

LA CL. B21B, C21D

Nº 440.448

MEMORIA DESCRIPTIVA

correspondiente a la solicitud de una

PATENTE DE INVENCION

Solicitante: GENERAL ELECTRIC COMPANY.

Domicilio: 1 River Road, SCHENECTADY, New York
12305, ESTADOS UNIDOS.-

Enunciado: METODO PARA FABRICAR CHAPA DE FERROSI-
LICEO CON GRANOS ORIENTADOS.

12 FEB. 1977

CONCEDIDA

El invento se refiere de manera general a la técnica de fabricación de productos laminados de ferrosilicio policristalino de gran permeabilidad, y más particularmente se refiere a un nuevo método de producción de chapa de ferrosilicio de alta permeabilidad con granos orientados en una sola dirección, que incluye como características esenciales, la utilización de boro en cantidad pequeña, aunque crítica, nitrógeno contenido en el metal con una relación crítica respecto al boro, la presencia de manganeso y de azufre con una relación inferior a 2,1, un programa de laminación en frío que incluye una parte intermedia de recocido y una fuerte reducción final mediante laminación en frío. El invento se refiere también a un nuevo producto en forma de fleje de ferrosilicio laminado en caliente.

Los materiales en forma de chapa, con los cuales está relacionado el invento, se llaman usualmente en esta técnica aceros al silicio "eléctricos", o más adecuadamente, ferrosilicios, y normalmente están constituidos principalmente por hierro aleado con aproximadamente 2,2 a 4,5% de silicio y cantidades relativamente más pequeñas de varias impurezas y cantidades muy pequeñas de carbono. Estos productos son del tipo de "cubo sobre arista", ya que más del 70% aproximadamente de su estructura cristalina está orientada en la textura (110) [001], según se describe en términos de "Miller Indices".

Dichos productos en forma de chapa de ferrosilicio con granos orientados, se fabrican corrientemente de manera industrial mediante la secuencia que consiste en laminar en caliente, tratar térmicamente, laminar en frío, tratar térmicamente, laminar de nuevo en frío y finalmente tratar térmicamente el metal para decarburarlo, desulfurarlo y recristalizarlo. Los lingotes se trabajan convencionalmente en caliente para formar

un fleje o una chapa de menos de 3,81 mm (0,150 pulgada) de espesor, que se llama "fleje laminado en caliente". A continuación, se lamina en frío el fleje laminado en caliente con un tratamiento de recocido intermedio adecuado hasta obtener el espesor de chapa o de fleje final deseado, lo que representa usualmente una reducción de espesor de, por lo menos 50%, y el producto recibe un tratamiento final de recocido o de producción de textura.

De vez en cuando, se informa en la literatura de métodos por medio de los cuales es posible obtener de manera constante materiales en forma de chapa de ferrosilicio de alta permeabilidad alejándose de los procedimientos convencionales de química de fusión, de normas de laminación y de condiciones de tratamiento térmico. Sin embargo, de acuerdo con la información disponible, ninguno de estos métodos ha demostrado ser totalmente satisfactorio. En algunos casos, el coste es excesivo, mientras que en otros, los residuos de los aditivos de tratamiento no pueden ser eliminados y merman las propiedades magnéticas del producto.

Se ha descubierto que es posible obtener de manera constante chapas de ferrosilicio de alta permeabilidad mediante un nuevo procedimiento, el cual desde el punto de vista económico puede ser comparado favorablemente con los procedimientos industriales actuales. Se ha comprobado que estos resultados pueden ser obtenidos por medio de variaciones respecto a la práctica general actual sin exigir la modificación de la producción convencional de la planta de fabricación de ferrosilicio o de los equipos de tratamiento y sin aumentar de manera notable los costes de mano de obra o de materias.

Para llevar a la práctica el invento, es posible emplear un baño de ferrosilicio fundido que contiene por

lo menos 0,01% de manganeso, siendo el resto de su composición química la que se emplea corrientemente, añadiéndose una cantidad de boro pequeña, aunque crítica para obtener en el metal una relación nitrógeno/boro incluida entre una y quince partes de nitrógeno por cada parte de boro, y ajustando la relación manganeso/azufre de modo que sea inferior a 2,1. Además, se ha comprobado que pueden obtenerse productos terminados dotados de propiedades magnéticas sustancialmente mejoradas, laminando en frío hasta un espesor intermedio y a continuación tratando térmicamente la chapa laminada en frío y a continuación sometiendo la chapa de ferrosilicio a una reducción fuerte mediante laminación en frío.

