(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 818 650**

(51) Int. CI.:

C22C 28/00 (2006.01) ***C22C 33/08*** (2006.01)
C22C 30/00 (2006.01)
C22C 33/06 (2006.01)
C22C 33/10 (2006.01)
C22C 37/04 (2006.01)
C22C 37/10 (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01)
C22C 38/02 (2006.01)
C22C 38/06 (2006.01)
C21C 1/10 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.06.2017 PCT/NO2017/050174**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **04.01.2018 WO18004356**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.06.2017 E 17751153 (2)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.06.2020 EP 3478859**

(54) Título: **Inoculante de hierro fundido y método de producción de un inoculante de hierro fundido**

(30) Prioridad:

30.06.2016 NO 20161094

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.04.2021

(73) Titular/es:

ELKEM ASA (100.0%)
Drammensveien 169
0277 Oslo, NO

(72) Inventor/es:

SKALAND, TORBJØRN y
OTT, EMMANUELLE

(74) Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

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

Inoculante de hierro fundido y método de producción de un inoculante de hierro fundido

Campo técnico

La presente invención se refiere a un inoculante a base de ferrosilicio para la fabricación de hierro fundido con grafito lamelar, compactado o esferoidal y a un método de producción del inoculante.

Técnica anterior

Normalmente, el hierro fundido se produce en hornos de cúpula o inducción, y generalmente contiene entre un 2 y un 4 por ciento de carbono. El carbono se mezcla íntimamente con hierro y la forma que adopta el carbono en el hierro fundido solidificado es muy importante para las características y propiedades de las coladas de hierro. Si el carbono adopta la forma de carburo de hierro, entonces el hierro fundido se denomina hierro fundido blanco y tiene las características físicas de dureza y fragilidad lo que, en determinadas aplicaciones no resulta deseable. Si el carbono adopta la forma de grafito, el hierro fundido es blando y apto para maquinizado y se denomina hierro fundido gris.

El grafito puede aparecer en el hierro fundido con forma lamelar, compactada o esferoidal y variaciones de las mismas. La forma esferoidal produce la resistencia más elevada y el tipo más dúctil de hierro fundido.

La forma, tamaño y densidad nodular numérica (número de nódulos por mm^2) que adopta el grafito, así como también la cantidad de grafito frente a carburo de hierro, se puede controlar por medio de determinados aditivos que favorecen la formación de grafito durante la solidificación del hierro fundido. Estos aditivos se denominan inoculantes y su adición al hierro fundido inoculación. En los productos de hierro para fundición a partir de hierro líquido, existe siempre un riesgo de formación de carburos de hierro en secciones finas de la colada. La formación de carburo de hierro en la colada se denomina en el oficio "enfriamiento". La formación de enfriamiento se cuantifica midiendo la "profundidad de enfriamiento" y el potencial de un inoculante para evitar el enfriamiento y reducir la profundidad de enfriamiento es una forma apropiada para medir y comparar la potencia de los inoculantes.

En el hierro fundido que contiene grafito esferoidal la potencia de los inoculantes también se mide por la densidad numérica por área unitaria de partículas de grafito esferoidal en la condición tal y como se produce la colada. Un valor elevado de densidad numérica por área unitaria de los esferoides de grafito significa que la potencia de inoculación o nucleación de grafito ha mejorado.

Existe una constante demanda para encontrar inoculantes que reduzcan la profundidad de enfriamiento y mejoren la aptitud de maquinizado de los hierros fundidos grises, así como para aumentar la densidad numérica de los esferoides de grafito en los hierros fundidos dúctiles.

Debido a que la química exacta, el mecanismo de inoculación y el motivo por el cual funcionan los inoculantes como lo hacen no se comprenden por completo, un gran reto de investigación consiste en proporcionar inoculantes nuevos y mejorados a la industria.

Se piensa que calcio y otros elementos concretos evitan la formación de carburo de hierro y favorecen la formación de grafito. La mayoría de inoculantes contienen calcio. La adición de estos supresores de carburo de hierro normalmente se facilita mediante la adición de una aleación de ferrosilicio y probablemente la mayoría de aleaciones de ferrosilicio ampliamente usadas son aleaciones de alto contenido en silicio que contienen de un 70 a 80 % de silicio y la aleación de bajo contenido en silicio que contiene de un 45 a un 55 % en peso de silicio.

La patente de Estados Unidos N°. 3.527.597 descubrió que se obtiene una buena potencia de inoculación con la adición de entre aproximadamente un 0,1 y un 10 % de estroncio a un inoculante que porta silicio que contiene menos de aproximadamente un 0,35 % de calcio y hasta un 5 % de aluminio.

Se sabe además que, si se usa bario junto con calcio, los dos actúan de forma conjunta para proporcionar una reducción mayor del enfriamiento que una cantidad equivalente de calcio.

La supresión de la formación de carburo se asocia a las propiedades de nucleación del inoculante. Por medio de las propiedades de nucleación se comprende el número de núcleos formados por un inoculante. Un elevado número de núcleos formados tiene como resultado una densidad nodular numérica de grafito más elevada y, de este modo, mejora la eficacia de inoculación y mejora la supresión de carburo. Además, una tasa de nucleación elevada también puede proporcionar mejor resistencia a la decoloración del efecto inoculante durante el tiempo de retención prolongado del hierro fundido tras la inoculación.

