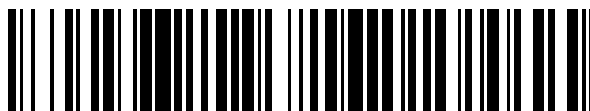


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 370 149**

51 Int. Cl.:  
**C22C 38/12** (2006.01)  
**E01B 5/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09713461 .3**  
96 Fecha de presentación: **23.02.2009**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2247764**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **10.11.2010**

54 Título: **ACERO DE RAÍL CON UNA EXCELENTE COMBINACIÓN DE PROPIEDADES DE DESGASTE Y RESISTENCIA A LA FATIGA DE CONTACTO POR RODADURA.**

30 Prioridad:  
**22.02.2008 EP 08101917**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**13.12.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**13.12.2011**

73 Titular/es:  
**Tata Steel UK Limited**  
**30 Millbank**  
**London SW19 4WY**

72 Inventor/es:  
**CARROLL, Robert;**  
**SMITH, Howard, Martin y**  
**JAISWAL, Shreekant**

74 Agente: **de Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 370 149 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 de raíl con una excelente combinación de propiedades de desgaste y resistencia a la fatiga de contacto por rodadura

5 Esta invención se refiere a un acero de raíl con una excelente combinación de propiedades de desgaste y resistencia a la fatiga de contacto por rodadura requeridas para ferrocarriles convencionales y de tráfico pesado.

10 Los incrementos de las velocidades de los trenes y de las cargas han hecho más eficiente al transporte por ferrocarril. Sin embargo, este incremento también significa más duras condiciones de funcionamiento para los railes, y se requieren mejoras adicionales en las propiedades del material del raíl para hacerlos más tolerantes y resistentes a las tensiones incrementadas y a los ciclos de tensiones impuestos. El incremento de desgaste es particularmente pesado en las curvas cerradas con alta densidad de tráfico y una mayor proporción de tráfico de mercancías, y la caída de la vida útil del raíl se puede volver significativa e indeseable. Sin embargo, la vida útil del raíl se ha incrementado significativamente en los últimos años debido a las mejoras en las tecnologías de tratamiento térmico para fortalecer adicionalmente los railes, y al desarrollo de railes de alta resistencia usando un acero al carbono eutectoide y que tiene una fina estructura perlítica.

15 En las partes rectas y ligeramente curvadas de los ferrocarriles donde se requiere más baja resistencia al desgaste, los contactos repetidos entre las ruedas y los railes pueden provocar fallos por fatiga de contacto por rodadura (RCF) sobre la superficie de la cabeza del raíl. Estos fallos son el resultado de la propagación de las grietas de fatiga que empezaron en el plano superior de la superficie de la cabeza del raíl hacia su interior. Los fallos denominados "squat" o "dark spot" aparecen principalmente, pero no exclusivamente, en las vías tangentes de los ferrocarriles de alta velocidad y son debidos a la acumulación de daño en el centro de superficie de la cabeza del raíl que son el resultado de los contactos repetidos entre ruedas y railes.

20 Estos fallos se pueden eliminar puliendo la superficie de la cabeza del raíl a intervalos dados. Sin embargo, los costes del vagón pulidor y su funcionamiento son altos y el tiempo para pulir está limitado por los horarios de circulación de los trenes.

25 Otra solución es incrementar la velocidad de desgaste de la superficie de la cabeza del raíl para permitir que el daño acumulado se desgaste antes de que ocurran los defectos. La velocidad de desgaste de los railes se puede incrementar disminuyendo su dureza ya que su resistencia al desgaste depende de la dureza del acero. Sin embargo, la simple reducción de la dureza del acero provoca deformación plástica en la superficie de la cabeza del raíl que, a su vez, provoca la pérdida del perfil óptimo y la aparición de grietas de fatiga de contacto por rodadura.

