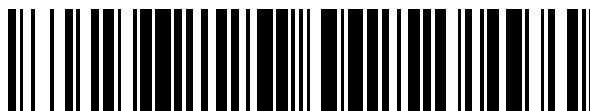


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 777 934**

51 Int. Cl.:

C22C 29/18 (2006.01)

C22C 33/02 (2006.01)

C21C 1/10 (2006.01)

C22C 35/00 (2006.01)

B22D 27/00 (2006.01)

B22D 27/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.11.2013 PCT/FR2013/052710**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.05.2014 WO14076404**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.11.2013 E 13801650 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.12.2019 EP 2920335**

54 Título: **Aleación inoculante para piezas gruesas de fundición**

30 Prioridad:

14.11.2012 FR 1260817

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

06.08.2020

73 Titular/es:

**FERROPEM (100.0%)
517 avenue de la Boisse
73000 Chambéry, FR**

72 Inventor/es:

**FAY, AURÉLIE;
TOUMI, MOURAD;
MARGARIA, THOMAS y
BERRUJEX, DANIEL**

74 Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 2 777 934 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Aleación inoculante para piezas gruesas de fundición

5 La presente invención se refiere a una aleación inoculante para el tratamiento de la fundición.

10 La fundición es una aleación hierro-carbono muy conocida y ampliamente utilizada para la fabricación de piezas mecánicas. La fundición se obtiene mezclando los componentes de la aleación en estado líquido a una temperatura comprendida entre 1320 y 1450°C antes de la colada en un molde y enfriamiento de la aleación obtenida.

En su enfriamiento, el carbono puede adoptar varias estructuras fisicoquímicas dependiendo de varios parámetros.

15 Cuando el carbono se asocia con el hierro y forma carburo de hierro Fe₃C (denominado asimismo cementita), la fundición resultante se llama fundición blanca. La fundición blanca presenta la característica de ser dura y quebradiza, lo cual no es deseable para ciertas aplicaciones.

20 Si el carbono aparece en forma de grafito, la fundición resultante se denomina fundición gris. La fundición gris es más blanda y puede ser trabajada.

25 Para obtener unas piezas de fundición que tengan buenas propiedades mecánicas, es preciso por lo tanto obtener una estructura de la fundición que comprenda el máximo de carbono en forma de grafito y limitar al máximo posible la formación de estos carburos de hierro que endurecen y fragilizan la aleación.

En ausencia de cualquier tratamiento de inoculación particular, el carbono tiende sin embargo a asociarse con el hierro para formar carburo de hierro. Por lo tanto, es necesario tratar la fundición en estado líquido de manera que se modifiquen los parámetros de asociación de carbono y se obtenga la estructura deseada.

30 Con este fin, la fundición líquida sufre un tratamiento de inoculación que prevé introducir en la fundición unos componentes grafitizantes o unos soportes para la grafitización denominados habitualmente gérmenes que favorecerán, en el enfriamiento de la fundición en el molde, la aparición de grafito más que de carburo de hierro.

35 De manera general, los componentes de un inoculante son por lo tanto unos elementos que favorecen la formación de grafito y la descomposición del carburo de hierro durante la solidificación de la fundición. Se pueden citar, a título de ejemplo, el carbono, el silicio, el calcio, el aluminio, etc.

40 Evidentemente, un inoculante puede estar concebido para cumplir otras funciones y comprender con este fin otros componentes que presentan un efecto particular. La fundición también puede someterse a tratamientos adicionales previos o subsiguientes.

Se puede desear así en particular, según las propiedades buscadas, que el grafito formado sea esferoidal, vermicular o laminar.

45 Una o la otra forma gráfica se podrá obtener preferentemente mediante un tratamiento particular de la fundición con la ayuda de componentes específicos.

50 Así, por ejemplo, la formación de grafito esferoidal puede ser favorecida por un tratamiento denominado nodulizante que prevé principalmente aportar magnesio a la fundición en cantidad suficiente para que el grafito pueda crecer de manera que forme unas partículas redondas (esferoides o nódulos).

Estos componentes nodulizantes son añadidos generalmente en forma de aleación específica (aleación nodulizante) antes del tratamiento inoculante de la fundición durante un tratamiento particular.

55 La aleación nodulizante permite así influir esencialmente en la forma de los nódulos de grafito, mientras que el producto inoculante prevé aumentar el número de estos nódulos y homogeneizar las estructuras gráficas.

