



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 366 979**

51 Int. Cl.:

B21C 1/00 (2006.01)

B21C 23/08 (2006.01)

B21B 23/00 (2006.01)

C22F 1/00 (2006.01)

C22F 1/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07425533 .2**

96 Fecha de presentación : **14.08.2007**

97 Número de publicación de la solicitud: **2027947**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **25.02.2009**

54

Título: **Procedimiento para la producción de tubos de aleación para intercambiadores de calor utilizando endurecimiento por precipitación mediante extrusión bajo agua.**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:
27.10.2011

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
27.10.2011

73

Titular/es: **KME ITALY S.p.A.**
Via dei Barucci 2
50127 Firenze, IT

72

Inventor/es: **Ammannati, Niccolo;**
Martellucci, Elena y
Montessoro, Claudio

74

Agente: **Zea Checa, Bernabé**

ES 2 366 979 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la producción de tubos de aleación para intercambiadores de calor utilizando endurecimiento por precipitación mediante extrusión bajo agua.

Campo técnico

[0001] La presente invención se refiere a un procedimiento para la producción de tubos para intercambiadores de calor, en particular para aplicación en sectores de aire acondicionado y refrigeración, o más en general, para aplicaciones que requieren altas propiedades termomecánicas.

Esta de la técnica

[0002] En general, los tubos utilizados en sectores de ACR (Aire Acondicionado y Refrigeración) se producen a partir de aleaciones Cu-DHP (desoxidado con alto fósforo residual) sin oxígeno donde, para garantizar la desoxidación debe mantenerse un contenido de fósforo residual relativamente alto, normalmente entre un 0,015 y un 0,04%. La presencia de fósforo puede eliminar cualquier efecto de fragilidad en entornos reductores, y mejorar la deformabilidad plástica en frío y sobre todo aumentar la capacidad para la soldadura. Se ha demostrado por lo tanto que las aleaciones Cu-DHP son especialmente adecuadas para aplicaciones de trabajo con metales, donde las uniones deben ser mecánicamente estables. De hecho, en procesos de soldadura a menudo se utilizan desoxidantes precisamente para evitar que la superficie llegue a cubrirse con óxidos (cuya formación está inducida por el calor) lo cual dificulta una correcta copenetración del material de aleación añadido. De manera similar, si el cobre contiene oxígeno antes del procesamiento, la resistencia de la unión se verá comprometida. Por esta razón, el tipo de cobre utilizado para productos laminados para cubiertas y metalurgia, pero también para la producción de tubos para instalaciones de distribución de fluidos, es Cu-DHP. En particular, estas aleaciones se utilizan regularmente para tubos de fluidos de refrigeración, que actualmente utilizan HFC, habiéndose sustituido casi totalmente al CFC.

[0003] Sin embargo, las tendencias actuales en las políticas globales del medio ambiente (tales como las normas establecidas en el Protocolo de Kioto) quieren estimular el mercado en la dirección de otros fluidos refrigerantes menos dañinos para el medio ambiente, sobre todo en relación con las repercusiones a nivel mundial debido a los efectos de efecto invernadero. Sin embargo, desde un punto de vista operativo, estos fluidos de refrigeración requieren una mayor presión de trabajo.

[0004] El uso de tubos comunes de ACR en intercambiadores de calor que funcionan bajo estos niveles de presión de trabajo también provocan necesariamente un aumento considerable del grosor del tubo, con el aumento relativo de los costes de producción, sobre todo teniendo en cuenta el constante aumento de los precios de las materias primas en los últimos años. Además, un mayor grosor del tubo se traduce en una reducción de los coeficientes de intercambio, penalizando así la eficiencia del proceso de refrigeración global.

[0005] Este inconveniente se sigue dando, aunque en menor medida, incluso cuando se producen tubos de una manera adecuada para aumentar la eficiencia de intercambio térmico, tal como proporcionando una superficie interior corrugada adecuada en los tubos, mediante la aplicación de perfiles con geometrías relativamente complejas, lo cual aumenta la turbulencia del fluido en el interior de los tubos provocando coeficientes de intercambio más elevados. En particular, es posible producir perfiles que garanticen una excelente eficiencia de intercambio térmico mediante la impresión de la superficie plana de una tira con uno o más rodillos estriados. Esta solución puede proporcionar también estrías entrecruzadas.

[0006] A partir de este tipo de tira estriada es posible producir entonces un tubo con soldadura longitudinal adecuada.

[0007] Como alternativa, es posible mejorar las características mecánicas del tubo y al mismo tiempo limitar en gran medida el grosor del tubo necesario debido a la mayor presión de trabajo utilizando aleaciones con características mecánicas más resistentes.

[0008] Entre las aleaciones de cobre (o en cualquier caso, aquellas que presentan una alta conductividad térmica y eléctrica), y que presentan unas características de resistencia mecánica relativamente elevadas, se encuentran las aleaciones susceptibles de endurecimiento por precipitación, tal como las descritas en la patente EP-B-0399070.

