

280984



21

280 984

MEMORIA DESCRIPTIVA  
de una Patente de Invención a nombre de:  
KNAPSACK GRIESHEIM AKTIENGESELLSCHAFT,  
de nacionalidad alemana, domiciliada en  
KNAPSACK BEI KÖLN (Alemania); por: "PRO-  
CEDIMIENTO PARA LA FABRICACION DE UNA  
ALEACION DE FERROSILICIO".

-----ooo000ooo-----

La fabricación de aleaciones de ferrosilicio en forma  
de polvo por granulación, pulverización a tobera o por disper-  
sión de una colada de ferrosilicio con vapor, aire o agua, es  
ya conocida. El ferrosilicio pulverizado a tobera se obtiene,  
5 por ejemplo, por dispersión a partir del estado de fusión com-  
pleta, y presenta una superficie uniformemente lisa y redonda,  
tal como se describe oportunamente en la patente española  
205.574. En particular, un ferrosilicio pulverizado a tobera de  
esta clase puede obtenerse, por ejemplo, según el procedimiento  
10 conforme a la (solicitud de patente DAS 1 058 081). Esta memoria  
describe un procedimiento para la fabricación de granos de



ferrosilicio con superficie lisa y forma redonda al dispersar una colada de ferrosilicio con 10 - 25% de silicio con vapor de agua, aire, nitrógeno o cosa parecida, graduando en la colada, en el instante de la pulverización a tobera, un contenido Al comprendido dentro del límite de 0,08 - 0,5%, de preferencia de 0,1 - 0,3%. La dispersión mediante agentes gaseosos o en forma de vapor se hace convenientemente con una presión de unas 12 - 13 atm, en donde la colada de ferrosilicio tiene una temperatura entre 1200 y 1600°C aproximadamente. Para graduar el necesario contenido Al de la colada se agrega cuarzo si el contenido Al es muy alto y, aluminio en cantidad correspondiente, si es demasiado bajo. Por ejemplo el contenido Al existente en la colada puede eliminarse por de pronto por completo por introducción de anhídrido silícico en forma de cuarzo de roca, pirita, arena de cuarzo o en forma de silicatos ricos en anhídrido silícico, y luego se añade la cantidad necesaria de aluminio en forma de aluminio metálico o aleaciones de aluminio. Con un contenido de 12 a 18% en peso de silicio, las aleaciones pulverizadas se utilizan en la preparación de minerales para la fabricación de lodos de gravedad para el procedimiento de flotación - inmersión.

Las aleaciones de ferrosilicio, por ejemplo, con 45% Si, se emplean en forma de polvo, pero también para la fabricación de masas de revestimiento destinadas a electrodos de soldadura con revestimiento prensado.

280984



Para la utilización en la preparación de minerales se exige, por ejemplo, que las aleaciones de ferrosilicio sean estables a la corrosión, resistentes a la abrasión y magnéticas.

40 En las aleaciones en forma de polvo, de un tamaño de grano pequeño hasta  $250\mu$  de diámetro, la superficie está fuertemente agrandada. Sin embargo, para ser estables frente a soluciones acuosas con valores pH inferiores a 7,0, los granos FeSi deberían tener un contenido de silicio superior al 12% en peso. De  
45 ahí resulta una densidad (peso relativo = peso del cuerpo : peso de una cantidad de agua de idéntico volumen a  $4^{\circ}\text{C}$ ) de aproximadamente 6,8 para el FeSi pulverizado.

En la fabricación de aleaciones de hierro-silicio en forma de la denominada fundición al silicio, es también conocido el  
50 aumentar sensiblemente la estabilidad a la corrosión frente a medios ácidos por adición como del 0,65 % de manganeso a aleaciones FeSi con aproximadamente 15 % en peso de Si. En la bibliografía se han propuesto, además, contenidos de cobre de 0,3% hasta 1 %.

