

MINISTERIO DE INDUSTRIA  
REGISTRO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL



ESPAÑA

ES 448260 (11) A1  
26 MAYO 1976

PATENTE DE INVENCION

③① PRIORIDADES			③② FECHA			③③ PAIS					
③① NUMERO			75 17 201			28 de mayo de 1975			Francia		
④⑦ FECHA DE PUBLICIDAD			④⑧ CLASIFICACION INTERNACIONAL			④⑨ PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA					
			H 01 B								
④④ TITULO DE LA INVENCION											
PROCEDIMIENTO DE OBTENCION DE CONDUCTORES ELECTRICOS MEJORADOS DE ALEACIONES A BASE DE ALUMINIO											
④⑤ SOLICITANTE (ES)											
SOCIETE DE VENTE DE L'ALUMINIUM PECHINEY											
DOMICILIO DEL SOLICITANTE											
23 bis, rue Balzac, 75008 PARIS											
④⑥ INVENTOR (ES)											
JEAN-CLAUDE NICOU, Ing.											
④⑩ TITULAR (ES)											
④⑪ REPRESENTANTE											
D. JAIME GOMEZ-ACEBO Y MODET											

POOR  
QUALITY

La presente invención, debida a los trabajos de J. C. NICOU, se refiere a un procedimiento de obtención de conductores electricos mejorados de aleaciones a base de aluminio.

5 Las aleaciones Al-Mg-Si debilmente aleadas (Mg hasta aproximadamente el 1 %, Si hasta aproximadamente el 1 %) son utilizadas desde cerca de medio siglo como conductores electricos, particularmente en forma de cables aéreos para el transporte de la energía a gran distancia. La aleación comúnmente denominada "Almelec" ó AGS/L (según la norma francesa 10 A 02 001) y que ha sido el objeto de la norma francesa AFNOR NF-C-34125, debe tener las características mínimas siguientes en el caso de hilos de diámetro inferior e igual a 3,6 mm;

- 15
- carga de ruptura mínima : 33 kg/mm<sup>2</sup>;
  - media mínima sobre cable : 34,5 kg/mm<sup>2</sup>;
  - alargamiento a la ruptura: 4 %;
  - resistividad máxima a 20°C: 3,28  $\mu\Omega$ .cm;
  - resistividad media máxima sobre cable: 3,25  $\mu\Omega$ .cm

20 Su composición química es bastante próxima a: Mg: 0,6%, Si: 0,6 % Fe  $\leq$  0,35 %.

El aumento sustancial de las características mecánicas sin pérdida en la conductividad presenta un interés evidente ya sea para permitir un aumento del alcance sin modificación 25 de la altura de los postes, o bien para beneficiarse, a igualdad de alcance, de un recipiente de seguridad mecánico mayor.

Ahora bien no se puede esperar una mejora importante de las características mecánicas, para una resistividad eléctrica dada, por aumento de la proporción en elementos de alea- 30

ción (en particular Mg y Si) traduciéndose ésta en una disminución de la trefilabilidad.

La entidad solicitante ha descubierto que era posible obtener hilos conductores mejorados en AGS/L, combinando:

5 1º.- Un trefilado en templado, es decir a una temperatura comprendida entre 110 y 180°C y preferentemente entre 130 y 160°C de hilo máquina previamente puesto en solución y templado.

10 2º.- Una ligera modificación de su composición química por adición de cobre en el límite de 0,40 %.

3º.- Un tratamiento de revenido después del trafilado, pudiendo ser efectuado ésta ya sea en horno estático o bien, preferentemente, en continuo.

15 La fabricación de hilos en aleaciones Al-Mg-Si del tipo AGS/L para cables aéreos puede efectuarse por diferentes procedimientos. Se pueden citar, en particular, tres procedimientos que comprenden las sucesiones de operaciones siguientes:

20 1<sup>er</sup> procedimiento: laminado de paquetes cuadrados o hilados de longotes con prensa, soldadura de las coronas de hilo máquina, trefilado en aproximadamente tres veces el diámetro final deseado, puesta en solución, temple después de trefilado al diámetro final y revenido.

