

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 384 119**

51 Int. Cl.:
C21C 1/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **07252936 .5**
- 96 Fecha de presentación: **24.07.2007**
- 97 Número de publicación de la solicitud: **1887090**
- 97 Fecha de publicación de la solicitud: **13.02.2008**

54 Título: **Método mejorado para la producción de hierro dúctil**

30 Prioridad:
25.07.2006 GB 0614705

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
29.06.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
29.06.2012

73 Titular/es:
**FOSECO INTERNATIONAL LIMITED
BARLBOROUGH OFFICES 2 MIDLAND WAY,
CENTRAL PARK
BARLBOROUGH LINKS DERBYSHIRE S43 4XA,
GB**

72 Inventor/es:
Berthelet, Emmanuel

74 Agente/Representante:
BALLESTER CAÑIZARES, Rosalía

ES 2 384 119 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).

Método mejorado para la producción de hierro dúctil

.....

[0001] La presente invención reside en un método para la producción de hierro dúctil.

5 **[0002]** Para lograr las propiedades mecánicas deseadas en las piezas de fundición de hierro, el hierro líquido debe tener la composición correcta y debe también contener núcleos adecuados para inducir la morfología del grafito correcta en la solidificación. El hierro líquido debe tener un “potencial de grafitización” adecuado. Esto se determina principalmente mediante su “valor de carbono equivalente”. Es una práctica común el ajustar el potencial de grafitización mediante nucleación, p.ej., mediante la adición controlada de los denominados inoculantes. Los inoculantes se basan principalmente en grafito, ferrosilicio o siliciuro de calcio, siendo el ferrosilicio el más utilizado comúnmente.

10 **[0003]** El hierro dúctil, también conocido como hierro con grafito esferoidal (SG) o hierro nodular, se diferencia de la fundición gris en que en el primero, la precipitación de grafito se produce en forma de nódulos separados en lugar de escamas interconectadas. El fomento de la precipitación del grafito en nódulos se logra tratando el hierro líquido con un denominado nodulizador, comúnmente magnesio, antes de la fundición (y antes de la inoculación). El magnesio puede añadirse como metal puro, o más comúnmente en forma de aleación como por ejemplo magnesio-ferrosilicio o níquel-magnesio. Otros materiales incluyen briquetas como “NODULANT” (TM), formadas a partir de mezclas granulares de hierro y magnesio, y alambre de acero dulce hueco relleno de magnesio y otros materiales. En general, el tratamiento de magnesio debería tener como resultado aproximadamente un 0,04% de magnesio residual en el hierro líquido. Sin embargo, existen un número de dificultades con esta adición de magnesio. El magnesio hierve a temperaturas relativamente bajas en comparación con el hierro líquido de manera que se produce una reacción violenta debida a la alta presión del vapor de magnesio a la temperatura de tratamiento causando una agitación violenta del hierro líquido y una pérdida considerable de magnesio en forma de vapor. Además, durante el tratamiento, se forman óxido y sulfuros en el hierro dando como resultado la formación de escoria en la superficie del metal. Esta escoria debe ser eliminada de forma tan exhaustiva como sea posible antes de la fundición. Además, el magnesio residual en el hierro líquido tras el tratamiento se oxida continuamente en la superficie del metal expuesta al aire, provocando una pérdida de magnesio que puede afectar a la estructura de los esferoides de grafito, y la escoria formada puede dar como resultado inclusiones perjudiciales en las fundiciones. La pérdida de magnesio a la atmósfera y en la formación de sulfuros y óxidos es variable y hace difícil la predicción del nivel

apropiado de adición para una hornada concreta y también hace necesario que se aplique una “sobredosis” al hierro de hasta un 100% o incluso más (el 50% o más del magnesio puede perderse). Estos factores resultan claramente desfavorables en términos de coste, facilidad de manipulación y predictibilidad de las propiedades mecánicas y en la calidad general de las piezas de fundición finales.

[0004] Además, el magnesio es de hecho un promotor de carburos, así que el nivel de inoculantes necesario tras el tratamiento del magnesio es relativamente alto. Puesto que cualquier chatarra se devuelve generalmente al principio del proceso por razones económicas, existe una tendencia a que el contenido de silicio en el hierro (derivado de las adiciones de inoculantes y nodulizadores) aumente a lo largo de un periodo de tiempo, limitando la proporción de chatarra que se puede usar (el nivel de silicio necesario al final del proceso está predeterminado por la especificación para la pieza de fundición).

[0005] Se han realizado intentos de mitigar las cuestiones que surgen por la adición de magnesio. Por ejemplo, Foseco ha combinado la adición de nodulizador de magnesio con una adición de una aleación de bario (p.ej., la vendida bajo el nombre comercial de “INOCULIN 390” y que tiene la siguiente composición (por % de peso) 60-67Si, 7-11Ba, 0,8-1,5Al, 0,4-1,7Ca, siendo el resto Fe). Todas las composiciones presentadas en lo sucesivo se presentan en porcentaje por peso a menos que se indique lo contrario. El uso de tales aleaciones puede mitigar algunas de las cuestiones comentadas arriba pero no de manera fiable y predecible.

[0006] Es un objetivo de la presente invención proporcionar un método mejorado para producir hierro dúctil que eluda o mitigue uno o más de los problemas asociados con los procesos de la técnica precedente.

[0007] Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un proceso para la producción de hierro dúctil según la reivindicación 1.

[0008] La presente invención se basa en el descubrimiento de que pretratar el hierro con un inicializador antes de la adición de nodulizador da como resultado un número de ventajas significativas y sorprendentes.

[0009] El inicializador de la etapa (i) es una aleación de ferrosilicio. Más preferentemente, la aleación de ferrosilicio es por porcentaje de peso 40-55Si, 5-15 Ba, incluso de forma más preferida es 46-50Si, 7-11 Ba, siendo el resto Fe y cualquier impureza inevitable que pueda estar presente.

