

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 633 026**

51 Int. Cl.:

**C22C 21/12** (2006.01)

**C22F 1/057** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.01.2015** E 15151960 (0)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.05.2017** EP 3048179

54 Título: **Procedimiento para la fabricación de piezas fundidas de forma compleja y pieza fundida que se compone de una aleación de AlCu**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**18.09.2017**

73 Titular/es:

**NEMAK, S.A.B. DE C.V. (100.0%)**  
**Libramiento Arco Vial Km. 3.8**  
**66000 García, Nuevo León, MX**

72 Inventor/es:

**RAFETZEDER, MICHAEL**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 633 026 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 fabricación de piezas fundidas de forma compleja y pieza fundida que se compone de una aleación de AlCu

5 La invención se refiere a un procedimiento para la fabricación de piezas fundidas de forma compleja a partir de una aleación de AlCu.

10 Cuando en el presente documento se dan datos con respecto a los contenidos de elementos de aleación, estos se refieren en cada caso al peso de la aleación en cuestión, siempre que no se indique expresamente lo contrario.

15 Las piezas fundidas que se componen de aleaciones de AlCu del tipo mencionado en el presente documento presentan resistencias especialmente altas, sobre todo a temperaturas de uso elevadas de más de 250 °C. No obstante, a esto se oponen las malas propiedades de fundición que dificultan la generación técnica de fundición de elementos constructivos, que se caracterizan por un moldeado complejo.

20 Ejemplos típicos de piezas fundidas de este tipo son culatas adecuadas para motores de combustión interna, que, por un lado, están expuestos a altas temperaturas en el uso práctico y, por otra parte, tienen una forma constructiva compacta, en la que están moldeados elementos de forma configurados como filigrana, tales como canales de refrigeración y de aceite, entalladuras, nervios, guías y similares.

25 Un problema esencial en el procesamiento de aleaciones de AlCu esencialmente libres de Si resulta de su alta propensión al agrietamiento en caliente y un comportamiento de realimentación, que es claramente peor que en el caso de las aleaciones de AlSi convencionales.

30 Por el documento WO 2008/072972 A1 se conoce un procedimiento para la fabricación de piezas fundidas de forma compleja a partir de una aleación de AlCu, que se compone de (en % en peso) el 2 - 8 % de Cu, el 0,2 - 0,6 % de Mn, el 0,07 - 0,3 % de Zr, hasta el 0,25 % de Fe, hasta el 0,3 % de Si, el 0,05 - 0,2 % de Ti, hasta el 0,04 % de V y como resto Al e impurezas inevitables, no ascendiendo la suma de los contenidos en las impurezas a más del 0,1 %. La presencia de Zr se atribuye a este respecto a una especial importancia con respecto a la generación de una estructura fina con tamaños de grano de como máximo 100 µm.

35 Para mejorar la finura de la estructura de pieza fundida, durante la realización del procedimiento conocido de una masa fundida compuesta de manera correspondiente puede añadirse, adicionalmente antes de la colada, un agente de refinamiento del grano, tal como por ejemplo TiC a una dosificación de habitualmente 2 kg por tonelada de masa fundida. La pieza fundida obtenida tras la fundición y solidificación se somete a un tratamiento térmico en el que se recuece en disolución en primer lugar a 530 - 545 °C. Desde la temperatura de recocido de disolución se enfría de manera acelerada la pieza fundida por medio de agua o en la corriente de aire, considerándose ventajoso en particular el enfriamiento brusco con agua con respecto a la alta resistencia pretendida, sin embargo, el enfriamiento en la corriente de aire se recomienda para el caso de que la pieza fundida, a consecuencia de su moldeado complejo, con un enfriamiento más rápido, tienda a la formación de grietas. Después del enfriamiento brusco, se mantiene la pieza fundida durante un periodo de 3 - 14 horas a una temperatura de 160 - 240 °C, para aumentar la dureza de la estructura.

