

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 623 497**

51 Int. Cl.:

G01N 33/20 (2006.01)

G01N 25/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.12.2012 PCT/EP2012/005335**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.06.2014 WO14094805**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.12.2012 E 12813285 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.02.2017 EP 2936146**

54 Título: **Un método de análisis de una fundición de hierro**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.07.2017

73 Titular/es:

VOLVO TRUCK CORPORATION (100.0%)
Avd. 501842 ARHK5
405 08 Göteborg, SE

72 Inventor/es:

HOSEINI HOOSHYAR, HAMED y
SCHMIDT, PÁL

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 623 497 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

Un método de análisis de una fundición de hierro

5 **CAMPO TÉCNICO**

La presente invención se refiere a un método para analizar una fundición de hierro para producir hierro al grafito compactado, que comprende las etapas de: recibir datos térmicos del enfriamiento de una masa fundida colada que comprende una cantidad predeterminada de carbono, magnesio, el resto es hierro e impurezas inevitables, representar gráficamente la temperatura de la masa fundida colada contra el tiempo de tal manera que se genere una curva de tiempo-temperatura y comparar la curva generada con al menos una curva de referencia, representando dicha curva de referencia el correspondiente análisis térmico de otra masa fundida cuya nodularidad resultante es conocida, con el propósito de predecir la nodularidad de la masa fundida colada con base en la diferencia entre dichas curvas.

La presente invención se refiere también a un método para producir hierro al grafito compactado, que comprende las etapas de: proporcionar una masa fundida que comprende una cantidad predeterminada de carbono, magnesio, el resto es hierro e impurezas inevitables, vaciar al menos una parte de la masa fundida en un molde y realizar un análisis térmico sobre la masa fundida colada durante su enfriamiento de acuerdo con el método de análisis de la invención.

La invención se refiere también a: un programa informático que comprende medios de código de programa para realizar todas las etapas del método de análisis de la invención cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador; un producto informático que comprende medios de código de programa almacenados en un medio legible por ordenador para realizar todas las etapas del método de análisis de la invención cuando dicho producto informático se ejecuta en un ordenador, y; un sistema informático para implementar el método de análisis de la invención que comprende un procesador que puede ser operado para ejecutar un programa informático de acuerdo con la invención.

30 **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

Las planchas coladas se diferencian por la forma de las partículas de grafito. El hierro colado gris se caracteriza por las escamas aleatoriamente orientadas del grafito, mientras que el grafito en hierro dúctil existe como esferas individuales. Las partículas de grafito en CGI están orientadas al azar y alargadas como en el hierro gris, pero son más cortas, más gruesas y tienen bordes redondeados.

En comparación ya sea con la fundición gris o la fundición dúctil, los aglomerados de grafito compactados enmarañados se entrelazan entre sí en la matriz de la fundición para proporcionar una fuerte adhesión. Esta forma de grafito suprime el inicio y la propagación de fisuras y es la fuente tanto de las propiedades mecánicas mejoradas con respecto a la fundición gris como de la conductividad térmica mejorada con respecto a la fundición dúctil. Estas propiedades ventajosas de las CGI han hecho que sea un material adecuado para bloques de cilindros de motores de combustión interna, en particular motores diésel. La CGI con alto contenido de titanio también se utiliza comúnmente en el colector de escape y las partes de la bomba de dirección asistida gracias a una muy buena conductividad térmica y resistencia a altas temperaturas.

La microestructura de grafito de las planchas de grafito compactadas se expresa en términos del porcentaje de nodularidad. Para la optimización simultánea de las propiedades mecánicas, moldeabilidad, maquinabilidad y conductividad térmica, el grafito debe ser controlado dentro de un intervalo de especificación de nodularidad del 0-20% (más del 80% de las partículas de grafito deben estar en forma compacta/vermicular) en todas las secciones de desempeño crítico de la fundición. No se permite grafito en escamas. El porcentaje de nodularidad y la estructura de matriz de ferrita / perlita se pueden evaluar mediante la así llamada técnica de comparación de gráficos o por análisis de imágenes, estando ambos estandarizados y bien conocidos por el experto en la técnica.

Es bien conocido en el presente campo de la técnica que el contenido de magnesio como elemento de aleación en la masa fundida de hierro es de importancia vital para la formación de nódulos en el material colado y la microestructura resultante de CGI. Sin embargo, no sólo el Mg, sino también otros elementos de aleación están involucrados en el proceso que conduce a la generación de CGI. Por ejemplo, la nodularidad del grafito después del tratamiento con magnesio se ve afectada por un bajo nivel inicial de azufre y esto a su vez puede conducir a la formación de grafito nodular con magnesio residual más bajo en el hierro tratado. Por consiguiente, el aumento de la adición de azufre, para la misma adición de magnesio, podría ser una forma posible de promover la formación de CGI para una masa fundida dada. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el magnesio sigue siendo considerado como el elemento clave para obtener CGI, y la calibración fina del contenido de Mg es una manera muy eficiente de afectar la formación de CGI.

Cuando debe predecirse y controlarse la nodularidad por medio de la adición de magnesio, la cantidad de azufre y oxígeno desempeña un papel importante en la cantidad de magnesio que se necesitará. Normalmente, es posible

controlar el contenido de azufre en la masa fundida mediante una adición precisa del mismo. El contenido de oxígeno, por otra parte, no es tan fácil de observar o de controlar. Por lo tanto, siempre habrá un cierto grado de incertidumbre en la cantidad de magnesio que será necesario con el fin de obtener una nodularidad específica.

5 Con el fin de predecir la nodularidad para una masa fundida específica, la técnica anterior sugiere una pluralidad de métodos diferentes. Uno de estos métodos es descrito por Y.X. Li, Q. Wang; "Intelligent evaluation of melt iron quality by pattern recognition of thermal analysis cooling curves" J. Mat. Proc. Tech. 161 (2005), páginas 430-434. Este método se basa en el supuesto de que dos coladas con curvas de enfriamiento idénticas, es decir, curvas en las que la temperatura de la masa fundida moldeada se gráfica en función del tiempo, y la composición de la colada también dará lugar a microestructuras idénticas. El método presentado por Li y Wang es un cálculo de similitud de curvas en el cual una comparación de una curva trazada y al menos una curva de referencia comprende la medición de la diferencia de temperatura durante tiempos predeterminados y la comparación de la forma de la curva de dichas curvas y ponderando las diferencias obtenidas por dicha comparación con el fin de presentar un valor de la diferencia Ω en el que se basa la predicción de dicha nodularidad. Sin embargo, el método no toma en consideración que puede haber variaciones en a) la temperatura inicial (vertido) de la masa fundida, b) la relación de llenado de la copa térmica, y c) el equivalente en carbono entre las dos fundiciones que se comparan entre sí (el equivalente en carbono de la masa fundida se expresa como $CE = C + Si/4 + P/2$ o, como alternativa, $CE = C + (Si+P)/3$, donde C es el % en masa de carbono, P es el % en masa de fósforo). Sin embargo, los presentes inventores se han dado cuenta de que, debido a dichas variaciones, también las curvas que, según se analizan con el método de Li y Wang, tienen un Ω algo diferente pueden dar lugar a fundiciones de nodularidad muy similar o casi idéntica.

Sun et al., "Controlling melt quality of compacted graphite iron", Materials Science and Engineering A: Structural materials: Properties, Microstructure & Processing, Lausanne, CH, vol. 455, no. 1-2, 14 de julio de 2007, páginas 1-8, ISSN: 0921-5093, describe otro método para controlar una calidad de la colada.

25 EL OBJETO DE LA INVENCIÓN

Un objeto de la presente invención es presentar un método alternativo para analizar una masa fundida de hierro por medio del cual se obtiene una predicción mejorada de la nodularidad de la masa fundida moldeada comparada con la de la técnica anterior, así como un método alternativo de producir hierro al grafito compactado con la ayuda de dicho método de análisis.

RESUMEN DE LA INVENCIÓN

35 De acuerdo con un primer aspecto de la invención, el objeto de la invención se alcanza mediante el método inicialmente definido para analizar una masa fundida de hierro, caracterizado porque dicha comparación sobre la que se predice la nodularidad se realiza a lo largo de cada una de dichas curvas para un intervalo de tiempo t_1 - t_2 corresponde a un intervalo de temperatura T_1 - T_2 , donde T_1 está en el intervalo de $T_{\text{Inicio}}-T_{\text{Emin}}$, donde T_{Inicio} es la temperatura de inicio de la formación de grafito en la masa fundida y T_{Emin} es una temperatura mínima antes del inicio de la recalcencia eutéctica en la masa fundida, T_2 está en el intervalo de $T_{\text{solidificación}}-(T_{\text{solidificación}}-20^\circ\text{C})$, y que otros intervalos de tiempo en dichas curvas son excluidos de dicha comparación. Se ha encontrado que es el intervalo dado de t_1 - t_2 que produce una contribución significativa al análisis y que otras regiones de las curvas fuera de dicho intervalo pueden, debido a diferencias en el equivalente de carbono entre la masa fundida analizada y la masa fundida de referencia, proporcionan una contribución importante al valor de Ω calculado que, sin embargo, es menos importante para la nodularidad de lo que se esperaba anteriormente. Al eliminar dichos intervalos adicionales del análisis, se toma por tanto en consideración el efecto de diferentes equivalentes de carbono y se excluyen por lo tanto del análisis las diferencias en un Ω calculado que son debidas a tales diferencias.

