

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 484 321**

51 Int. Cl.:

C22C 37/00 (2006.01)

C22C 37/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.02.2009** **E 09775660 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.04.2014** **EP 2396439**

54 Título: **Aleación de hierro gris de alta resistencia para motores de combustión y fundiciones en hierro en general**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.08.2014

73 Titular/es:

**TEKSID DO BRASIL LTDA (100.0%)
Rua Senador Giovanni Agnelli n° 230 a 906
Distrito Industrial Paulo Camilo
32530 - 487 Betim - MG, BR**

72 Inventor/es:

**OLIVEIRA, OTTO LUCIANO MOL DE y
VILLAFORT, JEFFERSON PINTO**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 484 321 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

Aleación de hierro gris de alta resistencia para motores de combustión y fundiciones en hierro en general

5 La presente invención define una nueva clase de aleación de hierro gris, con una resistencia a la tracción más elevada, al mismo tiempo que se mantienen las condiciones de maquinabilidad compatibles con las aleaciones de hierro gris tradicionales. Más específicamente, el material producido puede ser utilizado ya sea en motores de combustión con tasas de compresión elevadas, o en fundiciones de hierro en generales y motores de combustión tradicionales en donde un objetivo es la reducción del peso.

10 Estado del arte

15 Las aleaciones de hierro gris, conocidas desde finales del siglo XIX, han llegado a tener un éxito absoluto en la industria automotriz debido a sus propiedades sobresalientes, requeridas principalmente por los motores de combustión. Algunas de estas características de una aleación de hierro gris han sido reconocidas durante un largo tiempo porque presentan:

- Una excelente conductividad térmica
- Una excelente capacidad de amortiguamiento de la vibración
- 20 – Un excelente nivel de maquinabilidad
- Una tasa de contracción relativamente pequeña (baja tendencia a la formación de porosidades internas en las fundiciones de hierro)
- Un buen nivel de fatiga térmica (cuando se utiliza una aleación a base de molibdeno)

25 Sin embargo, debido a los requerimientos crecientes de los motores de combustión tales como mayor potencia, menor consumo de combustible y menos emisiones para propósitos ambientales, las aleaciones de hierro gris tradicionales difícilmente logran la resistencia mínima a la tracción requerida por los motores de combustión con tasas de compresión más elevadas. En general, como una simple referencia, tales requerimientos de resistencia a la tracción empiezan como mínimo en 300 MPa, en un lugar principal de soporte sobre los bloques del cilindro o en el sitio ubicado enfrente del fuego sobre las culatas.

30 De manera precisa, la gran limitación de las aleaciones de hierro gris actuales es que las mismas presentan una drástica reducción de las propiedades de maquinabilidad cuando se requiere una tensión más elevada.

35 Por consiguiente, para resolver tal problema, algunos expertos en metalurgia y en materiales decidieron enfocarse en una aleación diferente: a base de grafito compacto, usualmente conocida como hierro al grafito compactado (CGI). Muchos artículos describen las propiedades del CGI:

40 R. D. Grffin, H. G. Li, E. Eleftheriou, C. E. Bates, Machinability of Gray Cast Iron". Atlas Foundry Company (Reimpreso con permiso del AFS)

F. Koppka y A. Ellermeier, "O Ferro Fundido de Grafita Vermicular ajuda a dominar altas pressões de combustão", Revista MM, enero / 2005.

45 Marquard, R & Sorger, H. "Modern Engine Design". CGI Design and Machining Workshop, Sintercast - PTW Darmstadt, Bad Homburg, Alemania, noviembre 1997.

Palmer, K. B. "Mechanical properties of compacted graphite iron". BCIRA Reporte 1213, páginas 31 - 37, 1976.

50 ASM. Speciality handbook: cast irons. Estados Unidos: ASM International, 1996, páginas 33 - 267.

Dawson, Steve et al. The effect of metallurgical variables on the machinability of compacted graphite iron. En: Design and Machining Workshop - CGI, 1999.

55 En realidad, se han hecho varias solicitudes de patente con respecto al proceso de CGI:

- Patente de los Estados Unidos No. 4.667.725 del 26 de mayo de 1987 a nombre de Sinter-Cast AB (Viken, SE). Un método para la producción de coladas a partir de hierro fundido que contiene aditivos modificadores de la estructura. Se deja que una muestra de un baño de hierro fundido solidifique durante 0,5 a 10 minutos.
- 60 – Documento WO9206809 (A1) del 30 de abril de 1992 a nombre de SINTERCAST LTD. Un método para controlar y corregir la composición de la colada de hierro fundido y asegurar la cantidad necesaria del agente modificador de la estructura.

65 Aunque la aleación de CGI presenta una resistencia a la tracción sobresaliente, también presenta otras limitaciones serias con respecto a sus propiedades o industrialización. Entre tales limitaciones, se pueden enfatizar:

- Una menor conductividad térmica;
- Una menor capacidad de amortiguación de la vibración;
- Un menor nivel de maquinabilidad (por consiguiente, costos de maquinación más elevados);
- 5 – Una tasa de contracción más elevada (por consiguiente, una tendencia más elevada a la formación de porosidades internas); y
- Una menor estabilidad a nivel de microestructura (que depende fuertemente del espesor de la pared de la fundición de hierro).

10 En este escenario, el desafío fue crear una aleación que mantuviera las propiedades sobresalientes similares de la aleación de hierro gris, junto con una amplia interfaz de resistencia a la tracción de la aleación de CGI. Este es el alcance de la presente invención.