45 Ensayos para la realización práctica del procedimiento conocido han mostrado que, si bien la aleación conocida presenta ventajas con respecto a las propiedades de materiales, que son interesantes en particular para la generación técnica de fundición de culatas para motores de combustión interna. Sin embargo, en el marco de la escala industrial no se consigue generar, con la seguridad de funcionamiento necesaria, con el procedimiento conocido a partir de esta aleación, piezas fundidas que soporten los requisitos que se les plantean en el uso práctico.

50 De este modo, se ha mostrado que el tamaño de grano de las piezas fundidas obtenidas en cada caso, oscila en realidad extremadamente en función de la pieza de fundición. De este modo pudo establecerse por ejemplo, en un espécimen muy grande, que se ha solidificado muy lentamente, un tamaño de grano medio de aproximadamente 100 µm. Sin embargo, si de este espécimen se separa un fragmento más pequeño, se funde de nuevo y se deja solidificar entonces de nuevo muy lentamente, entonces aparecen, a pesar de la rápida velocidad de solidificación, contra lo esperado, tamaños de grano de 500 - 900 µm. Las piezas fundidas con una estructura gruesa de este tipo son totalmente insuficientes para la aplicación a la que va dirigido el procedimiento en cuestión.

60 Sobre la base del estado de la técnica, existía por lo tanto el objetivo de mostrar un procedimiento que permita de manera práctica, de funcionamiento seguro, la generación de piezas fundidas a partir de una aleación de AlCu del tipo conocido.

65 En referencia al procedimiento, la invención ha conseguido este objetivo por que en la fabricación de piezas fundidas a partir de una aleación de AlCu, se cumplen las etapas de trabajo indicadas en la reivindicación 1.

Configuraciones ventajosas de la invención están indicadas en las reivindicaciones dependientes y se explican en detalle a continuación como la idea general de la invención.

5 Un procedimiento de acuerdo con la invención para fundir piezas fundidas de forma de filigrana comprende en consecuencia las siguientes etapas de trabajo:

a) fundir una aleación de AlCu, que se compone de (en % en peso)

10 Cu: 6 - 8 %,  
Mn: 0,3 - 0,55 %,  
Zr: 0,15 - 0,25 %,  
Fe: hasta el 0,25 %,  
Si: hasta el 0,125 %,  
15 Ti: 0,05 - 0,2 %,  
V: hasta el 0,04 %,  
el resto Al e impurezas inevitables;

20 b) mantener la masa fundida a una temperatura de espera que asciende a 730 - 810 °C durante un periodo de espera de 4 - 12 horas;

c) mezclar la masa fundida;

d) retirar una porción de masa fundida de la masa fundida;

25 e) colar la porción de masa fundida retirada de la masa fundida dando la pieza fundida;

f) recocer en disolución la pieza fundida a una temperatura de recocido de disolución que asciende a 475 - 545 °C durante un periodo de recocido de disolución de 1 - 16 horas;

30 g) enfriar bruscamente la pieza fundida desde la temperatura de recocido de disolución hasta una temperatura de parada del enfriamiento busco que asciende como máximo a 300 °C, enfriándose bruscamente la pieza fundida al menos en el intervalo de temperatura de 500 - 300 °C con una velocidad de enfriamiento de 0,75 - 15 K/s;

35 h) envejecer artificialmente la pieza fundida, manteniéndose la pieza fundida durante el envejecimiento artificial durante un periodo de 1 - 10 horas a una temperatura de envejecimiento artificial que asciende a 150 - 300 °C;

i) enfriar la pieza fundida hasta temperatura ambiente.

40 El procedimiento de acuerdo con la invención procede de la aleación de AlCu conocida ya mencionada en el documento WO 2008/072972 A1 y proporciona una pieza fundida que satisface también los máximos requisitos en cuanto a sus propiedades de uso en el uso práctico.

45 El cobre está presente en la aleación procesada de acuerdo con la invención en contenidos del 6 - 8 % en peso, para alcanzar la resistencia térmica requerida de la pieza fundida que va a generarse. A este respecto, se consiguen propiedades óptimas cuando el contenido en Cu de la aleación procesada de acuerdo con la invención asciende a del 6,5 - 7,5 % en peso.

