

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 400 311**

51 Int. Cl.:

C21C 1/08 (2006.01)

C21C 1/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.02.2009** **E 09775659 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.11.2012** **EP 2396434**

54 Título: **Método para obtener una aleación de hierro gris de alta resistencia para motores de combustión y fundiciones en general**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.04.2013

73 Titular/es:

TEKSID DO BRASIL LTDA (100.0%)
Rua Senador Giovanni Agnelli nº 230-906, Distrito Industrial Paulo Camilo
32530 - 487 Betim - MG, BR

72 Inventor/es:

OLIVEIRA, OTTO LUCIANO MOL DE y
VILLAFORT, JEFFERSON PINTO

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 400 311 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

Método para obtener una aleación de hierro gris de alta resistencia para motores de combustión y fundiciones en general

El presente invento define una nueva clase de aleación de hierro gris, producida con un nuevo método para obtener superior resistencia a la tracción, mientras que mantiene las condiciones de mecanización compatibles con las aleaciones de hierro gris tradicionales. Mas concretamente el material producido con este método puede utilizarse en motores de combustión con altos índices de compresión, o en general moldes y motores de combustión tradicionales en donde es un objetivo la reducción de peso.

ESTADO DEL ARTE

Las aleaciones de hierro gris, conocidas desde finales del siglo XIX, han constituido un éxito absoluto en la industria del automóvil debido a sus propiedades relevantes, principalmente requeridas por los motores de combustión. Algunas de estas características de aleación de hierro gris has sido reconocidas durante largo tiempo como presentando:

- Excelente conductividad térmica
- Excelente capacidad de amortiguación de vibración
- Excelente nivel de mecanización
- Índice de encogimiento relativamente pequeño (baja tendencia para porosidades internas sobre los moldes)
- Buen nivel de fatiga térmica (cuando se utiliza una aleación a base de molibdeno)

Sin embargo, debido a las exigencias en aumento de los motores de combustión tal como mas potencia, menor consumo de combustible e inferiores emisiones con fines ambientales, las aleaciones de hierro gris tradicionales difícilmente obtienen la resistencia a la tracción mínima requerida por los motores de combustión con índices de compresión superiores. En general, como una simple referencia, estas exigencias de resistencia a la tracción empiezan en un mínimo de 300 MPa, en la posición de cojinetes principales sobre bloques de cilindro o en la posición de la cara de fuego en cabezas de cilindro.

Precisamente la gran limitación de las aleaciones de hierro gris corrientes es que presentan una drástica disminución de las propiedades de mecanización cuando se requiere superior tensión.

Así pues, con el fin de resolver este problema algunos metalúrgicos y expertos en material decidieron el enfoque sobre una aleación diferente: basado en grafito compacto, usualmente conocido como hierro de grafito compacto (CGI). Muchos documentos discuten las propiedades de CGI:

- R.D. Grffin, H.G. Li, E. Eleftheriou, C.E. Bates, "Machinability of Gray Cast Iron". Atlas Foundry Company (Reimpreso con el permiso de AFS)
- F.Koppka e A. Ellermeier, "O Ferro Fundido de Grafita Vermicular ajuda a dominar altas pressões de combustão", Revista MM, enero/2005.
- Marquard, R & Sorger, H. "Modern Engine Design". CGI Design and Machining Workshop, Sintercast - PTW Darmstadt, Bad Homburg, Germany, Nov 1997.
- Palmer, K. B. "Mechanical properties of compacted graphite iron". BCIRA Report 1213, pp 31-37, 1976
- ASM. Speciality handbook: cast irons. United States: ASM International, 1996, p. 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.

Evidentemente se han requerido diversas patentes respecto del proceso CGI:

- US 4,667,725 de 26 mayo, 1987 a nombre de Sinter-Cast AB (Viken, SE). Un método para producir fundiciones a partir de hierro fundido conteniendo aditivos modificadores de estructura. Una muestra de un baño de hierro fundido se permite que solidifique durante 0,5 a 10 minutos.
- WO9206809 (A1) de 30 de abril, 1992 a nombre de SINTERCAST LTD. Un método para controlar y corregir la composición de la fusión de hierro fundido y asegurar la cantidad necesaria de agente modificador de estructura.

