

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 545 659**

51 Int. Cl.:

C21D 9/04 (2006.01)
C22C 38/02 (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01)
C22C 38/12 (2006.01)
C22C 38/24 (2006.01)
C22C 38/46 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.11.2012 E 12791480 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.07.2015 EP 2785890**

54 Título: **Acero para raíles con una excelente combinación de propiedades de desgaste, resistencia a la fatiga de contacto por rodadura y soldabilidad**

30 Prioridad:

28.11.2011 EP 11190973

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

14.09.2015

73 Titular/es:

**TATA STEEL UK LTD (100.0%)
30 Millbank
London SW1P 4WY, GB**

72 Inventor/es:

**SMITH, HOWARD MARTIN;
JAISWAL, SHREEKANT y
SECORDEL, PASCAL**

74 Agente/Representante:

LAZCANO GAINZA, Jesús

ES 2 545 659 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

Acero para raíles con una excelente combinación de propiedades de desgaste, resistencia a la fatiga de contacto por rodadura y soldabilidad.

5

Esta invención se refiere a un raíl de acero, en particular para su uso como un raíl acanalado tales como los utilizados para las pistas de tranvía, que tiene una excelente combinación de propiedades, en particular, la resistencia tanto a desgaste y fatiga de contacto por rodadura y al mismo tiempo siendo capaz de ser restaurado por soldadura sin la necesidad de una alta temperatura de precalentamiento.

10

La rentabilidad del transporte sobre raíles se ha convertido en un problema importante en los últimos años. La sustitución de un raíl embebido en una red de tranvías provoca interrupciones en el servicio; no sólo para el tráfico ferroviario, sino también para otros usuarios de la infraestructura compartida como las redes instaladas en los centros urbanos. Las redes de tranvía se caracterizan a menudo por radios de pista muy ajustados que inevitablemente experimentan altas tasas de desgaste lateral y por lo tanto puede ser el factor que dicta la vida útil del raíl. Así, un primer requisito clave de un grado rentable de acero de raíl para aplicaciones en líneas de tranvía es su capacidad para ser restaurado por soldadura sin la necesidad de una alta temperatura de precalentamiento que daña el polímero circundante en el cual está incrustado el raíl. Sin embargo, incluso con este atributo, el factor determinante de la vida útil del raíl es la tasa de desgaste de la cabeza vertical y por lo tanto, el segundo requisito clave de un grado rentable de acero de raíl es su resistencia al desgaste. Por otra parte, el aumento de los números de pasajeros significa que el tráfico ferroviario se ha vuelto más intenso en los últimos años, causando un mayor desgaste de los raíles. Se requieren más mejoras en las propiedades del material de los raíles para que sean más tolerantes y resistentes a los daños resultantes del aumento de las tensiones y los ciclos impuestos de tensiones. Aunque la evolución de la metalurgia de raíles y la tecnología de tratamiento de calor han refinado la microestructura perlítica para aumentar la resistencia al desgaste, la necesidad de una mayor reducción en los costes del ciclo de vida continúa impulsando nuevas mejoras en la metalurgia de los raíles.

15

20

25

Otro mecanismo de degradación del raíl a menudo encontrado en las redes de tranvía y de metro es la corrugación de la cabeza del raíl. Aunque el desarrollo de corrugación está influenciado por una variedad de características del sistema, se reconoce ampliamente que un aumento en la dureza y del límite elástico de los aceros de raíl retarda el desarrollo y crecimiento de la corrugación. En consecuencia la tercera **exigencia** de aceros de raíl rentables para tranvías y redes de metro es un aumento en la dureza y del límite elástico.

30

El documento US2009/0134647 se refiere un acero para rueda de ferrocarril con una estructura perlítica, que contiene (% en peso) carbono (0,65-0,80), silicio (0,90-1,10), manganeso (0,85-1,15), fósforo (0,001-0,030), niobio (0,009-0,013), azufre (0,005-0,040) y el resto de hierro e impurezas inevitables. El acero contiene adicionalmente cromo (0,10-0,25), níquel (0,050-0,150), molibdeno (0,20-0,30) y vanadio (0,10-0,30).

35

En partes rectas y suavemente curvadas de líneas de raíles, donde las tasas experimentadas de desgaste son generalmente más bajas, la vida útil de los raíles y los costes de mantenimiento asociados también son dictados por la necesidad de controlar el inicio y crecimiento de las grietas de fatiga de desgaste por rodadura (RCF) cuyos orígenes son, ya sea en, o muy cerca de la superficie de la cabeza del raíl. La RCF puede ocurrir en varias formas, pero se conoce comúnmente como chichones (HC), grietas en ángulo (CCG), o como defectos Squat. Por lo tanto, un cuarto requisito del acero rentable para raíl para tranvías y redes de metro es su resistencia a la iniciación de la fatiga de desgaste por rodadura (RCF).

