



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 362 241**

② Número de solicitud: 201031959

⑤ Int. Cl.:
C22C 37/04 (2006.01)
C21C 1/10 (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

② Fecha de presentación: **27.12.2010**

④ Fecha de publicación de la solicitud: **30.06.2011**

④ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
30.06.2011

⑦ Solicitante/s: **FRENOS IRUÑA, S.A.L.**
Polígono Industrial Comarca 2 - c/ E, nº 9
31191 Barbatáin, Navarra, ES

⑦ Inventor/es: **Álvarez, Ignacio**

⑦ Agente: **Pons Ariño, Ángel**

⑤ Título: **Procedimiento de fabricación de piezas de fundición esferoidal.**

⑤ Resumen:

Procedimiento de fabricación de piezas de fundición esferoidal.

La presente invención se refiere a un procedimiento de fabricación de piezas de fundición esferoidal mediante el uso de moldes metálicos o permanentes.

Las propiedades mecánicas resultantes de las nuevas piezas, se consideran de gran interés debido, entre otros aspectos, al gran número de esferoides gráfiticos obtenidos en las piezas.

ES 2 362 241 A1

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de fabricación de piezas de fundición esferoidal.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de fabricación de piezas de fundición esferoidal mediante el uso de moldes metálicos o permanentes. Las propiedades mecánicas resultantes de las nuevas piezas, se consideran de gran interés debido, entre otros aspectos, al gran número de esferoides grafiticos obtenidos en las piezas.

Estado de la técnica anterior

10 La fabricación de piezas de fundición de hierro está orientada fundamentalmente a la obtención de materiales metálicos económicamente competitivos y con propiedades adecuadas a la funcionalidad de los componentes diseñados. En este último caso, parte de los esfuerzos de investigación actuales se orientan hacia la obtención de fundiciones grafiticas con propiedades optimizadas. El objetivo de estos "nuevos materiales de fundición" se centra en ofrecer una alternativa más económica a la utilización de los aceros u otras aleaciones especiales para la fabricación de piezas con altas prestaciones.

20 Dentro del campo de las fundiciones de hierro con grafito precipitado, la fundición esferoidal constituye uno de los materiales con más recorrido desde su descubrimiento en la década de los 50. En comparación con la fundición laminar o gris, la formación y posterior crecimiento de los grafitos bajo la forma esferoidal origina aumentos notables en las cargas de rotura, límites elásticos y, especialmente, en los alargamientos del material. Una combinación adecuada de estas tres propiedades mecánicas supone la obtención de materiales con un extenso campo de aplicación tecnológica.

25 De forma adicional, la formación masiva de esferoides grafiticos en el seno de la matriz metálica tiene consecuencias aún más interesantes. En estas condiciones, se favorece la difusión de los átomos de carbono [M. Wessén, I. Svensson, *Metall. Mat. Trans. A*, A27, **1996**, 2209-2220] hacia los numerosos esferoides disponibles durante el período de enfriamiento de la austenita (Fe- γ). En consecuencia, se obtienen las condiciones adecuadas para la formación y crecimiento de la ferrita (Fe- α) en la transformación sólido-sólido [J. Sertucha, R. Suárez, J. Izaga, L. A. Hurtado, J. Legazpi, *Int. J. Cast Met. Res.*, **2006**, 19, 315-322]. Esta fase estructural confiere al material un elevado grado de ductilidad y resistencia al impacto, exceptuando aquellos casos en los que los contenidos de Si y/o P son elevados [L. E. Björkegren, K. Hamberg, *Proc. Keith Millis Symposium on Ductile Cast Iron*, **2003**, I. Riposan, M. Chisamera, S. Stan, *Int. J. Cast Met. Res.*, 20, **2007**, 64-67].

35 Por otra parte, es bien conocida la influencia de las condiciones de enfriamiento sobre las características estructurales y, por tanto, las propiedades mecánicas de las fundiciones de hierro con grafito esferoidal [G. M. Goodrich, R. W. Lobenhofer, *AFS Trans.*, **2007**, 115, trabajo n° 07-045; B. V. Kovacs, *AFS Trans.*, **1981**, 89, 79-96].

40 En la gran mayoría de los procesos de fabricación actuales se utilizan moldes configurados con mezclas que contienen arena de sílice (SiO₂) como constituyente mayoritario.

Este material refractario se caracteriza por poseer una conductividad térmica comparativamente baja, lo que limita en gran medida la velocidad de enfriamiento de la aleación colada en el interior de este tipo de moldes.

45 Este tipo de técnica tiene las siguientes inconvenientes

- las operaciones de moldeo son más difíciles, el desmoldeo y obtención de piezas es lento.
- presencia de inclusiones de arena.
- 50 - baja densidad de esferoides por unidad de volumen de material (menor homogeneidad en las propiedades del material).
- debido a la baja velocidad de solidificación, son necesarias mayores adiciones de magnesio en los tratamientos para garantizar un correcto índice de esferoidización en el material.
- 55 - alto riesgo de contracción metálica.
- bajos rendimientos en los moldes (relación entre el metal de las piezas y el metal colado en el molde).
- 60 - existe la posibilidad de deformaciones en las huellas del molde por efecto de la presión metalostática (menores precisiones dimensionales en las piezas).
- necesidad de operaciones posteriores de acabado (rebabas) en las piezas.
- 65 - baja conductividad térmica del material y pobre maquinabilidad.

Es por todo ello que se hace necesario desarrollar nuevas metodologías para la obtención de piezas de fundición que mejoren las desventajas anteriormente enunciadas.

ES 2 362 241 A1

Descripción de la invención

La presente invención se refiere a un nuevo procedimiento de fabricación de piezas de fundición esferoidal, que resuelve todos los inconvenientes anteriormente citados, cuando se usan moldes configurados con mezclas que contienen arena de sílice (SiO_2) como constituyente mayoritario. Para ello se hace uso de moldes metálicos o “permanentes”. El uso de este nuevo tipo de moldes, hace que se consigan las siguientes ventajas:

- Mejor acabado superficial y mínima interacción molde-metal. Mayor facilidad en el proceso de limpieza superficial de las piezas.

- Facilidad en las operaciones de moldeo (sólo es necesario abrir y cerrar las coquillas además de efectuar su adecuado mantenimiento).

- Rapidez en el desmoldeo y obtención de las piezas.

