

316191

14 OCT. 1965

P.-29.910

CBE/GHK
"V in Silicon Steel"



MEMORIA DESCRIPTIVA

que se presenta para unir a la solicitud

de

P A T E N T E D E I N V E N C I O N

formulada el 5 de Agosto de 1.965

con el núm. 316.191

en

E S P A Ñ A

por VEINTE años

a nombre de INTERNATIONAL NICKEL LIMITED, entidad británica,
establecida en Thames House, Millbank, Londres, Inglaterra,

por:

"UN METODO PARA LA PRODUCCION DE ACERO AL SILICIO
DE GRANO ORIENTADO".

Los aceros al silicio de grano orientado tienen -
propiedades magnéticas muy valiosas y son ampliamente utili-
zados por esta razón, como chapas, en transformadores y otros
aparatos. En la producción de estos aceros, una operación -
5 esencial es la laminación en frío (una frase que incluye la-
minar en caliente a, por ejemplo, 1000° C) para producir la
orientación de los granos. Se acepta comúnmente que se obtie-
nen óptimos resultados al laminar en frío una hoja o chapa de
2 mm laminada en caliente hasta obtener un espesor de 0,35 mm.
10 con recocido intermedio. En las operaciones de laminación en -



frío, el acero se deforma, y en las operaciones de recocido -
tiene lugar una recristalización primaria a temperaturas su-
periores a 400° C. Si se calienta el acero hasta una tempera-
tura bastante alta y contiene un inhibidor del desarrollo de
5 granos primarios, se produce una recristalización secundaria
para dar la textura denominada Goss. En esta textura, un bor-
de del cubo en la estructura cúbica centrada del cuerpo del -
acero es paralelo a la dirección de laminación y un simple -
plano diagonal es paralelo al plano de la chapa. El inhibidor
10 habitual del desarrollo de granos primarios, es decir, el agen-
te para facilitar la producción de la textura Goss, es sulfuro
de manganeso, y en la práctica, se añaden invariablemente man-
ganeso y azufre al acero para proporcionar este sulfuro. En -
la práctica, también se efectúa la recristalización secunda-
15 ria a 1.200° C, debido en primer lugar a que esta temperatura
se produce la textura óptima.

Aunque se requiere sulfuro de manganeso con objeto -
de producir una cantidad adecuada de textura Goss, es nocivo pa-
ra las propiedades magnéticas si permanece en el acero, y, por
20 esto, se elimina la mayor parte del azufre una vez ha cumplido
su finalidad. Esto se hace recubriendo el acero con magnesia
antes de calentarlo para producir la recristalización secunda-
ria. Durante este calentamiento, el sulfuro de manganeso se -
descompone si la temperatura es del orden de 1.200°C. Sustan-
25 cialmente todo el manganeso entra en solución en el hierro y
se elimina el azufre por difusión y combinación en la super-
ficie con magnesia, mientras está cumpliendo su finalidad esen-
cial en la activación de la recristalización secundaria. El he-
cho de que sea 1.200° C la temperatura requerida para descompo-
30 ner el sulfuro de manganeso es una razón secundaria para efec-

316191



tuar la recristalización secundaria a esta temperatura.

5 Típicamente, el acero laminado de 0,35 mm de espesor es descarburado por tratamiento con calor durante 5 minutos a 820°C en hidrógeno húmedo. El acero es enfriado después hasta la temperatura ambiente y recubierto con magnesia y, - finalmente, se efectúa la recristalización para dar la textura Goss en hidrógeno seco a 1.200° C, reduciéndose en el curso de la misma el contenido de azufre a un máximo de 0,003%.

