel puede no mostrarse por completo. Asimismo, cuando se realiza una adición excesiva para hacer que el contenido de Cr sea superior al 0,60 %, es más probable que se genere una estructura de vainita, que es perjudicial para la resistencia al

desgaste del riel. Además, aumenta la capacidad de endurecimiento y, por lo tanto, es más probable que se genere una estructura de martensita que es perjudicial para la resistencia al desgaste o la resistencia del riel. Por lo tanto, la adición de Cr está limitada a 0,05 % a 0,60 %. Además, para mejorar la dureza del acero del riel y suprimir la generación de la estructura de bainita o la estructura de martensita que es perjudicial para la resistencia al desgaste o la tenacidad, se prefiere más que el contenido de Cr varíe del 0,10 % al 0,40 %.

El P es un elemento que se encuentra inevitablemente en el acero. Existe una correlación entre el contenido de P y la tenacidad. Cuando se incrementa el contenido de P, la estructura de la perlita se torna más frágil, debido a la fragilidad de la fase de ferrita y, por lo tanto, es más factible que se produzca una fractura por resquebrajamiento, es decir, por daños en el riel. En consecuencia, para mejorar la tenacidad, es preferible que el contenido de P sea bajo. Como resultado de verificar la correlación entre el valor de impacto y el contenido de P en un laboratorio, se confirmó que cuando el contenido de P se reducía a 0,0150 % o menos, se eliminaba la fragilidad de la fase de ferrita, que constituía el origen de la fractura, y por lo tanto, mejoraba significativamente el valor de impacto. A partir de este resultado, el contenido de P se limita de un modo tal que sea igual o menor a 0,0150 %. Por otro lado, el nivel mínimo del contenido de P no tiene limitaciones. Sin embargo, al considerar el rendimiento de desfosforización en un proceso de refinación, se cree que alrededor del 0,0020 % es el límite del contenido de P durante la fabricación real.

Por otra parte, un tratamiento para reducir el contenido de P no solo engrosa los costos de refinación, sino que también degrada la productividad. Aquí, en consideración de la eficiencia económica y para aumentar de manera estable el valor del impacto, es preferible que el contenido de P varíe de 0,0030 % a 0,0100 %.

Además, al riel fabricado con la composición de componentes descrita con anterioridad, es posible incorporarle los elementos Mo, V, Nb, Co, B, Cu, Ni, Ti, Ca, Mg, Zr, Al y N, según sea necesario, con el propósito de mejorar la dureza (robustez) de la estructura de perlita, es decir, optimizar la resistencia al desgaste, además de mejorar la tenacidad, evitando el ablandamiento de las zonas afectadas por el calor de la soldadura, y controlando la distribución de la dureza en sección transversal del interior de la porción de la cabeza del riel.

Aquí, el Mo aumenta el punto de transformación de equilibrio de la perlita y, principalmente, aumenta la finura del espacio laminar de la perlita, lo que mejora la dureza de la estructura de la perlita. El V y el Nb suprimen el crecimiento de granos de austenita por los carburos y nitruros generados durante el laminado en caliente y el proceso de enfriamiento posterior, y mejoran la tenacidad y la dureza de la estructura de perlita mediante el endurecimiento por precipitación. Además, el V y el Nb generan de manera estable carburos y nitruros durante el recalentamiento y, por lo tanto, evita que se ablande una zona afectada por el calor en una junta de una soldadura. El Co aumenta la finura de la estructura laminar o el tamaño de grano de ferrita de una superficie de desgaste, lo que aumenta la resistencia al desgaste de la estructura de perlita. El B reduce la dependencia de la velocidad de enfriamiento de una temperatura de transformación de perlita, uniformando así la distribución de la dureza de la porción de la cabeza del riel. El Cu se disuelve como una solución sólida en ferrita en la estructura de ferrita o en la estructura de perlita, aumentando así la dureza de la estructura de perlita. El Ni mejora la tenacidad y la dureza de la estructura de ferrita o de la estructura de perlita y al mismo tiempo evita que se ablande la zona afectada por el calor de una junta de soldadura. El Ti aumenta la finura de la estructura de la zona afectada por el calor y, por lo tanto, evita la fragilidad de la parte de la junta de una soldadura. El Ca y el Mg aumentan la finura de los granos de austenita durante el laminado del riel y simultáneamente aceleran la transformación de la perlita, mejorando así la tenacidad de la estructura de la perlita. El Zr aumenta la tasa de cristalización equiaxial de una estructura solidificada y elimina la formación de una zona de segregación de la porción central de una losa o floración, reduciendo así el grosor de la estructura de cementita proeutectoide y mejorando la dureza de la estructura de perlita. El Al desplaza la temperatura de transformación eutectoide hacia el lado de temperaturas más altas y, por lo tanto, aumenta la dureza de la estructura de perlita. El N acelera la transformación de perlita debido a la segregación en los límites de grano de austenita y aumenta la finura del tamaño del bloque de perlita, lo que mejora la tenacidad. Los efectos de cada uno de los elementos se han descrito con anterioridad y constituyen el principal motivo por el cual se los incluye.

A continuación se describirán en detalle los motivos por los cuales se limitan dichos componentes.

El Mo es un elemento que aumenta la temperatura de transformación de equilibrio, al igual que el Cr y, en consecuencia, aumenta la finura del espacio laminar de la estructura de perlita, lo que aumenta la dureza de la estructura de perlita y mejora la resistencia al desgaste del riel. Sin embargo, cuando el contenido de Mo es inferior al 0,01 %, esos efectos son menores y no se observa en absoluto el efecto de mejorar la dureza del acero del riel. Además, cuando se realiza una adición excesiva para que el contenido de Mo sea superior al 0,50 %, se reduce significativamente la tasa de transformación y, por lo tanto, es más probable que se genere una estructura de bainita que es perjudicial para la resistencia al desgaste del riel. Por otro lado, en la estructura de perlita, se genera una estructura de martensita, que es perjudicial para la tenacidad del riel. En consecuencia, la adición de Mo se limita a un valor de entre 0,01 % y 0,50 %.

El V es un elemento que precipita como carburos de V o nitruros de V durante el laminado en caliente típico o el tratamiento térmico realizado a alta temperatura y aumenta la finura de los granos de austenita debido a un efecto de fijación, lo que mejora la dureza de la estructura de perlita. Además, el V es un elemento que aumenta la dureza

(robustez) de la estructura de perlita, a través del endurecimiento por precipitación por los carburos de V y los nitruros de V generados durante el proceso de enfriamiento posterior al laminado en caliente, mejorando así la resistencia al desgaste de la estructura perlita. Además, el V es un elemento que genera carburos de V o nitruros de V en un intervalo de temperatura relativamente alto en una zona afectada por el calor, que se recalienta en un intervalo de temperatura igual o inferior a un punto Ac1 y, por lo tanto, es eficaz para evitar que se ablande la zona afectada por el calor en una junta de soldadura. Sin embargo, cuando el contenido de V es inferior al 0,005 %, esos efectos pueden no ser lo suficientemente previsibles, y no se reconoce la mejora de la estructura de perlita en lo que se refiere a su tenacidad o dureza (robustez). Por otra parte, cuando el contenido de V supera el 0,50 %, el endurecimiento por precipitación de los carburos de V o los nitruros de V se produce en exceso, y por ende, la estructura de perlita se torna frágil, degradando así la tenacidad del riel. En consecuencia, la adición de V se limita a valores de entre 0,005 % y 0,50 %.

Al igual que el V, el Nb es un elemento que aumenta la finura de los granos de austenita debido al efecto de fijación de los carburos de Nb o los nitruros de Nb, en caso de que se realice un laminado en caliente o un tratamiento térmico a alta temperatura y, por lo tanto, mejora la dureza del estructura de perlita. Además, el Nb es un elemento que aumenta la dureza (robustez) de la estructura de perlita, mediante el endurecimiento por precipitación por los carburos de Nb y los nitruros de Nb generados durante un proceso de enfriamiento posterior al laminado en caliente, lo que mejora la resistencia al desgaste de la estructura de perlita. Además, el Nb es un elemento que genera carburos de Nb o nitruros de Nb de manera estable, desde un intervalo de bajas temperaturas hasta un intervalo de altas temperaturas en una zona afectada por el calor que se recalienta en un intervalo de temperatura igual o inferior al punto Ac1, y es, por lo tanto, eficaz para evitar que se ablande la zona afectada por el calor en la unión de una soldadura. Sin embargo, cuando el contenido de Nb es inferior al 0,001 %, puede que efectos no sean previsibles y que no se reconozca la mejora de la estructura de perlita, en lo que compete a su tenacidad o dureza (robustez). Además, cuando el contenido de Nb supera el 0,050 %, el endurecimiento por precipitación de los carburos de Nb o los nitruros de Nb se produce en exceso, y por lo tanto la estructura de perlita se torna frágil, lo cual degrada la dureza del riel. Por lo tanto, la adición de Nb se limita a valores de entre 0,001 % y 0,050 %.

El Co es un elemento que se disuelve como una solución sólida en la ferrita en la estructura de perlita y aumenta aún más la finura de la ferrita en la estructura de perlita, mejorando así la resistencia al desgaste. Sin embargo, cuando el contenido de Co es inferior al 0,01 %, el refinamiento de la ferrita en la estructura de perlita puede no lograrse y, por lo tanto, puede que no se logre el efecto de mejorar la resistencia al desgaste. Además, cuando el contenido de Co supera el 1,00 %, esos efectos se saturan y, por lo tanto, es imposible lograr el refinamiento de la ferrita en la estructura de perlita de acuerdo con el contenido de la adición. Por otro lado, se reduce la eficiencia económica debido a un aumento de los costos causado por la adición de aleaciones. En consecuencia, la adición de Co se limita a valores de entre 0,01 % y 1,00 %.

El B es un elemento que forma borocarburos de hierro ( $\text{Fe}_{23}(\text{CB})_6$ ) en los límites de grano de austenita, acelera la transformación de perlita y, por lo tanto, reduce la dependencia de la velocidad de enfriamiento de la temperatura de transformación de perlita. En consecuencia, el B imparte una distribución de dureza más uniforme, desde la superficie de la cabeza hacia el interior y, por lo tanto, aumenta la vida útil del riel. Sin embargo, cuando el contenido de B es inferior al 0,0001 %, esos efectos no son suficientes y no se reconoce la mejora de la distribución de la dureza de la porción de la cabeza del riel. Además, cuando el contenido de B supera el 0,0050 %, se generan borocarburos de hierro gruesos y, por lo tanto, se exagera la fractura por resquebrajamiento, lo cual deviene en la degradación de la tenacidad del riel. Por consiguiente, la adición de B se limita a valores de entre 0,0001 % y 0,0050 %.

El Cu es un elemento que se disuelve como una solución sólida en ferrita en la estructura de perlita y mejora la dureza (robustez) de la estructura de perlita, a través del fortalecimiento de la solución sólida, mejorando así la resistencia al desgaste de la estructura de perlita. Sin embargo, cuando el contenido de Cu es inferior al 0,01 %, es posible que no se logren esos efectos. Además, cuando el contenido de Cu supera el 1,00 %, debido a un aumento significativo en la capacidad de endurecimiento, se genera una estructura de martensita que es perjudicial para la tenacidad de la estructura de perlita, lo que da como resultado la degradación de la tenacidad del riel. Por consiguiente, el contenido de Cu se limita a valores de entre 0,01 % y 1,00 %.

El Ni es un elemento que mejora la tenacidad de la estructura de perlita y al mismo tiempo aumenta la dureza (robustez) de la misma, a través del fortalecimiento de la solución sólida, mejorando así la resistencia al desgaste de la estructura de perlita. Además, el Ni es un elemento que precipita finamente como un compuesto intermetálico de  $\text{Ni}_3\text{Ti}$  con Ti en la zona afectada por el calor de la soldadura y elimina el ablandamiento a través del endurecimiento por precipitación. Por otra parte, el Ni es un elemento que elimina la fragilidad de los límites de grano del acero con agregado de Cu. Sin embargo, cuando el contenido de Ni es inferior al 0,01 %, esos efectos son significativamente menores. Asimismo, cuando el contenido de Ni supera el 1,00 %, se genera una estructura de martensita en la estructura de perlita, debido al aumento significativo en la capacidad de endurecimiento, lo que resulta en la degradación de la tenacidad del riel. Por lo tanto, el contenido de Ni se limita a valores de entre 0,01 % y 1,00 %.

El Ti es un elemento que se precipita como carburos de Ti o nitruros de Ti, en caso de que se realice un laminado en caliente o tratamiento térmico típico a altas temperaturas y aumenta la finura de los granos de austenita debido al efecto de fijación, por lo que es efectivo para mejorar la tenacidad de la estructura de perlita. Además, el Ti es un

elemento que aumenta la dureza (robustez) de la estructura de perlita a través del endurecimiento por precipitación por los carburos de Ti y los nitruros de Ti generados durante un proceso de enfriamiento posterior al laminado en caliente, mejorando así la resistencia al desgaste de la estructura de perlita. Por otra parte, el Ti es un componente que aumenta la finura de la estructura de la zona afectada por el calor calentada a un intervalo de austenita, aprovechando las propiedades de los carburos de Ti y los nitruros de Ti, que precipitan durante el recalentamiento para soldar, no disolviéndose y, por lo tanto, es eficaz para prevenir la fragilidad de la parte de la junta de soldadura. Sin embargo, cuando el contenido de Ti es menor que 0,0050 %, esos efectos son menores. Asimismo, cuando el contenido de Ti supera el 0,0500 %, se generan carburos de Ti y nitruros de Ti gruesos, y por lo tanto se exagera la fractura por resquebrajamiento, lo cual redundaría en la degradación de la tenacidad del riel. En consecuencia, la adición de Ti se limita a valores de entre 0,0050 % y 0,0500 %.

El Mg es un elemento que se une al O, al S, al o a elementos similares y forma óxidos finos, elimina el crecimiento de granos de cristal durante el recalentamiento en el laminado de los rieles y, por lo tanto, aumenta la finura de los granos de austenita, lo que mejora la dureza de la estructura de perlita. Además, el Mg contribuye a la transformación de la perlita porque el MgS hace que el MnS esté finamente distribuido y, por lo tanto, que se formen núcleos de ferrita o cementita en la periferia del MnS. Como resultado, se incrementa la finura del tamaño de bloque de la perlita, mejorando así la tenacidad de la estructura de la perlita. Sin embargo, cuando el contenido de Mg es inferior al 0,0005 %, esos efectos son leves. Cuando el contenido de Mg excede el 0,0200 %, se generan óxidos de Mg gruesos, y por lo tanto, se exagera la fractura por resquebrajamiento, lo cual resulta en la degradación de la tenacidad del riel. Por lo tanto, el contenido de Mg está limitado a valores de entre 0,0005 % a 0,0200 %.