30 Los railes con una estructura bainítica se desgastan más que los railes con una estructura perlítica porque consisten en partículas de carburo finamente dispersadas en una matriz ferrítica blanda. Las ruedas que corren sobre los railes de estructuras bainíticas, por lo tanto, provocan que el carburo se desgaste fácilmente con la matriz ferrítica. El desgaste acelerado de este modo retira de la cabeza del raíl la capa dañada por la fatiga de la superficie de la cabeza del raíl. La baja resistencia de la matriz ferrítica se puede contrarrestar añadiendo más altos porcentajes de cromo u otros elementos aleantes para proporcionar la alta resistencia requerida según sale del laminador. Sin embargo las adiciones incrementadas de aleantes no solo son costosas sino que pueden formar también una estructura dura y frágil en las uniones soldadas entre railes. Estos aceros bainíticos parecen ser más susceptibles al agrietamiento por corrosión bajo tensión y requerir un control más rígido de las tensiones residuales. Además, se debe mejorar el rendimiento de la soldadura aluminotérmica y a tope por chispa de aceros bainíticos

35 40 Los railes con una estructura perlítica comprenden una combinación de ferrita blanda y láminas de cementita dura. Sobre la superficie de la cabeza del raíl que está en contacto con las ruedas, la ferrita blanda se excluye para dejar solo las láminas de cementita dura. Esta cementita y el efecto de endurecimiento por tratamiento proporcionan la resistencia al desgaste requerida de los railes. La resistencia de estos aceros perlíticos se consigue por medio de las adiciones de aleantes, el enfriamiento acelerado o una de sus combinaciones. Usando estos medios, se ha reducido el espaciado interlaminar de la perlita. Un incremento de la dureza del acero provoca un incremento de la resistencia al desgaste. Sin embargo, a valores de dureza de alrededor de 360 HB y más altos, la velocidad de desgaste es tan pequeña que un incremento adicional de dureza no da como resultado una velocidad de desgaste significativamente diferente. Sin embargo, se han visto mejoras de resistencia a la fatiga de contacto por rodadura con el incremento de dureza hasta ~400 HB que se considera generalmente como límite superior de dureza para aceros eutectoides e hipereutectoides con una microestructura totalmente perlítica. El documento JP 2000 345 296 describe un raíl de acero con buena resistencia al desgaste y fatiga.

45 50 Sin embargo, en condiciones prácticas, la resistencia a la RCF de estos aceros perlíticos de alta resistencia necesita ser mejorada adicionalmente para retrasar el inicio de las grietas por fatiga de contacto por rodadura y prolongar por ello los intervalos entre las operaciones de pulido de los railes.

55 Es por lo tanto un objetivo de esta invención proporcionar railes de alta resistencia que son resistentes a la fatiga de contacto por rodadura reteniendo la excelente resistencia al desgaste de los actuales railes térmicamente tratados.

El objetivo de la invención se consiguió con un acero de raíl perlítico de alta resistencia con una excelente

combinación de propiedades de desgaste y resistencia a la fatiga de contacto por rodadura, que contiene (en % en peso):

de 0,88 a 0,95% de carbono,

de 0,75% a 0,95% de silicio,

5 de 0,80% a 0,95% de manganeso,

de 0,05% a 0,14% de vanadio,

como mucho 0,008% de nitrógeno,

como mucho 0,030% de fósforo,

de 0,008% a 0,030% de azufre,

10 como mucho 2,5 ppm de hidrógeno,

como mucho 0,10% de cromo,

como mucho 0,010% de aluminio,

como mucho 20 ppm de oxígeno,

consistiendo el resto en hierro e impurezas inevitables.

