



ESPAÑA

19 ES	11 21	NUMERO <b>428,743</b>	12 A1
	22	FECHA DE PRESENTACION 23 de Julio 1974	

PATENTE DE INVENCION

30 PRIORIDADES:		
31 NUMERO	32 FECHA	33 PAIS
51587 A/73	23-7-1973	
52.607 A/73	19-9-1973	
44 FECHA DE PUBLICIDAD	51 CLASIFICACION INTERNACIONAL	62 PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
42 TITULO DE LA INVENCION "PROCEDIMIENTO PARA LA FABRICACION DE LAMINAS DE ACERO AL SILICIO CON GRANOS MONO-ORIENTADOS, DE ELEVADA INDUCCION MAGNETICA".		
71 SOLICITANTE (S) CENTRO SPERIMENTALE METALLURGICO, S.p.A. y TERNI-SOCIETA PER L'INDUSTRIA E L'ELETTRICITA, S.p.A.		
DOMICILIO DEL SOLICITANTE ROMA (Italia) Via di Castel Romano y TERNI (Italia) Viale Benedetto Brin nº 218, respectivamente.		
72 INVENTOR (S) MARIO BARISONI, MASSIMO BARTERI, EDMONDO MARIANESCHI y ROBERTO RICCI BITTI		
73 TITULAR (S)		
74 REPRESENTANTE D. JAINE GOMEZ-ACEBO Y MODET, Agente Oficial		

La presente invención se relaciona con un procedimiento para la fabricación de lámina de acero con granos orientados para aplicaciones magnéticas. De forma más precisa, el objeto de la presente invención consiste en  
5 producir lámina eléctrica mono-orientada que tiene elevados valores de flujo magnético y bajas pérdidas de inversión magnética, a partir de un material de acero al silicio que contiene también aluminio.

Es conocido que la mejora de las propiedades magnéticas viene acompañada por una reducción de la pérdida de  
10 vatiaje, así como por la posibilidad de reducir la intensidad del campo magnético necesario para producir la densidad de flujo deseada.

Igualmente, es conocido que se obtiene una mejora notable en las propiedades magnéticas de la lámina creando  
15 las condiciones químico-físicas necesarias para la formación, en la matriz metálica, de granos mono-orientados, por medio del fenómeno de recristalización secundaria, consistente en el crecimiento preferencial de granos orientados (110) (001), cuando el acero se somete a un tratamiento  
20 que comprende la combinación de una o más etapas de laminación en frío, tratamiento térmico en recocidos intermedios y por último un recocido final a elevada temperatura.

La aparición del fenómeno es dependiente de la ausencia  
25 de impurezas tales como MnS, Aln y VN, capaces de formar una fase dispersa de dimensiones adecuadas dentro de la matriz de acero. Estas sustancias ejercen su influencia

durante el recocido final del acero, ya laminado a su espesor final, causando el crecimiento selectivo de los granos con una orientación cristalina como la definida en los índices de Miller (110) (001).

5            Sorprendentemente, se ha encontrado ahora que sometiendo láminas de acero al silicio, que contienen aluminio, al procedimiento según la invención, es posible obtener lámina eléctrica con granos mono-orientados y con una calidad que es superior en relación a la obtenida por los  
10 métodos conocidos.

El proceso que constituye el objeto de la invención consiste esencialmente en someter el material de acero al silicio, que contiene aluminio, a las siguientes etapas:

- laminación en caliente después del recalentamiento;
- 15 - recocido a elevada temperatura con el fin de favorecer la solución de fases de baja solubilidad;
- templado con el fin de favorecer la precipitación en forma dispersa de las fases de baja solubilidad;
- laminación en frío:
- 20 - recristalización primaria y recocido de descarburación;
- recocido final a elevada temperatura bajo atmósfera controlada, para favorecer el crecimiento de granos orientados.

La etapa de la laminación en frío se puede variar mediante su realización en una o en dos etapas. En ambos casos  
25 las restantes etapas permanecen sin alterar. En ambas variantes, cada etapa de laminación en frío viene precedida

por un recocido y temple del material. Preferiblemente, las temperaturas y tiempos del tratamiento en una sola etapa, para un acero que contiene 2,6 a 3,5% de silicio y 0,01 a 0,05% de aluminio, son como sigue:

- 5 a) recalentamiento de la zamarra a una temperatura entre 1.370 y 1.430°C, antes de la etapa de laminación en caliente;
- b) recocido a una temperatura del orden de 1050 a 1170°C, preferiblemente 1120 a 1170°C, durante un tiempo  
10 de homogenización de 10 a 60 segundos, y enfriamiento lento a 700-900°C, preferiblemente 750-850°C;
- c) templado drástico a partir de 700-900°C, preferiblemente a partir de 750-850°C;
- d) laminación en frío con una reducción elegida dentro  
15 de la gama de 80 a 90%;
- e) recristalización y recocido de descarburación a 780-870°C durante 2 minutos;
- f) calentamiento hasta 1200°C y recocido, ambos realizados en una atmósfera compuesta esencialmente de 10-50%  
20 en volumen de hidrógeno y 50-90% en volumen de nitrógeno.

