

345093

PATENTE DE INVENCION

Your Case 1057.



*Memoria Descriptiva*

*sobre:*

"Procedimiento para producir hierro al silicio"

==.==.==.==.==.==.==.==

*Solicitante:* ARMCO STEEL CORPORATION, entidad norteamericana, residente en 703 Curtis Street, Middletown, Ohio, EE.UU. de A.

==.==.==.==.==.==.==.==

Este invento se refiere a un procedimiento para producir chapa o banda de hierro al silicio de grano orientado para fines magnéticos. La orientación del grano a la que este invento se refiere es aquella en la que

5. los cubos concentrados en la masa que componen los granos

345093



- o cristales se hallan orientados en una posición de cubo en arista, denominada  $(110) \sqrt{001}$  de acuerdo con los índices de Miller. Más específicamente, este invento se refiere a un procedimiento perfeccionado y económico para producir hierro al silicio de grano orientado, caracterizado porque se reduce el grado de temperatura al que se calienta el hierro al silicio antes de su laminación en caliente manteniendo el contenido de oxígeno del hierro al silicio por debajo de un límite crítico inferior.
- 5.
- 10.

- Según es bien sabido, los hierros al silicio que tienen la orientación  $(110) \sqrt{001}$  se caracterizan por poseer una permeabilidad relativamente elevada en la dirección de laminación y una permeabilidad relativamente baja en una dirección en ángulo recto a la anterior. Un producto comercial de esta naturaleza se ha empleado con éxito durante muchos años para la manufactura de laminados o núcleos de transformadores, generadores y otros aparatos semejantes, a causa de su baja pérdida de núcleo y elevada permeabilidad en la dirección de laminación.
- 15.
- 20.

- La mayor parte de las chapas de hierro al silicio orientado en cubo en arista se fabrica actualmente sometiendo a las materias primas a una pluralidad de operaciones que comprenden la fusión del material, afino, fundición en lingotes o zamarras y laminación en caliente de los mismos formando bandas calientes de un grosos normalmente inferior a 2,5 mm. Después de las operaciones de recocido y decapado, el material se lamina en frío en una o más operaciones con recocido inter
- 25.
- 30.

345093



medio, se somete a una operación de descarburización y finalmente se recuece a una temperatura lo suficientemente elevada para producir una recristalización secundaria. La recristalización secundaria ha sido del tipo de energía intercrystalina.

5. Según se indicó anteriormente, en la práctica actual la operación de laminación en caliente se realiza con una zamarra o directamente con un lingote. En el primer caso se funde un lingote. El lingote se mantiene a temperatura elevada de unos  $1.204^{\circ}$  a unos  $1.260^{\circ}$  C durante varias horas con el fin de igualar la temperatura del lingote y evitar los problemas producidos por un enfriamiento diferencial en el lingote. Entonces se lamina el lingote formando una zamarra, generalmente de unos 150 mm de grueso y se deja enfriar lentamente.
10. Antes de la operación de laminación en caliente, se vuelve a calentar la zamarra a unos  $1.371-1.398^{\circ}$  C.
15. Cuando se realiza una laminación en caliente partiendo directamente de un lingote, se suele fundir el lingote y mantenerlo a unos  $1.343^{\circ}$  C antes de realizar la operación de laminación en caliente.
20. La temperatura a la que la zamarra se vuelve a calentar o a la que se calienta un lingote antes de la operación de laminación en caliente ha sido el tema al que han dedicado muchos estudios los expertos en la materia. Goss mantenía que el lingote se debería calentar a unos  $1.093^{\circ}$  C o más y que la zamarra reducida debería calentarse a unos  $1.093^{\circ}$  C. Aunque el hierro al silicio puede laminarse a una temperatura de tan solo  $1.093^{\circ}$  C,
25. el producto final no muestra buenas cualidades magnéti-
- 30.



345093

15 SEP 1957

cas.

- Otro procedimiento nos enseña que se pueden obtener permeabilidades superiores en el hierro al silicio mediante laminación en caliente a partir de una temperatura inicial elevada. Se descubrió que las propiedades magnéticas del hierro al silicio en un 3% nominal mejorarían mucho si el lingote o zamarra recalentada se mantenían a temperaturas de unos 1.260°C y hasta unos 1.399°C (o la temperatura más elevada posible sin calcinarse) antes de la operación de laminación en caliente. Según se ha indicado, la Industria ha adoptado universalmente esta enseñanza. Tales temperaturas extremadamente elevadas, no obstante, tienen ciertas desventajas graves que la industria ha intentado salvar durante muchos años. Resulta difícil trabajar con temperaturas tan elevadas y uno de los principales problemas es la eliminación de escoria que se forma sobre las zamarras o lingotes cuando se calientan a más de 1.315°C. Esta escoria comprende óxido líquido formado por la oxidación de la superficie de la zamarra. La acumulación de esta escoria estorba eventualmente el funcionamiento del horno de calentamiento de la zamarra o lingote y es necesario que el horno deje de funcionar con el fin de eliminar la escoria. Debido a que el tren de laminación en caliente depende de un suministro regular de zamarras o lingotes, la producción del tren de laminación se ve gravemente perjudicada cada vez que se ha de parar un horno para reparación. De echo, se ve afectada la producción de toda la instalación de elaboración de acero. Además de las costosas detenciones de-
- 5.
  - 10.
  - 15.
  - 20.
  - 25.
  - 30.



