



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI 0712416-3 A2**



(22) Data de Depósito: 22/06/2007
(43) Data da Publicação: 14/08/2012
(RPI 2171)

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

(54) **Título:** PROCESSO PARA A PRODUÇÃO DE FERRO DUCTIL, E, LIGA PARA USO COMO INICIADOR NO PROCESSO.

(30) **Prioridade Unionista:** 25/07/2006 GB 0614705.2

(73) **Titular(es):** Foseco International Limited

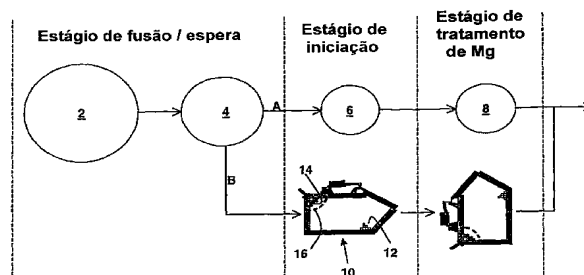
(72) **Inventor(es):** Emmanuel Berthelet

(74) **Procurador(es):** Momsen, Leonardos & CIA.

(86) **Pedido Internacional:** PCT GB2007002342 de 22/06/2007

(87) **Publicação Internacional:** WO 2008/012492de 31/01/2008

(57) **Resumo:** PROCESSO PARA A PRODUÇÃO DE FERRO DUCTIL, E, LIGA PARA USO COMO INICIADOR NO PROCESSO. A presente invenção diz respeito a um processo para a produção de ferro dúctil compreendendo as etapas sequenciais de: (i) tratar ferro líquido com um iniciador compreendendo uma quantidade eficaz de um metal do grupo IIA sem ser Mg, (ii) em um tempo predeterminado depois da etapa (i), tratar o ferro líquido com um nodularizante contendo magnésio, (iii) tratar o ferro líquido com um inoculante indutor de nucleação de grafita eutético; e (iv) lingotar o ferro. A invenção permite que a variabilidade do teor de oxigênio no ferro base seja processada de maneira tal que as propriedades mecânicas dos componentes fundidos a partir do ferro processado sejam independentes do teor de oxigênio original do ferro base.



“PROCESSO PARA A PRODUÇÃO DE FERRO DÚCTIL, E, LIGA PARA USO COMO INICIADOR NO PROCESSO”

A presente invenção diz respeito a um método de produzir ferro dúctil.

5 A fim de atingir as propriedades mecânicas desejadas em peças fundidas de ferro, o ferro líquido tem que ter a composição correta e tem também que conter núcleos adequados para induzir a correta morfologia do grafita na solidificação. O ferro líquido tem que ter um "potencial de grafitização" adequado. Isto é determinado basicamente pelo seu "valor de carbono equivalente". É prática normal ajustar o potencial de grafitização por nucleação, por exemplo, pela adição controlada dos assim chamados inoculantes. Inoculantes são principalmente baseados em grafita, ferro-silício e siliceto de cálcio, com o ferro-silício sendo o mais normalmente usado.

10

Ferro dúctil, também conhecido como ferro de grafita esferoidal (SG) ou ferro nodular difere do ferro fundido cinzento em que, no primeiro, a precipitação de grafita é na forma de nódulos discretos, em vez de flocos interconectados. A promoção de precipitação de grafita em nódulos é alcançada tratando o ferro líquido com um assim chamado nodularizante, normalmente magnésio, antes da fundição (e antes da inoculação). O magnésio pode ser adicionado como metal puro, ou mais normalmente como uma liga, tal como magnésio - ferro-silício ou níquel - magnésio. Outros materiais incluem briquetes tal como NODULANT™, formados de misturas granulares de ferro e magnésio, e arame de aço doce oco cheio com magnésio e outros materiais. Em geral, o tratamento com magnésio deve resultar em

15

20

25

cerca de 0,04% de magnésio residual no ferro líquido. Entretanto, existem inúmeras dificuldades com esta adição de magnésio. O magnésio ferve a uma temperatura relativamente baixa, comparado com o ferro líquido, e assim existe uma reação violenta por causa da alta pressão de vapor do magnésio na temperatura de tratamento, causando violenta agitação do ferro líquido e

considerável perda de magnésio na forma de vapor. Além do mais, durante o tratamento, óxidos e sulfetos são formados no ferro, resultando em formação de cascão na superfície do metal. Este cascão tem que ser removido ao máximo possível antes da fundição. Também, magnésio residual no ferro líquido depois do tratamento oxida continuamente na superfície do metal onde exposto ao ar, causando perda de magnésio, que pode afetar a estrutura dos esferóides de grafita, e o cascão formado pode resultar em inclusões prejudiciais nas peças fundidas. A perda de magnésio para a atmosfera e na formação de sulfetos e óxidos é variável, e torna difícil prever o nível apropriado de adição para um lote particular, e também exige que o ferro seja "superdosado" em até 100% ou mais (50% ou mais do magnésio podem se perder). Esses fatores são claramente desvantajosos em termos de custo, facilidade de manuseio e previsibilidade das propriedades mecânicas e qualidade geral das peças fundidas finais.

Além disso, magnésio é de fato um promotor de carbonetos, e assim o nível de inoculantes exigido depois do tratamento com magnésio é relativamente alto. Uma vez que qualquer sucata geralmente retorna para o início do processo por motivos econômicos, existe uma tendência de que o teor de silício no ferro (derivado das adições de inoculante e nodularizante) aumente em um período de tempo, limitando a proporção de sucata que pode ser usada (o nível de silício exigido no final do processo é predeterminado pela especificação da peça fundida).

Têm sido feitas tentativas de atenuar os problemas envolvidos com a adição de magnésio. Por exemplo, a Foseco combinou a adição de nodularizante de magnésio com uma adição de uma liga de bário (por exemplo, o vendido com o nome comercial INOCULIN 390 e tendo a seguinte composição (% em peso) 60 - 67 Si, 7 - 11 Ba, 0,8 - 1,5 Al, 0,4 - 1,7 Ca e o equilíbrio sendo Fe). Todas composições apresentadas a seguir são apresentadas como % em peso, a menos que de outra forma indicadas. O uso

de tais ligas pode atenuar alguns dos problemas salientados anteriormente, mas não de uma maneira confiável e previsível.

É um objetivo da presente invenção prover um método melhorado de produzir ferro dúctil que elimina ou atenua um ou mais dos problemas associados com os processos da tecnologia anterior.

De acordo com um primeiro aspecto da presente invenção, é provido um processo para a produção de ferro dúctil compreendendo as etapas seqüenciais de:

(i) tratar ferro líquido com um iniciador compreendendo uma quantidade eficaz de um metal do grupo IIa sem ser Mg,

(ii) em um tempo predeterminado depois da etapa (i), tratar o ferro líquido com um nodularizante contendo magnésio,

(iii) tratar o ferro líquido com um inoculante eutético indutor de nucleação de grafita, e

(iv) fundir o ferro.