El Ca está fuertemente unido al S y forma sulfuro, en forma de CaS. El CaS hace que el MnS se distribuya finamente y que se forme una zona diluida de Mn en la periferia de MnS, lo que contribuye a la transformación de perlita. Como resultado, se incrementa la finura del tamaño del bloque de perlita, de modo que se puede mejorar la dureza de la estructura de perlita. Sin embargo, cuando el contenido de Ca es inferior al 0,0005 %, esos efectos son leves. Cuando el contenido de Ca supera el 0,0200 %, se generan óxidos de Ca gruesos y, por lo tanto, se exagera la fractura por resquebrajamiento, lo que da como resultado la degradación de la tenacidad del riel. Por lo tanto, el contenido de Ca está limitado a valores de entre 0,0005 % y 0,0200 %.

El Zr aumenta la velocidad de cristalización equiaxial de una estructura solidificada porque una inclusión de  $ZrO_2$  tiene una buena correspondencia de red con  $\gamma$ -Fe y, por lo tanto, la inclusión de  $ZrO_2$  se convierte en un núcleo de solidificación de un acero de riel de alto carbono, que es una solidificación de fase  $\gamma$ . Como resultado, se elimina la formación de una zona de segregación de la porción central de una losa o floración, suprimiendo así la generación de la estructura de martensita o cementita proeutectoide generada en la porción de segregación del riel. Sin embargo, cuando el contenido de Zr es inferior al 0,0001 %, el número de inclusiones basadas en  $ZrO_2$  es pequeño y, por lo tanto, no se exhibe una acción suficiente como núcleo de solidificación. Como resultado, se genera una estructura de martensita o cementita proeutectoide en la porción de segregación, y en consecuencia, se degrada la resistencia del riel. Además, cuando el contenido de Zr excede el 0,2000 %, se genera una gran cantidad de inclusiones gruesas basadas en Zr y, por consiguiente, se exagera la fractura por resquebrajamiento, lo que resulta en la degradación de la tenacidad del riel. Por lo tanto, el contenido de Zr está limitado a valores de entre 0,0001 % y 0,2000 %.

El Al es un componente eficaz como material desoxidante. Además, el Al es un elemento que traslada la temperatura de transformación del eutectoide hacia el lado de las temperaturas más altas y, por lo tanto, contribuye a un aumento en la dureza (robustez) de la estructura de perlita, mejorando así la resistencia al desgaste de la estructura de perlita. Sin embargo, cuando el contenido de Al es inferior al 0,0040 %, esos efectos son débiles. Por otra parte, cuando el contenido de Al supera el 1,00 %, es difícil hacer que el Al se disuelva como una solución sólida en acero y, por lo tanto, se generan inclusiones gruesas basadas en alúmina. Además, los precipitados gruesos se convierten en el origen del daño por fatiga y, por consiguiente, se exagera la fractura por resquebrajamiento, dando como resultado la degradación de la tenacidad del riel. Asimismo, se generan óxidos durante la soldadura, de modo que la soldabilidad se degrada significativamente. Por lo tanto, la adición de Al se limita a valores de entre 0,0040 % y 1,00 %.

El N se segrega en los límites de grano de austenita y, por lo tanto, acelera la transformación de perlita a partir de los límites de grano de austenita. Además, el N aumenta principalmente la finura del tamaño del bloque de perlita, lo que mejora la tenacidad. Por otra parte, la precipitación de VN o AlN se acelera agregando V y Al en simultáneo. Por consiguiente, en un caso en el que se realiza un laminado en caliente o un tratamiento térmico típico a altas temperaturas, la finura de los granos de austenita se incrementa debido al efecto de fijación de VN o AlN, lo que mejora la dureza de la estructura de perlita. Sin embargo, cuando el contenido de N es inferior al 0,0050 %, esos efectos son leves. Cuando el contenido de N supera el 0,0200 %, es difícil que el N se disuelva como una solución sólida en acero, se generan burbujas que se convierten en el origen del daño por fatiga y, por lo tanto, se agrava la fractura por resquebrajamiento, lo que da como resultado la degradación de la tenacidad del riel. Por lo tanto, el contenido de N se limita a valores de entre 0,0050 % y 0,0200 %. El acero de riel que tiene la composición de componentes descrita con anterioridad puede usarse en la fabricación de lingotes, en un horno de fusión típico, tal como un horno convertidor o un horno eléctrico, y el acero fundido puede utilizarse para fabricar un riel, mediante moldeo de lingotes, floración o colada continua y continuar con laminado en caliente.

(2) Motivo para limitar la estructura metálica

A continuación se describirán de un modo detallado los motivos por los que la estructura metálica de una porción de superficie de la cabeza del riel en el riel de acero de la presente invención se limita a la perlita.

5 Cuando la estructura de ferrita proeutectoide, la estructura de cementita de proeutectoide, la estructura de bainita y la estructura de martensita se mezclan con la estructura de perlita, se produce un agrietamiento fino y frágil en la estructura de cementita de proeutectoide, y la estructura de martensita presenta durezas relativamente bajas, lo cual deviene en la degradación de la dureza del riel. Además, cuando la estructura de ferrita proeutectoide y la estructura de bainita que tienen durezas relativamente bajas se mezclan con la estructura de perlita, el desgaste se acelera, por lo que se degrada la resistencia al desgaste del riel. En consecuencia, con el propósito de mejorar la resistencia al desgaste y la tenacidad, es preferible que haya una estructura de perlita como la estructura metálica de la porción de superficie de la cabeza del riel. Por lo tanto, la estructura metálica de la porción de superficie de la cabeza del riel se limita a la estructura de perlita.

15 Además, es preferible que la estructura metálica del riel según esta realización sea una estructura monofásica de perlita, de acuerdo con la limitación anterior. Sin embargo, dependiendo del sistema de componentes del riel y del método de fabricación del tratamiento térmico, se incorpora una pequeña cantidad de la estructura de ferrita proeutectoide, de la estructura de cementita de proeutectoide, de la estructura de bainita o de la estructura de martensita que tiene una relación de área de menos del 3 % a la estructura de perlita. Sin embargo, aunque se incorpore dicha estructura, cuando la relación de área de la misma sea inferior al 3 %, la estructura no tiene un efecto adverso significativo sobre la resistencia al desgaste o la tenacidad de la porción de la cabeza del riel. Por lo tanto, una estructura distinta de la estructura de perlita, como la estructura de ferrita proeutectoide, la estructura de cementita de proeutectoide, la estructura de bainita o la estructura de martensita puede mezclarse con la estructura del riel de acero que tiene una excelente resistencia al desgaste y tenacidad, siempre que la relación de área de la estructura sea inferior al 3 %, es decir, que la estructura sea pequeña en cuanto a su cantidad.

25 En otras palabras, el 97 % o más de la estructura metálica de la porción de superficie de la cabeza del riel de acuerdo con esta realización puede ser la estructura de perlita. Para asegurar lo suficiente la resistencia al desgaste o la resistencia necesaria para el riel, se prefiere más que el 99 % o más de la estructura metálica de la porción de superficie de la cabeza sea la estructura de perlita. Además, en la columna Microestructura de las tablas 1-1 a 3-2, una pequeña cantidad designa menos del 3 %.

30 Específicamente, la relación de la estructura metálica es el valor de la relación de área, en un caso en el que se observa una posición a una profundidad de 4 mm desde la superficie de la porción de superficie de la cabeza del riel y la posición se utiliza con un microscopio. El método de medición es tal como se describe a continuación.

Pretratamiento: después de cortar el riel, se realiza el pulido de una sección transversal.

Ataque químico: Nital al 3 %.

Aparato de observación: microscopio óptico.

35 Posición de observación: una posición a una profundidad de 4 mm desde la superficie de la porción de superficie de la cabeza del riel.

\* Las posiciones específicas de la porción de superficie de la cabeza del riel son las indicadas en la figura 6.

Conteo de observaciones: 10 o más puntos.

40 Método de determinación de la estructura: cada estructura de perlita, bainita, martensita, ferrita proeutectoide y cementita proeutectoide se determinó tomando fotografías de las estructuras y por observación detallada.

Cálculo de la relación: cálculo de la relación de área, mediante el análisis de las imágenes.

(3) intervalo necesario de la estructura de perlita

45 A continuación, se describirá la razón por la cual el intervalo necesario de la estructura de perlita para la porción de la cabeza del riel del riel de acero de la presente invención se limita a la porción de la superficie de la cabeza del acero del riel.

50 La figura 6 muestra un diagrama en un caso en el que el riel de acero que tiene una resistencia al desgaste y tenacidad excelentes de acuerdo con esta realización se ve en una sección transversal, perpendicular a la dirección longitudinal del mismo. Una porción de la cabeza de riel 3 incluye una porción superior de la cabeza 1 y unas porciones de las esquinas de la cabeza 2, situadas a ambos extremos de la porción superior de cabeza 1. Una de las porciones de las esquinas de la cabeza 2 es una porción de la esquina de calibre (G.C., *gauge corner*) que principalmente entra en contacto con las ruedas.

El intervalo desde la superficie de las porciones de las esquinas de la cabeza 2 y la porción superior de cabeza 1,

como punto de partida hasta una profundidad de 10 mm, se denomina porción de la superficie de la cabeza (número de referencia 3a, porción de línea continua). Además, el intervalo desde la superficie de las porciones de las esquinas de la cabeza 2 y la porción superior de la cabeza 1, como punto de partida, hasta una profundidad de 20 mm, se indica por el número de referencia 3b, (porción de línea punteada).

- 5 Como se muestra en la figura 6, cuando la estructura de perlita está dispuesta en la porción de la superficie de la cabeza (número de referencia 3a), en el intervalo desde la superficie de las porciones de las esquinas de la cabeza 2 y la porción superior de la cabeza 1, como punto de partida, hasta una profundidad de 10 mm, se elimina el desgaste por contacto con las ruedas y, de este modo, se logra la mejora de la resistencia al desgaste del riel. Por otro lado, en el caso donde la estructura de perlita esté dispuesta en un intervalo de menos de 10 mm, no se logra de un modo suficiente eliminar el desgaste por el contacto con las ruedas y la vida útil del riel se reduce. En consecuencia, la profundidad necesaria para la estructura de perlita se limita a una porción de la superficie de la cabeza que tenga una profundidad de 10 mm, desde la superficie de las porciones de las esquinas de la cabeza 2 y la porción superior de la cabeza 1, como el punto de partida.

- 15 Además, se prefiere más que la estructura de perlita esté dispuesta en el intervalo 3b desde la superficie de las porciones de las esquinas de la cabeza 2 y la porción superior de la cabeza 1, como el punto de partida, hasta a una profundidad de 20 mm, es decir, al menos en la porción de la línea punteada en la figura 1. En consecuencia, es posible mejorar todavía más la resistencia al desgaste en un caso en el que la porción de la cabeza del riel se desgasta hasta la porción interna por el contacto con las ruedas, y así lograr la mejora en la vida útil del riel.

- 20 Es preferible que la estructura de perlita se disponga en las proximidades de la superficie de la porción de la cabeza del riel 3, donde principalmente las ruedas y el riel entran en contacto entre sí, y en términos de resistencia al desgaste, las otras porciones pueden tener una estructura metálica aparte de la estructura de perlita.

(4) Motivo para limitar la dureza de la estructura de perlita de la porción de la superficie de la cabeza

A continuación, se describirá la razón por la cual la dureza de la estructura de perlita de la porción de la superficie de la cabeza del riel, en el riel de acero de esta realización, se limita a un intervalo de Hv320 a 500.

- 25 En este sistema de componentes, cuando la dureza de la estructura de perlita es menor que Hv320, la resistencia al desgaste de la porción de superficie de la cabeza del riel se degrada, lo que resulta en una reducción en la vida útil del riel. Además, cuando la dureza de la estructura de perlita excede de Hv500, es más probable que se produzca un agrietamiento quebradizo fino en la estructura de perlita, lo que deriva en la degradación de la tenacidad del riel. Por consiguiente, la dureza de la estructura de perlita se limita al intervalo de Hv320 a 500.

- 30 Además, como método para obtener una estructura de perlita que tenga una dureza de Hv320 a 500 en la porción de la cabeza del riel, como se describirá más adelante, se realiza un enfriamiento acelerado, preferiblemente en la porción de la cabeza del riel, a 750 °C o más después del laminado en caliente o después de recalentar.

- 35 Específicamente, la dureza de la porción de la cabeza del riel de esta realización es un valor obtenido al medir una posición a una profundidad de 4 mm, desde la superficie de la porción de superficie de la cabeza del riel, con un medidor de dureza Vickers. El método de medición es tal como se describe a continuación.

Pretratamiento: después de cortar el riel, se realiza el pulido en una sección transversal.

Método de medición: medición basada en la norma JIS Z 2244.

Medidor: medidor de dureza Vickers (una carga de 98N).

- 40 Punto de medición: una posición a una profundidad de 4 mm desde la superficie de la porción de superficie de la cabeza del riel.

\* La posición específica de la porción de superficie de la cabeza del riel es la que se indica en la figura 6.

Número de mediciones: es preferible medir 5 o más puntos y usar el valor promedio de los mismos como valor representativo del riel de acero.

(5) Motivo para limitar el valor de CMn/FMn en la estructura de perlita

- 45 A continuación, se describirá la razón por la cual el valor de CMn/FMn en la estructura de perlita en el riel de acero de la presente invención se limita a 5,0 o menos.

- 50 Cuando se reduce el valor de CMn/FMn en la estructura de perlita, disminuye la concentración de Mn en la fase de cementita. Como resultado, mejora la tenacidad de la fase de cementita y, por lo tanto, se reduce el agrietamiento en la fase de cementita, en el origen que recibe un impacto. Como resultado de realizar una prueba de laboratorio de manera minuciosa, se confirmó que al controlar el valor de CMn/FMn para que fuera igual o menor a 5,0, se reducía significativamente el agrietamiento en la fase de cementita en el origen que recibía el impacto, y por lo tanto mejoraba significativamente el valor de impacto. Por lo tanto, el valor de CMn/FMn se limita a 5,0 o menos. Además,

teniendo en cuenta varias condiciones de tratamiento térmico sobre la premisa de garantizar la estructura de perlita, se cree que el límite del valor de CMn/FMn es de aproximadamente 1,0 cuando se fabrica el riel en la realidad.

- 5 Para medir la concentración de Mn de la fase de cementita (CMn) y la concentración de Mn de la fase de ferrita (FMn) en la estructura de perlita del carril de esta realización, se usó un método de sonda atómica 3D (3DAP). El método de medición es tal como se describe a continuación.

Posición de recolección de muestra: una posición ubicada a 4 mm desde la superficie de la porción de superficie de la cabeza del riel.

Pretratamiento: una muestra en forma de aguja se procesa según un método FIB (*focused ion beam*, haz de iones enfocado) (10  $\mu\text{m}$   $\times$  10  $\mu\text{m}$   $\times$  100  $\mu\text{m}$ ).

- 10 Aparato de medición: método de sonda atómica 3D (3 DAP).

Método de medición:

Análisis de componentes de iones metálicos emitidos por aplicación de voltaje, utilizando un detector de coordenadas.

Tiempo de vuelo iónico: tipo de elemento, Coordenadas: posición 3D.

- 15 Voltaje: CC, pulso (relación de pulso de 20 % o más).