40

45

La optimización de los perfiles de rueda y de raíl para reducir al mínimo las tensiones perjudiciales y el uso de amolado regular para mantener los perfiles deseados, mientras que, al mismo tiempo, la eliminación de las capas superficiales dañadas restantes se ha convertido en el método de control probado para RCF y la pista afectada por corrugación. Sin embargo, el costo del amolado del raíl es alto y consume tiempo disponible para el funcionamiento de los servicios regulares. Por lo tanto se mantiene la solución metalúrgica para el desarrollo como la más rentable.

50

Además de la mejora de la resistencia al desgaste, RCF, y la corrugación, un requisito adicional para el diseño de un nuevo acero de raíl es la capacidad de ser repetidamente restaurado mediante soldadura in-situ como una medida de mitigación a las altas tasas de desgaste lateral experimentado en las curvas apretadas de las redes de tranvía. La tecnología de restauración por soldadura de bajo precalentamiento, según lo establecido en la Tata Steel patente GB2443494, proporciona una metodología probada de restauración de aceros con alto contenido de carbono mediante soldaduras repetitivas. Sin embargo, el uso de esta técnica impone dos requisitos clave metalúrgicos de un límite superior en la temperatura de inicio de martensita (M_s) de menos de 200°C y que, al final la temperatura de martensita (M_f) no sea mayor de 50° C y

55

preferentemente mucho menos. Así, la composición de un nuevo acero para raíles debe diseñarse no sólo para cumplir los requisitos de resistencia al desgaste, RCF, y corrugación sino también para asegurar que la transformación en martensita se produce en un intervalo tal que impida la terminación de la transformación cuando se utiliza la tecnología de restauración por soldadura a bajo precalentamiento. El factor crítico del éxito para tal proceso de restauración por soldadura es la ausencia de cualquier microestructura dura quebradiza o grietas incipientes dentro del metal soldado, de una interfase entre el metal soldado y el metal original del raíl, o dentro de la zona afectada por el calor, todo lo cual posteriormente dará lugar a desprendimientos del depósito a partir de la propagación de grietas incipientes a través de la fatiga.

Por lo tanto es un objeto de esta invención proporcionar raíles de alta resistencia que son altamente resistentes al desgaste, fatiga de contacto por rodadura, y corrugación al tiempo que conserva la capacidad de ser restaurado repetidamente mediante soldadura .

También es un objeto proporcionar raíles de alta resistencia en los cuales el desgaste lateral puede ser restaurado robusta y fácilmente in-situ por medio de un tratamiento de soldadura por deposición.

También es un objeto proporcionar raíles de alta resistencia con una dureza de al menos 330 HV, una resistencia a la tracción de al menos 1000 MPa y un límite elástico de al menos 600 MPa.

Uno o más de los objetos de la invención se logró con un raíl de acero perlítico de alta resistencia que tiene una excelente combinación de propiedades contra desgaste, resistencia contra la fatiga de contacto por rodadura y capacidad de restauración mediante soldadura, que contiene (en % en peso):

- 0,70% a 0,85% de carbono,
- 0,65% a 1,00% de silicio,
- 1,1% a 1,4% de manganeso,
- 0,07% a 0,15% de vanadio,
- hasta 0,008% de nitrógeno,
- hasta 0,025% de fósforo,
- 0,008 a 0,030% de azufre,
- como máximo 2,5 ppm de hidrógeno,
- como máximo 0,10% de cromo,
- como máximo 0,010% de aluminio,
- como máximo 20 ppm de oxígeno,
- el resto consiste en hierro e impurezas inevitables.

La eficacia de la composición química de los aceros según la invención se demuestra mejor a través de una explicación de las razones para la adición de diversos elementos y comparación de las propiedades clave para aceros de raíl acanalados..

El carbono es el elemento de aleación de mejor costo efectivo para fortalecimiento de aceros para raíl, ya que proporciona la adición más rentable para lograr la dureza y la resistencia en aceros totalmente perlíticos. En una modalidad el valor máximo de carbono es 0,8%. Esto reduce el riesgo de formación de una red de cementita en los límites del grano. Con mayor preferencia el intervalo de contenido de carbono es de 0,735% a 0,785%. Este intervalo proporciona el equilibrio óptimo entre la fracción de volumen de cementita dura y la prevención de la formación de una red perjudicial de cementita frágil en los límites del grano. El carbono también es un agente de endurecimiento potente que facilita una temperatura de transformación más baja y por lo tanto, un separación interlamina más fina. La fracción de alto volumen de cementita dura y separación interlamina fina proporcionan la resistencia al desgaste y contribuye al incremento de la resistencia a RCF de la composición incluida en una modalidad de la invención. Además, como se demuestra por el proceso Tata Steel de restauración de soldadura bajo precalentamiento ¹, es esencial reducir la temperatura de inicio de martensita (M_s) del acero para asegurar un depósito robusto de soldadura. El rango prescrito de carbono es esencial para lograr este objetivo. Las siguientes metodologías ampliamente aceptadas para el cálculo de M_s temperatura, claramente identifica la eficacia del carbono en la reducción de la magnitud de este parámetro. En efecto, el carbono es entre 13 a 17 veces más potente en la reducción de la temperatura M_s comparado con el manganeso. De conformidad con Andrews (J. Iron & Steel Inst., 183 (1965), pp. 721-727) la temperatura M_s en °C se da por $539 - 423 \times \% \text{ carbono} - 30,4 \times \% \text{ Mn}$ (eq. 1'a) y de conformidad con Steven y Haynes (J. Iron & Steel Inst., 183 (1956), pp. 349-359) por $561 - 474 \times \% \text{ carbono} - 33 \times \% \text{ Mn}$ (eq. 1 b). Ambas ecuaciones de regresión proporcionan valores ligeramente diferentes para M_s . En el contexto de esta invención se usó el