60 También se puede citar la adición de productos desulfurantes, o de productos que permiten tratar específicamente ciertos fallos de la fundición en función de la composición inicial del baño de fundición líquida, tales como los microrechupes y los pinchazoss, susceptibles de aparecer cuando tiene lugar el enfriamiento.

Estos tratamientos pueden efectuarse en una o varias veces y en diferentes momentos de la fabricación de la fundición.

65 La mayoría de los inoculantes se fabrican habitualmente a partir de una aleación ferro-silicio del tipo FeSi₄₅, FeSi₆₅ o FeSi₇₅ con ajuste de la química según la composición prevista del inoculante. También se puede tratar de mezclas de varias aleaciones.

Conviene observar que la eficacia de inoculación de la pieza de fundición depende asimismo de su grosor (o también de la velocidad de solidificación).

5 En las zonas de poco espesor, al enfriarse más rápidamente, se observará un riesgo más elevado de formación de carburos.

A la inversa, en las zonas de espesores mayores, el enfriamiento será más lento (2 a 4 horas) y favorecerá la formación de grafito.

10 De ello resulta que las partes con unas zonas de espesores diferentes podrán tener unas estructuras fisicoquímicas diferentes de una zona a otra, lo cual no es deseable.

15 Además, el control de la germinación en las zonas de gran espesor sigue siendo difícil y puede conducir a la obtención de una estructura no uniforme.

20 Para las piezas de gran espesor, cuando no se domina el procedimiento de inoculación, la formación de grafito degenerado y/o de grafito "chunky" puede reducir las propiedades mecánicas de la fundición. Para resolver estos fallos, el fundidor procede generalmente a la adición de antimonio puro en el metal líquido.

25 La adición de antimonio puro en el metal líquido plantea unos problemas de precisión ya que la tasa de introducción es muy baja (del orden de 10 a 30 g por tonelada de fundición líquida). El rendimiento de adición del antimonio puro está comprendido entre 50 y 80% y la cantidad introducida útil es por lo tanto difícilmente controlable.

Si la cantidad no es suficiente, se puede formar en la estructura grafito degradado.

30 De manera recíproca, si la cantidad introducida excede el objetivo, el antimonio tendrá tendencia a hacer crecer en gran medida la proporción de perlita, fase no deseada en las estructuras ferríticas.

35 En el caso de adición de antimonio puro, el fundidor debe además asociar unas Tierras Raras (abreviadas como TR o RE por "Rare Earths") con el fin de obtener una mejora máxima de la forma del grafito. De igual manera, si la cantidad de Tierras Raras es insuficiente, la pieza presentará un defecto de grafito de tipo "spiky". De manera recíproca, si la cantidad de Tierras Raras está dosificada en gran medida, el defecto de grafito será más bien del tipo "chunky", lo cual se produce esencialmente cuando las materias primas utilizadas son relativamente puras.

Estos defectos de grafito, del tipo "spiky" o "chunky" degradan las propiedades mecánicas de la fundición, y en particular la resistencia a la tracción y la resistencia al impacto de la pieza formada.

40 La introducción de antimonio puro en la fundición líquida provoca además su vaporización y produce así una fuerte liberación de gases. Se ha medido que con la adición de antimonio puro, el umbral de liberación de antimonio en el entorno de trabajo era superior a 0,5 mg/m³, valor límite de exposición (VLE fijado por la normativa). Por lo tanto, los operarios deben trabajar con un respirador contra las partículas del tipo N95 o más.

45 El tratamiento de las piezas de poco espesor ya ha sido el objeto de desarrollos de inoculantes específicos. Los documentos FR2511044A1, FR2855186A1 y EP0816522A1 describen un inoculante de este tipo para piezas delgadas.

50 Dicho inoculante según estos documentos para piezas delgadas comprende en particular una aleación inoculante a base de ferro-silicio y que comprende entre 0,005 y 3% en masa de Tierras Raras, en particular lantano, así como entre 0,005 y 3% en masa de bismuto, plomo o antimonio en un ratio (Bismuto + Plomo + Antimonio)/Tierras raras comprendido entre 0,9 y 2,2; siendo el bismuto particularmente preferido, las descripciones de estos documentos se refieren únicamente al bismuto.

55 Conviene observar que estos documentos revelan la utilización de antimonio únicamente a título general pero no contienen ningún ejemplo específico ni ningún valor particular relativo a este elemento.