Temperatura de la muestra: 40 K o menos.

Número de mediciones: se miden 5 puntos o más y se utiliza el valor promedio de los mismos como valor representativo.

(6) Condición de tratamiento térmico

- 20 Primero, se describirá la razón por la cual la temperatura de la porción de la cabeza del riel a la que se inicia el enfriamiento acelerado se limita a 750 °C o más.

- 25 Cuando la temperatura de la porción de la cabeza es inferior a 750 °C, se genera una estructura de perlita antes del enfriamiento acelerado, y el control de la dureza de la porción de la superficie de la cabeza mediante el tratamiento térmico se hace imposible; por lo tanto, no se obtiene la dureza predeterminada. Además, en un acero con un alto contenido de carbono, se genera una estructura de cementita proeutectoide y así, la estructura de perlita se resquebraja, lo que da como resultado la degradación de la tenacidad del riel. Por lo tanto, la temperatura de la porción de la cabeza del riel de acero a la que se realiza el enfriamiento acelerado se limita a 750 °C o más.

- 30 A continuación, se describirá la razón por la cual el intervalo de temperatura de detención del enfriamiento acelerado y la velocidad de enfriamiento acelerado se limitan a los intervalos anteriores, en un método para realizar el enfriamiento acelerado en la porción de la cabeza del riel a una velocidad de enfriamiento de 4 a 15 °C/s, desde un intervalo de temperatura igual o superior a 750 °C y detener el enfriamiento acelerado cuando la temperatura de la porción de la cabeza del riel de acero alcanza 600 °C a 450 °C.

- 35 Cuando se detiene el enfriamiento acelerado a una temperatura superior a 600 °C, la transformación de la perlita se inicia en un intervalo de altas temperaturas, inmediatamente después del enfriamiento, y por lo tanto se genera una gran cantidad de estructura de perlita gruesa, que tiene una baja dureza. Como resultado, la dureza de la porción de la superficie de la cabeza se vuelve inferior a Hv320 y, por lo tanto, es difícil garantizar la resistencia al desgaste necesaria para el riel. Además, cuando se realiza un enfriamiento acelerado a menos de 450 °C, en el sistema de componentes, no se transforma en absoluto la estructura de austenita durante el enfriamiento acelerado, y se genera una estructura de bainita o una estructura de martensita en la porción de la superficie de la cabeza, lo cual da como resultado la degradación de la resistencia al desgaste o la tenacidad del riel. Por lo tanto, el intervalo de temperatura de detención del enfriamiento acelerado se limita a un intervalo de 600 °C a 450 °C.

- 45 Después, cuando la velocidad de enfriamiento acelerado de la porción de la cabeza llega a ser inferior a 4 °C/s, se inicia la transformación de perlita durante el enfriamiento acelerado, en un intervalo de altas temperaturas. Como resultado, la dureza de la porción de la superficie de la cabeza se vuelve menor que Hv320, y es difícil asegurar la resistencia al desgaste necesaria para el riel. Además, la difusión de Mn se acelera durante la transformación de perlita, aumenta la concentración de Mn de la fase de cementita y, por lo tanto, el valor de CMn/FMn excede de 5,0. En consecuencia, se acelera la aparición de grietas de cementita en una porción del punto de partida y, por lo tanto, la dureza del riel se degrada. Además, cuando la velocidad de enfriamiento acelerado excede los 15 °C/s, en el sistema de componentes, se genera una estructura de bainita o una estructura de martensita en la porción de la superficie de la cabeza. Por otro lado, en caso de que la temperatura de enfriamiento acelerado sea relativamente alta, se genera un alto calor de recuperación después del enfriamiento acelerado. Como resultado, se acelera la difusión de Mn durante la transformación, se incrementa la concentración de Mn de la fase de cementita y, por ende, el valor de CMn/FMn excede de 5,0. Como resultado de ello, se degrada la resistencia al desgaste o la tenacidad del

riel. Por lo tanto, la velocidad de enfriamiento se limita a un intervalo de 4 a 15 °C/s.

Además, para generar de manera estable una estructura de perlita que tenga una resistencia al desgaste y una tenacidad excelentes, es preferible que la velocidad de enfriamiento acelerado encuadre en un intervalo de 5 a 12 °C/s.

- 5 A continuación, se describirá la razón por la cual el nivel máximo en el que aumenta la temperatura, incluido el calor de transformación y el calor de recuperación generado después del enfriamiento acelerado, se limita a 50 °C o menos, partiendo de la temperatura de detención del enfriamiento acelerado.

En el sistema de componentes, el enfriamiento acelerado se realiza en la porción de la cabeza del riel, desde un intervalo de temperatura igual o superior a 750 °C, y cuando el enfriamiento acelerado se detiene en un intervalo de 600 °C a 450 °C, se produce un aumento de la temperatura, que incluye el calor de transformación y el calor de recuperación, después del enfriamiento acelerado. El nivel en el que aumenta la temperatura cambia significativamente por la selección de la velocidad de enfriamiento acelerada o la temperatura de detención, y puede haber casos en los que la temperatura de la superficie de la porción de la cabeza del riel aumente a una temperatura aproximada de 150 °C como máximo. El nivel en el que aumenta la temperatura representa el comportamiento de la transformación de perlita de la porción de superficie de la cabeza, así como la superficie de la porción de la cabeza del riel, y tiene un efecto significativo sobre las propiedades de la estructura de perlita de la porción de superficie de la cabeza del riel, es decir, la tenacidad (el contenido de Mn en la fase de cementita). Cuando el nivel máximo en el que aumenta la temperatura, incluido el calor de transformación y el calor de recuperación excede los 50 °C, se acelera la difusión de Mn en la fase de cementita durante la transformación de perlita, debido a un aumento de la temperatura, aumenta la concentración de Mn de la fase de cementita, y por lo tanto el valor de CMn/FMn excede de 5,0. Como resultado, se acelera la aparición de grietas en la fase de cementita en la porción del punto de partida y, por lo tanto, se degrada la tenacidad del riel. Como consecuencia, el nivel máximo en el que aumenta la temperatura se limita a 50 °C o menos, desde la temperatura de detención del enfriamiento acelerado. Además, aunque el límite inferior del nivel máximo en el que aumenta la temperatura no tiene restricciones, para terminar de manera constante la transformación de perlita y hacer que el valor de CMn/FMn sea confiablemente igual o menor a 5,0, es preferible que el límite inferior del mismo sea de 0 °C.

A continuación, en un método para llevar a cabo un enfriamiento acelerado, a una velocidad de enfriamiento de 0,5 a 2,0 °C/s después del aumento de temperatura, incluido el calor de transformación y el calor de recuperación, y detener el enfriamiento acelerado en el momento en el que la temperatura de la porción de la cabeza del acero el riel alcanza 400 °C o menos, se describirá la razón por la cual el intervalo de temperatura de detención del enfriamiento acelerado y la velocidad de enfriamiento acelerado se limitan a los intervalos anteriores.

Cuando se detiene el enfriamiento acelerado a una temperatura superior a los 400 °C, se produce el revenido en la estructura de perlita, después de la transformación. Como resultado, se reduce la dureza de la estructura de perlita y, por lo tanto, se degrada la resistencia al desgaste del riel. En consecuencia, la temperatura de detención del enfriamiento acelerado se limita a un intervalo igual o inferior a 400 °C. Además, aunque el límite inferior de la temperatura de detención del enfriamiento acelerado no tiene restricciones, para eliminar el revenido de la estructura de perlita y suprimir la generación de la estructura de martensita en la porción de segregación, es preferible que el límite inferior de la misma sea de 100 °C o más.

Además, el revenido de una estructura de perlita descrita aquí designa que la fase de cementita de una estructura de perlita se encuentra en un estado separado. Cuando la fase de cementita se separa, la dureza de la estructura de perlita se reduce y, por lo tanto, la resistencia al desgaste se degrada.

Luego, cuando la velocidad de enfriamiento acelerado de la porción de la cabeza es inferior a 0,5 °C/s, se acelera la difusión de Mn, se produce un aumento parcial en la concentración de Mn en la fase de cementita y, por lo tanto, el valor de CMn/FMn excede de 5,0. Como resultado, se acelera la aparición de grietas en la fase de cementita en la porción del punto de partida y, por lo tanto, la tenacidad del riel se degrada. Además, cuando la velocidad de enfriamiento acelerado excede los 2,0 °C/s, se exagera la generación de una estructura de martensita en una porción de segregación y, por lo tanto, la tenacidad del riel se degrada significativamente. Como consecuencia de ello, la velocidad de enfriamiento acelerado se limita a un intervalo comprendido entre 0,5 y 2,0 °C/s. Además, en términos de eliminar el aumento en la concentración de Mn en la fase de cementita, es preferible que el enfriamiento acelerado se realice lo más inmediatamente posible después de completar el aumento de temperatura en una operación real.

El control de temperatura de la porción de la cabeza del riel durante un tratamiento térmico puede realizarse midiendo de manera representativa la temperatura de la superficie de la porción de la cabeza en la porción superior de la cabeza (número de referencia 1) y la porción de la esquina de la cabeza (número de referencia 2), que se representan en la figura 6, para toda la porción de la superficie de la cabeza del riel (número de referencia 3a).

## Ejemplos

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

Las tablas 1-1 y 1-2 muestran los componentes químicos y las características del acero para rieles de la presente invención. Las tablas 1-1 y 1-2 muestran el valor del componente químico, la microestructura de la porción de la cabeza del riel, la dureza y el valor de CMn/FMn. Además, también se muestran los resultados de una prueba de desgaste realizada en una muestra recogida de la posición representada en la figura 7, mediante un método ilustrado en la figura 8, y los resultados de una prueba de impacto realizada en una muestra recogida de la posición representada en la figura 9.

Además, las condiciones de fabricación del acero para rieles de la presente invención, que se muestran en las tablas 1-1 y 1-2 son tales como se describen a continuación.

Condiciones de enfriamiento después tras el laminado en caliente y el recalentamiento

Temperatura de inicio del enfriamiento: 800 °C; velocidad de enfriamiento: 7 °C/s.

Temperatura de detención del enfriamiento: 500 °C, nivel máximo en el que aumenta la temperatura: 30 °C.

Condiciones de enfriamiento tras el aumento de temperatura

Temperatura de inicio del enfriamiento: 530 °C; velocidad de enfriamiento: 1,0 °C/s.

Temperatura de detención del enfriamiento: 350 °C.

La tabla 2 muestra los componentes químicos y las características de los aceros para rieles comparativos. La tabla 2 muestra el valor del componente químico, la microestructura de la porción de la cabeza del riel, la dureza y el valor de CMn/FMn. Además, también se muestran los resultados de una prueba de desgaste realizada en una muestra recogida de la posición representada en la figura 7, mediante un método ilustrado en la figura 8, y los resultados de una prueba de impacto realizada en una muestra recogida de la posición que se representa en la figura 9.

Por otra parte, las condiciones de fabricación del acero para rieles de la presente invención representadas en la tabla 2 son tales como se describen a continuación.

Condiciones de enfriamiento tras el laminado en caliente y el recalentamiento

Temperatura de inicio del enfriamiento: 800 °C; velocidad de enfriamiento: 7 °C/s.

Temperatura de detención del enfriamiento: 500 °C, nivel máximo en el que aumenta la temperatura: 30 °C.

Condiciones de enfriamiento tras el aumento de temperatura

Temperatura de inicio del enfriamiento: 530 °C; velocidad de enfriamiento: 1,0 °C/s.

Temperatura de detención del enfriamiento: 350 °C.

Las tablas 3-1 y 3-2 muestran los resultados de fabricación del método de fabricación de un riel de la presente invención y los resultados de fabricación de un método de fabricación comparativo, usando los aceros para rieles que se representan en las tablas 1-1 y 1-2. Las tablas 3-1 y 3-2 muestran, como condiciones de enfriamiento tras el laminado en caliente y el recalentamiento, la temperatura de inicio del enfriamiento, la velocidad de enfriamiento, la temperatura de detención del enfriamiento y, además, el aumento máximo de temperatura después de detener el enfriamiento, y como condiciones de enfriamiento después de un aumento de temperatura, dichas tablas muestran el temperatura de inicio del enfriamiento, la velocidad de enfriamiento y la temperatura de detención del enfriamiento.

Asimismo, [se representa] la microestructura de la porción de la cabeza del riel, la dureza y el valor de CMn/FMn. Además, también se muestran los resultados de una prueba de desgaste realizada en una muestra recogida de la posición mostrada en la figura 7, por un método mostrado en la figura 8, y los resultados de una prueba de impacto realizada en una muestra recogida de la posición representada en la figura 9.

Tabla 1-1 (1/2)