[0009] Las aleaciones endurecibles por precipitación se procesan utilizando un tratamiento térmico específico que comprende una primera etapa de calentamiento a una temperatura lo suficientemente elevada como para provocar un tratamiento térmico en solución completa en el metal base del componente que hace que la aleación sea susceptible al endurecimiento (formación de una solución sólida); una segunda etapa de enfriamiento que puede ser

más corta o más larga, (endurecimiento por temple) en el que la solución sólida se somete a unas condiciones de sobresaturación y por lo tanto termodinámicamente metaestables, y una última etapa, para la envejecimiento, que crea la segregación de un precipitado, acompañado de una distorsión del entramado base que provoca un aumento considerable de las propiedades de endurecimiento. Entre las aleaciones que reaccionan de esta manera se encuentran los sistemas Cu-Fe-P y Cu-Fe-Ni-P, que pueden someterse a un tratamiento térmico adecuado para crear una gran mejora de las propiedades mecánicas en relación con las de cobre puro, a la vez que sus propiedades de conductividad eléctrica y térmica se mantienen prácticamente sin cambios.

[0010] Las propiedades mecánicas de las aleaciones endurecibles por precipitación de sistemas Cu-Fe-P y Cu-Fe-Ni-P dependen del tratamiento térmico específico al que se someten durante su preparación, y que está concebido para optimizar el desarrollo de la resistencia mecánica y la conductividad eléctrica y térmica. Su dureza y resistencia mecánica dependen de la etapa de endurecimiento por temple, así como el tratamiento de envejecimiento y precipitación. Además, la conductividad eléctrica crece durante el curso del tratamiento hasta que se alcanza un máximo, normalmente cuando se llega al estado de precipitado.

[0011] El uso de estas aleaciones para sustituir a las aleaciones de Cu-DHP para producir tubos utilizando soldadura longitudinal, tal como los que son a partir de una tira estriada, presenta ciertos inconvenientes. Debido a los elevados niveles de calor concentrado que se desarrollada con las técnicas de soldadura tradicionales, esto da lugar a un empeoramiento de las características termo-mecánicas de la aleación a lo largo del cordón de soldadura, donde podría producirse un nuevo tratamiento térmico en solución sobre el precipitado. Por esta razón, tal como se describe en la solicitud de patente japonesa nº JP 2002-108180, de acuerdo con la técnica existe un proceso para obtener tubos soldados producidos utilizando una aleación susceptible de endurecimiento por precipitación en el que el tubo primero se forma y se suelda utilizando una tira plana, y sólo después de este proceso se aplica un tratamiento térmico en solución, endurecimiento por temple y procesos de envejecimiento, en otras palabras, se trabaja sobre tubos que están sustancialmente acabados (o, posiblemente, sólo sometidos a uno o más procesos de estirado en frío). Sin embargo, este procedimiento consume elevadas cantidades de energía lo cual aumenta todavía más el coste del tubo acabado.

[0012] Además, es evidente que la formación de tubos directa a partir de aleaciones susceptibles de endurecimiento por precipitación, por ejemplo, mediante la extrusión tal como se describe en la solicitud de patente japonesa nº JP 2003-089378, también implica una serie de problemas prácticos que deben resolverse. En particular, el tratamiento térmico en solución es especialmente costoso y complejo de llevar a cabo a altas temperaturas, seguido del proceso de endurecimiento por temple para mantener el hierro y el fósforo en solución sólida con el cobre en las condiciones adecuadas desde el punto de equilibrio termodinámico, con el fin de inducir la precipitación.

[0013] La etapa de envejecimiento también, esencial para proporcionar al material la conductividad eléctrica necesaria y, sobre todo, las propiedades térmicas, también en este caso, provoca el consumo de una gran cantidad de energía, y la prolongación de los tiempos de producción.

[0014] Por lo tanto, uno de los objetivos de la presente invención es disponer un procedimiento de producción de tubos para intercambiadores de calor concebido para trabajar bajo los elevados niveles de presión dictados por el uso de nuevos fluidos térmicos, y que esté libre de los inconvenientes descritos anteriormente, y en particular, que resulte relativamente sencillo y económico de llevar a cabo, a la vez que proporcione tubos con un grosor relativamente reducido (para evitar una influencia negativa en los coeficientes de intercambio térmico), pero que presente una alta resistencia mecánica. Otro objetivo de la invención es disponer un procedimiento que presente las características mencionadas, capaz de utilizar aleaciones que ya están disponibles y que no requieren la creación de una aleación específica para este fin.

Descripción de la invención

[0015] De acuerdo con la presente invención, por lo tanto, se dispone un procedimiento de producción para tubos que tengan una alta resistencia mecánica y una elevada capacidad de intercambio térmico, en particular, para su aplicación en intercambiadores de calor, tal como se define en la reivindicación 1.

[0016] En las reivindicaciones dependientes se definen otros aspectos de la invención.

Breve descripción de las figuras

[0017] Se describe ahora una realización preferida de la invención, la cual se da simplemente a modo de ejemplo no limitativo, con referencia a las figuras en los dibujos que se adjunta, en los cuales:

La figura 1 muestra esquemáticamente una sección transversal de un depósito en el que bajo una presión hidrostática en un baño de agua se lleva a cabo la etapa b) de extrusión de un bloque precalentado de acuerdo con el procedimiento de la presente invención;

La figura 2 muestra otra sección transversal del depósito de la figura 1 que ilustra cómo una sección del bloque extruido y endurecido por temple se aleja del depósito para experimentar sucesivas operaciones de acuerdo con el procedimiento de la presente invención;

La figura 3 es un diagrama de bloques que muestra esquemáticamente una secuencia de las etapas de procesamiento sucesivas que forman el procedimiento de acuerdo con la presente invención.