valor promedio de estas dos ecuaciones como la aproximación de la actual M_s . M_f se determina a continuación a partir de M_s restando 150°C de M_s .

5 M_s (°C) = 0,5 x ($M_{s, \text{Andrews}}$ + $M_{s, \text{Stevenson \& Haynes}}$) ec. 1

M_f (°C) = M_s - 150 ec. 2

10 Es preferible que la temperatura de inicio de martensita (M_s) sea inferior a aproximadamente 160°C para asegurar un depósito robusto de soldadura

15 En esta invención, la adición de silicio es una parte integral y esencial del diseño del acero para diseñar la microestructura y las propiedades resultantes y no, como en la mayoría de otros aceros para raíles, un reflejo de la ruta del proceso de fabricación en lugar de una adición intencional de aleación. El silicio se usa a menudo como un elemento desoxidante y como tal, la adición de silicio se diseña generalmente solamente para ese propósito. Como la invención se refiere a una composición eutectoide en términos generales, la microestructura contiene poco o nada de ferrita pro-eutectoide. En cambio, es principalmente el separación interlaminar de la perlita lo que dicta las propiedades resultantes. Tradicionalmente, el refinamiento de la microestructura perlítica en composiciones de raíl acanalado se ha logrado mediante el uso de enfriamiento acelerado. La novedad del enfoque en esta invención es el tratamiento de la microestructura perlítica como una entidad tridimensional en la cual el comportamiento en la interfase rueda-raíl se rige por las propiedades de los dos componentes de listones de perlita, ferrita y cementita, en lugar de sólo las propiedades globales de dureza y resistencia a la tracción. En consecuencia, la novedad en esta invención radica en el uso de silicio para fortalecer la ferrita perlítica a través del fortalecimiento de la solución sólida que a su vez imparte una mayor resistencia al movimiento de vaivén, el desgaste y la fatiga de contacto por rodadura. Un contenido mínimo de silicio de 0,65% es esencial para el acero de acuerdo con la invención para alcanzar los valores de las propiedades mecánicas requeridas, resistencia al desgaste y resistencia a la RCF. Aunque las adiciones de silicio tienen un efecto muy limitado sobre la templabilidad del acero y esto se refleja en las ecuaciones para el cálculo de la temperatura M_s , la adición de hasta 1,0% de silicio es reconocida para hacer una pequeña contribución a la disminución de la temperatura M_s . Se encontró que el contenido de silicio entre 0,65% y 0,80% proporciona un buen equilibrio de las propiedades mecánicas requeridas sin ningún efecto adverso sobre la capacidad de restauración por soldadura.

35 El manganeso es un elemento clave de aleación en todos los aceros de raíl acanalados para proporcionar la capacidad requerida de endurecimiento y asegurar un separación interlaminar relativamente fino seguido del enfriamiento natural o acelerado de tales aceros. Este propósito sigue siendo válido para la presente invención. En la invención actual, la cual no se basa en el enfriamiento acelerado por sus propiedades, un mayor contenido de manganeso se considera deseable para impartir suficiente capacidad de endurecimiento y lograr una microestructura perlítica fina con separación interlaminar. Se encontró que un contenido de manganeso de menos de 1,1% de Mn es insuficiente para lograr la templabilidad deseada a un contenido de carbono dado, mientras que a niveles superiores al 1,4%, el incremento del riesgo de formación de martensita, particularmente en zonas de segregación de manganeso, se consideró inaceptable. Un mayor nivel de manganeso también se considera indeseable desde una perspectiva de soldadura debido al incremento del riesgo de formación de martensita dura y frágil. En una modalidad preferida, el contenido de manganeso es como máximo 1,35%. Un valor mínimo adecuado para el manganeso sería 1,20% o incluso 1,25%.

