

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 504 040**

51 Int. Cl.:

C22C 33/08 (2006.01)
C22C 37/10 (2006.01)
B22C 9/02 (2006.01)
B22D 1/00 (2006.01)
C21C 1/10 (2006.01)
C22C 37/04 (2006.01)
C21D 5/00 (2006.01)
C21D 9/30 (2006.01)
F16C 3/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.12.2010 E 10382366 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.06.2014 EP 2471960**

54 Título: **Procedimiento para fabricar una pieza de fundición y pieza de fundición obtenida de este modo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.10.2014

73 Titular/es:

CASA MARISTAS AZTERLAN (50.0%)
C/ Aliendalde, 6
48200 Durango (Bizkaia), ES y
INFUN S.A. (50.0%)

72 Inventor/es:

SERTUCHA PÉREZ, JON;
SERRALLACH PERARNAU, JOAN;
SUÁREZ CREO, RAMÓN y
MONZÓN GRACIA, ADRIÁN

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 504 040 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

Procedimiento para fabricar una pieza de fundición y pieza de fundición obtenida de este modo

5 Campo de la invención

La presente invención se encuadra dentro del sector de la industria metalúrgica. En particular se refiere a la fabricación de una fundición esferoidal perlítica y a un procedimiento para su obtención, que se utiliza como alternativa más rentable a los materiales utilizados en la actualidad, logrando unas propiedades mecánicas y funcionales optimizadas, maximizando la carga de rotura, y el límite elástico y manteniendo asimismo el estiramiento máximo, todo ello en estado bruto de colada, es decir, sin necesidad de tratamientos térmicos posteriores.

Antecedentes de la invención

Actualmente existe en el estado de la técnica un importante desarrollo entorno a la fabricación industrial de piezas de fundición esferoidales de alto rendimiento por ejemplo para la industria automovilística. En este sentido, es constante el diseño de nuevas fundiciones que presentan propiedades mecánicas optimizadas, y que resultan más fáciles y rentables de obtener.

La adición de elementos de micro-aleación específicos constituye una metodología de mejora de determinadas propiedades, bien conocida en el ámbito de los aceros. Sin embargo, el empleo de estas adiciones en las fundiciones gráficas esferoidales continúa siendo limitado. En general, puede afirmarse que el efecto de los elementos químicos de aleación y las condiciones de procesado sobre las propiedades mecánicas de las fundiciones esferoidales no siguen un comportamiento similar al observado para los aceros.

Las características estructurales y las propiedades mecánicas de las fundiciones conocidas actualmente no son totalmente satisfactorias y limitan su uso en sectores tales como la construcción de piezas de automoción, como alternativas a otros materiales también empleados en la actualidad, que tienen costes de fabricación superiores.

En la actualidad, las fundiciones gráficas esferoidales son capaces de abarcar un importante intervalo de características mecánicas. En la gráfica de la figura 1 pueden apreciarse las propiedades de las fundiciones gráficas esferoidales en el estado bruto de colada, de acuerdo con lo establecido en la norma EN-1563, así como las propiedades mecánicas de los hierros dúctiles austemperizados (ADI) y las fundiciones descritas en la solicitud internacional con número de publicación WO2006/056334. Estas últimas fundiciones se muestran en la Figura 1 (designadas como fundiciones A) y están basadas en la calidad de fundición EN-GJS-400, con incorporación de B, contenidos variables de Si y algún otro elemento químico de aleación, y su aplicación se orienta a la fabricación de piezas para la industria del automóvil. Se trata de aleaciones de hierro con alto contenido de silicio y adiciones de boro; se sabe que el boro es un elemento químico que presenta dificultades en su incorporación al metal fundido y que tiene reconocidas capacidades para generar carburos en la matriz metálica de los materiales a los que se añade. Por tanto, una de las dificultades que presenta el procedimiento de obtención de esta aleación, además de las dificultades de boro para incorporarse al metal fundido, es que resulta necesario controlar de manera muy precisa sus concentraciones, de modo que las metodologías de procedimiento para obtener esta aleación se complican considerablemente, con el consiguiente impacto que ello conlleva en los costes de producción de piezas fabricadas a partir de dicha fundición.

A pesar de que las fundiciones A están mejoradas en el sentido por ejemplo de que no necesitan tratamiento térmico adicional, sus propiedades mecánicas y funcionales no son totalmente satisfactorias. Esto puede deberse en parte a su matriz no homogénea. En este sentido, la solicitud WO2006/056334 describe contenidos de perlita comprendidos entre un 70-90 % y en particular el Ejemplo 1 divulga un contenido en perlita de un 84 %.