La patente de Estados Unidos N°. 4.432.793 divulga un inoculante que contiene bismuto, plomo y/o antimonio, de la marca comercial Spherix® Inoculant. Se sabe que bismuto, plomo y/o antimonio tienen una elevada potencia de

inoculación y proporcionan un aumento del número de núcleos. También se sabe que estos elementos son elementos anti-formación de esferoides, y se sabe que la presencia creciente de estos elementos en el hierro fundido provoca la degeneración de la estructura de grafito esferoidal del grafito. Spherix® es una aleación de ferrosilicio que contiene de un 0,005 % a un 3 % de tierras raras y de un 0,005 % a un 3 % de uno de los elementos metálicos bismuto, plomo y/o antimonio.

De acuerdo con la patente de Estados Unidos N°. 5.733.502 los inoculantes de tipo Spherix® contienen algo de calcio que mejora el rendimiento de bismuto, plomo y/o antimonio en el momento en que se produce la aleación y que contribuye a distribuir estos elementos de forma homogénea en la aleación, ya que estos elementos exhiben escasa solubilidad en las fases de hierro-silicio. No obstante, durante el almacenamiento el producto tiende a desintegrarse y la granulometría tiende a una cantidad mayor de finos. La reducción de granulometría va ligada a la desintegración, provocada por la humedad atmosférica, de una fase de calcio-bismuto recogida en las fronteras de grano de los inoculantes. En la patente de Estados Unidos N°. 5.733.502 se encontró que las fases binarias de bismuto-magnesio, así como también las fases ternarias de bismuto-magnesio-calcio, no experimentaban ataque por parte del agua. Este resultado únicamente se logró para inoculantes de aleación de ferrosilicio de alto contenido en silicio, para inoculantes de FeSi de bajo contenido en silicio el producto se desintegró durante el almacenamiento. La ferroaleación a base de ferrosilicio para inoculación de acuerdo con la patente de Estados Unidos N°. 5.733.502, de este modo, contiene (en % en peso) de un 0,005-3 % de tierras raras, un 0,005-3 % de bismuto, plomo y/o antimonio, un 0,3-3 % de calcio y un 0,3-3 % de magnesio, en el que la relación de Si/Fe es mayor que 2.

En los inoculantes de tipo Spherix® y el inoculante descrito en la patente de Estados Unidos N°. 5.733502 se someten a aleación metal de bismuto con inoculante a base de ferrosilicio. Bismuto tiene, como se ha comentado anteriormente, escasa solubilidad en aleaciones de ferrosilicio. El rendimiento del metal de bismuto añadido al ferrosilicio fundido es, de este modo, bajo y, por ello, aumenta el coste del inoculante que contiene bismuto. Además, debido a la elevada densidad de bismuto elemental, puede resultar difícil obtener una aleación homogénea durante la colada y solidificación. Otra dificultad es la naturaleza volátil del metal de bismuto debido a la baja temperatura de fusión en comparación con los otros elementos del inoculante a base de FeSi. Por tanto, la preparación de aleaciones de inoculante a base de FeSi que contiene bismuto se complica bastante y resulta costosa.

A partir del documento WO 95/24508 se conoce un inoculante de hierro fundido que muestra una mayor tasa de nucleación. Este inoculante es un inoculante a base de ferrosilicio que contiene calcio y/o estroncio y/o bario, menos de un 4 % de aluminio y entre un 0,5 y un 10 % de oxígeno en forma de uno o más óxidos metálicos. No obstante, se ha encontrado que la reproducibilidad del número de núcleos formados usando el inoculante de acuerdo con el documento WO 95/24508 fue bastante baja. En algunos casos, se forma un elevado número de núcleos en el hierro fundido, pero en otros casos el número de núcleos formado es bastante bajo. El inoculante de acuerdo con el documento WO 95/24508, por el motivo anterior, ha encontrado escaso uso en la práctica.

A partir del documento WO 99/29911 se sabe que la adición de azufre al inoculante del documento WO 95/24508 tiene un efecto positivo en la inoculación de hierro fundido y aumenta la reproducibilidad de los núcleos.

En el documento WO 95/24508 y el documento WO 99/29911 los óxidos de hierro, FeO, Fe_2O_3 y Fe_3O_4 son los óxidos metálicos preferidos. Otros óxidos metálicos mencionados en estas solicitudes de patente son SiO_2, MnO, MgO, CaO, Al_2O_3, TiO_2 y $CaSiO_3$, CeO_2, ZrO_2.

El documento SU872563 divulga la adición de óxido de bismuto a un baño de hierro fundido con el fin de aumentar la formación de carburo de hierro en la masa fundida (efecto de blanqueamiento), que es el efecto opuesto del pretendido por la presente solicitud.

Es un objetivo de la invención proporcionar un inoculante a base de FeSi que contiene bismuto sin las desventajas anteriores. Otro objetivo de la invención consiste en proporcionar un inoculante a base de FeSi que tiene un elevado rendimiento de bismuto en la producción del inoculante en comparación con los inoculantes de la técnica anterior, y que no sea susceptible de desintegración cualquiera que sea la relación de Fe/Si. Otro objetivo consiste en introducir de manera deliberada una cantidad controlada de oxígeno con el inoculante en forma de Bi_2O_3. Estas y otras ventajas con la presente invención resultarán evidentes en la siguiente descripción.