45 La eficacia del vanadio como un elemento para el fortalecimiento de aleación y precipitación se ha usado en esta invención para fortalecer la ferrita perlítica y con ello aumentar la resistencia al movimiento de vaivén, desgaste y fatiga de contacto por rodadura. El vanadio forma carburos de vanadio o nitruros de vanadio dependiendo de la cantidad de nitrógeno presente en el acero y la temperatura. Por lo tanto, es necesario examinar el nivel de adición de vanadio junto con la magnitud de nitrógeno en el acero dado que la eficacia del fortalecimiento por precipitación en aceros perlíticos eutectoides disminuye con el aumento de los niveles de nitrógeno, lo cual conduce a precipitados más gruesos de nitruro de vanadio a temperaturas más altas. Además, tales precipitados de alta temperatura no fortalecen la ferrita perlítica ni tampoco dejan suficiente vanadio en solución para impartir una mayor templabilidad y lograr una separación interlaminar más fina. Las adiciones de vanadio a aceros eutectoide no afectan sensiblemente la temperatura M_s . Los inventores encontraron que la proporción de vanadio precipitado en forma de carburos estaba cerca del máximo cuando el contenido de nitrógeno se limitó a 0,003% y esto disminuye proporcionalmente con el aumento de contenido de nitrógeno. El conocimiento de estos principios metalúrgicos se ha aplicado de una forma innovadora para llegar a los contenidos ideales de 0,08% V con 0,003% de nitrógeno. Por lo tanto, por razones de coste efectivo de fabricación, el contenido mínimo de nitrógeno de 0,003% se considera un límite inferior práctico, mientras que un límite más alto de 0,007% se considera deseable para asegurar mejores rendimientos de las adiciones de vanadio costoso. Sin embargo, aunque no es deseable desde el punto de vista de

la rentabilidad, contenidos de nitrógeno más altos podrían ser tolerados siempre que vayan acompañados por contenidos de vanadio proporcionalmente mayores.

5 En una modalidad de la invención, la cantidad mínima de nitrógeno es 0,003% acoplado con el contenido mínimo de vanadio de 0,07%. Preferentemente, el nitrógeno es como máximo 0,007% mientras que las cifras correspondientes para el vanadio son 0,07% mínimo y 0,12% máximo. Aunque estos contenidos máximos podrían ser excedidos, no son ideales y son económicamente poco atractivos

10 Debido a las adiciones exactas de silicio, manganeso y vanadio las propiedades dirigidas se logran no sólo cerca de la superficie, sino también en la mayor parte de la cabeza, con una alta consistencia. Esta consistencia es difícil de lograr en un raíl tratado con calor mientras que en el acero de acuerdo con la invención, esta consistencia se consigue en el raíl laminado en caliente Elevadas resistencias y/o límites elásticos y/o dureza pueden ser alcanzados para este acero sometándolo a enfriamiento acelerado en una instalación en línea o el tratamiento térmico fuera de línea empleando aire forzado, agua, niebla de aire, o polímeros refrigerantes.

15 La resistencia al desgaste obtenida en el acero de acuerdo con la invención en condiciones de laminado, condición de enfriamiento acelerado o condición de tratamiento con calor es tal que reducirá la necesidad de la aplicación de endurecimiento superficial preventivo y costoso para los raíles que se colocaran horizontalmente en las curvas cerradas.

20 Preferentemente, el contenido de fósforo del acero es como máximo 0,015%. Los valores de azufre deben estar entre 0,008 y 0,030% debido a que este forma inclusiones de MnS. Estas inclusiones actúan como sumideros-captadores para cualquier hidrógeno residual que pueda estar presente en el acero. Este hidrógeno puede provocar grietas astilladas que pueden ser los iniciadores de grietas de fatiga en la cabeza (también conocidos como óvalos tache) bajo las altas tensiones de las ruedas La adición de al menos 0,008% de azufre previene los efectos perjudiciales del hidrógeno, considerando la elección de un valor máximo de 0,03% para evitar la fragilidad de la estructura. Preferentemente, el valor máximo es 0,025%. El boro, aunque no es un elemento de aleación obligatorio, podría ser usado para mejorar las propiedades del acero según la invención y se podrían usar cantidades de hasta aproximadamente 60 ppm. El boro es un fuerte promotor de la formación de componentes micro-estructurales tales como bainita o martensita, particularmente cuando el nitrógeno en el acero está unido por titanio. Si no, se pueden formar precipitados de BN En el acero según la invención es importante que la microestructura sea sustancialmente perlítica y preferentemente totalmente perlítica y que la cantidad de componentes microestructurales bainíticos o martensíticos se mantenga tan baja como sea posible y preferentemente que estén ausentes Preferentemente no hay boro en el acero según la invención como elemento de aleación, pero puede estar presente como una impureza inevitable Un contenido de boro por debajo de 0,0005% (es decir < 5ppm) se considera generalmente ineficaz como elemento de aleación y por lo tanto se considera como una impureza en el contexto de esta solicitud.

35 El nivel máximo recomendado de impurezas inevitables se basa en EN13674-1:2003, de conformidad con lo cual los límites máximos son Mo 0,02%, Ni 0,10%, Sn - 0,03%, Sb - 0,020%, Ti - 0,025%, Nb - 0,01%.