Si bien la aleación de CGI presenta relevante resistencia a la tracción presenta también otras serias limitaciones respecto de sus propiedades o industrialización. Entre estas limitaciones podemos enfatizar:

- Inferior conductividad térmica;
- Inferior capacidad de amortiguación de vibración;
- Inferior nivel de mecanización (por tanto, mayores costos de mecanización);

- Mayor índice de encogimiento (por tanto mayor tendencia a porosidades internas); e
- Inferior estabilidad de microestructura (fuertemente dependiente del espesor de la pared fundida).

5 En este escenario el reto fue crear una aleación que mantuviese propiedades relevantes similares de la aleación de hierro gris, concomitantemente con una amplia interfase de resistencia a la tracción de la aleación de CGI. Este es el alcance del presente invento.

Corrientemente el método de obtener una fundición de hierro gris en las fundiciones tiene las etapas siguientes:

- 10
- Fase de fusión: la carga (chatarra, mineral de hierro, acero, etc) se funde mediante hornos de cúpula, inducción o arco.
 - Equilibrio químico: usualmente llevado a cabo sobre la partida de líquido dentro del horno de inducción, con el fin de ajustar los elementos químicos (C, Si, Mn, Cu, S, etc.) de conformidad con la especificación requerida.
 - Fase de inoculación: llevada a cabo comúnmente en la operación de colada de cuchara o en la colada de molde (cuando se utilizan hornos de colada), con el fin de promover núcleo suficiente para evitar la formación de carburo indeseable.
 - Fase de colada: llevada a cabo en la línea de moldeo a una temperatura de colada usualmente definida en un rango para impedir huecos o agujeros, adherencia de arena y contracción después de solidificación de la colada. Dicho de otro modo la temperatura de colada se define actualmente como una función de la validez del material de colada.
 - Fase shake-out: usualmente llevada a cabo cuando la temperatura de la colada, en el interior del molde, se enfría confortablemente bajo la temperatura eutéctica ($\approx 700^{\circ}\text{C}$).

30 Un proceso de esta índole se aplica a fundiciones en todo el mundo y ha sido objeto de muchos libros, documentos y artículos técnicos:

- Gray Iron Founders' Society: Casting Design, Volumen II: Taking Advantage of the Experience of Pattern maker y Foundryman to Simplify the Designing of Castings, Cleveland, 1962.
- Straight Line to Production: The Eight Casting Processes Used to Produce Gray Iron Castings, Cleveland, 1962. Henderson, G.E. and Roberts,
- Metals Handbook, 8th Edition, Vols 1, 2, y 5, publicado por American Society for Metals, Metals Park, Ohio.
- Gray & Ductile iron Castings Handbook (1971) publicado por Gray and Ductile Iron Founders Society, Cleveland, Ohio.
- 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; 1 edición (Octubre) 24, 2008)
- Microstructure of Steels and Cast Irons Madeleine Durand-Charre Springer; 1 edición (Abril 15, 2004)
- Cast Irons (Asm Specialty Handbook) ASM International (Septiembre 1, 1996)

45 Muchas patentes revelan composiciones con los componentes usuales sobre aleaciones de hierro gris, aplicados también a la presente solicitud. Sin embargo, comparado con nuestra solicitud, estas no presentan todos los componentes y/o ecuaciones que son preceptivos para regular el equilibrio preciso entre algunos componentes específicos en la composición final.

50 Ejemplos de lo expuesto es la patente PCT WO 2004/083474 de una composición de Volvo con la presencia preceptiva de N en su composición (no aplicado en nuestra solicitud) o la patente japonesa JP 10096040 con la exigencia de Ca en su composición (no aplicado en la presente invención). Además es importante informar que la composición de estas patentes define alcances de variaciones en varios componentes que son demasiado amplios. En caso de aplicarse en el presente invento deteriorarían las propiedades del material principal.

Otro ejemplo es la Patente Europea EP 0616040 para la desulfurización de una aleación de colada gris. En esta patente Europea el componente "S" debe ser eliminado. A diferencia, el presente invento requiere el componente "S" como factor importante para generar el núcleo necesario.

60 El objeto del presente invento es definir una aleación, como se expone en la reivindicación 1, obtenida con un nuevo método, que presenta las propiedades mecánicas y físicas de la aleación de hierro gris, con un rango de interfase amplio de la resistencia a la tracción de CGI. Esta nueva aleación, a base de grafito en hojuelas, es una aleación de Hierro de Alta Prestación "High Performance Iron (HPI)". Por consiguiente, además de su alta resistencia a la tracción, la aleación (HPI) presenta excelente mecanización, amortiguación de vibración, conductividad térmica, baja tendencia al encogimiento y buena estabilidad de microestructura (compatible con aleaciones de hierro gris).