345093

15 SEP 1957

- bidas a la acumulación de escoria, tales temperaturas elevadas exigen costos más elevados de calentamiento y un equipo calentador más costoso. Las elevadas temperaturas y el efecto corrosivo de la escoria reducen grandemente la duración del material refractario del horno.
5. A pesar de ello, se han considerado inevitables todas estas desventajas y se ha considerado necesario el gasto que llevan consigo con el fin de producir hierro al silicio de calidad superior.
10. Se ha sugerido que empleando otro procedimiento anterior a este invento se podría eliminar el problema calentando las zamarras a temperaturas comprendidas dentro de los estrechos límites de  $1.218^{\circ}$  a  $1.246^{\circ}\text{C}$  por un mínimo de ocho horas. No obstante, este método no se ha adoptado en la industria y el material que se produce no se caracteriza por sus buenas cualidades magnéticas.
15. A pesar de que todo el trabajo representado por los métodos mencionados anteriores al invento se interesaba por los denominados límites críticos dentro de la amplia escala general de temperaturas de calentamiento de zamarras para aleaciones de hierro al silicio producidas a escala industrial que contenían los elementos normales, ninguno de ellos dependía del contenido de oxígeno, ni se relacionaba con el mismo, cuyo contenido normalmente excedía del 0,005% y con frecuencia era de hasta un 0,010%.
20. Por lo expuesto anteriormente se puede ver que existen diferentes enseñanzas, a menudo contradictorias, en cuanto a lo que son las temperaturas más deseables se refiere para las operaciones de calentamiento de lingotes
- 25.
- 30.

345093



18 SEP 1967

5. y zamarras en la producción de hierro al silicio de grano orientado. El presente invento tiene por consiguiente por objeto principal proporcionar un procedimiento para producir hierro al silicio con orientación de cubo en arista, mediante cuyo empleo la temperatura de la zamarra o lingote antes de la operación de laminación en caliente pasa a un plano carente de importancia en lo relativo a la calidad del producto final.

10. Otro objeto principal del invento es proporcionar un método más económico para la manufactura de hierro al silicio de cubo en arista, mediante cuyo empleo se consiguen ahorros en la elaboración del material y los aparatos o equipo empleados para su manufactura se ven sometidos a condiciones de trabajo menos severas.

15. El presente invento tiene también como finalidad proporcionar el citado procedimiento sin sacrificar las altas normas del hierro respecto a sus propiedades magnéticas en el producto final exigidas actualmente por la industria.

20. Otro objeto del invento es proporcionar dicho procedimiento que es caracterizado por su mejor rendimiento mediante el uso de una combinación de etapas de elaboración que asegura unas propiedades magnéticas consistentemente excelentes en el producto final.

25. Otra finalidad del invento es definir la composición del hierro al silicio dentro de unos límites que permitan el control de su estructura metalúrgica en cada etapa del proceso de elaboración.

30. Estos y otros objetos del invento que se expondrán más adelante o se harán evidentes al experto en la

345093



materia al estudiar esta descripción se consiguen con los procedimientos y en los productos de los que a continuación se describen algunas modalidades a título de ejemplo.