25 2º procedimiento: hilado con prensa en semi-continuo de longotes con temple con agua a la salida de la prensa, trefilado al diámetro final y revenido.

30 3<sup>er</sup> procedimiento: colada y laminado en continuo de hilo máquina en instalación del tipo PROPERZI o SECIM (Ex. SPIDEM), puesta en solución en horno de bobinas de hilo máquina de aproximadamente 1 tonelada, seguida de temple y en-

tufado, y después trefilado al diámetro final y revenido.

5 Este último procedimiento es el más comúnmente empleado desde hace 20 años puesto que corresponde a la mejor productividad en el estadio de la elaboración del hilo máquina y de la transformación. Es empleado para aleaciones Al-Mg-Si cuya composición química puede variar entre 0,15 y 0,35% para el hierro, 0,30 y 0,80% para el magnesio y 0,30 y 0,70% para el silicio, siendo los otros elementos las impurezas generalmente presentadas en las aleaciones de aluminio para aplicaciones eléctricas. Este procedimiento es igualmente 10 el que se presta mejor para la puesta en práctica de la invención.

15 Es conocido del experto que las características mecánicas de las aleaciones Al-Mg-Si en el estado: puesta en solución sólida-temple-revenido (caso de los perfilados), o: puesta en solución sólida-temple-trefilado-revenido (caso de los hilos)- pueden ser sensiblemente aumentadas por adición de cobre.

20 Sin embargo, por el contrario, la resistividad eléctrica se aumenta sensiblemente y, en lo que concierne al segundo procedimiento citado más arriba, la aptitud para el hilado es disminuída notablemente, lo que disminuye el interés práctico de dicha admisión. Además, la proporción en cobre debe estar limitada, habida cuenta del riesgo de corrosión 25 que puede así resultar.

30 Por lo demás, es conocido (patente francesa nº 1.499.266 de la sociedad Pechiney) que el trefilado de hilos en aleación Al-Mg-Si después de la puesta en solución sólida y maduración a una temperatura inferior a la temperatura de precipitación rápida que se sitúa en las inmediaciones de

los 200°C, y superior a las temperaturas habituales de trefilado de 20 a 70°C, conduce, en el caso de un trefilado a 110°C, a una ganancia de carga de ruptura de 1 a 1,5 kg/mm<sup>2</sup>, a igualdad de resistividad, después del tratamiento final de revenido-restauración efectuado a 165°C.

El objeto de la invención es un procedimiento de fabricación de hilos conductores muy netamente mejorados en AGS/L caracterizados por:

- asociaciones de características mecánicas y eléctricas netamente de mayor rendimiento que las obtenidas con los procedimientos del arte anterior,

- propiedades de estabilidad térmica y de comportamiento a la deformación mejoradas,

- una resistencia a la fatiga al menos equivalente a la del arte anterior.

Este procedimiento, objeto de la presente invención, consiste por tanto en efectuar una adición de cobre a una aleación Al-Mg-Si (AGS/L o "Almelec") a una proporción que no sobrepasa el 0,40%, y, preferentemente, que no sobrepasa el 0,20% y en efectuar sobre el hilo máquina obtenido, por ejemplo por el procedimiento nº 3 descrito más arriba, una transformación en templado por trefilado, intercalándose esta entre el tratamiento térmico de puesta en solución sólida y temple del hilo máquina y el tratamiento de revenido del hilo trefilado efectuándose estos tratamientos ya sea por cargas en horno estático o bien en continuo.

El trefilado es efectuado en templado, en un campo de temperatura que corresponde a las pequeñas velocidades de precipitación de Mg<sub>2</sub> Si, estando dicho campo de temperatura situado entre 110 y 180°C para aleaciones Al-Mg-Si de compo-

sición Fe: 0,15 - 0,35%, Si: 0,30 - 0,70%, Mg: 0,30 - 0,80%.