10 Descripción detallada

[0018] El procedimiento de producción de tubos para intercambiadores de calor de acuerdo con la presente invención prevé, en primer lugar, la fusión de barras de cualquier tipo de aleación de metales que presente unas propiedades de altas conductividad térmica y eléctrica, y que sea susceptible de someterse a un proceso de endurecimiento por precipitación (envejecimiento), siendo una aleación seleccionada de sistemas Cu-Fe-P y Cu-Fe-Ni-P. Más preferiblemente, las barras se funden utilizando una aleación de sistemas Cu-Fe-P y Cu-Fe-Ni-P con una relación Fe/P entre 2,5 y 5.

[0019] Las barras se cortan sucesivamente en bloques para la siguiente operación de extrusión (por ejemplo, realizada a aproximadamente 900° C para una aleación de cobre de tipo KFC, en otras palabras, en aleación con Fe, P y, posiblemente, Ni), que permite que los elementos de aleación (sucesivamente) responsables del endurecimiento por precipitación, tales como el fósforo y el hierro, se dispongan completamente en solución en el bloque.

[0020] La extrusión se realiza utilizando un horno de calentamiento dentro del cual la temperatura entre la entrada y la salida aumenta progresivamente para proporcionar una pluralidad de zonas con diferentes temperaturas, preferentemente entre 600 y 1200 °C, más preferiblemente entre 700 y 1100 °C. El período de tiempo que el bloque se mantiene en el interior del horno es de aproximadamente una hora y media. De esta manera, los bloques se calientan (bloque 100 en la figura 3) a una temperatura igual o preferiblemente superior que la temperatura del tratamiento térmico en solución de la aleación de metales que se utiliza cada vez. La temperatura de los bloques a la salida del horno es por lo tanto entre 900 y 950 °C, preferiblemente entre 910 y 930 °C, mientras que la de la carcasa, (en otras palabras, la temperatura a la cual se mantiene el recipiente para evitar una amplitud térmica excesiva durante el proceso de extrusión) es igual a aproximadamente 430 °C. Este proceso de calentamiento permite que los elementos de aleación responsables del endurecimiento por precipitación, tales como el fósforo y el hierro se dispongan completamente en la solución del bloque.

[0021] De acuerdo con un aspecto de la presente invención, la extrusión (bloque 110 de la figura 3) se lleva a cabo con la salida de la pieza en bruto extruida en caliente, que presenta unas dimensiones predeterminadas, directamente bajo presión hidrostática en un baño de agua (figura 1), con el fin de garantizar una velocidad de enfriamiento extremadamente rápida, totalmente comparable a la obtenida utilizando procesos de endurecimiento por temple tradicionales. Como que la pieza en bruto de tubo extruida sale de la placa de trefilado a una temperatura mayor de 900 °C, a una velocidad de aproximadamente 450 mm/s, el baño de agua se mantiene adecuadamente a una temperatura no superior a 50 °C, lo que garantiza una velocidad de enfriamiento no menor de aproximadamente 40 °C/s.

[0022] Al mantener una presión hidrostática efectiva de por lo menos 300 mm por encima del tubo se garantiza el enfriamiento homogéneo del tubo, lo cual se asegura no sólo por la geometría del propio depósito y su posición respecto a la placa de trefilado de extrusión, sino también mediante el uso de un sistema de inyección de agua de alta presión que golpea el tubo extruido en una tangente que toca toda la superficie.

[0023] De este modo, gracias a su gran inercia térmica, el baño de agua enfría rápidamente la pared exterior de la pieza extruida, bloqueando en condiciones de no equilibrio termodinámico, el hierro y el fósforo antes solubilizados durante el calentamiento del bloque. Esto representa substancialmente un endurecimiento por temple por "tratamiento térmico en solución", en otras palabras, realizado por la velocidad de enfriamiento que es tal que provoca el mantenimiento en solución sólida de los elementos de aleación en la matriz de base de la aleación (Cu), incluso a temperatura ambiente, en condiciones de sobresaturación. En esta etapa del proceso puede producirse una segregación en parte de los elementos de aleación a través de etapas metaestables intermedias, y por lo tanto, durante los primeros instantes en la solución sólida se forman algunas zonas, que son más ricas en átomos de soluto que tienden a moverse hacia posiciones de mayor simetría, insertándose en los espacios del entramado. Esto provoca una distorsión del entramado, lo cual va acompañado de un aumento considerable del endurecimiento, pero por otro lado, también va acompañado de una disminución de la conductividad térmica y eléctrica.

[0024] La extrusión realizada con agua no requiere un proceso de tratamiento térmico en solución específico especial seguido de un proceso de endurecimiento por temple separado; realizando ambas operaciones al mismo tiempo se contribuye a un considerable ahorro de energía, y al mismo tiempo, permite controlar las características del material producido.

