



Esta invención se relaciona con la producción de arrabio con grafito compactado.

El grafito compactado es un nombre preferido dado al grafito lamelar que ha llegado a ser redondeado, espesado y acortado en comparación con las laminillas alargadas normales normalmente encontradas en las fundiciones grises. Esta forma modificada de grafito se ha conocido por diversos nombres incluyendo el grafito "compactado", "vermicular", "casi-lamelar", "lamelar agregado", "rechoncho", "enriquecido", "semi-nodular" y "flocular".

La mayoría de los arrabios tienen estructuras gráficas lamelares alargadas y tales fundiciones son comparativamente débiles y frágiles, pero tienen una buena conductividad térmica y resistencia al choque térmico. Sin embargo, se sabe que es posible producir arrabios que tienen una estructura gráfica nodular y que son dúctiles y comparativamente fuertes, pero los mismos tienen una inferior conductividad térmica y, en ciertas circunstancias, una resistencia más pobre al choque térmico. Las fundiciones con estructuras gráficas compactadas combinan la elevada resistencia y ductilidad con frecuencia asociadas con las fundiciones gráficas nodulares, mientras que retienen la buena conductividad térmica y resistencia al choque térmico.

Los expertos en la técnica de la fundición del hierro saben que pueden producirse estructuras gráficas compactadas mediante aleación con magnesio, pero el proceso es difícil de controlar debido a la gama muy estrecha de contenidos en magnesio requerida para producir la estructura (0,015 a 0,02%). Dicho control es con frecuencia impracticable y por esta razón el proceso ha tenido hasta ahora solamente un empleo comercial

limitado.

Inco y Schelleng (Patente Británica número 1.069.058) los cuales se refieren a la forma grafitica como "grafito vermicular", fueron capaces de ampliar la gama de contenidos en magnesio permisibles por la adición de 0,15 a 0,5% de titanio y de 0,001 a 0,015% de metal de tierra rara añadidos por separado a la fundición de hierro. Esta cantidad de titanio se considera elevada, pero se dijo que era necesaria para cubrir una amplia gama de contenidos en magnesio (0,005 a 0,06%) al mismo tiempo que se evitaba la formación de estructuras grafiticas nodulares.

Igualmente, se ha encontrado que las estructuras grafiticas compactadas pueden ser producidas en fundiciones que tengan un contenido en magnesio del orden de 0,010 a 0,035%, añadiendo 0,06 a 0,15% de titanio y una traza de cerio.

El modo usual de producir fundiciones grafiticas compactadas en las cuales el ingrediente principal añadido es magnesio, consiste en añadir el magnesio como ferro-silicio conteniendo 5% de magnesio y cerio; el titanio se añade como ferro-titanio o como titanio metálico en la cuchara o como ferro-titanio o fundición bruta portando titanio en la carga del horno. En ciertos casos, el cerio se añade por separado como nischmetall o en cualquier otra fuente conveniente.

En la patente británica número 1.427.445, se describe y reivindica un método para tratar arrabio, que puede utilizarse para producir estructuras grafiticas compactadas en el arrabio sin el peligro de disponer de un contenido en titanio demasiado elevado en una fundición de bajo contenido en magnesio e, alternativamente, sin peligros de producir grafito nodular a causa de que existe insuficiente titanio en el caso de una fun-

dición de elevado contenido en magnesio. De este modo, se mejora la fiabilidad con la cual se obtiene un arrabio que tenga la estructura grafitica compactada requerida, a pesar de las desviaciones de los valores esperados para la cantidad de metal tratado o contenido en azufre de la fundición. Según el método reivindicado, esto se consigue, en lugar de añadir los ingredientes por separado, mediante un simple tratamiento de la fundición con una aleación que contiene silicio, magnesio, titanio y un metal de tierra rara, siendo el resto hierro.

10 Sin embargo, se ha encontrado que cuando el contenido en azufre del arrabio supera un valor de 0,025 a 0,03%, debe incrementarse la cantidad de aleación necesaria que se ha de añadir según el método anterior. Sin embargo, las grandes adiciones de aleación son indeseables puesto que conducen al riesgo de una formación de grafito esferoidal en cualquier lote de fundición en el cual el contenido en azufre inicial pueda caer por debajo del nivel anticipado.