15 Los aceros de composición química según la invención mostraron muy buenas propiedades de desgaste comparado con los aceros perlíticos hipo- e hiper-eutectoides convencionales. Los inventores han encontrado que la composición química equilibrada produce perlita muy resistente al desgaste que comprende carbonitruros de vanadio muy finamente dispersados. Además, la resistencia a la RCF es significativamente más alta que la de los aceros convencionales comparables. Varios factores se unen para provocar esta mejora. Primeramente, el movimiento hacia la región hipereutectoide del diagrama de fases de hierro-carbono incrementa la fracción en volumen de cementita dura en la microestructura. Sin embargo, en el relativamente lento enfriamiento experimentado por los railes, tales altas concentraciones de carbono pueden conducir a redes nocivas de cementita fragilizante en los bordes de grano. La adición intencionada de más alta concentración de silicio y vanadio a la composición se ha diseñado para prevenir la cementita en el borde de grano. Estas adiciones tienen también una segunda e igualmente importante función. El silicio es un fortalecedor de la disolución sólida e incrementa la resistencia de la ferrita perlítica que incrementa la resistencia de la perlita a la iniciación de la RCF. Similarmente, la precipitación de finos carbonitruros de vanadio dentro de la ferrita perlítica incrementa su fortaleza y por ello la resistencia a la RCF de esta microestructura perlítica combinada. Una característica adicional del diseño composicional es limitar el contenido de nitrógeno para prevenir los precipitados prematuros y gruesos de nitruro de vanadio ya que no son efectivos para incrementar la resistencia de la ferrita perlítica. Esto asegura que las adiciones de vanadio permanecen en disolución dentro de la austenita hasta temperaturas más bajas y, por lo tanto, dan como resultado precipitados más finos. El vanadio en disolución actúa también como agente de templabilidad para refinar el espaciado de la perlita. De este modo, el diseño específico de la composición reivindicada en esta realización utiliza los distintos atributos de los elementos individuales para producir una microestructura con una combinación muy deseable de desgaste y resistencia a la RCF. La RCF y la resistencia al desgaste mejoradas se pueden conseguir de este modo a valores más bajos de dureza. Dado que la dureza más alta está usualmente asociada a más altas tensiones residuales en el raíl, la dureza más baja quiere decir que estas tensiones residuales en el raíl según la invención son reducidas, lo que es particularmente beneficioso para reducir la velocidad de crecimiento de las grietas de fatiga. Las propiedades mecánicas de los aceros según la invención son similares a un grado 350 HT convencional que se usa comúnmente en las curvas cerradas y en el raíl bajo de curvas muy pronunciadas. Una mejora adicional se podría obtener sometiendo el raíl a enfriamiento acelerado después de laminación en caliente o un tratamiento térmico.

En una realización de la invención la mínima cantidad de nitrógeno es 0,003%. Un contenido máximo de nitrógeno apropiado se encontró que era 0,007%.

45 El vanadio forma carburos de vanadio o nitruros de vanadio dependiendo de las cantidades de nitrógeno presente en el acero y de la temperatura. En principio, la presencia de precipitados incrementa la resistencia y dureza de los aceros pero la efectividad de los precipitados disminuye cuando se precipitan a altas temperaturas en forma de partículas gruesas. Si el contenido de nitrógeno es demasiado alto, hay una tendencia incrementada a formar nitruros de vanadio a altas temperaturas en lugar de carburos finos de vanadio a temperaturas más bajas. Los inventores encontraron que cuando el contenido de nitrógeno era menor de 0,007% la cantidad de nitruros de vanadio no deseados era pequeña comparada con los carburos de vanadio deseados, por ejemplo, no se podrían observar efectos perjudiciales de la presencia de nitruros de vanadio mientras que el efecto beneficioso de la presencia de carburos de vanadio finamente dispersados era fuerte. Una cantidad mínima de nitrógeno de 0,003% es un límite inferior práctico que maximiza la efectividad de la costosa adición de vanadio asegurando que solo una

pequeña fracción está relacionada con los precipitados de nitruro de vanadio relativamente gruesos a más alta temperatura. Un valor máximo apropiado para el nitrógeno es 0,006% o incluso 0,005%.

5 En una realización de la invención, la mínima cantidad de vanadio es 0,08%. Se encontró que un contenido máximo apropiado era 0,13%. Preferentemente, el vanadio es por lo menos 0,08% y/o como mucho 0,12%. Para proporcionar una distribución fina de carbonitruros de vanadio, los inventores encontraron que es óptima y preferible una cantidad de 0,10% de vanadio. El efecto beneficioso disminuye con las cantidades incrementadas y se vuelve económicamente no atractivo.