- Ausencia de inclusiones de arena (el defecto más común en las fundiciones que usan moldes de arena).

- Elevada densidad de esferoides por unidad de volumen de material (mayor homogeneidad en las propiedades del material).

- Debido a la mayor velocidad de solidificación, son necesarias menores adiciones de magnesio en los tratamientos para garantizar un correcto índice de esferoidización en el material.

- Bajo riesgo de contracción metálica (minimización de rechupes y microrrechupes).

- Altos rendimientos en los moldes (relación entre el metal de las piezas y el metal colado en el molde).

- No existe la posibilidad de deformaciones en las huellas del molde por efecto de la presión metalostática (mayores precisiones dimensionales en las piezas).

- Si existe un buen ajuste de los moldes, apenas son necesarias operaciones posteriores de acabado (rebabas) en las piezas.

- Un incremento tan importante en el número de esferoides por unidad de volumen se traduce en un aumento en la conductividad térmica del material y una mejora en su maquinabilidad.

Esta nueva técnica puede emplearse para la fabricación de piezas de fundición para el sector automoción, componentes hidráulicos, moldes metálicos para la industria del vidrio, tubos centrifugados, etc... El empleo de moldes metálicos acelera en gran medida la velocidad de solidificación y posterior enfriamiento del material, generando cambios importantes en las estructuras obtenidas en el estado bruto de colada.

Por lo tanto, un primer aspecto de la presente invención es un procedimiento de fabricación de piezas de fundición esferoidal que comprende las siguientes etapas:

a) fusión de las cargas metálicas a una temperatura de entre 1400 y 1600°C. Más preferible entre 1430 y 1450°C.

b) ajuste de las cargas metálicas para la consecución de la composición requerida;

c) tratamiento de esferoidización con temperaturas inferiores a 1148°C; y

d) proceso de colada en moldes metálicos o “permanentes”.

Según una realización preferida, las cargas metálicas se seleccionan del grupo formado por lingotes de alto carbono, briquetas de viruta de fundición, arrabios, chatarras, acero procedente del sector de la automoción, retornos o cualquier combinación de los mismos. De manera preferida, las cargas metálicas se seleccionan entre lingotes de alto carbono, retornos, briquetas de viruta de fundición, acero procedente del sector de la automoción o cualquier combinación de los mismos.

Según otra realización preferida, la composición de las cargas metálicas es:

- entre un 25 y un 90% de lingote de alto carbono

- entre un 0 y un 30% de acero procedente del sector de automoción

- entre un 0 y un 50% de briquetas de viruta de fundición

- entre un 1 y un 50% de retornos.

ES 2 362 241 A1

Siempre teniendo en cuenta que la suma de todos los componentes debe ser del 100%.

De manera preferida, la composición de las cargas metálicas es:

- 5 - entre un 30 y un 80% de lingote de alto carbono
- entre un 0 y un 25% de acero procedente del sector de automoción
- 10 - entre un 0% y un 35% de briquetas de viruta de fundición
- entre un 1 y un 35% de retornos.

Siempre teniendo en cuenta que la suma de todos los componentes debe ser del 100%.

15 De manera aún más preferida, la composición de las cargas es:

- 75% de lingote de alto carbono
- 20 - 20% de acero procedente del sector de automoción
- 0% de briquetas de viruta de fundición
- 5% de retornos.

25 ó

- 33,33% de lingote de alto carbono
- 0% de acero procedente del sector de automoción
- 30 - 33,33% de briquetas de viruta de fundición
- 33,33% de retornos.

35 Siempre teniendo en cuenta que la suma de todos los componentes debe ser del 100%.

Según una realización preferida, tras el ajuste de las cargas metálicas se obtiene la siguiente composición:

- 40 - C: desde 3,95 a 4,05% en peso.
- Si: desde 1,00 a 2,60% en peso.
- Mn: desde 0,40 a 0,80% en peso.
- 45 - S: desde 0,00 a 0,20% en peso.
- Otros:

De manera más preferida, tras el ajuste de las cargas metálicas se obtiene la siguiente composición:

- 50 - C: desde 3,60 a 4,05% en peso.
- Si: desde 1,90 a 2,60% en peso.
- 55 - Mn: desde 0,50 a 0,80% en peso.
- S: desde 0,00 a 0,10% en peso.
- Otros:

60

Siempre teniendo en cuenta que la suma de todos los componentes debe ser del 100%.

Todos estos porcentajes en peso son respecto al total del fundido.

65 Según otra realización preferida, el proceso de fusión de las cargas metálicas se realiza en hornos rotativos. Por otro lado el tiempo de fusión y estancia de dicha carga metálica es de 60 a 80 minutos (horas), preferiblemente a 70 minutos.

ES 2 362 241 A1

Según otra realización preferida en la etapa de ajuste de los contenidos de carbono y silicio se adicionan dependiendo de su contenido en el metal fundido (cargas metálicas) obtenido en la etapa a) para optimizar la siguiente etapa c) de esferoidización, de tal manera que las cargas metálicas fundidas se trasladan a al menos 1 horno de inducción (1000 Hz), preferiblemente a 3 hornos de inducción. Por otra parte se mantiene la temperatura del metal base en un rango de temperaturas comprendido entre 1400 y 1500°C, preferiblemente entre 1400 y 1450°C.

En otra realización preferida, el tratamiento de esferoidización comprende las siguientes etapas:

- a. adición a una cuchara de tratamiento, FeSiMg en una proporción del 0,7 al 1,0% en peso respecto de las cargas metálicas a tratar.
- b. adición de un inoculante sobre el FeSiMg en una proporción del 0,15 al 0,20% en peso respecto de las cargas metálicas a tratar.
- c. adición de recortes de acero de modo que éstos cubran sobradamente el FeSiMg y el inoculante previamente introducidos en una cámara de reacción;
- d. llenado de las cargas metálicas procedentes de la etapa b) hasta un 20 al 30% en volumen de la cuchara, orientando la caída del metal hacia la zona opuesta a una cámara de reacción;
- e. completar el llenado de la cuchara con las cargas metálicas; y
- f. desescoriar el metal tratado.