5. Según el presente invento, se ha descubierto que es el nivel de oxígeno del hierro al silicio, así como los niveles de manganeso y azufre, los que determinan la temperatura óptima de calentamiento de lingotes o zamarras.
10. En la producción de hierro al silicio de orientación de cubo en arista existen dos requisitos básicos. Primero: la estructura del grano y orientación adecuadas deben alcanzarse después de la etapa de descarburización en el calibre final del producto. Segundo: se debe proporcionar un inhibidor del desarrollo normal del grano con el fin de promover el desarrollo secundario de la estructura de recristalización primaria, descarburizada, durante el recocido final a elevada temperatura. A pesar de que se puede emplear una pluralidad de inhibidores, como es el selenuro de manganeso, para los fines ilustrativos del presente invento la descripción se hará en términos de sulfuro de manganeso como inhibidor.
15. Es bien sabido que cuando se dispersa bien en forma de precipitados submicroscópicos en el hierro al silicio el sulfuro de manganeso, en la cantidad que se forma disponiendo el contenido de manganeso y azufre dentro de los límites que se darán más adelante, estos precipitados inhibirán el desarrollo de grano primario siguiente a la recristalización después de la laminación en frío. Así, durante el recocido final del material, los
20. Es bien sabido que cuando se dispersa bien en forma de precipitados submicroscópicos en el hierro al silicio el sulfuro de manganeso, en la cantidad que se forma disponiendo el contenido de manganeso y azufre dentro de los límites que se darán más adelante, estos precipitados inhibirán el desarrollo de grano primario siguiente a la recristalización después de la laminación en frío. Así, durante el recocido final del material, los
25. Es bien sabido que cuando se dispersa bien en forma de precipitados submicroscópicos en el hierro al silicio el sulfuro de manganeso, en la cantidad que se forma disponiendo el contenido de manganeso y azufre dentro de los límites que se darán más adelante, estos precipitados inhibirán el desarrollo de grano primario siguiente a la recristalización después de la laminación en frío. Así, durante el recocido final del material, los
30. Es bien sabido que cuando se dispersa bien en forma de precipitados submicroscópicos en el hierro al silicio el sulfuro de manganeso, en la cantidad que se forma disponiendo el contenido de manganeso y azufre dentro de los límites que se darán más adelante, estos precipitados inhibirán el desarrollo de grano primario siguiente a la recristalización después de la laminación en frío. Así, durante el recocido final del material, los



- 8 -

345093

15 SEP 1953

granos secundarios que comienzan a desarrollarse a una temperatura de unos  $926,6^{\circ}\text{C}$  inundarán a los granos primarios produciendo la deseada orientación de cubo en arista.

5. Se ha descubierto que cuando el contenido de oxígeno del hierro al silicio se mantiene dentro de los límites indicados a continuación, se obtiene un mejor comportamiento del inhibidor de sulfuro de manganeso y no es necesario que la zamarra o el lingote alcancen temperaturas muy elevadas. De hecho, se pueden emplear temperaturas en la zamarra o en el lingote inferiores a las que se creía necesarias para que la mayor parte del sulfuro de manganeso entrara en solución. No se comprende plenamente la razón que motiva esto. A pesar de
10. no querer quedar limitados por teoría algunas, creemos que el hierro al silicio del presente invento, con un contenido bajo de oxígeno como el indicado a continuación, puede dar por naturaleza una más fina dispersión de la fase de sulfuro debido a la ausencia de lugares de nucleación del óxido.
15. 20.

- En la práctica del presente invento, la composición del hierro al silicio es un factor crítico. La cantidad de oxígeno no deberá exceder de 0,0045% y preferiblemente no debiera ser superior al 0,0030%. El contenido de manganeso deberá hallarse comprendido entre un 0,03% y un 0,08%, preferiblemente entre un 0,045% y un 0,065%. El límite inferior está determinado por la cantidad de manganeso necesaria para formar una cantidad suficiente de sulfuro de manganeso que actúe como inhibidor del desarrollo de grano. El límite superior está determinado
25. 30.



345093 15 SEP 1967

- por la solubilidad del sulfuro de manganeso antes de la laminación en caliente, haciendo la cantidad superior de manganeso que el sulfuro sea menos soluble. Asimismo, el contenido más elevado de manganeso hace que las adiciones de azufre en el hierro al silicio en etapas ulteriores del proceso de elaboración sean menos efectivas. El azufre inicial deberá hallarse presente en una cantidad de un 0,015% a un 0,030%, aproximadamente, preferiblemente de un 0,020% a un 0,025%, aproximadamente. Se puede
5. sustituir el azufre por selenio en aproximadamente las mismas proporciones. El contenido inicial de carbono de
10. berá ser de un 0,015% a un 0,035% aproximadamente, preferiblemente de un 0,020% a un 0,030%, aproximadamente. El contenido de silicio puede ser del 1,8% al 4% o mayor,
15. siendo el límite inferior el mínimo de silicio que evita un cambio de fase a hierro gamma al calentarlo, mientras que el límite superior depende de la capacidad que tenga el material a ser laminado sin rotura. El contenido de
20. nitrógeno no deberá exceder de aproximadamente un 0,007% y, preferiblemente, no deberá exceder de un 0,004%, aproximadamente. No deberá haber presente más de un 0,008% de aluminio en total, aproximadamente. Es preferible que la parte de aluminio presente en la forma de ácido soluble constituya menos del 0,002%.
25. Para obtener el contenido crítico de oxígeno del presente invento, se puede emplear cualquier proceso de afinado bajo en oxígeno, incluyendo las técnicas de vacío. Un procedimiento, que tiene la ventaja de ser compatible con el uso de aparatos existentes como son los hornos de
30. solera abierta u hornos eléctricos, comprende la adición



15 SEP 1967

345093

- en una primera colada de suficiente silicio que se combine con oxígeno y deje un exceso de silicio en estado aleado, transfiriendo el metal ferroso fundido a una segunda colada, añadiendo suficiente silicio para
5. dejar el contenido del mismo en el nivel final deseado, añadiendo aluminio y manteniendo la fusión en la segunda colada durante un periodo suficiente para dejar que las inclusiones floten en el metal ferroso. Este procedimiento de doble colada es capaz de eliminar
10. oxígeno a un nivel de unas diez partes por millón o 0,001%.