[0010] La aleación puede contener cantidades reducidas de otros elementos de aleación elegidos entre uno o más de los siguientes elementos: Al, Ca, Mn y Zr, por ejemplo independientemente, 0-2,5Al, preferentemente 0-1,5Al, 0-2Ca, 0-3Mn y 0-

1,5Zr. Cuando están presentes, los niveles mínimos de tales elementos son preferentemente: 0,5Al, 1Ca, 2Mn y 0,5Zr.

[0011] Una aleación altamente preferida es 33,7-41,3Fe, 46-50Si, 7-11Ba, 0,01-1Al, 1,2-1,8Ca, 0,01-2,5Mn, 0,01-1Zr.

5 **[0012]** El nodulizador que contiene Mg utilizado en la etapa (ii) puede ser metal Mg (p.ej. lingote o alambre de núcleo), aleación MgFeSi (preferiblemente 3-20% Mg), aleación Ni-Mg (preferiblemente 5-15% Mg), o briquetas Mg-Fe (preferiblemente 5-15%).

10 **[0013]** De forma más conveniente, la etapa (ii) se lleva a cabo aproximadamente 4 minutos después de la etapa (i).

[0014] Preferiblemente, la cantidad de inicializador añadido en la etapa (i) se calcula para obtener al menos 0,035% Ba (por peso del hierro líquido). No hay ningún problema concreto con la sobredosis, pero 0,04% (p.ej. 0,4% de un 10%Ba que contiene el inicializador) debería ser suficiente para la mayoría de las aplicaciones.

15 **[0015]** Normalmente, el nivel de Si en el hierro dúctil se optimiza a aproximadamente 2,2-2,8%. A niveles inferiores a éste la proporción de ferrita se reduce y se forman niveles inaceptables de carburo. El presente proceso permite una reducción en el nivel de silicio de aproximadamente un 10 a un 15%. Esto no solo reduce el uso y el coste de añadir aleaciones de silicio al hierro, sino que, de manera ventajosa, se aumenta la
20 resistencia al impacto del hierro, así como las propiedades de mecanizado de la fundición.

[0016] Preferentemente, la cantidad de nodulizador que contiene Mg se calcula de forma que cause como resultado aproximadamente un 0,03% (es decir de 0,025 a 0,035%) de Mg residual en el hierro líquido, es decir, una reducción de
25 aproximadamente el 25% en comparación con un proceso tradicional.

[0017] La naturaleza específica del inoculante de la etapa (iii) no es significativa y puede usarse cualquier inoculante conocido adecuado para el hierro dúctil, por ejemplo inoculantes basados en ferrosilicio (preferido) o siliciuro de calcio.

30 **[0018]** El experto en la materia sabrá que el contenido de oxígeno de un hierro líquido base estará relacionado con su temperatura (tasa de absorción de gas), tiempo de mantenimiento, peso de la caja y la velocidad de la línea de moldeo. En general, un proceso de fundición de curso lento contiene un nivel bajo de oxígeno (p.ej. inferior a 40ppm) y un proceso de fundición de curso rápido contiene un alto nivel de oxígeno (p.ej. superior a 80ppm). El contenido de oxígeno tiene una relación directa con la
35 cantidad de magnesio necesaria para la nodulización, puesto que el magnesio se combinará con cualquier oxígeno presente para formar MgO, y únicamente el magnesio residual libre promueve la nodulización de los esferoides de grafito. Puesto

que la cantidad de oxígeno es variable (y esencialmente desconocida) resulta imposible dosificar el hierro con la cantidad correcta de magnesio. En aquellos casos en los que el nivel de oxígeno es bajo, habrá una cantidad excesiva de magnesio libre. Esto provoca una promoción de carburo (fase dura) y defectos de gases aumentados y contracciones aumentados. Por otro lado, cuando el nivel de oxígeno es alto, habrá una cantidad excesiva de MgO lo que provoca esferoides de grafito no redondos, inclusiones de escoria y defectos en la superficie.

[0019] Por lo tanto, el propósito del inicializador es compensar los niveles de oxígeno variables “reajustando” o inactivando la actividad del oxígeno. Puesto que no se consume magnesio en la formación de MgO en la adición de magnesio posterior, puede calcularse de manera mucho más exacta el nivel necesario de adición de Mg. Ya que la cantidad necesaria de Mg será inevitablemente menor que la que se habría usado previamente, también se reduce la violencia de la reacción, minimizando aún más la necesidad de aplicar una sobredosis. En cualquier caso, una gran ventaja de la presente invención es que los parámetros restantes que determinan el nivel de la adición de Mg son o bien constantes, o bien pueden predecirse o medirse.

[0020] El uso consecutivo de un inicializador de Ba y nodulizador de magnesio es especialmente efectivo. La experiencia ha demostrado que el magnesio es el mejor material con diferencia para inducir que los nódulos de grafito crezcan en la forma de esferoide requerida. Sin embargo, el Mg dista mucho de ser ideal en las otras propiedades: reacciona de forma más violenta que otros miembros del Grupo, su óxido es menos estable, alta tendencia al desvanecimiento (*fading*), forma grandes cantidades de escoria de silicato “pegajoso” lo que fomenta los defectos en la pieza de fundición final y no es especialmente bueno nucleando la formación inicial de nódulos de grafito. Descendiendo en el Grupo desde Ca a Sr y Ba, se reduce la violencia de la reacción, aumenta la estabilidad de los óxidos, se reduce la tendencia al desvanecimiento y aumenta el poder de nucleación. Además, los desperdicios tienden a ser óxidos en lugar de silicatos y es más fácil separarlos del hierro.