40 La resistencia al desgaste del acero de la presente invención se ha establecido que emplea el procedimiento de ensayo comparativo "Twin Disco". El ensayo se lleva a cabo usando una instalación de laboratorio de doble disco similar a la instalación descrita en 'Desgaste', 162-164 (1993), Microestructura y resistencia al desgaste de los aceros ferroviarios perlíticos, Albert J. Pérez-Unzueta & John H. Beynon⁵. Este equipo simula las fuerzas que surgen cuando la rueda está rodando y se desliza sobre el riel Estas evaluaciones no son parte del procedimiento de calificación formal del raíl, pero se ha encontrado que proporcionan un buen indicador de la relación de rendimiento en servicio de las diferentes composiciones de acero ferroviario. Las condiciones de ensayo para las pruebas de desgaste implican el uso de 560 MPa de tensiones de contacto y 25% de deslizamiento mientras que para RCF usan una tensión de contacto mayor de 900 MPa, 5% de deslizamiento y lubricación por agua Los resultados se muestran en la Figura 1, donde la tasa de desgaste en mg / m de deslizamiento se representa frente a la dureza (en HV).

50 Es evidente que la tasa de desgaste disminuye en función de la dureza y que más allá de un nivel de dureza de 330 HV30 (~313HB), hay poca o ninguna reducción adicional medible en la tasa de desgaste En consecuencia, uno de los objetos de la invención es lograr una resistencia al desgaste equivalente a un nivel de dureza de al menos 330 HV30 Las composiciones optimizadas de la invención tanto en moldes de laboratorio como comerciales han alcanzado la resistencia al desgaste deseada. Los inventores han encontrado que la composición química equilibrada produce perlita muy resistente al desgaste como un resultado del fortalecimiento de la ferrita perlítica través del fortalecimiento de la solución sólida mediante adiciones de silicio y carburos de vanadio muy finamente dispersos dentro de los listones de ferrita perlítica. Además, restringiendo el nitrógeno al < 0,007%, los inventores lograron capitalizar el potente efecto de templeabilidad conocido del

vanadio en solución el cual mejora la resistencia, dureza, y resistencia al desgaste de la composición optimizada de la invención mediante el refinado de la separación interlamina de la perlita.

5 Aunque, la velocidad inferior de funcionamiento de tranvías en las líneas embebidas los hace menos susceptibles a la Fatiga de Contacto por Rodadura (RCF), el fortalecimiento de la ferrita perlítica resultante a partir de la composición de la invención también ha mejorado la resistencia del acero a la RCF. Una mejora de al menos 20% en la resistencia a la iniciación de RCF se ha establecido a través de ensayos de laboratorio de doble disco comparativo de la composición de la invención y el grado R260 estándar.

10 Una serie de factores se unen para llevar a cabo estas mejoras. En primer lugar, el incremento del contenido de carbono con respecto a los grados inferiores de carbono típicos de acero del raíl para raíles acanalados, mientras que queden dentro de la región hipoeutectoide del diagrama de fases hierro-carbono, incrementa la fracción de volumen de cementita dura en la microestructura. A medida que el contenido de carbono no entra en el rango hiper-eutectoide de composiciones, se evita el riesgo de formación de redes perjudiciales de cementita frágil en los límites del grano bajo el enfriamiento relativamente lento experimentado por los raíles durante la producción. Como medida de precaución adicional, las mayores adiciones intencionales de silicio y vanadio a la composición han sido diseñados para evitar la cementita en el límite del grano dentro de las porciones segregadas de la sección del raíl. Estas adiciones también tienen una segunda, e igualmente importante, función. El silicio es un fortalecedor de solución sólida e incrementa la resistencia de la ferrita perlítica, incrementando así la resistencia de la perlita que tanto al desgaste como a la iniciación de RCF. Del mismo modo, la precipitación de carburos de vanadio finos dentro de la ferrita perlítica aumenta su resistencia, en particular la tensión de prueba, y por tanto la resistencia tanto al desgaste como a la RCF. Una característica adicional del diseño de la composición es limitar el contenido de nitrógeno con el fin de evitar la formación prematura de precipitados relativamente gruesos de nitruro de vanadio, ya que son significativamente menos efectivos en el aumento de la fuerza de la ferrita perlítica. Esto asegura que las adiciones de vanadio permanecen en solución dentro de la austenita a temperaturas más bajas y, por tanto, dan lugar a precipitados más finos. Una proporción de vanadio también permanece en solución, actuando así como un agente de templabilidad para refinar el espaciado de perlita. Así, el diseño específico de la composición reivindicada en esta modalidad utiliza los diversos atributos de los elementos individuales para producir una microestructura con una combinación altamente deseable de resistencia al desgaste y a la RCF. Las propiedades mecánicas y la resistencia al desgaste y a la iniciación RCF de los aceros de acuerdo con la invención son mejores que la mayoría de los grados perlíticos de raíles tratados con calor convencional y similares a los de grado más duro tratados térmicamente (Grado R340GHT) incluido en la norma Euro para raíles acanalados (EN 14811: 2006 + A1: 2009). Aunque no es esencial para la aplicación prevista actual de raíles acanalados para las calles y pistas de atletismo integradas, podrían obtenerse nuevas mejoras en las propiedades de tracción y resistencia al desgaste, deformación plástica, y la RCF sometiendo las composiciones de la invención a un enfriamiento acelerado después de la laminación en caliente o seguir hasta un tratamiento térmico empleando una etapa de recalentamiento.