- El hierro al silicio con la composición de fundido arriba indicada puede fundirse convenientemente en lingotes o se puede fundir de una forma continua en lingotes-zamarras, En adelante, el empleo del
15. término "zamarras" y "longotes" comprende el hierro al silicio que se haya fundido de una forma continua.

- Antes de la etapa de laminación para formar bandas en caliente, se calentará el hierro al silicio
20. tanto si se halla en forma de lingote (cuando se emplea laminación directa en bandas) o en forma de zamarras (cuando se lleva a la práctica una operación de recalentamiento). Según el presente invento, las zamarras o lingotes se calientan a temperaturas comprendidas entre la menor temperatura a la que se puedan
25. trabajar los lingotes o zamarras y la temperatura más elevada en la que no se forme una cantidad apreciable de escoria. Normalmente, las zamarras se mantendrán a la temperatura de elaboración para laminación
30. por espacio de menos de una hora, mientras que los lin-

345093



SEP 23

gotas se tendrán a su temperatura por espacio de varias horas.

5. A pesar de que las zamarras y lingotes se han trabajado a escala de laboratorio a temperaturas de tan solo  $982^{\circ}\text{C}$ , se ha averiguado que la temperatura menor que resulta práctica en condiciones de producción a escala industrial es de aproximadamente  $1.149^{\circ}\text{C}$ .

10. La temperatura más elevada a la que no se forma una cantidad apreciable de escoria depende de un cierto número de factores. Estos factores incluyen el tiempo y temperatura, atmósfera, tipo de llama y otros. No obstante, se ha determinado que se puede evitar las desventajas arriba descritas que lleva consigo el calentar las zamarras y lingotes a una temperatura elevada antes de laminar en banda, si la temperatura de la zamarra o del lingote no excede de  $1.315,5^{\circ}\text{C}$ .

15. Los lingotes calientes o las zamarras se laminan en caliente rápidamente al grosor deseado de banda. En la práctica del presente invento, no se considera que la temperatura a la que se lleva a cabo la laminación en caliente sea en sí un factor crítico. Es preferible que la temperatura de acabado sea superior a  $899^{\circ}\text{C}$ . Igualmente, la temperatura de laminación en banda se ha visto que no resulta ser extremadamente crítica. Una temperatura de aproximadamente  $649^{\circ}\text{C}$  es normal.

20. Las etapas del proceso de elaboración después de la laminación en caliente son las tra-

30.



34509315 SEP 1953

- dicionales. La banda caliente puede recocerse antes de laminarse en frío con el fin de mejorar la estructura. Si se emplea un recocido inicial, la temperatura puede variar de unos  $899^{\circ}$  a unos  $1.093^{\circ}\text{C}$ , siendo la preferente de  $982^{\circ}\text{C}$ , por espacio de hasta unos cuatro minutos a dichas temperaturas.
- 5.

- El hierro al silicio con un grosor final de aproximadamente 0,30 mm se suele laminar en frío en dos etapas con un recocido al descubierto intermedio que puede realizarse dentro de los amplios límites de temperatura de unos  $843^{\circ}$  a unos  $1.010^{\circ}\text{C}$ . La cantidad de reducción en frío en cada etapa dependerá con mucho del grosor final que se desee obtener. A pesar de que el grosor final no constituye una limitación del presente invento, las enseñanzas expuestas en esta memoria resultan particularmente aplicables a la producción de hierro al silicio orientado con un grosor final de 0,35 mm o menos.
- 10.
- 15.

- El hierro al silicio se descarburizará a un valor de 0,003% o menos durante uno o más de los recocidos. Esto puede realizarse en una atmósfera que puede ser de hidrógeno húmedo.
- 20.

- Después de la descarburización, la banda se suele recubrir con un separador de recocido y recocerse en caja por espacio de ocho horas por lo menos a una temperatura mínima de  $1.093^{\circ}\text{C}$ . Se emplean temperaturas más elevadas y periodos más prolongados de tiempo a las temperaturas correspondientes cuando se haya de eliminar azufre u otras impurezas indeseables.
- 25.
30. El contenido de azufre se reducirá a menos del 0,002%

345093



durante el recocido final.

- Se pueden realizar varias modificaciones en las etapas de elaboración siguientes a la laminación en caliente sin destruir los efectos beneficiosos impartidos por la composición particular del hierro al silicio y especialmente su contenido de oxígeno. Por consiguiente, se comprenderá que la elaboración del material después de la etapa de laminación en caliente se ha descrito a título de ejemplo y no constituye limitación alguna impuesta al invento.
- 5.
- 10.