Dichas características de HPI se obtienen con un método que define una interacción específica entre cinco fundamentos metalúrgicos: análisis químico; oxidación del metal líquido; nucleación del metal líquido; solidificación eutéctica y solidificación eutectoídica.

5

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La presente solicitud se explicará en base a las siguientes figuras no limitativas:

Las figuras 1 y 2 muestran la microestructura (grabada y sin grabar) de la aleación HPI;

10 Las figuras 3 y 4 muestran la microestructura (sin grabar y grabada) de la aleación de hierro gris tradicional;

La figura 5 muestra una prueba de temple antes del proceso de desoxidación;

La figura 6 muestra una prueba de temple después del proceso de desoxidación;

La figura 7 muestra una curva de enfriamiento y su derivada para la aleación HPI;

La figura 8 muestra una curva de enfriamiento y su derivada para la aleación de hierro gris tradicional;

15 La figura 9 muestra un diagrama metalúrgico que compara las aleaciones de hierro gris y la aleación HPI; y

La figura 10 muestra un diagrama de equilibrio de Fe-C y Fe-Fe₃C de interfase.

DESCRIPCIÓN DEL INVENTO

20 El presente invento define un método, expuesto en la reivindicación 1, para obtener una nueva aleación, basada en grafito en hojuelas, con las mismas propiedades industriales excelentes del hierro gris tradicional, con mayor resistencia a la tracción (hasta 370 Mpa), que hace que esta aleación sea una alternativa ventajosa si se compara con la aleación CGI.

25 Con medios analíticos y prácticos dicho método puede promover una interacción entre cinco fundamentos metalúrgicos: análisis químico, nivel de oxidación de la partida líquida; nivel de nucleación de la partida líquida; solidificación eutéctica y solidificación eutectoídica. El presente método permite la obtención de la mejor condición de cada uno de estos fundamentos con el fin de producir esta nueva aleación de hierro de alta prestación, denominada aquí HPI.

30

ANÁLISIS QUIMICO:

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

35

Sin embargo deben mantenerse los criterios siguientes para el equilibrio de algunos elementos químicos de modo que pueda obtenerse la morfología de grafito en hojuelas (Tipo A, tamaño 4 a 7, hojuelas sin extremos puntiagudos), la matriz de microestructura deseable (perlítica al 100%, carburos 2% max) y las propiedades del material deseables:

40

- El equivalente de carbono (CE) se define en la proporción de 3,6% a 4,0% en peso, pero, al mismo tiempo, manteniendo el contenido de C entre 2,8% y 3,2%. La aleación de HPI tiene una tendencia hipoeutéctica superior si se compara con las aleaciones de hierro gris tradicionales.

45

- El contenido de Cr se define como 0,4% max y, cuando se asocia con Mo, debe obedecerse el criterio siguiente: Cr% + Mo% ≤ 0,65%. Esto permitirá la apropiada refinación perlítica.

- El Cu y Sn deben asociarse de conformidad con el siguiente criterio: 0,010% ≤ (Cu%/10 + Sn%) ≤ 0,021%.

50

- Los contenidos de S y Mn se definen en rangos específicos de la proporción Mn% / S%, calculado para garantizar que la temperatura de equilibrio del sulfuro de manganeso MnS se producirá siempre bajo la "liquidus temperature" (preferible próxima a la temperatura de partida eutéctica). Además de mejorar las propiedades mecánicas del material, este criterio impulsa la formación del núcleo en el interior de la partida líquida. La Tabla 1 presenta la aplicación de este criterio para un bloque de cilindro diesel en donde el Mn% se definió entre 0,4% y 0,5%.

55

Tabla 1 - porcentaje "Mn/S", como una función de Mn%

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

- El porcentaje del contenido de Si se define entre 2,0% y 2,40%.

60 - El contenido de "P" se define como P% ≤ 0,10%.

Las imágenes 1, 2, 3 y 4 muestran la microestructura comparada entre aleaciones de hierro gris tradicionales y HPI, en donde puede observarse la morfología del grafito y la cantidad de grafito extendida en la matriz.