50 El manganeso en contenidos del 0,3 - 0,55 % en peso favorece la difusión de Cu en la matriz de Al de la estructura de un elemento constructivo generado de acuerdo con la invención y estabiliza de este modo la resistencia de la aleación de acuerdo con la invención también a altas temperaturas de funcionamiento. Este efecto se consigue de manera especialmente segura cuando el contenido en Mn asciende al 0,4 - 0,55 % en peso.

55 El zirconio tiene una especial importancia para la resistencia térmica de piezas fundidas generadas de acuerdo con la invención. De este modo, contenidos en Zr del 0,15 - 0,25 % en peso favorecen la generación de deposiciones dispersas, que garantizan en las piezas fundidas fundidas a partir de las aleaciones de fundición de de acuerdo con la invención que la aleación de acuerdo con la invención tenga una estructura fina, debido a ello, una distribución óptimamente uniforme de las propiedades mecánicas, uniforme debido al volumen de pieza fundida y una tendencia minimizada a la formación de grietas. Estas ventajas pueden alcanzarse de forma especialmente cuando el contenido en Zr de la aleación procesada de acuerdo con la invención asciende al 0,18 - 0,25 % en peso, en particular al 0,2 - 0,25 % en peso.

El hierro es indeseado en una aleación de acuerdo con la invención, dado que tiende a la formación de fases quebradizas.

65 Por lo tanto, el contenido en Fe está limitado a, como máximo el 0,25 % en peso, preferentemente el 0,12 % en peso.

El límite de contenido prescrito para el contenido en Si de acuerdo con la invención asciende como máximo al 0,125 % en peso, porque a mayores contenidos en Si aumenta el riesgo de formación de grietas en caliente. Las influencias negativas del Si sobre las propiedades de una aleación de acuerdo con la invención pueden descartarse de forma segura por que el contenido en Si se limita hasta como máximo el 0,06 % en peso.

Ti en contenidos del 0,05 - 0,2 % en peso, en particular el 0,08 - 0,12 % en peso, contribuye, como Zr así mismo al refinamiento del grano. El refinamiento del grano puede favorecerse también mediante la adición de hasta el 0,04 % en peso de V. Esto es válido en particular cuando está presente el 0,01 - 0,03 % en peso de V en la aleación procesada de acuerdo con la invención.

La suma de los contenidos en impurezas inevitables debidas a la fusión y a la fabricación debe mantenerse baja, como en el estado de la técnica, en particular no superar el 0,1 % en peso.

La invención parte del conocimiento de que para la fabricación de piezas fundidas de forma compleja sin fallos de forma fiable, tales como culatas para motores de combustión interna accionados por gasolina o diésel, a partir de una aleación de AlCu, es necesario modificar los parámetros del procedimiento de fabricación a través de las medidas ya conocidas. Solo de este modo pueden generarse piezas fundidas compuestas de acuerdo con la invención con un proceso seguro, que tengan a lo largo de todo su volumen, un tamaño de grano de menos de 100  $\mu\text{m}$ , idealmente menos de 80  $\mu\text{m}$ .

Como primera etapa en esta dirección debe mantenerse caliente la masa fundida a lo largo de un periodo suficientemente largo en un intervalo de temperatura adecuado.

Mediante amplios ensayos pudo mostrarse que para ello es necesario un periodo de mantenimiento del calor de 4 - 12 horas y una temperatura de espera de 730 - 810 °C, en particular de 750 - 810 °C, ajustándose de forma fiable los resultados deseados cuando el periodo de espera asciende a 6 - 10 horas y la temperatura de espera asciende a 770 - 790 °C.

El mecanismo de acción unido con la espera prevista de acuerdo con la invención en los intervalos de tiempo y temperatura mencionados anteriormente (etapa de trabajo b) del procedimiento de acuerdo con la invención) no pudo aclararse de forma concluyente hasta el momento. Sin embargo, en este caso parece que la presencia de Zr, Ti y opcionalmente V en las cantidades previstas de acuerdo con la invención tienen una influencia decisiva. Estos elementos forman junto con el aluminio como constituyente principal de la aleación a altas temperaturas deposiciones previas que se activan mediante el largo periodo de espera y actúan entonces efectivamente como agente de refinamiento del grano.