Por su parte, la fabricación de piezas de automoción sometidas a grandes esfuerzos requiere materiales que presenten elevada resistencia a la rotura y elevado límite elástico y, en la medida de lo posible, valores elevados en el estiramiento. En este sentido, las fundiciones gráficas esferoidales no suelen superar los 700-750 MPa en materiales con estructuras perlíticas y el estiramiento no suele superar el 3 %. Por otra parte, los requerimientos de ductilidad inducen a fabricar fundiciones con valores de dureza y resistencia inferiores, de manera que existe una carencia importante a la hora de optimizar determinadas aplicaciones, especialmente en piezas de automoción destinadas a componentes de motores de gran potencia.

Serrallach, J. y col., en "Effect of selected alloying elements on mechanical properties of pearlitic nodular cast irons", Key Eng. Mat.-Sc and Proc. Of Cat Iron IX 2011 TRANS TECH Publ. vol. 457, 10 de noviembre de 2010, p. 361/6, divulgan el uso de un inoculante comercial en la fabricación de fundiciones esferoidales perlíticas, y los efectos de los elementos de aleación sobre las propiedades mecánicas y la microestructura del mismo.

Suarez, R. y col., en "Influence of different inoculants on the nucleation potential and the contractionability of the ductile iron", Rev. de Metalurgia (Madrid, ES), Sept-Oct 2009 Centro Nac. De Investig. Metl. vol. 45, Nº. 5, Septiembre 2009, p. 339/50, divulgan el uso de diversos inoculantes en la fabricación de una fundición, en la mayoría ferrítica, a la vista de

la composición de la Tabla II, en la que los contenidos de los componentes perlitizantes son claramente inferiores.

De todo ello se desprende que sigue existiendo la necesidad en el estado de la técnica de proporcionar una fundición esferoidal perlítica mejorada en cuanto a sus propiedades mecánicas y funcionales, que presente valores elevados de carga de rotura, límite elástico y estiramiento, sin necesidad de aplicar ningún tratamiento térmico adicional, con el fin de aumentar las posibilidades de aplicación y los rendimientos de este tipo de fundiciones en la industria así como su eficacia, tanto por sus propiedades como por su menor coste de producción.

Breve descripción de las figuras

La Figura 1 muestra una gráfica en la que se ha representado la carga de rotura (R) en MPa en el eje y, frente al estiramiento en tanto por ciento (%) en el eje x, y en la que se comparan los valores de (i) una fundición gráfica esferoidal austemperizada (ADI) con tratamiento térmico de acuerdo con la norma EN-1564; (ii) una fundición A según se describe en la solicitud de patente WO2006/056334; (iii) una fundición de hierro esferoidal convencional de colada en bruto de acuerdo con la norma EN-1563 y (iv) fundiciones según la presente invención identificadas como INFUN-excel P.

La Figura 2 muestra una gráfica en la que se ha representado el estiramiento en (%) en el eje y frente al número de esferoides gráficos (N) en (mm^{-2}) en el eje x, para muestras de la fundición de la invención.

Descripción de la invención

En un aspecto la invención se refiere a un procedimiento para la fabricación de una pieza de fundición esferoidal perlítica con un contenido de perlita igual o mayor de un 90 % con propiedades mecánicas y funcionales mejoradas. El procedimiento, en adelante procedimiento de la invención, comprende las siguientes etapas:

(i) preparar una aleación cuya composición química es la siguiente (porcentajes expresados en peso con respecto al peso total de la aleación)

C = 3,60-3,70 %;

Si = 2,20-2,30 %;

Mn = 0,40-0,60 %;

P = 0,02-0,04 %;

S = 0,005-0,008 %;

Cu = 0,90-1,00 %;

Mg = 0,03-0,04 %;

N = 0,005-0,008 %;

siendo el resto de la composición química Fe y otros elementos residuales;

(ii) colar la aleación en un molde de arena;

(iii) inocular un material inoculante en vena de colada con un caudal de adición comprendido entre 0,6 y 0,8 g/kg, en una cantidad comprendida entre un 0,20-0,25 % en peso, con respecto a la cantidad de aleación colada,

donde dicho material inoculante tiene una granulometría comprendida entre 0,1 y 0,5 mm y una composición química seleccionada entre (porcentajes expresados en peso respecto al peso total de inoculante):

a) Si = 75,1 %; Al = 0,89 %; Ca = 0,93 %; S = 0,11 % y Ce = 0,70 %; o

b) Si = 73,1 %; Al = 0,71 %; Ca = 1,75 %; S = 0,06 % y Bi = 0,88 %, siendo el resto hierro.