A presente invenção é baseada na descoberta de que pré-tratar o ferro com um iniciador antes da adição de nodularizante resulta em inúmeras vantagens significativas e surpreendentes.

Preferivelmente, o metal do grupo IIa do iniciador usado na etapa (i) é Ba, Sr ou Ca, e mais preferivelmente Ba.

Preferivelmente, o iniciador da etapa (i) é uma liga de ferro-silício. Mais preferivelmente, a liga de ferro-silício é, em porcentagem em peso,

40 - 55 Si, 5 - 15 M,

ainda mais preferivelmente é:

46 - 50 Si, 7 - 11 M

onde M é o metal do grupo IIa (mais preferivelmente Ba), o equilíbrio sendo Fe e quaisquer impurezas inevitáveis que podem estar presentes.

A liga pode conter quantidades secundárias de outros elementos de liga selecionados de um ou mais dos seguintes: Al, Ca, Mn e Zr, por exemplo, independentemente, 0 - 2,5 Al, preferivelmente 0 - 1,5 Al, 0 - 2 Ca, 0 - 3 Mn e 0 - 1,5 Zr. Quando presentes, os níveis mínimos de tais elementos são preferivelmente: 0,5 Al, 1 Ca, 2 Mn e 0,5 Zr.

Uma liga altamente preferida é 33,7 - 41 Fe, 46 - 50 Si, 7 - 11 Ba, 0,01 - 1 Al, 1,2 - 1,8 Ca, 0,01 - 2,5 Mn, 0,01 - 1 Zr.

O inoculante contendo Mg usado na etapa (ii) pode ser Metal Mg (por exemplo, lingote ou arame com núcleo), liga MgFeSi (preferivelmente 3 - 20% Mg), liga Ni - Mg (preferivelmente 5 - 15% Mg) ou briquetes de Mg - Fe (preferivelmente 5 - 15% Mg).

O tratamento da etapa (ii) será convenientemente realizado entre cerca de 1 e 10 minutos depois da etapa (i). Por motivos práticos, 30 segundos é um mínimo absoluto, com pelo menos 2 minutos depois da etapa (i) sendo particularmente conveniente. Mais convenientemente, a etapa (ii) é conduzida cerca de 4 minutos depois da etapa (i).

Preferivelmente, a quantidade de iniciador adicionado na etapa (i) é calculada para distribuir pelo menos 0,035% do metal do grupo IIa (em peso de ferro líquido). Não existe problema particular com a sobredosagem, mas 0,04% (por exemplo, 0,4% de um iniciador contendo 10% de Ba) deve ser suficiente para a maioria das aplicações.

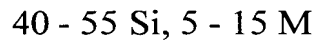
Normalmente, o nível de Si no ferro dúctil é otimizado em cerca de 2,2 - 2,8%. Em níveis inferiores a este, a proporção de ferrita é reduzida e níveis inaceitáveis de carbonetos são formados. O presente processo permite uma redução no nível de silício em cerca de 10 a 15%. Isto não somente reduz o uso e custo de adição de ligas de silício ao ferro, mas, vantajosamente, a resistência do ferro é aumentada bem como as propriedades de usinagem da peça fundida.

Preferivelmente, a quantidade de nodularizante contendo Mg é

calculada para resultar em cerca de 0,03% (isto é, 0,025 a 0,035%) de Mg residual no ferro líquido, isto é, uma redução de cerca de 25%, comparada com um processo tradicional.

5 A natureza específica do inoculante da etapa (iii) não é significativa, e qualquer inoculante conhecido adequado para ferro dúctil pode ser usado, por exemplo, inoculantes baseados em ferro-silício (preferido) ou siliceto de cálcio.

De acordo com um segundo aspecto da invenção, é provido um iniciador para uso na produção de ferro dúctil, o dito iniciador sendo uma
10 liga de ferro-silício com a seguinte composição em porcentagem em peso:



onde M é um metal do grupo IIa sem ser Mg, preferivelmente Ba, o equilíbrio sendo predominantemente ferro opcionalmente com quantidades menores (não mais que 10% em peso total de Al, Ca, Mn e/ou Zr e quaisquer impurezas inevitáveis).

15 Versados na técnica reconhecem que o teor de oxigênio de um ferro líquido base será relacionada com sua temperatura (taxa de absorção de gás), tempo de permanência, peso da caixa e passo da linha de moldagem. De forma geral, um processo de fundição de baixa velocidade contém um baixo nível de oxigênio (por exemplo, menos de 40 ppm) e um processo de fundição
20 de alta taxa contém um alto nível de oxigênio (por exemplo, maior que 80 ppm). O teor de oxigênio está diretamente relacionado com a quantidade de magnésio que foi necessária para nodularização, uma vez que magnésio combinará com qualquer oxigênio presente para formar MgO, e somente o magnésio residual livre promove nodularização de esferóides de grafita. Uma
25 vez que a quantidade de oxigênio é variável (e essencialmente desconhecida), é impossível dosar o ferro com a quantidade correta de magnésio. Nesses casos em que o nível de oxigênio é baixo, haverá uma quantidade excessiva de MgO que resulta em esferóides de grafita não arredondados, inclusões de

escória e defeitos superficiais.

O propósito do iniciador é, portanto, compensar os níveis de oxigênio variáveis "restabelecendo" ou anulando a atividade do oxigênio. Uma vez que não é consumido nenhum magnésio na formação de MgO na
5 adição subsequente de magnésio, o nível exigido de adição de Mg pode ser calculado muito mais precisamente. Uma vez que a quantidade exigida de Mg inevitavelmente será menor que a que seria usada previamente, a violência da reação é também reduzida, minimizando ainda mais a exigência de superdose. De qualquer maneira, uma principal vantagem da presente invenção é que os
10 demais parâmetros que determinam o nível de adição de Mg são tanto constantes, podem ser previstos quanto podem ser medidos.

O uso seqüencial de um iniciador do grupo III e nodularizante de magnésio é particularmente eficaz. Experiência tem mostrado que magnésio é de longe o melhor material para induzir os nódulos de grafita a
15 crescer na forma esferoidal exigida. Entretanto, Mg está longe do ideal nas suas outras propriedades: ele reage mais violentamente do que os outros elementos do grupo, seu óxido é menos estável, ele tem alta tendência a desvanecimento, ele forma grandes quantidades de escórias de silicato "aderentes" que promove defeitos nas peças fundidas finais e não é
20 particularmente bom na nucleação da formação inicial dos nódulos de grafita. Descendo no grupo de Ca para Sr e Ba, a violência da reação é reduzida, a estabilidade dos óxidos aumenta, a tendência de desvanecimento reduz e o poder de nucleação aumenta. Além do mais, as escórias tendem ser óxidos, em vez de silicatos, e são mais fáceis de se separarem do ferro.