Así mismo se ha comprobado que para un buen resultado de fundición de forma constante a lo largo de muchas piezas de fundición es necesario mezclar al menos una vez adecuadamente la masa fundida antes del comienzo de la campaña de fundición respectiva.

A continuación, con la etapa de trabajo d) comienza el verdadero funcionamiento de fundición. Las etapas de trabajo d) - i) del procedimiento de acuerdo con la invención se repiten entonces con la frecuencia necesaria hasta que se ha generado el número de piezas fundidas previsto para la campaña de fundición respectiva.

En caso necesario, puede repetirse a este respecto el mezclado entre dos retiradas de porciones. El mezclado llevado a cabo por ejemplo como agitación intensa puede efectuarse en el transcurso de un tratamiento de desgasificación convencional, tal como se emplea habitualmente en procedimientos de fabricación del tipo mencionado en el presente documento antes del comienzo del verdadero funcionamiento de fundición que va a emplearse con la primera retirada de una porción de masa fundida.

La formación de una estructura especialmente fina en las piezas fundidas generadas de acuerdo con la invención puede favorecerse además por que la porción de masa fundida respectiva, por ejemplo en su camino al molde de fundición, antes de la colada para dar la pieza fundida opcional, se somete a un tratamiento de refinamiento del grano. Mediante un tratamiento de este tipo pueden generarse con la aplicación del procedimiento de acuerdo con la invención piezas fundidas en las que para la estructura puede garantizarse un tamaño de grano medio inferior a 60  $\mu\text{m}$ .

Como agente de refinamiento del grano añadido opcionalmente de acuerdo con la invención son adecuados los compuestos conocidos ya para este fin, tales como por ejemplo TiC o TiB, que pueden añadirse en cada caso a una dosificación de 1 - 10 kg por tonelada de masa fundida. Ensayos han mostrado en este caso que resulta un efecto de refinamiento del grano óptimo cuando la dosificación del agente de refinamiento del grano asciende 4 - 8 kg por tonelada de masa fundida.

Para la fundición de la pieza fundida (etapa de trabajo e) del procedimiento de acuerdo con la invención) es adecuado en principio cualquier procedimiento de fundición convencional. Esto incluye la posibilidad de una fundición por gravedad convencional.

El ensayo práctico del procedimiento de acuerdo con la invención ha mostrado sin embargo que a partir de la aleación procesada de acuerdo con la invención piezas fundidas incluso cuando mediante las medidas llevadas a cabo en el transcurso de la preparación de la pieza de fundición se ha conseguido una estructura fina en la pieza fundida, debido a la falta de Si en su aleación son sensibles en cuanto a los gradientes de temperatura que se ajustan durante su enfriamiento. Esta sensibilidad puede contrarrestarse mediante un procedimiento de fundición que provoca una solidificación dirigida de la mejor manera posible.

Si deben generarse elementos constructivos especialmente con forma de filigrana con propiedades optimizadas, entonces debe emplearse por lo tanto un denominado "procedimiento de fundición dinámico". Por esto se entienden aquellos procedimientos en los que el molde de fundición se mueve durante el llenado con la masa fundida para, por un lado, garantizar una entrada tranquila, con poca turbulencia, de la masa fundida y un llenado igualmente tranquilo en consecuencia del molde de fundición y para, por otra parte, conseguir después del llenado un desarrollo óptimo de la solidificación.