| Riel                              | Acero | Componente químico (% en masa) |      |      |      |        |      |      |       |      |        |      |      |    |    |    |    |    |   |
|-----------------------------------|-------|--------------------------------|------|------|------|--------|------|------|-------|------|--------|------|------|----|----|----|----|----|---|
|                                   |       | C                              | Si   | Mn   | Cr   | P      | Mo   | V    | Nb    | Co   | B      | Cu   | Ni   | Ti | Mg | Ca | Zr | Al | N |
| Acero para riel de esta invención | A1    | 0,86                           | 0,25 | 0,40 | 0,50 | 0,0100 |      |      |       |      |        |      |      |    |    |    |    |    |   |
|                                   | A2    | 1,20                           | 0,25 | 0,40 | 0,50 | 0,0100 | -    | -    | -     | -    | -      | -    | -    | -  | -  | -  | -  | -  | - |
|                                   | A3    | 0,90                           | 0,05 | 0,30 | 0,45 | 0,0120 |      |      |       |      |        |      |      |    |    |    |    |    |   |
|                                   | A4    | 0,90                           | 2,00 | 0,30 | 0,45 | 0,0120 | -    | -    | -     | -    | -      | -    | -    | -  | -  | -  | -  | -  | - |
|                                   | A5    | 1,00                           | 0,50 | 0,05 | 0,35 | 0,0060 |      |      |       |      |        |      |      |    |    |    |    |    |   |
|                                   | A6    | 1,00                           | 0,50 | 0,50 | 0,35 | 0,0060 |      |      |       |      |        |      |      |    |    |    |    |    |   |
|                                   | A7    | 1,10                           | 0,80 | 0,20 | 0,05 | 0,0080 | -    | -    | -     | -    | -      | -    | -    | -  | -  | -  | -  | -  | - |
|                                   | A8    | 1,10                           | 0,80 | 0,20 | 0,60 | 0,0080 |      |      |       |      |        |      |      |    |    |    |    |    |   |
|                                   | A9    | 1,00                           | 0,60 | 0,50 | 0,20 | 0,0020 |      |      |       |      |        |      |      |    |    |    |    |    |   |
|                                   | A10   | 1,00                           | 0,60 | 0,50 | 0,20 | 0,0150 | -    | -    | -     | -    | -      | -    | -    | -  | -  | -  | -  | -  | - |
|                                   | A11   | 0,86                           | 0,50 | 0,45 | 0,20 | 0,0100 | -    | 0,03 |       |      |        |      |      |    |    |    |    |    |   |
|                                   | A12   | 0,86                           | 0,50 | 0,30 | 0,20 | 0,0100 | -    | 0,03 |       |      |        |      |      |    |    |    |    |    | - |
|                                   | A13   | 0,86                           | 0,50 | 0,20 | 0,20 | 0,0100 | -    | 0,03 | -     | -    | -      | -    | -    | -  | -  | -  | -  | -  | . |
|                                   | A14   | 0,88                           | 0,25 | 0,45 | 0,30 | 0,0150 | 0,02 | -    | -     | -    | -      | -    | -    | -  | -  | -  | -  | -  | - |
|                                   | A15   | 0,90                           | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,0120 | -    | -    | -     | -    | -      | -    | -    | -  | -  | -  | -  | -  | - |
|                                   | A16   | 0,90                           | 0,50 | 0,30 | 0,40 | 0,0120 | -    | -    | -     | -    | -      | -    | -    | -  | -  | -  | -  | -  | - |
|                                   | A17   | 0,90                           | 0,50 | 0,15 | 0,40 | 0,0120 | -    | -    |       |      |        |      |      |    |    |    |    |    |   |
|                                   | A18   | 0,92                           | 0,80 | 0,20 | 0,10 | 0,0140 | -    | -    | 0,005 |      |        |      |      |    |    |    |    |    |   |
|                                   | A19   | 0,93                           | 0,20 | 0,35 | 0,45 | 0,0120 | -    | -    | -     | 0,15 |        |      |      |    |    |    |    |    |   |
|                                   | A20   | 0,94                           | 0,50 | 0,30 | 0,20 | 0,0120 | -    | -    | -     | -    | 0,0025 |      |      |    |    |    |    |    |   |
|                                   | A21   | 0,95                           | 0,55 | 0,40 | 0,15 | 0,0140 | -    | -    | -     | -    | -      | -    | -    | -  | -  | -  | -  | -  | - |
|                                   | A22   | 0,95                           | 0,55 | 0,30 | 0,15 | 0,0080 |      |      |       |      |        |      |      |    |    |    |    |    |   |
|                                   | A23   | 0,95                           | 0,55 | 0,10 | 0,15 | 0,0040 | -    | -    | -     | -    | -      | -    | -    | -  | -  | -  | -  | -  | - |
|                                   | A24   | 0,98                           | 0,10 | 0,40 | 0,55 | 0,0130 | -    | -    | -     | -    | -      | 0,15 | -    | -  | -  | -  | -  | -  | - |
|                                   | A25   | 0,99                           | 0,30 | 0,25 | 0,60 | 0,0130 | -    | -    | -     | -    | -      |      | 0,20 | -  | -  | -  | -  | -  | - |

Nota 1: el resto está compuesto por las impurezas inevitables y Fe.

\* 1. La microestructura y la dureza son datos tomados en una posición situada a 4 mm por debajo de la superficie de la porción de superficie de la cabeza del riel.

5 \* 2. La prueba de desgaste se realizó en una muestra recogida de una posición que se muestra en la figura 7, mediante un método que se ilustra en la figura 8. Las condiciones experimentales son las descritas en la memoria descriptiva.

\* 3. La prueba de impacto se realizó en una muestra recogida de una posición que se muestra en la figura 9.

Las condiciones experimentales son las descritas en la memoria descriptiva.

Tabla 1-1 (2/2)

| p   | Material de la porción de la cabeza * 1               | Dureza    | Valor de CMn/FMn | Resultado de la prueba de desgaste *2   | Resultado de la prueba de impacto *3   |
|-----|-------------------------------------------------------|-----------|------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
|     | Microestructura                                       | (Hv, 98N) |                  | Magnitud del desgaste (g, 700000 veces) | Valor del impacto (J/cm <sup>2</sup> ) |
| A1  | Perlita + Pequeña cantidad de ferrita proeutectoide   | 320       | 4,9              | 1,40                                    | 19,2                                   |
| A2  | Perlita + Pequeña cantidad de cementita proeutectoide | 420       | 4,9              | 0,35                                    | 12,1                                   |
| A3  | Perlita                                               | 335       | 4,4              | 1,10                                    | 18,5                                   |
| A4  | Perlita + Pequeña cantidad de martensita              | 490       | 4,4              | 0,82                                    | 16,5                                   |
| A5  | Perlita                                               | 340       | 1,0              | 0,75                                    | 16,5                                   |
| A6  | Perlita                                               | 415       | 5,0              | 0,68                                    | 15,2                                   |
| A7  | Perlita                                               | 350       | 2,1              | 0,62                                    | 15,0                                   |
| A8  | Perlita + Pequeña cantidad de bainita                 | 445       | 2,1              | 0,52                                    | 13,5                                   |
| A9  | Perlita                                               | 430       | 4,9              | 0,61                                    | 17,2                                   |
| A10 | Perlita                                               | 430       | 4,9              | 0,62                                    | 16,0                                   |
| A11 | Perlita + Pequeña cantidad de ferrita proeutectoide   | 390       | 4,6              | 1,10                                    | 18,8                                   |
| A12 | Perlita + Pequeña cantidad de ferrita proeutectoide   | 385       | 2,8              | 1,12                                    | 19,5                                   |
| A13 | Perlita + Pequeña cantidad de ferrita proeutectoide   | 380       | 1,9              | 1,13                                    | 21,0                                   |
| A14 | Perlita + Pequeña cantidad de bainita                 | 365       | 4,4              | 0,94                                    | 18,2                                   |
| A15 | Perlita                                               | 450       | 4,5              | 0,81                                    | 17,5                                   |
| A16 | Perlita                                               | 445       | 3,1              | 0,83                                    | 18,4                                   |
| A17 | Perlita                                               | 440       | 1,5              | 0,84                                    | 20,5                                   |
| A18 | Perlita                                               | 355       | 2,0              | 0,97                                    | 17,5                                   |
| A19 | Perlita                                               | 400       | 3,2              | 0,88                                    | 16,5                                   |
| A20 | Perlita                                               | 380       | 3,0              | 0,82                                    | 16,5                                   |
| A21 | Perlita                                               | 405       | 4,1              | 0,74                                    | 16,8                                   |
| A22 | Perlita                                               | 400       | 3,0              | 0,75                                    | 18,2                                   |
| A23 | Perlita                                               | 390       | 1,0              | 0,76                                    | 19,8                                   |
| A24 | Perlita + Pequeña cantidad de bainita                 | 420       | 3,9              | 0,69                                    | 17,8                                   |
| A25 | Perlita + Pequeña cantidad de bainita                 | 405       | 2,4              | 0,70                                    | 18,2                                   |

Nota 1: el resto está compuesto por las impurezas inevitables y Fe.

\* 1. La microestructura y la dureza son datos tomados en una posición situada a 4 mm por debajo de la superficie de la porción de superficie de la cabeza del riel.

\* 2. La prueba de desgaste se realizó en una muestra recogida de una posición que se muestra en la figura 7, mediante un método que se ilustra en la figura 8. Las condiciones experimentales son las descritas en la memoria descriptiva.

\* 3. La prueba de impacto se realizó en una muestra recogida de una posición que se muestra en la figura 9).

Las condiciones experimentales son las descritas en la memoria descriptiva.

Tabla 1-2 (1/2)

| Riel | Acero | Componente químico (% en masa) |      |      |      |        |    |      |    |    |        |    |    |        |        |        |        |        |        |
|------|-------|--------------------------------|------|------|------|--------|----|------|----|----|--------|----|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|      |       | C                              | Si   | Mn   | Cr   | P      | Mo | V    | Nb | Co | B      | Cu | Ni | Ti     | Mg     | Ca     | Zr     | Al     | N      |
|      | A26   | 1,00                           | 0,55 | 0,45 | 0,25 | 0,0130 | -  | -    | -  | -  | -      | -  | -  | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
|      | A27   | 1,00                           | 0,55 | 0,30 | 0,25 | 0,0130 | -  | -    | -  | -  | -      | -  | -  | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
|      | A28   | 1,00                           | 0,55 | 0,10 | 0,25 | 0,0130 | -  | -    | -  | -  | -      | -  | -  | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
|      | A29   | 1,02                           | 0,70 | 0,20 | 0,30 | 0,0100 | -  | -    | -  | -  | -      | -  | -  | 0,0080 | -      | -      | -      | -      | -      |
|      | A30   | 1,02                           | 0,70 | 0,20 | 0,30 | 0,0100 | -  | -    | -  | -  | 0,0020 | -  | -  | 0,0080 | -      | -      | -      | -      | -      |
|      | A31   | 1,04                           | 1,30 | 0,10 | 0,05 | 0,0100 | -  | -    | -  | -  | -      | -  | -  | -      | 0,0032 | -      | -      | -      | -      |
|      | A32   | 1,04                           | 1,30 | 0,10 | 0,05 | 0,0100 | -  | 0,03 | -  | -  | -      | -  | -  | -      | 0,0032 | -      | -      | -      | -      |
|      | A33   | 1,05                           | 0,35 | 0,45 | 0,30 | 0,0080 | -  | -    | -  | -  | -      | -  | -  | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
|      | A34   | 1,05                           | 0,35 | 0,30 | 0,30 | 0,0080 | -  | -    | -  | -  | -      | -  | -  | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
|      | A35   | 1,05                           | 0,35 | 0,10 | 0,30 | 0,0080 | -  | -    | -  | -  | -      | *  | -  | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
|      | A36   | 1,07                           | 0,80 | 0,15 | 0,20 | 0,0060 | -  | -    | -  | -  | -      | -  | -  | -      | -      | 0,0025 | -      | -      | -      |
|      | A37   | 1,08                           | 0,65 | 0,30 | 0,30 | 0,0070 | -  | -    | -  | -  | -      | -  | -  | -      | -      | -      | 0,0100 | -      | -      |
|      | A38   | 1,10                           | 0,65 | 0,40 | 0,20 | 0,0080 | -  | -    | -  | -  | -      | -  | -  | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
|      | A39   | 1,10                           | 0,65 | 0,25 | 0,20 | 0,0060 | -  | -    | -  | -  | -      | -  | -  | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
|      | A40   | 1,10                           | 0,65 | 0,10 | 0,20 | 0,0040 | -  | -    | -  | -  | -      | -  | -  | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
|      | A41   | 1,11                           | 1,00 | 0,25 | 0,15 | 0,0060 | -  | -    | -  | -  | -      | -  | -  | -      | -      | -      | -      | 0,0200 | -      |
|      | A42   | 1,14                           | 0,60 | 0,35 | 0,25 | 0,0060 | -  | -    | -  | -  | -      | -  | -  | -      | -      | -      | -      | -      | 0,0100 |
|      | A43   | 1,14                           | 0,60 | 0,35 | 0,25 | 0,0060 | -  | -    | -  | -  | -      | -  | -  | -      | -      | -      | -      | 0,0140 | 0,0100 |
|      | A44   | 1,14                           | 0,60 | 0,35 | 0,25 | 0,0060 | -  | 0,03 | -  | -  | -      | -  | -  | -      | -      | -      | -      | -      | 0,0100 |
|      | A45   | 1,20                           | 0,70 | 0,40 | 0,30 | 0,0060 | -  | -    | -  | -  | -      | -  | -  | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
|      | A46   | 1,20                           | 0,70 | 0,20 | 0,30 | 0,0040 | -  | -    | -  | -  | -      | -  | -  | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
|      | A47   | 1,20                           | 0,70 | 0,10 | 0,30 | 0,0020 | -  | -    | -  | -  | -      | -  | -  | -      | -      | -      | -      | -      | -      |

Nota 1: el resto está compuesto por las impurezas inevitables y Fe.

\* 1. La microestructura y la dureza son datos tomados en una posición situada a 4 mm por debajo de la superficie de la porción de superficie de la cabeza del riel.

\* 2. La prueba de desgaste se realizó en una muestra recogida de una posición que se muestra en la figura 7, mediante un método que se ilustra en la figura 8. Las condiciones experimentales son las descritas en la memoria descriptiva. \*

3: La prueba de impacto se realizó en una muestra recogida de una posición que se muestra en la figura 9).

Las condiciones experimentales son las descritas en la memoria descriptiva.

Tabla 1-2 (2/2)

| Acero | Material de la porción de la cabeza * 1               | Dureza    | Valor de CMn/FMn | Resultado de la prueba de desgaste *2   | Resultado de la prueba de impacto *3   |
|-------|-------------------------------------------------------|-----------|------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
|       | Microestructura                                       | (Hv, 98N) |                  | Magnitud del desgaste (g, 700000 veces) | Valor del impacto (J/cm <sup>2</sup> ) |
| A26   | Perlita + ferrita proeutectoide                       | 435       | 4,5              | 0,62                                    | 16,7                                   |
| A27   | Perlita                                               | 430       | 2,9              | 0,63                                    | 17,5                                   |
| A28   | Perlita                                               | 420       | 1,3              | 0,65                                    | 18,7                                   |
| A29   | Perlita                                               | 485       | 1,9              | 0,54                                    | 15,9                                   |
| A30   | Perlita                                               | 485       | 1,9              | 0,55                                    | 16,8                                   |
| A31   | Perlita                                               | 415       | 1,3              | 0,62                                    | 16,4                                   |
| A32   | Perlita                                               | 415       | 1,3              | 0,63                                    | 17,5                                   |
| A33   | Perlita                                               | 435       | 4,4              | 0,56                                    | 15,5                                   |
| A34   | Perlita                                               | 430       | 3,1              | 0,57                                    | 16,8                                   |
| A35   | Perlita                                               | 425       | 1,2              | 0,59                                    | 18,0                                   |
| A36   | Perlita                                               | 425       | 1,6              | 0,59                                    | 14,9                                   |
| A37   | Perlita                                               | 430       | 3,1              | 0,58                                    | 14,0                                   |
| A38   | Perlita                                               | 440       | 4,0              | 0,50                                    | 13,0                                   |
| A39   | Perlita                                               | 435       | 2,4              | 0,52                                    | 14,2                                   |
| A40   | Perlita                                               | 430       | 1,1              | 0,54                                    | 15,3                                   |
| A41   | Perlita + Pequeña cantidad de cementita proeutectoide | 470       | 2,6              | 0,45                                    | 12,9                                   |
| A42   | Perlita + Pequeña cantidad de cementita proeutectoide | 410       | 3,7              | 0,48                                    | 12,7                                   |
| A43   | Perlita + Pequeña cantidad de cementita proeutectoide | 410       | 3,7              | 0,47                                    | 13,5                                   |
| A44   | Perlita + Pequeña cantidad de cementita proeutectoide | 410       | 3,7              | 0,46                                    | 13,6                                   |
| A45   | Perlita + Pequeña cantidad de cementita proeutectoide | 480       | 4,3              | 0,35                                    | 12,5                                   |
| A46   | Perlita + Pequeña cantidad de cementita proeutectoide | 470       | 2,1              | 0,36                                    | 14,0                                   |
| A47   | Perlita + Pequeña cantidad de cementita proeutectoide | 465       | 1,0              | 0,38                                    | 15,0                                   |

Nota 1: el resto está compuesto por las impurezas inevitables y Fe.

