

413185

PATENTE DE INVENCIÓN

U.S. Ser. 239,538



413185

F. a 5-5-75

Int. Cl.º: B 21 B

Memoria Descriptiva

sobre:

PROCEDIMIENTO PARA LA PRODUCCION DE BANDAS DE ACERO AL
SILICIO A PARTIR DE ZAMARRAS.

=====

Solicitante: ROBERT H. HENKE, de nacionalidad norteamericana, residente en Pittsburgh, County of Allegheny, Commonwealth of Pennsylvania, EE.UU. de A.

=====

Esta invención se relaciona con un procedimiento para la producción de banda de acero al silicio y, particularmente, con un procedimiento para la producción de banda de acero al silicio que posee un elevado grado de orientación preferida y propiedades magnéticas altamente direccionales.

5.



cionales.

5. Ya es bien conocido que el proceso de laminación en caliente de bandas constituye uno de los factores importantes que necesariamente han de ser controlados al objeto de obtener un elevado grado de orientación de la estructura cristalográfica en la dirección $\langle 100 \rangle$ (110) u orientación cristalográfica "cúbica centrada en las aristas" en la dirección de laminación. Se han realizado diversos intentos para mejorar el procesado de dichas bandas sobre laminadores de bandas en caliente convencionales. Estos intentos han sido dirigidos principalmente hacia aquellos laminadores en caliente que utilizan una laminación en toco inversa con puntos de acabado unidireccional y hacia aquellos que utilizan puntos de embastecido y acabado unidireccionales. Ejemplos típicos del trabajo realizado con anterioridad sobre este campo son los métodos descritos en la Patente de Littmann No. 2.599.340 y en la Patente de Crede et al No. 2.867.557. A partir de estas patentes es evidente que el control del tiempo y temperaturas de procesado ha constituido el problema más serio al que hace frente este campo particular de la técnica de fabricación de acero.
- 10.
- 15.
- 20.

Los tiempos y temperaturas de proceso para un proceso típico de laminación de acero al silicio orientado, son:

Instalación de procesado	Tiempo transcurrido	Espesor aproximado	Temperatura media
Suministro desde el horno o cizalla del laminador de desbaste.....	0	209,55 mm	1.315,5/ 1.343,3°C
Tiempo de transferencia al desbastador.....	30 seg.		

25.



<u>Instalación de procesado</u>		<u>Tiempo transcurrido</u>	<u>Espesor aproximado</u>	<u>Temperatura media</u>
5.	Desbastador de inversión,	} 85 seg.	165,10 mm	1.182,2/ 1.232,2°C
	"		119,38 mm	
	"		81,28 mm	
	"		50,80 mm	
	"		31,75 mm	
Tiempo de transferencia al acabador.....		25 seg.		
10.	Laminadores de acabado,	} 10 seg.	15,49 mm	Front 1.148,8/ Back 1.204,4°C 1.093,3/ 1.148,8°C
	"		9,01 mm	
	"		5,71 mm	
	"		3,68 mm	
	"		2,66 mm	
	"		2,03 mm	
Enrollador		Tiempo total transcurrido: 150 seg.		

15. Debido a la localización física de la instalación y a la naturaleza de la operación, el metal se enfría y se pierde temperatura a causa de pérdidas de calor de radiación, agua de refrigeración de diversos puntos de la laminación y contacto físico con los cilindros de laminación y cilindros de mesa por transferencia. Esta pérdida de temperatura no es uniforme, sino que los extremos se enfrían más que las zonas más separadas de los extremos y el transcurso de tiempo (65 segundos) desde la entrada del extremo frontal en el primer punto de acabado contra la entrada de la parte posterior o última, se traduce en pérdidas adicionales por radiación, conducción y convección. Estas variaciones en temperatura entre las localizaciones de la zamarra son muy importantes ya que las mismas determinan el momento en el cual se precipitará de la solución MnS. y otros constituyentes. Es evidente que bajo estas condiciones se producirá una no uniformidad del precipitado.