[0021] Se apreciará que si el oxígeno en el hierro es consumido por el Mg o el inicializador, su nivel continua siendo desconocido, de modo que la sobredosis será aún necesaria. Sin embargo, las consecuencias de la sobredosis con el inicializador no son tan desfavorables como la sobredosis con Mg, ya que el Ba del inicializador es menos promotor del carburo que el Mg y produce escoria más fácil de tratar.

[0022] Aunque todos los metales del Grupo Ila serán beneficiosos en términos de desoxidar el material fundido, el uso de Ba resulta especialmente ventajoso. En los casos en los que se usa un exceso de inicializador, los núcleos relativamente pequeños se reunirán, aumentando así su área de superficie y el mecanismo de

flotación actúa, de manera que se elimina el exceso como escoria (en otras palabras, a diferencia del Mg, en el que la cantidad de Mg libre en el Mg residual puede variar, esta no es una variable en el componente en estado bruto de colada). En otras palabras, la invención puede verse como una forma de convertir una variable metalúrgica (nivel de oxígeno) que se manifiesta como una variabilidad en el componente en estado bruto de colada en una variable del proceso (escoria basada en oxígeno) que es un parámetro del proceso y se encuentra separado completamente del componente en estado bruto de colada. Los elementos por encima del bario en la tabla periódica tendrán una tendencia a desvanecerse más rápidamente puesto que son más ligeros y flotarán hacia el exterior más rápidamente. Los elementos por debajo del Ba (es decir, Ce) tenderán a hundirse hasta el fondo de los hornos/cucharones. Por otro lado, el BaO tiene aproximadamente la misma densidad que el hierro líquido, de forma que la oportunidad de maximizar y obtener una homogeneidad en el proceso de nucleación solo se logra con Ba.

[0023] Los modos de realización de la invención se describirán a continuación en referencia a los dibujos adjuntos en los que:

La Figura 1 es una representación esquemática de una fundición montada para poner en práctica el método de la presente invención,

La Figura 2 muestra micrografías ópticas de muestras de hierro preparadas según la presente invención en comparación con una muestra de la técnica precedente, y

Las Figuras de la 3 a la 9 son gráficos del recuento de nódulos, % de ferrita, dureza, % de Mg residual, % de promotor de perforaciones, % de azufre y % de silicio respectivamente para muestras de fundición de una prueba de fundición que compara un tratamiento de Mg de la técnica precedente con los procesos según la presente invención.

[0024] En relación con la Figura 1, se muestra una disposición esquemática para llevar a cabo el proceso de la presente invención. El hierro base se funde en un horno 2 y se transfiere a un soporte 4 (ruta A). A continuación, el hierro fundido se vierte en un primer cucharón 6 (inicialización), que ha sido dosificado previamente con el inicializador. Es importante mantener una temperatura adecuada para favorecer la formación de óxidos de bario y, según la configuración exacta, esto puede lograrse “sobrecalentando” el horno de mantenimiento 4 en el que no hay un control de temperatura del primer cucharón 6 (para explicar el tiempo de permanencia en el primer cucharón 6) o usando un primer cucharón 6 calentado. El hierro inicializado se vierte entonces en un segundo cucharón 8 al que se le aplica una dosis previa de nodulizador (alternativamente, el nodulizador puede añadirse al hierro inicializado,

p.ej., mediante un método de émbolo o como alambre de núcleo). El metal puede entonces tratarse con una técnica convencional en términos de inoculación, vertido, etc.

5 **[0025]** En la ruta B, se lleva a cabo básicamente el mismo proceso en un solo recipiente, como un cucharón convertidor GF 10. Un cucharón convertidor GF es básicamente un recipiente grande revestido con refractario abatible 90°. Cuando el convertidor 10 se configura para recibir la carga de hierro fundido, se dosifica el inicializador 12 en el suelo del convertidor y el nodulizador 14 queda retenido en un bolsillo formado entre una pared lateral y el tejado del cucharón convertidor 10
10 mediante una denominada placa de Salamandra 16, de forma que en esta posición, el nodulizador permanezca por encima de la carga de hierro. Una vez que se ha producido la inicialización, el convertidor se inclina 90° de forma que el nodulizador se encuentra ahora entre el suelo y la pared lateral del cucharón convertidor en esta posición inclinada. El hierro líquido penetra en el bolsillo y se efectúa la nodulización.

15 **Prueba de fundición 1: estudio de caso de fabricación de tubería de hierro dúctil**

[0026] Se dedica una cantidad significativa de producción hierro dúctil a la fabricación de tuberías, p.ej., sistemas de agua corriente o aguas residuales. Las tuberías de hierro dúctil ofrecen todos los beneficios de la fundición gris pero son más fuertes, más duraderas y flexibles. Para un diámetro interno dado, la tubería de hierro dúctil puede
20 hacerse más fina, más ligera y consecuentemente de forma más barata que un equivalente de hierro fundido.

Proceso existente

[0027] La fundición cuenta con un alto horno que produce 700t/día de hierro base del cual se vende el 50% como arrabio y el 50% se utiliza en la planta de tuberías. El
25 arrabio utilizado para la fabricación de tuberías se complementa con un 10% de chatarra de acero (5% de acero CRCA con bajo contenido de Mn y 5% de acero al Mn). La planta de tuberías opera mediante el uso de un molde de tubería permanente y giratorio estándar. El contenido de silicio del hierro se ajusta utilizando FeSi75 (0,15%) en un horno de mantenimiento antes de verterlo en un convertidor GF. El
30 tratamiento del nodulizador se lleva a cabo utilizando Mg puro, con un ritmo de adición de 0,12% por peso de Mg. La inoculación de flujo de colada se lleva a cabo utilizando ZIRCOBAR-F (TM) cuya composición (sin incluir Fe) es Si60-65, Ca1-1,5, Al1-1,6, Mn3-5, Zr2,5-4,5, Ba2,5-4,5 (0,15%) y también se utiliza un 0,35% de polvo de molde (INOPIPE E04/16) (TM)), cuya composición (sin incluir Fe) es Si57-63, Ca13-16,
35 A10,5-1,2, Ba0,1-0,5, Mg0,1-0,4, durante la formación de la tubería.