OXIDACIÓN DE LA PARTIDA LIQUIDA

5 Para obtener la aleación HPI la partida líquida en el horno de inducción debe estar libre de óxidos coalescentes que no promuevan núcleos. Además deben también ser homogéneos a lo largo de la partida líquida. Así pues, con el fin de reunir este criterio se desarrolló un proceso para la desoxidación de conformidad con las etapas siguientes:

- aumento de la temperatura del horno sobre la temperatura de equilibrio de dióxido de silicio (SiO₂);
- 10 - cerrar el horno durante por lo menos 5 minutos para promover la flotación de los óxidos coalescentes y otras impurezas;
- esparcir un agente aglutinante sobre la superficie de la partida líquida; y
- separar este material aglutinante ahora saturado con los óxidos coalescentes, dejando el metal líquido mas limpio en el interior del horno.

15 A pesar de que esta operación disminuye el nivel de nucleación (véase las figuras 5 y 6 que presentan las pruebas de temple, antes y después del proceso de desoxidación), dichas etapas aseguran que solo permanecen en la partida líquida óxidos activos, promotores de núcleos. Esta operación también aumenta la efectividad de los inoculantes que han de aplicarse luego.

20 NUCLEACIÓN DE LA PARTIDA LÍQUIDA

Otra característica importante de la aleación HPI cuando se compara con las aleaciones de hierro gris tradicionales es precisamente el elevado número de células eutécticas. La aleación HPI presenta del 20% al 100% mas células si se compara con la misma colada llevada a cabo en aleaciones de hierro gris corrientes. Este número de células superior promueve directamente grafito de menor tamaño y, por tanto, contribuye directamente al aumento de la resistencia a la tracción del material HPI. Además un mayor número de células implica también mas MnS formado en el propio núcleo de cada núcleo. Este fenómeno es decisivo para aumentar la vida del instrumento cuando se mecaniza el material HPI.

30 Después de la corrección química y el proceso de desoxidación, la partida líquida en el interior del horno debe nucleares de conformidad con el método siguiente:

- Vertido de 15% al 30% de la partida líquida del horno sobre un cucharón específico.
- 35 - Durante esta operación, inoculación de 0,45% hasta 0,60% en % en peso de aleaciones de Fe-Si-Sr o Fe-Si-Ba-La granuladas, directamente sobre la corriente de metal líquido.
- Devolución del metal líquido inoculado del cucharón al horno, manteniendo la operación con un fuerte flujo de metal.
- 40 - Durante esta operación el horno debe mantenerse en fase "encendida".

Dicho método, además de crear nuevos núcleos, aumenta también el número de óxidos activos en el metal líquido del interior del horno.

45 En secuencia la fase de inoculación usual se lleva a cabo en las formas tradicionales, conocidas desde mucho tiempo por las fundiciones. Sin embargo, la diferencia para la aleación HPI es precisamente la proporción de % en peso de inoculante aplicado sobre el cucharón de vertido u horno de vertido inmediatamente antes de la operación de vertido: De 0,45% a 0,60%. Esto representa alrededor del doble del % de inoculante normalmente aplicado en esta etapa para llevar a cabo las aleaciones de hierro gris tradicionales.

50 La etapa siguiente es para especificar la nucleación del metal líquido mediante análisis térmico. El método, objeto de esta patente, define dos parámetros térmicos a partir de las curvas de enfriamiento como mas efectivo para garantizar un nivel de nucleación deseable:

- 55 1) Temperatura eutéctica bajo enfriamiento "T_{se}" y,
- 2) Porcentaje de temperatura de recalcencia eutéctica "ΔT".

Ambos parámetros deben considerarse conjuntamente, para definir si el metal líquido está nucleado suficientemente para ser compatible con las exigencias de HPI.

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

- T_{se} → Min 1115°C; y
- ΔT → Max 6°C.

65

La figura 7 muestra la curva de enfriamiento y su derivativa de un bloque de cilindros diesel de 6 cilindros, colado con aleación HPI, en donde se encuentran ambos parámetros térmicos según lo requerido por el criterio. Este bloque presentó el valor de resistencia a la tracción de 362 Mpa y dureza de 240HB en la posición de rodamiento.

5 La figura 8 muestra la curva de enfriamiento del mismo bloque, colado con hierro gris normal, en donde la ΔT resultó de $\approx 2^\circ\text{C}$ (reuniendo la exigencia de nucleación de HPI), pero el valor Tse fue de 1105° (no reuniendo la exigencia de nucleación de HPI). Este bloque de hierro gris tradicional presentó el valor de resistencia a la tracción de 249 Mpa y dureza de 235HB en la posición de rodamiento.

10 Como una referencia la tabla 2 que sigue presenta la comparación de los datos térmicos de HPI utilizando dos inoculantes diferentes.