- Cuando el contenido de oxígeno del hierro al silicio, que puede hallarse comprendido entre tan solo vestigios a un 0,0045%, se halle en la parte superior de estos límites, y particularmente cuando ese contenido es superior al 0,0030%, puede ser conveniente calentar los lingotes o zamarras a una temperatura comprendida en la parte superior de la escala indicada anteriormente, v.g., a una temperatura de unos 1.260° a unos 1.315,5° C.
- 15.
- 20.

- Una característica del presente invento es que el hierro al silicio en chapa puede tratarse en su calibre final e inmediatamente antes de la parte de desarrollo de grano primario o durante ese desarrollo del recocido final, con azufre, selenio u otros compuestos procedentes de fuentes externas. Es preferible el empleo de azufre por razones económicas. Por ejemplo, se puede añadir azufre o compuestos portadores de azufre al separador de recocido en el recocido final. Como variante, la atmósfera de
- 25.
- 30.



345093<sup>15</sup> SEP 1967

- recocido del recocido final puede cargarse con un compuesto de azufre gaseoso siempre y cuando la at mósfera se halle en contacto con las superficies del hierro al silicio. En otra variante, se puede
5. hacer que haya disponible azufre o compuestos portadores de azufre en las superficies del material laminar durante un recocido de descarburización anterior al recocido final, v.g. Formando una fina ca pa superficial de sulfuro de hierro sobre el material laminar.
- 10.
- La práctica del presente invento exige que la fusión sea precisa y que el análisis químico sea exacto. A pesar de que el grado de exactitud de fusión y de análisis químico en la elaboración a esca-
15. la industrial aumenta rápidamente, no siempre es posible conseguir el grado de precisión a escala industrial que el que se puede conseguir en laboratorio. Se ha descubierto que en algunos casos la adición de azufre de una fuente externa servirá para asegurar
20. que el hierro al silicio del presente invento, cuando se calienta dentro de los límites indicados de tem peratura antes de la laminación en caliente, producirá un material con excelentes propiedades magnéticas. Por ejemplo, cuando el contenido de oxígeno del hierro al silicio se halla comprendido en la parte superior de los límites indicados, la adición de azufre pro
25. cedente de fuente externa dará por resultado un producto excelente aún a una temperatura de calentamiento de la zamarra o del lingote de unos 1.149<sup>o</sup>C.
30. Como ejemplo, no restrictivo, un hierro al



345093<sup>15</sup> SEP 1937

- silicio de la composición indicada anteriormente en forma de zamarras o lingotes puede calentarse a una temperatura comprendida entre  $1.149^{\circ}$  y  $1.315,5^{\circ}\text{C}$  y laminarse rápidamente al grosor deseado de banda.
5. Si se emplea recocido inicial, la temperatura puede variar entre  $899^{\circ}$  y  $1.093^{\circ}\text{C}$  por espacio de hasta cuatro minutos a dicha temperatura. Cuando se desea obtener un producto final de 0,30 mm de grosor, el hierro al silicio se laminará en frío en una primera
10. etapa a un grosor intermedio de 0,76 mm. Es la laminación irá seguida de un recocido intermedio a unos  $926,6^{\circ}\text{C}$  y de una segunda etapa de laminación en frío al calibre final. Entonces se puede descarburizar el material según se ha descrito anteriormente. Se puede añadir azufre procedente de una fuente exterior según cualquiera de los modos indicados y en la cantidad indicada en las solicitudes pendientes de Kohler arriba mencionadas y se someterá al material a un recocido final en caja a una temperatura mínima de
20.  $1.093^{\circ}\text{C}$  por espacio de ocho horas por lo menos. Una vez más, respecto al recocido final, se emplearán temperaturas más elevadas y tiempos más prolongados a esas temperaturas si fuera necesario eliminar azufre u otras impurezas indeseables.
25. La adición de azufre procedente de una fuente externa en el procedimiento del presente invento servirá también para asegurar un producto de excelentes cualidades magnéticas cuando se emplee una laminación en frío de una sola etapa. El procedimiento
30. será prácticamente el mismo que el acabado de descri-

-16-  
345093



bir a excepción de que el calibre final deseado se alcanza mediante una sola etapa de laminación en frío.