Un rasgo característico común de los procedimientos de fundición dinámicos conocidos también con la denominación "procedimiento de fundición de inclinación" es que el molde de fundición se llena a través de un recipiente de masa fundida acoplado al mismo, llenándose con el recipiente de masa fundida desde una posición de partida en la que se llena el recipiente de nada fundida con la masa fundida que va a fundirse, se gira alrededor de un eje pivotante a una posición final, de modo que como consecuencia de este movimiento pivotante la masa fundida fluye al interior del molde de fundición. Ejemplos de procedimientos de este tipo se describen en el documento EP 1 155 763 A1, el documento DE 10 2004 015 649 B3, el documento DE 10 2008 015 856 A1, el documento DE 10 2010 022 343 A1 y la solicitud de patente alemana hasta el momento aún sin publicar DE 10 2014 102 724.8.

Mediante las medidas explicadas anteriormente (etapas de trabajo a) - e) así como el tratamiento de refinamiento del grano llevado a cabo adicionalmente en caso necesario) existe después de la fundición y la solidificación ya una pieza fundida cuya estructura cumple el requisito exigido en cuanto a su finura de grano (tamaño de grano medio < 100 µm).

Para ajustar sus propiedades de uso adicionales, la pieza fundida de acuerdo con la invención atraviesa ahora también un tratamiento térmico en el que atraviesa en primer lugar un tratamiento de recocido de disolución a una temperatura de recocido de disolución que asciende a 475 - 545 °C durante un periodo de recocido de disolución de 1 - 16 horas. Para alcanzar concentraciones de Cu lo más altas posible en la matriz de Al y así aprovechar el potencial completo de la aleación, puede ajustarse la temperatura de la disolución a 515 - 530 °C.

El periodo del tratamiento de recocido de disolución no tiene una influencia esencial. Puede ajustarse dentro del marco de acuerdo con la invención de modo que el contenido en cobre presente se disuelva del mejor modo posible en la matriz de Al. En la práctica se consigue en este caso habitualmente, disolver al menos el 60 % del contenido en Cu presente, pretendiéndose disolver porcentajes lo más altos posible, por ejemplo al menos del 70 % y más, del contenido en Cu presente. Para ello, en la práctica, en el procedimiento a escala industrial de elementos constructivos para motores de combustión interna, puede preverse un periodo de recocido de disolución de 2-6 horas.

Tras el recocido de disolución se enfría de manera acelerada la pieza fundida respectiva desde la temperatura de recocido de disolución hasta una temperatura de parada del enfriamiento brusco que asciende como máximo a 300 °C. En este sentido la velocidad de enfriamiento brusco tiene una importancia decisiva.

La velocidad de enfriamiento está limitada por debajo de manera que de un enfriamiento demasiado lento resultan resistencias muy bajas. De este modo se muestra que en el caso del enfriamiento brusco con aire convencional la resistencia a la tracción y límite de estricción de piezas fundidas que se componen de la aleación procesada de acuerdo con la invención es menor que en el caso de las piezas fundidas que se componen de aleaciones convencionales. Por este motivo, la invención en la etapa de trabajo g) prevé una velocidad de enfriamiento brusco de, de media, al menos 0,75 K/s a lo largo de toda la pieza fundida.

En el caso de un enfriamiento demasiado rápido tras el recocido de disolución, existe por el contrario el riesgo de generación de grietas. Estas pueden por ejemplo aparecer cuando la pieza fundida se enfría bruscamente en agua aplicada calentada a menos de 70 °C, como chorro, torrente o en la pila de inmersión. Efectuándose el enfriamiento brusco con agua calentada al menos a 70 °C, puede evitarse la formación de grietas de manera suficientemente segura.

Como alternativa es también posible efectuar el enfriamiento brusco con una niebla de gotas finas. En el caso de un enfriamiento brusco con niebla de gotas finas, el enfriamiento tiene lugar tan cuidadosamente que puede producirse también entonces una formación de grietas cuando la niebla de gotas finas se esparce con temperatura ambiente.

Independientemente de cómo se realiza el enfriamiento brusco, para evitar la formación de grietas de acuerdo con la invención, el límite superior de la velocidad de enfriamiento brusco alcanzada a lo largo de toda la pieza fundida, de

media, en el caso del enfriamiento brusco efectuado de acuerdo con la invención en la etapa de trabajo g) del procedimiento de acuerdo con la invención, está limitado a 15 K/s.