Proceso modificado según la invención

[0028] El proceso anterior fue modificado para incluir una fase de inicialización de tratamiento con INOCULIN 390 (60-67Si, 7-11Ba, 0,8-1,5Al, 0,4-1,7Ca, siendo el resto Fe y trazas de impureza), aplicado a un ritmo de 0,4% por peso, 4 minutos antes del tratamiento de Mg. Se realizaron estudios metalográficos en secciones a través de las tuberías producidas para investigar la precipitación de grafito en el hierro. Se llevaron a cabo otras modificaciones del proceso mediante la reducción gradual del nivel de tratamiento de magnesio tras la inicialización. Los resultados se muestran en la Figura 2 que muestra secciones a través de varias tuberías de 9mm desde la superficie exterior de la tubería (OD), a través del centro a la superficie interior de la tubería (ID). El contenido de Mn del hierro era de un 0,45% y se discutirá a continuación la trascendencia del contenido de Mn.

[0029] La primera columna de la Figura 2 (“referencia”) muestra los resultados de llevar a cabo el proceso estándar. Los nódulos de grafito (manchas grises) son claramente visibles y están presentes en la sección central a una frecuencia de 170/mm². El tratamiento de inicialización (columna 2 “S1”) provocó un aumento significativo en los nódulos de grafito (550/mm²). Los cuatro paneles siguientes muestran el efecto de reducir el Mg en relación con la “referencia” en un 10% (“S5”), 20% (“S7”), 30% (“S9”) y 35% (“S10”). A medida que se reduce el nivel de magnesio, lo hace también el número de nódulos (S5 - 500/ mm², S7 - 470/ mm², S9 - 400/ mm² y S10 - 260/ mm²). Todos estos valores son superiores al tratamiento de referencia. Únicamente en la muestra S10 (reducción de Mg de 35%) comienza el grafito a precipitar como escamas en lugar de nódulos hacia la superficie interior de la tubería.

[0030] El último panel de la Figura 2 (“S11”) muestra el efecto del tratamiento de inicialización con una adición de Mg reducida un 35% en un hierro que tiene un contenido relativamente alto de Mn (0,72%). El Mn es un promotor de carburo y la experiencia previa ha demostrado que el contenido máximo de Mn que la planta de tuberías puede manejar utilizando un procesamiento estándar es de 0,5%. La muestra S11 manifiesta una excelente nodulización del grafito e indica que ahora se puede procesar un contenido más alto de Mn en la planta de tuberías. Esto permite a la fundición usar chatarra de acero al Mn más barata. Además, aunque no es directamente relevante para el proceso de fabricación de la tubería, el contenido más alto de Mn del hierro aumenta el valor del arrabio producido por esta fundición.

[0031] Otra ventaja del presente proceso es que permite una reducción significativa en el uso de inoculante, puesto que hay menos Mg presente (fuerte promotor de carburo). Esto no solo reduce los costes, sino que también reduce la cantidad de silicio añadido al hierro. Esto a su vez permite que se devuelva una proporción más alta de chatarra

al horno. También se prevé que la adición de FeSi en el horno de mantenimiento pueda omitirse por completo; puesto que hay menos Mg presente que promueva el carburo, se puede tolerar un nivel compensatorio de Si más bajo en el hierro.

5 **[0032]** En función de la prueba anterior, se prevé que una reducción en el nivel de Mg en un 28% de la referencia será bien tolerada y que tanto el inoculante de flujo de colada como el uso de polvo del molde se pueden reducir un 20%.

10 **[0033]** Las impurezas de Mg, y Al y Ti en las aleaciones de Mg usadas, reaccionan con el agua para producir óxidos y gas hidrógeno que es responsable de la formación de perforaciones. El arrastre de escoria de Mg en el hierro introduce áreas de debilidad en la tubería que pueden dar lugar a fugas bajo presión. La reducción en la carga de Mg reduce la cantidad de escoria de Mg producida y esto a su vez reduce la cantidad de escoria arrastrada en el hierro. De manera razonable, se prevé que la adopción del proceso anterior reducirá la tasa de formación de perforaciones y fugas en un 50%. Los cálculos han indicado que esta fundición podría aumentar su margen de beneficios en la producción de tuberías en un 50% aproximadamente mediante la adopción del proceso de la invención.

15 **[0034]** El proceso de la presente invención permite la producción más eficiente de tuberías más finas. Se entenderá que las tuberías más finas no solo se enfriarán más rápidamente, lo que afecta a la morfología del hierro, sino que es más probable que cualquier defecto en el hierro produzca fugas.

Prueba de fundición 2: piezas de fundición de hierro dúctil

Proceso existente (“Referencia”)

25 **[0035]** Se fundió el hierro en un horno de arco y posteriormente se transfirió a un horno de mantenimiento. Se añadió FeSi75 antes del tratamiento de Mg (FeSi44-48Mg6) (0,9%) en un convertidor GF. Se añadió también una placa de cerio (0,1%) para desoxidar el material fundido. Para cada cucharón, se vertieron una serie de moldes, en las Figuras “A” representa el primer molde vertido y “Z” representa el último molde vertido. Cada molde produjo dos piezas de fundición idénticas (partes de automóvil de sección media-gruesa) marcadas con “1” y “2”. La inoculación del flujo de colada se llevó a cabo usando INOLATE 40(TM) (70-75Si, 1,0-2,0Ca, 0,7-1,4Al, 0,8-30 1,3Bi, 0,4-0,7 tierras rara, siendo el resto Fe y trazas de impurezas) (0,03%).