Tabla 2 - datos comparativos de análisis térmico ($^\circ\text{C}$) entre dos inoculantes aleación de Fe-Si a base de Ba-La y a base de Sr

15

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

La colada aplicada con el inoculante Ba-La presentó Ts = 346 Mpa y 2% de carburos. Por otra parte, el bloque aplicado con inoculante Sr presentó Ts = 361 Mpa sin carburos. Esto demuestra la sensibilidad de los parámetros térmicos referidos sobre el nivel de nucleación de la partida líquida.

20 **SOLIDIFICACIÓN EUTÉCTICA**

Como un fenómeno de solidificación notable la fase eutéctica representa el nacimiento que caracteriza las últimas propiedades del material. Muchos libros y folletos han abordado la fase eutéctica en muchas formas, señalando 25 varios parámetros tales como intercambio de calor entre metal y molde, química, cristalización de grafito, recalentamiento, temperaturas estables y meta-estables, etc.

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

- 30
- Temperatura de vertido "Tp"; y
 - Módulo de solidificación global de la colada "Mc".

35 Así pues aplicando un calculo específico, el método HPI define el módulo de colada global "Mc", en el rango: $1,38 \leq "Mc" \leq 1,52$, como una función de la temperatura de vertido mejor calculada "Tp" (tolerancia +/-10°C).

40 Este criterio permite velocidad efectiva para que las células eutécticas crezcan y proporcionen las propiedades mecánicas y físicas deseables además de reducir drásticamente la formación de encogimiento cuando la colada HPI se vuelve sólida. Dicho de otro modo, este método requiere una temperatura de vertido calculada como una función del módulo de colada global. Esto es muy diferente de la práctica común en donde la temperatura de vertido es usualmente empírica con el fin de obtener validez de la colada.

SOLIDIFICACIÓN EUTÉCTICA:

45 La fase eutéctica como una transformación de sólido-sólido conforma la microestructura final de la colada. Entonces, a pesar de ser una aleación de grafito de hojuelas, la microestructura 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 Fe-Fe3C, como se muestra en la figura 10.

50 Dicho rango confirma la tendencia hipoeutéctica de HPI que, no obstante, mantiene buenos parámetros de mecanización por en número aumentado de células eutécticas. Asimismo, con el fin de facilitar la obtención de refinado de perlita, este método prescribe que la operación de shake-out se realice cuando el rango de la temperatura de la colada superficial oscile entre 400°C y 680°C, según la variación del espesor de la pared de la colada.

55 Este método produce ciertas diferencias de la propiedad del material notables en la microestructura final, cuando se compara con el hierro gris tradicional. En los datos de diagrama metalúrgico, figura 9, dichas diferencias son claras cuando se consideran los datos de entrada de HPI. La línea de espesor en la figura 9 representa estos datos de entrada de HPI en el diagrama, en donde los datos de salida correspondientes se definen considerando los 60 resultados de hierro gris tradicional.

Considerando el diagrama de la figura 9 (desarrollado a partir de aleaciones de hierro gris tradicionales), se pueden visualizar estas diferencias notables entre las propiedades de HPI e hierro gris normal. Como ejemplo, considerando la colada del bloque de 6 cilindros Diesel con el método HPI, los datos de entrada hallados son: "Sc = 0,86" (saturación de carbono); TL = 1210°C (Temperatura Liquidus) y C = 3,0% (contenido de carbono).
Observaciones:

- Cuando la línea gruesa cruza la escala de tracción, el hierro gris teórico debe presentar el valor inusual de ≈ 30 kg/mm². Por el contrario, el prototipo de HPI presentó el valor real de 36 kg/mm². Si consideramos que un hierro gris de mercado típico difícilmente supera 28 kg/mm² para bloques o cabezas de cilindros), es fácil observar aquí la primera diferencia entre ambas aleaciones.

- Observando ahora la escala de dureza del diagrama de la figura 9, podemos ver que si esta aleación de hierro gris teórica presenta el valor de tracción de ≈ 35 kg/mm², el valor de dureza relacionado deberá ser de ≈ 250 HB. Sin embargo, el bloque de cilindros de prototipo de HPI con el valor de tracción real de 36 kg/mm², presentó el valor de dureza ≈ 240 HB. Dicho de otro modo, aún presentando el mismo valor de tracción o superior, la aleación HPI tiene una clara tendencia a tener inferior dureza si se compara con una aleación de hierro gris teórica con el mismo valor de tracción.