15 Según la presente invención, se resuelve este problema añadiendo calcio a la aleación, lo cual, y como se ha encontrado, confiere a la misma la capacidad, para una cantidad añadida determinada, de producir grafito compactado en arrabios con una gama más amplia de contenidos en azufre iniciales. De este modo, la invención se relaciona con un método para tratar fundición que contiene carbono, que comprende añadir al hierro fundido, en una sola etapa, una cantidad de una aleación que contiene silicio, magnesio, titanio, calcio y una tierra rara, siendo el resto hierro.

20 Preferiblemente, la aleación modificada tiene la siguiente composición nominal en peso:

Silicio	:	30-80%
Magnesio	:	2-15%
Titanio	:	3-25%
Calcio	:	2-10%
Cerio	:	0,05-1,0%

5

Resto practicamente hierro

La relación Mg:Ti está comprendida entre 1:1 y 1:2. La relación Mg:Ce está comprendida entre 50:1 y 1:2, preferiblemente entre 50:1 y 10:1. La relación Mg:Ca está comprendida entre 1:1 y 1:5.

10

La composición preferida es:

Silicio	40 - 60%
Magnesio	3 - 6%
Titanio	5 - 8%
Calcio	4 - 7%
Cerio	0,1 - 0,5%

15

En la producción de estos arrabios, constituye una ventaja inocular el hierro del modo convencional para las fundiciones grises, siendo el inoculante un material perteneciente a la entidad solicitante de esta solicitud o un ferro-silicio comercial. Esto es particularmente útil cuando el arrabio ha de ser colado en secciones más finas.

20

Las aleaciones del tipo descrito se pueden producir por los métodos establecidos para la producción de ferro-aleaciones, los cuales pueden implicar, entre otros procesos, la fusión junto con los constituyentes individuales o aleaciones madres, o la formación de un lote de aleación fundida conteniendo los principales constituyentes y la adición de la misma a los constituyentes menores. Alternativamente, las aleaciones se pueden preparar utilizando el proceso convencional de arco su-

25

30

5 mergido para fabricar un ferro-silicio conteniendo titanio y/o calcio, líquido, y añadiendo a continuación magnesio y otros elementos deseados, introduciéndolos por debajo de la superficie del ferro-silicio aleado y fundido, seguido por agitación para proporcionar una uniformidad adecuada en la aleación.

El cerio puede ser sustituido total o parcialmente por otros elementos de tierras raras.

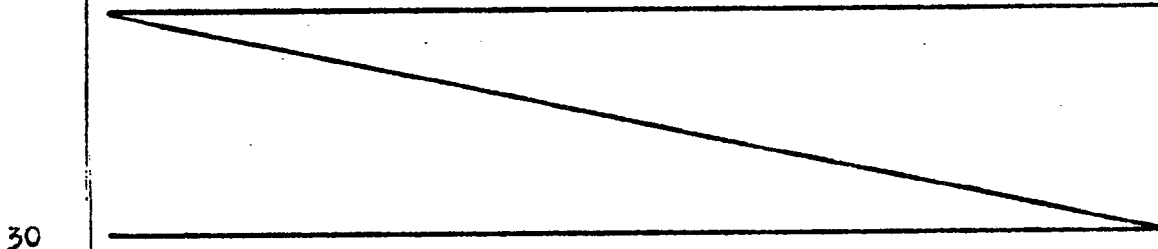
10 A continuación se ofrece un ejemplo del empleo de la aleación en diversos niveles distintos de adición para producir buenas estructuras grafiticas compactadas. La composición de la aleación utilizada es:

	Magnesio	5,05%
	Silicio	47,5%
	Calcio	4,4%
15	Cerio	0,23%
	Titanio	8,5%
	Resto hierro	

La composición del hierro tratado es:

	TC%	Si%	S%	Mn%
20	3,7	1,5	0,02	0,5

25 Se toman cuatro sangrías y se tratan respectivamente con 1%, 1,15%, 1,30% y 1,50% de la aleación y se efectúa una adición de metal silicio con el fin de que la adición total de silicio se mantenga aproximadamente constante en las fundiciones finales. Las composiciones de las sangrías son:



Sangría							
No.	Tratamiento	TC%	Si%	Mn%	S%	Mg%	Ti%
1	Adición 1% aleación	3,65	2,22	0,47	0,014	0,016	0,090
2	Adición 1,15% aleación	—	2,28	0,47	0,014	0,018	0,100
3	Adición 1,30% aleación	—	2,30	0,47	0,016	0,021	0,109
4	Adición 1,50% aleación	3,60	2,34	0,47	0,014	0,024	0,116

A partir de cada una se prepara por fundición una barra de 101,6 mm de diámetro y una barra de 30,48 mm de diámetro. Cada una de estas barras tenía una estructura grafitica totalmente compactada con solamente nodulos grafiticos ocasionales que normalmente se encuentran en tales fundiciones.

En una segunda serie de ensayos, se demostró la ventaja de la aleación en el tratamiento de fundiciones de cierta gama de contenidos en azufre. Se utilizaron dos aleaciones, una de ellas la aleación número 1 consistente en una aleación según la patente británica número 1.427.445, la cual no tenía calcio, y la segunda la aleación número 2 que consistía en una aleación según la presente invención, incluyendo por tanto calcio. La composición de cada aleación es la siguiente:

	<u>Aleación No. 1</u>	<u>Aleación No. 2</u>
Silicio %	41,3	44,7
Magnesio %	5,1	4,5
Titanio %	7,9	7,1
Calcio %	---	6,0
Cerio %	0,10	0,10

Estas aleaciones se utilizaron para tratar sangrías de fundición procedentes de dos fusiones. La primera fusión se trató con 1,5% de adición de aleación y la segunda fusión con 1,3% de adición de aleación. Entre las sangrías se aumentó sucesivamente el contenido en azufre de cada fusión desde

0,011 a 0,035% aproximadamente.

Las composiciones químicas de las sangrías de la primera fusión, fueron:

TABLA 1

5  
10  
15  
20  
25  
30

No.	Tratamiento de fusión 1.	TC%	Si%	Mn%	S%	Mg%	Ti%
1	Fusión antes del tratamiento con aleación.	3,6	1,6	0,48	0,012	---	---
	Adición 1,5% aleación 1.	3,64	2,19	0,48	0,011	0,026	0,109
	Adición 1,5% aleación 2.	3,62	2,14	0,48	0,008	0,024	0,074
2	Fusión antes del tratamiento con aleación.	3,6	1,6	0,48	0,023	---	---
	Adición 1,5% aleación 1.	3,67	2,15	0,48	0,014	0,025	0,113
	Adición 1,5% aleación 2.	3,67	2,17	0,48	0,012	0,027	0,097
3	Fusión antes del tratamiento con aleación.	3,6	1,6	0,48	0,029	---	---
	Adición 1,5% aleación 1.	3,59	2,20	0,48	0,015	0,025	0,115
	Adición 1,5% aleación 2.	3,54	2,16	0,48	0,015	0,026	0,097
4	Fusión antes del tratamiento con aleación.	3,6	1,6	0,48	0,034	---	---
	Adición 1,5% aleación 1.	3,65	2,15	0,48	0,011	0,025	0,122
	Adición 1,5% aleación 2.	3,35	2,12	0,48	0,012	0,025	0,078

Las composiciones químicas de las sangrías de la segunda fusión fueron:

TABLA 2

5	No.	Tratamiento de fusión 2.	TC%	Si%	Mn%	S%	Mg%	Ti%
10	1	Fusión antes del tratamiento con aleación.	3,6	1,8	0,52	0,011	—	—
		Adición 1,3% aleación 1.	3,61	2,31	0,52	0,012	0,022	0,096
		Adición 1,3% aleación 2.	3,65	2,24	0,52	0,014	0,022	0,077
15	2	Fusión antes del tratamiento con aleación.	3,6	1,8	0,52	0,017	—	—
		Adición 1,3% aleación 1.	3,61	2,25	0,52	0,019	0,023	0,097
		Adición 1,3% aleación 2.	3,58	2,21	0,52	0,015	0,018	0,072
20	3	Fusión antes del tratamiento con aleación.	3,6	1,8	0,52	0,026	—	—
		Adición 1,3% aleación 1.	3,61	2,20	0,52	0,015	0,020	0,090
		Adición 1,3% aleación 2.	3,63	2,18	0,52	0,015	0,019	0,065
25	4	Fusión antes del tratamiento con aleación.	3,6	1,8	0,52	0,035	—	—
		Adición 1,3% aleación 1.	3,63	2,22	0,52	0,017	0,020	0,092
		Adición 1,3% aleación 2.	3,53	2,23	0,52	0,021	0,021	0,078