De acuerdo con una realización de la invención, cualquiera de dichas curvas se multiplica con un factor de tiempo de tal manera que la longitud de las curvas expresada como t_2 menos t_1 se convierte en la misma. Debido a las diferencias en las condiciones del vaciado, típicamente las diferencias en la relación de llenado de la copa térmica, el tiempo total desde el inicio de la colada hasta su terminación, cuando la masa fundida se ha solidificado y alcanzado cierta temperatura, puede variar entre la masa fundida analizada y la masa fundida de referencia y por lo tanto contribuye a un valor de Ω incorrectamente elevado que no es representativo de las diferencias verdaderas entre las dos coladas. Por medio de la medición sugerida por la presente memoria, se elimina por lo tanto la contribución al valor de Ω causada por diferentes condiciones de vaciado, o al menos se suprime.

En consecuencia, se compensan las variaciones en el equivalente de carbono, así como en la relación de llenado de la copa térmica, en el análisis, y se evitan efectos perjudiciales sobre un valor de Ω calculado causado por tales variaciones.

Según una realización de la invención T_2 está en el intervalo de $T_{\text{solidificación}}-(T_{\text{solidificación}}-10^\circ\text{C})$, y de acuerdo con una realización preferida, T_2 es $T_{\text{solidificación}}$. Se ha encontrado que la contribución al valor de Ω a partir de las diferencias entre los diferentes vaciados para el intervalo de tiempo después de que $T_{\text{solidificación}}$ ha sido alcanzado no produce ninguna mejora particular del resultado del análisis, sino que puede tener un impacto negativo sobre el mismo. Por lo tanto, se prefiere no basar el análisis en partes de las curvas trazadas que reflejen el tiempo después de que se

haya alcanzado $T_{\text{solidificación}}$.

De acuerdo con una realización, T_1 es T_{Emin} . La ventaja de elegir este punto como punto de partida del intervalo de comparación es que es razonablemente fácil de detectar en la curva trazada y que, hasta ese momento, las posibles diferencias entre la curva trazada de la masa fundida analizada y de cualquier masa fundida de referencia es de menor importancia para la predicción de la nodularidad, como ya se ha descrito anteriormente.

De acuerdo con otra realización más, T_1 es T_{Einicio} . Cabe mencionar que T_{Einicio} es en realidad muy cercana de T_{Emin} como se observa a lo largo del eje del tiempo en la curva trazada. Por lo tanto, el efecto técnico en términos de supresión del efecto de las variaciones en el equivalente de carbono no es tan diferente de aquel que tiene T_{Emin} como punto de partida. Del mismo modo que T_{Emin} , también T_{Einicio} tiene la ventaja de ser relativamente fácil de detectar en una típica curva de análisis térmico para una fundición colada. T_{Einicio} está definida por un mínimo local en la derivada de primer orden de la temperatura, y por la derivada de segundo orden de la misma que es cero, es decir definiendo un punto de inflexión. Mediante datos adaptados a los polinomios, este punto de inflexión es relativamente fácil de detectar.

De acuerdo con una realización de la invención, cualquiera entre dicha curva graficada y dicha curva de referencia se desplaza a lo largo de su eje de tiempo de tal manera que t_1 es igual para las dos curvas. En otras palabras, el desplazamiento de al menos una de las curvas a lo largo del eje de tiempo se realiza de modo que t_1 de la curva de referencia se sitúa en la misma posición a lo largo del eje de tiempo como t_1 de la curva trazada (y analizada). Por lo tanto, se tiene en cuenta el hecho de que puede haber diferencias en la temperatura inicial (de vertido) de la masa fundida analizada y la masa fundida de referencia, y que el tiempo en que ocurre la T_{Emin} o T_{Einicio} para la muestra respectiva podría ser diferente y que, inicialmente, t_1 de las curvas se desplazan por lo tanto una con respecto a la otra a lo largo del eje del tiempo. Preferiblemente, esta etapa debe ser tomada después del establecimiento del intervalo t_1 - t_2 mediante el cual las curvas de la masa fundida analizada y la masa fundida de referencia se adaptan entre sí de acuerdo con la enseñanza de la invención. Ventajosamente, esta etapa es seguida por la etapa en la que cualquiera de dichas curvas se multiplica por un factor de tiempo de tal forma que la longitud de las curvas expresadas como t_2 menos t_1 se convierte en la misma.

De acuerdo con una realización de la invención, dicha curva graficada se compara con una pluralidad de curvas de referencia diferentes para fundiciones de diferente nodularidad final, y se elige la nodularidad pronosticada para ser la nodularidad conocida de la curva de referencia que se define como menos diferente de la curva trazada. Esta técnica es ventajosa en aquellos casos en los que hay un gran número de curvas de referencia con las que hacer comparación, de tal manera que existe una buena probabilidad de encontrar una curva que sea muy similar a la de la masa fundida analizada. La determinación real de la diferencia entre las curvas puede ser cualquiera que sea adecuada para su implementación en un programa informático. Puede ser, alternativamente, una determinación ocular, preferentemente realizada por cualquier operador experimentado.

De acuerdo con una realización, la comparación de la curva trazada y al menos dicha curva de referencia comprende la medición de la diferencia de temperatura durante tiempos predeterminados y la comparación de la forma de la curva de dichas curvas, y ponderar las diferencias obtenidas por dicha comparación con el fin de presentar un valor de la diferencia Ω en el que se basa la predicción de dicha nodularidad.

De acuerdo con una realización, dicha masa fundida consiste en, % en masa:

C	3,0-4,0	preferiblemente 3,55-3,80
Si	1,8-4,0	preferiblemente 1,9-2,2
Cu	0-1,0	preferiblemente 0,8-1,0
Mo	0-0,3	
Mn	0,3-0,5	
P	0-0,03	
S	0,006-0,015	
Sn	0,04-0,07	
Cr	0-0,10	
Ti	0-0,015	
Mg	0,005-0,020	preferiblemente 0,008-0,015
Ni	0-0,05	

el resto es Fe y las impurezas inevitables. Las coladas con dicha composición son ventajosas para el propósito de producir un hierro al grafito compactado con nodularidad y otras propiedades mecánicas que serán aceptables y ventajosas para muchas aplicaciones.

Preferiblemente, el equivalente en carbono de la masa fundida, expresado como $CE = C + Si/4 + P/2$ donde C es % en masa de carbono, Si % en masa de azufre y P es % en masa de fósforo, está en el intervalo de 4,0-4,4%.

El objeto de la invención se alcanza también por medio del método definido inicialmente para producir un hierro al

grafito compactado, que se caracteriza porque el contenido de un agente que afecta a la nodularidad en una parte restante de dicha masa fundida, que no ha sido aún vaciada, se altera como respuesta a la nodularidad predicha que está fuera de un intervalo predeterminado, o que el contenido de un agente que afecta a la nodularidad en una segunda masa fundida, cuyas características corresponden a las características de la masa fundida moldeada en cuanto a la composición, la temperatura de la colada y los equivalentes de carbono, se altera como respuesta a que la nodularidad predicha esté fuera de un intervalo predeterminado. En otras palabras, se aprovecha el análisis de acuerdo con la presente invención en un proceso de producción, en el que el contenido de un agente que afecta a la nodularidad en una masa fundida se controla con base en la predicción de nodularidad para la masa fundida sobre la que se realiza el análisis. El término "afectar a la nodularidad" también podría denominarse "afectación de la vermicularidad".

Preferiblemente, el contenido de dicho agente que afecta a la nodularidad en dicha parte restante de la masa fundida o en dicha segunda masa fundida se altera hasta un nivel tal que una nodularidad predicha de la masa fundida, que comprende ahora dicho contenido alterado del agente que afecta a la nodularidad, está dentro de dicho intervalo predeterminado: la cantidad de agente que afecta a la nodularidad que se va a añadir a la masa fundida puede decidirse con base en los datos previos de masas fundidas de referencia adicionales o por medio de cualquier método de cálculo adecuado mediante el cual se predice la cantidad deseada. Posiblemente, o incluso preferiblemente, se lleva a cabo una nueva colada de ensayo y un análisis térmico de acuerdo con la enseñanza de la presente invención después de la adición de dicho agente que afecta a la nodularidad para establecer si se ha obtenido la nodularidad solicitada dentro de dicho intervalo predeterminado. Si es necesario, se realiza un ajuste adicional de dicho agente que afecta a la nodularidad, seguido por una prueba de colada y análisis, hasta que se obtiene una nodularidad predicha dentro de dicho intervalo.