Proceso modificado según la presente invención

35 **[0036]** Se realizaron una serie de pruebas basadas en el proceso de referencia. En la prueba 1, la inicialización se llevó a cabo 4 minutos antes del tratamiento de Mg (omitida la placa de cerio) utilizando INOCULIN 390 (60-67Si, 7-11Ba, 0,8-1,5Al, 0,4-1,7Ca, siendo el resto Fe y trazas de impurezas). En las pruebas de la 2 a la 5, el

nodulizador de Mg se redujo gradualmente en aproximadamente un 11% (Prueba 2), 15% (Prueba 3), 19% (Prueba 4) y 26% (Prueba 5).

[0037] Los parámetros relevantes para el proceso se muestran en la Tabla 1 a continuación.

5 Tabla 1: parámetros del proceso de la prueba de fundición 2

Muestra	Carga cucharón	Inoculación FeSi75	Iniciación INOCULIN 390		Tratamiento de Mg FeSiMg		
	Peso (kg)	Peso (kg)	Peso (kg)	% adición	Peso (kg)	% adición	% ahorro
Referencia	650	2	0	0.00	6.0	0.92	0.0
Prueba 1	660	0	2.6	0.39	6.0	0.91	0.0
Prueba 2	670	0	2.6	0.39	5.4	0.81	-11.3
Prueba 3	660	0	2.6	0.39	5.1	0.77	-15.0
Prueba 4	650	0	2.6	0.40	4.8	0.74	-18.8
Prueba 5	670	0	2.6	0.39	4.5	0.67	-26.1

[0038] Los resultados se muestran gráficamente en las Figuras de la 3 a la 9. Se midieron las propiedades metalúrgicas en secciones de las piezas de fundición y se midieron las composiciones metalúrgicas en muestras frías tomadas de cada cucharón tras verter el último molde.

10

[0039] En relación con la Figura 3, puede apreciarse que la reducción en el nivel de Mg no tiene un impacto negativo en el recuento de nódulos. Al mismo tiempo hay un aumento perceptible en el porcentaje de ferrita en las piezas de fundición (Fig. 4) con una reducción correspondiente en la dureza (Fig. 5). Esto no es deseable en sí mismo necesariamente, en especial si se requieren las mismas propiedades mecánicas que en la referencia. Sin embargo, el aumento inherente en ferrita permite el uso de más elementos de aleación (p.ej. Mn) en la carga inicial, lo que tiende a fomentar la formación de carburo (tales elementos de aleación pueden ser elegidos específicamente por sus características mejoradas o simplemente por su presencia como impurezas en la carga). Como podría esperarse, el nivel de Mg residual se reduce (Fig. 6) y el número de promotores de perforaciones (Al+Ti+Mg) también se reduce (Fig. 7). La Figura 8 muestra un aumento en el nivel de S en las piezas de fundición a medida que el nivel de Mg se reduce. Esto se debe a que, como el oxígeno, el azufre combina con el bario en el tratamiento de iniciación y no está disponible para combinar con el magnesio durante el tratamiento de nodulización. A

15

20

25

diferencia del MgS, BaS no sale del material fundido como escoria, sino que permanece en el hierro. Un nivel más alto de azufre mejora las propiedades de mecanizado. En la Figura 9 puede verse que todas las ventajas descritas previamente se obtienen a pesar de que se reduzca el nivel de Si.

- 5 **[0040]** Se prevé que una mayor optimización incluiría la reducción de inoculante necesaria en el molde y permitiría la producción de piezas de fundición con propiedades de mecanizado al menos comparables a las del proceso de referencia de forma más barata y sistemática.

Prueba de fundición 3: Piezas de fundición de hierro dúctil grandes

10 **Proceso existente (“Referencia”)**

[0041] Se cargó un horno de inducción de la siguiente manera:

Acero 45%

Arrabio 15%

Retornos 40%

- 15 SiC 6Kg/t

C 3,5Kg/t

Cu 2Kg/t

- y se fundió la carga. Los tres primeros cucharones (1100Kg), se usaron para la referencia (datos representativos dados para un solo cucharón únicamente) y el cuarto
20 cucharón para el proceso de la invención. Se añadió FeSi75 (0,4%) antes del tratamiento de Mg (FeSi44-48Mg6) (1,5%) en el cucharón. Se produjo la inoculación del flujo de colada utilizando INOLATE 190 (TM) (62-69Si, 0,6-1,9Ca, 0,5-1,3Al, 2,8-4,5Mn, 3-5Zr, < 0,6 tierras raras, siendo el resto Fe y trazas de impurezas) (0,08%). En la inoculación del molde se utilizó una inserción de GERMALLOY (suministrada por
25 SKW, composición aproximada Si65, Ca1,5, A14, resto Fe) (0,1%). Se determinaron las propiedades metalúrgicas y mecánicas de las piezas de fundición resultantes.

Proceso modificado según la presente invención

- [0042]** Antes del vertido, se añadió 0,45% de INOSET (TM) 48Si, 9,4Ba, 2,4Al, 1,4Ca, 1,6Mn, 2,4Zr (resto Fe y trazas de impurezas) al horno. La carga pretratada (1400Kg)
30 se vertió en el cucharón que contenía FeSi44-48Mg6 (1,2%) sin adición de FeSi75 4 minutos tras la dosificación de INOSET. Se realizó la inoculación del flujo de colada usando INOLATE 190 (0,13%) sin inserción de GERMALLOY en el molde.