A partir de cada sangría se preparó por fundición una barra de 101,6 mm de diámetro, una barra de 30,48 mm de diámetro y un picadero de quilla de 31,75 mm de espesor. La

5 barra de 101,6 mm de diámetro y la de 30,48 mm de diámetro fueron examinadas metalográficamente y la estructura grafitica de cada una de ellas se clasificó utilizando una escala de 1 a 8, llegando a ser el grafito menos similar a la estructura lamelar y mas compacto a medida que los números aumentaban de 1 a 8, estando asociada con el número 8 una estructura grafitica totalmente nodular. La estructura grafitica compactada deseada viene designada por los números 5 ó 6.

10 Los resultados para las barras de la primera fusión fueron los siguientes:

TABLA 3

Sangría No.	Tratamiento de fusión 1	Clasificación del grafito en barras de 101,6 mm de diámetro.	Clasificación del grafito en barras de 30,48 mm de diámetro.	Contenido base en azufre, %.
1	1,5% Aleación 1	5	5 - 6	0,012
	1,5% Aleación 2	5 - 6	6	"
2	1,5% Aleación 1	5	5	0,023
	1,5% Aleación 2	5	5 - 6	"
3	1,5% Aleación 1	5	5	0,029
	1,5% Aleación 2	5	5 - 6	"
4	1,5% Aleación 1	4 (lamelar)	4 (lamelar)	0,034
	1,5% Aleación 2	5	5	"

Los resultados para las barras de la segunda fusión fueron los siguientes:

TABLA 4

San- gría No.	Tratamiento de fusión 2.	Clasificación del grafito en barras de 101,6 mm de diámetro.	Clasificación del grafito en barras de 30,48 mm de diámetro	Contenido base en azu- fre, %.
5	1,3% Aleación 1	5	5	0,011
	1,3% Aleación 2	5	5	"
10	1,3% Aleación 1	5	5	0,017
	1,3% Aleación 2	5	5	"
15	1,3% Aleación 1	4 (lamelar)	5	0,026
	1,3% Aleación 2	5	5	"
15	1,3% Aleación 1	2 (lamelar)	3 (lamelar)	0,035
	1,3% Aleación 2	5	5	"

Los resultados para las barras de 101,6 mm de diámetro de ambas fusiones se muestran también en forma gráfica en los dibujos adjuntos, en donde la figura 1 se relaciona con barras coladas a partir de la primera fusión con una adición de 1,5% de aleación y la figura 2 se relaciona con barras coladas a partir de la segunda fusión con una adición de 1,3% de aleación. Las curvas que se relacionan con las barras tratadas con aleación número 1 y aleación número 2 están correspondientemente marcadas en los gráficos.

Ambas figuras 1 y 2 demuestran claramente que el contenido en calcio de la aleación número 2 ayuda a suprimir la formación de grafito lamelar para proporcionar grafito compactado para contenidos en azufre superiores a 0,025% aproximadamente.