De acuerdo con una realización, dicho agente que afecta a la nodularidad es magnesio, Mg. Otros agentes posibles cuyo contenido podría alterarse como respuesta al resultado de la predicción de nodularidad son cerio, calcio y/o titanio. Normalmente, el agente de nodularidad se añade con el fin de aumentar la nodularidad. Sin embargo, si la nodularidad es demasiado alta, podría añadirse un agente que afecta a la nodularidad que suprime la generación de nódulos o contrarresta el efecto que afecta a la nodularidad, por ejemplo, Mg.

De acuerdo con otra realización más, la cantidad de Mg en dicha masa fundida se incrementa si la nodularidad está por debajo de un valor umbral predeterminado.

La invención también se refiere a un programa informático que comprende medios de código de programa para realizar todas las etapas del método de análisis inventivo cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador.

La invención se refiere también a un producto de un programa informático que comprende medios de código de programa almacenados en un medio legible por un ordenador para realizar todas las etapas del método de análisis inventivo cuando dicho producto informático se ejecuta en un ordenador.

Además, la invención se refiere también a un sistema informático para implementar el método de análisis de la invención, que comprende un procesador que puede ser operado para ejecutar un programa informático de acuerdo con la invención.

Otras características y ventajas de la presente invención se presentarán en la siguiente descripción detallada de una realización de la misma.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

A continuación, se describirá con mayor detalle una realización de la presente invención con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es un diagrama esquemático que presenta la nodularidad frente al contenido del agente que afecta a la nodularidad, típicamente Mg,

La figura 2 es un diagrama que muestra el principio para el reconocimiento de la forma de las curvas de enfriamiento de acuerdo con la enseñanza de la técnica anterior.

La figura 3 muestra dos curvas de enfriamiento con temperaturas iniciales diferentes que conducen a diferentes tiempos de solidificación total.

La figura 4 muestra dos coladas con diferentes equivalentes de carbono que conducen a diferentes temperaturas de licuefacción (T).

La figura 5 es un diagrama que muestra los principios básicos del método de análisis de la presente invención.

La figura 6 es un diagrama que muestra los resultados de los análisis para diferentes coladas, para las cuales se representa la nodularidad frente a Ω calculada con respecto a una masa fundida de referencia.

5 La figura 7 es una representación esquemática de la forma de las muestras de prueba de hierro moldeado.

La figura 8 es un diagrama que muestra la comparación de dos curvas de acuerdo con una realización de la presente invención.

10 La figura 9 es otro diagrama que muestra la comparación de dos curvas de acuerdo con otra realización de la presente invención.

La figura 10 es un diagrama que muestra la comparación de dos curvas, y

15 La figura 11 es un diagrama que muestra la comparación de dos curvas sin que se hayan aplicado las etapas esenciales de la invención.

DESCRIPCION DETALLADA DE LA INVENCION

20 La Figura 1 es un diagrama que muestra los principios de cómo el contenido de un agente específico que afecta a la nodularidad (denominados elementos de modificación en la figura 1), típicamente magnesio, afecta a la microestructura de una fundición colada en la que dicho agente forma un elemento de aleación. FG significa grafito en escamas, CG significa grafito compactado y SG significa grafito esferoidal. La microestructura de planchas de grafito compactadas se expresa en términos del porcentaje de nodularidad. De acuerdo con una realización preferida de la presente invención, para la optimización simultánea de las propiedades mecánicas, la moldeabilidad, la maquinabilidad y la conductividad térmica, el grafito debe controlarse dentro del intervalo de especificación de la nodularidad del 0-30%, preferiblemente dentro del intervalo de especificación de la nodularidad del 0-20% (más del 80% de las partículas de grafito deben estar en la forma compacta/vermicular), en todas las secciones de desempeño crítico de una colada. De acuerdo con la presente invención, no se permite grafito en escamas. Para el ejemplo particular de una fundición en la que se usa magnesio como agente único o al menos predominante para afectar la nodularidad, el intervalo efectivo de magnesio dentro del cual se obtiene 0-20% de la nodularidad es bastante estrecho, típicamente en el intervalo de 0,008-0,014% en masa de Mg.

35 De acuerdo con el concepto general de la presente invención, se sugiere un método para analizar una masa fundida de hierro para producir hierro al grafito compactado, que comprende las etapas de: recibir datos térmicos procedentes del enfriamiento de una masa fundida colada que comprende una cantidad predeterminada de carbono, magnesio, el resto es hierro e impurezas inevitables; representar gráficamente la temperatura de la masa fundida moldeada frente al tiempo de tal manera que se genere una curva de tiempo-temperatura, y, comparar la curva graficada generada con al menos una curva de referencia, representando dicha curva de referencia un análisis térmico correspondiente de otra masa fundida, cuya nodularidad resultante es conocida, con el propósito de predecir la nodularidad de la masa fundida moldeada con base en la diferencia entre dichas curvas. Preferiblemente, el método de análisis se aplica en un método para producir hierro al grafito compactado, que comprende las etapas de: proporcionar una masa fundida que comprende una cantidad predeterminada de carbono, magnesio, el resto es hierro e impurezas inevitables; moldear al menos una parte de la masa fundida en un molde, y; realizar un análisis térmico sobre la masa fundida moldeada durante el enfriamiento de la misma de acuerdo con la invención, en el que se altera el contenido de un agente que afecta a la nodularidad en una parte restante de dicha masa fundida, que todavía no se ha fundido, como respuesta a la nodularidad pronosticada que está fuera de un intervalo predeterminado, o en el que el contenido de un agente que afecta a la nodularidad en una segunda masa fundida, cuyas características corresponden a las características de la masa fundida moldeada en cuanto a composición, temperaturas de moldeado y equivalente en carbono, se altera como respuesta a la nodularidad predicha está fuera de un intervalo predeterminado.

55 El método de análisis de la invención se basa en el supuesto de que dos coladas con curvas de enfriamiento idénticas, es decir, curvas en las que la temperatura de la masa fundida moldeada se representa en función del tiempo, y la composición de la masa fundida también dará lugar a microestructuras idénticas. La figura 2 es una representación de un cálculo de similitud de curvas en el que una comparación de una curva trazada y al menos una curva de referencia comprende la medición de la diferencia de temperatura para tiempos predeterminados (incrementos) y la comparación de la forma de la curva de dichas curvas, y ponderando ambas diferencias obtenidas con el fin de presentar un valor de la diferencia Ω en el que se basa la predicción de dicha nodularidad. De acuerdo con una realización de la presente invención, estos principios se aplican para el cálculo de un valor de la diferencia Ω para la predicción de la nodularidad de una masa fundida de ensayo. Sin embargo, tal como se describirá más adelante, la presente invención difiere de la técnica anterior porque sugiere ajustes específicos de las curvas en las que se realiza dicho método de análisis.

65 En la figura 2, t_s es el tiempo de inicio del vaciado, t_f representa la final del vaciado, por ejemplo, cuando ha transcurrido un tiempo dado desde el comienzo del vaciado y las temperaturas de la curva respectiva indican que

ambos vaciados han alcanzado la temperatura de solidificación y están por lo tanto en un estado completamente solidificado. T es temperatura.

5 De las curvas comparadas en la figura 2, la diferencia de temperatura total S entre las dos curvas se calcula como sigue:

$$S = \left[\frac{\sum (\Delta T_i - \Delta T)^2}{n-1} \right]^{1/2}$$

en donde

10

$$\Delta T_i = T_i - T'_i$$

y

15

$$\Delta T = (\sum \Delta T_i) / n$$

y en donde

20

i es el paso del tiempo, normalmente un entero de 1 a *n*

n es el número total de etapas

T_i es la temperatura de fusión de la curva analizada en el tiempo *t_i*

T'_i es la temperatura de fusión de la curva de referencia en el tiempo *t_i*.

