



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 341 247**

51 Int. Cl.:
B22D 25/00 (2006.01)
C22C 1/00 (2006.01)
B22D 1/00 (2006.01)
B22D 17/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04716156 .7**
96 Fecha de presentación : **01.03.2004**
97 Número de publicación de la solicitud: **1601481**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **07.12.2005**

54 Título: **Procedimiento y aparato para preparar una aleación metálica.**

30 Prioridad: **04.03.2003 US 451748 P**
06.06.2003 US 476438 P
21.01.2004 US 761911

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
17.06.2010

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
17.06.2010

73 Titular/es: **Massachusetts Institute of Technology**
77 Massachusetts Avenue
Cambridge, Massachusetts 02139-4307, US

72 Inventor/es: **Yurko, James, A.;**
Brower, Rodger, W.;
Martínez, Raúl, A.;
Flemings, Merton, C. y
Bertelli, Paolo

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 341 247 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).

ES 2 341 247 T3

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y aparato para preparar una aleación metálica.

5 Referencia cruzada a las solicitudes relacionadas

Esta solicitud reivindica la prioridad, de conformidad con 35 U.S.C. § 119(e), sobre la solicitud provisional N° 60/451.748, titulada PROCESS AND APPARATUS FOR PREPARING A METAL ALLOY (Procedimiento y aparato para preparar una aleación metálica), presentada el 4 de marzo de 2003 por James A. Yurko y colaboradores, cuya descripción completa se incorpora aquí por referencia, y reivindica la prioridad, de conformidad con 35 U.S.C. § 119(e), sobre la solicitud provisional N° 60/476.438, titulada PROCESS AND APPARATUS FOR PREPARING A METAL ALLOY (Procedimiento y aparato para preparar una aleación metálica), presentada el 6 de junio de 2003 por James A. Yurko y colaboradores, cuya descripción completa se incorpora aquí por referencia.

15 Campo de la invención

Esta invención se refiere al conformado industrial de metales, y más concretamente a un aparato y a un procedimiento para conformar componentes metálicos a partir de suspensiones metálicas, semisólidas, no dendríticas.

20 Antecedentes de la invención

Es bien reconocido que la mayoría de las composiciones de aleaciones metálicas solidifican dendríticamente. Es decir, las partículas dendríticas, o en forma de árbol, crecen a partir de núcleos a medida que la composición de aleación se enfría por debajo de la temperatura de liquidus. Es también bien conocido que se proporcionan ciertas ventajas fragmentando las partículas dendríticas o evitando el crecimiento dendrítico durante la solidificación, para formar partículas no dendríticas o dendríticas degeneradas que tengan, por lo general, forma elipsoidal o esférica. Más específicamente, se ha descubierto que se pueden conseguir diversas ventajas en el tratamiento y en las propiedades físicas colando o conformando de otra manera componentes metálicos a partir de suspensiones metálicas, semisólidas, no dendríticas. Las partículas metálicas no dendríticas de la suspensión semisólida, proporcionan una viscosidad sustancialmente reducida para una fracción de sólidos dada, comparada con una composición de aleación metálica que contenga partículas dendríticas. Con frecuencia, la diferencia en la viscosidad es de varios órdenes de magnitud.

Los beneficios resultantes del conformado con metal semisólido, no dendrítico, incluyen el conformado de piezas a velocidad más alta, la colada continua a alta velocidad, una erosión más baja del molde, un consumo más bajo de energía, el llenado mejorado del molde, unos óxidos reducidos que proporcionan una maquinabilidad mejorada en los componentes metálicos acabados, y menos oclusión de gases que da como resultado una porosidad reducida. Otras ventajas de colar o de conformar de otra manera los componentes metálicos, a partir de suspensiones semisólidas, incluyen menos contracción durante el conformado de los componentes metálicos, menos espacios vacíos y porosidad más baja en los componentes metálicos conformados, menos macrosegregación, y propiedades mecánicas (por ejemplo, resistencia) más uniformes. También es posible conformar piezas más intrincadas usando composiciones de aleación semisólidas, no dendríticas, durante la colada u otras técnicas de conformado. Por ejemplo, son posibles piezas que tengan paredes más delgadas con resistencia mejorada.

Se han preparado suspensiones semisólidas, no dendríticas, para colada industrial y otros procedimientos de conformado de metales usando un mezclado mecánico durante el enfriamiento de la composición de aleación metálica líquida por debajo de la temperatura de liquidus de la composición de aleación. Otras técnicas que se han utilizado incluyen la agitación electromagnética durante el enfriamiento (normalmente para procedimientos de colada continua), el enfriamiento de una composición metálica líquida mientras que pasa a través de un canal tortuoso, largos tratamientos térmicos en la región de temperaturas de los semisólidos, y otros. Estas técnicas son bien conocidas y se han empleado de forma ventajosa en diversas aplicaciones comercialmente importantes.