25 Percebe-se que, se o oxigênio no ferro for consumido pelo Mg ou pelo iniciador (preferivelmente Ba), seu nível é ainda desconhecido, e assim a sobredosagem é ainda necessária. Entretanto, as conseqüências da sobredosagem com o iniciador praticamente não são desvantajosas como a sobredosagem com Mg, uma vez que o metal do grupo IIa do iniciador é

menos promotor de carboneto do que Mg e produz escória mais fácil de lidar.

Embora todos os metais do grupo IIa venham ser benéficos em termos de desoxidação do banho líquido, o uso de Ba é particularmente vantajoso. No caso de se usar iniciador em excesso, os núcleos relativamente
5 pequenos se agruparão, aumentando assim sua área superficial, e ocorre o mecanismo de flotação, de forma que o excesso é removido como escória (em outras palavras, diferente de Mg, onde a quantidade de Mg livre no Mg residual pode variar, isto não é uma variável no componente como fundido). Em outras palavras, a invenção pode ser vista como uma maneira de converter
10 uma variável metalúrgica (nível de oxigênio) que se manifesta como variabilidade no componente como fundido a uma variável de processo (escória a base de oxigênio) que é um parâmetro do processo e completamente separado do componente como fundido. Elementos acima do bário na tabela periódica terão uma tendência de desvanecer mais
15 rapidamente, uma vez que eles são mais leves e flutuarão mais rapidamente. Elementos abaixo de Ba (isto é, Cd) tenderão ir para o fundo dos fornos/panelas. Por outro lado, BaO tem aproximadamente a mesma densidade do ferro líquido, e assim a oportunidade de maximizar e obter homogeneidade no processo de nucleação é somente realizado com Ba.

20 Modalidades da invenção serão agora descritas com referência aos desenhos anexos, em que:

A figura 1 é uma representação esquemática de uma configuração de fundição para praticar o método da presente invenção;

25 A figura 2 mostra micrografias óticas de amostras de ferro preparadas de acordo com a presente invenção em comparação com uma amostra da tecnologia anterior; e

As figuras 3 a 9 são gráficos da contagem de nódulos,% de ferrita, dureza,% Mg residual,% promotores de microbolhas,% enxofre e% de silício, respectivamente, para amostras fundidas de uma experiência de

fundição, comparando um tratamento de Mg da tecnologia anterior com processos de acordo com a presente invenção.

Referindo-se à figura 1, está mostrado um arranjo esquemático para realizar o processo da presente invenção. O ferro base é fundido em um forno 2 e transferido para uma espera 4 (rota A). O ferro fundido é então vazado em uma primeira (inicial) panela 6, que foi pré-dosada com o iniciador. É importante manter uma temperatura adequada para favorecer a formação de óxidos de bário e, dependendo da exata configuração, isto pode ser alcançado "superaquecendo" o forno de espera 4 onde não há controle de temperatura da primeira panela 6 (para levar em conta o tempo de espera na primeira panela 6) ou usando uma primeira panela aquecida 6. O ferro inicializado é então vazado em uma segunda panela 8 que é pré-dosada com o nodularizante (alternativamente, o nodularizante pode ser adicionado ao ferro inicializado, por exemplo, pelo método de tampão ou um arame com núcleo). O metal pode então ser tratado de uma maneira convencional em termos de inoculação, vazamento, etc.

Na rota B, essencialmente o mesmo processo é realizado em um único vaso, tal como uma panela de convertedor GF 10. Uma panela de convertedor GF é essencialmente um grande vaso revestido com refratário que é basculável 90 °. Quando o convertedor 10 é arranjado para receber a carga de ferro fundido, o iniciador 12 é dosado no piso do convertedor e o nodularizante 14 é retido em uma bolsa formada entre a parede lateral e o teto da panela do convertedor 10 por uma assim chamada placa Salamandra 16, de forma que, nesta posição, o nodularizante permaneça acima da carga de ferro. Uma vez que ocorre a iniciação, o convertedor é basculado 90 ° de forma que o nodularizante fique agora entre o piso e a parede lateral da panela do convertedor na sua posição basculada. Ferro líquido penetra na bolsa e a nodularização é realizada.

Experimento de Fundição 1: Estudo Caso de Fabricação de

Tubo de Ferro Dúctil

Uma parcela significativa da produção de ferro dúctil é destinada à fabricação de tubos, por exemplo, para sistemas de água principal e residuária. Tubos de ferro dúctil oferecem todos os benefícios do ferro fundido (cinzento), mas são mais resistentes, mais duráveis e flexíveis. Para
5 um dado diâmetro interno, o tubo de ferro dúctil pode ser feito mais fino, mais leve e, conseqüentemente, mais barato do que um ferro fundido equivalente.

Processo Existente

A fundição tem um alto-forno produzindo 700 t/dia de ferro
10 base das quais 50% são vendidas como ferro gusa e 50% usadas na fábrica de tubos. O ferro gusa usado para a fabricação de tubos é suplementado com 10% de sucata de aço (aço 5% CRCA baixo Mn e aço Mn 5%). A fábrica de tubos opera usando um molde de tubo permanente rotativo padrão. O teor de silício do ferro é ajustado usando FeSi75 (0,15%) em um forno de espera
15 antes do vazamento em um convertedor GF. O tratamento de nodularizante é conduzido usando Mg puro, a uma taxa de adição de 0,12% em peso de Mg. Inoculação de corrente posterior é realizada usando ZIRCOBAR - F™, cuja composição (excluindo Fe) é Si 60 - 65, Ca 1 - 1,5, Al 1 - 1,6, Mn 3 - 5, Zr
2,5 - 4,5, Ba 2,5 - 4,5 (0,15%) e 0,35% pó de molde (INOBIPE E04/16™,
20 cuja composição (excluindo Fe) é Si 57 - 63, Ca 13 - 16, Al 0,5 - 1,2, Ba 0,1 - 0,5, Mg 0,1 - 0,4) é também usada durante a formação do tubo.

Processo Modificado de acordo com a invenção

O processo citado foi modificado de forma a incluir um estágio de iniciação de tratamento com INOCULIN 390 (60 - 67 Si, 7 - 11 Ba,
25 0,8 - 1,5 Al, 0,4 - 1,7 Ca, o equilíbrio sendo Fe e impurezas traços), aplicado a uma taxa de 0,4% em peso, 4 minutos antes do tratamento com Mg. Estudos metalográficos foram feitos em seções dos tubos produzidos para investigar a precipitação de grafita no ferro. Modificações adicionais do processo foram conduzidas por redução passo a passo no nível de tratamento de magnésio

depois da iniciação. Os resultados estão mostrados na figura 2, que mostra seções dos vários tubos de 9 mm da superfície externa do tubo (OD) através do centro até a superfície interna do tubo (KD). O teor de Mn do ferro foi 0,45% e a significância do teor de Mn será discutida a seguir.