25

Finalmente, se calcula el valor de la diferencia Ω de acuerdo con la siguiente fórmula, denominada fórmula I a continuación.

$$\Omega = \left[\frac{\sum \Delta T_i}{n} \right] + S$$

30

El valor obtenido de la diferencia Ω se utiliza para predecir la nodularidad de la masa fundida de prueba. Preferentemente, se usan una pluralidad de curvas de referencia, que representan las masas fundidas con la nodularidad resultante tanto dentro como fuera de un intervalo predeterminado requerido, para comparación con la masa fundida de ensayo. Cuando Ω se aproxima a cero con respecto a cualquiera de dichas curvas de referencia, se espera que la nodularidad de la masa fundida de ensayo sea aproximadamente la nodularidad de dicha masa fundida de referencia. Esto se puede observar en la figura 6, que muestra los resultados de los análisis para diferentes masas fundidas, para las cuales la nodularidad se representa frente a Ω calculado con respecto a una masa fundida de referencia.

35

40

Sin embargo, de acuerdo con la técnica anterior, el método descrito anteriormente no tiene en cuenta que puede haber variaciones en a) la temperatura inicial (vertido) de la masa fundida, b) la relación térmica de llenado de la copa, y c) el equivalente de carbono entre las dos piezas fundidas que se comparan entre sí. La figura 3 es una representación de dos curvas de enfriamiento, denominadas TC1 y TC2, con temperaturas iniciales diferentes que conducen a diferentes tiempos de solidificación total y la figura 4 es una representación de dos masas fundidas, cuyas curvas de enfriamiento se denominan TC1 y TC3, con diferentes equivalentes de carbono que conducen a diferentes temperaturas de licuefacción (TL). Si las curvas no se ajustan con respecto a estas diferencias, el valor de la diferencia Ω se volverá excesivamente alto y, por lo tanto, no será representativo de la nodularidad real de la masa fundida de ensayo. Esto explica el hecho de que en la figura 6, que representa predicciones de nodularidad de acuerdo con la técnica anterior, hay una pluralidad de ejemplos en los que la diferencia en nodularidad es en realidad muy pequeña, aunque el valor de la diferencia Ω es bastante alto. Los inventores se han dado cuenta de que hay partes de las curvas que son menos relevantes para la diferencia real en la nodularidad entre una masa fundida de referencia y una masa fundida de ensayo.

45

50

Por lo tanto, de acuerdo con una realización preferida de la presente invención, representada a modo de ejemplo en la figura 5, se sugiere que se tomen las siguientes medidas antes de realizar el cálculo del valor de la diferencia Ω de acuerdo con el principio anterior:

55

60

1. Las curvas se cortan en *t₁* que, de acuerdo con una realización preferida, es igual a *T_{Emin}*, donde *T_{Emin}* es la temperatura mínima antes del inicio de recalcancia en la masa fundida. La *T_{Emin}* es relativamente fácil de detectar por parte de una persona experta en la técnica. Alternativamente, *t₁* es igual a *T_{Einicio}*, que es la temperatura de inicio de formación de grafito en la masa fundida. También *T_{Einicio}* es relativamente fácil de detectar para una persona experta en la técnica. El intervalo de tiempo que va de *t₂* a *t₁* queda así excluido de la comparación subsiguiente de

las dos curvas por medio del método de cálculo definido anteriormente del valor de la diferencia Ω . Además de cortar las curvas en t_1 , estas últimas también se cortan en t_2 , lo que corresponde al tiempo en el que la curva respectiva alcanza una temperatura T_2 que es aproximadamente $T_{\text{solidificación}}$. El intervalo de tiempo que va desde t_2 hasta el final del análisis térmico, que puede ser la temperatura ambiente dependiendo de cuánto tiempo se ha permitido que el trazado de temperatura avance, se excluye por lo tanto de la comparación posterior de las dos curvas por medio del método de cálculo definido anteriormente del valor de la diferencia Ω .

2. Desplazar una de las curvas a lo largo del eje de tiempo de modo que la temperatura en t_1 sea aproximadamente la misma (se sitúa en el mismo lugar a lo largo del eje de tiempo de las curvas) para las dos curvas que se van a comparar. De este modo, se hace una compensación para posibles temperaturas iniciales diferentes presentadas por las curvas originales no ajustadas.

3. Extender cualquiera de las curvas restantes (que ahora se extienden de t_1 a t_2) de manera que la longitud de las curvas expresadas como t_2 menos t_1 se convierta en la misma. El estiramiento se realiza multiplicando cualquiera de las curvas por un factor tal que dicha longitud se convierta en la misma. De este modo, se compensan las diferencias en las condiciones de colada, en particular la relación de llenado de la copa térmica.

Después de que se han realizado los ajustes anteriores de las curvas, se comparan las curvas de acuerdo con el principio descrito anteriormente con referencia a la figura 2. De esta manera, la curva trazada se compara con una pluralidad de curvas de referencia diferentes para masas fundidas de nodularidad final diferente (y conocida), y se elige la nodularidad predicha por ser la nodularidad conocida de la curva de referencia que se define como la menos diferente de la curva trazada, es decir, la curva para la cual el valor de la diferencia Ω es el más bajo.

De acuerdo con una realización de la invención, el análisis y la predicción anteriores de la nodularidad para una masa fundida específica forma parte de un método para producir hierro al grafito compactado. De acuerdo con una realización de la invención, dicho método comprende las etapas de proporcionar una masa fundida que comprende una cantidad predeterminada de carbono, magnesio, el resto es hierro e impurezas inevitables, moldear al menos una parte de la masa fundida en un molde y realizar un análisis térmico en la masa fundida moldeada durante su enfriamiento y predecir su nodularidad de acuerdo con la enseñanza descrita anteriormente. A continuación, se altea el contenido de un agente que afecta a la nodularidad en una parte restante de dicha masa fundida, que no se ha fundido todavía, como respuesta a la nodularidad pronosticada que está fuera de un intervalo predeterminado, siendo dicho intervalo preferentemente 0-30% de nodularidad, y aún más preferiblemente 0-20% de nodularidad, de acuerdo con la enseñanza anterior (en la que la nodularidad se estima preferiblemente de acuerdo con la norma ISO 16112: 2006, apéndice B). Alternativamente, se altera el contenido de un agente que afecta a la nodularidad en una segunda masa fundida, cuyas características corresponden a las características de la masa fundida moldeada en cuanto a composición, temperatura de la colada y equivalente de carbono, como respuesta a que la nodularidad predicha esté fuera de dicho intervalo predeterminado (0-30% de nodularidad o 0-20% de nodularidad). Preferiblemente, el agente que afecta la nodularidad cuyo contenido se altera es magnesio. Si se predice una nodularidad insuficiente, es decir, una cantidad insuficiente de grafito vermicular, se añade magnesio a la masa fundida para obtener suficiente nodularidad. Puede llevarse a cabo otra colada de ensayo y analizarla de acuerdo con el método definido anteriormente de acuerdo con la invención para asegurarse de que la masa fundida con su contenido ajustado del agente que afecta a la nodularidad tendrá una nodularidad predicha dentro de dicho intervalo predeterminado. El grado de aumento del agente que afecta a la nodularidad se hace sobre la base de un conocimiento previo respecto a cuánto efecto tendrá sobre la nodularidad una cierta adición del mismo.

De acuerdo con una realización preferida de la invención, dicha masa fundida consiste, en % en masa, en:

C	3,0-4,0	preferiblemente 3,55-3,80
Si	1,8-4,0	preferiblemente 1,9-2,2
Cu	0-1,0	preferiblemente 0,8-1,0
Mo	0-0,3	
Mn	0,3-0,5	
P	0-0,03	
S	0,006-0,015	
Sn	0,04-0,07	
Cr	0-0,10	
Ti	0-0,015	
Mg	0,005-0,020	preferiblemente 0,008-0,015
Ni	0-0,05	

el resto es Fe y las impurezas inevitables. El equivalente de carbono de la masa fundida, expresado como $CE = C + Si/4 + P/2$, donde C es % en masa de carbono, Si es % en masa de azufre y P es % en masa de fósforo, está en el intervalo de 4,0-4,4%. Preferiblemente, pero no necesariamente, también la masa fundida sobre cuya base se presenta una curva de referencia y con la que se compara la masa fundida de acuerdo con la enseñanza de la invención tiene una composición dentro de los intervalos definidos anteriormente.

EJEMPLOS

5 Se prepararon coladas con las composiciones de acuerdo con la Tabla 1 (en % en masa) en un horno de inducción de tipo de frecuencia media con una capacidad de fundición de 4 toneladas. Las coladas se inocularon con 0,1 % de Inobar y 0,02% de RE (tierra rara). La composición de la masa fundida respectiva se midió por medio de un espectrómetro. C_{ekv} es el equivalente de carbono de la respectiva masa fundida, expresada como CE = % de C + % de Si/4 + % de P/2.