Divulgación de la invención

Se ha encontrado que la adición de óxido de bismuto al inoculante del documento WO 99/29911 tiene como resultado, sorprendentemente, un número significativamente más elevado densidad numérica nuclear o nodular en los hierros fundidos cuando se añade el inoculante que contiene óxido de bismuto al hierro fundido.

De acuerdo con un primer aspecto, la presente invención se refiere a un inoculante para la fabricación de hierro fundido con grafito lamelar, compacto o esferoidal en el que dicho inoculante comprende una aleación de ferrosilicio en forma de partículas que comprende entre un 40 y un 80 % en peso de silicio, entre un 0,5 y un 5 % en peso de calcio y/o estroncio y/o bario, entre un 0 y un 10 % en peso de tierras raras, por ejemplo cerio y/o lantano, entre un 0

y un 5 % en peso de magnesio, hasta un 5 % en peso de aluminio, entre un 0 y un 10 % en peso de manganeso y/o circonio y/o titanio, siendo el equilibrio hierro e impurezas accidentales en la cantidad ordinaria, en el que dicho inoculante adicionalmente comprende de un 0,1 a un 10 % en peso, basado en el peso total del inoculante, de partículas de óxido de bismuto y opcionalmente entre un 0,1 y un 10 % en peso, basado en el peso total del inoculante, de uno o más sulfuros metálicos en forma de partículas y/o partículas de óxido de hierro, donde dicho óxido de bismuto está en forma de partículas y se mezcla con partículas de ferrosilicio, o se añaden simultáneamente al hierro fundido junto con las partículas de aleación de ferrosilicio.

De acuerdo con una primera realización, la aleación de ferrosilicio comprende entre un 45 y un 60 % en peso de silicio.

De acuerdo con una segunda realización, la aleación de ferrosilicio comprende entre un 60 y un 80 % en peso de silicio.

De acuerdo con una tercera realización, la aleación de ferrosilicio comprende entre un 0,5 y un 3 % en peso de calcio y/o estroncio y/o bario.

De acuerdo con una cuarta realización, la aleación de ferrosilicio comprende entre un 0,5 y un 5 % en peso de aluminio.

De acuerdo con una quinta realización, la aleación de ferrosilicio comprende hasta un 6 % en peso de tierras raras. En una realización, las tierras raras son cerio y/o lantano.

De acuerdo con una sexta realización, la aleación de ferrosilicio comprende hasta un 6 % en peso de manganeso y/o circonio y/o titanio.

De acuerdo con una séptima realización, el inoculante comprende de un 0,2 a un 5 % en peso, basado en el peso total del inoculante, de óxido de bismuto en forma de partículas. El inoculante de acuerdo con la presente invención puede comprender de un 5 a un 3,5 % en peso, basado en el peso total de inoculante, de óxido de bismuto en forma de partículas.

De acuerdo con una octava realización, el inoculante está en forma de una mezcla de aleación a base de ferrosilicio en forma de partículas, óxido de bismuto en forma de partículas y opcionalmente el sulfuro metálico en forma de partículas y/o óxido de hierro en forma de partículas.

De acuerdo con una novena realización, el inoculante está en forma de mezcla aglomerada de aleación a base de ferrosilicio en forma de partículas y el óxido de bismuto en forma de partículas y opcionalmente el sulfuro metálico en forma de partículas y/u óxido de hierro en forma de partículas.

De acuerdo con una décima realización, el inoculante está en forma de briquetas formadas a partir de una mezcla de la aleación a base de ferrosilicio en forma de partículas y el óxido de bismuto en forma de partículas y opcionalmente el sulfuro metálico en forma de partículas y/u óxido de hierro en forma de partículas.

De acuerdo con una undécima realización, la aleación de ferrosilicio en forma de partículas y el óxido de bismuto en forma de partículas y opcionalmente el sulfuro metálico en forma de partículas y/u óxido de hierro en forma de partículas se añaden por separado, pero simultáneamente al hierro fundido.

De acuerdo con una duodécima realización, el inoculante comprende entre un 0,1 y un 5, por ejemplo, entre un 0,5 y un 3 % en peso, basado en el peso de inoculante, de uno o más sulfuros metálicos y/u óxidos de hierro. En una décimotercera realización el inoculante no comprende un sulfuro metálico u óxido de hierro.

De acuerdo con una décimocuarta realización, la aleación de ferrosilicio comprende menos que un 1 % en peso de magnesio. El magnesio puede estar presente únicamente como elemento de impureza accidental en la aleación de base de FeSi.

Sorprendentemente, se ha descubierto que el inoculante de acuerdo con la presente invención que contiene óxido de bismuto tiene como resultado una densidad nodular numérica mayor cuando se añade el inoculante al hierro fundido, obteniéndose de este modo una supresión mejorada de la formación de carburo de hierro usando la misma cantidad del inoculante de acuerdo con la presente invención como con el caso de los inoculantes convencionales, u obteniéndose la misma supresión de carburo de hierro usando menos inoculante de acuerdo con la presente invención que cuando se usan inoculantes convencionales.