Un trefilado es efectuado a estas temperaturas, y con un grado de alargamiento superior al 350% ( $\frac{S - s}{s} \times 100 \geq 350\%$ , siendo S la sección inicial y s la sección final del hilo)

5 permite en efecto mejorar de forma sorprendente las características finales (pares R - P) obtenidas después del revenido final, merced a una más fina repartición de los constituyentes Mg<sub>2</sub>Si endurecedores que precipitan durante la operación de trefilado en templado, y merced a la eliminación,  
10 durante el trefilado en templado, de las zonas de GUINIER-PRESION formadas por maduración después del temple y que contribuyen fuértemente a la resistividad eléctrica, pero débilmente al endurecimiento estructural,

La entidad solicitante ha descubierto que, de forma  
15 sorprendente, la combinación de la adición de cobre a proporciones limitadas al 0,4% y preferentemente al 0,2% y del trefilado en templado permite acceder a niveles de características mecánicas y eléctricas finales muy elevadas sin tener que recurrir a proporciones excesivas en cobre que serían rescisorias para la trefilabilidad en las condiciones  
20 normales y para el buen comportamiento a la corrosión.

Además el trefilado en templado, habida cuenta del efecto sobre la precipitación estructural que provoca, permite la aplicación a los hilos trefilados de un tratamiento  
25 de revenido en continuo axialmente.

El trefilado en templado es efectuado a partir del hilo máquina según diferentes formas posibles, ya sea a partir de una bobina de hilo fría, entrando el hilo frío en la trefiladora o preferentemente precalentado axialmente hacia la  
30 temperatura de trefilado en templado, o bien a partir de un

bobina de hilo precalentado en horno a una temperatura inferior a la temperatura de trefilado en templado y que no puede exceder de 140°C, temperatura a la que se hace sentir un efecto notable de endurecimiento, lo que se traducirá por una trefilabilidad disminuida.

Un medio de realización del trefilado en templado consiste, por ejemplo, en trefilar el hilo en una máquina de múltiples resbalones o deslizamientos con cabrestantes en línea y funcionando en inmersión, siendo termoestataado el baño de lubricante a la temperatura de trefilado en templado y siendo regada la hilera por este mismo lubricante termoestataado. En este caso, la temperatura del lubricante se ajusta entre 110 y 180°C y preferentemente entre 130 y 160°C en función de las condiciones de trefilado (grado de batido o martillero, velocidad y, por consiguiente, tiempo de trefilado).

Después del trefilado en templado, el hilo es tratado térmicamente ya sea en horno estático, por carga, a temperaturas de consigna, comprendidas entre 130 y 170°C para tiempos comprendidos entre 30 minutos y 12 horas, o bien, preferentemente, en continuo a la salida de trefiladora en templado, a temperaturas de consigna comprendidas entre 180 y 240°C durante tiempos de mantenimiento comprendidos entre 1 y 30 segundos. Una forma de realización de dicho tratamiento térmico en continuo consiste, por ejemplo, en un paso por un horno de baño de aceite termoestataado, el cual permite además obtener el hilo perfectamente lubricado y por consiguiente muy apto para la operación ulterior de cableado.

Este tratamiento térmico final conduce a un efecto de restauración y provoca igualmente un efecto de precipitación

estructural de donde resultan:

- una ganancia de conductividad eléctrica,
- una restauración de la plasticidad (alargamientos a la ruptura y pliegues),

5 mientras que la resistencia mecánica de los hilos (resistencia a la ruptura permanece a un nivel elevado. Los ejemplos que siguen permitirán comprender mejor la puesta en práctica de la invención.

Ejemplo 1:

10 Se ha trefilado, de forma conocida, cuatro aleaciones A B C D que tienen las composiciones siguientes:

	Fe %	Si %	Cu %	Mg %
A	0,18	0,55	<0,008	0,66
B	0,18	0,57	0,05	0,70
15 C	0,18	0,58	0,20	0,69
D	0,20	0,56	0,53	0,67

El ciclo de transformación ha sido el siguiente:

- hilado con prensa de lingotes de 100 mm de diámetro que da un hilo máquina de 9,5 mm de diámetro;
- 20 - puesta en solución sólida del hilo máquina de 9,5 mm durante 3 h a 540°C,
- temple en agua fría;
- maduración de ocho días a la temperatura ambiente;
- trefilado en bloque monopasada al diámetro de 2,2
- 25 mm, a la temperatura ambiente, a la velocidad de 40 m por minuto;
- revenido final en horno estático a 165°C con dur-

ciones que van de 30 mn a 9 h.