10 El carbono es el elemento aleante fortalecedor más rentable en aceros de railes. Se encontró que un contenido mínimo de carbono apropiado era 0,90%. Un intervalo preferido de carbono es de 0,90% a 0,95%. Este intervalo proporciona el equilibrio óptimo entre la fracción de volumen de cementita dura y la prevención de la precipitación de una red perjudicial de cementita fragilizante en los bordes de grano. El carbono es también un potente agente de templabilidad que facilita una más baja temperatura de transformación y por consiguiente más fino espaciado interlaminar. La alta fracción de volumen de cementita dura y fino espaciado interlaminar proporciona la resistencia al desgaste y contribuye a la incrementada resistencia a la RCF de la composición incluida en una realización de la invención.

15 El silicio mejora la resistencia por endurecimiento de la disolución sólida de ferrita en la estructura de perlita en el intervalo de 0,75 a 0,95%. Se encontró que un contenido de silicio de 0,75 a 0,92% proporcionaba un buen equilibrio entre ductilidad y dureza del raíl así como soldabilidad. A más altos valores, los valores de ductilidad y dureza caen rápidamente y a más bajos valores, el desgaste y particularmente la resistencia a la RCF del acero disminuyen rápidamente. El silicio, a los niveles recomendados, proporciona también una salvaguarda efectiva contra cualquier red perjudicial de cementita fragilizante en los bordes de grano. Preferentemente, el mínimo contenido de silicio es 0,82%. Se mostró que el intervalo de 0,82 a 0,92 proporcionaba un equilibrio muy bueno en ductilidad y dureza del raíl así como soldabilidad.

20 El manganeso es un elemento que es efectivo para incrementar la resistencia mejorando la templabilidad de la perlita. Su propósito principal es rebajar la temperatura de transformación de la perlita. Si su contenido es menor de 0,80% se encontró que el efecto del manganeso era insuficiente para conseguir la templabilidad deseada al contenido de carbono escogido y a niveles por encima de 0,95% hay un riesgo incrementado de formación de martensita debido a la segregación de manganeso. Un alto contenido de manganeso hace más difícil la operación de soldadura. En una realización preferible, el contenido de manganeso es como mucho 0,90%. Preferentemente, el contenido de fósforo del acero es como mucho 0,015%. Preferentemente, el contenido de aluminio es como mucho 0,006%.

25 Los valores del azufre tienen que estar entre 0,008 y 0,030%. La razón para un contenido mínimo de azufre es que forma inclusiones de MnS que actúan como sumidero para cualquier hidrógeno residual que pueda estar presente en el acero. Cualquier hidrógeno en el raíl puede dar como resultado lo que se conoce como grietas dendríticas que son pequeñas grietas con caras afiladas que pueden iniciar las grietas de fatiga en la cabeza (conocidas como óvalos tache) bajo las altas tensiones de las ruedas. La adición de por lo menos 0,008% de azufre previene los efectos perjudiciales del hidrógeno. Se escoge el valor máximo de 0,030% para evitar la fragilización de la estructura. Preferentemente, el valor máximo es como mucho 0,020%. En una realización preferida, el acero según la invención consiste en:

35 de 0,90% a 0,95% de carbono,  
de 0,82% a 0,92% de silicio,  
de 0,80% a 0,95% de manganeso,  
de 0,08% a 0,12% de vanadio,  
de 0,003% a 0,007 de nitrógeno,

40 como mucho 0,015% de fósforo,  
de 0,008% a 0,030% de azufre,  
como mucho 2 ppm de hidrógeno,  
como mucho 0,10% de cromo,  
como mucho 0,004% de aluminio,

50 como mucho 20 ppm de oxígeno,  
consistiendo el resto en hierro e impurezas inevitables,

y teniendo una estructura perlítica.