De acuerdo con un segundo aspecto, la presente invención se refiere a un método para producir un inoculante para la fabricación de hierro fundido con grafito lamelar, compactado o esferoidal, que comprende: proporcionar una aleación de base en forma de partículas que comprende de un 40 a un 80 % en peso de silicio, entre un 0,5 y un 5 % en peso de calcio y/o estroncio y/o bario, entre un 0 y un 10 % en peso de tierras raras, por ejemplo cerio y/o

lantano, entre un 0 y un 5 % en peso de magnesio, hasta un 5 % en peso de aluminio, entre un 0 y un 10 % en peso de manganeso y/o titanio y/o circonio, siendo el equilibrio hierro e impurezas accidentales en cantidad ordinaria, y mezclar con dicha aleación de base en forma de partículas de un 0,1 a un 10 % en peso, basado en el peso total de inoculante, de óxido de bismuto y opcionalmente entre un 0,1 y un 10 % en peso, basado en el peso total de inoculante, de azufre en forma de uno o más sulfuros metálicos y/o uno o más óxidos de hierro para producir dicho inoculante.

De acuerdo con una realización del método, el óxido de bismuto en forma de partículas y opcionalmente los sulfuros metálicos en forma de partículas y/o el óxido de hierro en forma de partículas se mezclan con la aleación de base de FeSi en forma de partículas por medio de mezcla mecánica.

De acuerdo con otra realización del método, el óxido de bismuto en forma de partículas, y opcionalmente los sulfuros metálicos en forma de partículas y/o el óxido de hierro en forma de partículas se mezclan con la aleación de base de FeSi por medio de mezcla mecánica, seguido de aglomeración de mezclas en forma de polvo por medio de presión con un aglutinante, preferentemente una disolución de silicato de sodio. Los aglomerados posteriormente se trituran y tamizan hasta el tamaño final de producto requerido. La aglomeración de las mezclas en forma de polvo garantiza que la segregación del polvo de óxido de bismuto añadido, y opcionalmente el óxido metálico en forma de partículas añadido y el sulfuro metálico añadido se eliminan.

De acuerdo con una tercera realización del método, el óxido de bismuto en forma de partículas y opcionalmente los sulfuros metálicos en forma de partículas y/o el óxido de hierro en forma de partículas se añaden al hierro fundido líquido simultáneamente con la aleación de base de FeSi en forma de partículas.

De acuerdo con una cuarta realización del método, la aleación de base de FeSi comprende entre un 45 y un 60 % en peso de silicio.

De acuerdo con una quinta realización del método, la aleación de base de FeSi comprende entre un 60 y un 80 % en peso de silicio.

De acuerdo con una sexta realización del método, la aleación de base de FeSi comprende entre un 0,5 y un 3 % en peso de calcio y/o estroncio y/o bario.

De acuerdo con una séptima realización del método, la aleación de base de FeSi comprende entre un 0,5 y un 5 % en peso de aluminio.

De acuerdo con una octava realización del método, la aleación de base de FeSi comprende hasta un 6 % en peso de tierras raras. En una realización del método, las tierras raras son cerio y/o lantano.

De acuerdo con una novena realización del método la aleación de base de FeSi comprende hasta un 6 % en peso de manganeso y/o titanio y/o circonio.

De acuerdo con una décima realización del método, el inoculante contiene de un 0,2 a un 5 % en peso, basado en el peso total del inoculante, de óxido de bismuto en forma de partículas. El inoculante de acuerdo con la presente invención puede, por ejemplo, comprender de un 0,5 a un 3,5 % en peso, basado en el peso total de inoculante, de óxido de bismuto en forma de partículas.

De acuerdo con una undécima realización, el inoculante comprende entre un 0,1 y un 5, por ejemplo, entre un 0,5 y un 3 % en peso, basado en el peso total de inoculante, de uno o más sulfuros metálicos y/u óxidos de hierro. En una duodécima realización, el inoculante no comprende un sulfuro metálico ni óxido de hierro.

De acuerdo con una décimotercera realización, la aleación de ferrosilicio comprende menos de un 1 % en peso de magnesio. El magnesio puede estar presente únicamente como elemento de impureza accidental en la aleación de base de FeSi.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 muestra una barra de ensayo para hierros fundidos.
La Figura 2 es un diagrama que muestra la densidad nodular numérica en muestras de hierro fundido.
La Figuras 3a-b muestran fotos SEM del inoculante de acuerdo con la presente invención; FeSi revestido con polvo de Bi_2O_3. Bi_2O_3 es visible en forma de partículas blandas.

Descripción detallada de la invención

En el proceso de fabricación para la producción de hierro fundido con grafito esferoidal, la masa fundida de hierro se trata normalmente por medio de formación de nódulos, convencionalmente usando una aleación de Mg-FeSi, antes del tratamiento de inoculación. El tratamiento de formación de nódulos tiene el objetivo de cambiar la forma de

grafito de escamas a nódulos cuando se precipita y posteriormente se somete a crecimiento. La forma en que esto se lleva a cabo es mediante la modificación de la energía de interfaz de la masa fundida/grafito de la interfaz. Se sabe que Mg y Ce son elementos que modifican la energía de la interfaz, siendo Mg más eficaz que Ce. Cuando se añade Mg a la masa fundida de hierro de base, primero reacciona con oxígeno y azufre. Únicamente el "magnesio libre" tiene un efecto de formación de nódulos. La reacción de formación de nódulos tiene como resultado agitación, es violenta y genera flotación de escoria sobre la superficie. La violencia de la reacción tiene como resultado la eliminación de la mayoría de los sitios de nucleación de grafito que ya se encontraban en la masa fundida (introducidos por medio de las materias primas) y otras inclusiones aparte de la escoria en la parte superior. No obstante, algunas inclusiones de MgO y MgS producidas durante el tratamiento de formación de nódulos permanecen en la masa fundida. Estas inclusiones no son buenos sitios de nucleación como tales.