10 El silicio en el acero aumenta la resistividad eléctrica y reduce, por tanto, las pérdidas por corriente parásitas, y reduce también las pérdidas por histéresis. Es conocido que el contenido óptimo de silicio para una mínima magnetoestricción es de aproximadamente el 6,3%, pero los aceros fundidos en el aire con un contenido de silicio de más de aproximadamente el 3,5% son tan frágiles que no pueden ser laminados -
15 satisfactoriamente en frío. Es posible aumentar el contenido de silicio hasta aproximadamente el 4,0% y todavía laminar en frío el acero si se lleva a cabo la fusión en vacío, pero, naturalmente, esto aumenta los gastos de fabricación. Así, actualmente el acero al silicio de grano corriente contiene normalmente 3,2% de silicio (con una tolerancia del 0,2%), no más del 0,003 de carbono, no más del 0,003% de azufre y de 0,05 -
20 a 0,15% de manganeso. El resto es hierro, manteniéndose las impurezas tan bajas como sea posible.

25 La solicitante ha encontrado, como se describe y reivindica en la Memoria Descriptiva de su Patente británica nº 982.101, que es posible aumentar el contenido de silicio - al tiempo que todavía se mantiene el acero con capacidad de ser laminado en frío por adición de níquel al acero. La solicitante ha encontrado ahora que mediante otra modificación tanto
30



de la composición del acero como del tratamiento con calor puede producirse un acero que, al ser imantado, tiene propiedades magnéticas superiores a las de los aceros al silicio normalizados ampliamente utilizados en la actualidad.

5 En un acero de acuerdo con la presente invención, el contenido de silicio es de 3,5 a 6,6% y hay bastante níquel dentro del margen del 2 al 12% para hacer que el acero sea laminable a 100°C. La cantidad requerida de níquel depende del contenido de silicio, aumentando cuando aumenta el -

10 silicio. En la figura 1 de los dibujos que se acompañan, la línea A muestra la manera en que ha de variar el contenido nominal de níquel con el contenido nominal de silicio con - esta finalidad. La tolerancia permitida en los porcentajes nominales es del 0,3%, y esto se indica mediante rayado. Si un

15 acero ha de ser capaz de ser laminado, la composición tiene - que estar dentro a la izquierda de la superficie rayada. Se verá, por ejemplo, (en valores nominales) con un 4% de silicio, debe haber al menos un 4% de níquel, y con un 5% de silicio, al menos un 6,5% de níquel. Con un 6% de silicio, se

20 requiera hasta un 9% de níquel para que el acero tenga aptitud para la laminación a 100° C. Es deseable que no se añada más níquel del requerido para hacer laminable el acero a - 100°C, ya que un exceso de níquel en comparación con el silicio conduce a la pérdida de propiedades magnéticas. La so-

25 licitante ha encontrado que los aceros que contienen nominalmente un 4% de silicio dan excelentes propiedades, y en estos aceros la solicitante prefiere un 4% de níquel. La tolerancia en cada uno de estos porcentajes es del 0,3%, y, por - esto, los aceros preferidos contienen de 3,7 a 4,3% de silicio y de 3,7 a 4,3 de níquel.

30

Un importante factor en la elección de la composi-



ción del, acero es la existencia del denominado ciclo o bu-
cle gamma en el diagrama de fases hierro-silicio. Esto está
representado en B en la figura 2 de los dibujos que se acom-
pañan. Dentro del bucle, una aleación hierro-silicio es aus-
tenítica (es decir, en la forma gamma) o, en la parte rayada
5 del bucle, parcialmente ferrítica (es decir, en la forma al-
fa) y parcialmente austenítica. Si ha de producirse la textu-
ra Goss, el acero tiene que ser totalmente ferrítico durante
la recristalización. Ahora, como se ha explicado anteriormen-
te, la temperatura de recristalización secundaria de las ale-
aciones exentas de níquel es de 1.200° C y más, y se verá que
10 a menos que el acero contenga 3% o más de silicio quedará den-
tro del bucle a la temperatura de recristalización secundaria,
y ésta es, claro está, la razón por la que casi todos los -
15 aceros al silicio de grano orientado anteriores han contenido
3,2% de silicio.