\* 1. La microestructura y la dureza son datos tomados en una posición situada a 4 mm por debajo de la superficie de la porción de superficie de la cabeza del riel.

\* 2. La prueba de desgaste se realizó en una muestra recogida de una posición que se muestra en la figura 7, mediante un método que se ilustra en la figura 8. Las condiciones experimentales son las descritas en la memoria descriptiva.

\* 3. La prueba de impacto se realizó en una muestra recogida de una posición que se muestra en la figura 9).

Las condiciones experimentales son las descritas en la memoria descriptiva.

Tabla 2 (1/2)

| Riel                                     | Acer<br>o | Componente químico (% en masa) |      |      |      |        |    |   |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |   |
|------------------------------------------|-----------|--------------------------------|------|------|------|--------|----|---|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|---|
|                                          |           | C                              | Si   | Mn   | Cr   | P      | Mo | V | Nb | Co | B | Cu | Ni | Ti | Mg | Ca | Zr | Al | N |
| Acero<br>para<br>riel<br>compa<br>rativo | a1        | 0,70                           | 0,25 | 0,40 | 0,50 | 0,0100 | -  | - | -  | -  | - | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | - |
|                                          | a2        | 1,30                           | 0,25 | 0,40 | 0,50 | 0,0100 | -  | - | -  | -  | - | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | - |
|                                          | a3        | 0,90                           | 0,02 | 0,30 | 0,45 | 0,0120 | -  | - | -  | -  | - | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | - |
|                                          | a4        | 0,90                           | 2,24 | 0,30 | 0,45 | 0,0120 | -  | - | -  | -  | - | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | - |
|                                          | a5        | 1,00                           | 0,50 | 0,03 | 0,35 | 0,0060 | -  | - | -  | -  | - | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | - |
|                                          | a6        | 1,00                           | 0,50 | 0,65 | 0,35 | 0,0060 | -  | - | -  | -  | - | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | - |
|                                          | a7        | 1,10                           | 0,80 | 0,20 | 0,02 | 0,0080 | -  | - | -  | -  | - | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | - |
|                                          | a8        | 1,10                           | 0,80 | 0,20 | 0,75 | 0,0080 | -  | - | -  | -  | - | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | - |
|                                          | a9        | 1,00                           | 0,60 | 0,50 | 0,20 | 0,0250 | -  | - | -  | -  | - | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | - |
|                                          | a10       | 1,10                           | 0,65 | 0,80 | 0,20 | 0,0060 | -  | - | -  | -  | - | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | - |
|                                          | a11       | 1,20                           | 0,70 | 0,70 | 0,30 | 0,0040 | -  | - | -  | -  | - | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | - |
|                                          | a12       | 1,20                           | 0,70 | 0,20 | 1,10 | 0,0040 | -  | - | -  | -  | - | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | - |

Nota 1: el resto está compuesto por las impurezas inevitables y Fe.

\* 1. La microestructura y la dureza son datos tomados en una posición situada a 4 mm por debajo de la superficie de la porción de superficie de la cabeza del riel.

5 \* 2. La prueba de desgaste se realizó en una muestra recogida de una posición que se muestra en la figura 7, mediante un método que se ilustra en la figura 8. Las condiciones experimentales son las descritas en la memoria descriptiva. \*

3: La prueba de impacto se realizó en una muestra recogida de una posición que se muestra en la figura 9).

Las condiciones experimentales son las descritas en la memoria descriptiva.

10

Tabla 2 (2/2)

| Acero | Material de la porción de la cabeza * 1 | Dureza    | Valor de<br>CMn/FMn | Resultado de la<br>prueba de desgaste<br>*2   | Resultado de la<br>prueba de impacto *3   |
|-------|-----------------------------------------|-----------|---------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
|       | Microestructura                         | (Hv, 98N) |                     | Magnitud del<br>desgaste (g, 700000<br>veces) | Valor del impacto<br>(J/cm <sup>2</sup> ) |
| a1    | Perlita + ferrita proeutectoide         | 300       | 4,9                 | 1,87 (gran desgaste)                          | 21,2                                      |
| a2    | Perlita + cementita proeutectoide       | 415       | 4,9                 | 0,45                                          | 7,8 (reducción en el<br>valor de impacto) |
| a3    | Perlita                                 | 295       | 4,4                 | 1,95 (gran desgaste)                          | 19,5                                      |
| a4    | Perlita + Martensita                    | 525       | 4,4                 | 1,68 (gran desgaste)                          | 5,6 (reducción en el<br>valor de impacto) |
| a5    | Perlita                                 | 315       | 1,0                 | 1,85 (gran desgaste)                          | 17,0                                      |
| a6    | Perlita                                 | 430       | 6,4                 | 0,65                                          | 6,5 (reducción en el<br>valor de impacto) |
| a7    | Perlita                                 | 318       | 2,1                 | 1,80 (gran desgaste)                          | 16,8                                      |
| a8    | Perlita + Bainita                       | 375       | 2,1                 | 1,60 (gran desgaste)                          | 15,6                                      |
| a9    | Perlita                                 | 435       | 4,9                 | 0,61                                          | 8,9 (reducción en el<br>valor de impacto) |

## ES 2 749 882 T3

|     |                                                       |     |     |                      |                                        |
|-----|-------------------------------------------------------|-----|-----|----------------------|----------------------------------------|
| a10 | Perlita                                               | 440 | 6,5 | 0,50                 | 7,5 (reducción en el valor de impacto) |
| a11 | Perlita + Pequeña cantidad de cementita proeutectoide | 480 | 6,2 | 0,32                 | 7,1 (reducción en el valor de impacto) |
| a12 | Perlita + Martensita                                  | 550 | 2,1 | 1,75 (gran desgaste) | 5,0 (reducción en el valor de impacto) |

Nota 1: el resto está compuesto por las impurezas inevitables y Fe.

\* 1. La microestructura y la dureza son datos tomados en una posición situada a 4 mm por debajo de la superficie de la porción de superficie de la cabeza del riel.

\* 2. La prueba de desgaste se realizó en una muestra recogida de una posición que se muestra en la figura 7, mediante un método que se ilustra en la figura 8. Las condiciones experimentales son las descritas en la memoria descriptiva.

\* 3. La prueba de impacto se realizó en una muestra recogida de una posición que se muestra en la figura 9)

Las condiciones experimentales son las descritas en la memoria descriptiva.

Tabla 3-1 (1/2)

| Riel                                    | N.º de fabricación | Acero | Condiciones de enfriamiento tras el laminado en caliente y el recalentamiento |                           |                                     | Aumento máximo de temp. | Condiciones de enfriamiento tras el aumento de la temperatura |                           |                                     |
|-----------------------------------------|--------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
|                                         |                    |       | Temp. de inicio del enfriamiento                                              | Velocidad de enfriamiento | Temp. de detención del enfriamiento |                         | Temp. de inicio del enfriamiento                              | Velocidad de enfriamiento | Temp. de detención del enfriamiento |
|                                         |                    |       | (°C)                                                                          | (°C/s)                    | (°C)                                |                         | (°C)                                                          | (°C/s)                    | (°C)                                |
| Método de fabricación de esta invención | B1                 | A12   | 750                                                                           | 4,0                       | 500                                 | 30                      | 520                                                           | 1,0                       | 350                                 |
|                                         | B2                 | A12   | 750                                                                           | 5,0                       | 500                                 | 30                      | 520                                                           | 1,0                       | 350                                 |
|                                         | B3                 | A12   | 750                                                                           | 7,0                       | 500                                 | 30                      | 520                                                           | 1,0                       | 350                                 |
|                                         | B4                 | A12   | 750                                                                           | 12,0                      | 500                                 | 30                      | 520                                                           | 1,0                       | 350                                 |
|                                         | B5                 | A12   | 750                                                                           | 15,0                      | 500                                 | 30                      | 520                                                           | 1,0                       | 350                                 |
|                                         | B6                 | A16   | 770                                                                           | 7,0                       | 600                                 | 30                      | 630                                                           | 1,0                       | 350                                 |
|                                         | B7                 | A16   | 770                                                                           | 7,0                       | 500                                 | 30                      | 530                                                           | 1,0                       | 350                                 |
|                                         | B8                 | A16   | 770                                                                           | 7,0                       | 450                                 | 30                      | 470                                                           | 1,0                       | 350                                 |
|                                         | B9                 | A22   | 780                                                                           | 7,0                       | 500                                 | 50                      | 540                                                           | 1,0                       | 350                                 |
|                                         | B10                | A22   | 780                                                                           | 7,0                       | 500                                 | 30                      | 520                                                           | 1,0                       | 350                                 |
|                                         | B11                | A22   | 780                                                                           | 7,0                       | 500                                 | 1                       | 500                                                           | 1,0                       | 350                                 |
|                                         | B12                | A27   | 780                                                                           | 7,0                       | 500                                 | 30                      | 520                                                           | 0,5                       | 350                                 |
|                                         | B13                | A27   | 780                                                                           | 7,0                       | 500                                 | 30                      | 520                                                           | 1,0                       | 350                                 |
|                                         | B14                | A27   | 780                                                                           | 7,0                       | 500                                 | 30                      | 520                                                           | 2,0                       | 350                                 |
|                                         | B15                | A34   | 800                                                                           | 7,0                       | 500                                 | 30                      | 510                                                           | 1,0                       | 400                                 |
|                                         | B16                | A34   | 800                                                                           | 7,0                       | 500                                 | 30                      | 510                                                           | 1,0                       | 350                                 |
|                                         | B17                | A34   | 800                                                                           | 7,0                       | 500                                 | 30                      | 510                                                           | 1,0                       | 300                                 |
|                                         | B18                | A39   | 800                                                                           | 4,0                       | 500                                 | 30                      | 520                                                           | 1,0                       | 350                                 |
|                                         | B19                | A39   | 800                                                                           | 5,0                       | 500                                 | 30                      | 520                                                           | 1,0                       | 350                                 |
|                                         | B20                | A39   | 800                                                                           | 7,0                       | 500                                 | 30                      | 520                                                           | 1,0                       | 350                                 |
|                                         | B21                | A39   | 800                                                                           | 12,0                      | 500                                 | 30                      | 520                                                           | 1,0                       | 350                                 |

| Riel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | N.º de fabricación | Acero | Condiciones de enfriamiento tras el laminado en caliente y el recalentamiento |                           |                                     | Aumento máximo de temp. | Condiciones de enfriamiento tras el aumento de la temperatura |                           |                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                    |       | Temp. de inicio del enfriamiento                                              | Velocidad de enfriamiento | Temp. de detención del enfriamiento |                         | Temp. de inicio del enfriamiento                              | Velocidad de enfriamiento | Temp. de detención del enfriamiento |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                    |       | (°C)                                                                          | (°C/s)                    | (°C)                                |                         | (°C)                                                          | (°C/s)                    | (°C)                                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | B22                | A39   | 800                                                                           | 15,0                      | 500                                 | 30                      | 520                                                           | 1,0                       | 350                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | B23                | A46   | 820                                                                           | 7,0                       | 500                                 | 50                      | 515                                                           | 1,0                       | 350                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | B24                | A46   | 820                                                                           | 7,0                       | 500                                 | 30                      | 515                                                           | 1,0                       | 350                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | B25                | A46   | 820                                                                           | 7,0                       | 500                                 | 1                       | 501                                                           | 1,0                       | 350                                 |
| <p>Nota 1: el resto está compuesto por las impurezas inevitables y Fe.</p> <p>* 1. La microestructura y la dureza son datos tomados en una posición situada a 4 mm por debajo de la superficie de la porción de superficie de la cabeza del riel.</p> <p>* 2. La prueba de desgaste se realizó en una muestra recogida de una posición que se muestra en la figura 7, mediante un método que se ilustra en la figura 8. Las condiciones experimentales son las descritas en la memoria descriptiva.</p> <p>* 3. La prueba de impacto se realizó en una muestra recogida de una posición que se muestra en la figura 9).</p> <p>Las condiciones experimentales son las descritas en la memoria descriptiva.</p> |                    |       |                                                                               |                           |                                     |                         |                                                               |                           |                                     |

Tabla 3-1 (2/2)

| N.º de fabricación | Material de la porción de la cabeza*1                                            | Dureza    | Valor de CMn/FMn | Resultado de la prueba de desgaste*2    | Resultado de la prueba de impacto*3 |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|
|                    | Microestructura                                                                  | (Hv, 98N) |                  | Magnitud del desgaste (g, 700000 veces) | Valor del impacto (J/cm²)           |
| B1                 | Perlita + Pequeña cantidad de ferrita proeutectoide                              | 360       | 3,7              | 1,26                                    | 18,4                                |
| B2                 | Perlita + Pequeña cantidad de ferrita proeutectoide                              | 385       | 3,0              | 1,12                                    | 19,2                                |
| B3                 | Perlita + Pequeña cantidad de ferrita proeutectoide                              | 385       | 2,8              | 1,12                                    | 19,5                                |
| B4                 | Perlita + Pequeña cantidad de ferrita proeutectoide                              | 425       | 2,1              | 1,02                                    | 20,5                                |
| B5                 | Perlita + Pequeña cantidad de ferrita proeutectoide+ Pequeña cantidad de bainita | 425       | 2,0              | 1,10                                    | 21,0                                |
| B6                 | Perlita                                                                          | 400       | 3,2              | 0,89                                    | 18,2                                |
| B7                 | Perlita                                                                          | 445       | 3,1              | 0,83                                    | 18,4                                |
| B8                 | Perlita                                                                          | 470       | 3,0              | 0,75                                    | 18,9                                |
| B9                 | Perlita                                                                          | 390       | 3,8              | 0,77                                    | 17,5                                |
| B10                | Perlita                                                                          | 400       | 3,0              | 0,75                                    | 18,2                                |
| B11                | Perlita                                                                          | 425       | 2,0              | 0,71                                    | 19,5                                |
| B12                | Perlita                                                                          | 420       | 3,4              | 0,64                                    | 16,8                                |
| B13                | Perlita                                                                          | 430       | 2,9              | 0,63                                    | 17,5                                |
| B14                | Perlita                                                                          | 435       | 2,1              | 0,60                                    | 18,8                                |
| B15                | Perlita                                                                          | 420       | 3,1              | 0,58                                    | 17,0                                |
| B16                | Perlita                                                                          | 430       | 3,1              | 0,57                                    | 16,8                                |
| B17                | Perlita                                                                          | 435       | 3,1              | 0,56                                    | 16,5                                |
| B18                | Perlita                                                                          | 420       | 3,2              | 0,49                                    | 13,5                                |
| B19                | Perlita                                                                          | 435       | 2,5              | 0,52                                    | 14,0                                |
| B20                | Perlita                                                                          | 435       | 2,4              | 0,52                                    | 14,2                                |
| B21                | Perlita                                                                          | 435       | 1,3              | 0,52                                    | 15,4                                |
| B22                | Perlita + Pequeña cantidad de martensita                                         | 460       | 1,2              | 0,52                                    | 15,8                                |
| B23                | Perlita + Pequeña cantidad de cementita proeutectoide                            | 460       | 2,3              | 0,34                                    | 13,5                                |
| B24                | Perlita + Pequeña cantidad de cementita proeutectoide                            | 470       | 2,1              | 0,36                                    | 14,0                                |
| B25                | Perlita + Pequeña cantidad de cementita proeutectoide                            | 490       | 1,5              | 0,32                                    | 15,5                                |

Nota 1: el resto está compuesto por las impurezas inevitables y Fe.