Después se ha descrito también que con polvo de ferrosilicio obtenido por dispersión, con una densidad de 6,8 aproximadamente, aplicado a la preparación de minerales se pueden conseguir densidades de los lodos hasta 3,9, si, como se ha dicho, se gradúa el contenido Al entre 0,08 y 0,5 % y, por consiguiente, se  
55 obtiene una superficie lisa y redondeada de las partículas de  
60 ferrosilicio.



65 Pero para muchos casos puede ser deseable alcanzar densidades del lodo más altas, si bien esto sólo es posible con un polvo FeSi con una densidad de más de 7. Pero la mayordensidad no debe conseguirse a costa del magnetismo, de la elevada estabilidad a la corrosión y de la resistencia a la abrasión. Por lo mismo, no es permisible subir la densidad solamente por disminución del contenido Si, ya que esto tendría por consecuencia una disminución de la estabilidad a la corrosión. Sin embargo, el aumento antes citado de la estabilidad a la corrosión de las  
70 aleaciones FeSi mediante la adición de manganeso, tampoco es eficaz más que si no se baja del contenido Si del 12 % en peso. Por una adición muy grande de níquel se podría subir la densidad de la aleación FeSi permaneciendo invariable el contenido Si, puesto que el níquel tiene una densidad de 8,9. Pero con semejante disposición empeorarían las propiedades magnéticas del  
75 polvo FeSi, o se anularían por completo, aún cuando el níquel puro es de por sí sumamente ferromagnético. Por otro lado, el producto se encarecería en gran modo.

80 Ahora se ha descubierto sorprendentemente que una aleación de ferrosilicio en forma de polvo con superficie lisa y redondeada, responde a todas las exigencias si, además del 8 al 15 % en peso de silicio, contiene 0,5 a 5 % en peso de níquel y 1,4 a 25 % en peso de cobre.

Las aleaciones de ferrosilicio de la composición

280984

2'



85 sugerida por el invento tienen una densidad entre 7,1 y 7,4, con lo que en una distribución del tamaño de grano de a lo sumo un 5 % en peso entre 200 y 250  $\mu$ , y aproximadamente un 50 % en peso por debajo de 60  $\mu$ , en las instalaciones de flotación-inmersión de la preparación de minerales pueden lograrse densidades  
90 de lodo de 4,2 aproximadamente. Después, las aleaciones de ferrosilicio sugeridas por el invento se distinguen por una elevada magnetización, por poca magnetización remanente y por una gran resistencia a la abrasión, mayores que las calidades corrientemente usadas hasta ahora.

95 Estas propiedades pueden mejorarse todavía, si adicionalmente, se agrega todavía 0,8 a 3,0 % en peso de manganeso y/o 0,08 a 0,5 % en peso de aluminio.

La fabricación de las aleaciones de ferrosilicio sugeridas por el invento en forma de polvo se lleva a cabo por solidificación a partir del estado en fusión, o sea, de modo en sí  
100 conocido, por dispersión o pulverización o granulación de una colada de la composición anterior, con vapor, aire o agua.

La aleación sugerida por el invento, además de un contenido de níquel de más del 0,5 %, tiene un contenido de cobre situado por encima del límite de solubilidad de cobre en el  
105 hierro. Según M. Hansen, Constitución of Binary Alloys (McGraw-Hill Book Company, Nueva York 1958), este límite de solubilidad, con 1,4 % en peso de cobre, se halla a 850° C. El cobre y hierro



son totalmente solubles entre sí en estado líquido; la separación  
110 en dos fases no tiene lugar hasta el momento de la solidificación,  
por ejemplo, con menos del 10 % en cobre, bajo precipitación si-  
multánea de cobre desde el hierro  $\gamma$  y, seguidamente, desde la mo-  
dificación  $\alpha$ . Por la técnica en la pulverización se consigue ob-  
tener la solución del cobre en la aleación de hierro-silicio. El  
115 estado en solución de la base en fusión es ampliamente congelado  
durante el enfriamiento brusco a partir de la masa fundida.