[0025] Después de esta etapa en el proceso de producción, las piezas en bruto de tubo extruidas obtenidas de este modo y sacadas del depósito (figura 2) se someten después a una serie de procesos tradicionales en frío tales como laminado y estirado (bloques 120 a 140 en la figura 3), para reducir gradualmente las dimensiones transversales (diámetro y grosor de la pared) y por lo tanto, también para aumentar la longitud, hasta que se han obtenido las dimensiones requeridas definitivas del tubo acabado.

[0026] Estas operaciones implican una deformación plástica muy fuerte, y por lo tanto, junto con la considerable reducción del diámetro exterior y el grosor del tubo, desde un punto de vista metalográfico, esto da lugar a un fuerte efecto de endurecimiento que puede notarse en una mayor dureza del material.

[0027] Después de la etapa de laminado en frío (bloque 120), las piezas en bruto laminadas experimentan una etapa de estirado recto (estirado recto, bloque 130 en la figura 3), con otra reducción del diámetro exterior y grosor, sin embargo, no acompañada por un aumento adicional de la dureza. El laminado, considerado como la etapa más difícil en el proceso, endurece el material hasta tal punto de que la sucesiva deformación plástica provocada por el estirado no le confiere aumentos sustanciales a los niveles de dureza alcanzados al final de la etapa de procesamiento anterior.

[0028] La última etapa del proceso de deformación plástica en frío para la producción de tubos industriales incluye múltiples etapas de estirado giratorio (estirado giratorio, bloque 140 de la figura 3), en el que a los productos semiacabados estirados se les da las dimensiones finales preestablecidas (diámetro y grosor). Esta etapa del proceso también provoca un aumento de la dureza del material, aunque por lo general este incremento no es significativo.

[0029] De acuerdo con el procedimiento de la presente invención, el tubo laminado y estirado, que ha alcanzado ahora sustancialmente sus dimensiones definitivas, se somete ahora a un tratamiento térmico de distensión, que no sólo implica recristalización, sino también el llamado proceso de "envejecimiento". De acuerdo con una característica del procedimiento de acuerdo con la invención, esta etapa final de tratamiento térmico "inevitable" se realiza por lo tanto al final del ciclo de producción, seleccionando la temperatura y la duración de la operación de cristalización adecuadamente para provocar el proceso de envejecimiento de materiales con la consecuente precipitación de compuestos intermetálicos en los bordes de los granos de la matriz como consecuencia de la "movilización", provocada por este tratamiento térmico y el sucesivo enfriamiento lento de los elementos de aleación previamente dispuestos en solución sólida en condiciones de sobresaturación. Este último tratamiento térmico facilita, por lo tanto, la precipitación en una forma semicoherente con la matriz de las partículas FeP_2 Fe_2P y por lo tanto se inicia la verdadera acción de endurecimiento por precipitación.

[0030] Este proceso de envejecimiento también determina sobre todo, al mismo tiempo, un aumento de la conductividad eléctrica y térmica de la aleación, una propiedad que claramente es deseable en un tubo destinado para su uso en intercambiadores de calor, y al mismo tiempo induce una mejora de aproximadamente un 25% de las propiedades mecánicas.

[0031] Preferiblemente, de acuerdo con el procedimiento de la presente invención, el proceso de recristalización y envejecimiento se lleva a cabo, por ejemplo, en un horno (horno de túnel), a una temperatura entre 500 y 650 °C durante un período de tiempo entre 1,5 y 3 horas. Más preferiblemente, este proceso se realiza a una temperatura de 575 °C durante 2,5 horas.

[0032] Otras características de la invención serán claras a partir de la descripción del ejemplo práctico de realización.

EJEMPLO 1

Se prepararon 2 barras que pesaban aproximado 4000 kg cada una en una aleación KFC.

[0033] La Tabla 1 muestra los datos relativos al porcentaje de la composición (elementos de aleación Fe y P, e impurezas) de las aleaciones utilizadas para la realización de CO_2 de los tubos de intercambiadores de calor de acuerdo con el procedimiento de la presente invención.

Tabla 1 - Porcentaje de la composición de las aleaciones utilizadas para la realización de CO₂ de tubos de intercambiadores de calor de acuerdo con el procedimiento de la presente invención.

Aleación	% Fe p/p	% P p/p	% Ni p/p	% Cu p/p	% Pb p/p	% SN p/p
Bloque A	0,1521	0,0391	0,0048	resto	0,0042	0,0042
	0,1459	0,0361	0,0048	resto	0,0038	0,0033
	0,1392	0,0317	0,0046	resto	0,0031	0,0032
Bloque B	0,1636	0,0386	0,0051	resto	0,0036	0,0034
	0,1479	0,0372	0,0047	resto	0,0035	0,0031
	0,1454	0,0324	0,0049	resto	0,0032	0,0033

5 [0034] Las barras se cortaron entonces en bloques de 305 mm de diámetro y 680 mm de longitud, para la operación de extrusión sucesiva. A partir de las barras se cortaron 3 discos de aproximadamente 10 mm de grosor para llevar a cabo la denominada "prueba de la calota" al principio, en el centro y al final de la barra. El material resistió todas las pruebas sin mostrar signos de fractura o hundimiento, incluso en la zona central que es la parte sometida a unas mayores tensiones durante las pruebas.