Se ha encontrado ahora que el sorprendente incremento de propiedades magnéticas de las láminas de acero al silicio mono-orientadas, tratadas según el proceso explicado anteriormente, se debe a la formación dentro del acero, como  
25 resultado del tratamiento, de al menos una fase distinta a la de nitruro de aluminio (que, sin embargo, está presente) que realza el efecto de este nitruro de aluminio.

Una confirmación de este hecho, se proporciona por el siguiente experimento: una muestra de acero al silicio, después de la laminación en caliente, se somete a recocido a 1150°C y se templea luego en aire a partir de 800°C. Esta muestra se divide en dos partes, una de las cuales, después de la laminación en frío con una reducción del 85% y tras los tratamientos finales de descarburación y recocido, muestra un valor medio de inducción magnética  $B_{10}$  de 17.200 gauss. La otra mitad de la muestra, se somete a recocido a 900°C durante 6 minutos, y a ésta temperatura no existe cambio alguno tanto en la cantidad como en la distribución del nitruro de aluminio previamente precipitado, tras lo cual se templea en agua a partir de 900°C. Después de la laminación en frío, descarburación y tratamiento de recocido idéntico al experimentado por la primera parte de la muestra, esta segunda parte muestra un valor medio de inducción magnética igual a 19.300 gauss. De este modo, resulta evidente que la mejora de las propiedades de inducción magnética no se debe a la presencia de nitruro de aluminio solo, sino también a otro fenómeno que tiene lugar durante el segundo tratamiento de templado a partir de 900°C. El estudio completo realizado con los aceros tratados según la presente invención, ha demostrado que el fenómeno responsable del incremento de las propiedades de inducción magnética, consiste en la formación de una fase de alta dureza dispersada en la matriz ferrítica. La presencia de esta fase puede determinarse fácilmente por examen al microscopio

metalográfico, por mediciones de su microdureza y de la macrodureza que imparte al acero.

El objeto de la presente invención es, por tanto, un procedimiento para proporcionar un acero al silicio que,  
5 cuando se trata de forma adecuada, muestra una cierta cantidad de una fase de elevada dureza.

La variante del procedimiento que incluye la laminación en frío en dos etapas, comprende:

- 10 - laminación en frío a un calibre intermedio con una reducción de espesor del orden del 20 al 50%, preferiblemente de 30% aproximadamente;
- recocido intermedio a una temperatura del orden de 700 a 900°C, preferiblemente 850-900°C, durante un tiempo de homogenización del orden de 1 a 10 minutos;
- 15 - templado drástico a partir de una temperatura del orden de 700 a 900°C, preferiblemente 850 a 900°C;
- etapa final de laminación en frío con una reducción del orden 80 a 90%.

Sorprendentemente, se ha encontrado que cumpliendo  
20 estrictamente con las secuencias, temperaturas y tiempos del proceso, descrito en las dos variaciones anteriores, se obtiene una formación óptima (en cuanto a cantidad y dispersión) de una fase de elevada dureza, de tal modo que se alcanzan valores muy elevados de inducción magnética. Con  
25 fines comparativos, un proceso de tratamiento bien conocido de acero al silicio, que se describirá mas adelante, proporciona las siguientes propiedades magnéticas: valor medio de

la inducción magnética  $B_{10} = 18500$  gauss con una dispersión de  $\pm 600$  gauss. Este tratamiento conocido es el siguiente:

- Un acero que tiene la siguiente composición en porcentaje en peso: C 0,05; Si 2,8; Mn 0,1; Al 0,05;  $N_2$  0,008, Fe resto, se funde y se somete luego al siguiente proceso:
- laminación en caliente a una banda de 3,1 mm de espesor;
  - recocido a 1160°C durante 40 segundos;
  - enfriamiento lento a 950°C;
  - templado en agua a partir de 950°C;
  - 10 - laminación en frío a un calibre intermedio con una reducción de espesor del 30%;
  - recocido a 950°C durante 3 minutos;
  - templado drástico en agua a partir de 950°C;
  - etapa final de laminación en frío, con una reducción de
  - 15 espesor de 85%;
  - recocido a 800°C durante 2 minutos en una atmósfera reductora que contiene hidrógeno húmedo;
  - recocido final durante 36 horas en una atmósfera que contiene 80% de nitrógeno y 20% de hidrógeno.