- Si tomamos todavía el mismo hierro gris teórico con el valor de tracción de ≈ 35 kg/mm², el valor de carbono equivalente relacionado (CEL) en el diagrama de la figura 9 presenta el muy bajo valor de $\approx 3,49\%$. Por el contrario el prototipo de bloque de cilindros de HPI con 36 kg/mm² tiene CEL $\approx 3,80\%$, que significa que, manteniendo el mismo valor de tracción para ambas aleaciones la aleación de HPI tiene una tendencia al encogimiento notablemente baja.

Las observaciones anteriores explican porque no encontramos en el mercado hierro gris tradicional de alta resistencia para ser utilizado en bloques o cabezas de cilindros. Si aplicáramos una aleación de esta índole presentaría serios problemas de mecanización y validez (similar a la aleación CGI). La finalidad de la aleación HPI es exactamente satisfacer esta necesidad técnica.

COMPARACIONES DE DATOS TÉCNICOS ENTRE ALEACIÓN DE HIERRO GRIS (GI), ALEACIÓN HPI Y ALEACIÓN CGI:

Se siguieron algunos parámetros de propiedades mecánicas y físicas tomados de coladas comerciales para comparar el hierro gris tradicional (GI); hierro de alta prestación (HPI) y hierro de grafito compacto (CGI):

	GI	HPI	CGI
Indice 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): mediante flexión rotatoria	≈ 100	≈ 180	≈ 200
Fatiga térmica (Ciclos): Rango de temperatura 50°C-600°C	12	10	6
Mecanización (Km): Fresado con herramienta de cerámica a 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 al encogimiento (%)	1,0	1,5	3,0
Factor de amortiguación (%):	100	100	50
Coefficiente de Poisson: a temperatura ambiente	0,26	0,26	0,26

De conformidad con las pruebas anteriores, además de alta resistencia a la tracción, la aleación HPI presenta excelente mecanización, amortiguación de vibración, conductividad térmica, baja tendencia al encogimiento y estabilidad de microestructura (compatible con aleaciones de hierro gris).

REIVINDICACIONES

1. Método para obtener aleación de hierro gris de alta resistencia, en horno de inducción en donde

5 a) el método para desoxidar el metal líquido tiene las etapas siguientes:
 - aumentar la temperatura del horno por encima de la temperatura de equilibrio de dióxido de silicio (SiO₂);
 - apagar el horno durante unos 5 minutos para promover la flotación de los óxidos coalescentes y otras impurezas;
 - extender un agente aglutinante sobre la superficie de la partida líquida; y
 - separar dicho material aglutinante, ahora saturado con los óxidos coalescentes, dejando el metal líquido mas limpio
 10 en el interior del horno.

b) la nucleación tiene las siguientes etapas:

15 - vertido de 15% a 30% de la partida líquida del horno sobre un cucharón específico.
 - durante la operación, inoculación de 0,45% a 0,60% en peso de inoculante como aleaciones de Fe-Si-Sr o Fe-Si-Ba-La granuladas, directamente sobre la corriente de metal líquido.
 - verter de nuevo el metal líquido inoculado del cucharón al horno, con el fin de mezclar este metal sobreinoculado del cucharón con el metal sin inocular que permanece en el
 20 horno.
 - durante esta última operación el horno debe mantenerse en fase de "encendido".
 - la nucleación tiene dos parámetros térmicos a partir de las curvas de enfriamiento, o sea:

25 1) Temperatura eutéctica bajo enfriamiento T_{se} Min 1115°C; y
 2) Porcentaje de temperatura de recalcencia eutéctica "ΔT" Max 6°C ambos parámetros deben considerarse conjuntamente.

30 c) el intervalo de la temperatura de vertido para las coladas de HPI "Tp" (tolerancia +/- 10°C) se define mediante una ecuación específica como una función del módulo de colada global, debiendo presentar dicho módulo de colada global un rango entre 1,38 y 1,52 y

35 d) en la fase eutectoídica, la microestructura de HPI presenta un contenido de grafito en su matriz ≤ 2,3% calculado mediante la "regla de la palanca" tomando como referencia el diagrama Fe-Fe₃C de equilibrio.