La aleación conteniendo cobre sugerida por el invento  
no puede elaborarse mediante la colada en moldes, porque en el en-  
friamiento lento sería inevitable la precipitación del cobre. Se  
120 puede elaborar la aleación sugerida por el invento en forma fina-  
mente dispersa, de preferencia, con menos del 10 % de cobre, aun-  
que también se la puede obtener si primero se cuele la aleación  
fundida en moldes, se la deja enfriar en ellos y, a continuación,  
ya en estado sólido, se la tritura en forma de polvo. A este pol-  
125 vo FeSi obtenido de esta manera con contenidos de cobre inferiores  
al 10%, se le hace pasar ahora por una zona de calentamiento, con  
lo que las partículas deben fundirse en redondo, al menos super-  
ficialmente. El tiempo de permanencia en la zona de calentamiento  
tiene que ser tan grande que el contenido de cobre, a temperatu-  
130 ras por encima de 850°, pase a solución. Este estado es congelado  
en una zona subsiguiente de refrigeración y de enfriamiento brus-  
co.



135 Si se pulverizan aleaciones FeSi en estado fundido con contenidos Si por debajo del 12%, se reduce también la tensión superficial, con la consecuencia de que la forma granular de la aleación pulverizada no sigue ya siendo esférica, sino que se obtiene un grano rasgado, crepitante, que no puede ser usado para lodos de gravedad. Sin embargo con el empleo de cobre junto a níquel como constituyente de aleación, se encontró un medio para 140 volver a aumentar la tensión superficial por lo que, a pesar de haber disminuído el contenido Si, se obtienen con la pulverización granos de forma lisa, redondeada, casi esféricos.

145 Por adición de níquel y cobre como constituyentes de aleación, y por la obtención de un polvo con superficie lisa y de forma redondeada, esférica, se consigue una estabilidad a la corrosión igual, si no mejor todavía, que en las aleaciones ya conocidas.

150 Con los siguientes ejemplos se exponen las propiedades de una de estas aleaciones FeSi en forma de polvo la cual, según el invento, contiene cobre y níquel, además de aluminio, estableciéndose de paso una comparación entre dos clases FeSi conocidas (por ejemplo nº 1 y 2) y una clase FeSi según el invento (por ejemplo nº 3) en cuanto a sus propiedades magnéticas y a su resistencia a la abrasión:

280984



155	Elementos de aleación.	Nº. 1	Nº. 2	Nº. 3
	% en peso			
	Si	14 - 16	14 - 16	8 - 12
	Cu	< 0,5	< 0,5	1,4 - 5
	Ni	< 0,5	< 0,5	0,5 - 5
160	Al	0,5 - 3,0	0,08 - 0,5	0,1 - 0,3
	Peso específico	6,7	6,7	> 7,1

De la calidad de aleación nº. 3 se probaron, por ejemplo, unas clases con

9,7 % Si, 3,6 % Cu, 3,2 % Ni y 0,1 % Al,

165 9,9 % Si, 3,9 % Cu, 3,5 % Ni y 0,11 % Al.

Propiedades magnéticas

	Polvo FeSi	Magnetización	Magnetización remanente
	1	12 - 17	60 - 70
	2	15 - 17	60 - 70
170	3	16 - 20	15 - 30

Las mediciones se realizaron bajo las mismas condiciones experimentales. Para mayor simplificación se han registrado en la vertical valores numéricos comparables, sin dimensión (véase también Zeitschrift für Erzbergbau und Metallhüttenwesen, vol. XIII (1960), pág. 477 - 84 (Dr. Riederer-Verlag GmbH, Stuttgart)). La magnetización remanente es siempre, por supuesto, menor que la magnetización, aun cuando no llegue esto a ponerse de manifiesto en los valores numéricos para la magnetización remanente, ya que los mismos están

280984 21 S



180 sujetos todavía a un factor. Los valores numéricos no son, por lo tanto, comparables en la horizontal.

185 Como puede verse, la composición de aleación n.º. 3 presenta muy buenas propiedades magnéticas y está muy indicada para la preparación por flotación-inmersión para la fabricación de lodos de gravedad. Con buena magnetización, la aleación n.º. 3 presenta valores relativamente bajos para el magnetismo remanente, o sea que es bien magnetizable y fácilmente desmagnetizable.