5 A primeira coluna da figura 2 (Referência) mostra os resultados da realização do processo padrão. Os nódulos de grafita (pontos cinzas) estão claramente visíveis e estiveram presentes na seção central a uma frequência de 170 /mm². O tratamento de iniciação (coluna 2 "S1") resultou em um significativo aumento nos nódulos de grafita (550/mm²). Os quatro
10 painéis seguintes mostram o efeito da redução do Mg em relação à "Referência" em 10% ("S5"), 20% ("S7"), 30% ("S9") e 35% ("S10"). À medida que o nível de magnésio é reduzido, assim ocorre com o número de nódulos (S5 – 500/mm², S7 – 47 /mm², S9 – 400 /mm² e S10 – 260 /mm²). Todos esses valores são superiores ao tratamento de referência. Somente na
15 amostra S10 (redução de Mg de 35%) é que o grafita começa precipitar como flocos, em vez de nódulos em direção à superfície interna do tubo.

 O painel final na figura 2 ("S11") mostra o efeito do tratamento de iniciação a uma adição de Mg 30% menor em um ferro com um teor de Mn relativamente alto (0,72%). Mn é um promotor de carboneto, e
20 experiência anterior mostrou que o teor de Mn máximo que a fábrica de tubos poderia lidar usando o processamento padrão foi 0,5%. A amostra S11 mostra excelente nodularização de grafita e indica que maior teor de Mn é agora processável na fábrica de tubos. Isto permite que a fundição use a sucata de aço Mn mais barata. Além do mais, embora não diretamente relevante para o
25 processo de fabricação de tubo, o maior teor de Mn do ferro aumenta o valor do ferro gusa produzido por esta fundição.

 Uma vantagem adicional do presente processo é que ele permite uma redução significativa no uso de inoculante, uma vez que existe menos Mg presente (forte promotor de carboneto). Isto não somente reduz os

custos, mas reduz a quantidade de silício adicionada ao ferro. Isto, por sua vez, permite que uma maior proporção de sucata seja retornada para o forno. Prevê-se também que a adição de FeSi no forno de espera possa ser omitida completamente – uma vez que existe menos Mg promotor de carboneto presente, um menor nível compensatório de Si pode ser tolerado no ferro.

Com base na experiência exposta, prevê-se que uma redução no nível de Mg de 28% em relação à referência será bem tolerado, e que tanto o uso de inoculante de corrente quanto de pó de molde pode ser reduzido em 20%.

Mg e impurezas de Al e Ti nas ligas de Mg usadas reagem com água para produzir óxidos e gás hidrogênio que é responsável pela formação de microbolhas. O aprisionamento de escória de Mg no ferro introduz áreas de fraqueza no tubo que podem levar a vazamentos sob pressão. A redução no carregamento de Mg reduz a quantidade de escória de Mg produzida, e isto, por sua vez, reduz a quantidade de escória aprisionada no ferro. É razoavelmente previsto que a adoção do processo citado reduza a taxa de formação de microbolhas e vazamentos em 50%. Cálculos indicaram que esta fundição poderia aumentar sua margem de lucros na produção de tubos em cerca de 50% pela adoção do processo inventivo.

O processo da presente invenção permite a produção mais eficiente de tubos mais finos. Entende-se que tubos mais finos não somente resfriam mais rapidamente, o que afeta a morfologia do ferro, mas que qualquer defeito no ferro é mais propenso de resultar em vazamentos.

Experiência de Fundição 2: Peças fundidas de ferro dúctil

Processo Existente ("Referência")

Ferro foi fundido em um forno a arco e subseqüentemente transferido para um forno de espera. FeSi75 foi adicionado antes do tratamento de Mg (FeSi44 - 48Mg6) (0,9%) em um convertedor GF). Um tablete de cério (0,1%) foi também adicionado para desoxidar a corrida. Para

cada panela, uma série de moldes foi vazada, nas figuras "A" representado o primeiro molde vazado e "Z" representando o último molde vazado. Cada molde produziu duas peças fundidas idênticas (peça automotiva de seção de espessura média) rotuladas "1" e "2". Inoculação de corrente posterior foi conduzida usando INOLATE 40™ (70 - 75Si, 1,0 - 2,0 Ca, 0,7 - 1,4 Al, 0,8 - 1,3 Bi, 0,4 - 0,7 terras raras, o equilíbrio sendo Fe e impurezas traços) (0,03%).

Processo modificado de acordo com a presente invenção

Uma série de testes foi conduzida com base no processo de referência. No teste 1, a iniciação foi realizada 4 minutos antes do tratamento de Mg (tablete de cério omitido) usando INOCULIN 390 (60 - 67 Si, 7 - 11 Ba, 0,8 - 1,5 Al, 0,4 - 1,7 Ca, o equilíbrio sendo Fe e impurezas traços). No teste 2 a 5, o nodularizante de Mg foi reduzido passo a passo em aproximadamente 11% (teste 2), 15% (teste 3), 19% (teste 4) e 26% (teste 5).

Os parâmetros relevantes para o processo estão mostrados na tabela 1 a seguir.

Tabela 1: parâmetros de processo para a Experiência de Fundição 2

Amostra	Carga da panela	Inoculação FeSi75	Iniciação INOCULIN 390		Tratamento de Mg FeSiMg		
	p (kg)		p (kg)	p (kg)	% adição	p (kg)	% adição
Referência	650	2	0	0,00	6,0	0,92	0,0
Teste 1	660	0	2,6	0,39	6,0	0,91	0,0
Teste 2	670	0	2,6	0,39	5,4	0,81	- 11,3
Teste 3	660	0	2,6	0,39	5,1	0,77	- 15,0
Teste 4	650	0	2,6	0,40	4,8	0,74	- 18,8
Teste 5	670	0	2,6	0,39	4,5	0,67	- 26,1

Os resultados estão mostrados graficamente nas figuras 3 a 9. As propriedades metalúrgicas foram medidas em seções de peças fundidas e as composições metalúrgicas foram medidas em amostras coquilhadas retiradas de cada panela depois do vazamento do último molde.