- [0043]** No había diferencia material en las propiedades metalúrgicas o mecánicas (resistencia a la tracción, límite elástico, alargamiento a la rotura %) entre los dos
35 métodos. Sin embargo, el uso de menos Mg en el proceso de la invención permite una reducción en el contenido final de Si (por las razones antes descritas) que mejora las propiedades de mecanizado.

[0044] La eficacia de los procesos puede compararse determinado la recuperación de Mg (definida como la proporción de Mg residual en la pieza de fundición y el total de Mg añadido). El proceso de referencia tiene una recuperación de Mg del 46,6% y el proceso de la invención de un 61,1%.

- 5 **[0045]** El proceso novedoso permite la producción de piezas de fundición que tengan una matriz metálica comparable y propiedades mecánicas con un tratamiento de Mg mucho más consistente y eficaz.

10

15

20

25

30

35

Reivindicaciones

1. Un proceso para la producción de hierro dúctil que comprende las etapas
secuenciales de:
 - 5 (i). tratar hierro líquido con un inicializador que es una aleación de
ferrosilicio que comprende una cantidad efectiva de bario, siendo dicha
cantidad efectiva suficiente para inactivar la actividad del oxígeno del
hierro líquido,
 - (ii). entre 2 y 10 minutos tras la etapa (i), tratar el hierro líquido con un
nodulizador con contenido de magnesio,
 - 10 (iii).tratar el hierro líquido con un inoculante inductor de nucleación de
grafito eutéctico, y
 - (iv). fundir el hierro.
2. El proceso de la reivindicación 1, en el que la aleación de ferrosilicio es por
porcentaje de peso
15 40-55Si, 5-15Ba
siendo el resto Fe, cualquier impureza inevitable y opcionalmente uno o más
elementos de aleación elegidos entre Al, Ca, Mn y Zr, estando presentes
dichas impurezas inevitables y los elementos de aleación opcionales en
cantidades pequeñas, es decir, no superiores al 10% en peso total y en las que
20 la cantidad total de Ca no supera el 2% en peso.
3. El proceso de la reivindicación 1 ó 2, en el que el nodulizador con contenido de
Mg utilizado en la etapa (ii) es un metal Mg, aleación MgFeSi, aleación Ni-Mg o
briquetas Mg-Fe.
4. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones de la 1 a la 3, en el que la
25 cantidad de inicializador añadido en la etapa (i) se calcula para suministrar al
menos un 0,035% de bario en peso del hierro líquido.
5. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones de la 1 a la 4, en el que la
cantidad de nodulizador con contenido de Mg se calcula para dar como
30 resultado de un 0,025 a un 0,035% de Mg residual en el hierro líquido.

Dibujos

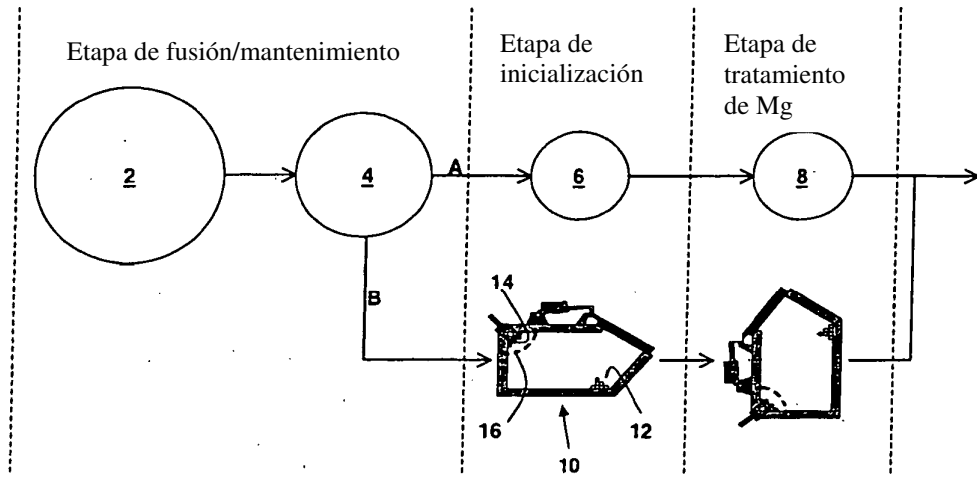


Figura 1

referencia Mn%: 0.45 Mg% v S%	S1 Mn%: 0.45 Mg% v S%	S5 Mn%: 0.45 Mg% (-10%)	S7 Mn%: 0.45 Mg% (-20%)	S9 Mn%: 0.45 Mg% (-30%)	S10 Mn%: 0.45 Mg% (-35%)	S11 Mn%: 0.72 Mg% (-30%)
OD						
centro	170 s/mm ²	550 s/mm ²	500 s/mm ²	470 s/mm ²	260 s/mm ²	700 s/mm ²
ID						

Figura 2

Figura 3 Recuento nodular (s/mm2)