Resistencia a la abrasión:

190 Para determinar la resistencia a la abrasión, en las aleaciones FeSi 1, 2 y 3 se separaron por cribado los granos de 100 a 150  $\mu$  y trituraron en un molino de bolas durante 30 minutos. Luego se determinaron las fracciones de granos  $< 100 \mu$ . Manteniendo constantes las condiciones de ensayo, este método dá una medida de la resistencia a la abrasión de las clases de polvos examinadas. La parte de grano  $> 100 \mu$  después de la molienda denota cuántos granos se han destruido con este esfuerzo, mientras que las partes de las fracciones  $< 100 \mu$  indican hasta qué punto ha avanzado la trituración.

Tamaños de grano en $\mu$		(Partes en %)				
Polvo Fe Si	Densidad.	$> 100$	75 - 100	60 - 75	43 - 60	43
1	6,7	50 - 60	20 - 25	8 - 10	3 - 5	8 - 10
2	6,7	60 - 65	18 - 22	6 - 8	2 - 3	2 - 3
3	3,2	70 - 80	13 - 18	3 - 5	2 - 3	1 - 2

200



De aquí se desprende también que la calidad de aleación  
205 nº 3 según el invento es particularmente resistente a la abrasión.

En particular, el presente invento se refiere a una aleación de ferrosilicio con un contenido de

210                   8 - 15 % en peso de silicio,  
                    0,5- 5 % en peso de níquel, y  
                    1,4- 25 % en peso de cobre,

La aleación de ferrosilicio puede contener adicionalmente 0,08 a 0,5 % de aluminio.

En particular es ventajosa una aleación de ferrosilicio con un contenido de

215                   8 - 12 % en peso de silicio,  
                    0,5- 5 % en peso de níquel,  
                    1,4- 5 % en peso de cobre, y  
                    0,1- 0,3% en peso de aluminio.

220 Las aleaciones de ferrosilicio pueden contener adicionalmente 0,8 a 3,0 % de manganeso.

Pueden existir en forma de polvo con superficie lisa y redondeada y con una densidad de más de 7. En este caso, las aleaciones FeSi en forma de polvo deben tener una distribución granulométrica de aproximadamente el 50 % en peso por debajo de 60  $\mu$   
225 y, a lo sumo, 5 % en peso entre 200 y 250  $\mu$ .

Las partículas de ferrosilicio existen en forma esférica,

280984



de lágrima o alargada. Pueden ser de ferrosilicio pulverizado a tobera, en cuyo caso este ferrosilicio se obtiene por dispersión a partir del estado de fusión completa, y la dispersión de la colada de ferrosilicio elaborada, por ejemplo por vía electrotérmica, se realiza con ayuda de agua, vapor de agua, aire, nitrógeno o cosa parecida con una presión como de 2 a 13 atmósferas (1 a 12 atm.), y la colada de ferrosilicio tiene ahí una temperatura entre 1200° C y 1600° C aproximadamente. Sin embargo, las partículas FeSi redondeadas en forma finamente dispersa a partir de la masa fundida de la aleación de ferrosilicio pueden obtenerse también por traspaso directo a forma de polvo en un plato de granulación, en donde el agua sirve de medio de trituración para la colada y de medio de enfriamiento brusco, y los medios, tales como agua, vapor, aire, nitrógeno o cosa parecida, que se emplean para la trituración y/o enfriamiento brusco están a una elevada presión de aproximadamente 1 a 20 atm, y se proyectan, por ejemplo, desde toberas.

Las partículas FeSi redondeadas, en forma finamente dispersa desde la masa fundida de la aleación de ferrosilicio pueden obtenerse asimismo por traspaso directo a forma de polvo en un canal de granulación, para lo cual sirve principalmente agua y/o aire como medio de trituración de la colada y como medio de enfriamiento brusco, y los medios, tales como agua, vapor, aire, nitrógeno o cosa parecida, que sirven para la trituración y/o



el enfriamiento brusco tienen una elevada presión de aproximadamente 1 a 20 atm y, por ejemplo, se proyectan por medio de toberas.