Otro atributo adicional e igualmente significativo de los aceros de acuerdo con la invención es su capacidad de ser restaurado mediante soldadura sin la necesidad de una alta temperatura de precalentamiento. La propietaria Tata Steel del proceso de restauración por soldadura especifica bajas temperaturas de precalentamiento de alrededor de 60°C a 80°C. El principio fundamental en que se basa este proceso es evitar completar la transformación a martensita dentro de la zona afectada por el calor creado por la deposición de la capa de soldadura. Por lo tanto, en esta invención, el diseño de la composición del acero ha tenido dos objetivos desafiantes: en primer lugar satisfacer los requisitos de las propiedades descritas en los párrafos anteriores y en segundo lugar asegurar el inicio de martensita (M_s) y el acabado de la martensita (M_f) las temperaturas de transformación son tales que no permiten la transformación en martensita para ir hasta su completamiento durante el proceso de restauración por soldadura. En consecuencia, la temperatura M_f , tiene que estar por debajo de aproximadamente 60°C y preferentemente muy por debajo de esta temperatura para maximizar el volumen de austenita retenida no transformada que es clave para la prevención de la formación de grietas incipientes en la interfase soldadura metal original o dentro de la zona afectada por el calor formada por la deposición de la capa de soldadura. En general, la temperatura M_f se considera que es aproximadamente 150°C por debajo de la temperatura M_s que puede calcularse usando las ecuaciones (1), (1a), (1b) y (2) como se indica anteriormente. Las temperaturas M_s y M_f de una variedad de aceros para raíles disponibles se muestra en la Figura 2 contra la dureza mínima del grado requerida. Las temperaturas son el promedio de las calculadas por las dos ecuaciones dadas en el párrafo 0012 y las concentraciones de carbono y manganeso usados en los cálculos son los valores del punto medio del intervalo especificado en la norma EN 14811: 2006 + A1: 2009. La temperatura M_s es el valor superior, la temperatura M_f es el menor valor del intervalo representado.

Es evidente que el acero de esta invención, que se referencia como "invención" en la figura 2, tiene la más baja temperatura M_f y por lo tanto es capaz de retener la máxima proporción de austenita y por lo tanto más resistente a la formación de

grietas incipientes. En contraste, los otros grados de acero de raíl acanalado tienen temperaturas M_f indeseablemente altas lo que implica el completamiento de la transformación de martensita durante la restauración por soldadura y un riesgo mucho mayor de formación de grietas.

5 La excelente resistencia al desgaste del raíl asegura que se tarda mucho tiempo antes de que el raíl se desgaste en una dirección vertical. La capacidad de restauración por soldadura y el hecho de que el acero según la invención no requiere un tratamiento térmico para lograr sus propiedades asegura que el raíl puede ser reparado in situ, por lo que el raíl no tiene que ser sacado de la calle, pero pueden ser reparados durante la noche. Esto implica menos obras viales y menos inconveniencias para el tráfico interior de la ciudad. Esta combinación de propiedades alcanzables mediante la ingeniería de la microestructura y la química del raíl significa que raíl no sólo es rentable, sino que también proporciona una solución más ecológica porque los raíles se pueden reparar fácilmente y no tienen que ser reemplazados con frecuencia por nuevos raíles . Por otra parte, el diseño cuidadoso de la composición, eliminando así la necesidad de una etapa de tratamiento térmico durante la fabricación del raíl, también asegura un producto de raíl más verde en comparación con los aceros que derivan sus propiedades de un tratamiento térmico después del laminado del raíl.

10 Aunque el acero de acuerdo con la invención es adecuado para propósitos tales como raíles de grúa o raíles de fondo plano, se ha encontrado que el acero de raíl es excepcionalmente adecuado para la producción de raíles acanalados que se benefician de atributos clave combinados de resistencia al desgaste y capacidad de restauración mediante soldadura.

15 Los moldes de laboratorio de aceros C1-C4 y del acero de la invención A fueron producidos como 60 kg de lingotes Los moldes C1 a C4 son moldes preliminares que se hicieron para establecer el equilibrio entre los requisitos a veces en conflicto para alcanzar la dureza requerida, propiedades de tracción y la resistencia al desgaste que resulta por un lado con los requisitos de una temperatura M_s suficientemente baja para asegurar una capacidad de restauración mediante soldadura utilizando un proceso de bajo precalentamiento. Los resultados de estas investigaciones culminaron en primer lugar en un molde de laboratorio de la composición del molde A. Los lingotes se laminaron hasta 30 mm de placa gruesa y se sometieron a un enfriamiento de aire natural para simular con precisión las condiciones de enfriamiento en la cabeza de un raíl laminado. Un molde BOS comercial de 300 t fundido (acero B) fue producido del acero de la invención basado en la química del modelo de laboratorio A, y posteriormente colado continuamente hasta una sección de floración de colada de 355 x 305 mm. Las floraciones de colada se laminaron hasta diversas secciones de raíl y se dejaron enfriar en el banco de enfriamiento de raíles en las condiciones estándar de refrigeración como para los grados de raíles laminados comerciales convencionales. Todas las longitudes de los raíles se produjeron libre de defectos internos o de fracturas de superficie. Los raíles se ensayaron en condición de laminado en caliente.