EJEMPLO I

5. Se eligieron tres zamarras (que se denominarán en adelante A, B y C) de unos 152 mm de grosor de un hierro al silicio que se había fundido en horno de solera abierta empleando el método anteriormente mencionado de Boni y Heck para obtener un
10. bajo contenido de oxígeno. El análisis del material en condición de laminado en caliente era: 3,09% de silicio, 0,055% de manganeso, 0,022% de azufre, 0,020% de carbono, 0,003% de fósforo, 0,006% de aluminio y 0,0020% de oxígeno.
15. Las zamarras A, B y C se calentaron a 1,399°C, 1.315,5°C y 1.149°C respectivamente y se laminaron en caliente de forma que tuvieran una temperatura de unos 954°C inmediatamente después de la última reducción. La temperatura de enrollamiento
20. para estas tres zamarras, que se reguló mediante la cantidad de agua rociada sobre la banda era de unos 649°C y el grosor de la banda en caliente era de aproximadamente 2,03 mm. Las bandas laminadas en caliente se recocieron a 982°C.
25. Las bandas laminadas en caliente se laminaron después en frío a un grosor de 0,76 mm, se recocieron en horno a 926,6°C, se laminaron en frío a 0,30 mm, se recubrieron con magnesia que contenía un 2% de azufre, y se recocieron en caja a 1.204,4°C
30. durante 24 horas. Las propiedades magnéticas de las



345093 15 SEP 1967

muestras del material final, después de aplicar el aislamiento, tomadas de la parte delantera, media y posterior de cada rollo y los términos medios de las mismas se exponen en la Tabla I. Las permeabilidades se midieron a una fuerza magnética de diez oerstedios y las pérdidas de núcleo en watios por libra a quince y diecisiete kilogaussios a una frecuencia de sesenta ciclos por segundo.

T A B L A I

10.

<u>Número de zamarra</u>	<u>Temperatura de la zamarra</u>	<u>Permeabilidad</u>	<u>Pérdida de Núcleo</u>	
			<u>Pl5;133W/Kg</u>	<u>Pl7;133W/Kg</u>
A	1399°C	1831	1,27	1,78
B	1315°C	1833	1,25	1,76
C	1149°C	1823	1,22	1,74

15.

Por la tabla anterior se puede ver que las propiedades magnéticas del material laminado en caliente a temperaturas ampliamente diferentes son sorprendentemente comprables. Mientras que la permeabilidad del material de los 1.149°C. es prácticamente la misma, las pérdidas correspondientes de núcleo son ligeramente mejores que las del material laminado a temperaturas superiores. Se puede decir que un hierro al silicio con una composición inicial dentro de los límites arriba descritos y particularmente con un contenido muy bajo de oxígeno, ha hecho que la temperatura de la zamarra carezca de importancia en cuanto a la calidad del producto. Naturalmente, desde el punto de vista de costo es mejor normalmente el empleo de la temperatura

20.

25.

30.

inferior en consonancia con las prácticas de laminación. Por ejemplo, cuando se calientan zamarras de hierro al silicio con zamarras de acero al carbono o de acero inoxidable, resultaría más práctico calentar las zamarras de hierro al silicio a la temperatura impuesta por los otros materiales.

5.

EJEMPLO II

Se calentó una zamarra de 152 mm de grosor de cada una de cinco coladas de hierro al silicio que contenían aproximadamente un 3,1% de silicio, a una temperatura de 1.149°C y se laminaron en caliente en bandas de 1,93 mm de grosor. Se recocieron inicialmente muestras adyacentes tomadas de los centros de las bandas laminadas en caliente, en laboratorio a 912,7°C y 982,2°C por espacio de tres minutos en atmósfera de aire. Se trabajaron entonces todas las muestras a un grosor final de 0,30 mm en dos etapas de reducción en frío.

10.

15.

Se recocieron las muestras a 913°C en atmósfera de hidrógeno por espacio de un minuto a su grosor intermedio de 0,64 mm. Después del segundo laminado en frío, se descarburizaron a 815,5°C por espacio de tres minutos en hidrógeno húmedo y se les dió un recocido final en caja a 1.204,4°C en atmósfera de hidrógeno durante 24 horas.

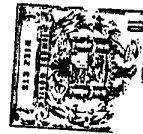
20.

25.

La tabla II muestra las composiciones iniciales y valores de permeabilidad final para los materiales a los que se les dió las dos temperaturas de recocido inicial.

30.

345093<sup>19</sup> -



T A B L A II

5.	Zamarra	% C	%MN	%S	%O	%N	912,7°C	982,2°C
							<u>Recocido inicial</u>	<u>Recocido inicial</u>
							Permeabilidad	Permeabilidad
							H = 10	H = 10
	A	0,022	0,059	0,022	0,0015	0,0057	1771	1791
	B	0,023	0,060	0,024	0,0019	0,0057	1731	1797
	C	0,016	0,062	0,018	0,0030	0,0030	1676	1761
10.	D	0,019	0,062	0,019	0,0050	0,0054	1641	1747
	E	0,023	0,048	0,016	0,0076	0,0074	1596	1706

15. Los valores de permeabilidad demuestran que el bajo contenido de oxígeno de la banda laminada en caliente se halla estrechamente asociado con una elevada permeabilidad. Estos valores indican también que, a medida que aumenta el contenido de oxígeno, disminuye la permeabilidad más rápidamente cuando es menor la temperatura de recocido inicial. Por consiguiente, cuando el contenido de oxígeno cae dentro del lado superior del nivel deseado, los efectos perjudiciales pueden verse parcialmente neutralizados mediante el empleo de temperaturas más elevadas de recocido inicial.