255 Las partículas FeSi sugeridas por el invento con superficie lisa y redondeada pueden fabricarse también haciendo que las partículas FeSi obtenidas en estado sólido primeramente por molienda, y que contienen cobre, de preferencia menos de 10 % en peso, pasen seguidamente de modo en sí también conocido a presión y con ayuda de un medio de pulverización, a través de una zona de calentamiento - por ejemplo la zona de llamas - a temperaturas por encima de 850°C y que 260 de paso, al atravesar esta zona, las citadas partículas FeSi se fundan en redondo, al menos superficialmente, disolviendo al mismo tiempo su parte de cobre y vayan a parar a una zona de refrigeración o de enfriamiento brusco para su solidificación.

265 A continuación se dan todavía unos ejemplos de fabricación de una aleación de ferrosilicio según lo sugerido por el invento por diferentes procedimientos que pueden aplicarse para la trituración a partir del estado de fusión completa.

#### Ejemplo 1

270 La fabricación de la aleación en estado fundido se hizo en un horno de inducción sin canal; como grupo de fusión puede emplearse también, naturalmente, cualquier otro horno apropiado, de preferencia que trabaje por vía eléctrica.

En un horno de crisol a baja frecuencia se fundieron 900 kg de chatarra de hierro y 150 kg de ferrosilicio con 74,5 % Si. A la

280984

2^



275 aleación resultante de ahí con 10,4 % silicio se agregaron 45 kg de  
cobre y 40 kg de níquel en forma sólida a 1420 °C. Después de haberse  
fundido el níquel y el cobre se añadieron a la colada 2 kg de alumi-  
nio, precisamente un poco antes de que la colada fuese conducida al  
280 la eficacia de la adición Al por la oxidación en la superficie del  
baño. La pulverización se llevó a cabo a través de una tobera de hendi-  
dura anular con vapor de agua a 5,5 atm. El polvo fué recogido en  
agua. Después del secado se comprobó con microscopio que los granos  
tenían superficie lisa y redondeada. La densidad de este polvo era de  
285 7,2. La composición química dentro de la calidad de aleación N° 3 ci-  
tada más arriba era:

9,9	%	Si
3,9	%	Cu
3,5	%	Ni
0,11	%	Al.

290

### Ejemplo 2

A una colada tal como se describe en el ejemplo 1, además  
de las citadas adiciones de aleación cobre y níquel, se agregaron to-  
davía 30 kg de ferromanganeso con 75 % Mn. Esta colada también fué  
295 mezclada con 2 kg de aluminio poco antes de llevarla al dispositivo  
de trituración. La trituración no se hizo esta vez con una tobera de  
hendidura anular, sino con un platillo de granulación en sí conocido.  
La aleación triturada fué enfriada bruscamente en agua. Después del  
secado, se observó al microscopio que los granos tenían superficie



300 lisa y esférica. El polvo tiene una densidad de 7,25. La composición es análoga al ejemplo anterior:

305

9,4	%	Si
3,8	%	Cu
3,4	%	Ni
1,9	%	Mn
0,1	%	Al.

Ejemplo 3:

En un horno de crisol a baja frecuencia se fundieron 200 kg FeSi con un contenido de 75,6 % Si y 780 kg de hierro en forma de chatarra. A la colada se agregaron luego 30 kg de níquel, 20 kg de ferromanganeso con 75 % Mn y 145 kg de cobre. Poco antes de la pulverización se trató la colada ya aleada con 4 kg de aluminio. La pulverización de la aleación líquida en polvo fino se realizó con aire a 11,2 atm. Por observación microscópica se vió que las partículas formadas tenían superficie lisa y forma casi redonda. La densidad de la aleación pulverulenta era de 7,4. La aleación contenía 12,5 % Si, 2,5 % Ni, 12,1 % Cu, 1,1 % Mn, 0,15 % Al.