Además, se ha previsto utilizar selenio en lugar de una parte o de la totalidad del azufre necesario, de acuerdo con el invento. Como en el caso del azufre, la cantidad de selenio necesaria, de acuerdo con este nuevo procedimiento, puede obtenerse de varias maneras, y preferentemente se añade la cantidad de boro necesaria en la cuchara, en forma elemental o en forma de ferroselenio.

En términos generales, el invento incluye las etapas que consisten en disponer de ferrosilicio fundido que contiene 2,2 a 4,5% de silicio, manganeso y azufre en cantidades tales que la relación de manganeso/azufre sea inferior a 2,1, de 3 a 35 partes por millón de boro y entre 30 y 60 partes por millón de nitrógeno con una relación entre nitrógeno y boro de una a quince partes de nitrógeno por cada parte de boro, verter el metal fundido para formar un lingote, laminar en caliente el lingote, a continuación laminar en frío la cinta laminada en caliente resultante hasta un espesor intermedio, tratar térmicamente la chapa trabajada en frío, y a continuación someter la chapa de

ferrosilicio a una fuerte reducción mediante laminado en frío, A continuación la chapa laminada en frío se somete a un tratamiento térmico final para decarburarla y desarrollar en ella la textura de recristalización secundaria del tipo de "cubo sobre arista".

5
10
15
Preferentemente, el contenido de boro del metal a la salida del tratamiento térmico final está incluido entre cinco y 25 partes por millón, añadiéndose dicha cantidad de boro en una forma adecuada en la fase de fusión. Sin embargo, se ha previsto que la cantidad de boro estará incluida entre tres y 35 partes por millón aproximadamente, y se ha comprobado que la adición de una cantidad de boro inferior a tres partes por millón al ferrosilicio fundido no es suficiente para producir de manera constante los nuevos resultados de acuerdo con el invento, y que unas cantidades de boro superiores a 35 partes por millón exigen la presencia de nitrógeno en cantidades superiores a las que se obtienen normalmente en los procedimientos convencionales de fundición.

20
El contenido de boro del metal en la fase de fusión puede diferir notablemente de la cantidad presente en la fase de fleje laminado en caliente, particularmente cuando la adición de boro al metal fundido se hace en una fase inicial o cuando el lingote se calienta a una temperatura anormalmente elevada o durante un periodo de tiempo prolongado.

25
30
Sin embargo, se ha comprobado que la pérdida de boro es insignificante cuando la fuente de boro se añade a la cuchara y se empieza la laminación en caliente cuando el lingote alcanza la temperatura de laminado en caliente que se describirá más adelante. De este modo, es posible, gracias al procedimiento según el invento, producir un fleje laminado en caliente y una

chapa laminada en frío con un espesor final adecuado que tienen aparentemente el mismo contenido de boro, nitrógeno, manganeso y azufre que el metal fundido contenido en la cuchara a partir de la cual ha sido obtenido. De la misma manera, es posible producir una cinta y una chapa de composición química sustancialmente diferente. Sin embargo, el factor importante es la composición del fleje o de la chapa, particularmente por lo que se refiere a los cuatro elementos mencionados más arriba y a sus relaciones críticas durante la operación de laminado en frío y las fases intermedia y final de recocido de acuerdo con este procedimiento. Se entenderá en lo que sigue que el invento tiene un aspecto relacionado con el artículo obtenido y un aspecto relacionado con el método empleado, estando constituido el producto nuevo por un fleje laminado en caliente que contiene de 2,2 a 4,5% de silicio, manganeso y azufre con una relación de manganeso/azufre inferior a 2,1, una cantidad de boro incluida aproximadamente entre 3 y 35 partes por millón, y una cantidad de nitrógeno incluida aproximadamente entre 30 y 60 partes por millón, siendo la relación entre nitrógeno y boro incluida entre una y quince partes de nitrógeno por cada parte de boro.

El contenido de boro del ferrósilicio corriente es insignificante, y un análisis "húmedo" demuestra que es inferior a una parte por millón. Por tanto, por razones prácticas, en esta memoria y en las reivindicaciones adjuntas, los términos "contenido de boro" y "adición de boro" en sus varias formas tendrán el mismo significado esencial.