\* 1. La microestructura y la dureza son datos tomados en una posición situada a 4 mm por debajo de la superficie de la porción de superficie de la cabeza del riel.

## ES 2 749 882 T3

| N.º de fabricación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Material de la porción de la cabeza*1 | Dureza    | Valor de CMn/FMn | Resultado de la prueba de desgaste*2    | Resultado de la prueba de impacto*3 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------|------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Microestructura                       | (Hv, 98N) |                  | Magnitud del desgaste (g, 700000 veces) | Valor del impacto (J/cm²)           |
| <p>* 2. La prueba de desgaste se realizó en una muestra recogida de una posición que se muestra en la figura 7, mediante un método que se ilustra en la figura 8. Las condiciones experimentales son las descritas en la memoria descriptiva.</p> <p>* 3. La prueba de impacto se realizó en una muestra recogida de una posición que se muestra en la figura 9).</p> <p>Las condiciones experimentales son las descritas en la memoria descriptiva.</p> |                                       |           |                  |                                         |                                     |

Tabla 3-2 (1/2)

| Riel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | N.º de fabricación | Acero | Condiciones de enfriamiento tras el laminado en caliente y el recalentamiento |                           |                                     | Aumento máximo de temp. | Condiciones de enfriamiento tras el aumento de la temperatura |                           |                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                    |       | Temp. de inicio de enfriamiento                                               | Velocidad de enfriamiento | Temp. de detención del enfriamiento |                         | Temp. de inicio del enfriamiento                              | Velocidad de enfriamiento | Temp. de detención del enfriamiento. |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                    |       | (°C)                                                                          | (°C/s)                    | (°C)                                |                         | (°C)                                                          | (°C/s)                    | (°C)                                 |
| Método de fabricación comparativo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | b1                 | A12   | 680                                                                           | 7,0                       | 500                                 | 30                      | 520                                                           | 1,0                       | 350                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | b2                 | A46   | 720                                                                           | 7,0                       | 500                                 | 30                      | 515                                                           | 1,0                       | 350                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | b3                 | A12   | 750                                                                           | 3,0                       | 500                                 | 30                      | 520                                                           | 1,0                       | 350                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | b4                 | A39   | 800                                                                           | 2,0                       | 500                                 | 30                      | 520                                                           | 1,0                       | 350                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | b5                 | A12   | 750                                                                           | 16,0                      | 500                                 | 30                      | 520                                                           | 1,0                       | 350                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | b6                 | A39   | 800                                                                           | 17,0                      | 500                                 | 30                      | 520                                                           | 1,0                       | 350                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | b7                 | A16   | 770                                                                           | 7,0                       | 440                                 | 30                      | 460                                                           | 1,0                       | 350                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | b8                 | A16   | 770                                                                           | 7,0                       | 650                                 | 30                      | 680                                                           | 1,0                       | 350                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | b9                 | A22   | 780                                                                           | 18,0                      | 600                                 | 80                      | 670                                                           | 1,0                       | 350                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | b10                | A46   | 820                                                                           | 16,0                      | 590                                 | 70                      | 650                                                           | 1,0                       | 350                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | b11                | A27   | 780                                                                           | 7,0                       | 500                                 | 30                      | 520                                                           | 0,3                       | 350                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | b12                | A27   | 780                                                                           | 7,0                       | 500                                 | 30                      | 520                                                           | 3,0                       | 350                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | b13                | A34   | 800                                                                           | 7,0                       | 500                                 | 30                      | 510                                                           | 1,0                       | 450                                  |
| <p>Nota 1: el resto está compuesto por las impurezas inevitables y Fe.</p> <p>* 1: La microestructura y la dureza son datos tomados en una posición situada a 4 mm por debajo de la superficie de la porción de superficie de la cabeza del riel.</p> <p>* 2. La prueba de desgaste se realizó en una muestra recogida de una posición que se muestra en la figura 7, mediante un método que se ilustra en la figura 8. Las condiciones experimentales son las descritas en la memoria descriptiva.</p> <p>* 3. La prueba de impacto se realizó en una muestra recogida de una posición que se muestra en la figura 9).</p> <p>Las condiciones experimentales son las descritas en la memoria descriptiva.</p> |                    |       |                                                                               |                           |                                     |                         |                                                               |                           |                                      |

Tabla 3-2 (2/2)

| N.º de fabricación | Material de la porción de la cabeza*1                 | Dureza    | Valor de CMn/FMn | Resultado de la prueba de desgaste *2   | Resultado de la prueba de impacto *3      |
|--------------------|-------------------------------------------------------|-----------|------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|
|                    | Microestructura                                       | (Hv, 98N) |                  | Magnitud del desgaste (g, 700000 veces) | Valor del impacto (J/cm²)                 |
| b1                 | Perlita + Pequeña cantidad de ferrita proeutectoide   | 310       | 2,8              | 1,78 (gran desgaste)                    | 20,0                                      |
| b2                 | Perlita + Cementita proeutectoide                     | 420       | 2,1              | 0,42                                    | 7,5 (reducción en el valor de impacto)    |
| b3                 | Perlita + Pequeña cantidad de ferrita proeutectoide   | 315       | 5,2              | 1,76 (gran desgaste)                    | 12,0 (reducción en el valor de impacto)   |
| b4                 | Perlita + Cementita proeutectoide                     | 360       | 5,5              | 0,65                                    | 8,5 (reducción en el valor de impacto)    |
| b5                 | Perlita+ Martensita+ Bainita                          | 542       | 2,2              | 1,75 (gran desgaste)                    | 6,0 (reducción en el valor de impacto)    |
| b6                 | Perlita + Martensita                                  | 524       | 1,0              | 1,61 (gran desgaste)                    | 6,5 (reducción en el valor de impacto)    |
| b7                 | Perlita + Bainita                                     | 400       | 2,9              | 1,55<br>(gran desgaste)                 | 18,9                                      |
| b8                 | Perlita                                               | 315       | 3,5              | 1,62 (gran desgaste)                    | 19,0                                      |
| b9                 | Perlita                                               | 360       | 5,3              | 0,82                                    | 11,5 (reducción en el valor de impacto)   |
| b10                | Perlita + Pequeña cantidad de cementita proeutectoide | 420       | 5,2              | 0,45                                    | 8,5<br>(reducción en el valor de impacto) |
| b11                | Perlita                                               | 420       | 5,3              | 0,64                                    | 11,0 (reducción en el valor de impacto)   |
| b12                | Perlita + Martensita                                  | 510       | 2,0              | 1,55 (gran desgaste)                    | 7,2 (reducción en el valor de impacto)    |
| b13                | Martensita revenida                                   | 310       | 3,1              | 1,78 (gran desgaste)                    | 18,0                                      |

Nota 1: el resto está compuesto por las impurezas inevitables y Fe.

\* 1. La microestructura y la dureza son datos tomados en una posición situada a 4 mm por debajo de la superficie de la porción de superficie de la cabeza del riel.

\* 2. La prueba de desgaste se realizó en una muestra recogida de una posición que se muestra en la figura 7, mediante un método que se ilustra en la figura 8. Las condiciones experimentales son las descritas en la memoria descriptiva.

\* 3. La prueba de impacto se realizó en una muestra recogida de una posición que se muestra en la figura 9).

Las condiciones experimentales son las descritas en la memoria descriptiva.

Además, otras condiciones de prueba son tales como se las describe a continuación.

1) Prueba de desgaste de la porción de la cabeza

Dispositivo de prueba: aparato de prueba de desgaste, tipo Nishihara (véase la figura 8).

Forma de la muestra: muestra en forma de disco (diámetro exterior: 30 mm, espesor: 8 mm).

5 Posición de recolección de las muestras: 2 mm por debajo de la superficie de la porción de la cabeza del riel (véase la figura 7).

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

Relación de deslizamiento: 20 %.

Ejemplar de la rueda (material opuesto): acero de perlita (dureza Vickers: Hv380).

10 Atmósfera: en el aire.

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

Número de ciclo: revolución 700.000.

Además, la velocidad de flujo del aire comprimido es la velocidad de flujo convertida en un volumen a temperatura ambiente (20 °C) y a la presión atmosférica (101,3 kPa).

15 2) Prueba de impacto de la porción de la cabeza

Dispositivo de prueba: aparato de prueba de impacto.

Método de prueba: realizado sobre la base de la norma JIS Z 2242.

Forma del ejemplar: JIS3 tipo 2 mm, muesca en "U".

20 Posición de recolección de las muestras: 2 mm por debajo de la superficie de la porción de la cabeza del riel (véase la figura 9; 4 mm por debajo de la posición de la muesca)

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

Además, las condiciones de cada uno de los rieles son las siguientes:

1) Rieles de la presente invención (47 rieles)

25 Números de referencia A1 a A47: los rieles cuyos valores de componentes químicos, microestructuras de las porciones de la cabeza del riel, durezas y valores de CMn/FMn están comprendidos en los intervalos de la presente invención.

2) Rieles comparativos (12 rieles)

Números de referencia a1 a a12: rieles cuyos valores de componentes químicos, microestructuras de las porciones de la cabeza del carril, durezas o valores de CMn/FMn están fuera de los intervalos de la presente invención.

30 3) Rieles fabricados por el método de fabricación de la presente invención (25 rieles)

Números de referencia B1 a B25: carriles en los que las temperaturas de inicio del enfriamiento tras el laminado en caliente y el recalentamiento, las velocidades de enfriamiento, las temperaturas de detención del enfriamiento, los grados máximos de aumento de temperatura, las velocidades de enfriamiento después de un aumento de temperatura y las temperaturas de detención del enfriamiento se encuentran en los intervalos de la presente invención.

35 4) Rieles fabricados por el método de fabricación comparativo (13 rieles)

Números de referencia b1 a b13: rieles de los cuales cualquiera de las temperaturas de inicio del enfriamiento tras el laminado en caliente y el recalentamiento, las velocidades de enfriamiento, las temperaturas de detención del enfriamiento, los grados máximos de aumento de temperatura, las velocidades de enfriamiento después de un aumento de temperatura o las temperaturas de detención del enfriamiento se encuentran fuera de los intervalos de la presente invención.

40 Como se muestra en las tablas 1-1, 1-2 y 2, en los aceros para los rieles de la presente invención (números de referencia A1 a A47), en comparación con los aceros para rieles comparativos (números de referencia a1 a a12), al hacer que los componentes químicos C, Si, Mn, Cr y P del acero encuadren en los intervalos limitados, se evita la

generación de una estructura de ferrita proeutectoide, una estructura de cementita de proeutectoide, una estructura de bainita y una estructura de martensita que tienen un efecto adverso sobre la resistencia al desgaste o la tenacidad y, por lo tanto, se obtiene una estructura de perlita que tiene una dureza comprendida en un intervalo óptimo. Además, al lograr que el valor de CMn/FMn sea igual o inferior a un valor constante, se mejora la resistencia al desgaste o la tenacidad del riel.

La figura 10 muestra la relación entre el contenido de carbono y el grado de desgaste de los aceros para rieles de la presente invención (números de referencia A1 a A47) y los aceros para rieles comparativos (números de referencia a1, a3, a4, a5, a7, a8 y a12). La figura 11 muestra la relación entre el contenido de carbono y el valor de impacto de los aceros para rieles de la presente invención (números de referencia A1 a A47) y los aceros de riel comparativos (números de referencia a2, a4, a6 y a9 a a12).

Como se muestra en las figuras 10 y 11, en los aceros para rieles de la presente invención (números de referencia A1 a A47), en comparación con los aceros para rieles comparativos (números de referencia a1 a a12), los grados de desgaste son menores, y los valores de impacto aumentan cuando los contenidos de carbono son iguales. Es decir, con cualquier contenido de carbono, se mejora la resistencia al desgaste o la tenacidad del riel.

Además, según emana de las tablas 3-1 y 3-2, en los aceros para rieles fabricados por el método de fabricación de la presente invención (números de referencia B1 a B25), en comparación con los aceros fabricados por los métodos de fabricación comparativos (números de referencia b1 a b13), al hacer que las temperaturas de inicio del enfriamiento tras el laminado en caliente y el recalentamiento, las tasas de enfriamiento, las temperaturas de detención del enfriamiento y los grados máximos de aumento de temperatura después de detener el enfriamiento, las velocidades de enfriamiento después de un aumento de temperatura y las temperaturas de detención del enfriamiento estén comprendidos en intervalos limitados, se evita el revenido de la estructura de cementita de proeutectoide, la estructura de bainita, la estructura de martensita y la estructura de perlita, lo cual tiene un efecto adverso sobre la resistencia al desgaste o la tenacidad, y por lo tanto, se logra una estructura de perlita que tiene una dureza en un intervalo óptimo. Por otra parte, al lograr que los valores de CMn/FMn sean iguales o menores que un valor constante, se mejora la resistencia al desgaste o la tenacidad del riel.

La figura 12 muestra la relación entre el contenido de carbono y la magnitud del desgaste de los aceros para rieles fabricados por el método de fabricación de la presente invención (números de referencia B1 a B25) y los aceros para rieles fabricados por el método de fabricación comparativo (números de referencia b1, b3, b5 a b8, b12 y b13). La figura 13 muestra la relación entre el contenido de carbono y el valor de impacto de los aceros para rieles fabricados por el método de fabricación de la presente invención (números de referencia B1 a B25) y los aceros para rieles fabricados por el método de fabricación comparativo (números de referencia b2 a b6 y b9 a b12).

Como se muestra en las figuras 12 y 13, en los aceros para rieles fabricados por el método de fabricación de la presente invención (números de referencia B1 a B25), en comparación con los aceros para rieles fabricados por el método de fabricación comparativo (números de referencia b1 a b13), los grados de desgaste son menores y los valores de impacto aumentan cuando el contenido de carbono es el mismo. Es decir, con cualquier contenido de carbono, se mejora la resistencia al desgaste o la tenacidad del riel.

Lista de numerales de referencia

1: porción superior de la cabeza.

2: porción de la esquina de la cabeza.

3: porción de la cabeza del riel.

3a: porción de la superficie de la cabeza (intervalo desde la superficie de la porción de la esquina de la cabeza y la porción superior de la cabeza, como punto de partida, hasta una profundidad de 10 mm).

3b: intervalo desde la superficie de la porción de la esquina de la cabeza y la porción superior de la cabeza, como punto de partida, hasta una profundidad de 20 mm).

4: ejemplar de un riel.

5: ejemplar de una rueda (material opuesto).

6: boquilla de enfriamiento.