10 [0035] La horno de calentamiento utilizado para la extrusión incluye 11 zonas donde la temperatura se establece de acuerdo con el diagrama que se muestra en la tabla 2. El período de tiempo estándar dentro del horno es de aproximadamente 1,5 horas.

15 Tabla 2 – Diagrama esquemático de zonas del horno de túnel utilizado para el calentamiento de bloques para la extrusión, y las temperaturas relativas de las zonas.

Zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Temp.[°C]	700	700	734	843	887	921	955	1000	1020	1020	1020

20 [0036] A la salida del horno se midieron los principales parámetros de extrusión de cada bloque, y en particular, la temperatura del bloque, la temperatura del depósito (en otras palabras, la temperatura a la cual debe mantenerse constante el recipiente para evitar una excesiva amplitud térmica durante la extrusión), la presión del plato de perforación, la presión de empuje de extrusión (en otras palabras, la presión máxima que se alcanza durante la extrusión individual) y la presión final respecto a la presión de trabajo durante la operación de extrusión.

25 Tabla 3 – Parámetros principales de extrusión de bloques tomados de barras de aleación KFC, de acuerdo con el procedimiento de la presente invención.

Nº extruida	pieza	T bloque [°C]	T carcasa [°C]	P plato [bar]	P empuje [bar]	P final [bar]
1		930	429	90	277	233
2		930	429	91	255	233
3		925	429	91	267	230
4		925	429	91	276	236
5		918	429	95	299	230
6		917	429	96	299	242
7		912	429	104	290	240
8		916	429	97	294	241

9	918	429	98	301	243
10	917	430	94	299	235
11	917	429	96	305	228
12	915	429	103	291	240
13	916	429	96	308	239
14	922	431	95	299	234
15	920	431	102	287	222
16	920	431	95	305	230

5 [0037] A partir de los resultados mostrados en la Tabla 3, se observó que la temperatura del bloque generalmente se encuentra entre 910 y 930 °C, mientras que la de la cáscara se mantiene prácticamente constante e igual a aproximadamente 430 °C. Los valores registrados en general son comparables a los que normalmente se dan durante la extrusión de bloques de Cu DHP. Se realizó de nuevo un análisis químico en anillos extruidos tomados del extremo de cada pieza extruida. Los resultados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4 – Análisis químico realizado sobre cada pieza extruida

Nº pieza extruida	Fe	P	Zn	Ni	Pb	Sn	Ag	Fe/P
	[ppm]	-						
1	1480	346	5	41	8	< 1	71	4,28
2	1403	332	2	43	10	< 1	75	4,22
3	1332	318	6	42	14	2	73	4,19
4	1452	360	4	40	15	< 1	69	4,03
5	1363	325	8	43	16	2,8	72	4,49
6	1474	367	9	45	21	< 1	71	4,02
7	1376	333	1	42	14	< 1	70	4,13
8	1428	352	8	42	14	< 1	75	4,06
9	1450	356	4	43	18	< 1	72	4,07
10	1380	337	< 1	42	14	< 1	71	4,09
11	1372	333	< 1	40	8	< 1	76	4,12
12	1459	368	8	44	10	< 1	72	3,96
13	1282	310	8	43	15	< 1	73	4,14
14	1445	369	11	41	7	< 1	70	3,92
15	1451	368	3	42	14	< 1	72	3,94
16	1334	306	4	43	15	< 1	73	4,36

10

[0038] La extrusión se llevó a cabo bajo agua: la pieza en bruto de tubo extruida a la salida de la placa de trefilado discurre sobre un banco de grafito a una velocidad de 450 mm por segundo y llega a un depósito de agua con un

5 volumen de 55 m³ que se mantiene a una temperatura constante de 45 °C. Esto permite que el tubo extruido pase de una temperatura de aproximadamente 900 °C a 80 °C en aproximadamente 20 segundos (velocidad de enfriamiento de aproximadamente 40 °C/s). El enfriamiento homogéneo del tubo, que se mantiene constantemente a 300 mm bajo la superficie del agua, se garantiza aún más por un sistema de inyección de agua a alta presión que golpea el tubo en una tangente que toca toda la superficie. Con este sistema se produce un enfriamiento rápido (endurecimiento por temple) que bloquea en condiciones termodinámicamente metaestables el hierro y el fósforo disueltos durante la acción de calentamiento. De esta manera no es necesario un tratamiento térmico en solución específica *ad hoc*, seguido de una etapa de endurecimiento por temple separada. La eficacia de la extrusión bajo agua con el fin de obtener el tratamiento térmico en solución de la aleación KFC se controló indirectamente a través de la medición de la conductividad eléctrica. De hecho, debido a la distorsión del entramado inducida, la presencia de solutos dentro del entramado cristalino del cobre reduce fuertemente la conductividad eléctrica de la aleación. Sin embargo, se espera que la misma conductividad eléctrica comience a aumentar de nuevo tras el proceso de precipitación sucesivo (envejecimiento) durante el cual el hierro y el fósforo se combinan para formar precipitados semicoherentes con la matriz. Por lo tanto, el entramado cristalino ya no se distorsionaría y la conductividad esperada debe resultar lo más cercana a los niveles de Cu DHP (en torno al nivel esperado igual a un 85% IACS).