Las permeabilidades en la dirección de laminación de los productos típicos según el invento, (fleje de 0,279 mm-11 milésimas de pulgada-) son del orden de 1.850 a 1.920 gauss, cuando se miden en un campo magnético de 10 oersted. Las pérdidas

magnéticas de estos materiales están también incluidas en una gama muy favorable, ya que son del orden de 1,14 w/Kg a 1,32 w/Kg (0,52 a 0,60 w/libra) a 15.000 gauss y de 1,47 w/Kg a 1,69 w/Kg (0,67 a 0,77 w/libra) a 17.000 gauss (60 Hz).

5 De acuerdo con el invento, de la manera preferida, se fabrican aceros al silicio que contienen aproximadamente 0,03% de manganeso y de azufre, respectivamente y aproximadamente 0,03% de carbono, así como las cantidades usuales de impurezas accidentales, bajo la forma de flejes o chapas destinadas a ser utilizadas en equipos eléctricos en los cuales se incluyen transformadores y motores utilizando un metal fundido de composición química deseada y añadiendo a éste una fuente de boro para establecer una relación nitrógeno/boro incluida entre una y quince partes de nitrógeno por cada parte de boro. Los lingotes fundidos con este metal en fusión se calientan preferentemente a 1.204°C-1.260°C (2.200-2.300°F) y se laminan en caliente en una serie de pasadas hasta que el espesor de las chapas resultantes sea de aproximadamente 2,54 mm (100 milésimas de pulgada).

10 Después de una operación de decapado y de recocido, se laminan en frío las chapas hasta un espesor intermedio de aproximadamente 1,524 mm (60 milésimas de pulgada) y se calientan de nuevo y se laminan entonces en frío nuevamente hasta su espesor final de aproximadamente 0,279 mm (11 milésimas de pulgada). Sucesivamente, se somete la chapa laminada en frío a un tratamiento térmico de decarburación y a un recocido de recristalización ("texturización") durante el cual se elimina en gran parte, si no totalmente, el boro de la chapa o del fleje.

En una operación a escala industrial prevista para demostrar las posibilidades de este nuevo procedimiento,

30

en una operación a escala de fabricación industrial, se preparó un baño de metal fundido de 70 Tm utilizando ferrosilicio BOF. Se añadieron cinco partes por millón de boro en forma de ferroboro al metal fundido de la cuchara, el cual tenía entonces la siguiente composición:

5	Silicio	3,15%
	Cobre	0,24%
	Cromo	0,033%
	Aluminio	0,005%
10	Manganeso	0,035%
	Azufre	0,031%
	Carbono	0,030%
	Boro	0,0006%
	Nitrógeno	0,0050%
15	Hierro	El resto

Se formaron ocho lingotes con este metal fundido y cuatro de estos lingotes se calentaron hasta 1.288°C (2.350°F) para ser laminados en caliente, mientras que los otros cuatro se calentaron a 1.232°C (2.250°F). La laminación en caliente se efectuó de acuerdo con la práctica de fabricación normal, utilizando una laminadora tipo "tandem" para laminación en caliente de seis pasadas, con el objeto de obtener flejes laminados en caliente con un espesor incluido entre 2,286 y 3,302 mm (90 a 130 milésimas de pulgada). Unas muestras del fleje laminado en caliente procedente de las extremidades inferior y superior calientes de cada bobina laminada en caliente, se sometieron a una operación de decapado en una solución ácida convencional y a continuación se trataron térmicamente en hidrógeno durante aproximadamente tres minutos a 900°C . Algunas de estas muestras se laminaron en frío sin tensión directamente hasta un espesor de

aproximadamente 0,279 mm (11 milésimas de pulgada), mientras que otras se laminaron en frío sin tensión hasta un espesor de 1,524 mm (60 milésimas de pulgada) y a continuación se trataron térmicamente en hidrógeno durante tres minutos a 900°C antes de ser laminadas hasta un espesor de 0,279 mm (11 milésimas de pulgada).

Unas tiras de tipo Epstein de todos los materiales laminados en frío resultantes se decarburaron a 800°C en hidrógeno (punto de rocío de temperatura ambiente) calentándolas durante tres minutos. Las tiras que constituían el paquete de Epstein se espolvorearon ligeramente con polvo de aluminio y se apilaron y a continuación se trataron térmicamente, calentándolas a 800°C y a continuación calentándolas a razón de 50°C por hora hasta 1.050°C en nitrógeno y sucesivamente hasta 1.150°C en hidrógeno, manteniéndolas a esta temperatura durante dos horas. En las tablas I y II se reseñan las propiedades magnéticas de los paquetes de Epstein.