Como, en contraste, con el silicio, el níquel es -
un formador de austenita, la adición de níquel agranda el -
bucle gamma. La curva C en la figura 2 es aproximadamente el
20 bucle en un acero que contiene 5% de níquel. Al encontrar la
solicitante la configuración aproximada del bucle en diver-
sos aceros al silicio con contenido de níquel, apareció que
a la temperatura de recristalización necesarias dichas aceros
serían al menos parcialmente austeníticos y, por esto, sería
25 imposible producir en ellos una textura Goss satisfactoria. -
Sorprendentemente, la solicitante ha encontrado que es posi-
ble producir una textura Goss satisfactoria en un acero que
contiene níquel siempre se que efectúe la recristalización -
a una temperatura por debajo del bucle, es decir, por debajo
30 de la temperatura de transformación de hierro alfa en hierro

316191



alfa + gamma.

La solicitante ha encontrado además que el sulfuro de manganeso no es muy eficaz para activar la recristalización secundaria para obtener la textura Goss a estas temperaturas -
5 más bajas requeridas por la presencia del bucle gamma en los aceros que contienen níquel. Sin embargo, la solicitante ha encontrado que puede activarse la textura Goss mediante carburos de vanadio, que pueden ser eliminados del acero final durante la recristalización secundaria a una temperatura re-
10 lativamente baja, haciendo posible de este modo la obtención de óptimas propiedades magnéticas. Así, esta invención comprende en primer lugar la sustitución del manganeso por vanadio -y del azufre por carbono, y, en segundo lugar, la producción de la textura Goss a una temperatura por debajo del punto -
15 de transformación de hierro alfa en hierro alfa + gamma al aplicar calor.

La figura 3 de los dibujos que se acompañan representa gráficamente la forma en que varía esta temperatura de -
transformación con el contenido de níquel en aceros de dife-
20 rentes contenidos de silicio. Las curvas D, E y F se refieren a 4%, 5% y 6% de silicio, respectivamente. La superficie a la izquierda de cada curva es aquella en la que el acero es ferrítico. Por tanto, para poner dos ejemplos, el acero con 4% de silicio y 4% de níquel es ferrítico hasta el punto X, es
25 decir, hasta aproximadamente 930° C, y el acero con 6% de silicio y 9% de níquel es ferrítico hasta el punto Y, es decir, hasta aproximadamente 830° C. Aunque las curvas están dadas - para solo tres contenidos de silicio, se comprenderá que pueden dibujarse curvas similares para aceros de otros contenidos
30 de silicio a partir de ensayos con probetas de tales aceros.

316191



La velocidad de recristalización secundaria aumenta con la temperatura y, por esto, es deseable que la temperatura de recristalización secundaria no sea demasiado baja. Sin embargo, la solicitante encuentra bastante sorprendentemente que en el acero que contiene 4% de silicio y 4% de níquel, da los mejores resultados una temperatura de aproximadamente - 850° C, es decir, en el margen de 845 a 855° C. Por otra parte, en un acero que contiene 6% de silicio, en el que la temperatura no puede pasar de 830°C si el acero ha de permanecer totalmente ferrítico, la solicitante prefiere no trabajar por debajo de 800° C. En cualquier caso, la temperatura debe ser de al menos 750° C.

Considerando todavía la composición del acero, el manganeso está presente si está, solo como impureza, no sobrepasando, por ejemplo, el 0,02%. Ahora, ya no se requiere azufre, manteniéndolo como impureza tan bajo como sea posible, - por ejemplo, por debajo del 0,003%. En términos generales, - cuanto más puro sea el acero final, excepto con respecto a sus elementos esenciales, tanto mejores serán las propiedades magnéticas finales.

Para que sea eficaz, el vanadio tiene que estar presente como carburo precipitado durante la recristalización secundaria. Puede precipitarse en el curso de las operaciones de laminación en caliente y recocido, o el acero puede ser calentado con esta finalidad solo inmediatamente antes de la recristalización secundaria. El carburo de vanadio que aparece - al efectuar un examen con rayos X es principalmente V_4C_3 . Una ventaja particular del uso del vanadio es que forma fácilmente carburo con el carbono del acero y que este carburo se descompone fácilmente a la temperatura relativamente baja de



la recristalización secundaria. Otros carburos, que podrían - ser utilizados como inhibidores de la recristalización primaria, tales como el carburo de titanio y el carburo de niobio, son estables a las temperaturas en cuestión.