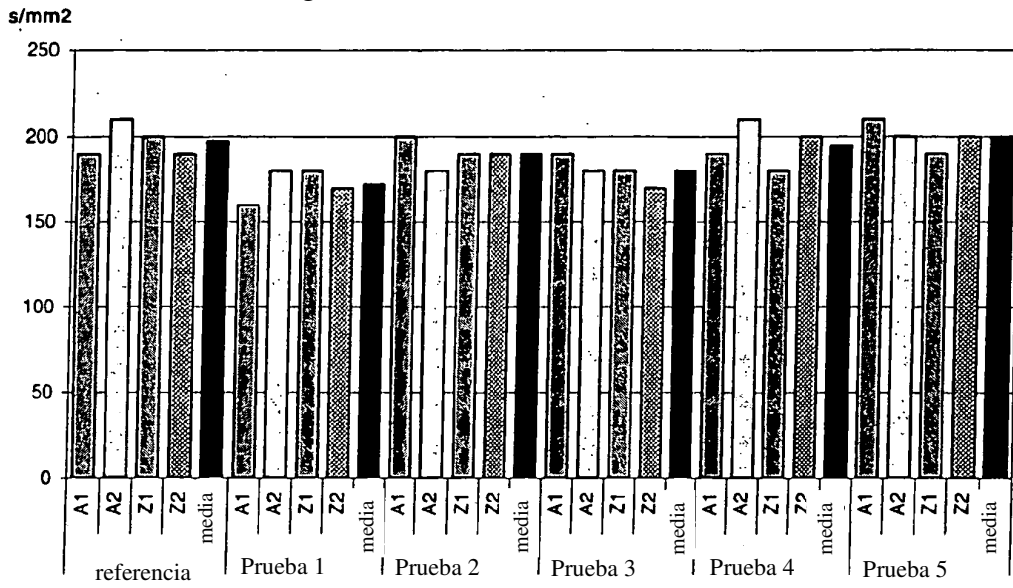


Figura 4 – ferrita %

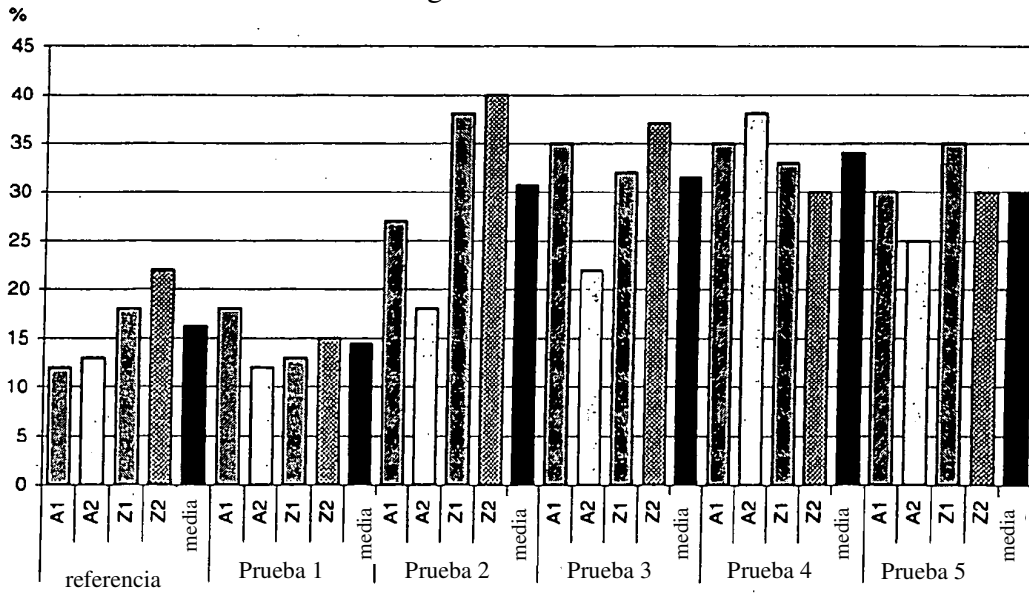


Figura 5 – Dureza (HB)