20.

25.

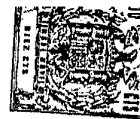
30. La finalidad de las enseñanzas de Littmann and Crede se diri-

413185

- 4 -



- gen a la puesta en solución de MnS (definiéndose en ambas patentes el tiempo y la temperatura) y disponen de suficiente reserva técnica como resultado de las elevadas temperaturas de la zamarra de modo que las temperaturas de precipitación no son alcanzadas durante la laminación en basto sino que solamente se alcanzan cuando el metal se encuentra en los puntos de acabado, Nos. 5 y 6, Pasos Nos. 10 y 11, en donde tiene lugar la precipitación debido al enfriamiento de los cilindros de laminación y al agua de refrigeración de los cilindros.
5. En el caso de que se pierda la temperatura de la zamarra y la precipitación tenga lugar demasiado pronto, no se produce la orientación apropiada. Los laminadores en caliente de bandas existentes utilizan diversos medios físicos para conservar la temperatura del proceso.
10. (1) Fuertes cargas o reducción en el desbastador inverso para conservar el tiempo.
- (2) Aire o vapor de agua para soplar el exceso de agua y conservar la temperatura.
- (3) Dispositivos de carcasa en los laminadores de acabado para impedir que los laminadores entren en contacto con el agua de refrigeración de la banda.
15. (4) Altas velocidades en los puntos de acabado para conservar el tiempo.
20. Incluso con estas medidas, la variación de temperatura entre la parte más caliente y la parte más fría de una determinada zamarra que entra en el primer punto de acabado, puede ser tan elevada como de 93,3°C y, más generalmente, es de 37,8°C. Las variaciones de temperatura entre las zamarras es con frecuencia tan elevada como de 149°C cuando se miden en la misma situación relativa. Estas variaciones de tempera-
25. 30.



tura son reflejadas en el producto acabado a la hora de medir las propiedades magnéticas.

5. Los extremos de la espiral tienen normalmente unas propiedades magnéticas más pobres que el centro de la espiral y el último extremo en la laminación de acabado No. 1 es más pobre que el primer extremo o extremo frontal (véase patente de Crede et al. No. 2.867.557).

10. Por consiguiente, era deseable encontrar una práctica que permitiera el empleo de un proceso de calentamiento más conservador que fuera suficiente para poner en solución el MnS y un proceso de laminación que conservara este calor durante toda la reducción de la zamarra a una banda de laminación en caliente, al objeto de controlar, por enfriamiento, la precipitación de MnS.

15. Ainslie y Seybolt, Journal of Iron & Steel, Marzo, 1960, páginas 341-348, han publicado un artículo titulado "Diffusion and Solubility of Sulfur in Iron and Silicon Iron Alloys" que expone los límites de solubilidad de MnS contra la temperatura en un Si.hierro 3-1/4 %. Estos datos indican
20. que para un acero que contiene 0,06 % de Mn y 0,02 % de azufre, la temperatura en la cual se ponen en solución estos productos de MnS es de 1.260°C; para un acero que contiene 0,06 % de Mn y 0,027 % de azufre, la temperatura para la solubilidad completa de MnS es de 1.315,5°C. Por consiguiente, ambas enseñanzas de Littmann y Crede son únicas con respecto al tiempo y temperatura para poner en solución el MnS, utilizando
25. ambas enseñanzas tiempos mucho más largos y temperaturas más elevadas que las necesarias para obtener solamente la solubilidad de MnS. Por lo tanto, debe llegarse a la conclusión de
30. que esta elevada carga térmica es necesaria para compensar las

413185

- 6 -



pérdidas térmicas hasta que la zamarra alcanza los laminadores de acabado para llevar a cabo la precipitación de MnS en el punto apropiado del proceso.

5. Se ha descubierto ahora un proceso para fabricar banda de acero al silicio orientado, laminada en caliente, que salva estos problemas de la técnica anterior y que hace posible la producción de una banda de propiedades eléctricas y magnéticas más uniformes de un extremo al otro.