10 [0039] La tabla 5 resume los niveles de % IACS promedio de la conductividad eléctrica medida utilizando Sigmatest D 2.068 (Foerster). Éstos oscilaron entre un 47 y un 51% IACS, lo que confirmó la eficacia de la extrusión bajo agua para obtener el tratamiento térmico en solución de hierro y fósforo en la matriz de cobre. En particular, cabe destacar que los niveles más bajos de conductividad eléctrica se produzcan cuando se den las concentraciones de hierro y fósforo más elevadas. La misma tabla también muestra los niveles de dureza a una carga reducida de HV 500g/15" medida sobre la sección transversal pulida de las mismas muestras.

25 Tabla 5 – Conductividad eléctrica y dureza a una carga reducida HV 500g/15" medida sobre las piezas extruidas.

Nº pieza extruida	Fe [ppm]	P [ppm]	Fe/P	% IACS	HV 500g/15"
1	1480	346	4,28	48,6	54,7
2	1403	332	4,22	48,29	54,9
3	1332	318	4,19	49,98	55,4
4	1452	360	4,03	47,28	51,8
5	1363	325	4,49	49,84	54,9
6	1474	367	4,02	48,09	55,35
7	1376	333	4,13	49,41	61,7
8	1428	352	4,06	48,86	56,2
9	1450	356	4,07	48,52	61,2
10	1380	337	4,09	48,66	56,1
11	1372	333	4,12	49,24	51,1
12	1459	368	3,96	48,72	62,7
13	1282	310	4,14	50,59	58,3
14	1445	369	3,92	48,57	63,6
15	1451	368	3,94	48,48	52,95
16	1334	306	4,36	50,05	49,3

30 Se tomaron unas muestras de ensayo metalográficas en sección transversal de las muestras de la pieza en bruto de tubo extruida del final de la pieza, para realizar pruebas metalográficas tras un ataque químico utilizando una solución de amoníaco y peróxido de hidrógeno. Tal como es conocido en la técnica anterior, cuando se calienta fósforo que contiene cobre a una temperatura elevada (900 °C) en un entorno oxidante, el oxígeno se difunde desde

el exterior hacia el interior de la matriz, y la difusión del fósforo se produce en dirección opuesta. El resultado es la formación de partículas compuestas de $\text{Cu}_2\text{O} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ que se distribuyen de manera uniforme en la matriz de cobre. La profundidad de la formación de esta capa depende proporcionalmente de la temperatura y el tiempo que se mantenga.

5 [0040] Además, aunque la capa de protóxido y de óxido de cobre formada sobre la superficie del bloque es fácil de eliminar por "desincrustación" que se realiza utilizando agua a alta presión, la capa de difusión del oxígeno y la consecuente dispersión de los precipitados del $\text{Cu}_2\text{O} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ no pueden eliminarse utilizando el mismo procedimiento, ya que se encuentra intrínsecamente conectada a la matriz metálica. Por otro lado, si la eliminación del revestimiento se realiza en unas condiciones óptimas, la capa oxidada puede eliminarse por completo, ya que se elimina un grosor uniforme de material. El diámetro medio de los granos del tubo extruido se midió mediante un análisis metalográfico sobre secciones de la pieza extruida. Los niveles, que oscilan entre 120 y 150 μm , corresponden a los que generalmente se encuentran en las muestras de Cu DHP.

15 [0041] El ciclo de producción continuó con la etapa de laminación en frío, realizada solamente en una parte de las piezas en bruto de tubo extruidas, seleccionadas para crear una muestra que representa el intervalo total de niveles de las relaciones Fe/P disponibles, y en particular sobre las piezas extruidas al final de este intervalo (Fe/P = 3,92 y Fe/P = 4,36). El laminador se estableció a 70 carreras por minuto, con un recorrido de 11,11 mm y un giro de 60° para cada carrera. A la salida del laminador el tubo presentaba un diámetro interior de 40,5 mm, un diámetro exterior de 45 mm, un grosor de 2,25 mm y un peso de 2693 g/m.

[0042] El laminado provocó un endurecimiento considerable desde un punto de vista metalográfico, con una variación de la dureza para la pieza extruida nº 14 medida de 63,6 HV 500g/15" (véase Tabla 5) a 127,7 HV 500 g/15", y la pieza extruida nº 16 de 49,3 HV 500g/15" (Tabla 5) a 126,6 HV 500g/15".

25 [0043] Después de la etapa de laminación en frío, las piezas laminadas fueron estiradas con oruga para obtener tubos semielaborados con las siguientes características: 31,4 mm de diámetro interior, 35,26 mm de diámetro exterior, 1,93 mm de grosor y 1801 g/m de peso.