Como se ve en las tablas I y II, ambas extremidades de la bobina desarrollan de manera constante fuertes permeabilidades y reducidas pérdidas si se incluye en el programa de laminación en frío una fase de tratamiento térmico cuando el producto tiene el espesor de 1,524 mm (60 milésimas de pulgada). Además, se ve claramente que cuando se empieza la laminación en caliente a 1.232°C (2.250°F) es posible obtener en estos materiales propiedades magnéticas excelentes de manera mucho más constante que cuando la temperatura del lingote en el comienzo de la operación de laminación en caliente es de 55,5°C (100°F) más alta.

TABLA I

Propiedades Magnéticas del Fleje Laminado en Caliente a Partir de
1.288°C (2.350°F)

Bobina	Emplazamiento	Espesor (1) mil. de pulg.	Pérdidas w/libra (2)				
			15.0kB	16.3kB	17.0kb	μ10H	
5	Laminado en frío directamente						
	1	Extremo inferior	11,2	0,598	0,730	0,824	1774
	1	Extremo superior caliente	11.0	0,605	0,726	0,814	1794
	4	Extremo inferior	11,2	0,557	0,665	0,743	1841
10	4	Extremo superior caliente	11,2	0,588	0,708	0,795	1815
	5	Extremo inferior	11,3	0,560	0,666	0,744	1842
	5	Extremo superior caliente	11,2	0,550	0,649	0,708	1873
15	Laminado en dos etapas (espesor intermedio de 1,424 mm (60 milésimas de pulgada))						
	1	Extremo inferior	11,2	0,524	0,619	0,677	1903
	1	Extremo superior caliente	11,2	0,537	0,631	0,689	1898
	4	Extremo inferior	11,2	0,534	0,629	0,689	1890
20	4	Extremo superior caliente.	11,2	0,551	0,654	0,723	1859
	5	Extremo inferior	11,2	0,519	0,617	0,679	1886
	5	Extremo superior caliente	11,2	0,536	0,629	0,686	1890

25

(1) 1 milésima de pulgada = 0,0254 mm

(2) 1 w/libra = 1 w/0,453 Kg.

30

TABLA II

Propiedades Magnéticas del Fleje Laminado en Caliente a Partir de
1.232°C (2.250°F)

Bobina	Emplazamiento	Espesor ⁽¹⁾ mil. de pulg.	Pérdidas w/libra ⁽²⁾			$\mu 10^6$	
			15.0kB	16.3kB	17.0kB		
5	Laminado en frío directamente						
6	Extremo inferior	11,1	0,632	0,790	0,903	1738	
6	Extremo superior caliente	11,2	0,570	0,675	0,745	1850	
7	Extremo inferior	11,3	0,545	0,639	0,706	1896	
10	7	Extremo superior caliente	11,3	0,596	0,708	0,784	1830
8	Extremo inferior	11,3	0,534	0,632	0,690	1899	
8	Extremo superior caliente	11,2	0,594	0,712	0,790	1827	
15	Laminado en dos etapas (espesor intermedio de 1,424 mm (60 milésimas de pulgada)						
6	Extremo inferior	11,2	0,516	0,609	0,668	1898	
6	Extremo superior caliente	11,3	0,549	0,644	0,703	1899	
20	7	Extremo inferior	11,3	0,528	0,621	0,677	1925
7	Extremo superior caliente	11,3	0,559	0,658	0,719	1901	
8	Extremo inferior	11,3	0,527	0,626	0,683	1900	
25	8	Extremo superior caliente	11,2	0,539	0,636	0,693	1892

(1) 1 milésima de pulgada = 0,0254 mm

(2) 1 w/libra = 1 w/0,453 Kg

El invento ha sido puesto a prueba además en una serie de quince experimentos previstos para comprobar los parámetros de la composición y del tratamiento, particularmente el contenido de boro, el contenido de manganeso y de azufre, así como la relación de estos elementos, y la importancia de la reducción de espesor durante la fase final o segunda fase de la laminación en frío de un procedimiento de laminación en frío en dos etapas. Para llevar a la práctica estos experimentos, cada uno de los baños de metal fundido se preparó en un horno de inducción en el aire con atmósfera de argón utilizando hierro electrolítico con 98% de ferrosilicio para obtener un metal fundido con la siguiente composición:

	Silicio	3,1%
	Carbono	0,025%
15	Cobre	0,1%
	Cromo	0,03%
	Nitrógeno	0,0045%
	Hierro	El resto.