Tabla 1

Ensayo No.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn	Ti	Mg	C _{ekv}
1	3,67	2,20	0,38	0,005	0,009	0,03	0,02	0,01	0,96	0,059	0,02	0,009	4,22

10

(continuación)

Ensayo No.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn	Ti	Mg	C _{ekv}
2	3,80	2,28	0,36	0,006	0,010	0,03	0,02	0,01	0,91	0,056	0,022	0,010	4,37
3	3,61	2,22	0,36	0,005	0,008	0,03	0,02	0,01	0,92	0,061	0,022	0,009	4,17
4	3,72	2,22	0,40	0,005	0,011	0,03	0,02	0,01	0,96	0,059	0,02	0,010	4,27
5	3,59	2,25	0,35	0,005	0,011	0,03	0,02	0,01	0,94	0,062	0,02	0,009	4,15
6	3,62	2,23	0,38	0,006	0,010	0,04	0,02	0,01	0,94	0,059	0,02	0,009	4,18
7	3,69	2,23	0,37	0,006	0,009	0,03	0,02	0,01	0,96	0,061	0,02	0,012	4,25
8	3,65	2,26	0,38	0,006	0,010	0,04	0,02	0,01	0,93	0,060	0,023	0,012	4,21
9	3,68	2,26	0,38	0,006	0,010	0,04	0,02	0,01	0,93	0,060	0,022	0,012	4,21
11	3,71	2,02	0,38	0,007	0,011	0,04	0,02	0,01	0,89	0,047	0,014	0,009	4,21
12	3,70	2,02	0,41	0,008	0,011	0,04	0,02	0,01	0,88	0,048	0,015	0,009	4,21
13	3,64	2,04	0,42	0,007	0,011	0,04	0,02	0,01	0,87	0,048	0,015	0,008	4,15
14	3,67	1,98	0,38	0,007	0,009	0,04	0,02	0,01	0,88	0,048	0,014	0,007	4,16
15	3,69	2,05	0,41	0,008	0,010	0,04	0,02	0,01	0,88	0,048	0,015	0,010	9,20
16	3,67	2,04	0,40	0,008	0,010	0,04	0,02	0,01	0,88	0,048	0,015	0,009	4,15
21	3,74	2,10	0,36	0,005	0,008	0,03	0,03	0,01	0,87	0,043	0,009	0,012	4,26
22	3,66	2,08	0,36	0,005	0,008	0,03	0,03	0,01	0,87	0,041	0,009	0,010	4,18
23	3,76	1,93	0,33	0,005	0,009	0,03	0,03	0,01	0,86	0,036	0,008	0,004	4,24
24	3,70	1,97	0,36	0,005	0,009	0,03	0,03	0,01	0,87	0,041	0,009	0,004	4,19
25	3,73	2,10	0,36	0,02	0,010	0,05	0,02	0,01	0,82	0,041	0,010	0,015	4,25
26	3,75	2,13	0,36	0,005	0,010	0,03	0,03	0,01	0,86	0,040	0,009	0,014	4,28
31	3,78	2,24	0,42	0,005	0,011	0,03	0,03	0,01	0,87	0,050	0,010	0,021	4,31
33	3,72	2,02	0,39	0,005	0,011	0,03	0,03	0,01	0,88	0,051	0,008	0,005	4,22
34	3,69	2,03	0,38	0,005	0,011	0,03	0,03	0,01	0,88	0,049	0,008	0,005	4,20
35	3,76	2,04	0,38	0,005	0,010	0,03	0,03	0,01	0,89	0,051	0,008	0,008	4,27
41	3,72	2,04	0,38	0,005	0,009	0,03	0,03	0,01	0,88	0,073	0,010	0,008	4,23

15

Las muestras de las fundiciones experimentales presentadas en la Tabla 1 se produjeron moldeando la respectiva masa fundida en un molde con una cavidad de molde que dio como resultado muestras con geometría similar a una escalera, tal como se presenta en la Figura 7, con un espesor en el intervalo de 8-70 mm (desde la etapa más delgada hasta la etapa más gruesa).

20

Durante el enfriamiento de las masas fundidas moldeadas, se midió la temperatura de las mismas en función del tiempo por medio de termopares de tipo K (QuiK-Cup (fabricante Heraeus Electro-Nite)) y se representaron gráficamente. La velocidad de muestreo fue de 1 Hz, y las gráficas obtenidas se suavizaron mediante ajuste polinomial.

25

La nodularidad de cada muestra se estimó de acuerdo con la norma ISO 16112: 2006, apéndice B (método estándar para la estimación de la nodularidad).

30

Las muestras se compararon entre sí mediante la comparación de las gráficas tiempo-temperatura resultantes de las mismas y el cálculo del valor de Ω de acuerdo con las ecuaciones presentadas anteriormente, y de acuerdo con los principios de la presente invención, es decir, corte, desplazamiento y estiramiento de una de las dos curvas comparadas de acuerdo con las etapas 1, 2 y 3 anteriormente mencionadas mostradas en la Figura 5. El corte se realizó en T_{Emin} , así como en $T_{Einicio}$ con el propósito de comparar la diferencia resultante de la misma en el valor calculado de Ω . La comparación también se hace con una muestra sin la realización de ninguna de dichas etapas.

La figura 8 es una representación de una comparación de las muestras 11 y 14 (ambas con una nodularidad del 16%) mediante las cuales se realizó el corte, desplazamiento y estiramiento sobre las curvas de acuerdo con los

principios de la invención. El corte se realizó a T_{Emin} y $T_{Solidificación}$. Ω se calculó por medio de la fórmula I mencionada anteriormente. El valor de Ω resultante fue tan bajo como 1,3, indicando así que la diferencia en nodularidad es muy pequeña.

5 La figura 9 es una representación de una comparación de las muestras 11 y 14 que difiere de la presentada en la figura 8, en que T_1 es T_{Inicio} . El valor Ω resultante es 1,5. Por lo tanto, el valor de Ω es todavía relativamente bajo, indicando una nodularidad similar para las muestras comparadas, pero no tan bajo como para el caso representado por la figura 8. Como se puede suponer, un aumento del intervalo de comparación, que se obtiene cuando T_1 es T_{Inicio} en lugar de T_{Emin} resulta en un mayor valor de Ω . Sin embargo, la diferencia es relativamente pequeña, lo que
10 indica que cualquiera de T_{Inicio} o T_{Emin} se puede utilizar como T_1 .

La figura 10 es una representación de una comparación de las muestras 11, que tiene 16% de nodularidad, y 25, que tiene un 46% de nodularidad. Las gráficas se han manipulado por corte, desplazamiento y estiramiento de acuerdo con la enseñanza de la invención, en la que T_1 es T_{Emin} y T_2 es $T_{Solidificación}$. El valor resultante es tan alto como 5,6, que se compara con el correspondiente valor de Ω de 1,3 obtenido por la comparación de las muestras 11 y 14. De este modo, aunque las curvas trazadas han sido manipuladas de acuerdo con la enseñanza de la invención, en particular habiendo sido cortado para el intervalo restringido sometido a comparación, es obvio que las curvas manipuladas siguen siendo efectivas con el fin de identificar una diferencia en la nodularidad entre diferentes
15 muestras.

20 La Figura 11 es una representación de la comparación de las muestras 11 y 14, ambas con una nodularidad del 16%. La comparación difiere de la presentada en la figura 8 en el sentido de que no se ha aplicado ninguna de las etapas de manipulación de curvas de la presente invención. El valor de Ω resultante es tan alto como 72,1. Por lo tanto, es obvio que, en ausencia de las etapas 1, 2 y 3, como se sugiere por parte de la presente invención, se puede obtener también un valor de Ω muy alto para muestras que de hecho tienen la misma nodularidad.

25 La muestra 11 se comparó con una serie de las muestras adicionales presentadas en la Tabla 1 anterior. Se aplicaron las etapas 1, 2 y 3 de la presente invención y se calculó el valor de Ω para la muestra 11 de acuerdo con la fórmula I presentada anteriormente. Los resultados se presentan en la Tabla 2.

30

Tabla 2

Muestra No.	Ω	Nod (QuiK-Cup)
11	0,00	16
14	1,34	16
15	1,42	13
16	1,52	12
21	2,13	32
26	2,40	46
13	2,56	10
22	2,88	28
12	13,97	18
25	5,42	46
23	17,67	0
24	22,64	0

35 A partir de la Tabla 2 se puede concluir que la presente invención da como resultado 12 valores bajos cuando se compara la muestra 11 con muestras con la misma nodularidad que la muestra 11 o con nodularidad cercana a la nodularidad de la muestra 11, mientras que se obtuvieron valores más altos de Ω cuando se realizó una comparación con muestras con nodularidad significativamente diferente a la de la muestra 11. Por consiguiente, la presente invención permite una estimación bastante precisa de la nodularidad y da como resultado una estimación que no es errónea debido al factor que juegan las partes de las curvas comparadas que ahora han sido eliminadas por corte de acuerdo con la enseñanza de la presente invención, como podría ser el caso con la estimación
40 correspondiente de acuerdo con la técnica anterior. No obstante, la presente invención, aunque utiliza una parte reducida de los datos de enfriamiento comparados con la técnica anterior, da como resultado la detección de diferencias en la nodularidad entre las muestras comparadas.