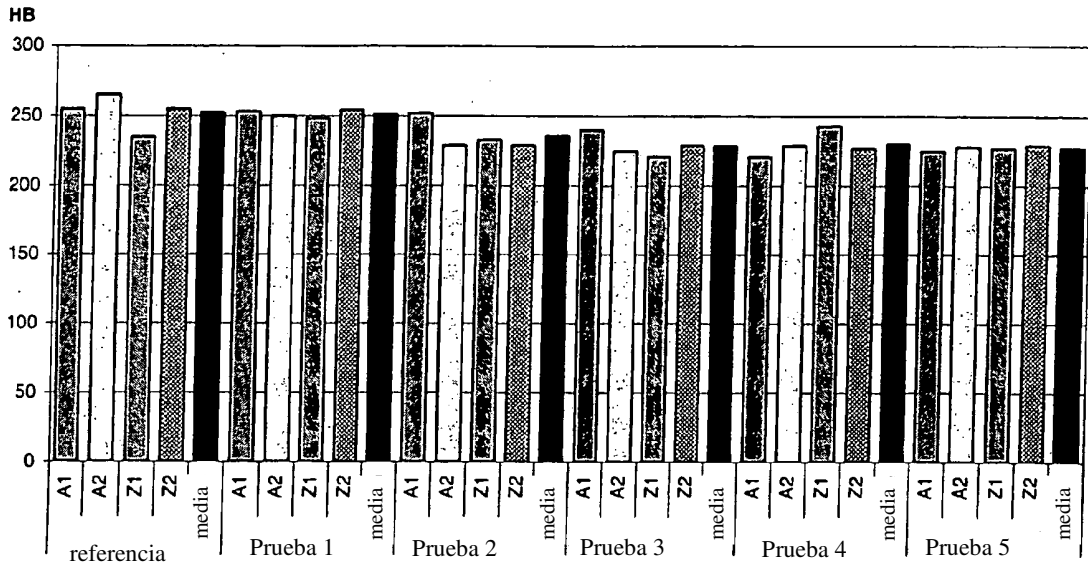


Figura 6 – Mg residual %

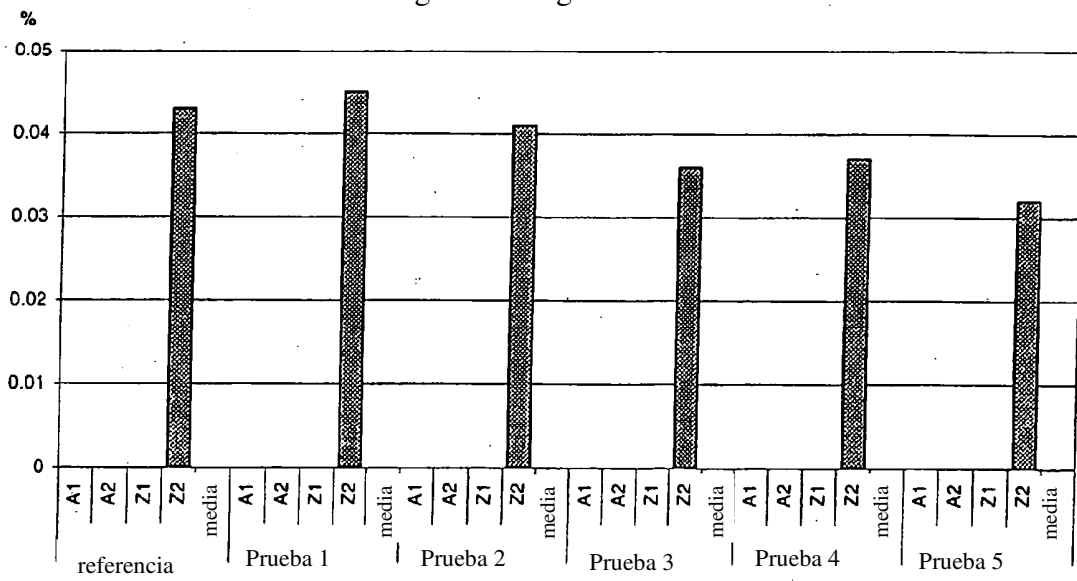


Figura 7 – Promotores de perforaciones % (Al + Ti + Mg residual)

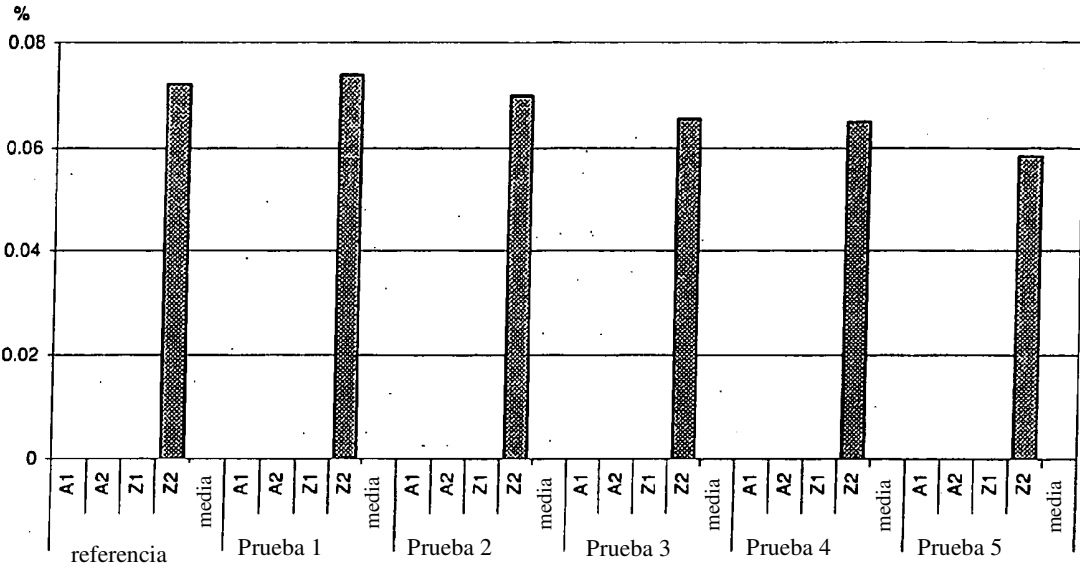


Figura 8 – Azufre %

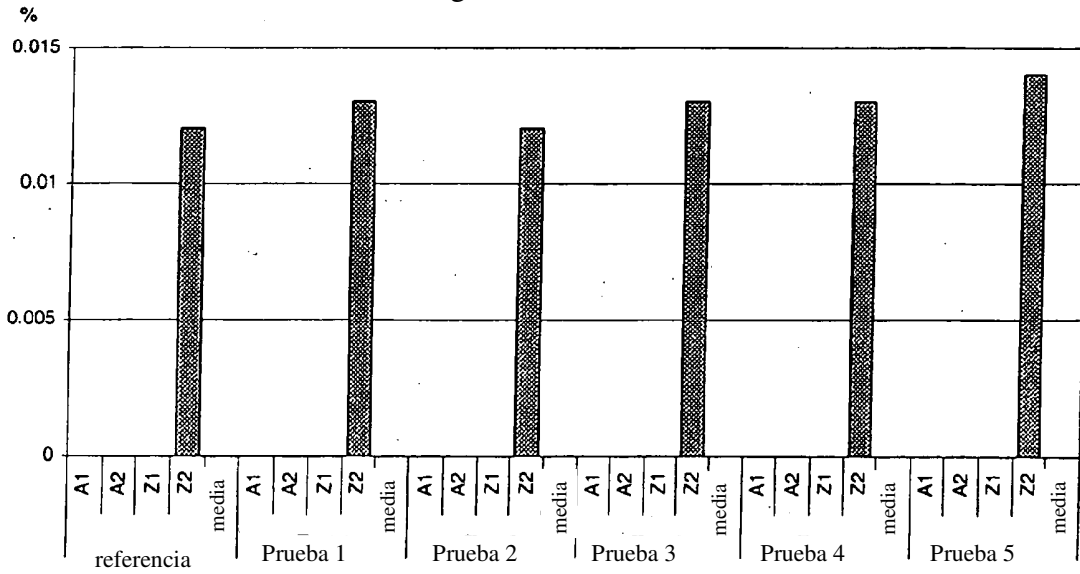


Figura 9 – Silicio %