20 Las composiciones químicas de los aceros A y B se dan en la Tabla 1 Los ejemplos comparativos C1-C4 también se dan en la Tabla 1.

35 Tabla 1: Composición química, % en peso

40

Acero	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Al	N
A	0,76	0,76	1,23	0,016	0,012	0,04	0,08	< 0,005	49
B	0,76	0,75	1,22	0,018	0,013	0,03	0,09	< 0,005	32
C1	0,61	0,82	1,40	0,018	0,014	0,62	< 0,01	0,010	70
C2	0,72	0,83	0,95	0,016	0,011	<0,01	0,13	0,008	40
C3	0,65	0,72	1,25	0,015	0,013	<0,005	0,13	0,012	60
C4	0,44	0,70	1,21	0,015	0,010	<0,005	0,12	0,014	60

45

50

La dureza de los aceros A y B se encontró que era entre 330 y 335 HV30. Los inventores encontraron que mediante la selección de un acero en el marco químico estrecho de acuerdo con la invención tanto la resistencia al desgaste como la resistencia a la RCF son excelentes y coinciden con el rendimiento de un Grado 350HT tratado térmicamente mientras que muestra propiedades mecánicas similares. En comparación con algunos grados nuestros aceros de la invención no requieren tratamiento térmico para obtener las propiedades deseadas.

Tabla 2: Dureza y datos de las propiedades de tracción de los aceros de la invención y los grados actuales de raíles perlíticos (R260 y R350HT)

5

Acero	Condición	0,2% PS (MPa)	TS (MPa)	EI (%)	Dureza (HV30)
R260	Laminado	494	907	12,5	290
R350HT	Tratado con calor	763	1210	14,0	375
A	Laminado	646	1089	10,0	331
B	Laminado	629	1100	9,8	335

10

15

20

Reivindicaciones

- 5 1. Un Acero para la fabricación de raíles, en particular de raíles acanalados, que tiene una dureza de al menos 330 HV30, una resistencia a la tracción de al menos 1000 MPa y un límite elástico de al menos 600 MPa y consiste en % en peso, de
- 10 • 0,70% a 0,85 de carbono,
 • 0,65% a 1,00% silicio,
 • 1,1% a 1,4% de manganeso,
 • 0,07% a 0,15% de vanadio,
 • hasta 0,008% de nitrógeno,
 • hasta 0,025% de fósforo,
 • como máximo 2,5 ppm de hidrógeno,
 • como máximo 0,10% de cromo,
 • como máximo 0,010% de aluminio,
 • como máximo 20 ppm de oxígeno,
 • el resto consiste en hierro e impurezas inevitables.
- 15 2. Acero de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la temperatura de transformación inicial de la martensita (M_s) determinado por la ecuación (1 está por debajo de 190°C y en donde la transformación final de la martensita (M_f) de acuerdo con la ec. 2 está por debajo de 40°C.
- 20
- 25 M_s (°C) = 0,5 x ($M_{s, Andrews}$ + $M_{s, Stevenson \& Haynes}$) ec. 1
- $M_{s, Andrews}$ (°C) = 539 - 423 x % carbono - 30.4 x % Mn ec. 1a
- $M_{s, Stevenson \& Haynes}$ (°C) = 561 - 474 % carbono - 33 x % Mn ec. 1b
- 30 M_f (°C) = M_s - 150 ec. 2
- 35 3. Acero de conformidad con la reivindicación 1 que comprende un contenido de carbono de al menos 0,735%C, preferentemente de al menos 0,75%.
4. Acero de conformidad con reivindicación 1 o 2 que comprende un contenido de manganeso de al menos 1,20%.
- 40 5. Acero de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 que comprende un contenido de silicio de al menos 0,75%.
6. Acero de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 que comprende una combinación de un contenido de vanadio de al menos 0,08% V y un contenido de nitrógeno como máximo de 0,005%.
- 45 7. Acero de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 que comprende una combinación de un contenido de vanadio de al menos 0,10% V y un contenido de nitrógeno como máximo de 0,007%.
8. Acero de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 en donde la temperatura de transformación inicial de la martensita determinada por la ec. 1 está por debajo de 175°C y en donde transformación final de la martensita de conformidad con la ec. 2 está por debajo de 25°C.
- 50 9. Acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde la zona afectada por el calor de la capa de soldadura de la restauración comprende al menos 50% en volumen de austenita retenida.
- 55 10. Raíl, tal como raíl acanalado, raíl de grúa o raíl de fondo plano, fabricados de acero de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, que tiene una dureza de al menos 330 HV, una resistencia a la tracción de al menos 1000 MPa y un límite elástico de al menos 600 MPa.