Entre los otros documentos que mencionan la utilización de antimonio, se pueden citar los documentos siguientes.

60 El documento WO2006/068487A1 describe un inoculante que comprende un componente modificador de fase (función inoculante) asociado a un agente de modificación de la estructura del grafito que puede ser antimonio. Conviene observar que este agente de modificación de estructura se utiliza en mezcla con el compuesto inoculante (ferrosilicio) y no en forma aleada. Además, se menciona claramente el antimonio como un promotor de la perlita, fase que, como se ha mencionado anteriormente, generalmente no se desea. La cantidad de antimonio utilizada está comprendida entre 3 y 15%, lo cual corresponde a una cantidad importante probablemente origen de la proporción de perlita formada.

65

El documento JP2200718A describe un inoculante que consiste en una mezcla de ferrosilicio, antimonio, siliciuro de calcio y tierras raras. El antimonio no se utiliza en forma aleada.

5 El documento JP57067146A describe una aleación a base de ferrosilicio que comprende entre 5 y 50% en masa de antimonio y hasta 10% de tierras raras. Además de la proporción elevada de antimonio, se utiliza esta aleación como inhibidor de perlita, y no como inoculante.

10 Existen asimismo varios artículos y documentos que tratan de una función nodulizante (forma del grafito) del antimonio, que no es el objetivo fundamentalmente buscado y no resuelve el problema de la inoculación (número y calidad de los nódulos). Además, se trata frecuentemente de una utilización del antimonio en forma mezclada y no aleada.

15 Por lo tanto, existe la necesidad de una aleación inoculante que permita mejorar el tratamiento de las piezas gruesas.

Para ello, la presente invención propone unas aleaciones inoculantes según la reivindicación 1 y la reivindicación 2.

20 Así, en efecto, se ha constatado de manera inesperada que el antimonio aleado con unas tierras raras en una aleación a base de ferrosilicio según las proporciones reivindicadas permitía una inoculación eficaz, y con estabilización de los esferoides, de piezas gruesas sin los inconvenientes del antimonio puro indicados anteriormente.

25 En particular, la introducción de antimonio en forma de aleación permite alcanzar un rendimiento elevado de utilización del antimonio, del orden de 97 a 99%. La cantidad útil introducida es por lo tanto mucho más conocida de manera precisa.

El aumento del rendimiento permite así un ahorro en productos y simplifica la gestión de las adiciones de productos, incluido para las tierras raras.

30 Gracias a este aumento de rendimiento y a la reducción simultánea de las emisiones gaseosas en la atmósfera, las condiciones de trabajo mejoran asimismo para los operarios responsables de las adiciones.

35 La utilización de una aleación según la invención permite limitar la liberación de gases de antimonio a entre 0,1 y 0,2 mg/m³ y la utilización de una máscara respiradora ya no es necesaria.

40 Se observará asimismo que la asociación antimonio/tierras raras alarga el tiempo de atenuación del antimonio de manera importante. El efecto producido dura por lo tanto más tiempo en el proceso de fundición completo. Se observará que el tiempo de atenuación del antimonio es incluso superior al tiempo de atenuación del bismuto en las aleaciones inoculantes para piezas delgadas.

La aleación según la presente solicitud, cuando se añade en cuchara o en el horno, puede permitir así reemplazar o incluso suprimir una inoculación adicional con chorro o tardía.

45 La aleación según la presente solicitud también permite en particular limitar en gran medida o incluso evitar la formación de defectos de grafito del tipo "chunky" o "spiky", pero también mejorar la forma del grafito asegurando una nodularidad superior al 95% acercando al mismo tiempo los esferoides a la esfera perfecta.

50 La aleación según la presente solicitud permite asegurar así una matriz ferrita/perlita homogénea según los diferentes espesores de la pieza fabricada, lo cual mejora en particular las condiciones de mecanizado posterior de la pieza.

Según la invención, el ratio entre antimonio y tierras raras está comprendido entre 0,9 y 2,2. Preferentemente, la relación entre antimonio y tierras raras será superior a 1,4, preferentemente a 1,6 e inferior a 2,5; preferentemente inferior a 2.

55 Preferentemente, la proporción en masa de antimonio es superior a 0,3%, preferentemente superior a 0,5%, más preferentemente superior 0,8%.

Preferentemente, la proporción en masa de antimonio es inferior a 1,5%, preferentemente inferior a 1,3%.