45 Debe entenderse que los ejemplos anteriores sólo se presentan a modo de ejemplo y que el alcance de protección reivindicado no está limitado a los mismos, sino que está limitado por el alcance de la protección definida en las reivindicaciones adjuntas, apoyado en la descripción y en los dibujos adjuntos.

50

REIVINDICACIONES

1. Un método para analizar una masa fundida de hierro para producir hierro al grafito compactado, que comprende las etapas de
- 5 - recibir los datos térmicos procedentes del enfriamiento de una masa fundida colada que comprende una cantidad predeterminada de carbono, magnesio, el resto hierro e impurezas inevitables,
 - graficar la temperatura de la masa fundida moldeada contra el tiempo de tal manera que se genera una curva de tiempo-temperatura,
 10 - comparar la curva generada con al menos una curva de referencia, representando dicha curva de referencia un análisis térmico correspondiente de otra masa fundida, cuya nodularidad resultante es conocida, con el fin de predecir la nodularidad de la masa fundida moldeada sobre la base de la diferencia entre dichas curvas,
- 15 caracterizado porque dicha comparación sobre la que se predice la nodularidad se realiza a lo largo de cada una de dichas curvas durante un intervalo de tiempo t_1 - t_2 correspondiente a un intervalo de temperatura T_1 - T_2 , donde T_1 está en el intervalo de $T_{Einicio} - T_{Emin}$, donde $T_{Einicio}$ es la temperatura de inicio de la formación de grafito en la masa fundida y T_{Emin} es una temperatura mínima antes del inicio de la recalcencia eutéctica en la masa fundida y T_2 está en el intervalo de $T_{solidificación} - (T_{solidificación} - 20^{\circ}C)$ donde $T_{solidificación}$ es la temperatura de solidificación y que otros intervalos de tiempo en dichas curvas son excluidos de dicha comparación.
- 20 2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque cualquiera de dichas curvas se multiplica por un factor de tiempo de tal forma que la longitud de las curvas expresada como t_2 menos t_1 se convierte en la misma.
- 25 3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque T_2 está en el intervalo de $T_{solidificación} - (T_{solidificación} - 10^{\circ}C)$, o porque T_2 es $T_{solidificación}$.
4. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque T_1 es T_{Emin} .
- 30 5. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, caracterizado porque T_1 es $T_{Einicio}$.
6. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque cualquiera entre dicha curva graficada y dicha curva de referencia se desplaza a lo largo de su eje de tiempo de tal forma que t_1 es igual para las dos curvas.
- 35 7. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque dicha curva graficada se compara con una pluralidad de curvas de referencia diferentes para masas fundidas de diferente nodularidad final, y se elige la nodularidad predicha para ser la nodularidad conocida de la curva de referencia que se define como la menos diferente de la curva trazada.
- 40 8. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 6, caracterizado porque dicha comparación de la curva trazada y al menos dicha curva de referencia comprende la medición de la diferencia de temperatura durante tiempos predeterminados, y la comparación de la forma de la curva de dichas curvas, y la ponderación de ambas diferencias obtenidas por dicha comparación con el fin de presentar un valor de la diferencia Ω en el que se basa la predicción de dicha nodularidad.
- 45 9. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-8, caracterizado porque dicha masa fundida consiste, en % en masa, en:
- | | | |
|----|----|---------------|
| 50 | C | 3,0-4,0 |
| | Si | 1,8-4,0 |
| | Cu | 0 - 1,0 |
| | Mo | 0-0,3 |
| | Mn | 0,3-0,5 |
| | P | 0-0,03 |
| 55 | S | 0,006-0,015 |
| | Sn | 0,04-0,07 |
| | Cr | 0-0,10 |
| | Ti | 0-0,015 |
| | Mg | 0,005 - 0,020 |
| 60 | Ni | 0-0,05 |
- el resto es Fe e impurezas inevitables.
- 65 10. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el equivalente de carbono de la masa fundida, expresado como $CE = C + Si/4 + P/2$ donde C es % en masa de carbono, Si % en masa de azufre y P es % en masa de fósforo, está en el intervalo de 4,0-4,4%.

11. Un método para producir hierro al grafito compactado, que comprende las etapas de

- proporcionar una masa fundida que comprende una cantidad predeterminada de carbono, magnesio, el resto es hierro e impurezas inevitables,

5 - vaciar al menos una parte de la masa fundida en un molde, y

- realizar un análisis térmico sobre la masa fundida moldeada durante el enfriamiento de la misma de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 10, caracterizado porque

10 - el contenido de un agente que afecta a la nodularidad en una parte restante de dicha masa fundida, que todavía no se ha fundido, se altera como respuesta a la nodularidad predicha que está fuera de un intervalo predeterminado, o que

- el contenido de un agente que afecta a la nodularidad en una segunda masa fundida, cuyas características corresponden a las características de la masa fundida moldeada en cuanto a composición, temperatura de colada y equivalente de carbono, se altera como respuesta a que la nodularidad prevista está fuera de un intervalo predeterminado,

15 preferiblemente dicho agente que afecta a la nodularidad es magnesio, Mg, lo más preferido es que la cantidad de Mg en dicha masa fundida se incremente si la nodularidad está por debajo de un valor de umbral predeterminado.

20 12. Un método de acuerdo con la reivindicación 11, caracterizado porque el contenido de dicho agente que afecta a la nodularidad en dicha parte restante de la masa fundida o en dicha segunda masa fundida se altera hasta un nivel tal que una nodularidad pronosticada con base en dicho contenido alterado del agente que afecta la nodularidad está dentro de dicho intervalo predeterminado.

25 13. Un programa informático que comprende medios de código de programa para llevar a cabo todas las etapas de una cualquiera de las reivindicaciones 1-10 cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador.

30 14. Un producto informático que comprende medios de código de programa almacenados en un medio legible por ordenador para realizar todas las etapas de una cualquiera de las reivindicaciones 1-10 cuando dicho producto informático se ejecuta en un ordenador.

35 15. Un sistema informático para implementar el método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-10 que comprende un procesador que puede ser operado para ejecutar un programa informático de acuerdo con la reivindicación 13.