10. Con preferencia, se utiliza una práctica que incorpora una forma planetaria de laminador, tal como el laminador Zendzimer o el laminador Krupp-Platzer. Con preferencia, el acero en silicio se conforma en zamarras, se calientan éstas a temperaturas necesarias para la solución de la proporción de MnS, se eliminan las virutas, se reducen las zamarras en un laminador planetario con una temperatura de salida del orden de 1.148,8 a 1.204,4°C a un espesor del orden de 1,5 a 2,5 mm y con preferencia a un espesor del orden de 2,03 mm, se enfría a 926,6°C para precipitar MnS y se acaba del modo usual.

20. Igualmente, se ha encontrado que el producto puede mejorarse notablemente sustituyendo un ciclo de laminación en caliente a 815,5 - 148,8°C y preferiblemente en la gama de 648,8 - 315,5°C, para reducir el espesor de la banda a 0,5 - 0,7 mm y con preferencia a 0,66 mm, en lugar de una laminación a temperatura fría o ambiente como generalmente se utiliza para la laminación de acabado antes de la normalización de recristalizado. Como anteriormente se ha indicado, los aceros al silicio se producen mediante diversas prácticas de laminación en caliente. Después de la laminación en caliente,
- 25.
30. las prácticas son claramente consistentes en todos los casos



y comprenden en general las siguientes etapas:

	<u>Operación</u>	<u>Descripción del proceso</u>
	A.	Laminación en caliente a 2,03 mm +/- 0,254 mm
	B.	Normalizado de la banda caliente.
5.	C.	Desescamado y repase de los bordes.
	D.	Laminación en frío a 0,66 mm +/- 0,0762 mm
	E.	Normalizado a 940,5°C para recristalizar la estructura del grano.
	F.	Laminación en frío a 0,30 mm +/- 0,050 mm.
	G.	Normalizado a 801,6°C para descarburizar.
10.	H.	Revestimiento con MgO.
	I.	Recocido con H ₂ a 1.176,6°C +/- 55,5°C
	J.	Limpiado, aplanado en caliente y aislamiento.
	K.	Cortar en tiras, inspeccionar y expedir.

15. Este proceso produce propiedades magnéticas que están clasificadas y vendidas en el mercado de acuerdo con las normas industriales. Todos los fabricantes desean fabricar con las pérdidas más bajas de vatios para una determinada densidad de flujo y con la permeabilidad más elevada cuando se mide a 10 H.

25. Se ha descubierto una nueva técnica que mejora las anteriores propiedades magnéticas modificando la etapa D de modo que la temperatura en la cual la reducción de espesor desde el calibre de laminación en caliente (0,7 mm) al primer calibre de laminación en frío (0,66 mm) es de 815,5 - 148,8°C, con preferencia 648,8 - 315,5°C en lugar de a temperatura ambiente. Como es evidente a partir de esta mejora, se proporcionan los siguientes ejemplos que muestran los resultados medios obtenidos a partir de 17 muestras diferentes:

413185

- 8 -



Características magnéticas finales de acero al silicio

orientado (2,03 mm a 0,66 mm).

Tratamiento de recalentamiento de banda laminada en caliente a 2,03 mm	WPP aprox. 15 KB	Muestra No. 1		MU aprox. 10H
		WPP aprox. 16,3KB	WPP aprox. 17KB	
Ninguno	0,502	0,628	0,747	1820
315,5°C	0,496	0,609	0,707	1840
454,4°C	0,476	0,594	0,687	1856
537,7°C	0,469	0,589	0,681	1860
621,1°C	0,463	0,583	0,670	1858
815,5°C	0,464	0,578	0,668	1860

5.

Producto acabado por la práctica normal después de la laminación en caliente a 0,66 mm.

10.