## REIVINDICACIONES

1. Un riel de acero que consiste en:

en % en masa:

más del 0,85 % y hasta 1,20 % inclusive de C;

5 0,05 % a 2,00 % de Si;

0,05 % a 0,50 % de Mn;

0,05 % a 0,60 % de Cr;

0,0020 % a 0,0150 % de P;

y, opcionalmente, uno, o dos, o más tipos seleccionados del grupo:

10 en % en masa:

0,01 % a 0,50 % de Mo;

0,005 % a 0,50 % de V;

0,001 % a 0,050 % de Nb;

0,01 % a 1,00 % de Co;

15 0,0001 % a 0,0050 % de B;

0,01 % a 1,00 % de Cu;

0,01 % a 1,00 % de Ni;

0,0050 % a 0,0500 % de Ti;

0,0005 % a 0,0200 % de Mg;

20 0,0005 % a 0,0200 % de Ca;

0,0001 % a 0,2000 % de Zr;

0,0040 % a 1,00 % de Al y

0,0050 % a 0,0200 % de N,

y el resto consiste en Fe y las impurezas inevitables,

25 en donde la porción de la superficie de la cabeza (3a) que está en un intervalo desde la superficie de las porciones de las esquinas de la cabeza (2) y una porción superior de la cabeza (1), a una profundidad de 10 mm, consiste en 97 % o más de una estructura de perlita, y opcionalmente en 3 % o menos de una estructura de ferrita proeutectoide, una estructura de cementita proeutectoide, una estructura de bainita o una estructura de martensita, la dureza Vickers de la estructura de perlita es de 320HV10 a 500HV10, y

30 el valor de CMn/FMn es igual o superior a 1,0 e igual o inferior a 5,0, en donde el valor de CMn/FMn se obtiene dividiendo CMn [at. %], que es la concentración de Mn de la fase de cementita en la estructura de perlita, por FMn [at. %], que es la concentración de Mn de la fase de ferrita en la estructura de perlita, en donde CMn y FMn se miden mediante un método de sonda atómica 3D.

2. El riel de acero según la reivindicación 1, que comprende un tipo, o dos, o más tipos seleccionados del grupo:

35 en % en masa:

0,01 % a 0,50 % de Mo;

0,005 % a 0,50 % de V;

0,001 % a 0,050 % de Nb;

0,01 % a 1,00 % de Co;

40 0,0001 % a 0,0050 % de B;

0,01 % a 1,00 % de Cu;

0,01 % a 1,00 % de Ni;

0,0050 % a 0,0500 % de Ti;

0,0005 % a 0,0200 % de Mg;

5 0,0005 % a 0,0200 % de Ca;

0,0001 % a 0,2000 % de Zr;

0,0040 % a 1,00 % de Al y

0,0050 % a 0,0200 % de N.

FIGURA 1

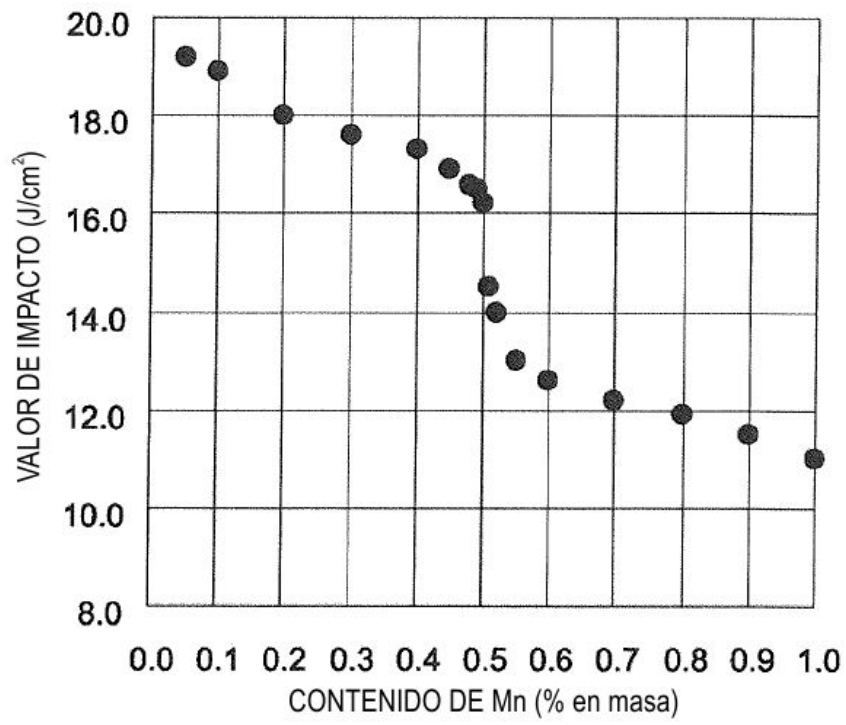


FIGURA 2

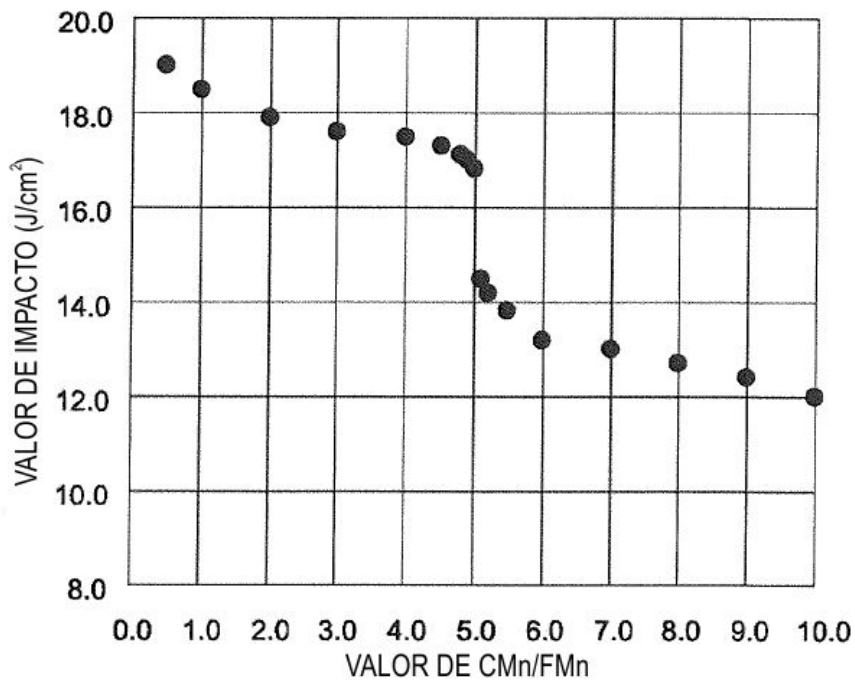


FIGURA 3

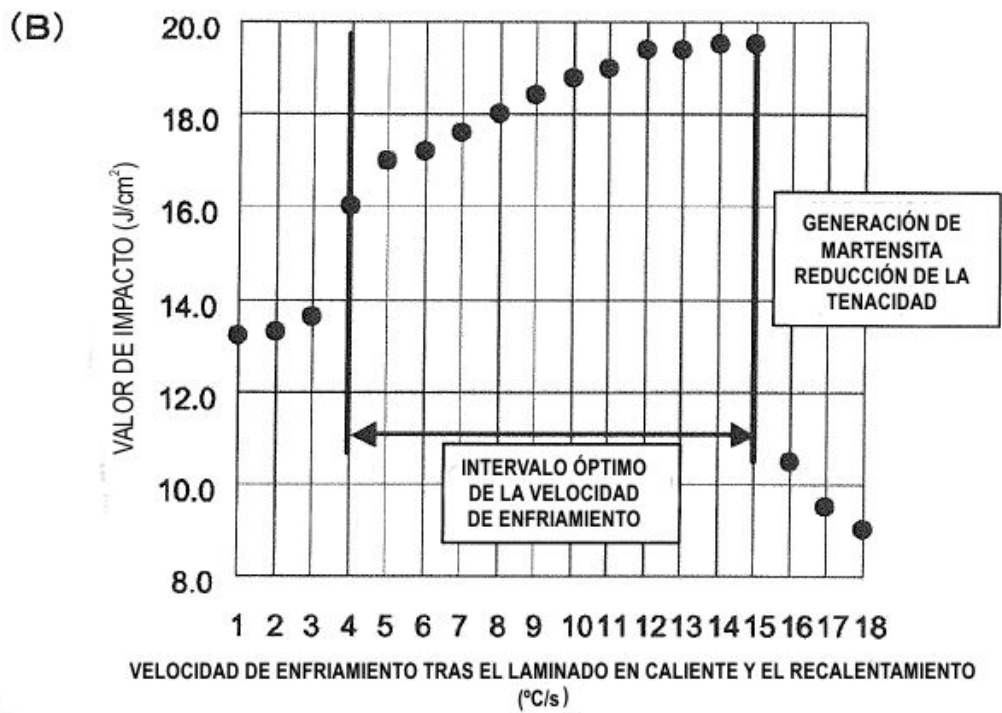
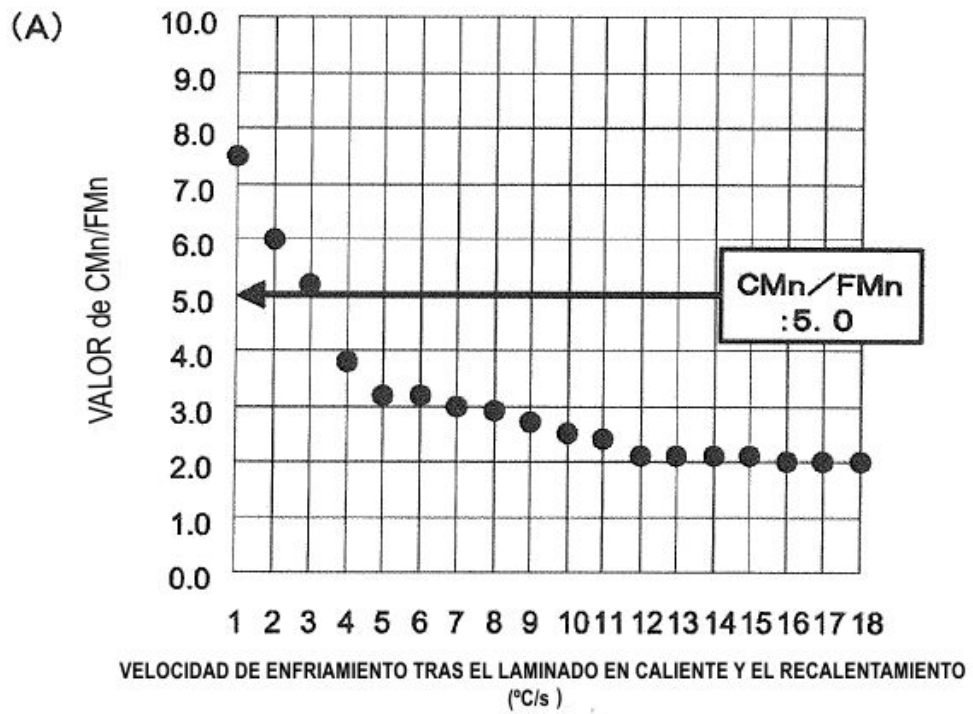


FIGURA 4

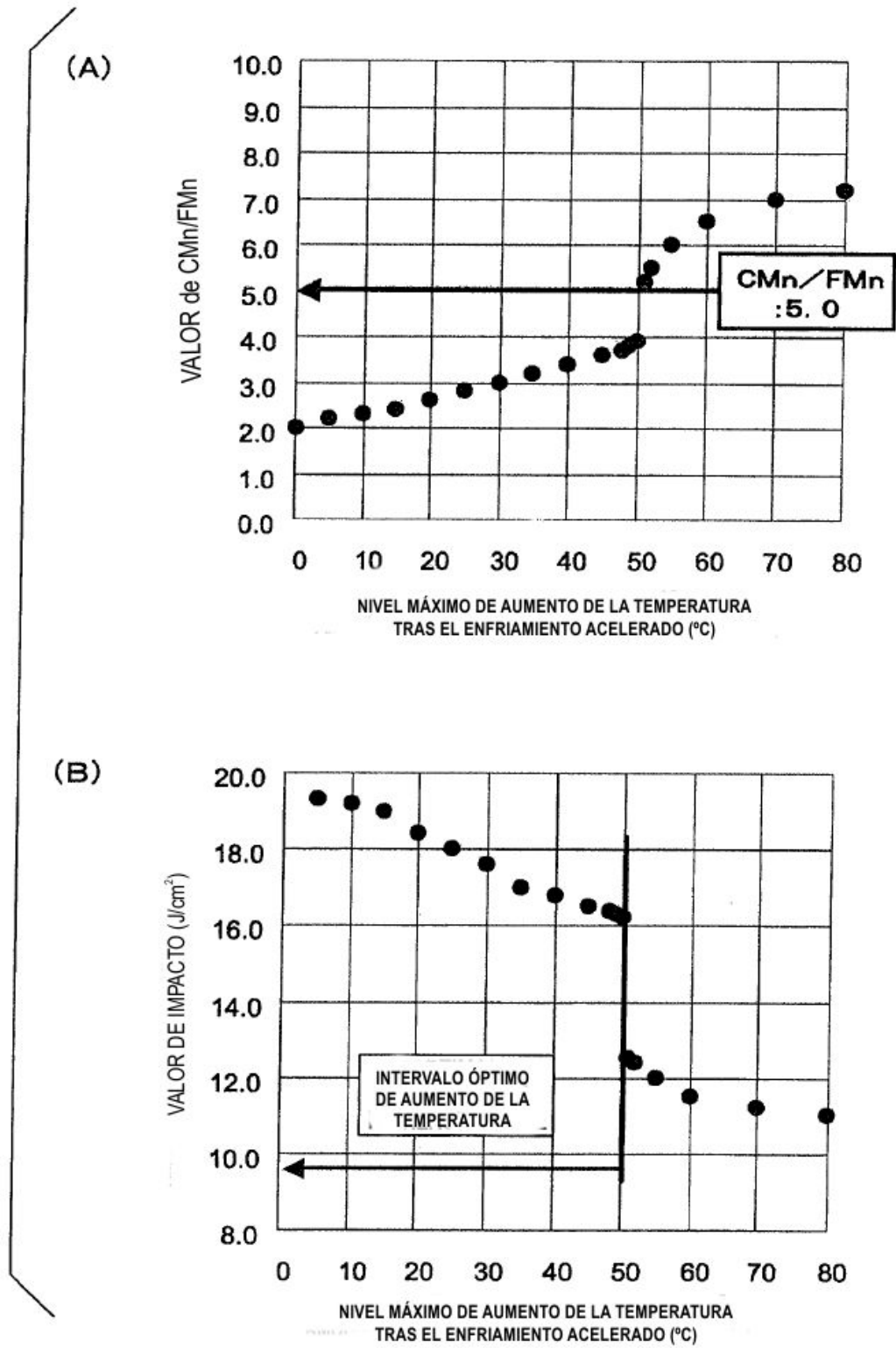
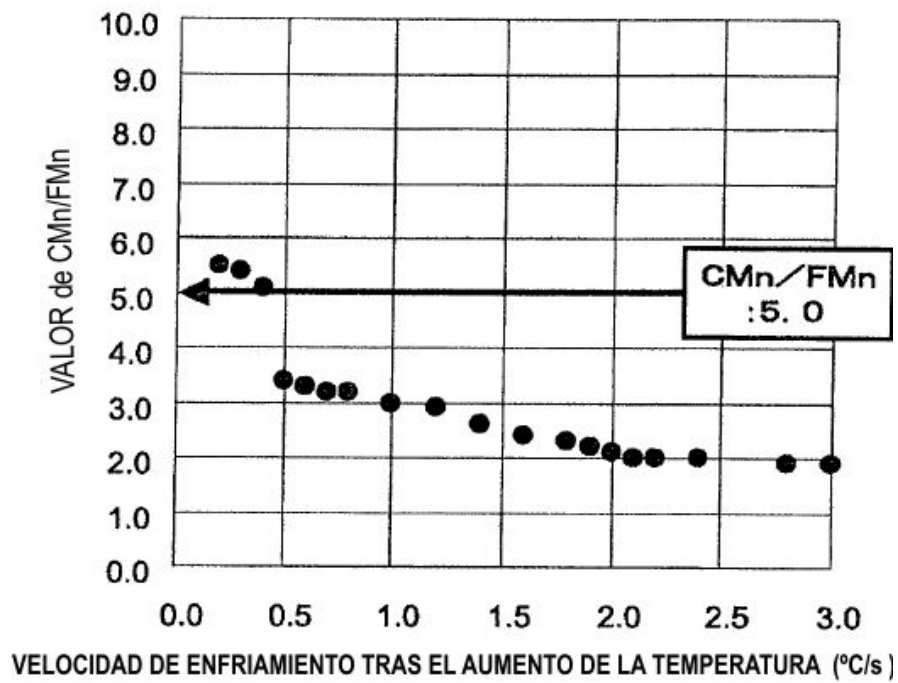