2. Aleación de hierro gris de alta resistencia, producida de conformidad con el método de la reivindicación 1, en donde

40 - el equivalente de carbono (CE) se define en la proporción de 3,6% - 4,0% en peso manteniendo el contenido de C de 2,8% - 3,2%
 - el contenido de Cr se define en un máximo de 0,4% y, cuando se asocia con Mo, la proporción definida es Cr % + Mo % ≤ 0,65%
 - el Cu y Sn se asocian de conformidad con la siguiente ecuación: 0,010% ≤ [Cu %/10 + Sn %] ≤ 0,021%
 - el contenido de Mn se define entre 0,4% y 0,5% y se asocia con S, dichos contenidos
 45 de S y Mn se definen en los siguientes rangos calculados para la proporción [Mn%/S%]:
 - Porcentaje Mn = 0,40%: Mn/S = 3,3 a 3,9
 - Porcentaje Mn = 0,47%: Mn/S = 4,0 a 5,0
 - Porcentaje Mn = 0,50%: Mn/S = 4,9 a 6,0
 - El contenido de Si define en la proporción de 2,0% a 2,40%.
 50 - El contenido de "P" define en la proporción de P% ≤ 0,10%.

3. Aleación de hierro gris de alta resistencia, de conformidad con la reivindicación 2, en donde las propiedades físicas son:

55	Índice de transferencia de calor (W/m °K):	45 a 60
	Dureza (HB)	230 a 250
	Resistencia a la tracción (Mpa)	300 a 370
	Resistencia la fatiga (Mpa): Mediante flexión rotatoria	170 a 190
	Fatiga térmica (Ciclos): Rango de temperatura 50°C-600°C	20x10 ³
60	Mecanización (Km): Fresado con herramienta de cerámica a velocidad de 400 m/min. :	9 a 11
	Microestructura	perlita 98-100%; gráfica A, 4/7
	Tendencia al encogimiento (%)	1,0 a 2,0
	Factor de amortiguamiento (%):	90 a 100
65	Coeficiente de Poisson: a temperatura ambiente	0,25 a 0,27



Figura 1(x100)



Figura 2(x100)



Figura 3 (x100)



Figura 4 (X100)

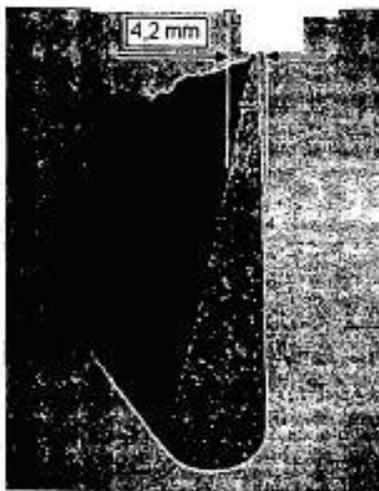
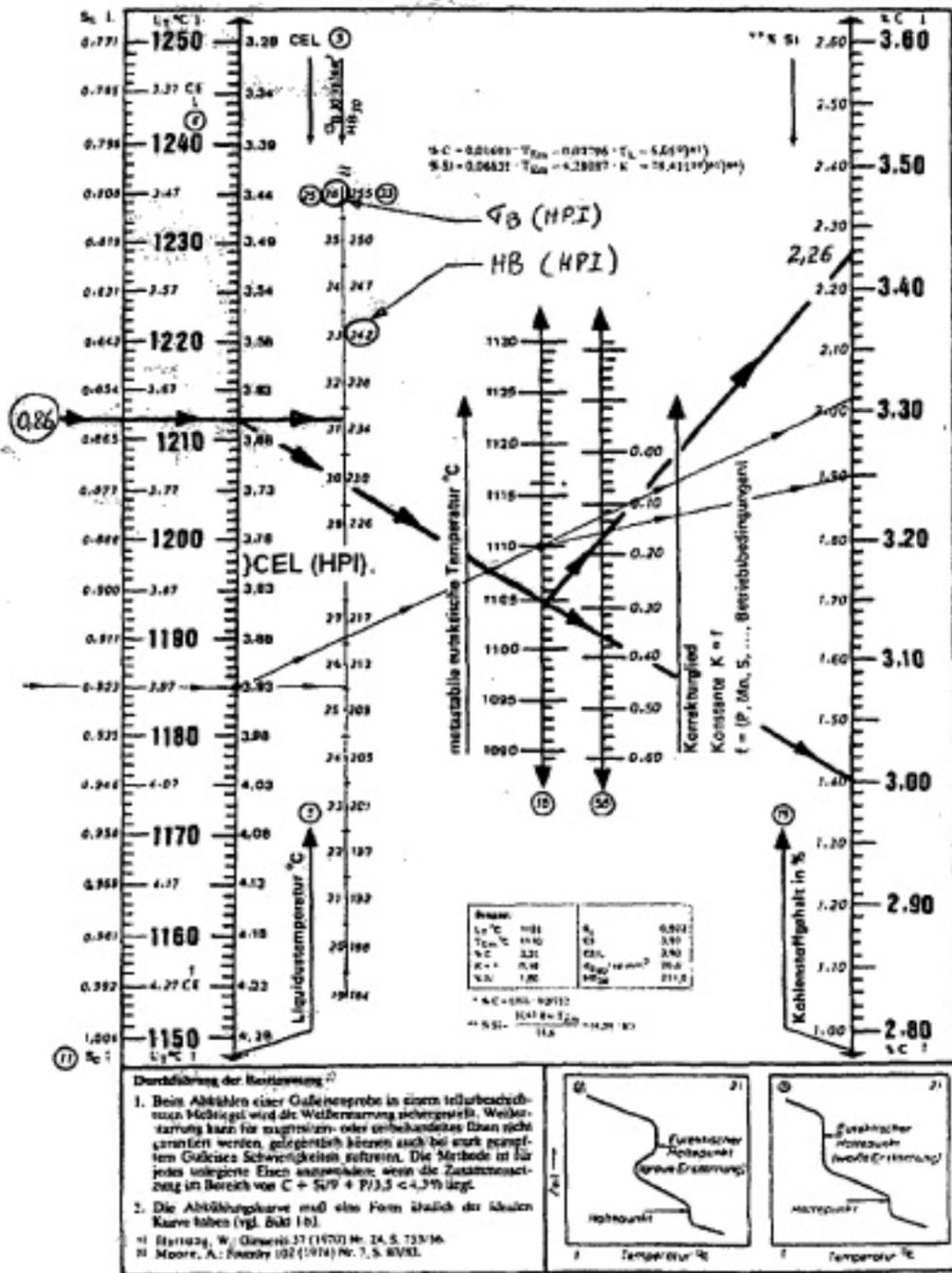