La combinación de laminación en caliente planetaria para laminar en caliente acero al silicio orientado y la laminación en caliente como anteriormente se ha descrito, proporciona una notable mejora en la uniformidad del producto a la vez que proporciona un alcance superior del análisis del silicio a utilizar. Las dos prácticas pueden combinarse tomando el producto de la laminación en caliente y en lugar de enrollar la banda de 2,03 mm, llevarla a través de cuatro laminadores rápidos sucesivos después de enfriar a 815,5°C antes de la entrada y reducción del calibre al calibre intermedio (0,66 mm) y ulterior enfriamiento.

15.

20.

PLAN DE PROCESADO "B"

Operación continua de laminación planetaria en caliente simulada

25.

Utilizar el mismo material de partida (5 mm de espesor), calentar a 1.260°C y laminar a un espesor de 2,03 mm. Las muestras deberán encontrarse a 1.148,8°C aproximadamente. Enfriar en corriente de aire a 871,1°C ± 55,5°C, enfriar en aire a 315,5, 454,4, 621,1 y 815,5°C; transferir a un juego de hornos a 315,5, 454,4, 621,1 y 815,5°C respectivamente, hasta la igualación (5 minutos), y laminar desde 2,03 mm a 0,61 mm

30.

413185

- 9 -



en el número mínimo de pasadas.

Temperatura del tren de laminación en caliente

Todos los ensayos evaluados para WPP aprox. 17 KB y (Mu aprox. 10 H)

Carga No.	315,5°C	454,4°C	621,1°C	815,5°C
5. A	NINGUNA MUESTRA	0,695 (1861)	0,668 (1869)	0,650 (1863)
B	0,670 (1820)	0,671 (1838)	0,663 (1848)	0,641 (1847)
C	0,700 (1840)	0,697 (1878)	NINGUNA MUESTRA	0,664 (1880)
D	0,692 (1825)	0,681 (1863)	0,684 (1864)	0,658 (1868)
E	0,682 (1827)	NINGUNA MUESTRA	0,700 (1838)	NINGUNA MUESTRA
10. F	0,669 (1822)	0,662 (1842)	0,670 (1848)	0,644 (1845)
G	0,681 (1834)	0,670 (1847)	0,688 (1846)	0,663 (1860)
H	0,710 (1829)	0,700 (1858)	0,671 (1869)	0,643 (1859)
J	0,694 (1842)	0,665 (1871)	0,674 (1877)	0,659 (1866)
K	0,703 (1843)	0,697 (1869)	0,692 (1874)	0,661 (1881)
15. L	0,695 (1822)	0,687 (1868)	0,695 (1868)	0,642 (1875)
<hr/>				
MEDIA	0,690 (1830)	0,683 (1860)	0,681 (1860)	0,652 (1865)

Para aquellos expertos en la técnica del procesado de acero al silicio orientado, será familiar el que un proceso mediante el cual se obtiene una reducción total a 0,66 mm de forma continua en el tren de laminación en caliente, es un proceso más económico que la laminación en frío desde 2,03 mm a 0,66 mm.

Los aceros al silicio orientados tienen hoy día la siguiente composición nominal: 0,032" carbono, 0,080" Mn, 0,028 S, 0,007 P, 2,90/3,40 Si + componentes menores residuales. La literatura anterior de patentes describe composiciones para el Si en estos aceros del orden de 2,5 a 4 % de Si. Sin embargo, en la práctica real el contenido en Si está limitado a un máximo aproximado de 3,50 % debido al desarrollo de fragilidad que crea



5. peligros de procesado con respecto a la rotura del rollo. Esta fragilidad, que está asociada con el espesor de la laminación en caliente, puede evitarse calentando el rollo laminado en caliente a 121,1°C aproximadamente antes de iniciarse el proceso. Después de haberse reducido a un calibre intermedio (0,66 mm) desaparece la fragilidad. A medida que incrementa el contenido en silicio, son necesarias temperaturas superiores para salvar la fragilidad. La laminación en caliente después de la reducción en el laminador planetario, del modo anteriormente
10. descrito, debería permitir que estos aceros fueran fabricados económicamente y que pudiera desarrollarse una nueva familia de aceros al silicio orientados de superior contenido en Si (hasta 6 %).