Actualmente, el método para obtener una fundición de hierro gris, en las fundiciones, tiene las siguientes etapas:

- 15 – Fase de fundición: la carga (residuos, arrabio, acero, etc.) es fundida por medio de hornos de cubilote, de inducción o de arco.
- Balance químico: efectuado usualmente sobre el lote líquido dentro del horno de inducción, para ajustar los elementos químicos (C, Si, Mn, Cu, S, etc.) de acuerdo con la especificación requerida.
- 20 – Fase de Inoculación: llevada a cabo comúnmente en la cuchara de colada o en la operación del molde de vertido (cuando se utilizan hornos de vertido), con el fin de promover suficiente núcleo para evitar la formación indeseable de carburo.
- Fase de vertido: llevada a cabo en la línea de moldeo a una temperatura de vertido usualmente definida en un intervalo para evitar orificios por soplado, que se calcine la arena y la contracción después de la solidificación de la fundición de hierro. En otras palabras, la temperatura de vertido se define realmente como una función de la firmeza del material de la fundición de hierro.
- 25 – Fase de desmoldado: efectuada usualmente cuando la temperatura de la fundición de hierro, dentro del molde, se enfría holgadamente bajo la temperatura eutécticoide (= 700 °C).

30 Tal proceso es aplicado en las fundiciones en todo el mundo y ha sido el objeto de muchos libros, documentos y artículos técnicos:

- Gray Iron Founders' Society: Casting Design, Volumen II: Taking Advantage of the Experience of Patternmaker and Foundryman to Simplify the Designing of Castings, Cleveland, 1962.
- 35 – Straight Line to Production: The Eight Casting Processes Used to Produce Gray Iron Castings, Cleveland, 1962. Henderson, G. E. y Roberts,
- Metals Handbook, 8ª Edición, Vols. 1, 2, y 5, publicada por la American Society for Metals, Metals Park, Ohio.
- Gray & Ductile Iron Castings Handbook (1971) publicada por Gray and Ductile Iron Founders Society, Cleveland, Ohio.
- 40 – Gray, Ductile and Malleable, Iron Castings Current Capabilities. ASTM STP 455, (1969)
- Ferrous Materials: Steel and Cast Iron by Hans Berns, Werner Theisen, G. Scheibelein, Springer; 1ª edición (24 de octubre de 2008)
- Microstructure of Steels and Cast Irons Madeleine Durand-Charre Springer; 1ª edición (15 de abril de 2004)
- Cast Irons (Asm Specialty Handbook) ASM International (1 de septiembre de 1996).

45 El documento WO 2004/083474 enseña una composición de una aleación de hierro para la producción de un bloque de cilindros y/o fundiciones de culatas. Esta aleación de hierro comprende hierro, carbono, silicio, manganeso, fósforo, azufre, estaño, cobre, cromo, molibdeno y nitrógeno. El principal aspecto de la invención se relaciona con el contenido de nitrógeno de la aleación que está en el intervalo de 0,0095 - 0,0160%. Por otra parte, no hay ninguna referencia específica con respecto a las relaciones específicas entre los contenidos de Cr/Mo, Cu/Sn o Mn/S.

50 El documento JP 10096040 enseña una aleación de fundición gris proporcionada para mejorar la resistencia a la tracción y la resistencia a la fatiga, así como la facilidad de corte mediante la especificación el tamaño del grafito. Esta fundición gris tiene una composición que consta de, en peso, 2,8 - 3,8% de C, 1,5 - 2,5% de Si, 0,4 - 1,0% de Mn, <= 0,1% de P, 0,02 - 0,30% de S, 0,02 - 2,0% de Cu, 0,01 - 0,10% de Sn, 0,01 - 0,10% de Ca, y el resto Fe con las impurezas inevitables y también tiene una estructura de <= 300 µm de tamaño del grafito, y, además, la dureza Vickers se regula hasta Hv160-240. Debido a que el tamaño del grafito se hace pequeño por el incorporación de cantidades específicas de C, Si, Mn, P, S, Cu, Sn, y Ca, en particular por la incorporación de cantidades específicas de Ca, se pueden mejorar la resistencia a la tracción y la resistencia a la fatiga, así como el mecanizado. También

55 en este caso, el principal aspecto de invención se refiere a la presencia de Ca y el inventor no proporciona las relaciones específicas entre los contenidos de Cr/Mo, Cu/Sn o Mn/S. Además, no hay ningún requisito de los elementos Cr y Mo en el documento JP 10096040.

60 El documento EP 0616040 enseña un proceso para el tratamiento de hierro fundido con grafito en láminas destinado a la fabricación de árboles de levas, según el cual dicho hierro fundido se calienta a temperatura de fusión antes de

la extracción, después de la decantación, de la máxima cantidad de óxidos de la hornada líquida. Específicamente, se introducen de 0,001% a 0,02% en peso de un agente desoxidante basado en una aleación de Ca, Ce y Mg, en el baño de hierro fundido antes de la fundición. Además, enseña un procedimiento de desulfuración fuerte, ya que no permite azufre en la composición química, que también requiere al elemento "vanadio" de forma obligatoria, a fin de lograr una fundición de hierro con grafito en láminas con un bajo contenido de oxígeno, trazas inevitables de contenido de azufre y de nitrógeno.

El objeto de la presente solicitud es definir una aleación, que presente las propiedades mecánicas y físicas de la aleación de hierro gris, con un amplio intervalo de interfaz de la resistencia a la tracción de CGI. Esta nueva aleación, a base de grafito en forma de escamas es una aleación de hierro de alto rendimiento (HPI). Por lo tanto, además de su elevada resistencia a la tracción, la aleación de HPI presenta excelentes características de maquinabilidad, amortiguación de la vibración, conductividad térmica, baja tendencia a la compactación y buena estabilidad a nivel de microestructura (compatible con las aleaciones de hierro gris).