Las propiedades mecánicas de las barras de en-

sayo cortadas a partir de los picaderos de quilla de 31,75 mm de espesor, fueron medidas a continuación, siendo los siguientes los resultados obtenidos para las barras de la primera fusión:

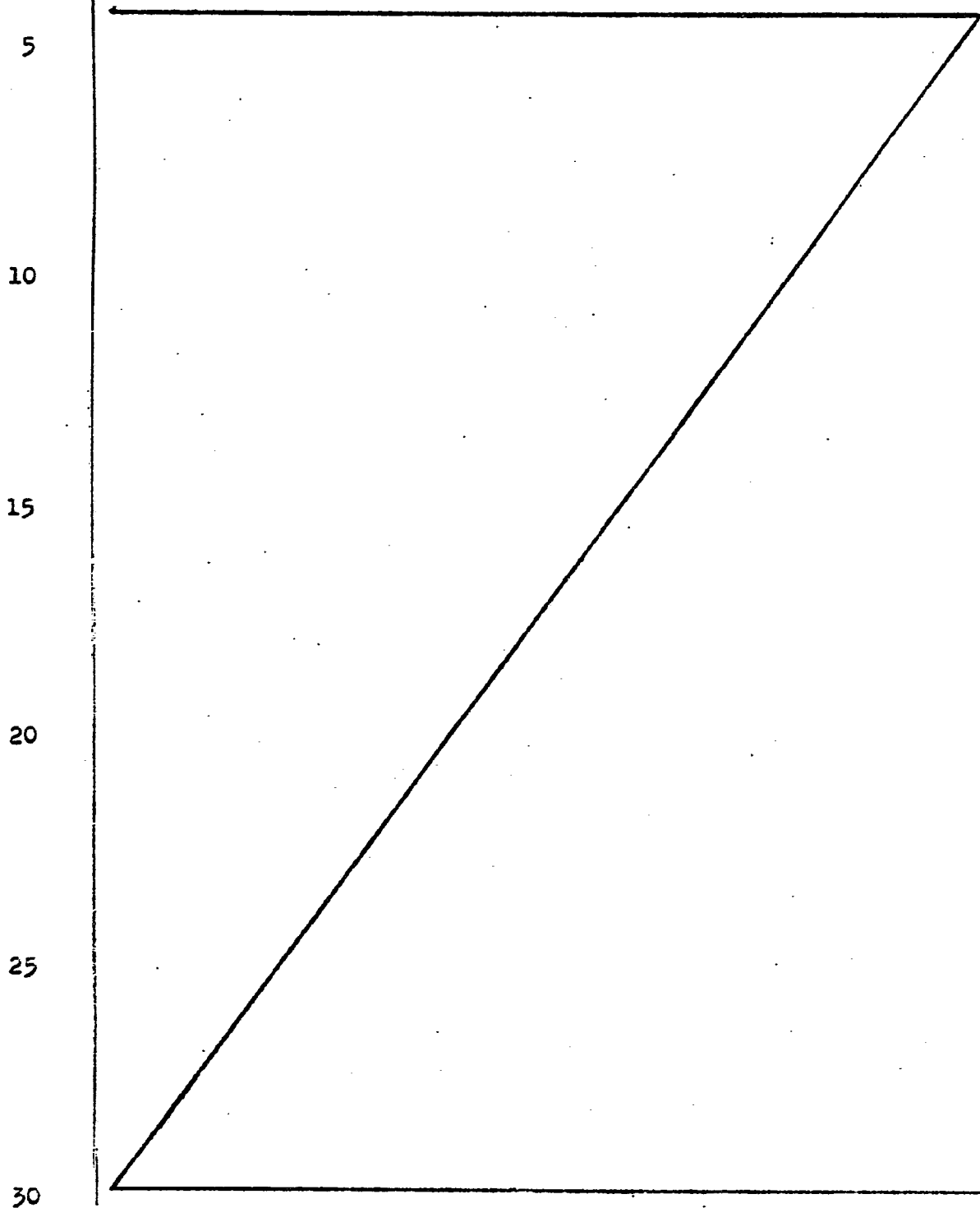


TABLA 5

Sangría No.	Tratamiento de fusión 1	Limite convencional de elasticidad Ton/cm <sup>2</sup>		Resistencia a la tracción Ton/cm <sup>2</sup>	Alargamiento, %	Dureza HB 10/300
		0,1%	0,2%			
1	1,5% Aleación 1	1,26	1,37	2,18	4	204
	1,5% Aleación 2	1,27	1,38	2,22	4	204
2	1,5% Aleación 1	1,19	1,30	2,00	4	192
	1,5% Aleación 2	1,21	1,32	2,04	3,5	197
3	1,5% Aleación 1	1,19	1,29	1,97	4	189
	1,5% Aleación 2	1,21	1,33	2,02	3,5	190
4	1,5% Aleación 1	--	--	1,40	2	157
	1,5% Aleación 2	1,08	1,18	1,67	3	170