60 Ventajosamente, las tierras raras comprenden lantano, preferentemente solo lantano.

Preferentemente, la proporción en masa de tierras raras es superior a 0,2%, preferentemente superior a 0,3%.

65 Preferentemente, la proporción en masa de tierras raras es inferior a 1,2%, preferentemente inferior a 1%.

La presente invención se refiere asimismo a la utilización del inoculante según la invención.

Según una primera variante de utilización, dicho inoculante es introducido en forma de polvo.

5 Conviene observar a este respecto que los productos descritos en los documentos FR2511044A1 y EP0816522A1 adolecían del inconveniente de presentar una degradación de su granulometría en el tiempo en el almacenamiento del inoculante. El inoculante según la invención ha mostrado una gran estabilidad en la granulometría de los granos en ciertas condiciones.

10 Según una segunda variante de realización, dicho inoculante es introducido en forma de un inserto sólido colocado en un molde de colada.

15 La utilización del inoculante según la invención prevé la fabricación de piezas de fundición que presentan unas partes de espesores superiores a 6 mm, preferentemente unas partes de espesores superiores a 20 mm, y aún más preferentemente unas partes de espesores superiores a 50 mm.

La presente invención se comprenderá mejor a la luz de la descripción y de los ejemplos siguientes.

20 El inoculante según la invención se utilizará en el marco de una inoculación de un baño de fundición. También se podrá utilizar en el preacondicionamiento de dicha fundición, así como un nodulizante llegado el caso.

En el marco de una utilización típica de un inoculante, la composición de una aleación inoculante según la invención comprende:

| Elemento | Cantidad (% masa) |
|---------------------------------------|-------------------|
| Si | 45 - 80 |
| Ca | 0,5 - 4 |
| Al | 0,5 - 3 |
| Sb | 0,2 - 2 |
| Tierras Raras (en particular Lantano) | 0,2 - 3 |
| Hierro | Resto |

25 Aleación inoculante - composición 1

Evidentemente, el inoculante podrá comprender asimismo unos elementos adicionales que aportan unos efectos particulares en función de las propiedades buscadas. Esto podrá ser más particularmente el caso en el marco de un tratamiento de preacondicionamiento de la fundición.

30 Otra aleación inoculante según la invención presenta la composición siguiente:

| Elemento | Cantidad (% masa) |
|---------------------------------------|-------------------|
| Si | 45 - 80 |
| Ca | 0,5 - 8 |
| Al | 0,5 - 3 |
| Sb | 0,2 - 2 |
| Tierras Raras (en particular Lantano) | 0,2 - 3 |
| Ba | 2 - 15 |
| Mn | 2 - 6 |
| Zr | 2 - 6 |
| Hierro | Resto |

35 Aleación inoculante - composición 2

Un tratamiento de inoculación consistirá típicamente en la adición de 0,05 (preferentemente por lo menos 0,1%) a 0,8% en masa del inoculante en el baño de fundición, en particular en las condiciones siguientes dadas a título de ejemplos:

- 40
- al final de la fusión en el horno de inducción
 - antes de un tratamiento nodulizante con magnesio, y más particularmente entre 1 y 5 minutos antes de este tratamiento
- 45
- como cubierta de un tratamiento posterior "Sandwich" o "Tundish-cover".
 - en un horno de colada

- en un trasvase entre dos cucharas (transferencia y colada, en particular).
- se podrá añadir en particular el inoculante de preacondicionamiento en forma de un alambre forrado.

5 La granulometría del inoculante según la invención podrá ser adaptada en función de sus modalidades de adición.

A título de ejemplos, se puede citar:

- 10 - adición en horno de inducción: granulometría hasta aproximadamente 40 mm,
- adición entre el horno de inducción y la cuchara de colada: granulometría comprendida entre aproximadamente 10 y aproximadamente 30 mm.
- 15 - adición en el tanque de colada: granulometría comprendida entre aproximadamente 0,4 y aproximadamente 2 mm.
- adición antes de la colada en el molde: granulometría comprendida entre aproximadamente 0,2 y aproximadamente 0,5 a 2 mm.
- 20 - adición en forma de inserto inoculante colocado en el molde de colada: insertos de 20 g, 40 g, 60 g, 80 g, 300 g, 800 g, 2 kg, 5 kg, 10 kg, 20 kg y 50 kg, por ejemplo.