FIGURA 5

(A)



(B)

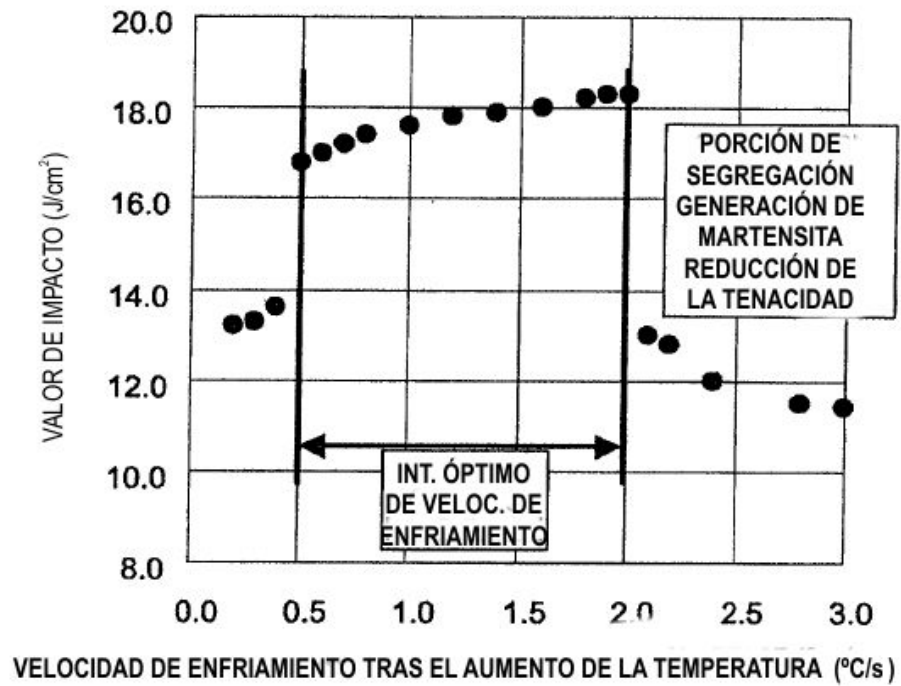


FIGURA 6

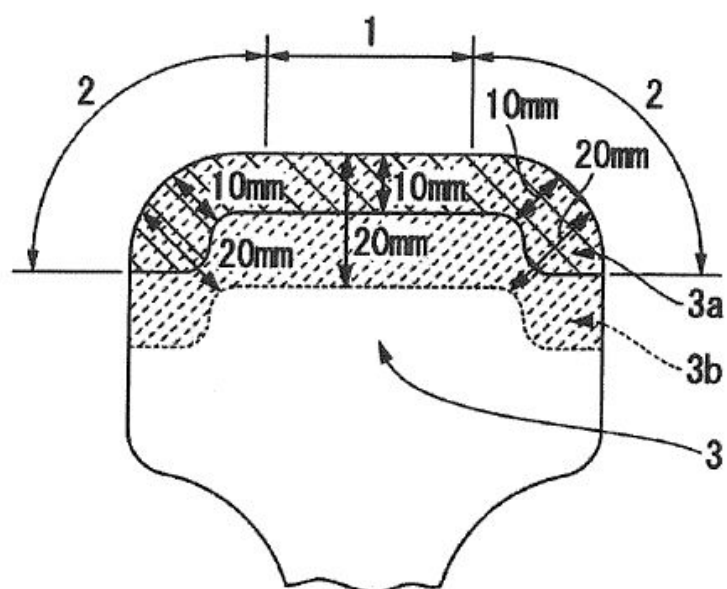


FIGURA 7

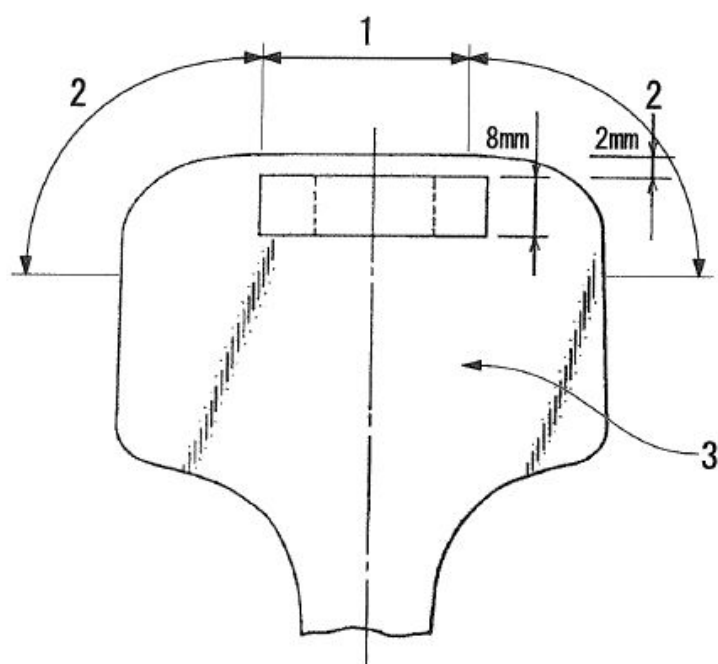


FIGURA 8

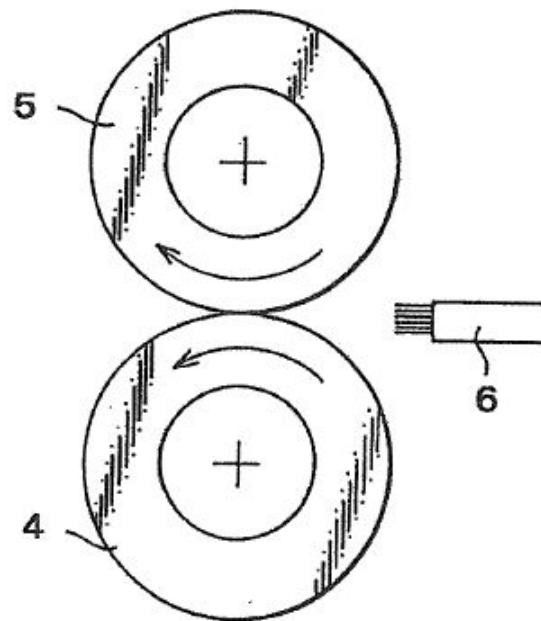


FIGURA 9

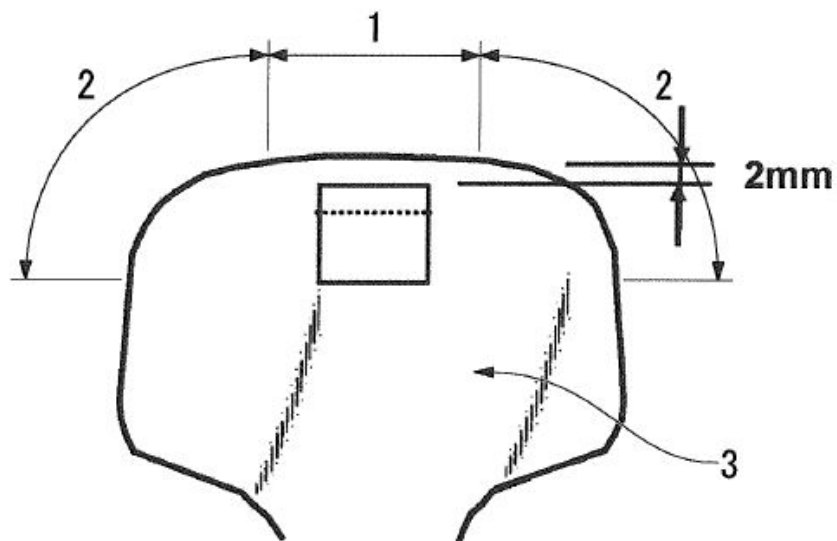


FIGURA 10

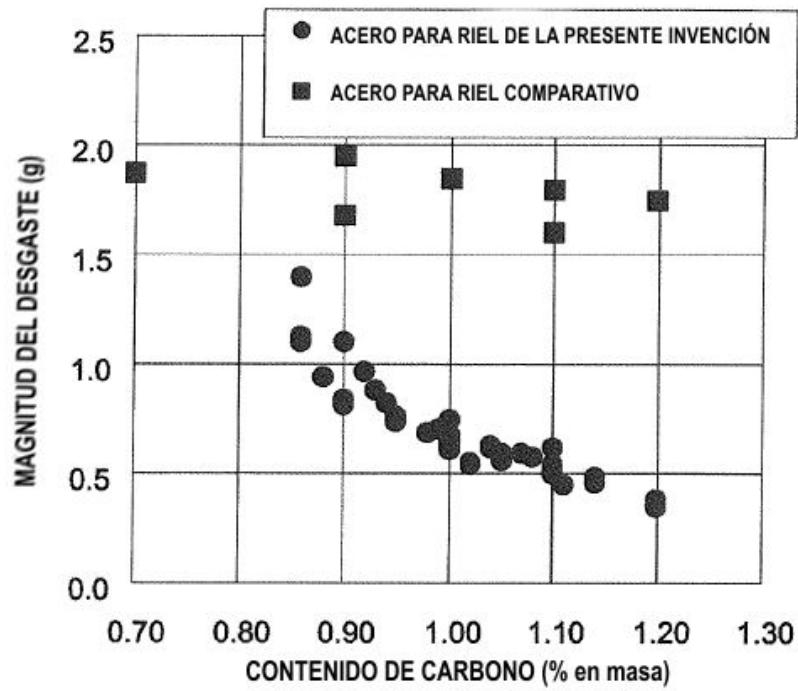


FIGURA 11

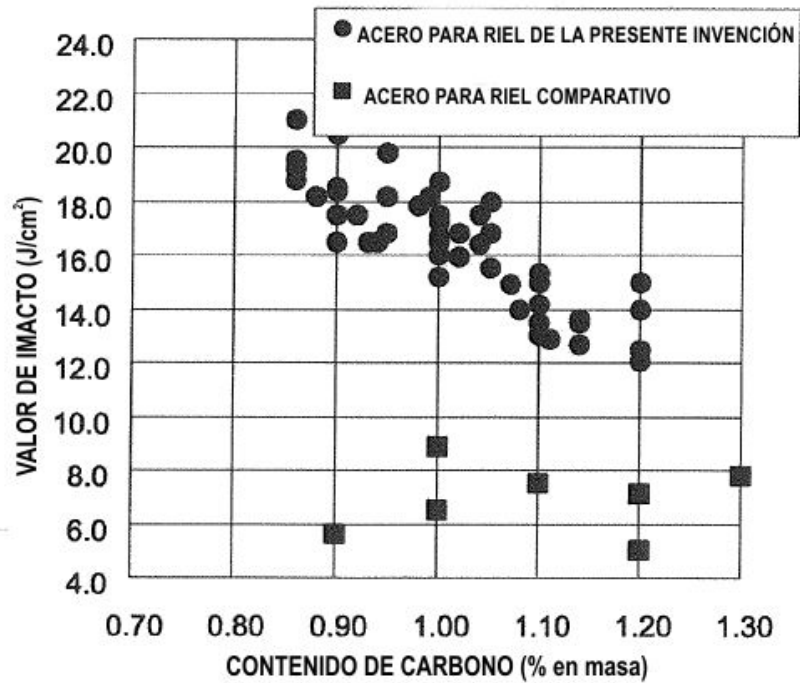


FIGURA 12

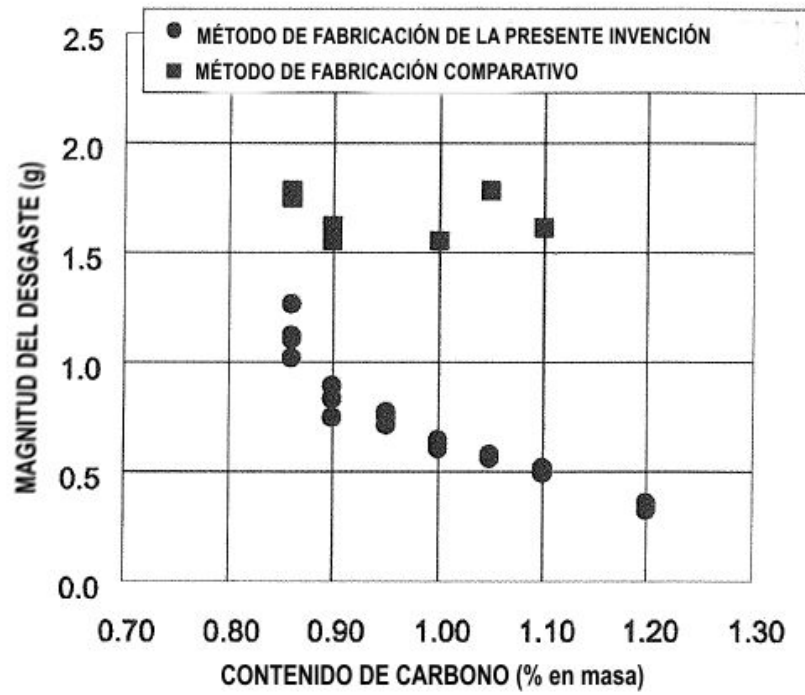


FIGURA 13