Referindo-se à figura 3, pode-se ver que a redução no nível de Mg não tem um impacto negativo na contagem de nódulos. Ao mesmo tempo,

existe um aumento notável na porcentagem de ferrita nas peças fundidas (figura 4) com uma redução correspondente na dureza (figura 5). Isto não é em si necessariamente desejável, particularmente se as mesmas propriedades mecânicas da referência forem exigidas.. Entretanto, o aumento inerente na ferrita permite o uso de mais elementos de liga (por exemplo, Mn) na carga inicial, que tende promover a formação de carbonetos (tais elementos de liga podem ser aqueles especificamente escolhidos para melhores características, ou aqueles meramente presentes como impurezas na carga). Conforme seria de se esperar, o nível de Mg residual é reduzido (figura 6) e o número de promotores de microbolhas (Al + Ti + Mn) é também reduzido (figura 7). A figura 8 mostra um aumento no nível de S nas peças fundidas à medida que o nível de Mg é reduzido. Isto se dá em virtude de, como o oxigênio, enxofre combinar com bário no tratamento de iniciação e ficar indisponível para combinar com magnésio durante o tratamento de nodularização. Diferente de MgS, BaS não removido do banho como escória, mas permanece no ferro. O nível de enxofre mais alto melhora as propriedades de usinagem. Pela figura 9, pode-se ver que todas as vantagens previamente descritas são obtidas a despeito de o nível de Si ser reduzido.

Prevê-se que otimização adicional incluiria a redução de inoculante no molde exigida e permitiria a produção de peças fundidas com propriedades mecânicas pelo menos equiparáveis ao processo de referência de forma mais barata e mais consistente.

Experiência de Fundição 3: Peças fundidas grandes de ferro dúctil

Processo existente ("Referência")

Um forno de indução foi carregado da seguinte maneira:

Aço: 45%

Ferro gusa: 15%

Retornos: 40%

SiC: 6 kg/t

C: 3,5 kg/t

Cu: 2 kg/t

e a carga fundida. As três primeiras panelas (1.100 kg) foram
5 usadas para a referência (dados representativos dados apenas para uma única
panela) e a quarta panela para o processo inventivo. FeSi75 (0,4%) foi
adicionado antes do tratamento de Mg (FeSi44 - Mg6) (1,5%) na panela.
Inoculação de corrente posterior foi conduzida usando INOLATE 190™ (62 -
69 Si, 0,6 - 1,9 Ca, 0,5 - 1,3 Al, 2,8 - 4,5 Mn, 3 - 5 Zr, < 0,6 terras raras, o
10 equilíbrio sendo Fe e impurezas traços) (0,08%). Inoculação no molde usou
inserto GERMALLOY (suprido pela SKW, composição aproximada Si65, Ca
1,5, equilíbrio Fe) (0,1%). As propriedades metalúrgicas e mecânicas das
peças fundidas resultantes foram determinadas.

Processo modificado de acordo com a presente invenção

15 Antes do vazamento, 0,45% INOSET™ 48 Si, 9,4 Ba, 2,4 Al,
1,4 Ca, 1,6 Mn, 2,4 Zr (equilíbrio Fe e impurezas traços) foi adicionado ao
forno. A carga pré-tratada (1.400 kg) foi vazada na panela contendo FeSi44 -
48Mg6 (1,2%) sem adição de FeSi75 4 minutos depois da dosagem de
INOSET. Inoculação de corrente posterior foi conduzida usando
20 INOLATE190 (0,13%) sem inserto de GERMALLOY no molde.

Não houve diferença de material nas propriedades
metalúrgicas ou mecânicas (limite de resistência, limite de escoamento,
alongamento percentual na ruptura) entre os dois métodos. Entretanto, o uso
de menos Mg no processo inventivo permite uma redução no teor de Si final
25 (por motivos descritos posteriormente) que melhora as propriedades de
usinagem.

A eficiência dos processos pode ser comparada determinando
a recuperação de Mg (definida como a proporção de Mg residual na peça
fundida para o Mg total adicionado). O processo de referência tem uma

recuperação de Mg de 46,6% e o processo inventivo 61,1%.

O processo inventivo permite a produção de peças fundidas com uma matriz metálica e propriedades mecânicas equiparáveis com um tratamento de Mg muito mais consistente e eficiente.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para a produção de ferro dúctil, caracterizado pelo fato de que compreende as etapas sequenciais de:

(i) tratar ferro líquido com um iniciador compreendendo uma quantidade eficaz de um metal do grupo IIa sem ser Mg,

(ii) em um tempo predeterminado depois da etapa (i), tratar o ferro líquido com um nodularizante contendo magnésio,

(iii) tratar o ferro líquido com um inoculante eutético indutor de nucleação de grafita, e

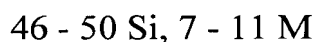
(iv) fundir o ferro.

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o metal do grupo IIa do iniciador usado na etapa (i) é Ba, Sr ou Ca.

3. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o metal do grupo IIa do iniciador usado na etapa (i) é Ba.

4. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que o iniciador da etapa (i) é uma liga de ferro-silício.

5. Processo de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que a liga de ferro-silício é, em porcentagem em peso,



onde M é o metal do grupo IIa, o equilíbrio sendo Fe e quaisquer impurezas inevitáveis que podem estar presentes.

6. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que o inoculante contendo Mg usado na etapa (ii) é Metal Mg, liga MgFeSi, liga Ni - Mg ou briquetes de Mg - Fe.

7. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo fato de que a etapa (ii) é realizada entre cerca de 1 e 10 minutos depois da etapa (i).

8. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato de que a quantidade de iniciador adicionada na etapa (i) é calculada para distribuir pelo menos 0,035% do metal do grupo IIa em peso de ferro líquido.

5 9. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo fato de que a quantidade de nodularizante contendo Mg é calculada para resultar de 0,025 a 0,035% de Mg residual no ferro líquido.

10 10. Iniciador para uso na produção de ferro dúctil, caracterizado pelo fato de que o dito iniciador é uma liga de ferro-silício com a seguinte composição em porcentagem em peso:

40 - 55 Si, 5 - 15 M

onde M é um metal do grupo IIa sem ser Mg,

o equilíbrio sendo predominantemente ferro opcionalmente com quantidades menores (não mais que 10% em peso total de Al, Ca, Mn e/ou Zr e quaisquer impurezas inevitáveis).

15 11. Iniciador de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que tem 46 - 50 Si e 7 - 11 M.

20 12. Iniciador de acordo com a reivindicação 10 ou 11, caracterizado pelo fato de que contém um ou mais de Al, Ca, Mn e Zr nas seguintes quantidades, quando presentes:

0,5 - 2,5 Al;

1 - 2 Ca;

2 - 3 Mn;

0,5 - 2,5 Zr.

25 13. Iniciador de acordo com qualquer uma das reivindicações 10 a 12, caracterizado pelo fato de que contém um ou mais de Al, Ca, Mn e Zr nas seguintes quantidades, quando presentes:

0,5 - 1,5 Al;

1 – 2 Ca;

2 – 3 Mn;

0,5 – 1 Zr.