310

315

NOTA

Se reivindica como nuevo y de propia invención.

1. Procedimiento para la fabricación de una aleación de ferrosilicio, caracterizado por comprender aproximadamente un contenido de

320



325 silicio de 8 - 15 % en peso, de  
níquel 0,5 - 5 % en peso y de  
cobre 1,4 - 25 % en peso, así como adicionalmente  
contiene todavía como un 0,08 a 0,5 % en peso de aluminio.

2. Procedimiento según reivindicacion anterior, caracterizado por comprender un contenido de

330 silicio de 8 - 12 % en peso, de  
níquel 0,5 - 5 % en peso, de  
cobre 1,4 - 5 % en peso y de  
aluminio 0,1 - 0,3% en peso, conteniendo adicionalmente todavía como un 0,8 a 3,0 % en peso de manganeso.

335 3. Procedimiento según reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la aleación existe en forma de polvo con superficie lisa y redondeada, y con una densidad superior a 7 y con una distribución granulométrica como del 50 % en peso por debajo de 60  $\mu$ , y a lo sumo un 5 % en peso entre 200 y 250  $\mu$ , existiendo las partículas de ferrosilicio en forma esférica, de lágrima o alargada.

340 4. Procedimiento según reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la aleación se compone de ferrósilicio pulverizado por tobera que se obtiene por dispersión desde el estado de completa fusión, y la dispersión de la colada de silicio, elaborada por ejemplo por vía electrotérmica, se hace con ayuda de agua, vapor de agua, aire, nitrógeno o cosa parecida, con una presión de unas 2 a 13 atmósferas ( 1 a 12 atm), en donde la colada de ferrosilicio tiene una tem

345



peratura que oscila entre 1200 y 1600 °C aproximadamente.

5. Procedimiento según reivindicaciones anteriores, caracterizado porque las partículas FeSi redondeadas, en forma finamente dispersa a partir del estado de completa fusión de la aleación de ferrosilicio, se obtienen por traspaso directo a forma de polvo sobre un platillo de granulación, en donde como medio de trituración sirve principalmente agua para la colada, y también como medio de enfriamiento brusco y los medios que sirven para la trituración y/o enfriamiento brusco, tales como agua, vapor, aire, nitrógeno o cosa parecida, se hallan a elevada presión de aproximadamente 1 a 20 atm, y por ejemplo salen proyectados desde unas toberas.

6. Procedimiento, según reivindicaciones anteriores, caracterizado porque las partículas FeSi redondeadas, de forma finamente dispersa a partir de la masa fundida de la aleación de ferrosilicio se obtienen por traspaso directo o forma de polvo en un canal de granulación, en donde principalmente sirve agua y/o aire como medio de trituración para la colada y como medio de enfriamiento brusco, y los medios que sirven para la trituración y/o enfriamiento brusco tales como agua, vapor, aire, nitrógeno o cosa parecida están a elevada presión de aproximadamente 1 a 20 atm, y por ejemplo se proyectan desde toberas.

7. Procedimiento según reivindicaciones anteriores, caracterizado porque por medios adecuados a las partículas FeSi con

280984



370 contenidos de cobre preferentemente inferiores al 10 % en peso obtenidas en estado sólido primeramente por molienda, se las hace pasar seguidamente, en forma conocida, y en caso dado bajo presión y con ayuda de un medio de pulverización, a través de una zona de calentamiento - por ejemplo la zona de llamas -, a temperaturas por encima de 850 °C y al atravesar esta zona las partículas FeSi son fundidas en redondo, al menos superficialmente, bajo solución simultanea de su parte de cobre y van a parar a una siguiente zona de refrigeración y de enfriamiento brusco para su solidificación.

375 8. "PROCEDIMIENTO PARA LA FABRICACION DE UNA ALEACION DE FERROSILICIO".

380 Tal como se describe y reivindica en la presente Memoria Descriptiva que consta de diecisiete hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 21 SEP. 1955