Según una realización preferida la aleación FeSiMg, comprende la siguiente composición:

- Si: desde un 30 a un 60% en peso;
- Mg: desde un 1 a un 30% en peso;
- Ca: desde un 0,1 a un 4% en peso;
- Al: desde un 0,1 a un 3% en peso;
- Tierras raras: desde un 0 a un 3% en peso; y
- Fe: desde un 30 a un 60% en peso;

De manera aún más preferida, la aleación FeSiMg, comprende la siguiente composición:

- Si: desde un 40 a un 48% en peso;
- Mg: desde un 4 a un 10% en peso;
- Ca: desde un 0,5 a un 1,5% en peso;
- Al: desde un 0,3 a un 1,2% en peso;
- Tierras raras: desde un 0 a un 1,3% en peso; y
- Fe: desde un 35 a un 50% en peso;

Según otra realización preferida, el inoculante comprende la siguiente composición:

- Si: desde un 50 a un 90% en peso;
- Ca: desde un 0,1 a un 5,5% en peso;
- Al: desde un 0,1 a un 5% en peso;
- Ba: desde un 0 a un 15% en peso;
- Bi: desde un 0 a un 5% en peso;
- Tierras raras: desde un 0 a un 4,5% en peso;
- Fe: desde un 15 a un 35% en peso;

ES 2 362 241 A1

De manera aún más preferida, el inoculante comprende la siguiente composición:

- Si: desde un 68 a un 78% en peso;
- 5 - Ca: desde un 0,3 a un 1,9% en peso;
- Al: desde un 0,3 a un 1,5% en peso;
- Ba: desde un 0 a un 9,5% en peso;
- 10 - Bi: desde un 0 a un 1,2% en peso;
- Tierras raras: desde un 0 a un 1% en peso;
- 15 - Fe: desde un 20 a un 30% en peso;

Según otra realización preferida, se añaden recortes de acero de estampación hasta que cubra el FeSiMg.

20 En otra realización preferida, tras la etapa de esferoidización, se lleva a cabo una etapa de colada en moldes metálicos o “permanentes”. Dicha etapa comprende las siguientes sub-etapas:

- a. trasvase del metal procedente de la etapa de esferoidización a una cuchara de colada dotada con sifón de salida;
- 25 b. desescoriar el metal tratado de la etapa anterior;
- c. llenado de los moldes metálicos o permanentes a través del sifón, garantizando que la copa de la colada se mantenga llena durante todo el proceso de llenado de los moldes;
- 30 d. adición en vena (adición en la entrada del molde o coquilla) de un inoculante al metal de colada, en un porcentaje en peso del 0,15% con respecto al metal tratado en la cuchara, cuya composición es:
 - C: 3,70 a 3,85% en peso;
 - 35 - Si: 2,55 a 2,67% en peso;
 - Mn: 0,6 a 0,7% en peso;
 - P: 0,035 a 0,07% en peso;
 - 40 - S: 0,010 a 0,014% en peso;
 - Mg: 0,023 a 0,036% en peso; y
 - 45 - Cu: 0,01 a 0,02% en peso.
- e. desmoldar las piezas metálicas obtenidas; y
- f. granallar las piezas obtenidas en la etapa anterior.

50 En la presente invención se entiende por esferoidización a un método para aliviar los esfuerzos residuales en un acero de alto carbono, consistente en calentamiento durante largo tiempo a la temperatura más baja de su transformación, seguida por un lento enfriamiento hasta que alcance la temperatura ambiente.

55 A lo largo de la descripción y las reivindicaciones la palabra “comprende” y sus variantes no pretenden excluir otras características técnicas, aditivos, componentes o pasos. Para los expertos en la materia, otros objetos, ventajas y características de la invención se desprenderán en parte de la descripción y en parte de la práctica de la invención. Los siguientes ejemplos y dibujos se proporcionan a modo de ilustración, y no se pretende que sean limitativos de la presente invención.

60 Descripción de las figuras

Figura 1. La Figura 1 muestra la configuración de los semimoldes diseñados para fabricar mordazas destinadas al sector ferroviario.

65 Figura 2. Tratamiento térmico aplicado sobre mordazas para eliminar carburos. La evolución de la temperatura en una de las piezas durante la aplicación del tratamiento.

ES 2 362 241 A1

Ejemplos

En el ejemplo de realización se estudian comparativamente las implicaciones derivadas de utilizar moldes de arena de sílice o metálicos para fabricar piezas de fundición nodular con altos requerimientos (sector edílico). Por otro lado, se determinan las ventajas e inconvenientes de utilizar moldes permanentes en un proceso productivo.

El proceso de fusión de los materiales se realizó en hornos rotativos con capacidad para 5500 kg. Las cargas metálicas utilizadas estuvieron constituidas por el 75% de lingote de alto carbono, el 20% de acero procedente del sector de automoción y el 5% de retornos. Tras la fusión de estas cargas, el metal resultante se traslada a tres hornos de inducción (1000 Hz) con capacidad para 1800 kg con el fin de ajustar los contenidos de Carbono y Silicio (composición química en peso, grafito: %C \geq 98; FeSi: %Si = 74,6; %Al = 0,8; %Fe = 24,6) y elevar la temperatura del metal base hasta los 1400-1450°C. La Tabla 1 muestra los intervalos de composición química utilizados en la preparación del metal base.

TABLA 1

Composiciones químicas del metal base

Elemento (%)						
C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr
3,95-4,05	2,40-2,50	0,60-0,70	0,035-0,07	0,010-0,017	0,01-0,02	0,01-0,03

Los tratamientos de esferoidización del metal base se efectuaron trasvasando 70-75 kg desde los hornos eléctricos a una cuchara con capacidad máxima para 90 kg y dotada con un sifón de salida para el metal. Antes de llevar a cabo esta operación, en el interior de la cámara de reacción perteneciente a esta cuchara de tratamiento se introdujeron en este orden: 0,8% de la aleación FeSiMg621 (2-10 mm de granulometría y composición química en peso: %Si = 44,1; %Mg = 6,8; %Ca = 2,2; %Al = 0,6; %TR = 1,2 y %Fe = 45,1), 0,15% de un inoculante comercial (0,5-3 mm de granulometría y composición química en peso: %Si = 64,3; %Ca = 1,3; %Al = 0,9; %Ba = 9,3 y %Fe = 24,2) y recortes de acero de estampación como material cubriente. El vertido del metal procedente del horno eléctrico se realiza de modo que el metal caiga en el lado opuesto al ocupado por la cámara de reacción en el fondo de la cuchara de tratamiento. El control del peso de metal trasvasado se realizó con ayuda de un dinamómetro situado sobre la cuchara.