5 Es ideal una velocidad de enfriamiento media alcanzada a lo largo de toda la pieza fundida de 1,5 - 7,5 K/s. Por ejemplo, un enfriamiento brusco con agua con agua calentada a 90 °C da como resultado una velocidad de enfriamiento de aproximadamente 7,5 K/s y llevó en el ensayo del procedimiento de acuerdo con la invención a los mejores resultados.

10 El agente de enfriamiento brusco puede, tal como se ha mencionado, aplicarse por ejemplo como torrente o niebla de gotas finas. En el caso de un enfriamiento con niebla de gotas finas existe la posibilidad de enfriar las piezas sometiendo su parte exterior o desde el interior por que el agente de enfriamiento brusco se conduce a través de canales presentes en la pieza fundida, por ejemplo en el caso de una culata a través de la superficie envolvente de agua. Medidas a tener en cuenta para ello se describen por ejemplo en el documento DE 102 22 098 B4. En el caso de un enfriamiento desde el exterior resulta una velocidad de enfriamiento de aproximadamente 2 - 2,5 K/s, con un  
15 enfriamiento brusco interior, las velocidades de enfriamiento brusco se encuentran en 1,5 - 3,75 K/s.

En la etapa de trabajo g) se enfría bruscamente la pieza fundida hasta una temperatura que es inferior o igual a la temperatura de envejecimiento posterior. El envejecimiento artificial dura de acuerdo con la invención 1 - 10 horas a una temperatura de envejecimiento artificial que asciende a 150 - 300 °C, en particular 200 - 260 °C. El  
20 envejecimiento artificial tiene lugar por lo tanto siguiendo el modo de proceder convencional, a diferencia de como ahí la invención no prevé expresamente, no obstante, ningún sobre-envejecimiento.

El periodo del envejecimiento artificial no tiene una repercusión esencial sobre el resultado de tratamiento. Para conseguir un estado estable de la pieza fundida, ha resultado ser conveniente sin embargo llevar a cabo el  
25 envejecimiento a lo largo de al menos 2 horas. En la realización práctica, el periodo previsto para el envejecimiento artificial se encuentra habitualmente en 2 - 4.

Las piezas fundidas generadas de acuerdo con la invención se caracterizan por lo tanto por que se componen de una aleación de AlCu con (en % en peso) el 6 - 8 % de Cu, el 0,3 - 0,55 % de Mn, el 0,15 - 0,25 % de Zr, hasta el  
30 0,25 % de Fe, hasta el 0,125 % de Si, el 0,05 - 0,2 % de Ti, hasta el 0,04 % de V y como el resto Al e impurezas inevitables y, a este respecto tienen una estructura que tiene un tamaño de grano medio inferior a 100 µm, en particular inferior a 80 µm.

A este respecto, las piezas fundidas producidas y creadas de acuerdo con la invención presentan, con una propensión a la formación de grietas minimizada, también después de un uso de al menos 400 h de duración a temperaturas de al menos 250 °C, tal como son típicos para aplicaciones en los motores de combustión interna, a una temperatura de ensayo de 250 °C, una resistencia a la tracción de al menos 160 MPa, habitualmente al menos  
35 200 MPa, y un límite de estricción de al menos 100 MPa, habitualmente al menos 150 MPa.

40 A continuación se explica en detalle la invención por medio de ejemplos de realización.

Para el ensayo del procedimiento de acuerdo con la invención se han fundido masas fundidas de ensayo S1, S2, S3 en un horno de masa fundida convencional, cuya composición está indicada en la Tabla 1.

45 A este respecto, las masas fundidas S1, S2, S3 en el horno de masa fundida, se ha mantenido en cada caso durante un periodo tH a una temperatura de espera TH.