25 La aleación inoculante se podrá añadir asimismo con éxito como inoculante antes del llenado del molde de colada o como inoculación en cuchara o tardía, después del ajuste de la química de la aleación (en particular Ba entre 1,5 y 5% en masa y Ca entre 0,5 y 2% en masa).

30 Dependiendo del estado metalúrgico de la fundición después del tratamiento con la aleación inoculante según la presente solicitud, es posible suprimir la etapa posinoculación. El mantenimiento prolongado del efecto de inoculación en el tiempo con la acción del antimonio permite en efecto reducir de manera importante los tratamientos de inoculaciones tardías o incluso permitir suprimirlas. Con la adición por ejemplo de un inoculante que contiene el par Bi/TR, el efecto de inoculación pierde un 30% durante los primeros 4 minutos. Así, la adición de un inoculante en fase tardía se convierte en una obligación de recuperar el 100% del efecto de inoculación a esperar. Este no es el caso con un inoculante según la presente solicitud.

35 En el marco de una utilización como nodulizante con función inoculante adicional fuera del marco de la invención, la composición de la aleación podría ser la siguiente:

| Elemento | Cantidad (% masa) |
|----------------------------|-------------------|
| Si | 30 - 60 |
| Ca | 0,2 - 5 |
| Al | 0,2 - 3 |
| Sb | 0,1 - 2 |
| Tierras Raras (en lantano) | 0,1 - 3 |
| Mg | 3 - 12 |
| Hierro | Resto |

Aleación nodulizante con efecto inoculante - composición 3

40 La granulometría del nodulizante (en particular con función inoculante) se adaptará en función del tamaño de las cucharas de tratamiento. Por ejemplo, para unas cucharas de 100 a 500 kg de fundición, se preferirá una granulometría comprendida entre aproximadamente 0,4 y aproximadamente 2 mm, e incluso hasta 7 mm. Para unas cucharas de 500 a 1000 kg de fundición, se preferirá una granulometría comprendida entre aproximadamente 2 y aproximadamente 7 mm, o entre aproximadamente 10 y aproximadamente 30 mm. Para unas cucharas de más de 1000 kg de fundición, se preferirá una granulometría comprendida entre aproximadamente 10 y aproximadamente 30 mm.

50 Se proporcionarán ahora unos ejemplos de utilización.

Ejemplo 1 (fuera de la invención): fundición A - pieza de 8 mm de espesor.

Referencia de fundición (A1)

55 De acuerdo con la técnica anterior, se trató la fundición líquida mediante la adición en el horno de inducción de antimonio puro en una proporción de 30 g por una tonelada de fundición líquida.

La fundición ha sufrido a continuación un tratamiento de nodulización con la ayuda de una aleación nodulizante de tipo FeSiMg que comprende un tercio de una aleación FeSiMg que comprende 2% de tierras raras y dos tercios de una aleación FeSiMg que no comprende tierras raras.

5 Por último, la fundición ha sufrido un tratamiento de inoculación mediante la adición en el tanque de colada de 0,1% en masa de una aleación FeSiMnZr y de 0,1% de una aleación FeSiAl, siendo las aleaciones inoculantes añadidas en forma de inserto inoculante en el molde.

10 Utilización de una aleación inoculante (A2)

Se ha utilizado una aleación inoculante que contiene (en proporción másica): Si = 65% de Si, Ca = 1,76% de Ca, Al = 1,23%, Sb = 0,15%, TR = 0,16%, Ba = 7,9% en una proporción de 0,15% en masa de fundición.

15 Se ha suprimido la etapa de adición de antimonio puro y se ha simplificado el tratamiento nodulizante utilizando únicamente la aleación nodulizante FeSiMg que no contiene tierras raras.

Resultados comparativos

| | A1 (Referencia) | A2 |
|------------------------------------|-----------------|-----|
| Nodularidad del grafito | 95% | 98% |
| Matriz de la fundición (% perlita) | 8% | 3% |
| Alargamiento | 15% | 18% |

20 La fundición A tratada con un inoculante según la presente solicitud ha mostrado un aumento del alargamiento en tracción en unas muestras de control para una clase EN-GJS-400-15.

Ejemplo 2 (fuera de la invención): fundición B - pieza de 200 mm de espesor.

25 Referencia de fundición (B1)

De acuerdo con la técnica anterior, se ha tratado la fundición líquida mediante la adición en el horno de inducción de antimonio puro en una proporción de 20 g de antimonio por una tonelada de fundición líquida.