Tras finalizar la reacción de tratamiento con magnesio, el metal se desescorió convenientemente y se trasladó rápidamente a una cuchara de colada con capacidad para unos 80 kg y dotada con sifón de salida. La finalidad de este dispositivo es evitar la introducción de las escorias formadas en el interior de los moldes durante la colada. El metal contenido en la cuchara de colada fue ocasionalmente desescoriado con este mismo fin. La colada de los moldes se efectuó manualmente y a través del sifón, garantizando que la copa de colada se mantuviera llena durante todo el proceso de llenado de los moldes. Se realizó una post-inoculación del metal de colada, adicionando en vena el 0,15% de un inoculante comercial (0,2-0,7 mm de granulometría y composición química en peso: %Si = 73,5; %Ca = 1,7; %Al = 1,0; %Bi = 0,9 y %Fe = 22,9).

TABLA 2

Composiciones químicas del metal tratado con Mg

Elemento (%)						
C	Si	Mn	P	S	Mg	Cu
3,70-3,85	2,55-2,67	0,6-0,7	0,035-0,07	0,010-0,014	0,023-0,036	0,01-0,02

Los moldes de arena de sílice se fabricaron con ayuda de una línea de moldeo vertical de alta presión (12 kp/cm²) y mezclas constituidas por: 80,8% de arena de sílice reutilizada, 9,3% de bentonita sódica activada, 4,5% de material carbonoso, 3,6% de agua y 1,8% de arena nueva de sílice. Las mezclas se enviaron a la máquina de moldeo con una compactabilidad de 38-41%.

Los moldes permanentes se fabricaron mecanizando un bruto de fundición, previamente colado en un molde preparado para este efecto. El material utilizado para preparar este bruto es fundición con grafito laminar perteneciente a la calidad EN-GJL-200.

ES 2 362 241 A1

Tras las operaciones de mecanizado y posterior ajuste, los moldes se revistieron internamente con una capa de pintura refractaria y se montaron en un carrusel con capacidad para 12 moldes, todos ellos dotados con un sistema de refrigeración interna por agua. En cada giro del carrusel, un sistema de quemadores alimentados con acetileno se encargó de aportar una capa de carbonilla sobre la pintura refractaria que cubre la cara interna de los moldes metálicos. La adición de esta capa de carbonosa puede ser regulada en cada caso. El control de la temperatura de los moldes se realizó manualmente.

Las piezas utilizadas para llevar a cabo el presente estudio son: un componente de los frenos empleados en los aerogeneradores y una mordaza de sujeción para raíles ferroviarios. El peso de la pinza de freno es 7,2 kg, mostrando secciones entre 5 y 43 mm. En el caso de la mordaza, el peso es 0,35 kg y las secciones varían entre los 5 y 12 mm. De este modo, es posible evaluar el efecto de las diferentes velocidades de enfriamiento en un mismo componente. La Figura 1 muestra la configuración de los semimoldes diseñados para fabricar mordazas destinadas al sector ferroviario.

Las piezas fabricadas tanto en los moldes permanentes como en los fabricados con las mezclas de arena de sílice corresponden a la pinza de freno. La mordaza únicamente se fabricó utilizando los moldes metálicos. Tras su fabricación, las piezas se desmoldearon y, posteriormente, se granallaron.

Los materiales de estas piezas se sometieron a un estudio metalográfico para determinar el índice de esferoidización (IE), la densidad de nódulos (N) y la composición de la matriz metálica en diferentes secciones. Los valores de estos parámetros se obtuvieron analizando 5 campos de observación diferentes en cada muestra y comparándolos con patrones estándar [15, 16]. Por otra parte, las propiedades mecánicas se determinaron sobre probetas mecanizadas directamente sobre las piezas. Las dimensiones de estas probetas dependieron de la zona de la pieza de donde fueron obtenidas.

25 Resultados y Discusión

Las caracterizaciones estructurales se llevaron a cabo en una sección estrecha y otra masiva, pertenecientes a tres pinzas de freno fabricadas en moldes de arena de sílice, tres mordazas y tres pinzas de freno fabricadas empleando moldes metálicos, todas ellas en bruto de colada. Los resultados obtenidos a partir de estos estudios se incluyen en la Tabla 3.

TABLA 3

Resultados de las caracterizaciones metalográficas (piezas en bruto de colada) donde IE representa la nodularidad y N representa el nº de nódulos por mm²

Pinzas de freno (molde metálico)								
Sección (mm)	IE (%)	N (mm ⁻²)	Estructura núcleo (%)			Estructura periferia (%)		
			Ferrita	Perlita	Carbuos	Ferrita	Perlita	Carbuos
41	>90	750-1100	85-100	15-0	0	90-100	10-0	0
8-9	>90	950-1400	90-100	10-0	0	100	0	0
Pinzas de freno (molde de arena de sílice)								
Sección (mm)	IE (%)	N (mm ⁻²)	Estructura núcleo (%)			Estructura periferia (%)		
			Ferrita	Perlita	Carbuos	Ferrita	Perlita	Carbuos
41	>90	180-220	30-35	70-65	0	15-25	85-75	0
8-9	>90	340-480	10-20	90-80	0	2-10	98-90	0
Mordazas (molde metálico)								
Sección (mm)	IE (%)	N (mm ⁻²)	Estructura núcleo (%)			Estructura periferia (%)		
			Ferrita	Perlita	Carbuos	Ferrita	Perlita	Carbuos
11	>90	950-1400	35-40	65-60	0	20-30	80-68	Trazas-2
6	>90	1300-1500	15-25	85-75	0-Trazas	10-15	85-75	5-10

ES 2 362 241 A1

El análisis comparativo de los datos contenidos en la Tabla 3 muestra claramente el fuerte incremento en el número de esferoides grafitico cuando el enfriamiento del material tiene lugar en el interior de los moldes metálicos. Este hecho puede comprobarse al comparar las pinzas de freno fabricadas utilizando los moldes de arena de sílice con aquellas obtenidas a partir de los moldes permanentes. En el caso de la mordaza de sujeción, se trata de una pieza de menor tamaño y con secciones más estrechas. Sin embargo, para una sección de enfriamiento similar, no se obtienen aumentos muy importantes en el parámetro N con respecto a las pinzas de freno. Este hecho revela la fuerte influencia de la velocidad de solidificación en los valores del parámetro N obtenidos.