20 Con fines simplemente ilustrativos y no limitativos, se describen a continuación algunos ejemplos de puesta en práctica de la invención.

#### EJEMPLO 1

Un acero que tiene la siguiente composición en porcentaje en peso; C 0,05; Si 2,7; Mn 0,1; Al 0,05;  $N_2$  0,008; V, Ti 0,005 max; fe resto, se cuela a continuación y se somete luego al proceso según la invención consisten:

- laminación en caliente a una banda de 2,3 mm de espesor;
- recocido a 1160°C durante 30 segundos;
- templado en agua a partir de 800°C, para que llegue a la temperatura ambiente en 10 segundos;
- 5 - laminación en frío con una reducción de espesor del 87%;
- recocido y descarburación en hidrógeno a 800°C durante 2 minutos;
- recocido final en una atmósfera que contiene 80% en volumen de nitrógeno y 20% de hidrógeno con una velocidad de calentamiento de 33°C/hora.
- 10

La lámina así obtenida muestra un valor de inducción magnética  $B_{10}$  igual a 19.200 gauss (con una dispersión de  $\pm 300$  gauss.)

#### EJEMPLO 2

- 15 Un acero que tiene la siguiente composición en porcentaje en peso; C 0,05; Si 2,6; Mn 0,1; Al 0,05;  $N_2$  0,008; Fe resto, se cuela y somete al siguiente proceso:
- laminación en caliente a una banda de 3,1 mm de espesor;
- recocido a 1150°C durante 15 segundos;
- 20 - enfriamiento lento a 800°C;
- templado drástico en agua a partir de 800°C;
- laminación en frío a un calibre intermedio con una reducción de espesor del 30%;
- recocido a 850°C durante 6 minutos;
- 25 - templado drástico en agua a partir de 850°C;
- etapa final de laminación en frío con una reducción de espesor del 87%;

- recocido a 800°C en una atmosfera reductora que contiene hidrógeno húmedo durante 2 minutos;
- recocido final en una atmosfera que contiene 80% en volumen de nitrógeno y 20% de hidrógeno con una velocidad de calentamiento de 33°C/hora.

La lámina así obtenida muestra un valor de  $B_{10}$  de 19.530 gauss, con una dispersión de  $\pm 300$  gauss.

### EJEMPLO 3

- Una lámina de la misma composición de la indicada en el ejemplo 2, se cuela continuamente y se somete entonces al siguiente proceso:
- laminación en caliente a una banda de 3,15 mm de espesor;
  - recocido a 1150°C durante 30 segundos;
  - templado en agua a partir de 850°C a temperatura ambiente en 10 segundos;
  - laminación en frío a un calibre intermedio con una reducción de espesor del 30%;
  - recocido a 900°C durante 6 minutos;
  - templado drástico en agua a partir de 900°C;
  - etapa final de laminación en frío con una reducción de espesor del 87%;
  - recocido y descarburación en hidrógeno a 800°C durante 2 minutos;
  - recocido final a 1200°C en una atmosfera que contiene 80% en volumen de nitrógeno y 20% de hidrógeno con una velocidad de calentamiento de 33°C/hora.

La lámina así obtenida muestra un valor de inducción

magnética  $B_{10}$  igual a 19.300 gauss.

EJEMPLO 4

Un acero que tiene la siguiente composición en porcentaje en peso: C 0,04; Si 2,9; Mn 0,08; Al 0,04;

5  $N_2$  0,0075; Fe resto, se cuela y se somete al siguiente proceso:

- laminación en caliente a una banda de 3,1 mm de espesor;
- recocido a 1140°C durante 10 segundos;
- enfriamiento lento a 850°C;

10 - templado drástico en agua a partir de 850°C;

- laminación en frío con una reducción de espesor del 87%;
- recocido y descarburación en hidrógeno húmedo durante 2 minutos;

- recocido final a 1200°C en una atmósfera que contiene 80%  
15 en volumen de nitrógeno y 20% de hidrógeno con una velocidad de calentamiento de 33°C.