La preparación de la aleación se lleva a cabo de forma convencional por medio de adición y ajuste de las cantidades de los materiales de partida. La aleación fundida se cuela en la siguiente etapa utilizando cualquier medio convencional. Las formas de colar son esencialmente con un sistema automático de colada o utilizando cucharas de colada y vertiendo la aleación en el interior del molde. En una realización particular se utiliza una cuchara de colada semiautomática. El molde utilizado es de arena (moldeo en arena o químico verde). Se pueden emplear cualesquiera máquinas de moldeo vertical u horizontal, líneas de moldeo capaces de fabricar moldes de arena.

La inoculación o aportación de simientes de crecimiento gráfico en el seno de la aleación todavía líquida es una etapa crítica en la solidificación de la aleación. Se optimiza la formación de esferoides gráficos y se evita la formación de fases carburizadas en zonas con espesor reducido y/o en zonas en las cuales existe una elevada tasa enfriamiento en el estado bruto de colada. La inoculación se lleva a cabo de forma habitual. En la figura 2 se muestra la evolución del estiramiento en función del número de esferoides gráficos (N), parámetro asimismo designado como "poder de nucleación del metal", obtenido después de la solidificación.

En una realización particular del procedimiento de la invención, la aleación presenta la siguiente composición química (porcentajes expresados en peso respecto al peso total de la aleación): C = 3,62 %; Si = 2,27 %; Mn = 0,45 %; P = 0,021 %; S = 0,008 %; Cu = 0,98 %; Mg = 0,033 %; N = 0,008 %; siendo el resto de la composición Fe y los elementos residuales habituales. Preferentemente, en este caso el material inoculante utilizado presenta la siguiente composición química: (porcentaje en peso respecto al peso total de inoculante) Si = 75,1 %; Al = 0,89 %; Ca = 0,93 %; S = 0,11 % y

Ce = 0,70 %, siendo el resto Fe.

En otra realización particular del procedimiento de la invención la aleación presenta la siguiente composición química (porcentajes expresados en peso respecto al peso total de la aleación) : C = 3,60 %; Si = 2,21 %; Mn = 0,45 %; P = 0,023 %; S = 0,007 %; Cu = 1,01 %; Mg = 0,040 %; N = 0,007 %, siendo el resto de la composición química Fe y otros elementos residuales habituales. Preferentemente, en este caso el material inoculante presenta la siguiente composición química: (porcentaje en peso respecto al peso total de inoculante): Si = 73,1 %; Al = 0,71 %; Ca = 1,75 %; S = 0,06 % y Bi = 0,88 % siendo el resto Fe.

En otro aspecto, la invención se refiere a una pieza de fundición esferoidal perlítica que se puede obtener mediante el procedimiento de la invención. La fundición de la presente invención es, por sus propiedades físicas, adecuada para fabricar piezas que pueden emplearse en diversas aplicaciones industriales, en particular en la industria de automoción como piezas de automoción, tales como componentes de motores de alta potencia, por ejemplo de motores Diesel. Debido a su menor coste de obtención así como a sus propiedades físicas mejoradas puede sustituir y competir con los materiales convencionales: aceros y fundiciones dúctiles austemperizadas (ADI).

En el contexto de la presente invención, pieza de fundición esferoidal perlítica se refiere tanto a la propia fundición esferoidal perlítica que se obtiene mediante el procedimiento de la invención como a cualquier pieza con cualquier forma tamaño y dimensiones obtenida a partir de la misma.