Otro aspecto a considerar es el contenido de ferrita observado en cada caso. Las pinzas fabricadas en el molde metálico son mayoritaria o totalmente ferríticas, sin embargo, aquellas que proceden de los moldes de arena no superan el 30-35% de esta fase en ninguna de las secciones inspeccionadas (el contenido de manganeso en el metal de colada es 0,60-0,70%). Este comportamiento debe ser asignado principalmente a la presencia de un mayor número de nódulos grafiticos por unidad de volumen en los materiales enfriados en el molde metálico. De este modo, la distancia entre esferoides disminuye considerablemente y se favorece la difusión eficaz de los átomos de Carbono desde la austenita durante su enfriamiento en el estado sólido, incluso cuando éste probablemente sea más rápido que en las piezas fabricadas en el interior de los moldes de arena. Es necesario tener en cuenta que el momento de desmoldeo cuando se utilizan moldes permanentes ocurre habitualmente a los 50-60 segundos tras finalizar el llenado del molde. En el caso de las fabricaciones efectuadas con moldes de arena, este período de tiempo puede superar los 10 min.

Al comparar las estructuras matriciales en secciones similares de las pinzas de freno y las mordazas, ambas fabricadas con moldes metálicos, se observa que la velocidad de enfriamiento de la austenita sí ejerce influencia sobre la formación de ferrita durante la transformación eutectoide. Incluso con mayores valores del parámetro N, las mordazas muestran menores contenidos de esta fase que las pinzas (Tabla 3). Este hecho puede estar relacionado con el tamaño de las piezas y la influencia que éste parámetro tiene en la velocidad de enfriamiento del material cuando dichas piezas se desmoldean y permanecen en contacto con el aire.

Otra fase estructural detectada y que revela el comportamiento anteriormente descrito son los carburos de hierro. Este tipo de compuestos se forma únicamente en las mordazas de sujeción, es decir, en las secciones más estrechas con cinéticas de enfriamiento más críticas. Resulta lógico comprobar que la mayor concentración de carburos se haya observado en las áreas de periferia pertenecientes a las secciones más estrechas en esta pieza. El enfriamiento más rápido originado en estas áreas en contacto con el molde metálico favorece la aparición de las fases carbúricas. En estos casos, el control eficaz de la temperatura de los moldes y la garantía de una inoculación efectiva en el metal de colada adquiere una relevancia aún mayor.

Se trata de adicionar elementos nucleadores del grafito muy activos (Ca, Si, Ba, Bi, etc.), los cuales puedan contrarrestar el efecto que ejerce la elevada velocidad de solidificación para formar carburos. En la metodología de proceso empleada en este trabajo se realizaron dos inoculaciones: en el tratamiento con FeSiMg y una post-inoculación en la vena de colada. Sin embargo, no ha sido posible evitar la formación de los carburos en las secciones más críticas pertenecientes a las mordazas. Se ha planteado la utilidad de los carburos formados en las áreas de periferia como medida efectiva para evitar el desgaste en piezas con determinadas aplicaciones. En cualquier caso, una adecuada inoculación del metal de colada también contribuye a minimizar la formación de defectos de contracción y aumenta el número de nódulos, especialmente en las secciones más estrechas, tal y como se ha comprobado en el presente trabajo. Aunque no se ha detectado la presencia de defectos de contracción, en la bibliografía se han publicado trabajos que tratan la aparición de rechupes y/o microrrechupes en piezas fabricadas en moldes metálicos.

Con objeto de eliminar la presencia de los carburos en las mordazas, se seleccionaron otras tres piezas para someterlas a un tratamiento térmico de normalizado. La evolución de la temperatura en una de estas piezas durante la aplicación de este tratamiento se muestra en la Figura 2. Las piezas tratadas se inspeccionaron metalográficamente para confirmar la total descomposición de los carburos y la presencia de estructuras matriciales completamente ferríticas en todas las secciones anteriormente analizadas y especificadas en la Tabla 3.

En relación al acabado superficial de las piezas, tras el desmoldeo y posterior enfriamiento hasta alcanzar la temperatura ambiente, aquellas fabricadas empleando los moldes permanentes muestran una superficie recubierta únicamente por una fina capa oscura de óxidos de hierro. Esta capa puede ser fácilmente eliminada con un corto período de granallado. Comparativamente hablando, la calidad superficial de las piezas fabricadas con moldes metálicos es superior a la obtenida con los moldes de arena. Por otro lado, la precisión dimensional obtenida utilizando los moldes metálicos es también mayor y más repetitiva.

Los defectos superficiales que pueden ser observados en determinadas piezas y con mayor frecuencia son: escorias y arrugas o pliegues. En el primer caso, dada la rapidez con la que transcurre el período de solidificación, es muy importante garantizar la limpieza del metal de colada y la efectividad de los sistemas de llenado a la hora de evitar la entrada de las escorias en las cavidades que configuran las piezas. Con respecto a las arrugas superficiales en piezas de fundición esferoidal, se ha observado que éstas se favorecen cuando se emplean tiempos de colada prolongados y/o, principalmente, las temperaturas de los moldes metálicos son más elevadas.

Todas las piezas seleccionadas en este estudio fueron inspeccionadas por fluoroscopia de rayos X con el fin de determinar la presencia de defectos internos provocados por la contracción del metal durante la etapa de solidificación.

ES 2 362 241 A1

Los moldes metálicos preparados para fabricar tanto la pinza de freno como la mordaza de sujeción no incluyen ningún tipo de sistema de alimentación (Figura 1).

Por ello, es necesario evaluar la presencia de rechupes y/o microrrechupes en las piezas fabricadas para obtener información sobre el comportamiento del balance de expansión-contracción del metal en el interior de los moldes metálicos. En ningún caso se detectó la presencia de defectos de contracción en las piezas seleccionadas y fabricadas en moldes metálicos. La ausencia de este tipo de porosidades debe estar relacionada con la cinética de enfriamiento aplicada cuando se emplea este tipo de moldes. Por el contrario, las pinzas de freno fabricadas en moldes de arena sí muestran microrrechupes de tamaño variable principalmente en los cambios de sección cercanos a las secciones más masivas de la pieza.