Dichas características de HPI se obtienen mediante una interacción específica entre cinco fundamentos metalúrgicos: análisis químico; oxidación del metal líquido; nucleación del metal líquido; solidificación eutéctica y solidificación eutectoide.

Breve descripción de las figuras

La presente solicitud será explicada con base en las siguientes figuras no limitativas:

Las Figuras 1 y 2 muestran la microestructura (atacada y no atacada) de la aleación de HPI;
 Las Figuras 3 y 4 muestran la microestructura (atacada y no atacada) de la aleación de hierro gris tradicional;
 La Figura 5 muestra una sonda de prueba enfriada antes del proceso de desoxidación;
 La Figura 6 muestra una sonda de prueba enfriada después del proceso de desoxidación;
 La Figura 7 muestra una curva de enfriamiento y su derivada para la aleación de HPI;
 La Figura 8 muestra una curva de enfriamiento y su derivada para la aleación del hierro gris tradicional;
 La Figura 9 muestra un diagrama metalúrgico que compara las aleaciones de hierro gris y la aleación de HPI; y
 La Figura 10 muestra un diagrama de equilibrio de las interfaces de Fe-C y Fe-Fe₃C.

Descripción de la Invención

La presente invención dada por la reivindicación 5 define una nueva aleación, a base de grafito en forma de escamas, con las mismas excelentes propiedades industriales del hierro gris tradicional, con una resistencia a la tracción más elevada (de hasta 370 MPa), que hace de esta aleación una alternativa ventajosa si se compara con la aleación de CGI.

Mediante medios analíticos y prácticos, existe una interacción entre cinco fundamentos metalúrgicos: análisis químico; nivel de oxidación del lote líquido; nivel de nucleación del lote líquido; solidificación eutéctica y solidificación eutectoide. La presente aleación permite la obtención de la mejor condición de cada uno de éstos fundamentos para producir esta nueva aleación de hierro de alto rendimiento, llamada aquí HPI.

Análisis Químico:

La corrección química se lleva a cabo en formas tradicionales, en el horno de inducción y los elementos químicos son los mismos que los que ya son conocidos en el mercado: C, Si, Mn, Cu, Sn, Cr, Mo, P y S.

Sin embargo, se deben mantener los siguientes criterios para el balance de algunos elementos químicos de modo que se puedan obtener la morfología del grafito deseable en forma de escamas (escamas sin extremos afilados, del tipo A, tamaño 4 a 7), la matriz deseable de la microestructura (100% perlítica, máximo 2% de carburos) y las propiedades deseables del material:

- El equivalente del carbón (CE) está definido en el intervalo de 3,6% hasta 4,0% en peso, pero, al mismo tiempo, manteniendo el contenido de C desde 2,8% hasta 3,2%. La aleación de HPI tiene una tendencia hipoeutéctica más elevada si se compara con las aleaciones de hierro gris tradicionales.
- El contenido de Cr está definido como 0,4% máximo y, cuando está asociado con Mo, se debe obedecer el siguiente criterio: % de Cr + % de Mo ≤ 0,65%. Se permitirá el refinamiento perlítico apropiado.
- El Cu y Sn se deben asociar de acuerdo con el siguiente criterio: 0,010% ≤ [% de Cu/10 + % de Sn] ≤ 0,021%.
- Los contenidos de S y Mn están definidos en los intervalos específicos de la relación % de Mn / % de S, calculada para garantizar que la temperatura de equilibrio del sulfuro de manganeso MnS siempre estará por debajo de la "temperatura del líquido" (preferentemente cerca de la temperatura de inicio eutéctica). Además de mejorar las propiedades mecánicas del material, este criterio promueve la formación del núcleo dentro del lote del líquido. La tabla 1 presenta la aplicación de tal criterio para un bloque de cilindros de un motor diesel en donde el % de Mn fue definido entre 0,4 % y 0,5%.

Tabla 1 - Rango ideal de "Mn/S", en función del % de Mn

Mn = 0,40%	Rango ideal: Mn/S = 3,3 a 3,9
Mn = 0,47%	Rango ideal: Mn/S = 4,0 a 5,0
Mn = 0,50%	Rango ideal: Mn/S = 4,9 a 6,0

- 5 – El rango del contenido de Si está definido desde 2,0% hasta 2,40%.
- El contenido de "P" está definido como: % de P ≤ 0,10%.

Las imágenes 1, 2, 3, y 4 muestran la microestructura comparada entre las aleaciones de hierro gris tradicionales y de HPI, en donde se puede observar la morfología del grafito y la dispersión de la "densidad" del grafito en la matriz.

10 Oxidación del lote de líquido

Para obtener la aleación de HPI, el lote de líquido en el horno de inducción debe estar libre de óxidos fusionados que no promuevan el núcleo. Además, los mismos también deben ser homogéneos a lo largo del lote del líquido. Así, para satisfacer tal criterio, se desarrolló un proceso de desoxidación de acuerdo con las siguientes etapas:

- 15 – Incrementar la temperatura del horno por encima de la temperatura de equilibrio del dióxido de silicio (SiO₂);
- Apagar el suministro de energía al horno durante al menos 5 minutos para promover la flotación de los óxidos fusionados y otras impurezas;
- Dispersar un agente de aglutinación sobre la superficie del lote de líquido; y
- 20 – Remover tal material aglutinante ahora saturado con los óxidos fusionados, dejando el metal líquido más limpio dentro del horno.