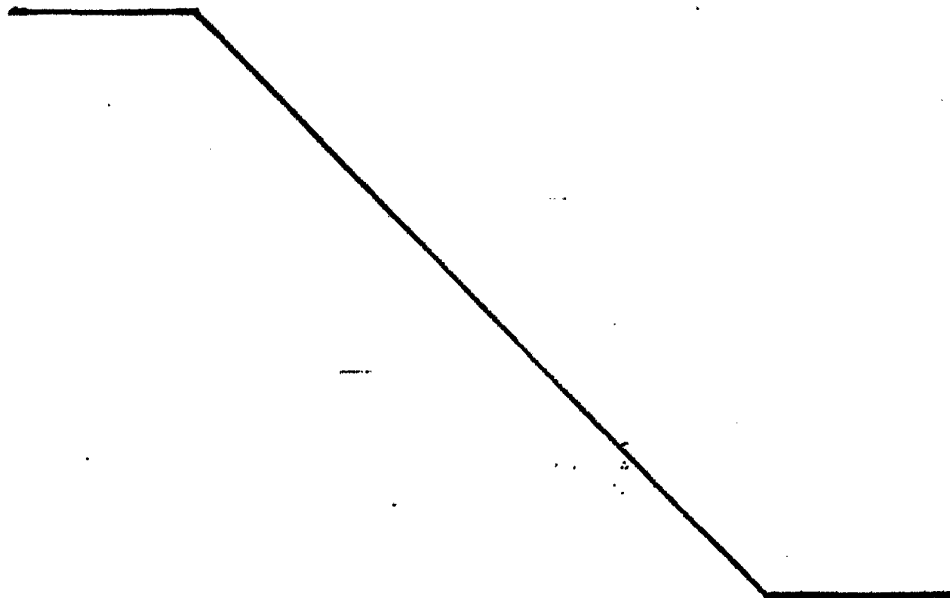
La lámina así obtenida muestra un valor  $B_{10}$  igual a 19.270 gauss, con una dispersión de  $\pm$  300 gauss.

El procedimiento de la presente invención causa  
20 la formación, en la lámina, de una fase de elevada dureza que tiene una microdureza de como mínimo 600 HV y que equivale como mínimo al 5-30% en volumen de la lámina. Consecuentemente, la macrodureza de la lámina tiene un valor medio de por lo menos 230 HV, mientras que la macrodureza de  
25 láminas de acero comparables obtenidas por tratamientos conocidos, es de un valor medio aproximado de 200HV, debido a que no se induce en las mismas ninguna fase de elevada

dureza.

N O T A

Descrita suficientemente la naturaleza del invento así como la manera de realizarlo en la práctica, debe hacerse constar que las disposiciones anteriormente indicadas, son susceptibles de modificaciones de detalle en cuanto no alteren su principio fundamental; también se hace constar que el invento corresponde a solicitudes de patentes, presentadas en Italia, bajo los números 515587 A/73 de 23 de Julio de 1.973 y 52607 de 19 de Septiembre de 1973, acogiéndose por lo tanto a los beneficios que conceden los Convenios Internacionales en vigor, siendo lo que constituye la esencia del referido invento y por lo que se solicita Patente de Invención por 20 años en España sobre: PROCEDIMIENTO PARA LA FABRICACION DE LAMINAS DE ACERO AL SILICIO CON GRANOS MONO-ORIENTADOS, DE ELEVADA INDUCCION MAGNETICA; caracterizándose por lo siguiente:



### REIVINDICACIONES

1ª.- Procedimiento para la fabricación de láminas de acero al silicio con granos mono-orientados, de elevada inducción magnética, caracterizado porque el acero al silicio, que contiene 2,5-3,5 % de Si, 0,01-0,05 % de Al y una cantidad igual o menor del 0,06 % de C, se somete a una serie de operaciones encaminadas a la formación en la lámina de una fase de elevada dureza, en una magnitud comprendida entre el 5 y el 30 % en volúmen, siendo dicha serie de operaciones la siguiente:

- a) laminado en caliente desde una temperatura comprendida entre 1.370 y 1.430° C;
- b) recocido a una temperatura seleccionada entre 1.050 y 1.170° C, durante un tiempo entre 10 y 60 segundos;
- c) enfriamiento lento a una temperatura comprendida entre 700 y 900° C;
- d) templado drástico en agua a partir de una temperatura escogida entre los 700 y 900° C;
- e) laminado en frío con una reducción de grosor entre el 80 y 90%;
- f) recocidos de recristalización y de descarburación a una temperatura comprendida entre los 780 y los 870° C; durante dos minutos;
- g) recocido final a 1.200 °C en una atmósfera que contiene esencialmente una mezcla de nitrógeno o hidrógeno.

2ª.- Procedimiento según la reivindicación 1ª, caracterizado porque el recocido de descarburación a una tempe-