30 Tabla 6 – Niveles de celda de carga medidos durante el estirado recto realizado sobre tubos KFC de acuerdo con la invención y sobre tubos Cu DHP (para comparación)

Nº de pieza extruida	Celda de carga [kg]
9	6650
11	6580
12	6650
13	6590
14	6540
15	6590
16	6580
Cu DHP (1)	6340
Cu DHP (2)	6300

35 [0044] La Tabla 6 muestra los niveles medidos por la celda de carga para cada tubo semiacabado estirado, junto con determinados niveles medidos para tubos de Cu DHP estirados utilizando la misma configuración operativa que la utilizada para los tubos KFC. Tal como puede apreciarse, la fuerza necesaria para estirar el cobre DHP es de unos 300 kg menos que la requerida para estirar tubos KFC. Esto es una confirmación más de la dureza obtenida mediante la solución del hierro y el fósforo en la matriz de cobre, lo cual aumenta la resistencia a la deformación plástica de la aleación. Sin embargo, las diferencias son pequeñas y se encuentran dentro del intervalo de trabajo normal en la instalación.

40 [0045] La última etapa del proceso para la producción de tubos industriales implica 7 etapas de estirado giratorio para obtener el diámetro final preestablecido de 9,52 X 0,45 mm. Tras el estirado giratorio se registró, aunque leve, un nuevo aumento de la dureza, y se midió a aproximadamente 5-10 HV 500g/15".

5 [0046] Una vez que las medidas geométricas han alcanzado los niveles predeterminados, el tratamiento térmico del tubo estirado también realiza la función de precipitar las partículas de FeP_2 y Fe_2P en forma semicoherente con la matriz, provocando el endurecimiento. Por lo tanto, para identificar las condiciones que puedan garantizar la obtención de una matriz metálica bien recristalizada y alcanzarse las condiciones de envejecimiento según se requiera, se realizaron unas pruebas isócronas en un horno de mufla durante un período de tiempo de 2,5 horas a temperaturas cada vez mayores a partir de 525 °C (en otras palabras, la temperatura generalmente utilizada para recocido de cobre DHP).

10 [0047] Las muestras sometidas a pruebas isócronas a diferentes temperaturas también se sometieron a un análisis metalográfico con el fin de evaluar la morfología de la estructura cristalina obtenida y compararla con la de un tubo de Cu DHP envejecido bajo las mismas condiciones. Los resultados de estos análisis se muestran en la tabla 7.

15 Tabla 7- Resultados relativos a la morfología (un análisis metalográfico) de muestras de tubo KFC de acuerdo con la invención y tubos de Cu DHP tras las pruebas isócronas para recocido/recristalización.

T [°C]	Morfología: Cu DHP	Morfología: Cu KFC
525	Grano bien recristalizado, tamaño de grano 35 μm	Estructura extremadamente fina, tamaño de grano 12,5 μm
550	Estructura recristalizada, tamaño de grano 37,5 μm	Estructura recristalizada, tamaño de grano 12,5 μm
575	Estructura recristalizada, tamaño de grano 40 μm	Estructura recristalizada, tamaño de grano 15 μm
600	Estructura recristalizada, tamaño de grano 45 μm	Estructura recristalizada, tamaño de grano 17 μm
625	Estructura recristalizada, tamaño de grano 60 μm	Estructura recristalizada, tamaño de grano 20 μm

20 [0048] El distinto comportamiento de una aleación KFC respecto a la de Cu DHP puede explicarse tanto por el endurecimiento de las partículas que crean un obstáculo, no sólo para el movimiento de dislocación, sino también para el del borde del grano, como por la presencia del hierro todavía disuelto en la matriz metálica que, tal como es conocido, aumenta la temperatura de recristalización. Esto significa que para obtener un grano con un tamaño que sea comparable con el del Cu DHP la temperatura de recristalización debe aumentar.

25 Tabla 8 – esquema sinóptico de los resultados de las pruebas de recocido sobre los tubos KFC de acuerdo con la invención y los tubos Cu DHP (comparación) f 9,52 x 0,45 mm

Aleación	Tratamiento térmico	Diámetro de grano medio [μm]	HV/300/15"	&IACS
KFC (pieza extruida 14)	endurecido	-	142,4	n.d.
	2,5 h a 525 °C	12,5	74,7	n.d.
	2,5 h a 550 °C	12,5	71,9	n.d.
	2,5 h a 575 °C	15	68,1	n.d.
	2,5 h a 600 °C	17,5	64,8	n.d.
	2,5 h a 625 °C	20	63,7	n.d.
KFC (pieza extruida 16)	Endurecido	-	135,95	49,6
	2,5 h a 525 °C	12,5	71,7	88,8
	2,5 h a 550 °C	12,5	68,6	86,7

	2,5 h a 575 °C	15	64	83,7
	2,5 h a 600 °C	17,5	63,9	81,2
	2,5 h a 625 °C	20	63,05	78,5
Cu DHP	Endurecido	-	127,2	85
	2,5 h a 525 °C	35	51,3	88
	2,5 h a 550 °C	37,5	47,6	n.d.
	2,5 h a 575 °C	40	42,8	n.d.
	2,5 h a 600 °C	45	n.d.	n.d.
	2,5 h a 625 °C	60	n.d.	n.d.