14. Iniciador de acordo com qualquer uma das reivindicações

5 10 a 13, caracterizado pelo fato de que M é Ba.

15. Liga de ferro-silício, caracterizada pelo fato de que tem a seguinte composição:

33,7 – 41,3 Fe, 46 – 50 Si, 7 – 11 Ba, 1 Al, 1,2 – 1,8 Ca, 2,5 Mn, 1 Zr.

10 16. Liga de ferro-silício, caracterizada pelo fato de que tem a seguinte composição:

33,7 – 41,3 Fe, 47 – 49 Si, 7,5 – 9,5 Ba, 0,01 – 1 Al, 1,2 – 1,8 Ca, 0,01 – 2,5 Mn, 0,01 – 1 Zr.

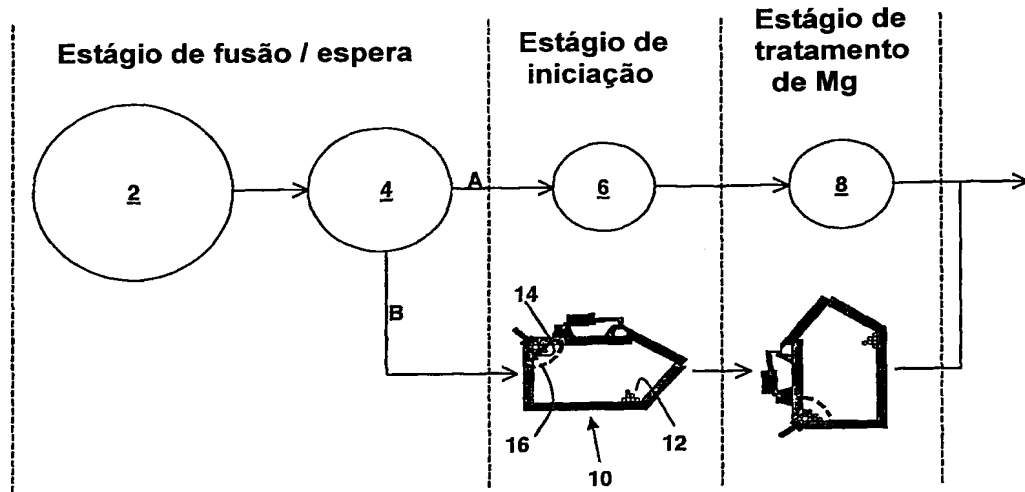


Figura 1

Referência	S1	S5	S7	S9	S10	S11
Mn%: 0.45	Mn%: 0.45	Mn%: 0.45	Mn%: 0.45	Mn%: 0.45	Mn%: 0.45	Mn%: 0.72
Mg% v S%	Mg% v S%	Mg% (-10%)	Mg% (-20%)	Mg% (-30%)	Mg% (-35%)	Mg% (-30%)
OD						
Centro	170 s/mm ²	550 s/mm ²	500 s/mm ²	470 s/mm ²	400 s/mm ²	260 s/mm ²
ID						

Figura 2

Figura 3 Contagem de nódulos (s/mm²)

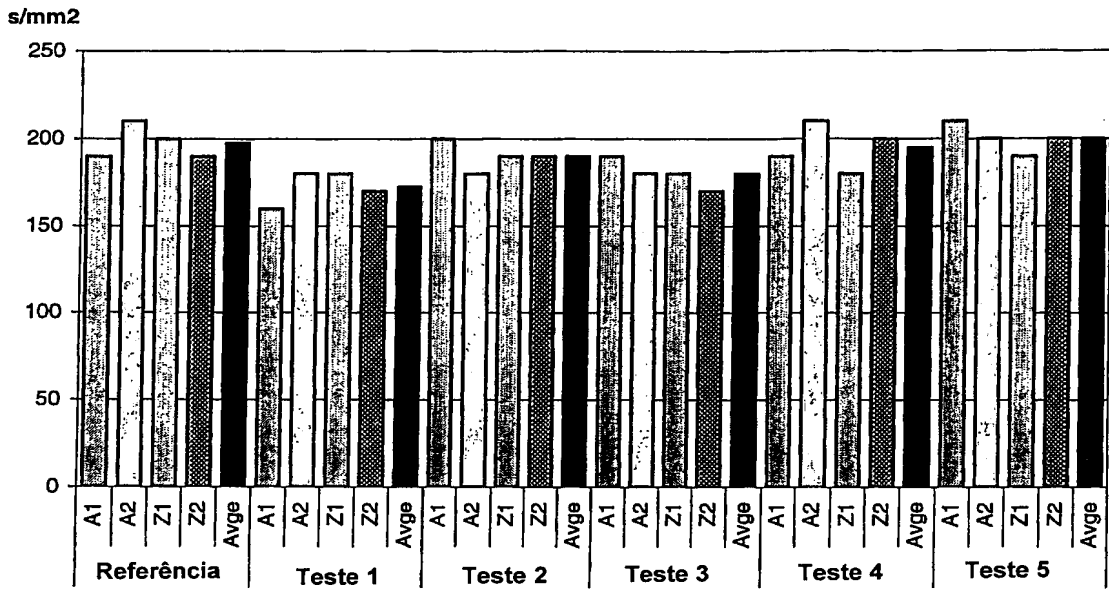


Figura 4 - % de Ferrita

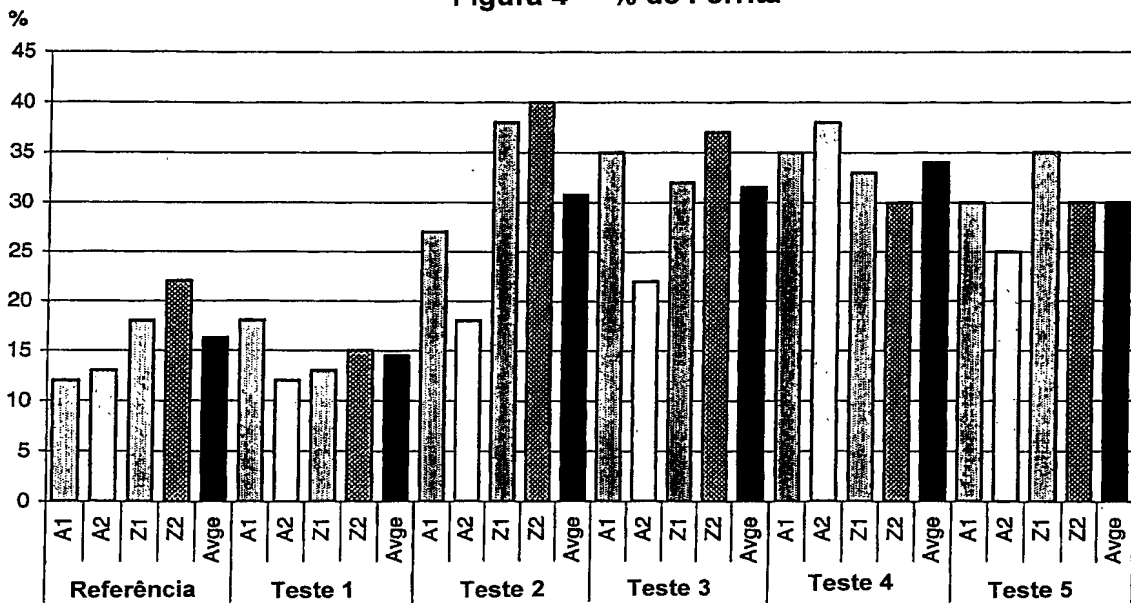


Figura 5 - % de Dureza (HB)