30 La fundición ha sufrido a continuación un tratamiento de nodulización con la ayuda de una aleación nodulizante de tipo FeSiMg que comprende 1% en masa de tierras raras e introducida en la fundición en forma de un alambre forrado.

35 Por último, la fundición ha sufrido un tratamiento de inoculación mediante la adición en el tanque de colada de 0,15% en masa de una aleación de FeSiBiTR.

Utilización de una aleación inoculante (B2)

40 Se ha utilizado una aleación inoculante que contiene como anteriormente: Si = 65% de Si, Ca = 1,76% de Ca, Al = 1,23%, Sb = 0,15%, TR = 0,16%, Ba = 7,9%; en una proporción de 0,15% en masa de fundición.

Se ha suprimido la etapa de adición de antimonio puro y se ha simplificado el tratamiento nodulizante utilizando únicamente una aleación nodulizante FeSiMg que no contiene tierras raras (introducida asimismo en forma de alambre forrado).

45 Resultados comparativos

| | B1 (Referencia) | B2 |
|------------------------------------|-----------------|------|
| Nodularidad del grafito | 91% | 97% |
| Matriz de la fundición (% perlita) | 4% | 3% |
| Defecto de grafito "chunky" | 15% | 0% |
| Resiliencia a -20°C | 7 J | 12 J |

En los resultados de resistencia a los impactos, la fundición B2 ha obtenido unos resultados de acuerdo con las exigencias.

50 **Ejemplo 3 (fuera de la invención): fundición C - piezas delgadas (espesor inferior a 6 mm).**

Referencia de fundición (C1)

55 De acuerdo con la técnica anterior, se ha tratado la fundición líquida mediante la adición en el horno de inducción de antimonio puro en una proporción de 25 g de antimonio para una tonelada de fundición líquida.

La fundición ha sufrido a continuación un tratamiento de nodulización con la ayuda de una aleación nodulizante de tipo FeSiMg que comprende 6,7% en masa de magnesio así como 1,2% de calcio y 0,98% de tierras raras.

5 Por último, la fundición ha sufrido un tratamiento de inoculación tardía mediante la adición de 0,12% en masa de una aleación de FeSiMnZrBa que presenta una granulometría comprendida entre 0,2 y 5 mm.

Utilización de una aleación inoculante con función nodulizante (C2)

10 Se ha utilizado una aleación nodulizante con función inoculante según la composición 3 mencionada anteriormente.

Como para los ejemplos anteriores, se ha suprimido la etapa de adición de antimonio puro.

15 El tratamiento nodulizante se ha efectuado con la ayuda de una aleación de tipo FeSiMg según la composición 3 de la presente solicitud y que comprende 6,4% en masa de magnesio así como 1,3% de calcio, 0,6% de antimonio y 1,2% de tierras raras.

Se efectuó una inoculación complementaria según un procedimiento de inoculación tardía con 0,09% de una aleación FeSiAlCa y 0,009% de una aleación FeSiMnZrBa.

20 Resultados comparativos

| | C1 (referencia) | C2 |
|------------------------------------|-----------------|------|
| Nodularidad del grafito | 93% | 98% |
| Matriz de la fundición (% perlita) | 15% | 4/5% |
| Defecto de grafito "chunky" | 4% | 0% |

25 Utilizando un nodulizante C2, se observa una desaparición de los defectos de grafito "chunky" en todas las partes controladas.

De esta manera, la inoculación adicional (inoculación tardía) se ha podido realizar utilizando un inoculante más económico de tipo FeSiAlCa.

Ejemplo 4 (fuera de la invención): fundición D - partes macizas.

30 Referencia de fundición (D1)

De acuerdo con la técnica anterior, la fundición líquida ha sido tratada mediante la adición en el horno de inducción de antimonio puro en una proporción de 30 g de antimonio para una tonelada de fundición líquida.

35 La fundición ha sufrido a continuación un tratamiento de nodulización con la ayuda de una aleación nodulizante de tipo FeSiMg que comprende 9,1% en masa de magnesio así como 1,4% de calcio y 1,1% de tierras raras.

40 Por último, la fundición ha sufrido un tratamiento de inoculación mediante la adición de un inserto de 10 kg por tonelada de fundición de una aleación inoculante FeSiMnZr.