La preparación de estos baños y de los siguientes dió lugar a contenidos de nitrógeno de 30 a 60 partes por millón con el contenido medio indicado más arriba.

Los análisis del manganeso y del azufre, así como la cantidad de boro añadida en cada caso, se indican en la tabla III conjuntamente con las condiciones de laminación y de tratamiento térmico, así como los resultados de las mediciones de permeabilidad y de pérdidas magnéticas realizadas en cada producto terminado individual.

Se cortaron trozos de 4,445 mm (1,75 pulgadas) en lingotes de 22,679 Kg (50 libras) preparados con cada baño de metal fundido de esta serie y se calentaron, bien hasta 1.175^oC o

hasta 1.200°C para laminarlos en caliente, según se indica en la tabla III. Los trozos de lingote se laminaron en caliente hasta un espesor de 2,286 mm (90 milésimas de pulgada) en seis pasadas sin recalentamiento. Cada fleje laminado en caliente resultante se sometió a una operación de decapado y a continuación se laminó en frío hasta un espesor intermedio de 1,524 mm (60 milésimas de pulgada) o de 0,711 mm (28 milésimas de pulgada) y a continuación se trataron térmicamente durante tres minutos a 900°C en hidrógeno y finalmente se laminaron en frío hasta un espesor de 0,279 mm (11 milésimas de pulgada). El fleje con espesor nominal de 0,279 mm (11 milésimas de pulgada) tenía un espesor variable entre 0,279 y 0,287 mm (11,0 y 11,3 milésimas de pulgada) en estas operaciones.

Se decarburaron unas tiras de Epstein preparadas con cada uno de estos productos laminados en frío sometiéndolas durante tres minutos a una temperatura de 800°C en hidrógeno con punto de rocío a la temperatura ambiente. A continuación, para el recocido final, unas tiras previstas para medición de pérdidas magnéticas (3 cm x 30,5 cm) se recubrieron ligeramente con polvo de alumina y se apilaron. Se sometieron los paquetes de tiras de 0,279 mm (11 milésimas de pulgada) de espesor a una temperatura de 800°C , y a continuación se calentaron a razón de 50°C por hora hasta 1.050°C en nitrógeno y después hasta 1.150°C en hidrógeno, manteniéndolas a esta temperatura durante dos horas

TABLA III

Propiedades Magnéticas de Paquetes de Epstein de 11 Milésimas de Pulgada de Espesor, Trabajadas con Tratamiento Térmico Intermedio.

5	Tanda	Boro añadido p.p.m.	% Mn	% S	Mn/S	Tratamiento térmico en 60 mil. pulg. (1)			Tratamiento térmico en 28 mil. pulg. (1)		
						Pérdidas w/lib. 60 Hz (2)			Pérdidas w/lib. 60 Hz (2)		
						15,0kB	17,0kB	10H	15,0kB	17,0kB	10H
	1	5	0,030	0,011	2,7	1,002	-	1475	0,800	-	1588
10	2	15	0,030	0,009	3,3	0,777	-	1604	0,645	-	1702
	3	0	0,034	0,017	2,0	0,878	-	1543	0,631	0,902	1721
	4	5	0,033	0,016	2,1	0,627	-	1727	0,561	0,763	1832 ^a
	5	15	0,034	0,017	2,0	0,534	0,704	1870	0,537	0,724	1844
	6	0	0,033	0,025	1,3	1,069	-	1444	0,601	0,849	1779
15	7	5	0,036	0,025	1,4	0,548	0,709	1883	0,548	0,741	1848
	8	10	0,034	0,023	1,5	0,543	0,717	1886	0,555	0,740	1855
	9	20	0,034	0,023	1,5	0,537	0,685	1905	0,551	0,723	1860
	10	30	0,031	0,023	1,35	0,548	0,702	1888	0,585	0,776	1850
	11	40	0,031	0,022	1,4	0,622	0,910	1700	0,575	0,830	1756
20	12	0	0,032	0,033	1,0	1,054	-	1478	0,591	0,841	1772
	13	5	0,032	0,036	0,9	0,555	0,697	1916 ^z	0,560	0,725	1868 ^a
	14	10	0,033	0,033	1,0	0,555	0,711	1901	0,575	0,761	1833
	15	10	0,031	0,039	0,8	0,567	0,730	1886	-	-	-

25 - Laminada en caliente a partir de 1.175°C; todas las demás tiras laminadas en caliente a partir de 1.200°C

(1) 1 milésima de pulgada = 0,0254 mm

(2) 1 w/libra = 1 w/0,453 Kg.