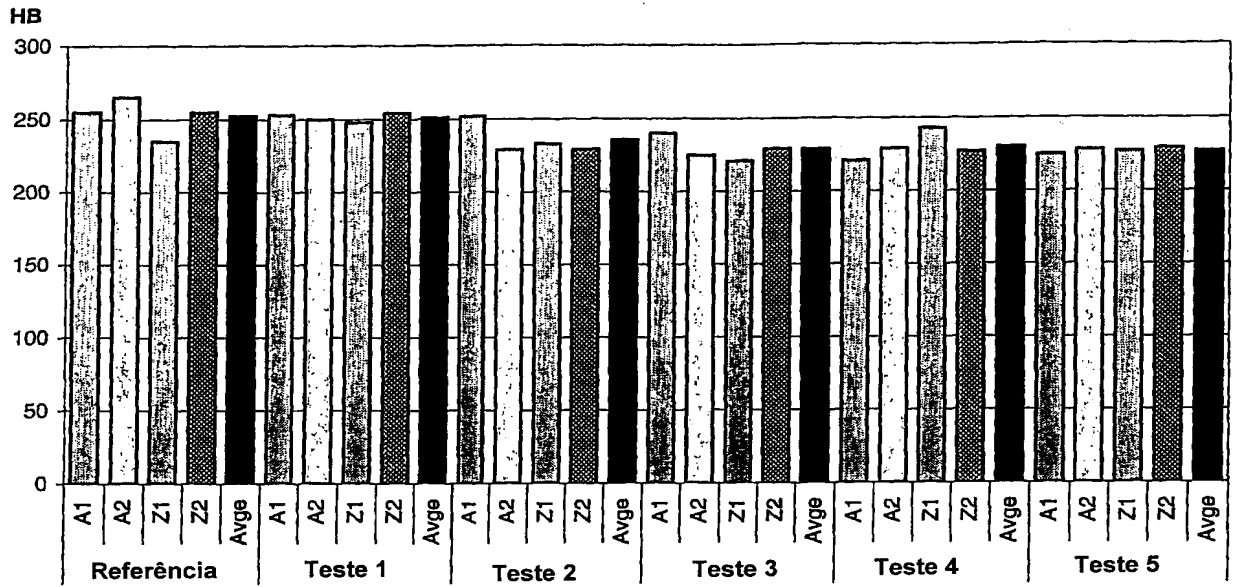


Figura 6 - % de Mg Residual

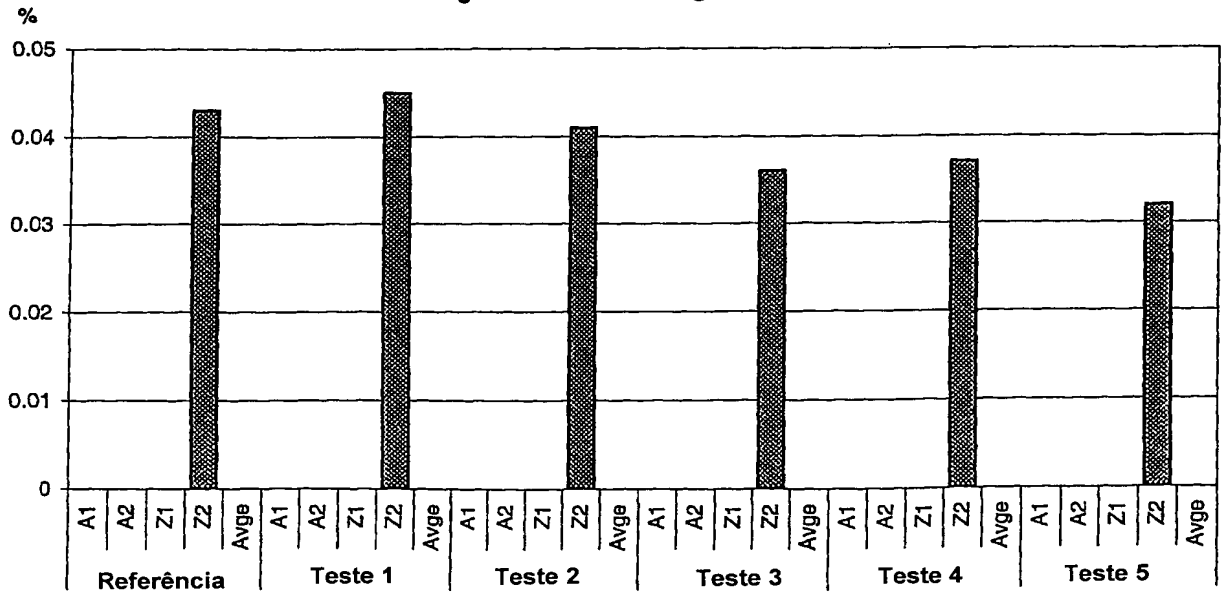


Figura 7 – % de promotores de microbolhas (Al + Ti + Mg residual)