5 El contenido de carbono está comprendido entre el 0,02 y el 0,06%, y, preferiblemente, es del 0,03%, en el acero inicial. Preferiblemente, hay bastante vanadio para combinarlo con todo el carbono, pero no se obtiene ninguna ventaja incluyendo más vanadio que esté. Teniendo en cuenta estas
10 consideraciones, el contenido de vanadio puede ser de 0,05 a 0,3%, y, preferiblemente, es de 0,08 a 0,15% en aceros que - contienen de 0,02 a 0,03% de carbono.

Así, en resumen, el acero inicial contiene de 3,5 a 6,5% de silicio, de 2 a 12% de níquel, siendo el contenido
15 de níquel bastante alto para hacer laminable el acero a 1000°C, de 0,02 a 0,06 % de carbono y de 0,05 a 0,3% de vanadio, siendo hierro el resto, excepto las impurezas. Las impurezas, tales como el azufre, deben mantenerse tan bajas como sea posible.

20 Ahora se darán dos ejemplos.

EJEMPLO 1

Un acero que contiene 4% de níquel, 4% de silicio, - 0,15% de vanadio y 0,03% de carbono, siendo hierro el resto,
25 excepto las impurezas, es convertido por laminación en caliente a 1.000° C en una chapa de 2 mm de espesor y recocido durante 10 minutos a 900° C. La chapa es limpiada después mediante un chorro de perdigones. A continuación, se reduce el espesor de la chapa laminándola a 100° C, sumergiéndose el metal
30 en agua hirviendo antes de cada pasada, con operaciones -

316101



de recocido intermedias, comprendiendo cada una calentar a -
850° C durante 10 minutos en hidrógeno, cuando el acero tiene
un espesor de 1 mm y 0,64 mm. De esta forma, la chapa es lle-
vada a un espesor de aproximadamente 0,35 mm. Seguidamente, -
5 se calienta el acero en una atmósfera inerte durante 15 minu-
tos a 700° C para que precipiten los carburos. Después, se -
calienta el acero en hidrógeno seco durante 24 horas a 850° C,
y en el curso de este calentamiento se produce la textura Goss
y se descompone el carburo de vanadio, entrando el vanadio en
10 solución en el acero, y siendo separado algo de carbono por -
el hidrógeno. La chapa puede ser descarburizada adicionalmente
por recocido en hidrógeno húmedo durante 30 minutos a 750° C.

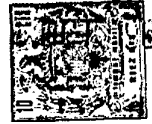
EJEMPLO 2

15

En este ejemplo se simplifica el tratamiento; se eli-
mina el recocido después de la laminación en caliente y no se
da ningún tratamiento de recocido específico para que precipi-
te el carburo de vanadio. Además, mediante la utilización de -
20 hidrógeno húmedo durante el tratamiento de recristalización se-
cundaria, se elimina la necesidad de un tratamiento de descar-
buración final para eliminar el carburo.

Un acero que contiene 4% de níquel, 4% de silicio, -
0,10% de vanadio, y 0,03% de carbono, siendo hierro el resto -
25 excepto las impurezas, es convertido por laminación en calien-
te a 1.000° C en una chapa de 2 mm de espesor. Después, se lim-
pia la chapa mediante un chorro de perdigones. A continuación,
se reduce el espesor de la chapa por laminación a 100° C, sumer-
giéndola en agua hirviendo antes de cada pasada, con operacio-
30 nes de recocido intermedias, comprendiendo cada una calentar -

316191



a 350°C durante 10 minutos en hidrógeno o amoníaco craqueado, cuando el acero tiene un espesor de 1 a 0,64 mm. Se efectúa la recristalización secundaria para obtener la textura Goss, y, - al mismo tiempo, la eliminación del carbono, por recocido en -
5 hidrógeno húmedo (punto de rocío 20°C a -10°C) durante 24 horas a 850°C.