Como se indica en la tabla III, las propiedades magnéticas de los productos han sido sustancialmente mejoradas por la adición de boro cuando la relación manganeso/azufre en el ferrosilicio es inferior a 2,1. Además se han obtenido elevadas permeabilidades mediante la adición de 5 a 30 partes por millón de boro, pero la adición de 40 partes por millón de boro ha dado lugar a una incompleta recristalización secundaria y a una reducción sustancial de la permeabilidad. Finalmente, se ha mejorado la permeabilidad mediante reducciones por laminación en frío finales más importantes, lo que es sorprendente teniendo en cuenta la experiencia adquirida generalmente en la práctica convencional que indica lo contrario.

Se efectuaron cuatro experimentos suplementarios en una serie de pruebas destinadas a verificar el procedimiento de reducción en frío en dos etapas comparándolo con el método de reducción en frío directo o de una sola etapa. Se efectuaron mediciones de permeabilidad y de pérdidas magnéticas en fleje de ferrosilicio terminado de 0,279 mm (11 milésimas de pulgada) y se obtuvieron los resultados indicados en la tabla IV, la cual indica también, en cada caso, el procedimiento de laminación y enumera las cantidades de boro añadidas, así como el contenido de manganeso y azufre de cada baño metálico individual de esta serie.

En cada una de estas cuatro tandas experimentales, el procedimiento desde el suministro del metal fundido en el comienzo, pasando por la operación de laminación en frío, ha sido idéntico al que se ha descrito más arriba con referencia a la serie de doce tandas, salvo que la reducción directa por laminación en frío se hizo desde 2,286 mm hasta 0,279 mm de espesor (90 milésimas de pulgada a 11 milésimas de pulgada) sin tratamiento térmico intermedio de la chapa de ferrosilicio.

TABLA IV

Comparación de las propiedades obtenidas con laminación directa en frío hasta el espesor de 11 milésimas de pulgada con las propiedades obtenidas con tratamiento térmico en espesor intermedio de 60 milésimas de pulgada ⁽¹⁾

5

Tanda	Procedimiento de laminación	Boro añadido p.p.m	% Mn	% S	Pérdidas en w/Libra (2)			
					15,0kB	17,0kB	μ10H	
16*	Directo	5	0,032	0,036	0,568	0,758	1849	
10	17*	Espesor intermedio 60 mil. pulg. (1,52 mm.)			0,555	0,697	1916	
	18	Directo	10	0,041	0,039	0,574	0,745	1855
	19	Espesor intermedio 60 mil. pulg. (1,52 mm)			0,530	0,673	1908	

15 *Laminada en caliente a partir de 1.175°C; las demás a partir de 1.200°C

(1) 1 milésima de pulgada = 0,0254 mm

(2) 1 w/libra = 1 w/0,453 Kg.

20

Según se ve en la tabla IV, el tratamiento térmico en un espesor intermedio, mejora generalmente las propiedades magnéticas del producto final, en comparación con las que se obtienen con el procedimiento directo de laminación en frío hasta el espesor final a partir del fleje laminado en caliente.

25

Además, a la vista de los resultados experimentales que anteceden, se entiende que la reducción final obtenida por laminación en frío que se realiza en la operación de laminación en frío en dos etapas según el invento, es preferentemente del orden de por lo menos 60% y más adecuadamente superior a 70

30

u 80%. Sin embargo, pueden obtenerse resultados aceptables o sa-

tisfactorios con reducciones del orden del 50% e incluso menos, siendo idénticos e incluidos dentro de los límites críticos definidos más arriba, los demás factores que influyen en el desarrollo de la textura de recristalización secundaria y de buenas propiedades magnéticas.