Utilización de una aleación inoculante (D2)

45 Se utilizó en forma de inserto de 10 kg como para la referencia una aleación inoculante que contiene: Si = 65% de Si, Ca = 1,76% de Ca, Al = 1,23%, Sb = 0,15%, TR = 0,16%, Ba = 7,9%.

Como para los ejemplos anteriores, se ha suprimido la etapa de adición de antimonio puro.

50 Se efectuó el tratamiento de nodulización con la ayuda de la misma aleación que para la referencia, es decir utilizando una aleación nodulizante de tipo FeSiMg que comprende 9,1% en masa de magnesio así como 1,4% de calcio y 1,1% de tierras raras.

Resultados comparativos

| | D1 (Referencia) | D2 |
|------------------------------------|-----------------|---------|
| Nodularidad del grafito | 92% | 97% |
| Matriz de la fundición (% perlita) | 5/10% | 0/5% |
| Defecto de grafito "chunky" | 2% | 0% |
| Resistencia a la tracción | 370 MPa | 420 MPa |
| Alargamiento | 18% | 22% |
| Resistencia al impacto a -20°C | 10 J | 14 J |

La fundición D permite producir una clase de fundición EN-GJS-400-18-LT utilizada en particular en el sector de aerogeneradores. La utilización del inoculante D2 ha permitido aumentar la resistencia a los impactos de manera importante.

5

Ejemplo 5 (fuera de la invención): fundición E - piezas delgadas y tratamiento nodulizante.

Referencia de fundición (E1)

10 La fundición líquida ha sufrido un tratamiento de nodulización con la ayuda de una aleación nodulizante de tipo FeSiMg que comprende 9,1% en masa de magnesio así como 0,8% de bismuto y 0,7% de tierras raras.

15 La fundición ha sufrido a continuación un tratamiento de inoculación según un procedimiento de inoculación tardía mediante la adición de 0,18% de una aleación FeSiMnZr que presenta una granulometría comprendida entre 0,2 y 5 mm.

Utilización de una aleación inoculante con función nodulizante (E2)

20 Se ha utilizado una aleación nodulizante según la composición 3 mencionada anteriormente. La aleación utilizada es una aleación de tipo FeSiMg que comprende 9,1% de magnesio así como 0,75% de antimonio y 0,5% de tierras raras.

25 La fundición ha sufrido a continuación un tratamiento de inoculación adicional según un procedimiento de inoculación tardía mediante la adición de 0,17% de una aleación de FeSiMnZr que presenta una granulometría comprendida entre 0,2 y 5 mm.

Resultados comparativos

| | E1 (Referencia) | E2 |
|-----------------------------|-----------------|-----|
| Nodularidad del grafito | 91% | 95% |
| Defecto de grafito "chunky" | 2% | 0% |
| Rendimiento Mg | 54% | 69% |

30 Como se ha mencionado anteriormente, se constata que el hecho de reemplazar el bismuto por antimonio ha aumentado el rendimiento del magnesio en la fundición E.

Ejemplo 6 (fuera de la invención): fundición D en piezas macizas.

35 La referencia de fundición (F1) y el ensayo (F2) que utiliza una aleación inoculante han sido realizados de acuerdo con el ejemplo 4 y la fundición D inoculando unas piezas macizas.

Resultados comparativos

| | F1 (referencia) | F2 |
|----------------|-----------------|-----|
| Rendimiento Sb | 67% | 98% |

40

Se constata que gracias al rendimiento elevado obtenido, es posible dominar mejor la cantidad de antimonio añadida. La fundición F2 ha permitido un ahorro importante disminuyendo en 31,5% las dosis de antimonio a añadir.

Ejemplo 7 (fuera de la invención): fundición D en piezas macizas.

La referencia de fundición (G1) y el ensayo (G2) que utiliza una aleación inoculante han sido realizados de acuerdo con el ejemplo 4 y la fundición D inoculando unas piezas macizas.

50 Resultados comparativos

| | G1 (Referencia) | G2 |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Liberación de Sb en 8 horas | 0,7 mg/m ³ | 0,1 mg/m ³ |

Se constata que gracias al inoculante G2, la liberación de antimonio es muy limitada y muy inferior al umbral reglamentario de 0,5 mg/m³. Se han mejorado las condiciones de trabajo.

55

Ejemplo 8 (según la invención): fundición H - pieza de 150 mm de espesor.