En función de las duraciones de revenido, se han obtenido asociaciones carga de ruptura-resistividad variables para las que se pueden trazar curvas  $R = f(\rho)$ . Considerando únicamente el valor de resistividad  $\rho = 3,25 \mu \Omega \text{ cm}$  se tienen las cargas de ruptura siguientes:

Aleación A:	36,4 kg/mm <sup>2</sup>	$\rho = 3,25 \mu \Omega \text{ cm}$
B:	36,8 kg/mm <sup>2</sup>	"
C:	39,5 kg/mm <sup>2</sup>	"
D:	41,5 kg/mm <sup>2</sup>	"

Ejemplo 2:

Composición de la aleación : Fe:0,30 %, Si: 0,60 %, Mg: 0,64 %, Cu: 0,015 %.

Ciclo de transformación:

- colada y después laminado en continuo, en máquina PROPERZI, de un hilo máquina de 9,5 mm de diámetro;
- puesta en solución sólida del hilo máquina: 3 h a 540°C;
- temple en agua fría;
- maduración de 4 días a la temperatura ambiente;
- trefilado en bloque monopasada al diámetro de 2,2 mm a 4 temperaturas sucesivas;
  - . ambiente (aproximadamente 20°C)
  - . 110°C
  - . 140°C
  - . 160°C

Para el trefilado a 110 - 140 y 160°C, el hilo es puesto en temperatura antes de cada pasada por mantenimiento en un baño de aceite termoestableado, siendo igualmente calentada la hilera a la temperatura de trefilado.

- tratamiento de revenido final en estático a 165°C para duraciones de 1h a 7h.

Para las diferentes duraciones de revenido, se han obtenido asociaciones  $R - \rho$  variables, con ayuda de las cuales se pueden trazar para cada temperatura de trefilado curvas  $R = f(\rho)$ . Considerando únicamente el valor de resistividad  $\rho = 3,25 \mu \Omega \cdot \text{cm}$ , se tienen las cargas de rupturas siguientes:

10

Temperatura de trefilado °C	R kg/mm <sup>2</sup>	$\rho$ $\mu \Omega \cdot \text{cm}$
ambiente 20°	35,0	3,25
110°	37,7	"
140°	39,8	"
150°	38,9	"

15

Ejemplo 3

El hilo de diámetro 2,2 mm obtenido según el ejemplo 2, por trefilado a 140°C ha experimentado un revenido en continuo por paso en un baño de aceite calentado a diferentes temperaturas, 180°, 200° y 220°C, siendo la velocidad de paso tal que el tiempo de mantenimiento a la temperatura de revenido era de 15 segundos.

25

Las características obtenidas para las diferentes temperaturas de revenido y para el estado bruto de trefilado en templado son las siguientes:

5

Temperatura de revenido en °C	R kg/mm <sup>2</sup>	A <sub>200</sub> %	P μ Ω.cm
180°	39,1	4,5	3,255
200°	38,5	4,5	3,243
220°	37,4	4,5	3,228
Bruto de trefilado en templado	39,9	2,2	3,30

Ejemplo 4

10

Se ha trefilado en templado 3 muestras de hilo máquina de 9,5 mm de diámetro que corresponden a las composiciones A, B, C del ejemplo 1, que han sufrido el mismo proceso de transformación que en este ejemplo, a excepción del trefilado, efectuado a 140°C.

15

Al igual que en los ejemplos anteriores, se ha obtenido, según las condiciones de revenido, diferentes asociaciones R - P con ayuda de las cuales se pueden trazar para cada aleación una curva  $R = f(P)$  y se han retenido los valores de R que corresponden al valor de resistividad  $P = 3,25 \mu \Omega . cm$ .