La Tabla 4 muestra los valores de la carga máxima de rotura (R), el límite elástico (LE) y el alargamiento (A) obtenidos a partir de los ensayos de tracción efectuados con el fin de determinar las propiedades mecánicas de las piezas seleccionadas. En el caso de las mordazas de sujeción, los ensayos mecánicos se han realizado únicamente sobre las tres piezas sometidas al tratamiento térmico de ferritización descrito en la Figura 2. En las pinzas de freno, todos los materiales se ensayaron en estado bruto de colada. Las probetas de tracción se mecanizan a partir de dos zonas de cada pieza. En las pinzas de freno, estas zonas corresponden al espacio destinado al sistema hidráulico (pote) y el cuerpo central (centro). En las mordazas, las probetas se obtienen a partir de la cuña de sujeción y la zona de apoyo de la pieza.

TABLA 4

Propiedades mecánicas obtenidas sobre pieza

Pinzas de freno en bruto de colada (molde metálico)				
Zona	Diámetro probeta (mm)	R (MPa)	LE (MPa)	A (%)
Pote	10	503-532	380-399	12-18
Centro	10	505-520	376-402	13-20
Pinzas de freno en bruto de colada (molde de arena de sílice)				
Zona	Diámetro probeta (mm)	R (MPa)	LE (MPa)	A (%)
Pote	10	605-710	367-418	9-11
Centro	10	618-706	378-411	6-9
Mordazas tratadas térmicamente (molde metálico)				
Zona	Diámetro probeta (mm)	R (MPa)	LE (MPa)	A (%)
Cuña	5	435-466	294-313	18-20
Apoyo	5	425-469	286-329	16-17

Al comparar las propiedades mecánicas de las pinzas de freno fabricadas con moldes metálicos y de arena se obtienen resultados coherentes con las características estructurales mostradas en la Tabla 3. Un aumento en la velocidad de solidificación de la pieza en el interior del molde metálico originó un fuerte incremento en el parámetro N y un importante aumento en el contenido de ferrita.

Estas características dan lugar a materiales que superan cómodamente los 500 MPa de carga de rotura, con límites elásticos sorprendentemente elevados (aproximadamente 400 MPa) y alargamiento que pueden alcanzar el 20%. Al trasladar la pieza a moldes fabricados con arena de sílice, se obtienen materiales con mayor carga, similar límite elástico y alargamientos claramente inferiores al 12%.

En el caso de la mordaza de sujeción, el tratamiento térmico aplicado transformó la estructura ferritizándola completamente. En consecuencia, se obtienen cargas de rotura que pueden superar los 450 MPa, límites elásticos en torno a los 300 MPa y alargamientos de hasta el 20%. En este contexto, es necesario tener en cuenta que se trata de resultados obtenidos directamente sobre piezas con una sección máxima de 12 mm. Por tanto, se trata de resultados de gran interés con una aplicación directa en las etapas de diseño y posterior fabricación de piezas de fundición nodular.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en el presente trabajo han demostrado que la utilización de moldes metálicos es apta para la fabricación de piezas de fundición esferoidal con importantes requerimientos funcionales. Las principales implicaciones estructurales derivadas del empleo de este tipo de moldes son el importante incremento en el número de nódulos grafiticos por unidad de volumen de material y un aumento no menos considerable de los contenidos de ferrita en la matriz metálica obtenida a temperatura ambiente.

Ambas características estructurales permiten fabricar piezas con propiedades mecánicas interesantes, destacando los elevados alargamientos obtenidos en aleaciones con cargas de rotura superiores a los 510 MPa.

Por todo ello, las características del proceso de producción utilizando moldes metálicos y los resultados presentados en este trabajo deben ser tenidos en cuenta a la hora de definir cuál es la metodología más apropiada y rentable para la producción de piezas de fundición de hierro esferoidal. A continuación se resumen las principales ventajas e inconvenientes encontrados en este tipo de proceso con respecto a las fabricaciones que emplean moldes de arena.

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

ES 2 362 241 A1

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de fabricación de piezas de fundición esferoidal que comprende las siguientes etapas:

- a) fusión de las cargas metálicas a un rango de temperaturas de entre 1400 y 1600°C;
- b) ajuste de los contenidos de carbono y silicio de las cargas metálicas fusionadas en el paso (a);
- c) tratamiento de esferoidización de las cargas metálicas obtenidas en el paso (b) con temperaturas inferiores a 1148°C; y
- d) proceso de colada de las cargas metálicas obtenidas en el paso (c) en moldes metálicos.

2. El procedimiento según la reivindicación 1, donde las cargas metálicas se seleccionan del grupo formado por lingotes de alto carbono, briquetas de viruta de fundición, arrabios, chatarras, acero procedente del sector de la automoción, retornos o cualquier combinación de los mismos.

3. El procedimiento según la reivindicación 2, donde las cargas metálicas se seleccionan del grupo formado por lingotes de alto carbono, retornos, briquetas de viruta de fundición, acero o cualquier combinación de los mismos.

4. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde la carga metálica tiene la siguiente composición hasta llegar al 100%:

- entre un 25 y un 90% de lingote de alto carbono; y
- entre un 1 y un 50% de retornos.

5. El procedimiento según la reivindicación 4, donde la carga metálica comprende adicionalmente:

- un porcentaje igual o menor al 30% de acero procedente del sector de automoción;
- un porcentaje igual o menor al 50% de briquetas de viruta de fundición.

6. El procedimiento según la reivindicación 4, donde la carga metálica tiene la siguiente composición hasta llegar al 100%:

- entre un 30 y un 80% de lingote de alto carbono; y
- entre un 1 y un 35% de retornos.

7. El procedimiento según la reivindicación 6, donde la carga metálica comprende adicionalmente:

- un porcentaje igual o menor al 25% de acero procedente del sector de automoción; y
- un porcentaje igual o menor al 35% de briquetas de viruta de fundición.

8. El procedimiento según la reivindicación 1, donde la carga metálica tiene la siguiente composición:

- 75% de lingote de alto carbono;
- 20% de acero procedente del sector de automoción; y
- 5% de retornos.

9. El procedimiento según la reivindicación 1, donde la carga metálica tiene la siguiente composición:

- 33,33% de lingote de alto carbono;
- 33,33% de briquetas de viruta de fundición; y
- 33,33% de retornos.

10. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, donde el proceso de fusión de las cargas metálicas se realiza en hornos rotativos.

11. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, donde el tiempo de fusión y estancia de dicha carga metálica es de 60 a 80 minutos.