En una realización particular la pieza de fundición de la invención es un cigüeñal. Ejemplos de cigüeñales y su fabricación se describen en los ejemplos 1 y 2 de la presente invención. Los inventores han determinado, tal y como se expone en dichos ejemplos, la mejora de las propiedades de la fundición de la presente invención. En particular se han determinado, entre otras propiedades, la resistencia a la rotura, el límite elástico y el estiramiento de estas piezas según la invención. Al comparar los resultados obtenidos con los obtenidos a partir de una pieza fabricada con el material empleado convencionalmente en la fabricación de estos cigüeñales, se ha determinado que las piezas según la presente invención muestran un incremento de 81 ± 23 MPa en la resistencia a la rotura, 56 ± 19 MPa en el límite elástico y una disminución de tan sólo un $0,3 \pm 0,04\%$ en el estiramiento. El material empleado habitualmente para fabricar cigüeñales corresponde a una fundición de hierro con grafito esferoidal de colada en bruto y perteneciente a la calidad EN-GJS-700-2 (según norma UNE-EN 1563:1998). Según dicha norma, los requisitos para este tipo de material son: 700 MPa mínimo de resistencia a la rotura, 420 MPa mínimo de límite elástico y un 2% mínimo de estiramiento. Con respecto a estos materiales con un elevado contenido en fase perlítica, los inventores han determinado que las mejoras de las propiedades mecánicas logradas en la presente invención, con respecto a las fundiciones utilizadas convencionalmente para la fabricación de cigüeñales, que presentan asimismo matrices altamente perlíticas, se basan en las propiedades de la propia fase perlítica y no en cambios significativos en el contenido de la fase perlítica que constituye la estructura matricial de la fundición de la invención. En este sentido, la fundición esferoidal empleada habitualmente para la fabricación de este tipo de cigüeñales presenta contenidos de perlita dentro del intervalo de un 90-97%, es decir, similares a los obtenidos en las dos zonas del cigüeñal analizadas según muestran los ejemplos. Por tanto, las mejoras logradas con la fundición de la invención son consecuencia directa de las propiedades mecánicas de la fase perlítica.

Por otro lado, las pruebas experimentales realizadas por los inventores han puesto de manifiesto que las piezas obtenidas según el procedimiento de la invención tienen propiedades mecánicas mejoradas, en particular, presentan valores de resistencia a la rotura (R) superiores a 900 MPa, preferentemente iguales o mayores de 905 MPa, más preferentemente iguales o mayores de 910 MPa, límites elásticos ($LE_{0,2}$) mayores, a la vez que los valores de estiramiento se mantienen elevados, es decir, comprendidos entre un 3,5-7,0 % (véase Figura 1).

Como se ha mencionado anteriormente, los inventores han determinado que el contenido de perlita de la matriz de las piezas obtenidas es muy elevado, mayor de un 90%, preferentemente mayor de un 95%, más preferentemente igual o mayor de un 97%, y aún más preferentemente igual mayor de un 99%. Esto determina que los materiales obtenidos sean por tanto altamente homogéneos, y en particular más homogéneos que las fundiciones descritas en el documento WO2006/056334 y las mencionadas anteriormente. Esta elevada homogeneidad del material contribuye de forma importante a mejorar las propiedades mecánicas y la longevidad a la fatiga de las piezas fabricadas de acuerdo con el procedimiento de la presente invención. El reducido contenido de ferrita en el material de la invención contribuye a reducir el desgaste por fricción en las piezas fabricadas, contribuyendo a aumentar la vida útil de las mismas.

Con independencia de la composición química del metal en estado bruto de colada, un aspecto importante a tener en cuenta es la influencia de las variables de procedimiento sobre las características mecánicas finalmente obtenidas. A la hora de fabricar una determinada pieza de fundición, a medida que se incrementa la sección de la pieza se produce una ligera disminución de la resistencia a la rotura y el límite elástico; sin embargo, en estas condiciones el estiramiento aumenta.

A continuación se presentan ejemplos ilustrativos de la invención que se exponen para una mejor comprensión de la invención y en ningún caso deberían considerarse como limitantes de su alcance.

Ejemplos

Ejemplo 1. Fabricación de un cigüeñal de automoción

- 5 Se fabricó un cigüeñal de automoción de 9,6 kg de peso utilizando la fundición de grafito esferoidal y el procedimiento descrito en la presente invención.

Se preparó a partir de una aleación cuya composición química fue la siguiente: (% en peso)

C = 3,62; Si = 2,27; Mn = 0,45; P = 0,021; S = 0,008; Cu = 0,98; Mg = 0,033; N = 0,008;

10

Siendo el resto de la composición Fe y los elementos residuales habituales.

La pieza se fabricó colando dicha aleación en un molde de arena verde, el cual se fabricó en una línea de moldeo horizontal de alta presión de Kunkel-Wagner.