15. En la anterior descripción general, se han establecido ciertos objetos, finalidades y ventajas de esta invención. Otros objetos, finalidades y ventajas de la misma serán evidentes a partir de la consideración de la siguiente descripción y dibujos adjuntos, en los cuales:

20. La Figura 1 es un diagrama de flujos del método de la presente invención.

La Figura 2 es una vista en planta superior de un laminador que incorpora las características de la presente invención.

25. Con referencia a la Figura 1, se ilustra un diagrama de flujos para llevar a cabo las diversas etapas de la presente invención. En la Figura 1, se ilustra un horno eléctrico 10 para fundir el acero, seguido por un convertidor de oxígeno 11 para el refinado rápido del acero. El convertidor de oxígeno puede ser una de las formas ya conocidas en el mercado como BOF ó Q-BOP. El producto del convertidor de oxígeno se alimenta a un
- 30.



- conjunto de colada continua 12 que produce zamarras que se dirigen al horno continuo 13. Naturalmente, es evidente que puede utilizarse cualquier otro medio equivalente para producir el acero, tal como un horno de solera abierta, y que pueden utilizarse otros medios para producir las zamarras e introducir las al horno 13. Las zamarras calientes pasan desde el
5. horno continuo 13 a un laminador planetario 14 en donde la zamarras caliente se reduce rapidamente a un espesor de 2,03 mm, en general en menos de 10 segundos. Esto significa que no
10. existe ninguna pérdida térmica significativa desde el extremo frontal al extremo posterior de la banda reducida. La banda caliente que sale del laminador planetario se enfría y limpia en la unidad limpiadora 15 y se suministra a un laminador en caliente 16 en forma de 4 cilindros rápidos en la gama de temperaturas de 148,8 a 815,5°C, en donde se reduce a un espesor aproximado de 0,66 mm, tras lo cual se enrolla en 17.

- Logicamente, es posible incrementar el número de los 4 cilindros rápidos 16 que siguen al laminador planetario 14 e incrementar con ello el espesor del material producido en el planetario. El factor importante que ha de tenerse en cuenta aquí es que la temperatura con la que sale de los últimos
20. 4 cilindros rápidos deberá ser superior a 926,6°C.

- En la práctica preferida de esta invención, se incorpora tanto la etapa de laminación planetaria en caliente como la etapa de laminación en caliente en sustitución de la reducción en frío, sin embargo cualquiera de estas etapas podrá mejorar de forma notable por sí sola la producción de
25. acero al silicio orientado en otra práctica de laminación convencional.

413185

- 12 -



N O T A

=====

Descrita suficientemente la naturaleza del invento, así como la manera de realizarse 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

5.

corresponde a una solicitud de patente presentada en Norteamérica con el No. de Ser. 239.538 de 30 de marzo de 1.972, acogándose por lo tanto a los beneficios que conceden los Convenios Internacionales en vigor, siendo lo que constituye la

10.

esencia del referido invento por lo que se solicita Patente de Invención por 20 años en España, sobre: PROCEDIMIENTO PARA LA PRODUCCION DE BANDAS DE ACERO AL SILICIO A PARTIR DE ZAMARRAS; caracterizándose por lo siguiente:

15.

1.- Procedimiento para la producción de bandas de acero al silicio a partir de zamarras, caracterizado porque comprende las etapas de: a) calentar las zamarras a una temperatura superior a 1.204,4°C y laminar inmediatamente dichas zamarras para formar una banda, en un laminador planetario,

20.

en una gama de espesor de 1,52 a 3,81 mm, mientras se mantiene la temperatura en la gama de 1.148,8 a 1.204,4°C; b) enfriar la banda a una temperatura inferior a 815,5°C y superior a 315,5°C; y c) reducir el espesor de la banda a 0,50-0,76 mm mientras se mantiene a una temperatura de 148,8 a 815,5°C.

25.

2.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque las zamarras se reducen de espesor, en el laminador planetario, a 2,03 mm.