La función primaria de la inoculación es evitar la formación de carburo mediante la introducción de sitios de nucleación para el grafito. Además de introducir sitios de nucleación, la inoculación también transforma las inclusiones de MgO en MgS formadas durante el tratamiento de formación de nódulos en sitios de nucleación mediante la adición de una capa (con Ca, Ba o Sr) sobre las inclusiones.

De acuerdo con la presente invención, las aleaciones de base de FeSi deberían comprender de un 40 a un 80 % en peso de Si. La aleación de base de FeSi puede ser una aleación de alto contenido en silicio que contiene de un 60 a un 80 % de silicio o una aleación de bajo contenido en silicio que contiene de un 45 a un 60 % en silicio. La aleación de base de FeSi debería tener un tamaño de partícula que esté dentro del intervalo convencional de inoculantes, por ejemplo, entre un 0,2 y un 6 mm.

De acuerdo con la invención, la aleación a base de FeSi en forma de partículas comprende entre un 0,5 y un 5 % en peso de Ca y/o Sr y/o Ba. Usando una cantidad mayor de Ca, Ba y/o Sr se puede reducir el rendimiento del inoculante, aumentar la formación de escoria y aumentar el coste. La cantidad de Ca y/o Sr y/o Ba en la aleación de base de FeSi puede ser, por ejemplo, de un 0,5-3 % en peso.

La aleación de base de FeSi comprende hasta un 10 % en peso de tierras raras (RE). RE, por ejemplo, puede ser Ce y/o La. También se logra buen rendimiento de inoculación cuando la cantidad de RE es de hasta un 6 % en peso. La cantidad de RE debería preferentemente ser de al menos un 0,1 % en peso. Preferentemente, el RE es Ce y/o La.

La presencia de pequeñas cantidades de elementos tales como Bi en la masa fundida (también denominados elementos subversivos) evita que el magnesio tenga el efecto deseado de formación de nódulos. Este efecto negativo se puede neutralizar mediante el uso de Ce. La introducción de Bi_2O_3 junto con el inoculante consiste en añadir un reaccionante a un sistema ya existente con inclusiones de Mg flotando alrededor de la masa fundida y Mg "libre". Esto no es una reacción violenta y cabe esperar que el rendimiento de Bi (Bi/Bi_2O_3 restante en la masa fundida) sea elevado. También se observa un buen efecto inoculante cuando el inoculante contiene de un 0,2 a un 5 % en peso, basado en el peso total de inoculante, de Bi_2O_3 en forma de partículas. La cantidad de Bi_2O_3 en forma de partículas, en algunas realizaciones, puede ser, por ejemplo, de aproximadamente un 0,5 a aproximadamente un 3,5 % en peso, basado en el peso total del inoculante.

Las partículas de Bi_2O_3 deberían tener un tamaño de partícula pequeño, es decir, un tamaño micrónico (por ejemplo, 1-10 µm), lo cual tiene como resultado una disolución o fusión muy gruesa de las partículas de Bi_2O_3 cuando se introducen en la masa de hierro fundido. Ventajosamente, las partículas de Bi_2O_3 se mezclan con la aleación de base de FeSi en forma de partículas antes de la adición del inoculante en la masa de hierro fundido. La Figura 3 muestra un inoculante de acuerdo con la presente invención en el que las partículas de Bi_2O_3 se mezclan con las partículas de aleación de FeSi. Las partículas de Bi_2O_3 son visibles en forma de partículas blandas. La mezcla de partículas de Bi_2O_3 con partículas de aleación de base de FeSi tiene como resultado un inoculante estable y homogéneo. Los siguientes ejemplos muestran que la adición de partículas de Bi_2O_3 junto con las partículas de aleación de base de FeSi tiene como resultado una densidad nodular numérica mayor cuando se añade el inoculante al hierro fundido, reduciendo de este modo la cantidad de inoculante necesaria para lograr el efecto de inoculación deseado.

Ejemplos

Se trataron dos masas P y Q de hierro fundido con un 1,05 % en peso de aleación de formación de nódulos de MgFeSi basado en el peso de los hierros fundidos en una cuchara con cubierta de artesa. La aleación de formación de nódulos de MgFeSi tuvo la siguiente composición en peso: un 5,8 % de Mg, un 1 % de Ca, un 1 % de RE, un 0,7 % de Al, un 46 % de Si, siendo hierro el equilibrio.