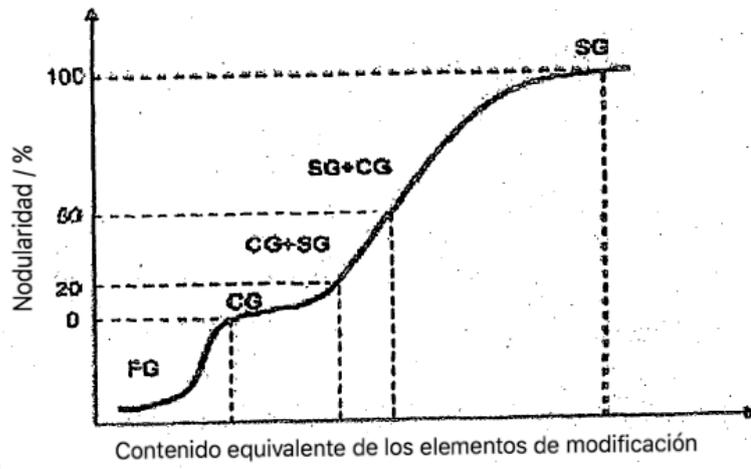


Fig. 1

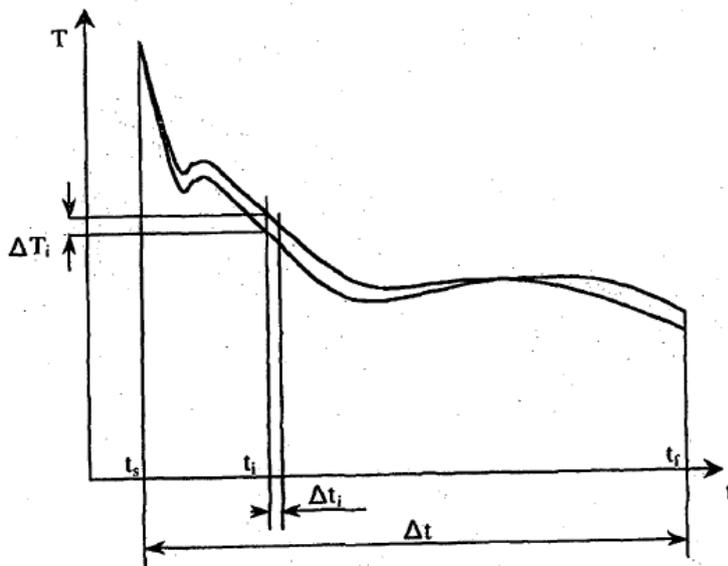


Fig. 2

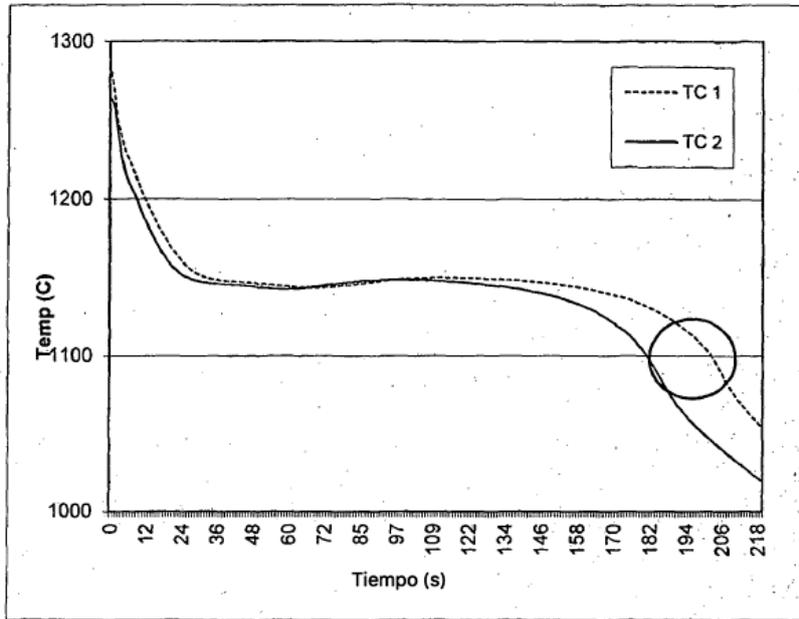


Fig. 3

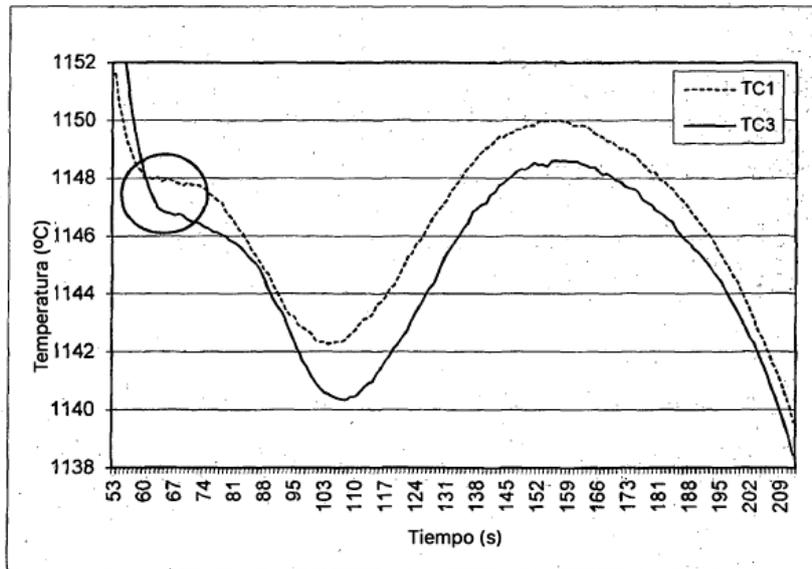


Fig. 4

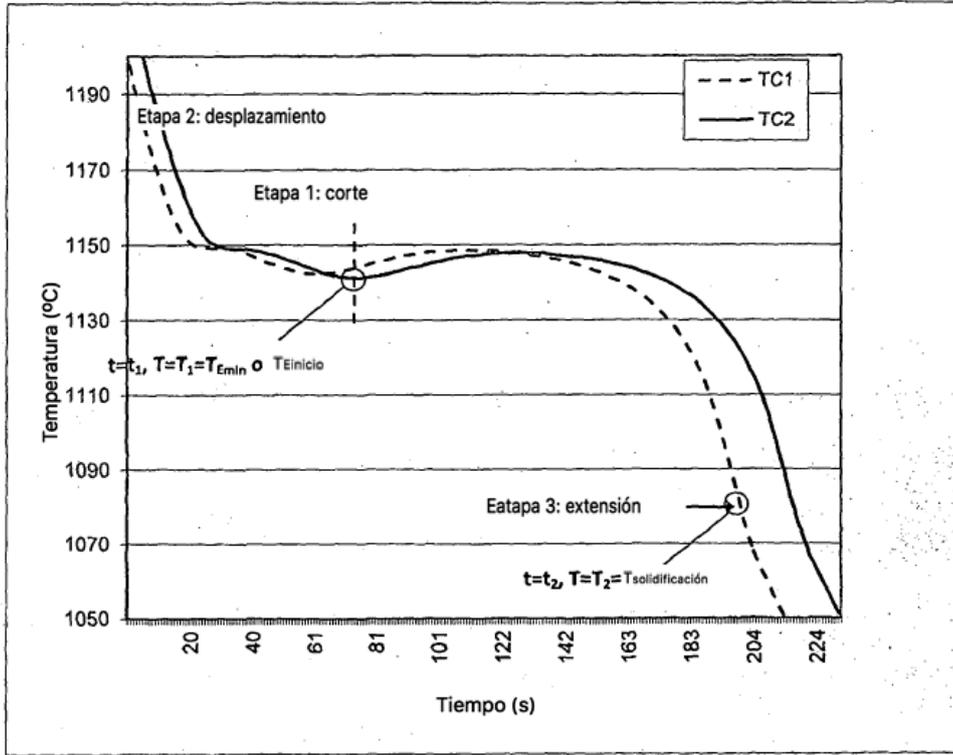


Fig. 5

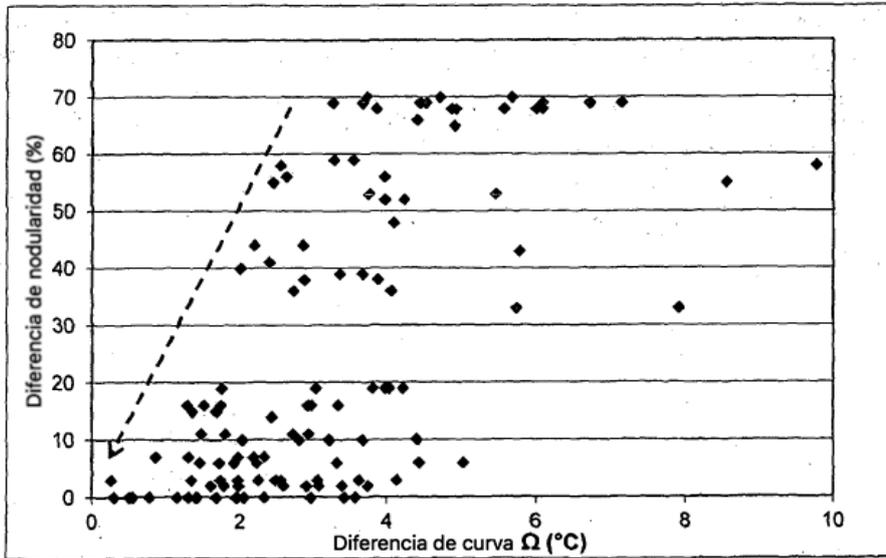