TABLA 5

Sangría No.	Tratamiento de fusión 1	Limite convencional de elasticidad Ton/cm <sup>2</sup>			Resiste a la tr Ton/c
		0,1%	0,2%	0,5%	
1	1,5% Aleación 1	1,26	1,37	1,51	2,18
	1,5% Aleación 2	1,27	1,38	1,52	2,22
2	1,5% Aleación 1	1,19	1,30	1,43	2,00
	1,5% Aleación 2	1,21	1,32	1,44	2,04
3	1,5% Aleación 1	1,19	1,29	1,42	1,97
	1,5% Aleación 2	1,21	1,33	1,45	2,02
4	1,5% Aleación 1	--	--	1,14	1,40
	1,5% Aleación 2	1,08	1,18	1,28	1,67

Resistencia a la tracción Ton/cm <sup>2</sup>	Alargamiento, %	Dureza HB 10/300
2,18	4	204
2,22	4	204
2,00	4	192
2,04	3,5	197
1,97	4	189
2,02	3,5	190
1,40	2	157
1,67	3	170

Los resultados para las barras de la segunda fusión fueron:

TABLA 6

Sangría No.	Tratamiento de fusión 2.	Límite convencional de elasticidad Ton/cm <sup>2</sup>			Resistencia a la tracción Ton/cm <sup>2</sup>	Alargamiento, %	Dureza HB 10/300
		0,1%	0,2%	0,5%			
1	1,3% Aleación 1	1,20	1,32	1,47	1,94	3	195
	1,3% Aleación 2	1,24	1,35	1,49	2,01	3,5	197
2	1,3% Aleación 1	1,13	1,24	1,37	1,75	3	187
	1,3% Aleación 2	1,16	1,23	1,35	1,72	3	183
3	1,3% Aleación 1	1,00	1,09	1,19	1,22	1	163
	1,3% Aleación 2	1,07	1,19	1,32	1,54	2,5	169
4	1,3% Aleación 1	0,44	0,51	0,61	0,66	1	143
	1,3% Aleación 2	1,02	1,15	1,26	1,50	2	168

Los resultados para las barras de la segunda fusión fueron:

TABLA 6

Sangria No.	Tratamiento de fusión 2.	Límite convencional de elasticidad Ton/ cm <sup>2</sup>			Resistencia a la tracción Ton/cm
		0,1%	0,2%	0,5%	
1	1,3% Aleación 1	1,20	1,32	1,47	1,94
	1,3% Aleación 2	1,24	1,35	1,49	2,01
2	1,3% Aleación 1	1,13	1,24	1,37	1,75
	1,3% Aleación 2	1,16	1,23	1,35	1,72
3	1,3% Aleación 1	1,00	1,09	1,19	1,22
	1,3% Aleación 2	1,07	1,19	1,32	1,54
4	1,3% Aleación 1	0,44	0,51	0,61	0,66
	1,3% Aleación 2	1,02	1,15	1,26	1,50

Resistencia a la tracción Ton/cm <sup>2</sup>	Alargamiento, %	Dureza HB 10/300
1,94	3	195
2,01	3,5	197
1,75	3	187
1,72	3	183
1,22	1	163
1,54	2,5	169
0,66	1	143
1,50	2	168

Resultados de estas mediciones demuestran que la aleación número 2 no tiene efecto perjudicial sobre las propiedades mecánicas, en comparación con la aleación número. 1.