Se inocularon las masas P y Q de hierro fundido tratadas con Mg con un inoculante de ferrosilicio A que contenía un 71,8 % en peso de si, un 1,07 % en peso de Al, un 0,97 % en peso de Ca, un 1,63 % en peso de Ce, siendo el resto hierro e impurezas accidentales en cantidad ordinaria. Se añadieron diferentes cantidades de óxido de bismuto en forma de partículas, sulfuro de hierro en forma de partículas y óxido de hierro en forma de partículas al Inoculante A y se mezcló mecánicamente usando para obtener mezclas homogéneas de los diferentes inoculantes.

Con fines de comparación, se inocularon las mismas masas de hierro fundido con el inoculante A al cual se añadieron únicamente óxido de hierro y/o sulfuros de hierro (técnica anterior).

La composición química de los hierros fundidos finales fue un 3,5-3,7 % en peso de C, un 2,3-2,5 % en peso de Si, un 0,29-0,30 % en peso de Mn, un 0,009-0,011 % en peso de S, un 0,040-0,050 % en peso de Mg.

Las cantidades añadidas de óxido de bismuto, óxido de hierro y sulfuro de hierro a la aleación de base de FeSi se muestran en la Tabla 1. Las cantidades de óxido de bismuto, óxido de hierro y sulfuro de hierro están basadas en el peso total de los inoculantes.

Tabla 1: Mezclas de inoculante basadas en Inoculante A y diversas adiciones en % en peso de Bi_2O_3, FeS y Fe_2O_3.

			Adiciones			
		Inoculante de base	FeS	Fe_2O_3	Bi_2O_3	Referencia
Masa fundida P	1	Inoculante A	1 %	2 %	-	P1 (técnica anterior)
	2	Inoculante A	-	-	1,1 %	P2 (Invención)
	3	Inoculante A	1 %	2 %	1,1 %	P3 (Invención)
	4	Inoculante A	1 %	2 %	-	P4 (técnica anterior)
Masa fundida Q	1	Inoculante A	-	-	2,2 %	Q1 (Invención)
	2	Inoculante A	1 %	-	1,1 %	Q2 (Invención)
	3	Inoculante A	1 %	2 %	-	Q3 (técnica anterior)
	4	Inoculante A	1 %	2 %	-	Q4 (técnica anterior)
	5	Inoculante A	1 %	-	2,2 %	Q5 (Invención)
	6	Inoculante A	1 %	2 %	1,1 %	Q6 (Invención)

Se añadieron inoculantes diferentes a las masas P y Q de hierro fundido en una cantidad de un 0,2 % en peso. Los hierros fundidos inoculados se colaron para dar lugar a muestras de barra de ensayo cilíndricas de diámetro de 28 mm. Se examinaron las microestructuras en una barra de ensayo a partir de cada ensayo. Se cortaron las barras de ensayo, se prepararon y se evaluaron por medio de análisis de imágenes en la posición 2 mostrada en la Figura 1. Se determinó la densidad nodular numérica (número de nódulos/mm^2). Los resultados se muestran en la Figura 2.

Como se puede apreciar a partir de la Figura 2, los resultados muestran una tendencia muy significativa de que los hierros fundidos tratados con Bi_2O_3 que contienen inoculantes, P2, P3, Q1, Q2, Q5 y Q6, de acuerdo con la invención, muestran una densidad nodular numérica mayor en comparación con las masas de hierro fundido tratadas con los inoculantes de la técnica anterior, P1, P4, Q3, Q4.

Habiendo descrito las realizaciones preferidas de la invención, resultará evidente para los expertos en la técnica que se pueden usar otras realizaciones que incorporen los conceptos. Se pretenden estos y otros ejemplos de la invención ilustrados anteriormente y en los dibujos adjuntos a modo de ejemplo únicamente, y el alcance real de la invención viene determinado por medio de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un inoculante para la fabricación de hierro fundido con grafito lamelar, compactado o esferoidal, comprendiendo dicho inoculante una aleación de ferrosilicio en forma de partículas entre un 40 y un 80 % en peso de silicio, entre un 0,5 y un 5 % en peso de calcio y/o estroncio y/o bario, entre un 0 y un 10 % en peso de tierras raras, por ejemplo cerio y/o lantano, entre un 0 y un 5 % en peso de magnesio, hasta un 5 % en peso de aluminio, entre un 0 y un 10 % en peso de manganeso y/o titanio y/o circonio, siendo el equilibrio hierro e impurezas accidentales en cantidad ordinaria, en donde dicho inoculante adicionalmente contiene de un 0,1 a un 10 % en peso, basado en el peso total de inoculante, de óxido de bismuto en forma de partículas, y opcionalmente entre un 0,1 y un 10 % en peso, basado en el peso total de inoculante, de uno o más sulfuros metálicos en forma de partículas y/o uno o más óxidos de hierro en forma de partículas, donde dicho óxido de bismuto en forma de partículas se mezcla con las partículas de ferrosilicio, revistiendo las partículas de aleación de ferrosilicio o añadiéndose simultáneamente al hierro fundido líquido con las partículas de ferrosilicio.

2. Inoculante de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la aleación de ferrosilicio comprende entre un 45 y un 60 % en peso de silicio.

3. Inoculante de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la aleación de ferrosilicio comprende entre un 60 y un 80 % en peso de silicio.

4. Inoculante de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la aleación de ferrosilicio comprende entre un 0,5 y un 3 % en peso de calcio y/o estroncio y/o bario.

5. Inoculante de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la aleación de ferrosilicio comprende entre un 0,5 y un 5 % en peso de aluminio.