La resistencia a la RCF y al desgaste se han medido usando una instalación de laboratorio de dos discos similar a la instalación descrita en R.I. Carroll, Rolling Contact Fatigue and surface metallurgy of rail, PhD Thesis, Department of Engineering Materials, University of Sheffield, 2005. Este equipo simula las fuerzas que surgen cuando la rueda está rodando y deslizándose sobre el raíl. La rueda que se usa en estos ensayos es una rueda R8T, que es la rueda estándar británica. Estas verificaciones no son parte del procedimiento de cualificación formal del raíl pero se ha encontrado que proporcionan un buen indicador del rendimiento relativo en servicio de diferentes composiciones de acero de raíl. La condiciones del ensayo para el ensayo de desgaste implican el uso de una tensión de contacto de 750 MPa, 25% de deslizamiento y sin lubricación mientras que las de RCF utilizan una tensión de contacto más alta de 900 MPa, 5% de deslizamiento y lubricación con agua.

La invención ha demostrado que su resistencia a la fatiga de contacto por rodadura es mucho mayor que la de los railes térmicamente tratados convencionales. En el estado según salen del laminador ha demostrado un incremento en el número de ciclos hasta el inicio del agrietamiento de por encima del 62% (130000 ciclos) comparado con los railes perlíticos con dureza de 370 HB (80000 ciclos). El tratamiento térmico de la invención incrementa su resistencia a la RCF aún más hasta 160000 ciclos.

En una realización de la invención se proporciona un raíl perlítico que tiene una resistencia a la RCF de por lo menos 130.000 ciclos hasta la iniciación en condiciones de ensayo de dos discos lubricados con agua. Como se describe anteriormente, estos valores son en condiciones de rodadura y deslizamiento.

En una realización de la invención se proporciona un raíl perlítico que tiene una resistencia al desgaste comparable a los actuales aceros de raíl térmicamente tratados, preferentemente en la que el desgaste es menor de 40 mg/m de deslizamiento a una dureza entre 320 y 350 HB, o más baja de 20 mg/m, preferentemente por debajo de 10 mg/m de deslizamiento a una dureza por encima de 350 HB cuando se ensaya como se describe anteriormente.

La invención ha demostrado durante el ensayo de dos discos que su resistencia al desgaste es tan efectiva como la de los más duros railes de tratamiento térmico actuales. En el estado según sale del laminador la resistencia al desgaste del raíl es mayor que la de los railes tratados térmicamente convencionales con una dureza más alta de 370 HB. En el estado tratado térmicamente los railes tienen una velocidad de desgaste muy baja similar a los railes convencionales con una dureza de 400 HB.

El nivel máximo recomendado de impurezas inevitables está basado en el documento EN13674-1:2003, según el cual los límites máximos son 0,02% de Mo, 0,10% de Ni, ~0,003% de Sn, ~0,020% de Sb, ~0,025% de Ti, ~0,01% de Nb.

Según algunos ejemplos no limitantes se realizaron dos piezas fundidas A y B con variaciones diseñadas en los elementos aleantes seleccionados y se moldearon en forma de lingotes. Las composiciones químicas de estos ejemplos se dan en la Tabla 1.

Tabla 1a: Composición química, % en peso

	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Al	N
A	0,94	0,96	0,84	0,011	0,005	0,05	0,11	0,004	0,004
B	0,92	0,83	0,88	0,012	0,007	0,06	0,12	0,003	0,005

Los lingotes se laminaron con la forma de la sección de raíl laminado de 330x254 y se laminaron en secciones 56E1. Todas las longitudes de raíl se produjeron libres de cualquier defecto de rotura interna o superficial. Los railes se ensayaron en el estado según salen del laminador en caliente y en un estado enfriado acelerado controlado.

Se encontró que la dureza de los aceros estaba entre 342 HB y 349 HB. Cuando se depende de la dureza para la estimación de la duración del raíl esto conduciría a la conclusión de que los aceros no cumplen el Grado 350 HT mínimo. Sin embargo, los inventores encontraron que seleccionando un acero en la estrecha ventana química según la invención tanto la resistencia al desgaste como la resistencia a la RCF son excelentes y superan el Grado 350 mostrando similares propiedades mecánicas. En el estado tratado térmicamente (es decir, la versión enfriada acelerada) la dureza es alrededor de 400 HB.