En experimentos de Laboratorio que ilustran la utilidad del selenio en este procedimiento, se prepararon cuatro baños de metal fundido en un horno de inducción en el aire bajo capa de argón utilizando hierro electrolítico y 98% de ferrosilicio. A cada baño de metal fundido, se añadieron 5 partes por millón de boro, y a dos baños de metal fundido se añadió 0,025% de selenio (baños B y C) mientras que a otro baño (D) se añadió 0,045% de selenio. Los análisis químicos de estos metales fundidos han sido los siguientes:

15

TABLA V

	<u>% Mn</u>	<u>% S</u>	<u>% Se</u>	<u>% Si</u>	<u>% Cr</u>	<u>% Cu</u>	<u>% C</u>
A	0,036	0,007	0	3,1	0,03	0,1	0,025
B	0,033	0,005	0,019	3,1	0,03	0,1	0,025
C	0,029	0,003	0,024	3,1	0,03	0,1	0,025
20 D	0,029	0,003	0,037	3,1	0,03	0,1	0,025

Se cortaron en los lingotes de 22,679 Kg (50 libras) resultantes unos trozos de 4,445 mm (1,75 pulgadas) y estos trozos se laminaron sin recalentamiento en seis pasadas hasta un espesor de 2,286 mm a 2,540 mm (90 a 100 milésimas de pulgada). Después de decapar el metal, se calentaron unas muestras de fleje laminado en caliente en hidrógeno durante tres minutos, se laminaron en frío hasta un espesor de 1,524 mm (60 milésimas de pulgada) se recalentaron de nuevo durante tres minutos a 900°C en hidrógeno y se laminaron en frío hasta el espesor final de 0,279 mm (11 milésimas de pulgada). Las tiras de Epstein se decarburaron

25

30

calentándolas durante tres minutos a 800°C en hidrógeno húmedo, después de los cuales se separaron con polvo de alumina y se sometieron a un recocido final. La operación de recocido final consistió en calentar a razón de 50°C por hora a partir de 800°C hasta 1.050°C en nitrógeno, y a continuación en hidrógeno a 1.175°C, manteniendo las tiras a esta temperatura durante tres horas. Se midieron las propiedades magnéticas de los paquetes de Epstein de estos materiales obteniéndose los siguientes resultados:

TABLA VI

	Espesor milésimas de pulgada	w/libra			
		15kB	16,3kB	17kB	110H
10	A 11,3	0,910	-	-	1522
	B 10,8	0,510	0,594	0,646	1912
	C 10,9	0,552	0,641	0,696	1902
15	D 10,9	0,567	0,668	0,734	1879

En un caso, durante la realización de este experimento, se añadió 0,020% de selenio al metal fundido que tenía la siguiente composición analizada:

	<u>% Mn</u>	<u>% S</u>	<u>% Se</u>	<u>% Si</u>	<u>% Cu</u>	<u>% Cr</u>	<u>% C</u>
20	0,031	0,004	0,015	3,1	0,1	0,03	0,03

Como en los otros baños de metal fundido de esta serie, se añadieron 5 partes por millón de boro al metal fundido y se efectuó el tratamiento de una muestra (X) de la manera descrita más arriba, mientras que en el caso de una segunda muestra (Y), se efectuó el tratamiento térmico intermedio a 1.000°C en lugar de a 900°C. Las características magnéticas medidas de este producto final, han sido las siguientes:

	Espesor milésimas de pulgada	w/libra		
		15 kB	17kB	110H
30	X 10,9	0,621	0,908	1710
	Y 10,8	0,547	0,702	1904

Se ve claramente que el selenio es más eficaz que el azufre cuando se compara tomando como base su peso atómico, ya que se necesita, por lo menos 0,026% de azufre con 0,030% de manganeso, pero solamente 0,017% de selenio.

5 Tal y como se utiliza aquí y en las reivindicaciones adjuntas, el término "lingote" significa y se refiere a un cuerpo obtenido mediante solidificación realizada por cualquier método de fundición de un acero fundido, preparado por cualquier método de fabricación de acero adecuado, y este término incluye
10 un lingote en forma de palanquilla obtenido por un método de fundición continuo.