6. Inoculante de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la aleación de ferrosilicio comprende hasta un 6 % en peso de tierras raras.

7. Inoculante de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la aleación de ferrosilicio comprende hasta un 6 % en peso de manganeso y/o titanio y/o circonio.

8. Inoculante de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la aleación de ferrosilicio comprende menos de un 1 % en peso de magnesio.

9. Inoculante de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el inoculante comprende de un 0,2 a un 5 % en peso de óxido de bismuto en forma de partículas.

10. Inoculante de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las tierras raras son cerio y/o lantano.

11. Inoculante de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el inoculante está en forma de mezcla de aleación a base de ferrosilicio en forma de partículas y óxido de bismuto en forma de partículas, y opcionalmente el sulfuro metálico en forma de partículas y/u óxido de hierro en forma de partículas.

12. Inoculante de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el inoculante está en forma de aglomerados formados a partir de una mezcla de la aleación a base de ferrosilicio en forma de partículas y el óxido de bismuto en forma de partículas, y opcionalmente el sulfuro metálico en forma de partículas y/o el óxido de hierro en forma de partículas.

13. Inoculante de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el inoculante está en forma de briquetas formadas a partir de una mezcla de la aleación a base de ferrosilicio en forma de partículas y el óxido de bismuto en forma de partículas, y opcionalmente el sulfuro metálico en forma de partículas y/o el óxido de hierro en forma de partículas.

14. Inoculante de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el inoculante de aleación a base de ferrosilicio en forma de partículas y el óxido de bismuto en forma de partículas, y opcionalmente el sulfuro metálico en forma de partículas y/o el óxido de hierro en forma de partículas, se añaden por separado, pero simultáneamente al hierro fundido líquido.

15. Un método para producir un inoculante para la fabricación de hierro fundido con grafito lamelar, compactado o esferoidal que comprende: proporcionar una aleación de base en forma de partículas que comprende de un 40 a un 80 % en peso de silicio, entre un 0,5 y un 5 % en peso de calcio y/o estroncio y/o bario, entre un 0 y un 10 % en peso de tierras raras, por ejemplo cerio y/o lantano, entre un 0 y un 5 % en peso de magnesio, hasta un 5 % en peso de aluminio, entre un 0 y un 10 % en peso de manganeo y/o titanio y/o circonio, siendo el equilibrio hierro e impurezas accidentales en cantidad ordinaria, y mezclar con dicha aleación de base, en forma de partículas, de un

0,1 a un 10 % en peso, basado en el peso total de inoculante, de óxido de bismuto, y opcionalmente un 0,1 y un 10 % en peso, basado en el peso total de inoculante, de uno o más sulfuros metálicos y/o uno o más óxidos de hierro, para producir dicho inoculante.