Tabla 1b: Composición química, % en peso, excepto N (ppm)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Al	N
A*	0,94	0,92	0,84	0,010	0,008	0,04	0,10	0,002	40
B*	0,92	0,87	0,88	0,010	0,010	0,05	0,10	0,002	30
C	0,92	0,92	0,85	0,014	0,012	0,02	0,11	0,001	37
D	0,95	0,89	0,88	0,015	0,016	0,02	0,11	0,001	41
E	0,94	0,87	0,85	0,010	0,014	0,02	0,12	0,002	43

5 Los aceros de la Tabla 1b eran ensayos comerciales. Los resultados obtenidos con estos aceros confirmaron los resultados de las piezas fundidas de laboratorio. La resistencia al desgaste de las piezas fundidas comerciales era incluso mejor que la de las piezas fundidas de laboratorio. Se cree que esto es debido al más fino perfil y más fina microestructura obtenida en los ensayos industriales. Por ejemplo, la resistencia al desgaste (en mg/m de deslizamiento) para el acero al C resultó ser 3,6 mientras que los valores para los aceros A y B son del orden de 25. Los últimos valores son ya muy buenos en comparación con los valores típicos para R260 y R350HT (124 y 31 respectivamente), pero los ensayos comerciales incluso excedían de los valores de los ensayos de laboratorio. La resistencia a la RCF es también significativamente más alta para las piezas fundidas de ensayo comerciales con 200000-220000 ciclos hasta la iniciación de la rotura. Los ensayos de laboratorio fueron 130000-140000. Esta mejora es por lo menos parcialmente atribuible a que el contenido de azufre está por encima del valor crítico de 0,008% para las piezas fundidas de ensayo comerciales, pero también a la más fina perlita y más fina microestructura obtenida en los ensayos industriales. De nuevo estos valores eran ya mucho mejores que los valores típicos para R260 y R350HT que son 50000 y 80000 respectivamente. Los valores de dureza medidos en el raíl son muy consistentes durante toda la sección transversal del raíl.

10 Los railes se soldaron también por soldadura a tope por chispa y soldadura aluminotérmica, y en ambos casos se probó que las soldaduras cumplían el estándar requerido para soldaduras homogéneas (mismos materiales) y soldaduras heterogéneas (diferentes materiales).

20 Tabla 2: Propiedades de tracción

Grado de acero	Estado	Resistencia de prueba del 0,2% (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)
Grado 350 HT	Tratado térmicamente	763	1210
A	Según sale del laminador	659	1240
B	Según sale del laminador	764	1230
A	Enfriado aceleradamente	981	1460
B	Enfriado aceleradamente	910	1404

Todas las demás propiedades relevantes son similares o mejores que las de los grados de acero de raíl perlítico actualmente disponibles dando como resultado por ello un raíl con una excelente combinación de propiedades de desgaste y resistencia a la fatiga de contacto por rodadura así como similares o mejores propiedades que aquellos grados de acero de raíl perlítico actualmente disponibles.

25 En la figura 1 el número de ciclos hasta la iniciación de la RCF de los railes según la invención (círculos) se compara con los valores para los aceros (cuadrados) perlíticos convencionales como función de la dureza del raíl en (HB). Está claro que los railes según la invención superan a los railes conocidos y muestran una mejora de cambio escalonado en su resistencia a la fatiga de contacto por rodadura. Los resultados de los ensayos industriales se muestran también (triángulo).

30 En la figura 2 las propiedades de desgaste de los railes según la invención (círculos) en mg/m de deslizamiento se comparan con los valores para aceros (cuadrados) perlíticos convencionales como función de la dureza del raíl (en HB). La velocidad de desgaste de los railes según la invención es más baja que la de los actuales aceros de raíl para durezas por debajo de 380 HB y es comparable para los railes con valores de dureza de más de 380 HB. Los resultados de los ensayos industriales se muestran también (triángulo).