Más recientemente, se han creado suspensiones semisólidas, no dendríticas, contando con el vertido de la aleación fundida poco sobrecalentada en recipientes relativamente fríos (por ejemplo, un crisol o la cámara fría de una máquina para fundir a presión). Estos procedimientos cuentan con el enfriamiento de la composición de aleación desde por encima de la temperatura de liquidus hasta por debajo de la temperatura de liquidus durante la acción del vertido, a medida que la aleación entra en contacto con las paredes del vaso. El procedimiento es eficaz en la creación de suspensiones semisólidas, no dendríticas; sin embargo hay limitaciones del procedimiento. En primer lugar, el procedimiento depende de la extracción de calor de las paredes del vaso. Es difícil controlar la retirada del calor usando esta técnica debido al cambio de temperatura de las paredes y a la discreta superficie específica del cilindro. En segundo lugar, se crea convección por el vertido; por lo tanto, si se introduce la aleación a una temperatura demasiado alta, las fuerzas de convección se disipan antes de que la aleación se enfríe a través del liquidus, impidiendo la formación de suspensiones no dendríticas.

Los productos comerciales han incluido diversos componentes de aleación de aluminio y de magnesio para aplicaciones en automóviles, tales como cilindros principales de frenos, y diversos componentes para los sistemas de dirección y de suspensión. Otras aplicaciones reales o potenciales incluyen balancines, pistones de motores, ruedas, componentes de la transmisión, componentes del sistema de combustible, y componentes del sistema de aire acondicionado.

Un problema con las técnicas conocidas para formado una suspensión metálica semisólida, no dendrítica, usando agitación mecánica, es que las superficies del agitador son mojadas por el metal líquido de la suspensión. Como resultado, algo del metal líquido procedente de la suspensión se pega a las superficies del agitador cuando se retira de la suspensión. Cualquier metal líquido que moje o se pegue a las superficies del agitador y/o del vaso, solidifica rápidamente y forma un revestimiento metálico que se debe retirar antes de que el agitador y/o el vaso se puedan volver a usar para la preparación de más suspensión metálica semisólida, no dendrítica. La retirada de depósitos metálicos de las superficies del agitador es habitualmente difícil, necesita tiempo, es caro, y lleva a tasas de producción más bajas. Los materiales que tiene un mojabilidad reducida son habitualmente inadecuados para usarlos en la manipulación de composiciones de aleación metálica líquida (por ejemplo, debido a la falta de propiedades mecánicas adecuadas en las altas temperaturas asociadas con la producción de suspensiones metálicas semisólidas, no dendríticas) y/o no tienen una conductividad térmica suficientemente alta, adecuada para retirar rápidamente el calor de las suspensiones metálicas semisólidas, no dendríticas. Se ha conseguido una mojabilidad reducida aplicando revestimientos de baja mojabilidad a las superficies de los agitadores metálicos. Se han usado revestimientos de nitruro de boro sobre las superficies de los agitadores y/o de los vasos para reducir con éxito la mojabilidad, sin reducir negativamente la conductividad térmica. Sin embargo, los revestimientos de nitruro de boro carecen de resistencia estructural, y requieren su sustitución periódica.

Otro problema con los procedimientos convencionales para preparar composiciones de aleaciones metálicas semisólidas, no dendríticas, que tengan un contenido de sólidos relativamente alto (por ejemplo, superior a aproximadamente el 10%) es que se requiere habitualmente una cantidad considerable de tiempo para enfriar la suspensión al contenido de sólidos deseado. Habitualmente, la agitación de la composición de aleación tiene lugar en un vaso cerámico o en un vaso previamente calentado, con el fin de impedir la nucleación y la formación de sólidos en las paredes del recipiente o del vaso en el que se realiza la agitación. Como resultado, el enfriamiento tiene lugar de forma relativamente lenta, dando como resultado tiempos largos de proceso y una producción reducida. Se puede conseguir un enfriamiento rápido usando un vaso frío que tenga la masa, conductividad térmica y capacidad calorífica adecuadas. Sin embargo, esto puede conducir a gradientes de temperatura inaceptablemente altos que no son conducentes a la formación de suspensiones semisólidas, no dendríticas, y/o al enfriamiento de la composición de aleación a una temperatura que es inadecuada para conformar la composición de aleación en un componente deseado.

La Patente de EE.UU. N° 6.645.323 describe una composición de aleación metálica, sin capa de escoria, que está exenta de gases ocluidos y comprende dendritas discretas sólidas primarias degeneradas, homogéneamente dispersas dentro de una fase secundaria. La aleación descrita se forma mediante un procedimiento en el que la aleación metálica se calienta en un vaso para volverla líquida. Después de eso, se enfría mientras que se agita vigorosamente bajo condiciones que eviten la oclusión de gases mientras que se forman núcleos de sólidos homogéneamente distribuidos en el líquido. El enfriamiento y la agitación se consiguen utilizando una sonda giratoria fría que se extiende en el líquido. La agitación cesa cuando el líquido contiene una pequeña fracción sólida o la aleación sólido-líquido se retira de la fuente de agitación, mientras que continúa el enfriamiento, para formar las dendritas sólidas primarias degeneradas en una fase líquida secundaria. La mezcla sólido-líquido se forma luego, como tal, por colada. Un problema con el procedimiento descrito en la Patente de EE.UU. N° 6.645.323 es que las sondas giratorias frías utilizadas para el enfriamiento y la agitación, tienden a revestirse con el metal líquido que se pega a las superficies del agitador. Como resultado, el agitador, según se describe en esta patente, requiere una frecuente limpieza y/o su sustitución. Además, persiste la necesidad de mejorar el control sobre la cantidad de calor que se extrae de la composición de aleación de aluminio. En ciertos aspectos de esta invención, los procedimientos y aparatos se proporcionan para superar estas deficiencias.