El acero de grano orientado que contiene 4% de silicio y 4% de níquel, producido de acuerdo con la invención tiene una alta inducción de saturación de aproximadamente 19.400
10 gauses y tiene una pérdida en vatios por kilogramo a 50 ciclos por segundo menor en aproximadamente el 10% que la del acero de grano orientado exento de níquel y con un 3,2% de silicio. A - altas frecuencias, la ventaja representada por la pérdida en vatios es más pronunciada.

15 Esta solicitud que corresponde a la presentada en Gran Bretaña, el día 7 de Agosto de 1.964, con el nº 32246/64, se acoge a los beneficios del artículo 51 del vigente Estatuto sobre - Propiedad Industrial.

20

- N O T A -

Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los siguientes:

25

1.- Un método para la producción de acero al silicio - de grano orientado, en el que se produce una textura Goss en una chapa de acero que contiene 3,5 a 6,5% de silicio, de 2 a 12% - de níquel, siendo el contenido de níquel bastante alto para hacer que pueda laminarse el acero a 100°C, de 0,02 a 0,6% de carbono, y 0,05 a 0,3% de vanadio, siendo el resto hierro, excepto
30 las impurezas, sometiendo el acero a una recristalización secun-

316191

4 ENE 1968

daria a una temperatura por debajo de la del punto de transformación de hierro alfa en hierro alfa + gamma al aplicar calor.

5 2.- Un método según la reivindicación 1, en el que el contenido de níquel es de 3,7 a 4,3% y el contenido de silicio de 3,7 a 4,3 %.

3.- Un método según las reivindicaciones 1 ó 2, en el que el acero contiene 0,02 a 0,03 % de carbono y de 0,08 a 0,15 % de vanadio.

10 4.- Un método según la reivindicación 3, en el que se efectúa la recristalización secundaria en una atmósfera de hidrógeno húmedo.

5.- Un método para la producción de acero al silicio de grano orientado.

15 Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los dibujos que se acompañan y con los fines que se han especificado.

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

Madrid,

4 ENE 1968

P. A.

Alberca de Elzaburu
For. Peder.

316191

ESCALA VARIABLE



316191

Fig. 1.