35

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un raíl de acero perlítico de alta resistencia con una excelente combinación de propiedades de desgaste y resistencia a la fatiga de contacto por rodadura en el que el acero consiste en de 0,88% a 0,95% de carbono, de 0,75% a 0,95% de silicio, de 0,80% a 0,95% de manganeso, de 0,05% a 0,14% de vanadio, hasta 0,008% de nitrógeno, hasta 0,030% de fósforo, de 0,008% a 0,030% de azufre, como mucho 2,5 ppm de hidrógeno, como mucho 0,10% de cromo, como mucho 0,010% de aluminio, como mucho 20 ppm de oxígeno, siendo el resto hierro e impurezas inevitables.
2. El raíl perlítico según la reivindicación 1, en el que el carbono es por lo menos 0,90%.
- 10 3. El raíl perlítico según la reivindicación 1 o 2, en el que el nitrógeno es por lo menos 0,003%, o en el que el nitrógeno es como mucho 0,007%.
4. El raíl perlítico según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que el nitrógeno es como mucho 0,005%.
5. El raíl perlítico según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que el vanadio es por lo menos 0,08% y/o como mucho 0,12%.
- 15 6. El raíl perlítico según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes que consiste en de 0,90% a 0,95% de carbono, de 0,82% a 0,92% de silicio, de 0,80% a 0,95% de manganeso, de 0,08% a 0,12% de vanadio, de 0,003% a 0,007% de nitrógeno, como mucho 0,015% de fósforo, de 0,008% a 0,030% de azufre, como mucho 2 ppm de hidrógeno, como mucho 0,10% de cromo, como mucho 0,004% de aluminio, como mucho 20 ppm de oxígeno, consistiendo en resto hierro e impurezas inevitables.
- 20 7. El raíl perlítico según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el manganeso es como mucho 0,90%.
8. El raíl perlítico según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que tiene una resistencia a la RCF de por lo menos 130000 ciclos hasta el inicio en condiciones de ensayo de dos discos lubricados con agua.
- 25 9. El raíl perlítico según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes con una resistencia al desgaste comparable a los aceros de raíl térmicamente tratados actuales, preferentemente en el que el desgaste es menor de 40 mg/m de deslizamiento a una dureza entre 320 y 350 HB, o más bajo de 20 mg/m y preferentemente menor de 10 mg/m de deslizamiento a una dureza por encima de 350 HB.