A continuación tuvo lugar, antes del comienzo de la verdadera campaña de fundición, un tratamiento de desgasificación adicional, en el que se llevó a cabo de manera adicionalmente fuerte la masa fundida respectiva S1, S2, S3, para conseguir un mezclado adecuado.  
50

En la campaña de fundición respectiva que comenzó después de esto se han fundido a partir de las masas fundidas S1, S2, S3 las piezas fundidas G1 - G4 (masa fundida S1), G5 (masa fundida S2) y piezas fundidas G6, G7 (masa fundida S3). En el caso de las piezas fundidas G1 - G5 se trataba de culatas para motores de combustión interna diésel, mientras que las piezas fundidas G6, G7 que iban a fundirse eran culatas para motores de combustión interna accionados por gasolina.  
55

Para la colada de las piezas fundidas G1 - G7 se han retirado en la campaña de fundición respectiva desde el horno de masa fundida por medio de una cuchara de fundición convencional, porciones de dimensiones suficientes de la masa fundida S1, S2, S3 respectiva.  
60

A la porción de masa fundida contenida en la cuchara de fundición se ha añadido en cada caso TiB en una dosificación DKF.

65 La fundición de la porción de masa fundida respectiva tuvo lugar con la aplicación del procedimiento de fundición por rotación conocido con la expresión "Rotacast" en una máquina de fundido por rotación convencional, tal como se ha

## ES 2 633 026 T3

descrito por ejemplo en el documento EP 1 155 763 A1.

Tras la solidificación y el desmoldeo se han recocido en disolución las piezas fundidas obtenidas a una temperatura de recocido de disolución TLG durante un periodo de recocido de disolución tLG.

5 Tras el final del recocido de disolución, las piezas fundidas se han enfriado bruscamente desde la temperatura de recocido de disolución TLG respectiva hasta una temperatura de parada del enfriamiento brusco TAS con una velocidad de enfriamiento dAS.

10 A esto le siguió un envejecimiento artificial de las piezas fundidas G1 - G7. A este respecto, las piezas fundidas se han mantenido durante un periodo tWA a la temperatura de envejecimiento artificial TWA respectiva.

15 En la Tabla 2 están para cada una de las piezas fundidas G1 - G7 así obtenidas la masa fundida, a partir de la que se han fundido en cada caso, así como los parámetros periodo de espera tH, temperatura de espera TH, dosificación DKF, temperatura de recocido de disolución TLG, periodo de recocido de disolución tLG, temperatura de parada de enfriamiento brusco TAS, velocidad de enfriamiento dAS, periodo de envejecimiento artificial tWA y temperatura de envejecimiento artificial TWA.

20 El tamaño de grano medio de la estructura determinado tras el enfriamiento a temperatura ambiente, resistencia a la tracción Rm, límite de estricción Rp0,2 y alargamiento A están registrados en la Tabla 3.

25 Se muestra que la pieza fundida G3 enfriada bruscamente con una velocidad de enfriamiento dAS demasiado baja tras el recocido de disolución, ha conseguido una resistencia a la tracción Rm claramente menor y un límite de estricción Rp0,2 igualmente claramente menor que las piezas fundidas G1, G2 y G4 tratadas con calor de la manera acuerdo con la invención que se han fundido a partir de la misma masa fundida S1.

Tabla 1

Masa fundida	Cu	Mn	Zr	Fe	Si	Ti	V	¿De acuerdo con la invención?
S1	6,52	0,455	0,206	0,074	0,095	0,086	0,0093	Sí
S2	6,34	0,433	0,189	0,094	0,10	0,085	0,0095	Sí
S3	6,47	0,453	0,198	0,089	0,051	0,091	0,0101	Sí
Datos en % en peso, el resto Al e impurezas inevitables								

Tabla 2

Pieza fundida	Masa fundida	TH	tH	DKF [kg por tonelada de masa fundida]	TLG	tLG	TAS	dAS	TWA	tWA	¿De acuerdo con la invención?
		[°C]	[horas]		[°C]	[horas]	[°C]	[K/s]	[°C]	[horas]	
G1	S1	780	12	8	530	4	100	6,9	240	4	Si
G2	S1	780	12	8	530	4	100	13,8	240	4	Si
G3	S1	780	12	8	530	4	150	0,70	240	4	No
G4	S1	780	12	8	530	4	150	2,45	240	4	Si
G5	S2	775	8	7	530	4,5	75	2,03	240	4	Si
G6	S3	779	8,5	8	530	4	90	7,5	240	4	Si
G7	S3	779	8,5	8	530	4	90	7,5	240	4	Si