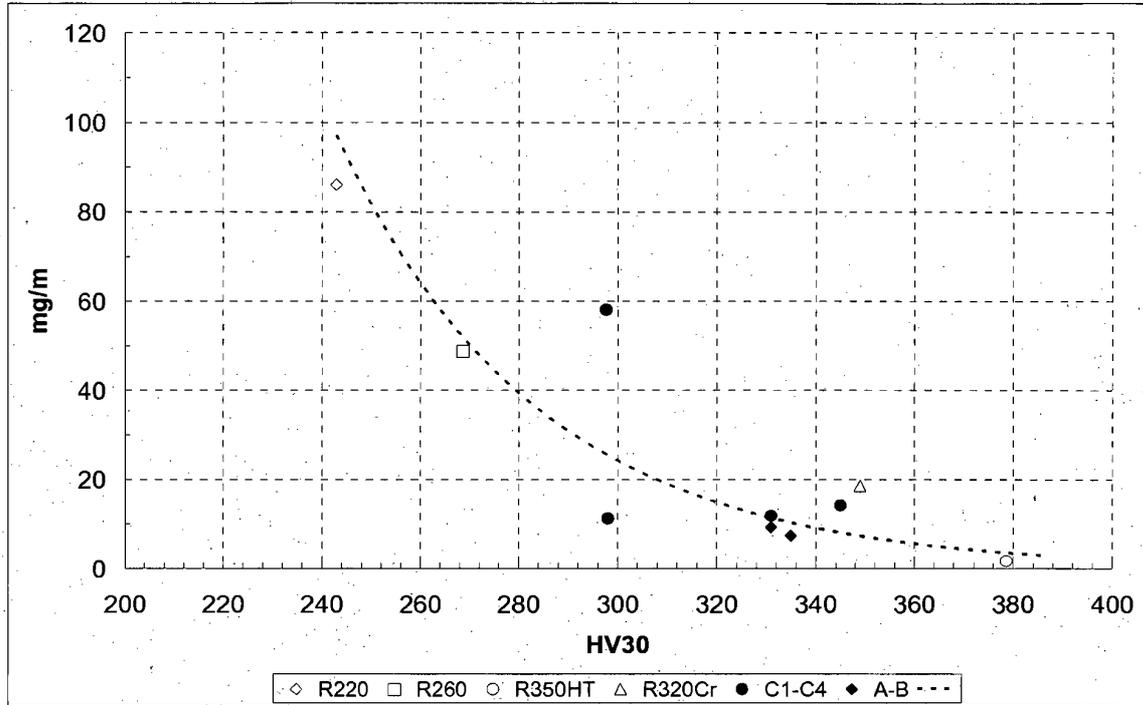


Figura 1

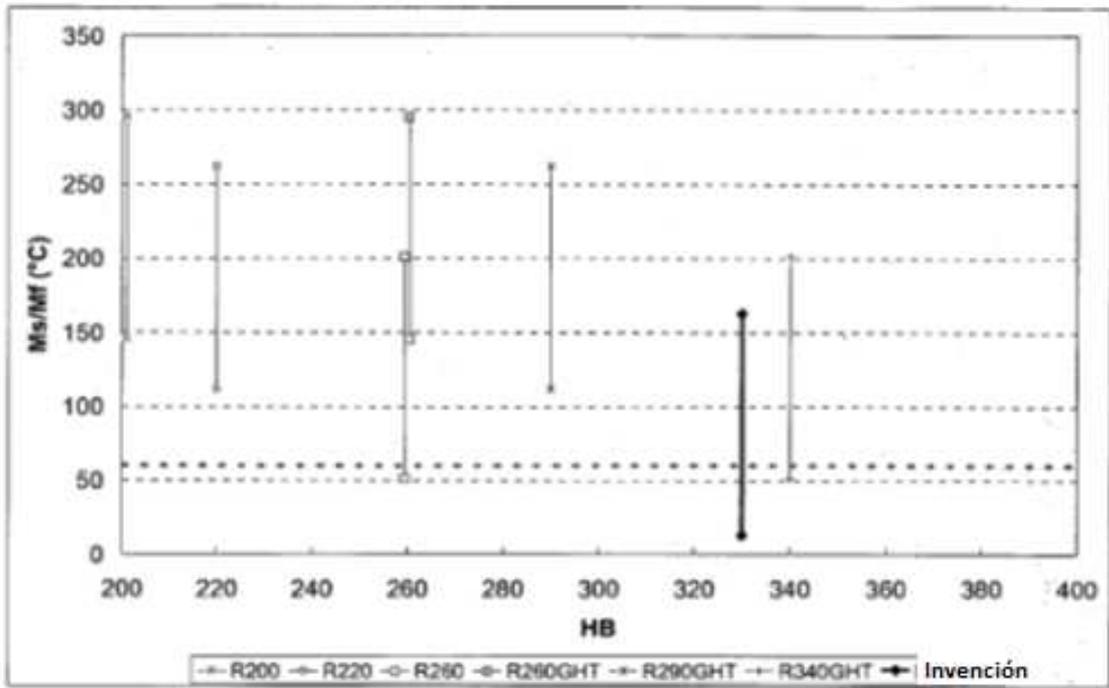


Figura 2