ES 2 362 241 A1

12. El procedimiento según la reivindicación 11, donde el tiempo de fusión y estancia de dicha carga metálica es de 70 minutos.

5 13. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, donde la temperatura de fusión de las cargas metálicas está entre 1430 y 1450°C.

10 14. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, donde en la etapa de ajuste de los contenidos de carbono y silicio, las cargas metálicas fundidas procedentes de la etapa a) se trasladan a al menos 1 horno de inducción.

15 15. El procedimiento según la reivindicación 10, donde las cargas metálicas se trasladan a 3 hornos de inducción consecutivos.

16. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 14 ó 15, donde la temperatura de las cargas metálicas se mantiene en un rango de temperaturas comprendido entre 1400 y 1500°C.

17. El procedimiento según la reivindicación 16, donde la temperatura de las cargas metálicas se mantiene en un rango de temperaturas comprendido entre 1400 y 1450°C.

20 18. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17, donde la etapa c) de tratamiento de esferoidización comprende las siguientes sub-etapas:

25 a. adición a una cuchara de tratamiento, FeSiMg en una proporción del 0,7 al 1,0% en peso respecto al peso total de las cargas metálicas;

b. adición de un inoculante sobre el FeSiMg en un proporción del 0,15 al 0,20% al peso total de las cargas metálicas;

30 c. adición de recortes de acero sobre la mezcla obtenida en la sub-etapa b);

d. llenado hasta un 20 al 30% en volumen de la cuchara de las cargas metálicas obtenidas en la etapa b);

e. adición de las cargas metálicas fundidas procedentes de la etapa b) hasta el llenado de la cuchara; y

35 f. desescoriar el metal tratado obtenido en la sub-etapa e).

19. El procedimiento según la reivindicación 18, donde la aleación FeSiMg, comprende la siguiente composición hasta el 100%:

40 - Si: desde un 30 a un 60% en peso;

- Mg: desde un 1 a un 30% en peso;

45 - Ca: desde un 0,1 a un 4% en peso;

- Al: desde un 0,1 a un 3% en peso; y

- Fe: desde un 30 a un 60% en peso.

50 20. El procedimiento según la reivindicación 19, donde adicionalmente la aleación de FeSiMg, comprende un porcentaje igual o menor al 3% en peso de tierras raras.

21. El procedimiento según la reivindicación 19, donde la aleación FeSiMg, comprende la siguiente composición hasta el 100%:

55 - Si: desde un 40 a un 48% en peso;

- Mg: desde un 4 a un 10% en peso;

60 - Ca: desde un 0,5 a un 1,5% en peso;

- Al: desde un 0,3 a un 1,2% en peso; y

65 - Fe: desde un 35 a un 50% en peso.

22. El procedimiento según la reivindicación 21, donde la aleación FeSiMg comprende adicionalmente en un porcentaje igual o menor al 1,3% en peso de tierras raras.

ES 2 362 241 A1

23. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 18 a 22, donde el inoculante comprende la siguiente composición hasta el 100%:

- Si: desde un 50 a un 90% en peso;
- Ca: desde un 0,1 a un 5,5% en peso;
- Al: desde un 0,1 a un 5% en peso; y
- Fe: desde un 15 a un 35% en peso.

24. El procedimiento según la reivindicación 23, donde adicionalmente el inoculante comprende un porcentaje igual o menor al 15% en peso de Ba, un porcentaje igual o menor al 5% en peso de Bi y un porcentaje igual o menor del 4,5% en peso de tierras raras.

25. El procedimiento según la reivindicación 18, donde el inoculante comprende la siguiente composición hasta el 100%:

- Si: desde un 68 a un 78% en peso;
- Ca: desde un 0,3 a un 1,9% en peso;
- Al: desde un 0,3 a un 1,5% en peso; y
- Fe: desde un 20 a un 30% en peso.

26. El procedimiento según la reivindicación 25, donde adicionalmente el inoculante comprende un porcentaje igual o inferior al 9,5% en peso de Ba, un porcentaje igual o inferior al 1,2% en peso de Bi y un porcentaje igual o inferior al 1% en peso de tierras raras.

27. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 26, donde la etapa d) de colada en moldes metálicos comprende las siguientes sub-etapas:

- a. trasvase del metal procedente de la etapa de esferoidización a una cuchara de colada dotada con sifón de salida;
- b. desescoriar el metal tratado de la etapa anterior;
- c. llenado de los moldes metálicos o permanentes a través de un sifón;
- d. adición en vena de un inoculante al metal de colada, en un porcentaje en peso del 0,15% con respecto al metal tratado en la cuchara, cuya composición es:
 - C: 3,70 a 3,85% en peso;
 - Si: 2,55 a 2,67% en peso;
 - Mn: 0,6 a 0,7% en peso;
 - P: 0,035 a 0,07% en peso;
 - S: 0,010 a 0,014% en peso;
 - Mg: 0,023 a 0,036% en peso; y
 - Cu: 0,01 a 0,02% en peso.
- e. desmoldar las piezas metálicas obtenidas; y
- f. granallar las piezas obtenidas en la etapa anterior.