5 Como anteriormente se ha demostrado, el contenido en calcio de la aleación según la invención amplía la gama de contenidos en azufre en la cual la aleación se puede utilizar para producir arrabio con una estructura grafitica compactada. Sin embargo, se ha observado también que el contenido en calcio amplía la gama de contenidos en magnesio en la cual pueden producirse estructuras grafiticas compactadas. Este último efecto  
10 ha sido demostrado utilizando una aleación del siguiente tipo:

Silicio %	50,05
Magnesio %	5,41
Titanio %	8,15
15 Calcio %	5,48
Cerio %	0,43

Esta aleación se utiliza para tratar una serie de sangrías de fundición que solamente difieren en su contenido en magnesio, teniendo la fusión básica un equivalente de carbono TC de 4,3% y un contenido en azufre de 0,015%. Se efectúan tres tipos de colada a partir de cada sangría y se determina como anteriormente la estructura grafitica. Los tres tipos de colada consistían en una colada ligera en forma de una muestra A.F.S., una colada media en forma de un picadero de quilla y una colada fuerte en forma de una barra de 127 mm de diámetro.  
25 Los resultados se muestran en forma grafica en la figura 3 de los dibujos adjuntos. De este modo se demuestra que se obtiene arrabio con una estructura grafitica compactada en una gama de C,61 a C,05% de magnesio.

30 Descrita suficientemente la naturaleza del in-

vento, así como la manera de realizarlo en la práctica, debe hacerse contar que las disposiciones anteriormente indicadas son susceptibles de modificaciones de detalle, en cuanto no alteren su principio fundamental.

5

10

15

20

25

30

5 1.- Procedimiento para producir arrabio con estructura grafitica compactada, caracterizado porque comprende añadir al hierro fundido, en una sola etapa, una cantidad de una aleación que contiene silicio, magnesio, titanio, calcio y una tierra rara, siendo el resto hierro.

2.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la aleación tiene la siguiente composición nominal en peso:

10	silicio	:	30-80%
	magnesio	:	2-15%
	titanio	:	3-25%
	calcio	:	2-10%
	cerio	:	0,05-1,0%
	resto	:	hierro

15 3.- Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque la relación de magnesio a titanio en la aleación está comprendida entre 1:1 y 1:2 en peso.

20 4.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la relación de magnesio a cerio está comprendida entre 50:1 y 1:2 en peso.

5.- Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado porque la relación de magnesio a cerio está comprendida entre 50:1 y 10:1 en peso.

25 6.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la relación de magnesio a calcio está comprendida entre 1:1 y 1:5 en peso:

7.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la aleación tiene la siguiente composición nominal en peso:



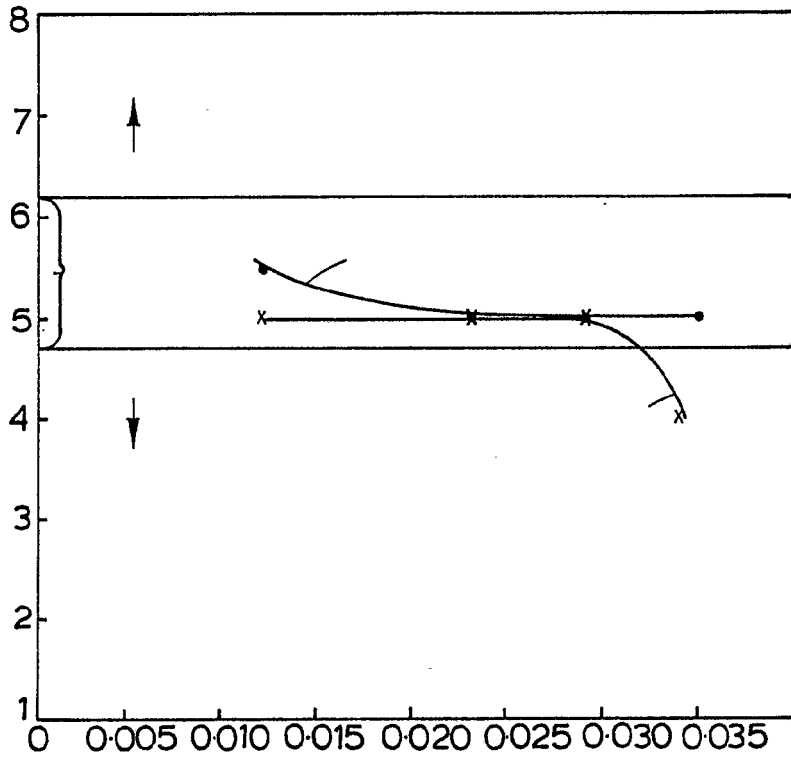


FIG.1.