A pesar del hecho de que esta operación reduce el nivel de nucleación (véanse las Figuras 5 y 6 que presentan las sondas de prueba enfriadas, antes y después del proceso de desoxidación), dichas etapas aseguran que solamente los óxidos activos, los promotores del núcleo, permanezcan en el lote de líquido. Tal operación también incrementa la efectividad de los inoculantes que van a ser aplicados posteriormente.

25

Nucleación del lote de líquido

30 Otra característica importante de la aleación de HPI cuando se compara con las aleaciones de hierro gris tradicionales es precisamente el elevado número de células eutécticas. La aleación de HPI presenta desde 20% hasta 100% más celdas si se compara con la misma fundición en hierro utilizada en las aleaciones de hierro gris comunes. Este número de celdas más elevado promueve directamente un tamaño del grafito más pequeño y, por consiguiente, contribuye directamente al incremento de la resistencia a la tracción del material de HPI. Además, un mayor número de células también implica más MnS formado en el mismo centro de cada núcleo. Tal fenómeno es decisivo para incrementar la vida útil de la herramienta cuando se maquina el material de HPI.

35

Después del proceso de corrección y desoxidación química, el lote de líquido dentro del horno debe ser nucleado de acuerdo con el siguiente método:

- 40 – Verter de 15 % a 30 % del lote de líquido del horno en un cucharón específico.
- Durante esta operación, inocular de 0,45% hasta 0,60% en peso de la aleación granulada de Fe-Si-Sr, directamente sobre la corriente del metal líquido.
- 45 – Regresar el metal líquido inoculado del cucharón al horno, manteniendo la operación con un flujo fuerte del metal.
- Durante tal operación, el horno debe ser mantenido en la fase de "encendido".

Además de crear nuevos núcleos, dicho método también incrementa el número de óxidos activos en el metal líquido dentro del horno.

50 En secuencia, la fase de inoculación usual es efectuada en las formas tradicionales, conocidas desde hace mucho tiempo por las fundiciones. Sin embargo, la diferencia para la aleación de HPI es precisamente el intervalo del % en peso del inoculante aplicado sobre el cucharón de vertido o el horno de vertido inmediatamente antes de la operación del vertido: De 0,45% a 0,60%. Representa aproximadamente dos veces el % del inoculante aplicado habitualmente en esta etapa para obtener las aleaciones de hierro gris tradicionales.

55

La siguiente etapa es especificar la nucleación del metal líquido mediante análisis térmico. El método define dos parámetros térmicos a partir de las curvas de enfriamiento como los más efectivos para garantizar un nivel de nucleación deseable:

- 60 1) La temperatura de enfriamiento por debajo del punto eutéctico "Tse" y,
- 2) El intervalo de temperatura de recalcencia eutéctica "ΔT".

Ambos parámetros deben ser considerados conjuntamente, para definir si el metal líquido esta lo suficientemente nucleado para que sea compatible con los requerimientos de HPI.

5 La nucleación deseable de la aleación de HPI debe presentar los siguientes valores:

Tse → Min 1115 °C; y
 ΔT → Max 6°C.

10 La Figura 7 muestra la curva de enfriamiento y su derivada de un bloque de 6 cilindros de un motor diesel, fundido con una aleación de HPI, en donde ambos parámetros térmicos son satisfechos según lo requerido por este criterio. Dicho bloque presentó el valor de resistencia a la tracción de 362 MPa y una dureza de 240 HB en el punto de soporte.

15 La Figura 8 muestra la curva de enfriamiento del mismo bloque, moldeado con hierro gris normal en donde se encontró que la $\Delta T = 2$ °C (coincide el requerimiento de nucleación de HPI) pero el valor de Tse fue de 1105 °C (no coincide el requerimiento de nucleación de HPI). Este bloque de hierro gris tradicional presentó el valor de resistencia a la tracción de 249 MPa y una dureza de 235 HB en el punto de soporte.

20 Como referencia, la tabla 2 a continuación presenta la comparación de los datos térmicos de HPI, utilizando dos inoculantes diferentes:

Tabla 2 - datos comparativos del análisis térmico (°C) entre dos inoculantes de la aleación de Fe-Si a base de Ba-La y a base de Sr

INOCULANTES	TL	TEE	TE	TSE	TRE	ΔT	ΔSN	ΔSC	TS	θ	$\delta T / \delta t$ máx.
FeSi-Ba-La	121	1156	1181	1115	1123	6	41	33	1081	Agudo	(X/s)
FeSi-Sr	121	1156	1176	1119	1124	5	37	32	1079	Agudo	(X/s)

25 La pieza fundida aplicada con el inoculante de Ba-La presentó una Ts = 346 MPa y 2% de carburos. Por otra parte, el bloque aplicado con el inoculante de Sr presentó una Ts = 361 MPa sin carburos. El mismo muestra la sensibilidad de los parámetros térmicos relacionados sobre el nivel de nucleación del lote de líquido.

30 Solidificación eutéctica

Como un fenómeno notable de solidificación, la fase eutéctica representa el origen que caracteriza las propiedades finales del material. Muchos libros y artículos se han enfocado en la fase eutéctica de muchas formas, señalando diferentes parámetros tales como el intercambio de calor entre el metal y el molde, la química, la cristalización del grafito, la recalcencia, las temperaturas estables y metaestables, etc.

35 Sin embargo, la aleación de HPI prescribe en la fase eutéctica una interacción específica entre dos parámetros críticos relacionados directamente con el proceso de fundición y con la geometría de la pieza fundida, como sigue:

- 40 – Temperatura de vertido "Tp"; y
- Módulo de solidificación global de la pieza fundida "Mc".