25. EJEMPLO III

Se eligieron dos zamarras de unos 152 mm, que representaban dos lingotes, al azar de cada una de dos coladas que daban los siguientes análisis en la cuchara:

30.

15 SEP 1953



345093

Número de colada	%C	%Mn	%S	%Si	%N	%O	%Al (total)
A	0,026	0,066	0,023	3,21	0,0052	0,0070	0,0053
B	0,025	0,053	0,023	3,13	0,0057	0,0023	0,0061

Se calentaron las zamarras a 1.307°C

5. medidos por un pirómetro óptico y se laminaron en banda a un grosor de 1,93 mm. Prácticamente no se formó escoria líquida. La temperatura inmediatamente después de la laminación en caliente era de unos 982°C y la banda se enrolló a unos 649°C. Las bandas calientes se recocieron a unos 913°C por espacio de un minuto, se decaparon y laminaron en frío a 0,61 mm. Después de un recocido intermedio a 926,5°C se laminaron los rollos en frío a aproximadamente 0,266 mm, se descarburizaron en banda, se recubrieron con magnesia y se recocieron a 1.204,5°C
10. por espacio de 24 horas en atmósfera de hidrógeno. En la Tabla III se indican las propiedades magnéticas y se ilustra la valía que tiene un bajo contenido de oxígeno en la consecución de una excelente calidad magnética. La Tabla III se divide en dos partes, cada una relativa a una de las coladas. En cada parte los tres primeros valores de cada columna se refieren a muestras tomadas de la parte delantera, mitad y posterior del rollo procedente de la primera zamarra de la colada respectiva. Igualmente los tres valores siguientes representan muestras de la parte delantera, mitad y posterior del rollo de la segunda zamarra de la misma colada. El último valor es un término medio
- 15.
- 20.
- 25.
- 30.

345093



5. de los valores de las seis muestras.

T A B L A III  
COLADA A (0,0070% O )

5.	Grosor en mm.	P15;133 W/Kg	P17;133 W/Kg	Permeabilidad
				H= 10
	0,2794	1,11	1,61	1825
	0,2616	1,35	2,17	1680
	0,2590	1,30	2,07	1695
	0,2667	1,23	2,00	1740
10.	0,2667	1,24	2,00	1725
	<u>0,2692</u>	<u>1,11</u>	<u>1,64</u>	<u>1805</u>
	0,2667	1,22	1,91	1728 media

COLADA B (0,0023% O )

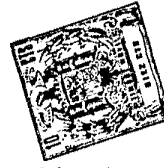
15.	Grosor en mm	P15;133 W/Kg	P17;133 W/Kg	Permeabilidad
				H= 10
	0,2692	1,15	1,68	1815
	10.4	1,11	1,64	1820
	0,2794	1,14	1,68	1805
20.	0,2667	1,08	1,62	1830
	0,2590	1,08	1,62	1830
	<u>0,2616</u>	<u>1,12</u>	<u>1,70</u>	<u>1815</u>
media	0,2667	1,11	1,66	1819

EJEMPLO IV

25. Se eligieron al azar dos zamarras de unos 152 mm, que representaban dos lingotes, de cada una de seis coladas con cantidades variables de oxígeno. Estas zamarras se calentaron a una temperatura de 1.307°C o a una temperatura inmediatamente inferior a la de formación de escoria y se laminaron en

30.

345093



5.

caliente rápidamente en bandas calientes de un grosor de 1,93 mm. Se trabajaron en laboratorio muestras que representaban el centro de los rollos. Las piezas laminadas en caliente se recocieron a 982°C por espacio de tres minutos aproximadamente, se decaparon y se laminaron en frío a un grosor intermedio de 0,558 mm.

10.

Después de un recocido de aproximadamente un minuto a 954°C, se laminaron en frío las muestras a un grosor de 0,223 mm, se descarburizaron a 815,5°C en hidrógeno húmedo, se recubrieron con magnesia y se recocieron en caja a 1.204°C en hidrógeno seco por espacio de treinta horas. A continuación se indican los análisis de las bandas calientes y las propiedades magnéticas obtenidas:

15.

T A B L A IV

Colada	%C	%Mn	%S	%Si	%N	%O	Pl7;133 W/Kg	Permeabilidad H = 10
A	0,023	0,070	0,025	3,23	0,0060	0,0012	1,42	1837
B	0,018	0,061	0,024	3,05	0,0067	0,0013	1,46	1825
C	0,022	0,047	0,023	3,16	0,0061	0,0044	1,48	1821
D	0,020	0,052	0,020	3,24	0,0056	0,0064	1,62	1760
E	0,022	0,069	0,021	3,21	0,0052	0,0070	2,00	1695
F	0,024	0,044	0,017	3,13	0,0070	0,0077	> 2,00	1675

25.