ESCALA  
VARIABLE

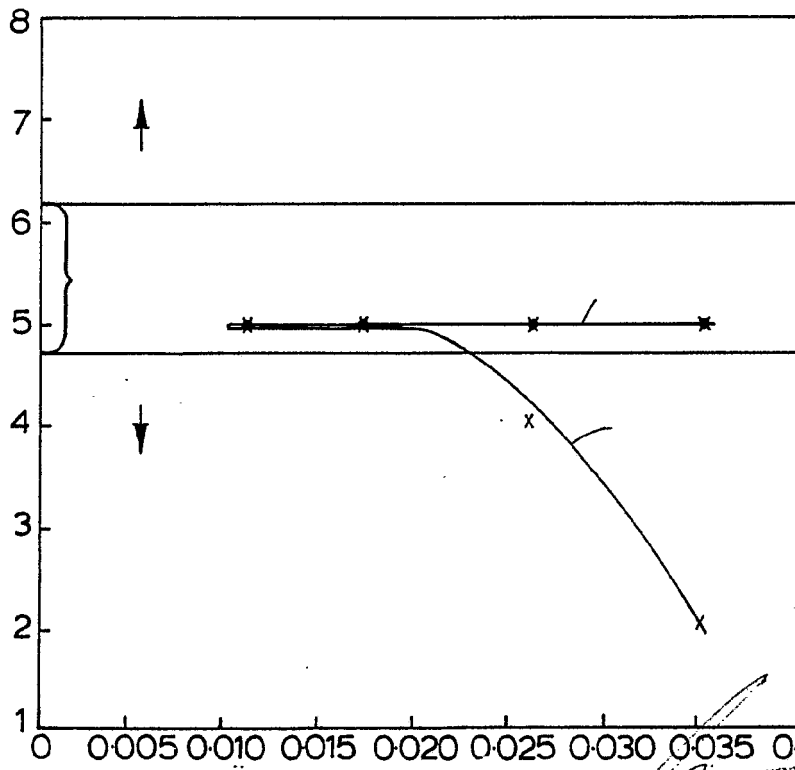
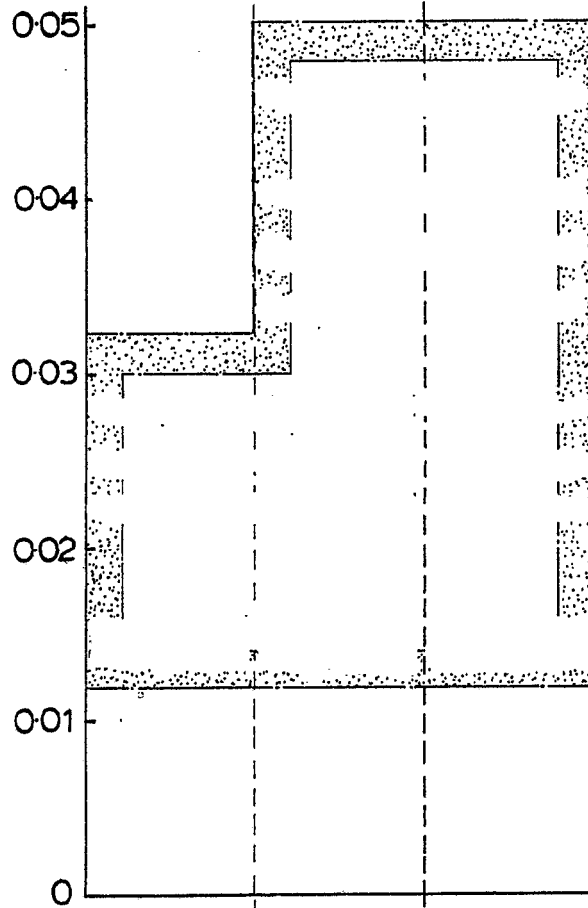


FIG.2.

- 8 FEB. 1977  
Madrid.

BOVEL ACEBU Y MUÑOZ  
Ingenieros L. Guzmán Fernández



ESCALA  
ARBITRARIA

FIG. 3.

*[Handwritten signature]*  
Materia - 0 FEB 1977  
Geogr Form Factor