- 5 [0049] Estos ensayos demostraron que es posible llevar a cabo tanto la recristalización como el envejecimiento de la aleación de KFC al mismo tiempo. De hecho, la conductividad eléctrica aumenta un 50% IACS de la muestra endurecida hasta un nivel de aproximadamente un 80% IACS, lo que indica la salida del hierro y el fósforo de la solución sólida con el cobre para formar precipitados semicoherentes de Fe_2P y FeP_2 . El examen de los valores de la Tabla 8 muestra que la mejor solución de compromiso parece ser un tratamiento térmico a 575 °C durante 2,5 horas (conductividad eléctrica 83,7% IACS y tamaño del grano cristalino igual a 15 μm).

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para la producción de un tubo que presenta una gran resistencia mecánica y una elevada capacidad de intercambio térmico, en particular, para la aplicación en intercambiadores de calor, que comprende las siguientes etapas:
- 10 a) producir un bloque en una aleación seleccionada del grupo que consiste en sistemas Cu-Fe-P y Cu-Fe-Ni-P susceptibles de endurecimiento por precipitación y que presentan una conductividad térmica adecuada;
- 15 b) extruir en caliente dicho bloque, previamente calentado, directamente bajo presión hidrostática en un baño de agua para formar una pieza en bruto de tubo extruida que presenta unas dimensiones predeterminadas, en el que la temperatura de dicho baño de agua no es mayor de 50 °C y la presión hidrostática efectiva de dicho baño de agua por encima de dicho tubo es por lo menos 300 mm, de manera que la velocidad de enfriamiento del tubo extruido no es menor de 40 °C/s;
- 20 c) someter la pieza en bruto de tubo extruida a una serie de procesos de deformación mecánica en frío para reducir las dimensiones transversales y consecuentemente para obtener un tubo que presenta unas dimensiones substancialmente definitivas; y
- d) someter el tubo a un proceso de recocido realizado a una temperatura entre 500 y 650 °C durante un período de tiempo de 1,5 a 3 horas para determinar la dureza del tubo por precipitación de por lo menos parte de los elementos de aleación contenidos en dicha aleación y dispuestos en solución sólida en la etapa de extrusión.
- 25 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que dicha etapa c) de someter la pieza en bruto de tubo extruida a una serie de procesos de deformación mecánica en frío comprende las siguientes etapas:
- e) laminar en frío la pieza en bruto de tubo extruida para obtener una pieza en bruto laminada que presenta unas dimensiones transversales reducidas y por lo tanto presenta una mayor longitud;
- f) someter la pieza en bruto laminada a estirado recto para obtener un tubo semiacabado;
- 30 g) someter el tubo semiacabado a un estirado giratorio para reducir las dimensiones transversales y por lo tanto obtener dicho tubo con unas dimensiones sustancialmente definitivas.
- 35 3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado por el hecho de que dicha etapa de someter el tubo a un proceso de recocido se lleva a cabo dentro de un horno de túnel.
- 40 4. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que para realizar la etapa a) se selecciona una aleación de metales que es susceptible de endurecimiento por precipitación en el que el contenido en peso de Fe se encuentra entre 800 y 1500 ppm, el contenido en peso de P se encuentra entre 250 y 500 ppm y el contenido en peso de Ni se encuentra entre 100 y 20000 ppm.
- 45 5. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado por el hecho de que dicha aleación de metales presenta una relación en peso Fe/P entre 2,5 y 5.
6. Procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado por el hecho de que dicha aleación de metales presenta una relación en peso Fe/P igual a 4.
- 50 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que dicha etapa de extrusión b) se realiza a una temperatura igual o superior a la temperatura del tratamiento térmico de solución de dicha aleación de metales de la cual está formada el bloque.
- 55 8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que dicho bloque se precalienta utilizando un horno de calentamiento dentro del cual la temperatura aumenta progresivamente de una entrada a una salida de dicho horno, formándose en el interior de dicho horno una pluralidad de zonas cada una presentando una temperatura entre 600 y 1200 °C.
- 60 9. Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado por el hecho de que dichas zonas de dicha pluralidad de zonas cada una presenta una temperatura de entre 700 y 1100 °C.
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 8 o 9, caracterizado por el hecho de que la temperatura de dicho bloque a la salida del citado horno de calentamiento e inmediatamente antes de dicha etapa de extrusión en caliente b) se encuentra entre 900 y 950 °C.

11. Procedimiento según la reivindicación 10, caracterizado por el hecho de que la temperatura de dicho bloque a la salida del citado horno de calentamiento e inmediatamente anterior a dicha etapa de extrusión en caliente b) se encuentra entre 910 y 930 °C.
- 5 12. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que dicha etapa de recocido d) se realiza a una temperatura de aproximadamente 575 °C durante 2,5 horas.

FIG. 1

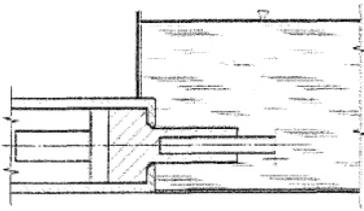


FIG. 2

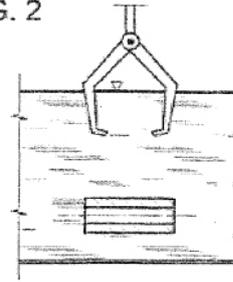


FIG. 3