Tabla 3

Pieza fundida	Tamaño de grano medio	Rm	Rp0,2	A	¿De acuerdo con la invención?
	[ $\mu\text{m}$ ]	[MPa]	[MPa]	[%]	
G1	53,0	324	203	3,89	Sí
G2	54,3	333	218	3,43	Sí
G3	52,8	270	137	7,03	No
G4	55,2	297	173	4,58	Sí
G5	46,5	336	212	4,79	Sí
G6	39,5	329	196	4,99	Sí
G7	36,8	329	198	5,55	Sí

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la fabricación de piezas fundidas de forma compleja que comprende las siguientes etapas de trabajo:

- 5 a) fundir una aleación de AlCu, que se compone de (en % en peso)
- 10 Cu: 6 - 8 %,  
Mn: 0,3 - 0,55 %,  
Zr: 0,15 - 0,25 %,  
Fe: hasta el 0,25 %,  
Si: hasta el 0,125 %,  
Ti: 0,05 - 0,2 %,  
V: hasta el 0,04 %,
15 el resto Al e impurezas inevitables;
- b) mantener la masa fundida a una temperatura de espera que asciende a 730 - 810 °C durante un periodo de espera de 4 - 12 horas;
- 20 c) mezclar la masa fundida;
- d) retirar una porción de masa fundida de la masa fundida;
- e) colar la porción de masa fundida retirada de la masa fundida dando la pieza fundida;
- f) recocer en disolución la pieza fundida a una temperatura de recocido de disolución que asciende a 475 - 545 °C durante un periodo de recocido de disolución de 1 - 16 horas;
- 25 g) enfriar bruscamente la pieza fundida desde la temperatura de recocido de disolución hasta una temperatura de parada del enfriamiento brusco que asciende como máximo a 300 °C, enfriándose bruscamente la pieza fundida al menos en el intervalo de temperatura de 500 - 300 °C con una velocidad de enfriamiento de 0,75 - 15 K/s;
- h) envejecer artificialmente la pieza fundida, manteniéndose la pieza fundida durante el envejecimiento artificial durante un periodo de 1 - 10 horas a una temperatura de envejecimiento artificial que asciende a 150 - 300 °C;
- 30 i) enfriar la pieza fundida hasta temperatura ambiente.

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** la porción de masa fundida retirada de la masa fundida se somete a un tratamiento de refinamiento del grano antes de la colada para dar la pieza fundida.

35 3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado por que** para el refinamiento del grano como agente de refinamiento del grano se añade TiC o TiB a una dosificación de 1 - 10 kg por tonelada de masa fundida.

4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado por que** la dosificación asciende a 4 - 8 kg por tonelada de masa fundida.

40 5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** en la colada de la porción de masa fundida para dar la pieza fundida se emplea un procedimiento de colada dinámico.

6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el periodo de espera (etapa de trabajo b) asciende a 6 - 10 horas.

45 7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la temperatura de espera (etapa de trabajo b) asciende a 770 - 790 °C.

8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el mezclado (etapa de trabajo c) se lleva a cabo en el transcurso de un tratamiento de desgasificación de la masa fundida.

50 9. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la temperatura de recocido de disolución asciende a 515 - 530 °C.

55 10. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el periodo de recocido de disolución asciende a 2 - 6 horas.

60 11. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** para el enfriamiento brusco de la pieza fundida (etapa de trabajo g) se usa un medio de enfriamiento brusco, que se ha calentado hasta una temperatura de al menos 70 °C.

12. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el medio de enfriamiento brusco se dirige hacia la pieza fundida como niebla de gotas finas.

65 13. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la temperatura de envejecimiento artificial asciende a 200 - 260 °C.

14. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el periodo del envejecimiento artificial (etapa de trabajo h) asciende a 2 - 4 horas.