45 Por consiguiente, mediante la aplicación de un cálculo específico, el HPI define el módulo global de la pieza fundida "Mc", en el intervalo: $1,38 \leq "Mc" \leq 1,42$, como una función de la mejor temperatura de vertido "Tp" (permitida +/- 10 °C).

50 Tal criterio permite una velocidad efectiva para que crezcan las celdas eutécticas, para lograr las propiedades mecánicas y físicas deseables y principalmente para reducir drásticamente la formación de contracciones cuando la pieza fundida de HPI se solidifica. En otras palabras, esta aleación requiere una temperatura de vertido calculada como una función del módulo de la pieza fundida global. Es muy diferente de la práctica común en donde la temperatura de vertido es usualmente una función de la firmeza de la pieza fundida.

Solidificación eutectoide

55 Como una transformación de sólido-sólido, la fase eutectoide le da forma a la microestructura final de la pieza fundida. Luego, a pesar de ser una aleación de grafito en forma de escamas, la microestructura de HPI presenta un contenido de grafito ligeramente reducido sobre su matriz: $\leq 2,3\%$ (calculado por la "regla de la palanca" tomando como referencia el diagrama de equilibrio de Fe-Fe₃C, como se muestra en la Figura 10.

60 Dicho intervalo confirma la tendencia hipoeutéctica de HPI que, sin embargo, mantiene buenos parámetros de maquinabilidad por el mayor número de células eutécticas. También, para hacer posible la obtención del refinamiento de la perlita, la operación de desmoldado se debe hacer cuando el intervalo de temperatura superficial

de la pieza fundida está entre 400 °C y 680 °C, de acuerdo con la variación del espesor de la pared de la pieza fundida.

5 Dicha aleación tiene algunas diferencias notable en las propiedades del material, en la microestructura final, cuando se compara con el hierro gris tradicional. En los datos del diagrama metalúrgico, Figura 9, dichas diferencias son claras cuando se consideran los datos de entrada de HPI. La línea gruesa en la Figura 9 representa los datos de entrada de HPI en el diagrama, en donde los datos de salida correspondientes se definen considerando los resultados del hierro gris tradicional.

10 Tomando el diagrama en la Figura 9 (desarrollado a partir de las aleaciones de hierro gris tradicionales), se pueden visualizar tales diferencias notables entre las propiedades de HPI y del hierro gris normal. Como ejemplo, considerando la pieza fundida del bloque de 6 cilindros de un motor diesel por el método de HPI, los datos de entrada encontrados son: "Sc = 0,86" (saturación de carbono); TL = 1210 °C (temperatura del líquido) y C = 3,0% (contenido de carbono). Observaciones:

- 15
- cuando la línea gruesa cruza la escala de la tracción, el hierro gris teórico debe presentar el valor poco común de = 30 Kg/mm². En lugar de esto, el prototipo de HPI presentó el valor real de 36 kg/mm². Si se considera que un hierro gris comercial típico, difícilmente alcanza arriba de 28 kg/mm² (para las culatas o los bloques de los cilindros), es fácil observar aquí la primera diferencia entre ambas aleaciones.
 - 20 - Observando ahora de la escala de dureza sobre el diagrama de la Figura 9, se puede observar que si tal aleación de hierro gris teórica presenta el valor de la tracción = 35 kg/mm², el valor de dureza relacionado debe ser = 250 HB. Sin embargo, el bloque de cilindros del prototipo de HPI con el valor de tracción real de 36 kg/mm², presentó el valor de dureza = 240 HB. En otras palabras, aún cuando presenta el mismo valor de tracción o un valor de tracción más elevado, la aleación de HPI tiene una clara tendencia a tener una dureza más baja si se compara con una aleación de hierro gris teórica con el mismo valor de la tracción.
 - 25 - Si se tomara incluso el mismo hierro gris teórico con el valor de tracción = 35 kg/mm², el valor equivalente del carbón relacionado (CEL) en el diagrama de la Figura 9 presenta el valor muy bajo de = 3,49%. En lugar de esto, el prototipo del bloque de cilindros de HPI con 36 kg/mm² tiene un CEL = 3,80%, lo cual significa que, manteniendo el mismo valor de tracción para ambas aleaciones, la aleación de HPI tiene una tendencia a la
 - 30 contracción notablemente baja.

35 Las observaciones anteriores explican porque no se encontró en el mercado el hierro gris tradicional de alta resistencia para ser utilizado en las culatas o los bloques de cilindros; si se aplicara tal aleación, la misma presentaría serios problemas de solidez y de maquinabilidad (semejantes a la aleación de CGI). El propósito de la aleación de HPI es exactamente el de satisfacer tal necesidad técnica.

Comparaciones de datos técnicos entre la aleación de hierro gris (GI), la aleación de HPI y la aleación de CGI:

40 Se revisaron algunos intervalos de propiedades mecánicas y físicas tomados de las piezas fundidas comerciales para comparar el hierro gris tradicional (GI); el hierro de alto rendimiento (HPI) y el hierro al grafito compacto (CGI):

	G1	HPI	CGI
Tasa de transferencia de calor (W/m °K)	≈50	≈50	≈35
Dureza (HB)	200 hasta 250	230 hasta 250	207 hasta 255
Resistencia a la tracción (MPa)	180 hasta 270	300 hasta 370	300 hasta 450
Resistencia a la fatiga (MPa): Por bandas de rotación	≈100	≈180	≈200
Fatiga térmica (Ciclos): Rango de temperatura 50 °C - 600 °C	10,5x10 ³	20x10 ³	23x10 ³
Maquinabilidad (Km): molienda mediante herramienta cerámica a una velocidad de 400 m /min	12	10	6
Microestructura	perlita-ferrita; grafito A, 2/5	perlita 100%; grafito A, 4/7	perlita 100%; grafito compacto 80%; grafito dúctil 20%
Tendencia a la contracción (%)	1,0	1,5	3,0
Factor de amortiguamiento (%)	100	100	50
Tasa de Poisson: a temperatura ambiente	0,26	0,26	0,26

45 De acuerdo con las pruebas anteriores, además de la elevada resistencia a la tracción, la aleación de HPI presenta una excelente maquinabilidad, amortiguamiento de la vibración, conductividad térmica, baja tendencia a la contracción y estabilidad de la microestructura (compatible con las aleaciones de hierro gris).