Cada vez que en esta memoria y en las reivindicaciones adjuntas se mencionan cantidades, relaciones, porcentajes o proporciones, se entiende que estas cantidades están basadas sobre el peso, salvo indicación contraria.
15

En resumen, la patente de invención que se solicita deberá recaer en las siguientes:

REIVINDICACIONES

1. - Método para fabricar chapa de ferrosilicio
20 con granos orientados, que incluye las fases que consisten en preparar un fleje laminado en caliente que contiene de 2,2 a 4,5% de silicio, entre 3 y 35 partes por millón de boro, entre 30 y 60 partes por millón de nitrógeno, siendo la relación de nitrógeno/
25 boro de uno a quince partes de nitrógeno por cada parte de boro, y cantidades de manganeso y azufre con una relación de manganeso/azufre inferior a 2,1, laminar en frío el fleje laminado en caliente hasta un espesor intermedio, a continuación calentar la chapa trabajada en frío resultante, y laminar en frío y reducir la chapa hasta el espesor final deseado, y finalmente someter la
30 chapa laminada en frío a un tratamiento térmico para desarrollar

en ella una textura de recristalización secundaria del tipo (110) (001).

2. - Método según la reivindicación 1, caracterizado porque dicho fleje laminado en caliente se obtiene mediante laminación en caliente de un lingote preparado a partir de un baño de ferrosilicio fundido que contiene de 2,2 a 4,5% de silicio, una cierta cantidad de manganeso y una cierta cantidad de azufre, siendo la relación manganeso/azufre inferior a 2,1, de 3 a 35 partes por millón de boro y entre 30 y 60 partes por millón de nitrógeno, siendo la relación de nitrógeno/boro incluida entre uno a 15 partes de nitrógeno por cada parte de boro.

3. - Método según las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizado porque la fase de laminación en caliente se empieza teniendo el lingote una temperatura incluida entre 1.149 y 1.316°C (2.100 y 2.400°F).

4. - Método según las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizado porque la fase de laminación en caliente se empieza teniendo el lingote una temperatura incluida entre 1.204 y 1.260°C (2.200 y 2.300°F).

5. - Método según las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizado porque se reduce el espesor de la chapa hasta 1,424 mm (60 milésimas de pulgada) durante la primera operación de laminación en frío, y porque la segunda operación de laminación en frío produce una reducción de aproximadamente 80% del espesor de la chapa.

6.- Método según las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizado porque la fase de laminación en frío final da lugar a una reducción de espesor de la chapa de ferrosilicio de aproximadamente 60%.

7. - Método según las reivindicaciones 1 ó 2,

caracterizado porque la cantidad de manganeso está incluida entre 0,01 y 0,10% aproximadamente, y la cantidad de azufre está incluida entre 0,005 y 0,05% aproximadamente.

5 8. - Método según las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizado porque el metal contiene aproximadamente 50 partes por millón de nitrógeno, porque se añaden aproximadamente 5 partes por millón de boro al metal fundido, y porque el contenido de manganeso del metal fundido es aproximadamente de 0,035% y el contenido de azufre del metal fundido es aproximadamente de 0,030% y el lingote tiene en el comienzo de la operación de laminación en caliente una temperatura de 1.232°C (2.250°F), y se reduce el espesor de la chapa hasta 1,524 mm (60 milésimas de pulgada) durante la primera fase de laminación en frío y a continuación se normaliza la chapa en hidrógeno durante tres minutos a 900°C y después se lamina en frío hasta el espesor final de aproximadamente 15 0,279 mm (11 milésimas de pulgada).

 9. - Método según las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizado porque el contenido de manganeso del baño de ferro silicio fundido es por lo menos de 0,01%.

20 10. - Método según las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizado porque dicho metal fundido contiene azufre o selenio, o azufre más selenio en una cantidad que puede variar entre 0,005 y 0,05%, y contiene además desde 0,01 hasta 0,10% de manganeso, siendo la relación entre el manganeso y el azufre o el selenio, o entre el manganeso y el zaufre más el selenio, inferior a 2,1.

 11. - Método según la reivindicación 10, caracterizado porque el metal fundido contiene aproximadamente 0,019% de selenio, aproximadamente 0,004% de azufre y aproximadamente 30 0,033% de manganeso.

12.- Método según la reivindicación 10, caracterizado porque el metal fundido contiene de 0,015 a 0,037 % de selenio, aproximadamente 0,004 % de azufre y aproximadamente 0,03 % de manganeso.

5

13.- Se reivindica por último como objeto sobre el que ha de recaer la Patente de Invención que se solicita:
MÉTODO PARA FABRICAR CHAPA DE FERROSILICEO CON GRANOS ORIENTADOS.

10

Todo conforme queda descrito y reivindicado en la presente memoria descriptiva que consta de veintidos páginas mecanografiadas.

Madrid, 25 agosto 1.975
BERNARDO UNGRIA
P.P.

15

20

25

30