Fig. 6

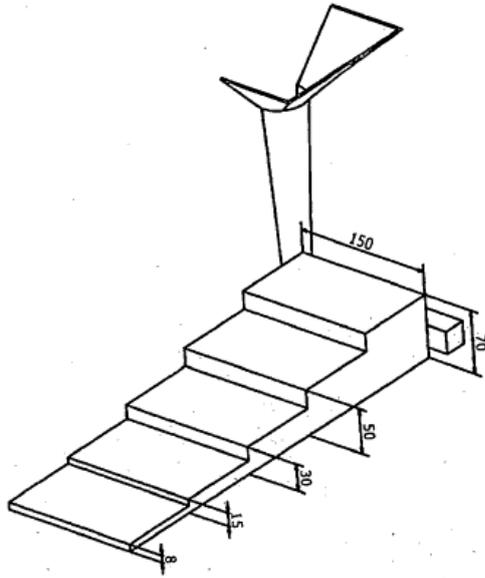


Fig. 7

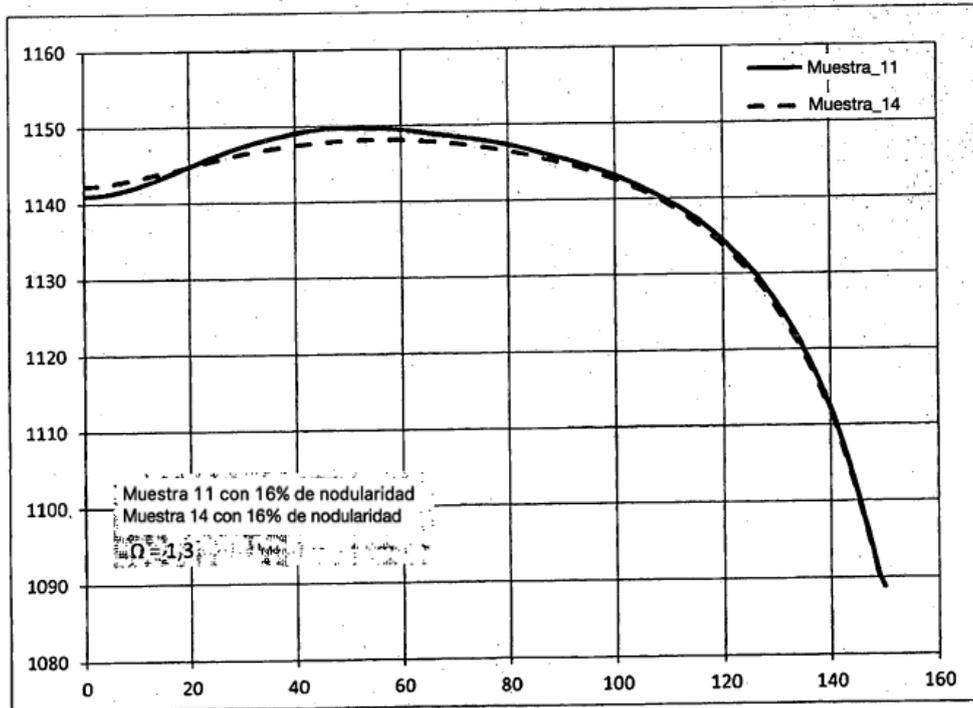


Fig. 8

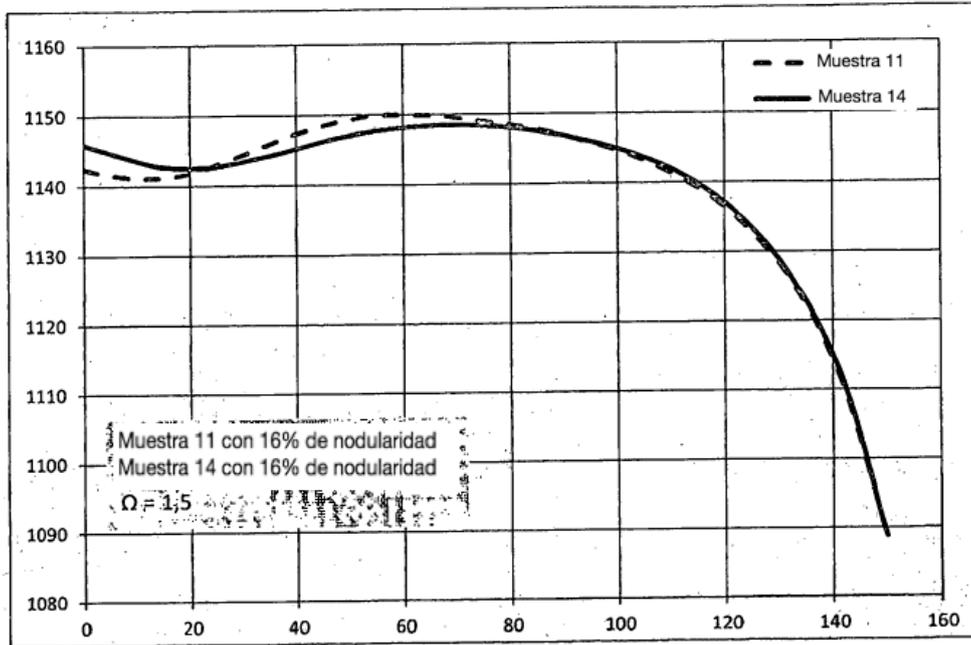


Fig. 9

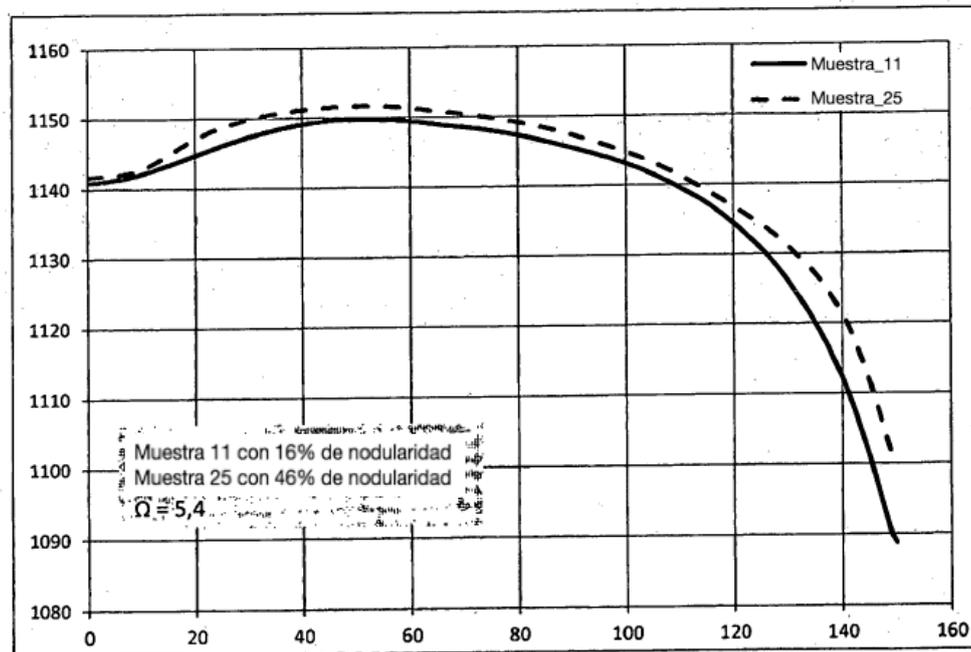


Fig. 10

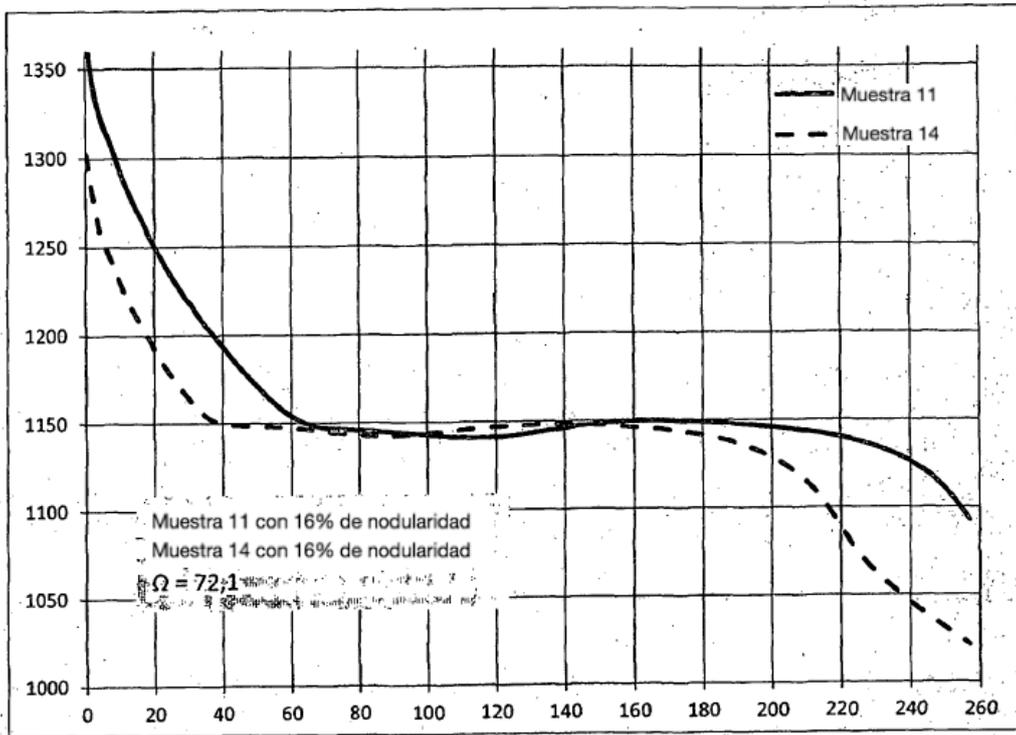


Fig. 11