Referencia de fundición (H1)

5 De acuerdo con la técnica anterior, la fundición líquida ha sido tratada mediante la adición en el horno de inducción de antimonio puro en una proporción de 15 g de antimonio por una tonelada de fundición líquida.

La fundición ha sufrido a continuación un tratamiento de nodulización con la ayuda de un alambre forrado nodulizante (diámetro 13 mm, 32% de Mg, 1,2% de TR, 230 g/m de polvo)

10

Por último, la fundición ha sufrido un tratamiento de inoculación tardía mediante la adición al chorro de colada de 0,15% en masa de una aleación FeSiMnZr.

Utilización de una aleación inoculante según la solicitud (H2)

15

Se ha utilizado una aleación inoculante según la composición 1 [que contiene Si = 64% de Si, Ca = 1,64% de Ca, Al = 1,15%, Sb = 0,5%, TR = 0,3%] mencionada anteriormente en una proporción de 0,2% en masa de fundición.

20

La etapa de adición de antimonio puro ha sido suprimida y el tratamiento nodulizante ha sido simplificado utilizando únicamente una aleación nodulizante FeSiMg que no contiene tierras raras (introducida asimismo en forma de alambre forrado).

Resultados comparativos

| | H1 (Referencia) | H2 (invención) |
|------------------------------------|-----------------|----------------|
| Nodularidad del grafito | 87% | 98% |
| Matriz de la fundición (% perlita) | 3% | 3% |
| Defecto de grafito "chunky" | 19% | 0% |
| Resiliencia a -20°C | 4 J | 14 J |

25

Sobre los resultados de resistencia a los impactos, la fundición H2 ha obtenido unos resultados de acuerdo con las exigencias.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Aleación inoculante a base de ferrosilicio para el tratamiento de una fundición para la fabricación de piezas que presentan unas partes de espesores superiores a 6 mm, conteniendo dicha aleación inoculante
- 10 45-80% en masa de silicio,
0,5-4% en masa de calcio,
0,5-3% en masa de aluminio,
0,2-3% en masa de Tierras Raras,
0,2-2% en masa de antimonio,
y el resto de hierro,
- caracterizada por que la relación entre antimonio y Tierras Raras está comprendida entre 0,9 y 2,2.
- 15 2. Aleación inoculante a base de ferrosilicio para el tratamiento de una fundición para la fabricación de piezas que presentan unas partes de espesores superiores a 6 mm, conteniendo dicha aleación inoculante, caracterizada por que dicha aleación contiene
- 20 45-80% en masa de silicio,
0,5-8% en masa de calcio,
0,5-3% en masa de aluminio,
0,2-3% en masa de Tierras Raras,
0,2-2% en masa de antimonio,
2-15% en masa de bario,
25 2-6% de manganeso,
2-6% de circonio,
y el resto de hierro,
- 30 caracterizada por que la relación entre antimonio y Tierras Raras está comprendida entre 0,9 y 2,2.
3. Aleación inoculante según la reivindicación 1 o 2, caracterizada por que la proporción en masa de antimonio es superior a 0,3%, preferentemente superior a 0,5%, más preferentemente superior a 0,8%.
- 35 4. Aleación inoculante según la reivindicación 1 o 2, caracterizada por que la proporción en masa de antimonio es inferior a 1,5%, preferentemente inferior a 1,3%.
5. Aleación inoculante según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizada por que las tierras raras comprenden lantano, preferentemente únicamente lantano.
- 40 6. Aleación inoculante según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizada por que la proporción en masa de tierras raras es superior a 0,3%.
- 45 7. Aleación inoculante según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizada por que la proporción en masa de tierras raras es inferior a 1,2%, preferentemente inferior a 1%.
- 50 8. Utilización de un inoculante según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, para la fabricación de piezas de fundición que presentan unas partes de espesores superiores a 6 mm, caracterizada por que dicho inoculante es introducido en forma de polvo.
5. Utilización de un inoculante según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, para la fabricación de piezas de fundición que presentan unas piezas de espesores superiores a 6 mm, caracterizada por que dicho inoculante es introducido en forma de un inserto sólido colocado en un molde de colada.
- 55 10. Utilización según la reivindicación 8 o 9, para la fabricación de piezas de fundición que presentan unas partes de espesores superiores a 20 mm.
11. Utilización de un inoculante según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, para la fabricación de piezas de fundición que presentan unas partes de espesores superiores a 50 mm.