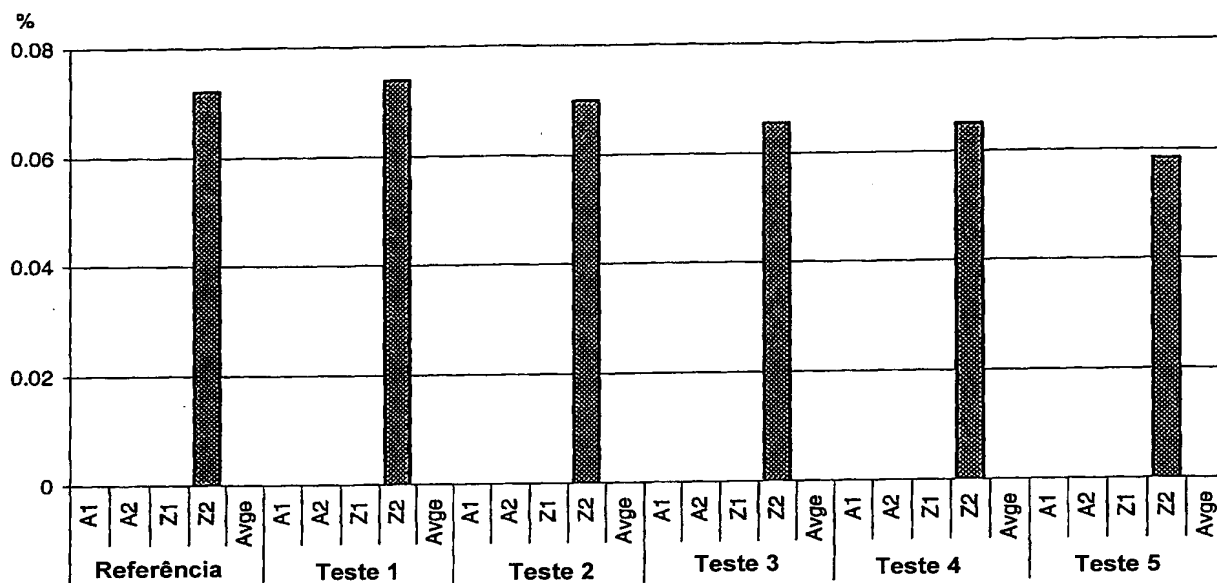


Figura 8 – % de Enxofre

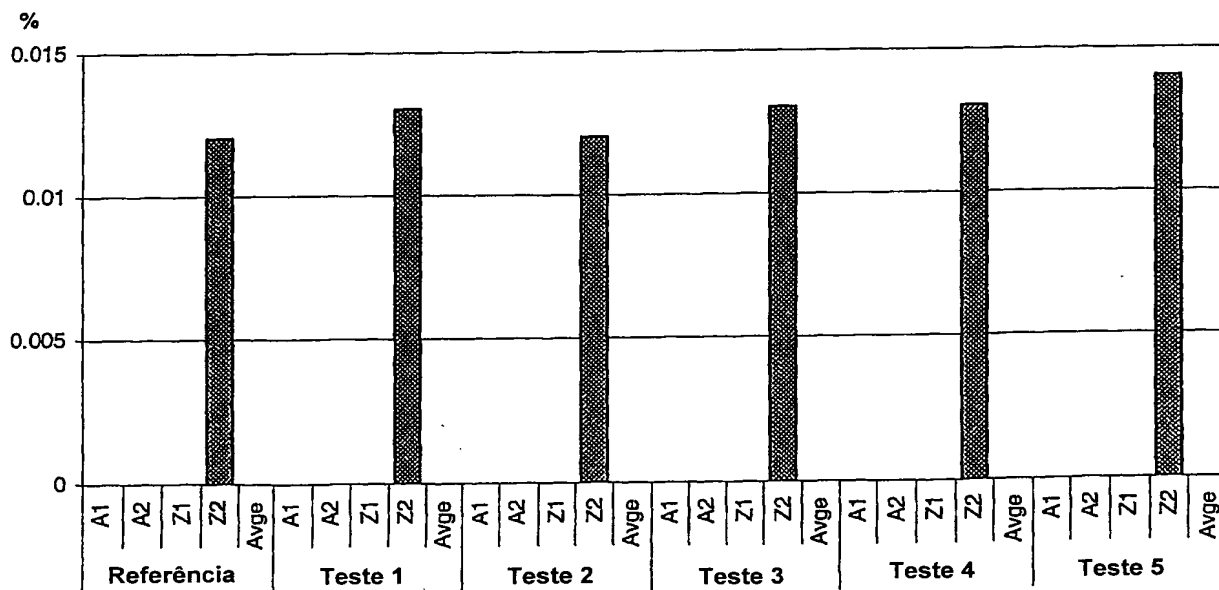
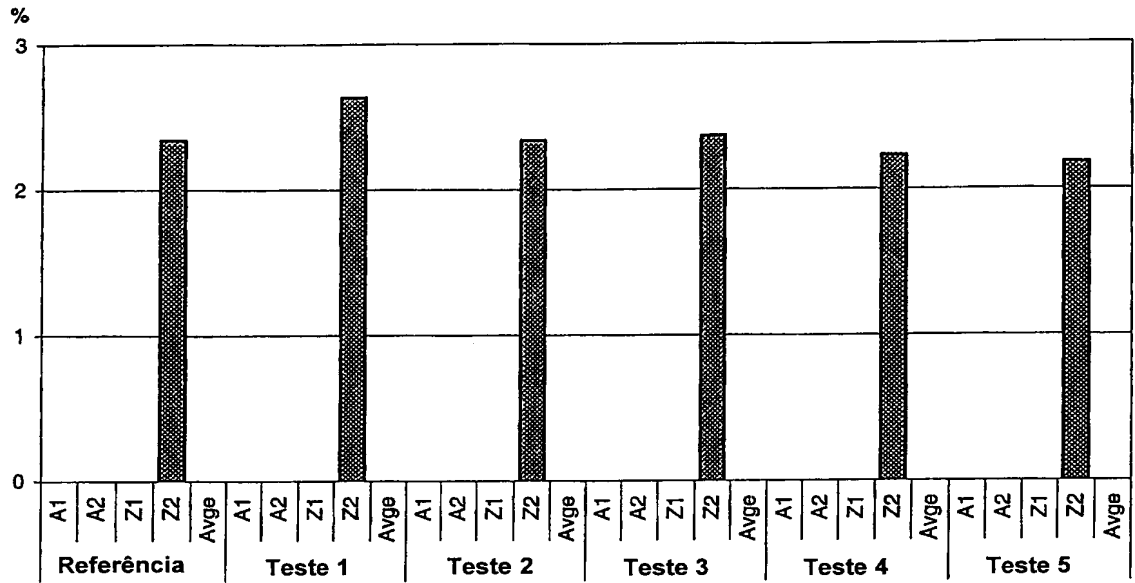


Figura 9 – % de Silício



RESUMO

“PROCESSO PARA A PRODUÇÃO DE FERRO DÚCTIL, E, LIGA PARA USO COMO INICIADOR NO PROCESSO”

5 A presente invenção diz respeito a um processo para a produção de ferro dúctil compreendendo as etapas seqüenciais de: (i) tratar ferro líquido com um iniciador compreendendo uma quantidade eficaz de um metal do grupo IIa sem ser Mg, (ii) em um tempo predeterminado depois da etapa (i), tratar o ferro líquido com um nodularizante contendo magnésio, (iii) tratar o ferro líquido com um inoculante indutor de nucleação de grafita eutético; e (iv) lingotar o ferro. A invenção permite que a variabilidade do teor de oxigênio no ferro base seja processada de maneira tal que as propriedades mecânicas dos componentes fundidos a partir do ferro processado sejam independentes do teor de oxigênio original do ferro base.

10