30.

3.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque el acero se enfría en el laminador planetario para mantener su temperatura en la gama de 1.148,8 a 1.204,4°C.

4.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la banda se reduce de espesor a 0,66 mm mientras se lamina en caliente a una temperatura del orden de 315,5 a 815,5°C.

5. 5.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque el laminador planetario es un laminador Zendzimer.

10. 6.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque el laminador planetario es un laminador Platzer.

7.- Procedimiento para la producción de bandas de acero al silicio a partir de zamarras, tal y como queda sustancialmente descrito en la presente Memoria e ilustrado en los dibujos adjuntos.

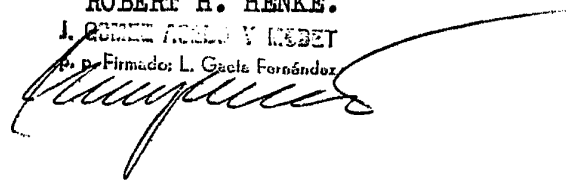
15. Esta Memoria consta de 13 hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 30 ABR. 1974

ROBERT H. HENKE.

I. GOMEZ ARELLANO Y REBET

Ap. p. Firmado: L. Gaeta Fernández





30 ABR. 1974

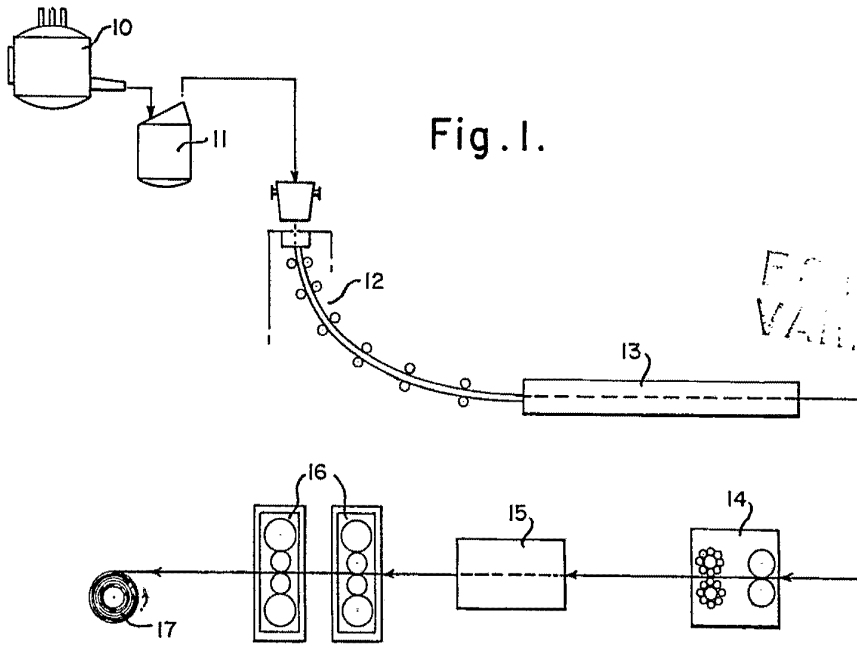
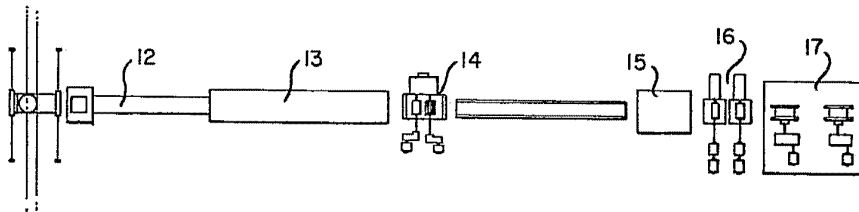


Fig. 1.

FORMA VARIABLE

Fig. 2.



Madrid 30 ABR. 1974

W. GOMEZ ACEDO Y C^{IA} INGENIEROS
Firmado: L. Garcia Fernández