15

Se coló el metal en los moldes usando una cuchara de colada semiautomática con capacidad para 2.000 kg. La inoculación se llevó a cabo añadiendo un 0,21% del producto inoculante en la vena de colada con un caudal de adición que varió en el intervalo 0,6-0,8 g/kg. La granulometría del inoculante fue 0,1-0,5 mm y la composición química fue: (% en peso) Si = 75,1; Al = 0,89; Ca = 0,93; S = 0,11 y Ce = 0,70, siendo el resto Fe.

20

La morfología de los grafitos y componentes de la estructura matricial del cigüeñal se analizó en dos zonas críticas de la pieza: pasador (25-30 mm de sección) y volante (50-55 mm de sección) usando un microscopio óptico LEICA. En la zona del pasador, el contenido de grafito fue de un $10,2 \pm 0,8$ %, el número de esferoides grafiticos por mm^{-2} fue de 352 ± 32 , la forma de los grafitos correspondió en un 96,4 % a la forma VI de acuerdo con la norma DIN EN ISO 945, la distribución de tamaños de acuerdo con la norma DIN EN ISO 945 fue: 40,1% para el tamaño 8, 51,1% para el tamaño 7 y 8,8 % para el tamaño 6. El contenido de la matriz metálica fue de un 97 % de perlita y un 3 % de ferrita según la norma UNE 78001. En la zona del volante, el contenido de grafito fue de un $11,1 \pm 0,5$ %, el número de esferoides grafiticos por mm^{-2} fue de 307 ± 29 , la forma de los grafitos correspondió en un 95,5 % a la forma VI de acuerdo con la norma DIN EN ISO 945, la distribución de tamaños de acuerdo con la norma DIN EN ISO 945 fue: 36,6 % para el tamaño 8, 42,1 % para el tamaño 7 y 21,3 % para el tamaño 6. El contenido de la matriz metálica fue un 93 % de perlita y un 7 % de ferrita según la norma UNE 78001. A partir de las dos zonas del cigüeñal, se obtuvieron piezas de ensayo destinadas a la realización de ensayos de tracción (Zwick Z250) y dureza Brinell (Instron Wolpert), con el fin de caracterizar las propiedades físicas de la pieza. En la zona del pasador, el ensayo de tracción proporcionó los siguientes resultados: resistencia a la rotura $R = 942,7$ MPa, límite elástico $LE_{0,2} = 586,1$ MPa y estiramiento $A = 4,9$ %. La dureza del material en esta zona fue 311 HBW 10/3000. En la zona del volante, la resistencia a la rotura fue $R = 937,2$ MPa, límite elástico $LE_{0,2} = 554,6$ MPa y estiramiento $A = 7,3$ %. La dureza fue 302 HBW 10/3000.

35

Ejemplo 2. Fabricación de un cigüeñal de automoción

- 40 Se fabricó un cigüeñal de automoción de 15,3 kg de peso destinado a formar parte de motores de alta potencia en camiones, utilizando la fundición de hierro con grafito esferoidal y el procedimiento descrito en la presente invención.

Se partió de una aleación cuya composición química fue la siguiente: (% en peso)

C = 3,60; Si = 2,21; Mn = 0,45; P = 0,023; S = 0,007; Cu = 1,01; Mg = 0,040; N = 0,007; siendo el resto de la composición química Fe y otros elementos residuales habituales.

45

El cigüeñal seleccionado se fabricó colando la aleación fundida en interior de un molde de arena verde, fabricado en una línea de moldeo horizontal de alta presión de Kunkel-Wagner.

50

El procedimiento de colada se llevó a cabo con ayuda de una cuchara de colada semiautomática con capacidad para 2.000 kg. El procedimiento de inoculación del metal se realizó adicionando un 0,24 % del producto inoculante (granulometría 0,2-0,5 mm) en la vena de colada con un caudal de adición que varió en el intervalo 0,6-0,8 g/kg. La composición química del inoculante utilizado fue la siguiente: (% en peso) Si = 73,1; Al = 0,71; Ca = 1,75; S = 0,06 y Bi = 0,88, siendo el resto Fe.