REIVINDICACIONES

1. Una aleación de hierro gris de alta resistencia, en donde

- 5 – El equivalente del carbón (CE) está definido en el intervalo de 3,6% - 4,0% en peso, manteniendo el contenido de C de 2,8% - 3,2%.
- El contenido de Cr está definido en un 0,4% máximo y, cuando está asociado con Mo, el rango definido % de Cr + % de Mo \leq 0,65%.
- El Cu y Sn se asocian de acuerdo con la siguiente ecuación $0,010\% \leq [\% \text{ de Cu}/10 + \% \text{ de Sn}] \leq 0,021\%$.
- 10 – El contenido de Mn está definido entre 0,4 % y 0,5%, y asociado con el % de S, los contenidos de S y Mn están definidos en los siguientes intervalos calculados para la relación [% de Mn / % de S]:
 - Mn = 0,40% Rango: Mn/S = 3,3 a 3,9
 - Mn = 0,47% Rango: Mn/S = 4,0 a 5,0
 - Mn = 0,50% Rango: Mn/S = 4,9 a 6,0
- El contenido de Si está definido en el intervalo de 2,0% hasta 2,40%.
- 15 – El contenido de "P" está definido en el intervalo de: % de P \leq 0,10%.
- y el resto correspondiente a hierro e impurezas inevitables.

2. La aleación de hierro gris de alta resistencia, de acuerdo con la reivindicación 1, en donde las propiedades físicas son:

20	Tasa de Transferencia del calor (W/m °K):	45 a 60
	Dureza (HB)	230 a 250
	Resistencia a la Tracción (MPa)	300 a 370
	Resistencia a la Fatiga (MPa): Por Bandas rotatorias	170 a 190
25	Fatiga Térmica (Ciclos): Intervalo de Temperatura 50 °C-600 °C	20×10^3
	Maquinabilidad (Km): Molienda por herramienta cerámica a una velocidad de 400 m/Min:	9 a 11
	Microestructura	perlita 98 - 100% grafito A, 4/7
	Tendencia a la Contracción (%)	1,0 a 2,0
30	Factor de amortiguamiento (%)	90 a 100
	Velocidad de Poisson: a Temperatura Ambiente	0,25 a 0,27

35 3. La aleación de hierro gris de alta resistencia, de acuerdo con las reivindicaciones 1 y 2, en donde el número de celdas eutécticas sobre la microestructura se incrementa desde 20% hasta 100%, con relación a las aleaciones de hierro gris tradicionales.