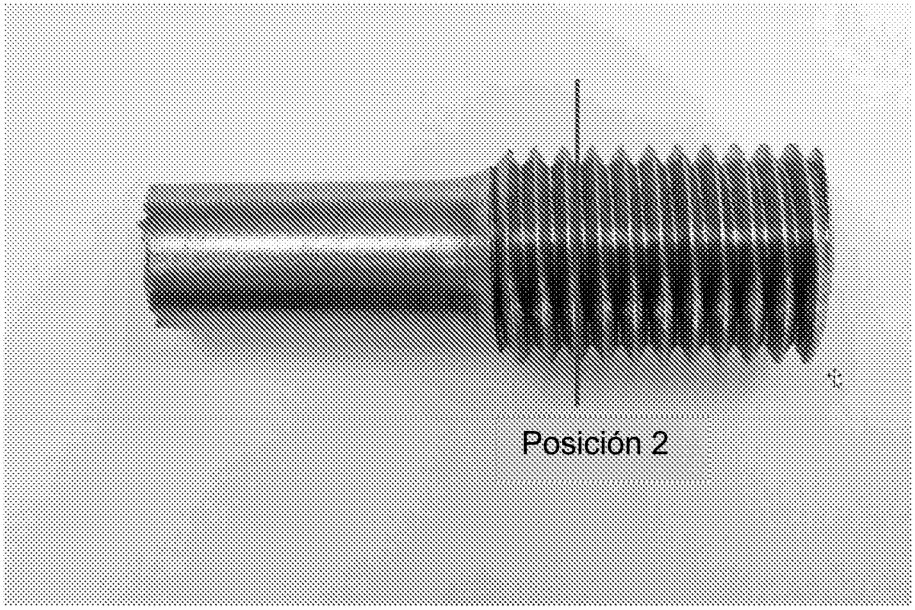

Figura 1

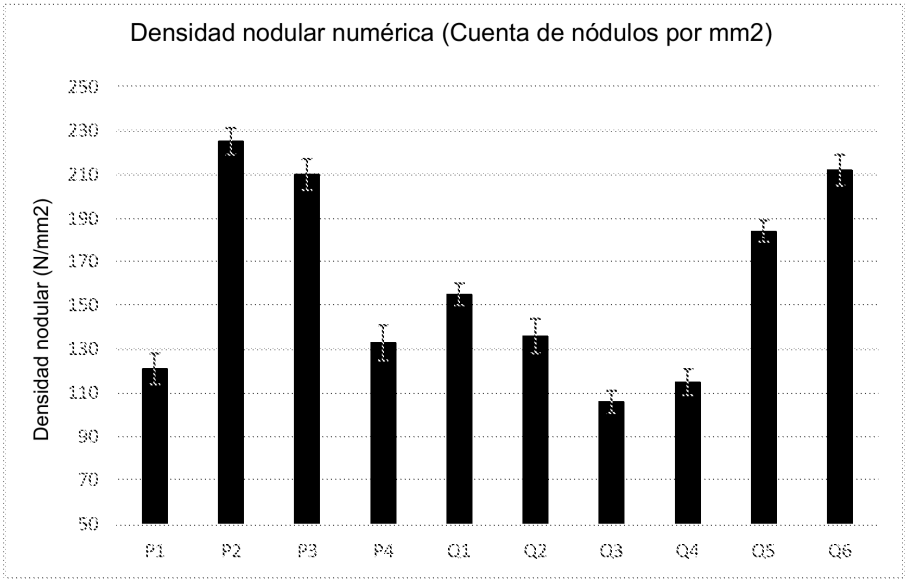

Figura 2

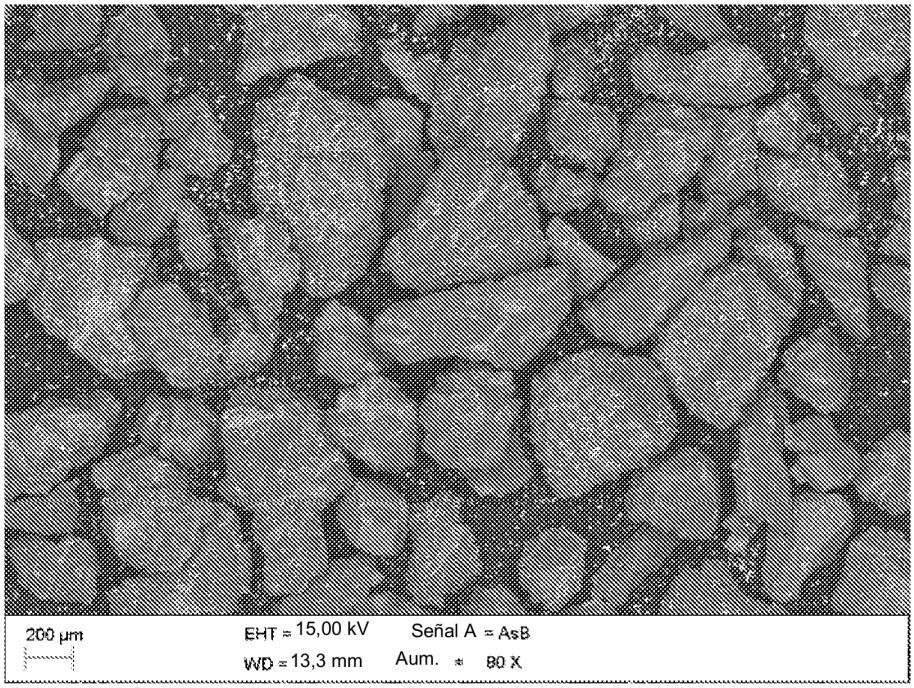

Figura 3a

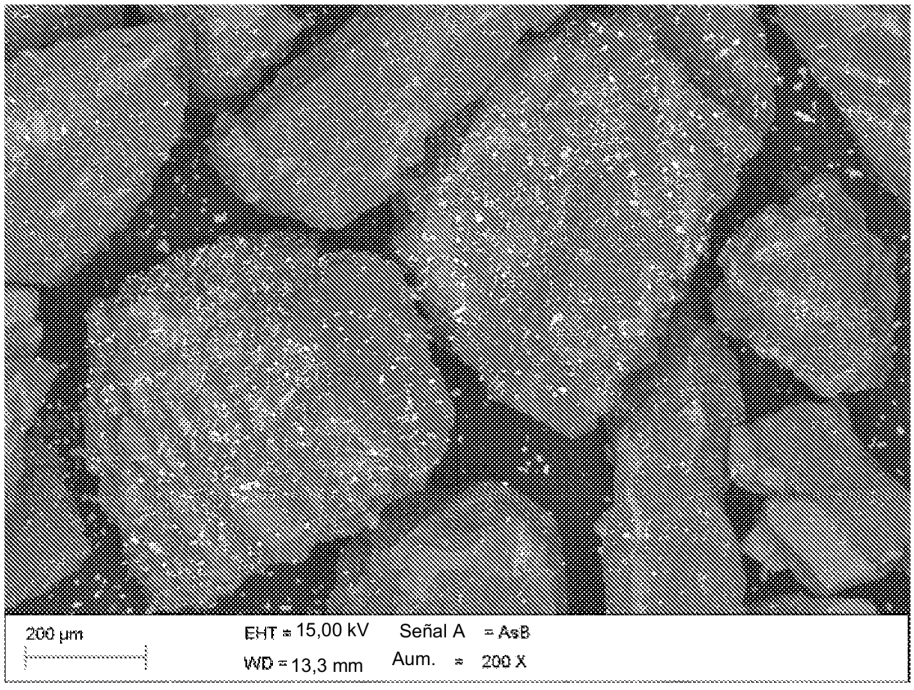

Figura 3b