Se han obtenido los resultados siguientes:

20

Aleación	R kg/cm <sup>2</sup>	A 200 %	P μ Ω.cm
A	40	5	3,25
B (0,05 % Cu)	40,5	5	3,25
C (0,2 % Cu)	42	5	3,25

Ejemplo 5

Se ha procedido en las mismas condiciones que para el ejemplo 4, pero se ha trefilado al diámetro de 3,45 mm, permaneciendo el resto de las cosas por lo demás idénticas, con los siguientes resultados:

Aleación	R kg/mm <sup>2</sup>	p u. n. cm
A	38,3	3,25
B	39,1	3,25
C	41	3,25

Ejemplo 6

Hilos de aleaciones A y C del ejemplo 1 (proporciones respectivas en Cu: < 0,008 % y: 0,20 %) transformados según el ejemplo 4, con trefilado en templado a 140°C seguido de un revenido en horno estático, han sufrido diferentes tratamientos térmicos que tienden a caracterizar la estabilidad térmica de las características mecánicas de los hilos y su resistencia a la deformación.

Se han medido las características mecánicas a 20°C, antes y después de calentamientos de 1h a 175 - 200 y 250°C, y de 100h a 125°C. Los resultados han sido los siguientes:

Recalentamiento	Aleación A		Aleación C	
	R kg/mm <sup>2</sup>	A 200 %	R kg/mm <sup>2</sup>	A 200 %
Nada	39,5	4,8	40,8	4,0
1 h a 175°C	37,1	5,7	40,2	4,0
1 h a 200°C	31,6	4,8	36,1	3,7
1 h a 250°C	21,7	4,5	25,7	4,5
100 h a 125°C	36,4	5,4	39,8	4,0

A título comparativo, los hilos de 2,2 mm del ejemplo 2, transformados según el arte anterior, con trefilado habitual a 20°C han dado los resultados siguientes:

5

Recalentamiento	R kg/mm <sup>2</sup>	A 200 %
Nada	35	5,5
1 h a 175°C	32,8	4,5
1 h a 200°C	28,5	4,0
1 h a 250°C	18,7	6,2
100 h a 125°C	33,6	6,3

10

Los mismos hilos, en aleaciones A y C, no recalentados, (línea "nada" del cuadro anterior) han sido sometidos a ensayos de deformación de 1000 horas a 60°C bajo un esfuerzo de 7,1 kg/mm<sup>2</sup>. Los alargamientos de deformación registrados son respectivamente de:

15

A:  $4,55 \cdot 10^{-2}$  mm en 125 mm es decir  $\xi \% = 3,64 \cdot 10^{-2} \%$

C:  $3,65 \cdot 10^{-2}$  mm en 125 mm es decir  $\xi \% = 2,92 \cdot 10^{-2} \%$

20

Para hilos de composición química próxima de la aleación A, transformada según los procedimientos usuales del arte anterior, los alargamientos de deformación obtenidos en las mismas condiciones de ensayos son generalmente de  $4 \cdot 10^{-2} \%$ .

Ejemplo 7

25

A partir de hilo máquina de  $\varnothing$  9,5 mm, obtenido por co-lada y laminado en continuo en máquina PROPERZI, en dos aleaciones de composición química:

30

	Fe%	Si%	Cu%	Mg%	Ti%
Aleación E	0,28	0,57	0,020	0,57	0,01
" F	0,28	0,54	0,10	0,56	0,01

y que han sufrido sucesivamente, en bobina de 1 t

- un tratamiento de puesta en solución sólida de 10 h a 540°C

- un temple en agua fría

5

- un tratamiento de secado de 6 h a 100°C

se ha efectuado un trefilado en templado en máquina de trefilar 4 pasadas, siendo la velocidad de salida de 100m/mn.

La temperatura de trefilado en templado era de 160°C.

10

El hilo entra frío en la máquina y es llevado a la temperatura de trefilado en templado por inmersión en el baño de lubricante termoestable a esta temperatura, estando a su vez sumergidas las hileras y los conos de la trefiladora en el lubricante.

15

El hilo de  $\varnothing 3,45$  mm obtenido en dos operaciones de trefilado en las condiciones anteriores ha sufrido a continuación diferentes tratamientos de revenido ya sea en horno estático o bien al paso por un baño de aceite.