Figura 1

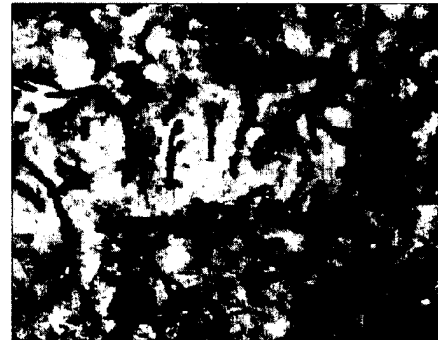


Figura 2



Figura 3



Figura 4

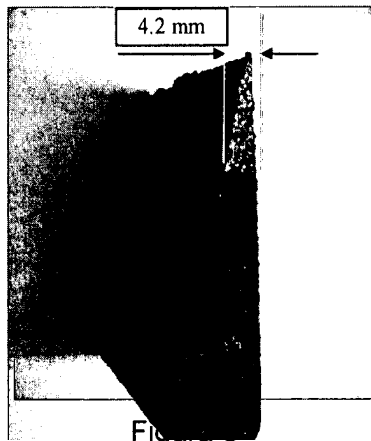


Figura 5

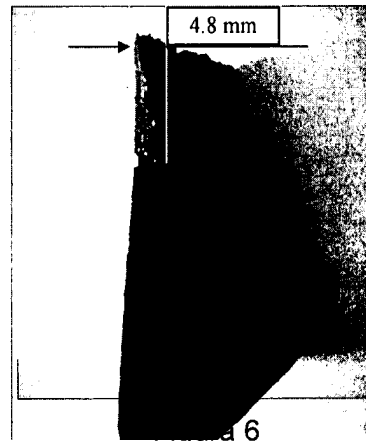


Figura 6

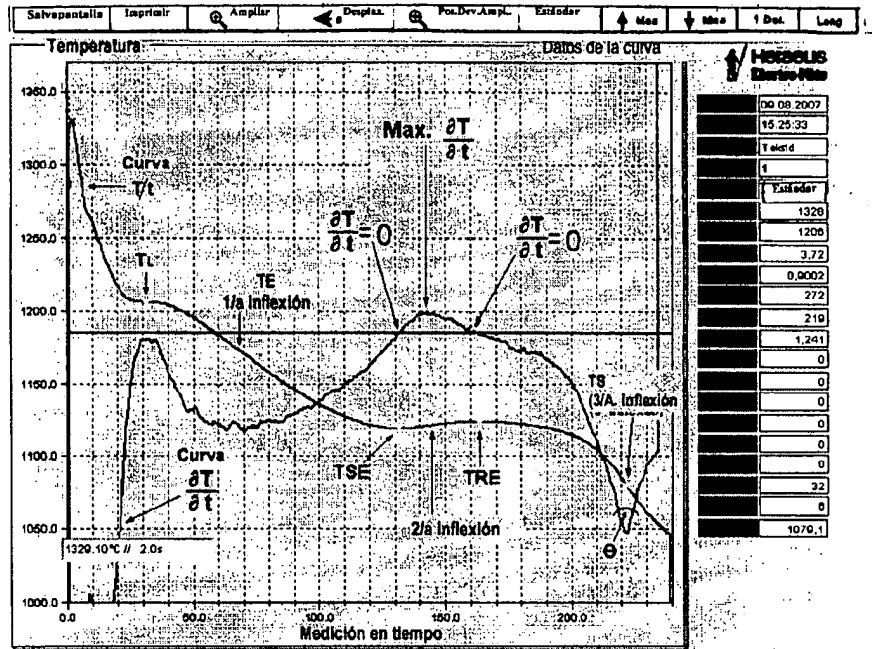


Figura 7

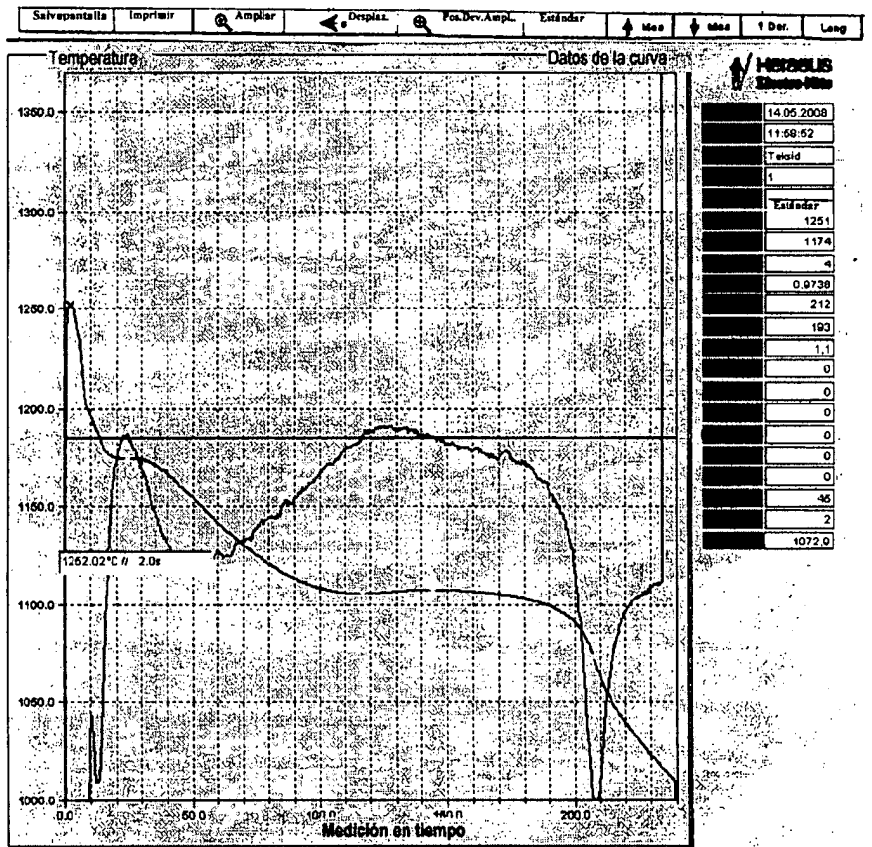
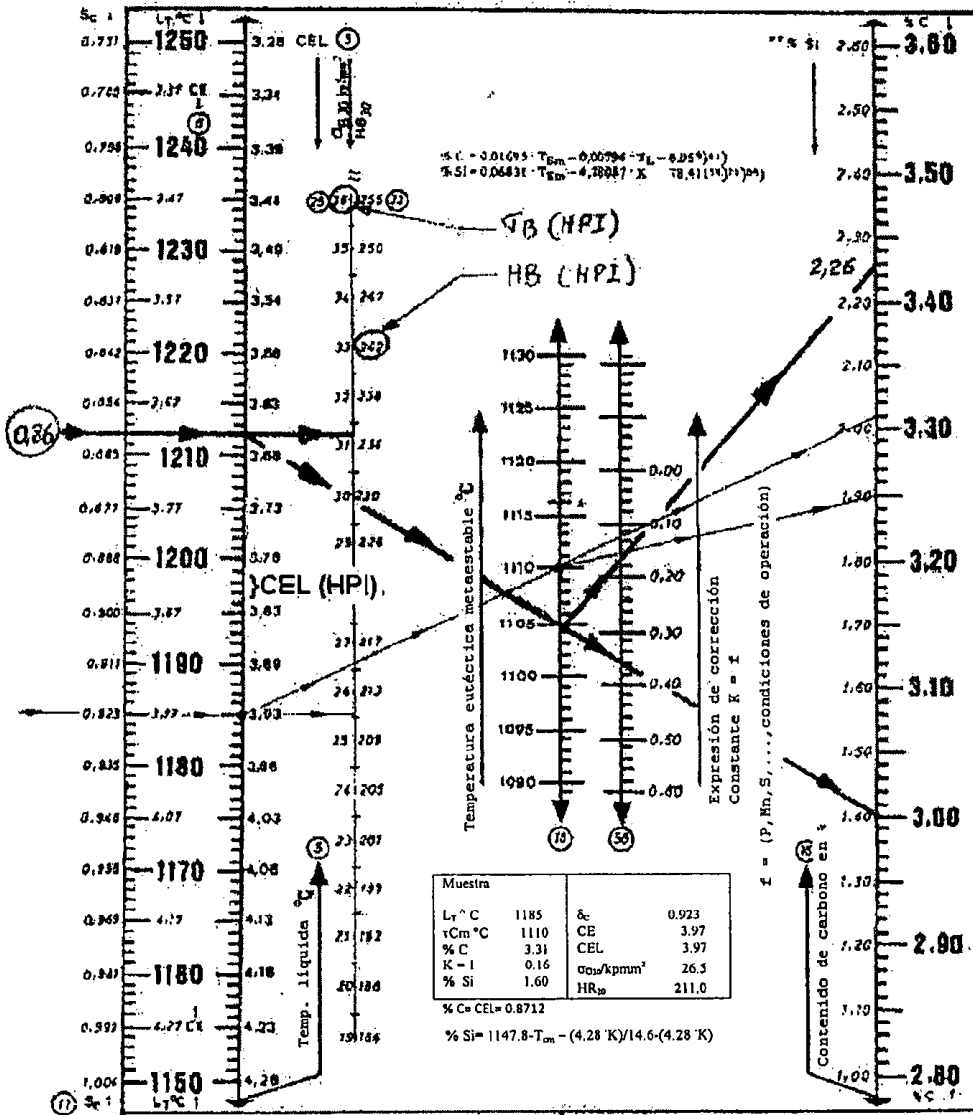