55

Con el fin de estudiar las propiedades estructurales y mecánicas en áreas de la pieza sometidas a diferentes condiciones de enfriamiento, se seleccionaron dos zonas: pasador (35-40 mm de sección) y volante (65-70 mm de sección). En estas dos zonas se realizaron inspecciones metalográficas para determinar la morfología de los grafitos y los componentes de la estructura matricial, utilizando un microscopio óptico LEICA. Por otra parte, a partir de estas dos zonas se obtuvieron muestras de ensayo destinadas a la realización de ensayos de tracción (Zwick Z250) y dureza Brinell (Instron Wolpert) sobre el material fabricado. En el pasador del cigüeñal, el contenido de grafito observado fue de un $11,0 \pm 0,7$ %, el número de esferoides grafiticos por mm^{-2} fue de 275 ± 22 , la forma de los grafitos correspondió en un 95,5 % a la forma VI de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 945-1. Esta misma norma se empleó para determinar la distribución de tamaños: un 34,1 % para el tamaño 8, un 49,2 % para el tamaño 7 y un 16,7 % para el tamaño 6. El contenido de la matriz metálica fue de un 99 % de perlita y un 1 % de ferrita de acuerdo con la norma UNE 78001. En esta zona de la pieza, el ensayo de tracción generó los siguientes resultados: resistencia a la rotura $R =$

65

- 5 916,6 MPa, límite elástico $LE_{0,2} = 518,9$ MPa y estiramiento $A = 7,6$ %. La dureza del material en esta zona fue 320 HBW 10/3000. En la zona del volante, el contenido de grafito medido fue de un $9,6 \pm 0,6$ %, el número de esferoides grafiticos por mm^{-2} fue de 261 ± 31 , la forma de los grafitos correspondió en un 98,2 % a la forma VI de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 945-1. La distribución de tamaños en los esferoides grafiticos, de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 945-1, fue: un 20,4 % para el tamaño 8, un 52,5 % para el tamaño 7 y un 27,1 % para el tamaño 6. El contenido de la matriz metálica fue un 97 % de perlita y un 3 % de ferrita, según norma UNE 78001. El ensayo de tracción efectuado en esta zona de la piezas dio lugar a los siguientes resultados: resistencia a la rotura $R = 927,1$ MPa, límite elástico $LE_{0,2} = 594,7$ MPa y estiramiento $A = 6,2$ %. La dureza fue 331 HBW 10/3000.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para fabricar una pieza de fundición esferoidal perlítica con un contenido de perlita igual o mayor de un 90 %, que comprende:

(i) preparar una aleación cuya composición química es la siguiente (porcentajes expresados en peso con respecto al peso total de la aleación)

C = 3,60-3,70 %;

Si = 2,20-2,30 %;

Mn = 0,40-0,60 %;

P = 0,02-0,04 %;

S = 0,005-0,008 %;

Cu = 0,90-1,00 %;

Mg = 0,03-0,04 %;

N = 0,005-0,008 %;

siendo el resto de la composición química Fe y otros elementos residuales;

(ii) colar la aleación en un molde de arena;

(iii) inocular un material inoculante en una vena de colada con un caudal de adición comprendido entre 0,6 y 0,8 g/kg, en una cantidad comprendida entre un 0,20-0,25 % en peso respecto de la cantidad de fundición de hierro,

donde dicho material inoculante tiene una granulometría comprendida entre 0,1 y 0,5 mm y una composición química seleccionada entre (porcentajes expresados en peso respecto al peso total de inoculante):

a) Si = 75,1 %; Al = 0,89 %; Ca = 0,93 %; S = 0,11 % y Ce = 0,70 %; o

b) Si = 73,1 %; Al = 0,71 %; Ca = 1,75 %; S = 0,06 % y Bi = 0,88 %, siendo el resto Fe.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la aleación presenta la siguiente composición química (porcentajes expresados en peso respecto al peso total de la aleación): C = 3,62 %; Si = 2,27 %; Mn = 0,45 %; P = 0,021 %; S = 0,008 %; Cu = 0,98 %; Mg = 0,033 %; N = 0,008 %; siendo el resto de la composición química Fe y los elementos residuales habituales.

3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que el material inoculante presenta la siguiente composición química: (porcentajes en peso respecto al peso total de inoculante): Si = 75,1 %; Al = 0,89 %; Ca = 0,93 %; S = 0,11 % y Ce = 0,70 %, siendo el resto Fe.

4. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la aleación presenta la siguiente composición química (porcentajes expresados en peso respecto al peso total de la aleación) : C = 3,60 %; Si = 2,21 %; Mn = 0,45 %; P = 0,023 %; S = 0,007 %; Cu = 1,01 %; Mg = 0,040 %; N = 0,007 %, siendo el resto de la composición química Fe y otros elementos residuales habituales.

5. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que el material inoculante presenta la siguiente composición química: (porcentajes en peso respecto al peso total de inoculante): Si = 73,1 %; Al = 0,71 %; Ca = 1,75 %; S = 0,06 % y Bi = 0,88 %, siendo el resto Fe.

6. Pieza de fundición esferoidal perlítica que se puede obtener mediante el procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que tiene una resistencia frente a la rotura (R) mayor de 900 MPa, preferentemente igual o mayor de 905 MPa, más preferentemente igual o mayor de 910 MPa, un estiramiento comprendido entre un 3,5-7,0 % y un contenido de perlita igual o mayor de un 90 %, preferentemente igual o mayor de un 95 %, más preferentemente igual o mayor de un 97 %, y todavía más preferentemente igual o mayor de un 99 %.

7. Pieza según la reivindicación 6 que consiste en un cigüeñal.

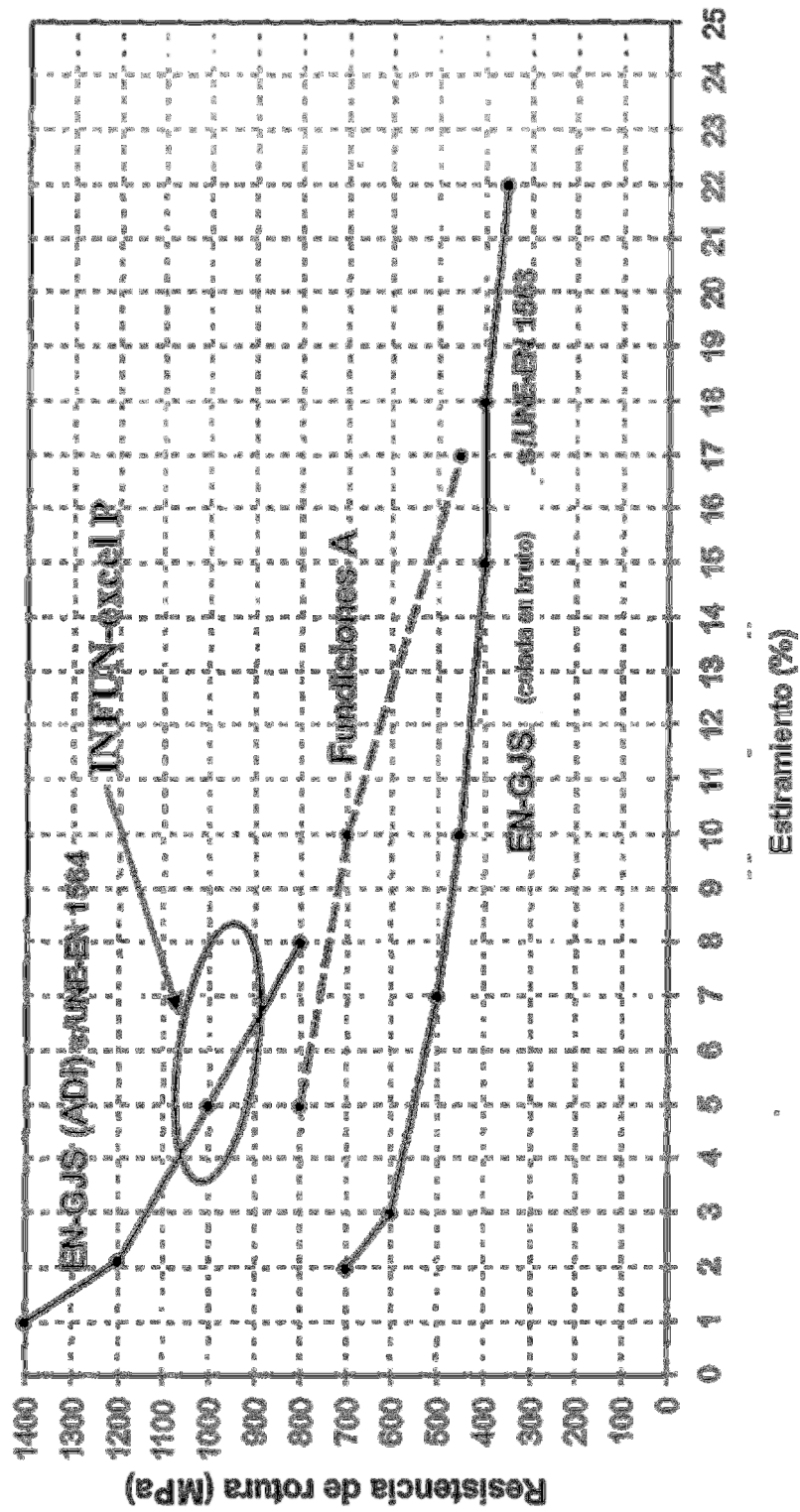


FIG. 1

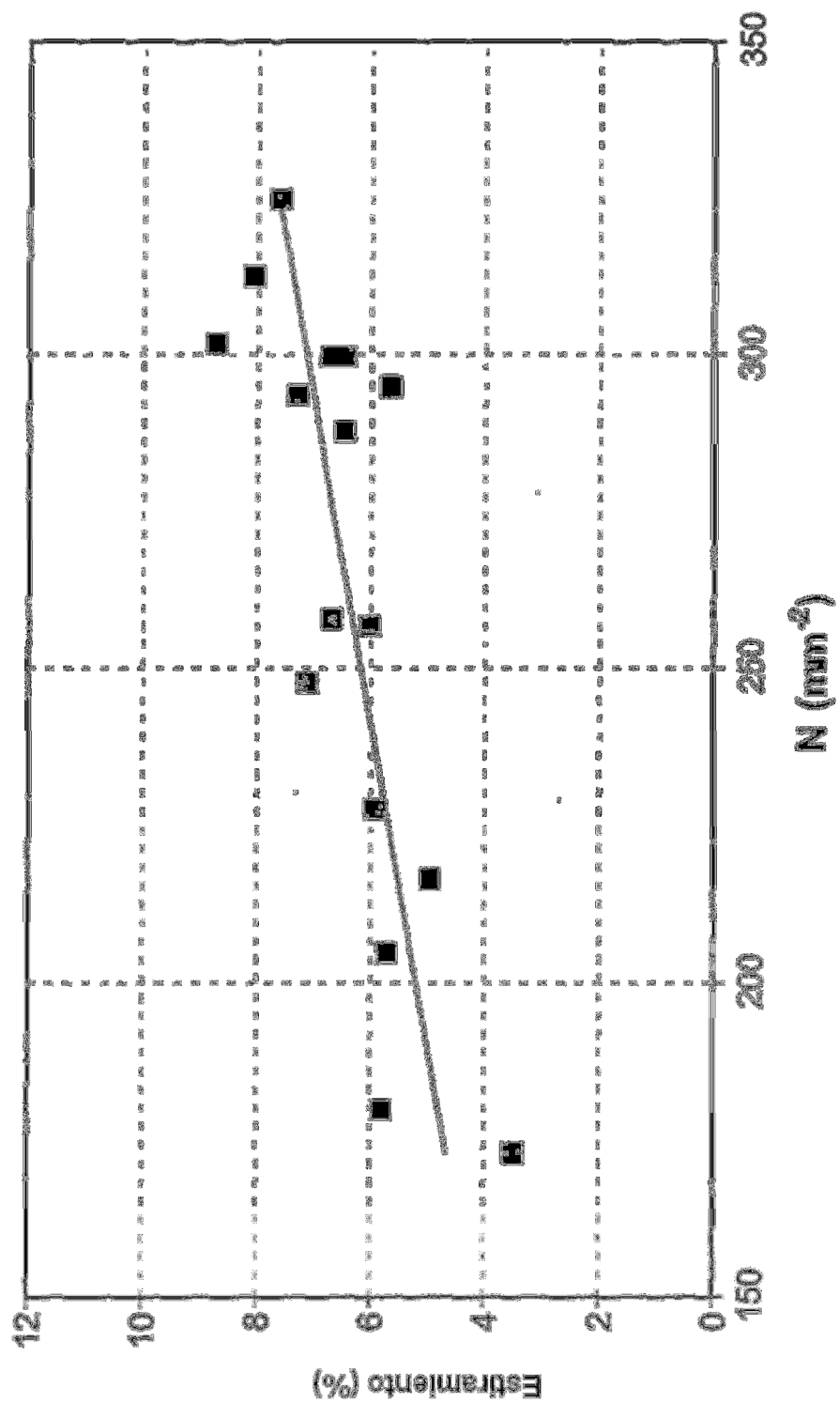


FIG. 2