20

Las características mecánicas de tracción y los valores de resistividad eléctricos obtenido en el estado bruto de trefilado en templado y después en revenido de 12 h a 150°C son por ejemplo los siguientes:

25

Aleación	Condiciones de revenido	R kg/mm <sup>2</sup>	A <sub>200</sub> %	P M.A.cm
E	Bruto de trefilado en templado	34,7	5,7	3,447
	Revenido 12h a 150°C	38,0	8,7	3,240
F	Bruto de trefilado en templado	35,6	5,3	3,480
	Revenido 12h a 150°C	39,0	8,5	3,240

30

Ejemplo 8

Hilo de  $\varnothing$  3,45 mm bruto de trefilado en templado obtenido en el ejemplo 7 para cada una de las dos aleaciones ha sufrido una tercera operación de trefilado en las mismas condiciones para llevarlo al diámetro 2,25 mm.

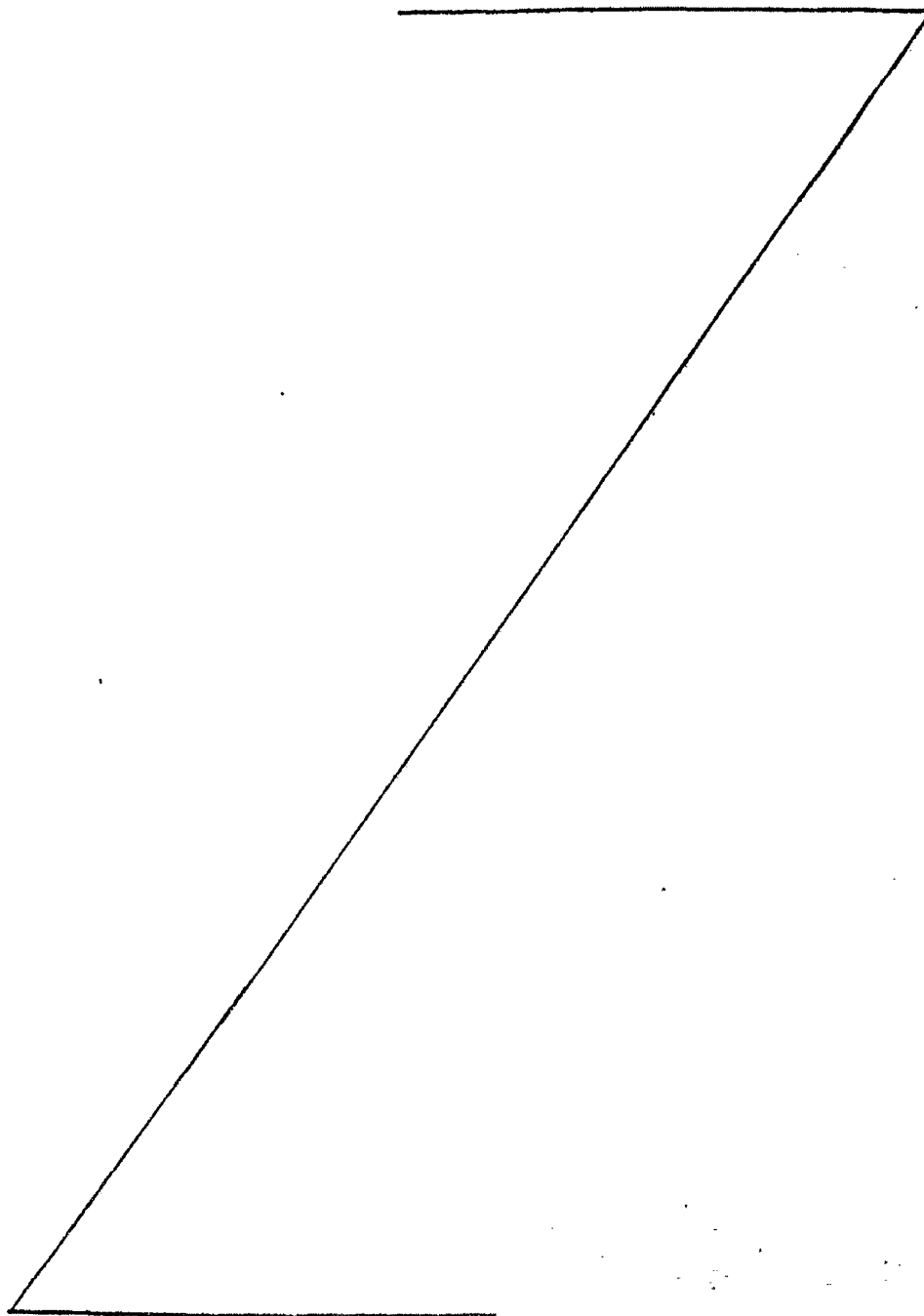
Este hilo ha sufrido igualmente los tratamientos de revenido del ejemplo 7, siendo las características mecánicas y eléctricas correspondientes por ejemplo:

Aleación	Condiciones de revenido	R kg/mm <sup>2</sup>	A <sub>200</sub> %	P μ.Ω.cm
E	Bruto de trefilado	37,1	5,1	3,414
	Revenido 12 h a 145°C (estático)	40,0	7,8	3,240
	Revenido 15 seco a 230°C (baño de aceite)	37,0	5,0	3,265
F	Bruto de trefilado	38,4	5,0	3,450
	Revenido 12 h a 145°C (estático)	41,0	8,0	3,240
	Revenido 15 seco a 230°C (baño de aceite)	37,5	5,0	3,270

Las asociaciones de características mecánicas y eléctricas obtenidas pueden ser ventajosamente comparadas con las que resultan de la transformación industrial clásica con trefilado a temperatura ambiente y que figuran en el ejemplo 2 relativo a una aleación de composición próxima de la de la aleación E, elaborada por colada y laminado PROPERZI y después trefilado al mismo diámetro después de temple a nivel de hilo máquina de  $\varnothing$  9,5 mm.

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.



REIVINDICACIONES

5 1ª.- Procedimiento de obtención de conductores eléctricos mejorados de aleaciones a base de aluminio, destinados en particular a la fabricación de cables aéreos, que  
10 comprenden de 0,15 % a 0,36 % de hierro, de 0,30 % a 0,70 % de silicio, de 0,30 % a 0,80 % de magnesio, una cantidad de cobre inferior a 0,40 % y preferentemente inferior a 0,20 % y las impurezas habituales del aluminio para aplicaciones  
15 eléctricas, caracterizado porque a partir del hilo de máquina que ha sufrido previamente un tratamiento de puesta en solución, y seguido de un temple en continuo o no, se efectúa el trefilado a una temperatura comprendida entre 110°C y 180°C y preferentemente entre 130°C y 160°C, con un grado de alargamiento al menos igual a 350 %, y porque se procede a  
20 continuación a un revenido a una temperatura comprendida entre 130° y 240°C.

2ª.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque el revenido es efectuado en horno estático, a una temperatura comprendida entre 130°C y 170°C, durante  
25 una duración comprendida entre 30 minutos y 12 horas.

3ª.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque el revenido es efectuado en continuo a una temperatura comprendida entre 180° y 240°C durante una duración  
comprendida entre 1 y 30 segundos.

4ª.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la asociación da una carga de ruptura al menos igual a 37 kg/mm<sup>2</sup>, un alargamiento a la ruptura al menos  
25 igual al 4 % y una resistividad eléctrica a lo sumo igual a 3,28 micro-ohms-centímetro.

5ª.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado

rizado porque comprende una resistencia a la deformación a 60°C durante 1000 horas inferior a  $4,0 \cdot 10^{-2} \%$  medida en un hilo de 2,2 mm de diámetro bajo un esfuerzo de 7,1 kg/mm<sup>2</sup>.

5

6ª.- Procedimiento de obtención de conductores eléctricos mejorados de aleaciones a base de aluminio, tal y como queda sustancialmente descrito en la presente Memoria.

Esta Memoria consta de 18 hojas, escritas a máquina por una sola cara.

Madrid

2 JUL 1977

10

SOCIETE DE VENTE DE L'ALUMINIUM PECHINEY

J. M. GOMEZ ACEBO Y POMBO  
D.º.º. Firma: Alejandro Calle López