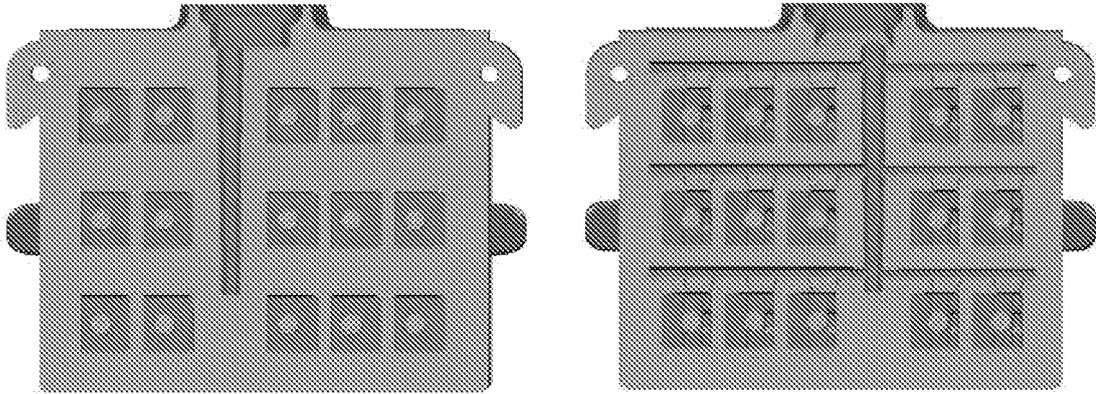


FIG. 1

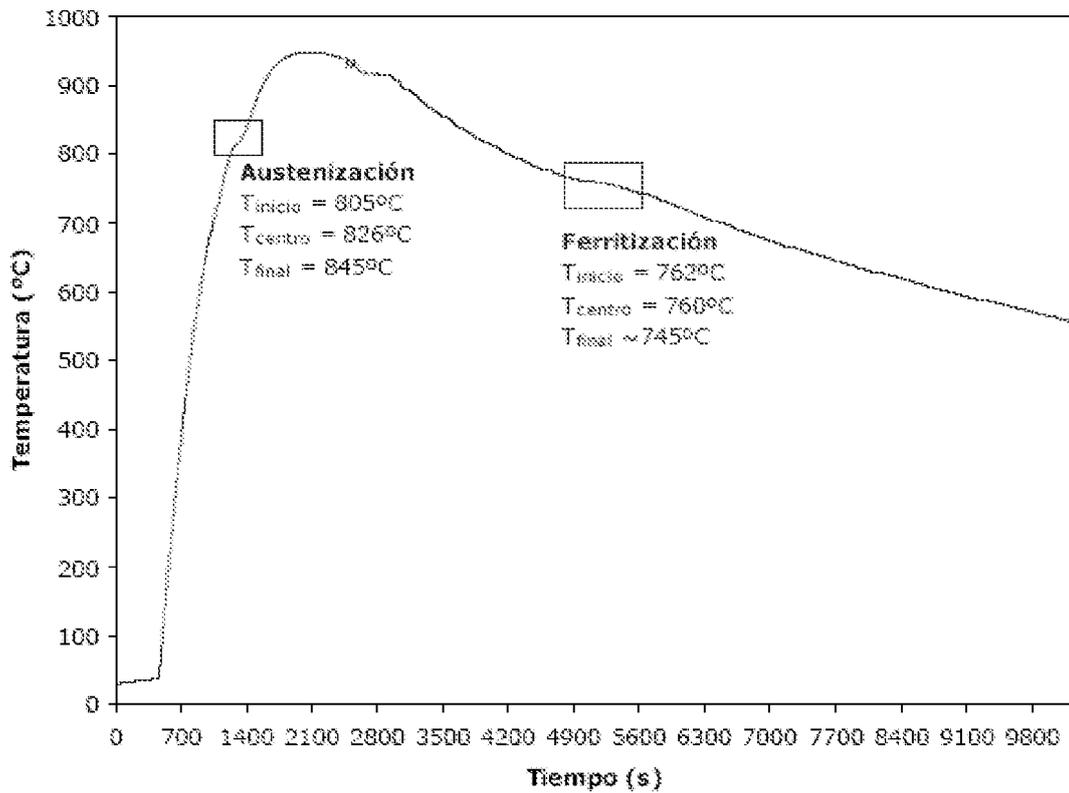


FIG. 2



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201031959

②② Fecha de presentación de la solicitud: 27.12.2010

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: **C22C37/04** (2006.01)
C21C1/10 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	UDROIU, A. "Utilización del Análisis Térmico en la Producción de Nodular". [en línea] octubre 2002 [recuperado el 09.03.2011]. Recuperado de Internet: http://www.ialonso.com/news/udroi/udroi.htm	1-27
A	GB 1064275 A1 (NISSAN MOTOR) 02.04.1980, reivindicaciones 1,2,8-10.	1-27
A	CN 101643814 A (ZUNYI JINYE MACHINERY MFG CO L) 10.02.2010, (resumen) [en línea] [recuperado el 15.06.2011] Resumen de la base de datos WPI. Recuperado de EPOQUE.	1-27
A	US 2837422 A (JURGEN MOTZ et al.) 03.06.1958, columna 1, línea 69 – columna 4, línea 35.	1-27

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
16.06.2011

Examinador
B. Aragón Urueña

Página
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

C22C, C21C

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, XPESP

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 16.06.2011

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-27	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 1-27	SI
	Reivindicaciones	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	UDROIU, A. "Utilización del Análisis Térmico en la Producción de Nodular". [en línea] octubre 2002 [recuperado el 09.03.2011]. Recuperado de Internet: http://www.ialonso.com/news/udroi/udroi.htm	28.10.2002
D02	GB 1064275 A1 (NISSAN MOTOR)	02.04.1980
D03	CN 101643814 A (ZUNYI JINYE MACHINERY MFG CO L)	10.02.2010

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

El objeto de la presente invención es un procedimiento de fabricación de piezas de fundición esferoidal.

El documento D01 divulga la utilización de las curvas de enfriamiento de hierro para comprender las propiedades metalúrgicas del hierro nodular. Uno de los puntos que se destaca es que preacondicionar el hierro base con carburo de silicio hace posible usar chatarra de acero en la carga. Además, se realiza la selección adecuada de la aleación óptima de FeSiMg como nodulizante resultando unos contenidos de Si de 40-48%, Mg 4-10%, Ca 0.5-4%, Al 0.3-1.2% y tierras raras menor al 3.5%. La temperatura adecuada de colada que emplea es de 1370°C. También se señala distintos tipos de inoculantes así como la cantidad óptima para el nodular, presentándose Si 68-78%, Ca 0.3-1.9%, Al 0.3-1.5% y Ba o Bi

El documento D02 divulga un procedimiento para la fabricación de fundición esferoidal. A partir de hierro fundido se añade magnesio como agente de adición para formar el grafito, se solidifica la carga metálica en moldes metálicos y posteriormente se calienta a 550-1200°C.

El documento D03 divulga un método para fundición esferoidal en el que se funde chatarra y retornos de fundición. Simultáneamente se añade agentes nodulizantes e inoculantes.

Ninguno de los documentos citados describe un procedimiento de fabricación de piezas de fundición esferoidal en el que se señalen las fases del proceso metalúrgico incluyendo las condiciones de temperatura y las cantidades de cargas metálicas utilizadas en la solicitud así como los inoculantes empleados y otros aditivos tal y como se menciona en las reivindicaciones 1-27. Por lo tanto la invención es nueva e implica actividad inventiva. (Art. 6.1, Art. 8.1 Ley Patentes).