Estos datos demuestran claramente el eficaz efecto del contenido de oxígeno en la textura y propiedades magnéticas obtenibles. Las pérdidas de núcleo alcanzadas en las muestras con un contenido de oxígeno inferior al 0,0020% son excelentes e infe-

30.



345093

15 SEP 1967

riores a las que se han podido obtener hasta el momento.

EJEMPLO V

5. Se recalentó una zamarra de unos 152 mm de grosor de cada una de cuatro coladas diferentes a una temperatura de 1.149°C y se laminó en caliente en bandas de 1,93 mm de grosor. Se tomaron muestras de los centros de esas bandas y se trabajaron en laboratorio. Se recocieron las muestras a 982°C por espacio de unos

10. tres minutos, se laminaron en frío directamente a 0,304 mm sin recocido intermedio, se descarburizaron en un recocido en banda en hidrógeno húmedo a 815,5°C, se recubrieron con magnesia con y sin azufre y se recocieron en caja en atmósfera de hidrógeno a 1.204°C

15. por espacio de treinta horas. Los valores de permeabilidad obtenidos se indican en la Tabla V siguiente, junto con los análisis de las muestras laminadas en caliente.

T A B L A V

20.	Zamarra	%C	%Mn	%S	%O	%N	No se añadió	Se añadió
							azufre a MgO Perm.H=10	un 4% de azufre a MgO Perm.H=10
	A	0,022	0,059	0,022	0,0015	0,0057	1605	1770
	B	0,022	0,060	0,023	0,0018	0,0057	1625	1745
25.	C	0,024	0,048	0,017	0,0065	0,0076	1552	1665
	D	0,021	0,069	0,020	0,0090	0,0050	1590	1632

30. Estos datos demuestran la adición de azufre a la magnesia hace que ésta sea más eficaz cuando el contenido de oxígeno se mantiene dentro de los lí-



345093

15 SEP 1967

mites críticos del invento. Los resultados de las pruebas de los materiales a los que se había añadido azufre mostraban excelentes calidades magnéticas, considerando que solo se realizó una única reducción en frío.

5.

Por los ejemplos anteriores se verá que se pueden alcanzar excelentes calidades magnéticas en el producto sin calentar las zamarras o lingotes a un grado de temperatura en el que se produzca la formación de escoria líquida.

10.

Se pueden hacer modificaciones en el invento sin desviarse del espíritu del mismo.

N O T A

15. Descripta 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 una solicitud de Patente presentada en Norteamérica con el número Ser No. 583.459 de 30 de septiembre de 1966, 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 PRODUCIR HIERRO AL SILICIO", caracterizándose por lo siguiente:

20.

25.

30.

1.- Procedimiento para producir hierro al silicio, de orientación cúbica en arista, con un con-

345093

15 SEP 1956



- tenido en silicio de un 1,8 a un 4%, aproximadamente, en el que un hierro al silicio que contiene de un 0,015 a un 0,035%, preferentemente de un 0,020 a un 0,030%, aproximadamente, de carbono, de un 0,030 a un 0,080%, preferentemente de un 0,045 a un 0,065% aproximadamente, de manganeso, de un 0,015 a un 0,030%, preferentemente de un 0,020 a un 0,025%, aproximadamente, de azufre, un máximo de un 0,007%, preferentemente de un 0,004% de nitrógeno, un máximo de un 0,008% preferentemente de un 0,002% de aluminio, en forma de ácido soluble, y el resto prácticamente hierro, se somete a las etapas de laminación en caliente a un calibre intermedio, laminación en frío a un calibre final, descarburización y recocido, y recristalización secundaria que favorezca el desarrollo de núcleos orientados en posición cúbica en arista, caracterizado porque, inmediatamente antes de la citada etapa de laminación en caliente, dicho hierro al silicio se calienta, hasta que el contenido en oxígeno no sea superior al 0,0045%, preferentemente al 0,0030%, a una temperatura de unos 1.149°C, preferentemente de unos 1.260°C a no más de 1.115,5°C, y se hace reaccionar, después de dicha laminación en frío y antes de la citada etapa de recristalización secundaria, dicho hierro al silicio con azufre procedente de una fuente externa.

- 2ª.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la citada laminación en frío se compone de una sola operación de reducción al calibre final.



345093

3ª.- Procedimiento para producir hierro al silicio, tal y como queda sustancialmente descrito en la presente Memoria.

Esta Memoria consta de veintiseis hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 15 SEP 1937

ARMCO STEEL CORPORATION.

A large, stylized handwritten signature or scribble that overlaps the text 'ARMCO STEEL CORPORATION.' and extends downwards. It consists of several loops and a long vertical stroke.

J. GOMEZ ACEBO Y MODEI  
p. p. Firmados: F. Hernández Rula