Figura 8

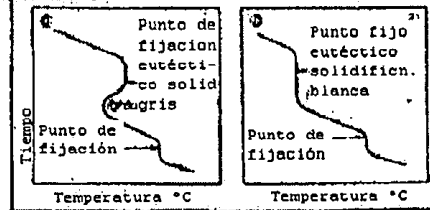
2.3 Análisis térmico para hierro fundido con grafito laminar

2.3.4 Nomograma para determinar el contenido de carbono y silicio en caldos de hierro fundido subeutéctico con la ayuda del análisis térmico $S_c < 1$



Forma de llevar a cabo la determinación

- Al enfriar una prueba de hierro fundido en un crisol de medición revestido con telurio se asegura la solidificación blanca. La solidificación blanca no se puede garantizar para hierro tratado con magnesio o cerio, ocasionalmente también pueden presentarse dificultades en hierro fundido muy inoculado. El método se debe usar para cada hierro no aleado si la composición se encuentra en el intervalo de $C + Si/9 + P/3.5 < 4.3\%$
- La curva de enfriamiento debe tener una forma similar a la curva ideal (compárese figura 1 b)



Fundamentos matemáticos ver página 61

1) Hartung, W.: Giesserei 57(1970)No.24 pág. 753/56
 2) Moore, A.: Foundry 102 (1974) No. 7 pág. 80/83

Editorial Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden (Alemania)

Programa HP-67 GG 1-8 A+B
 HP-67 GG 2-8 A+B
 HP-41 C GG 8-A+B
 CASIO FX-802 P GG 108 A+B

Figura 9

Escala en cm

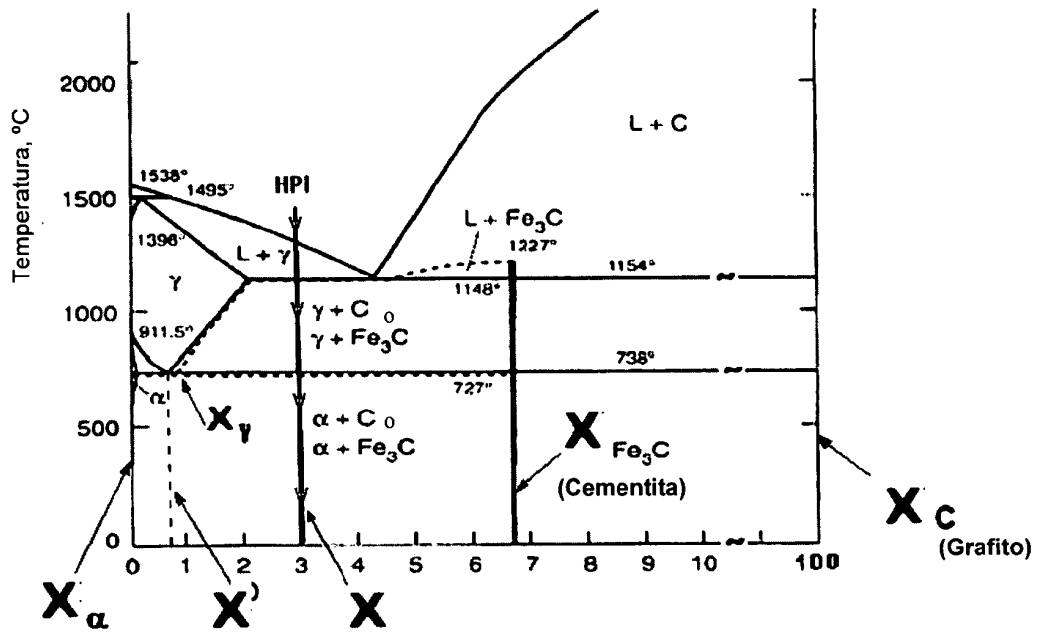


Figura 10