Figura 5



Figura 6

2.3.4 Nomogramm zur Bestimmung des Kohlenstoff- und Siliziumgehaltes in untereutektischen Gußeisenschmelzen mit Hilfe der thermischen Analyse, $S_c < 1$



Programm HP-07 GG 1-8 A + B
 HP-07 GG 2-8 A + B
 HP-41 C GG B - A + B
 CASIO FX-502 P GG 108 A + B

(mathematische Grundlagen siehe S. 611)

© Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden

Figura 9

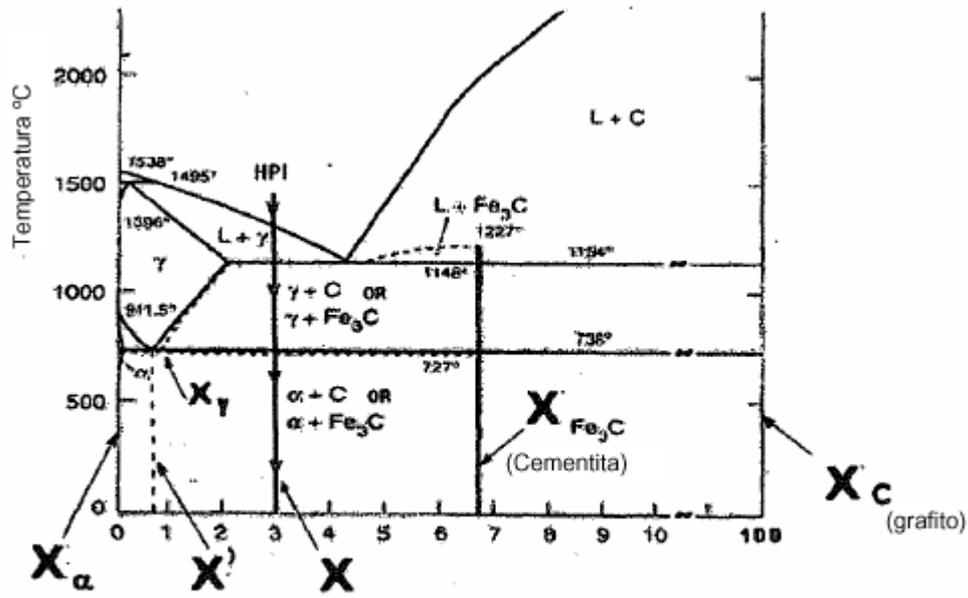


Figura 10