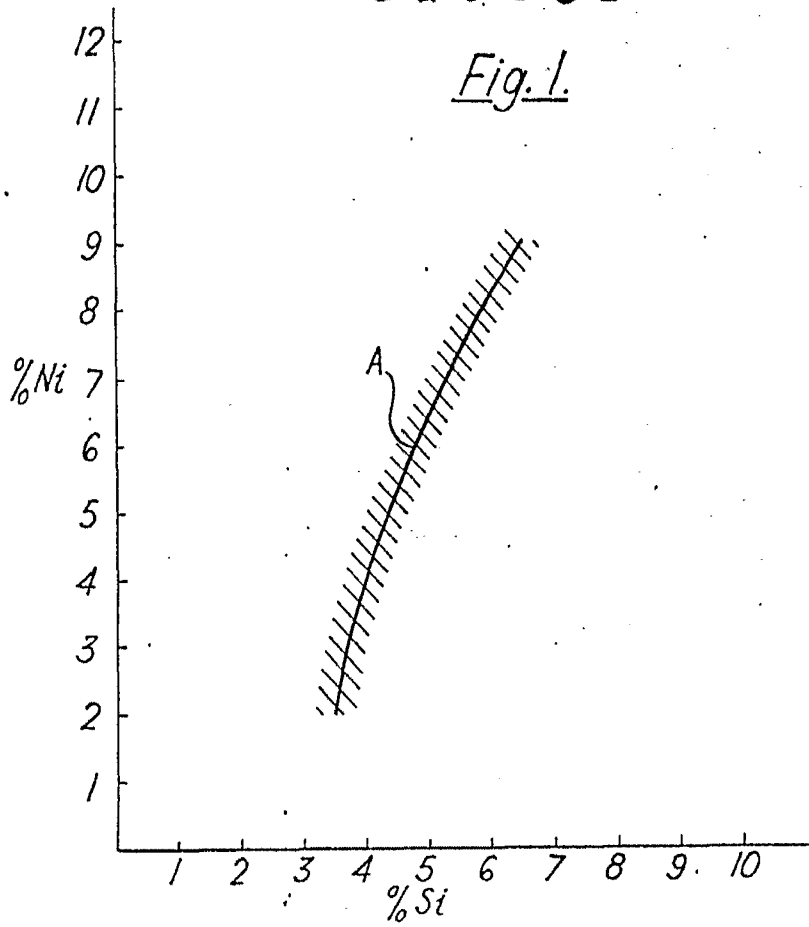
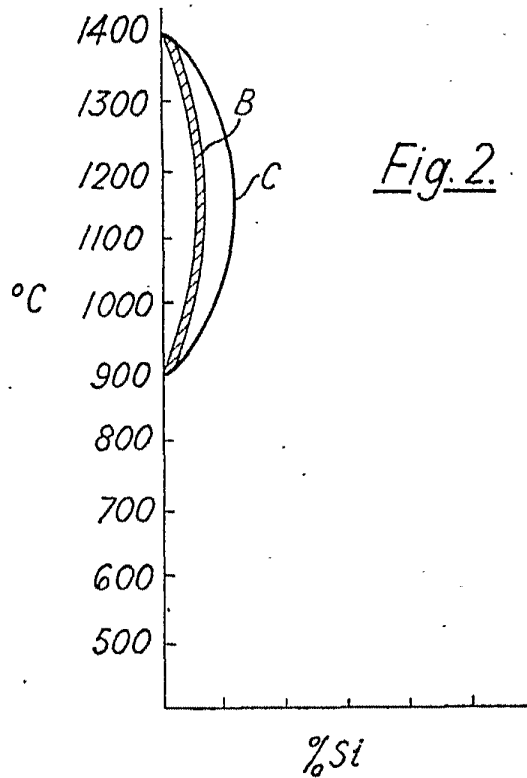


Fig. 2.

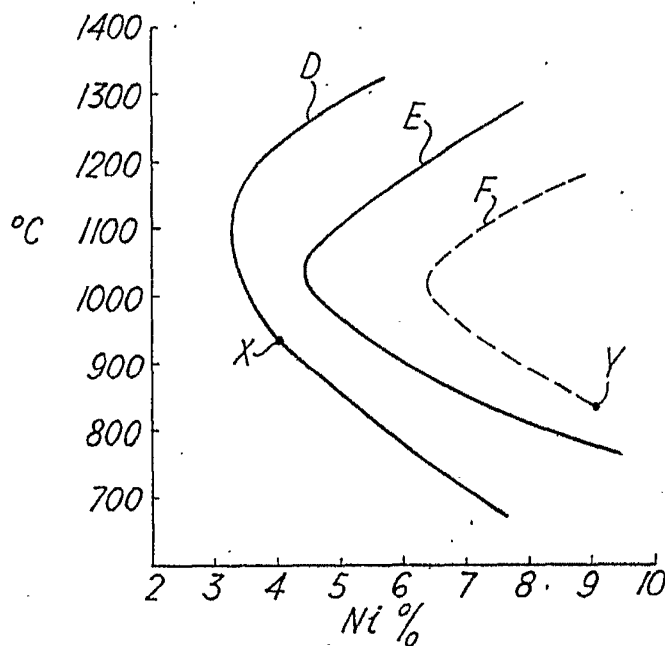


Handwritten signature and text at the bottom right corner, including the name 'G. J. ...' and other illegible markings.

316191



Fig. 3.



Alfonso de Elizaburu
Por Encargo