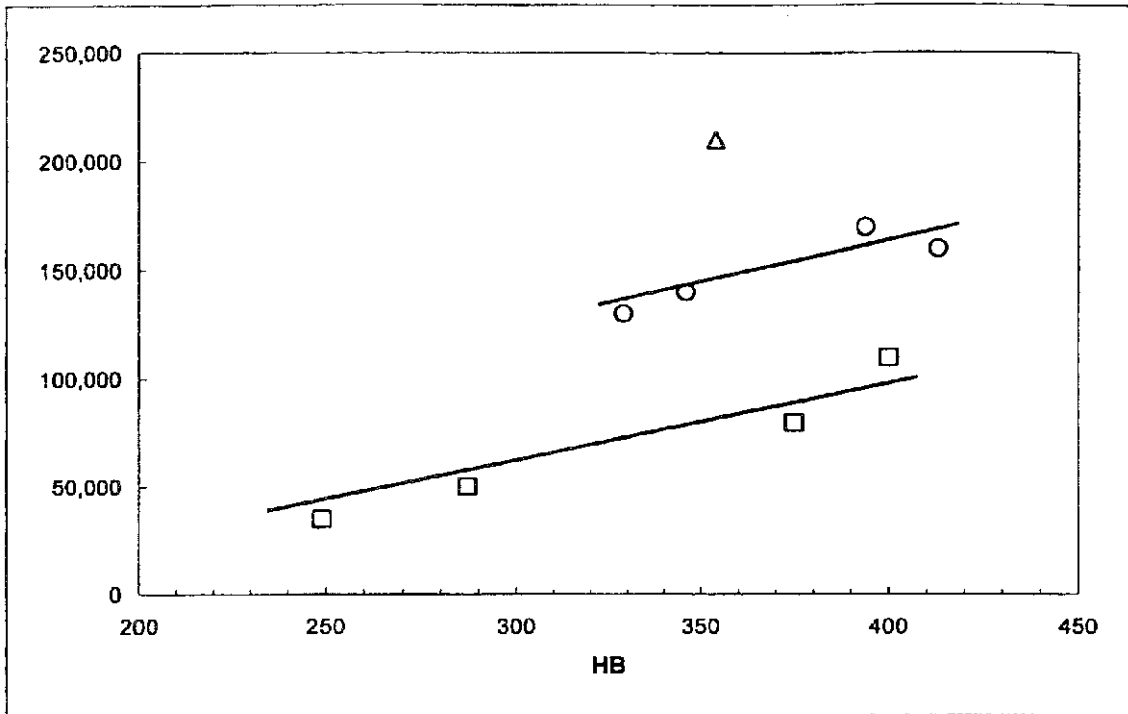


Figura 1

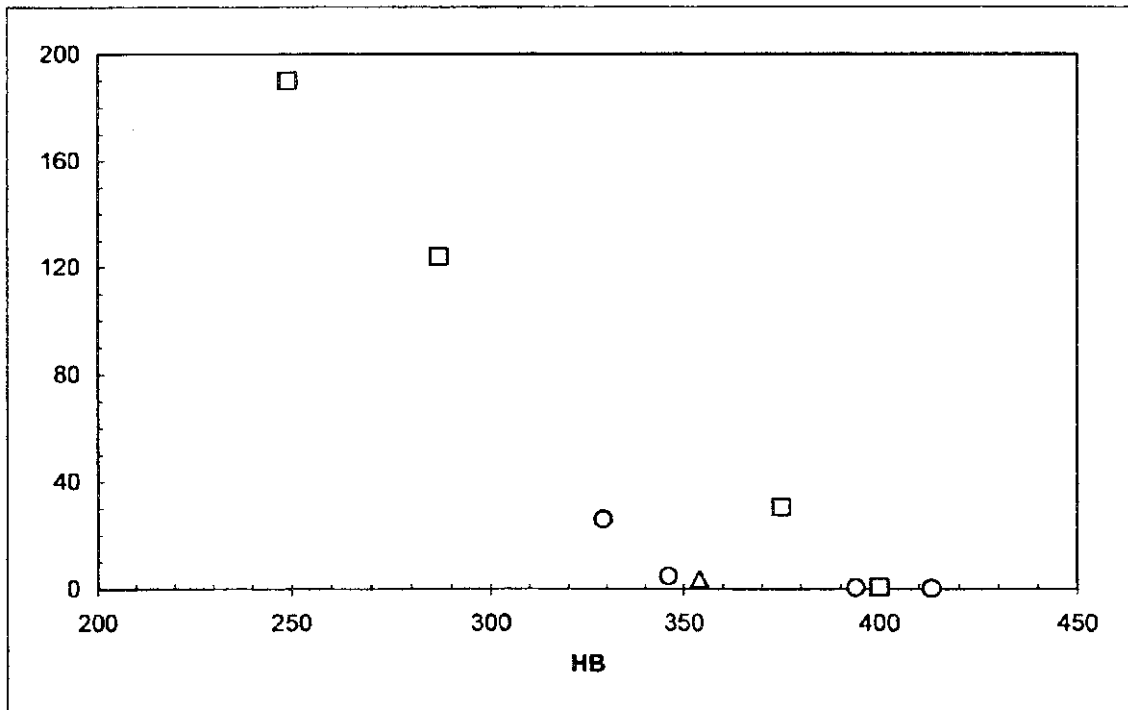


Figura 2