Sumario de la invención

La invención proporciona un procedimiento mejorado para producir una suspensión de aleación semisólida, no dendrítica, para uso en el conformado de componentes metálicos. Más específicamente, la invención proporciona un aparato y un procedimiento que facilitan el enfriamiento más rápido de una suspensión metálica semisólida, no dendrítica, y/o elimina o reduce los problemas asociados con la acumulación y la retirada de metal de las superficies del aparato que está en contacto con la suspensión.

La invención se define en las reivindicaciones independientes. Se establecen características preferidas u opcionales en sus reivindicaciones dependientes.

Según un aspecto de la invención, se proporciona un procedimiento para preparar una suspensión de aleación metálica semisólida, no dendrítica, que utiliza un agitador de grafito. El agitador de grafito tiene las propiedades de una adecuada resistencia a altas temperaturas, y una conductividad térmica que facilita el rápido enfriamiento de una composición de aleación líquida, mientras que también exhibe una mojabilidad relativamente baja, por lo que la necesidad de retirar el metal de la superficie del agitador, después de que el agitador se haya sacado de la suspensión, se elimina o se reduce sustancialmente, y cualquier metal que se acumule sobre el agitador se puede retirar con facilidad. Por eso, se puede emplear un agitador de grafito para retirar simultáneamente calor de la composición de aleación, mientras que también se induce la convección que facilita la formación de una composición de aleación semisólida, no dendrítica, y mientras que se evita también la solidificación o el depósito de metal, procedente de la suspensión, sobre el agitador.

ES 2 341 247 T3

Según la invención, el procedimiento enfría más rápidamente una suspensión de aleación metálica semisólida, no dendrítica, desde una temperatura a la cual la suspensión tiene un contenido de sólidos relativamente bajo (por ejemplo, 1% a 10% en peso) a una temperatura a la cual la suspensión tiene un contenido de sólidos relativamente alto (por ejemplo, de 10% a 65% en peso). El procedimiento implica el uso de un recipiente que tenga paredes de un material que tenga una alta conductividad térmica que facilite el enfriamiento rápido de la suspensión. Se pueden usar ventiladores o soplantes para dirigir aire frío alrededor de las paredes del recipiente.

Estas y otras características, ventajas y objetos de la presente invención se entenderán y se apreciarán más, por parte de los expertos en la materia, mediante la referencia a la siguiente memoria descriptiva, reivindicaciones y dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es una ilustración esquemática de un aparato según una realización de la invención.

La Figura 2 es una ilustración esquemática de otra realización según la invención.

Descripción de las realizaciones preferidas

En la Figura 1 se muestra un aparato 10 para preparar una composición de aleación metálica semisólida, no dendrítica, según una realización de esta invención.

Una composición de aleación metálica semisólida, no dendrítica, es una composición que contiene metal líquido y partículas de aleación sólidas, discretas y no dendríticas, dispersas en el metal líquido. Las partículas no dendríticas son partículas que generalmente tienen forma esférica o elipsoidal, y que se forman como resultado de la convección en la fase líquida durante la nucleación y el enfriamiento del líquido por debajo de la temperatura de liquidus de la composición de aleación. Una teoría aceptada es que las partículas no dendríticas se forman como resultado de la convección, que origina que se partan los brazos dendríticos que crecen, con la posterior maduración que ayuda a que las partículas se resuelven en las formas esférica y/o elipsoidal características. Por esta razón, las partículas no dendríticas son denominadas algunas veces partículas dendríticas degeneradas.

El aparato incluye un primer vaso 12 de termotratamiento para recibir y tratar térmicamente una composición de aleación líquida, mientras que se inserta un agitador 14 en la composición de aleación líquida y gira para inducir una convección en la composición de aleación líquida. El agitador también conduce el calor desde la composición de aleación e induce la nucleación. Como resultado de enfriar la composición de aleación líquida desde una temperatura justo por encima de la temperatura de liquidus a una temperatura por debajo de la temperatura de liquidus, mientras que se agita la composición, las partículas 16 sólidas no dendríticas se desarrollan a partir del líquido para formar una suspensión 18 semisólida. Deseablemente, el agitador está hecho de un material, y tiene una masa, que consigue la rápida retirada del calor de la composición de aleación a medida que la temperatura de la composición de aleación baja desde una temperatura ligeramente por encima de la temperatura de liquidus a una temperatura unos pocos grados por debajo de la temperatura de liquidus. Es decir, el agitador 14 está deseablemente diseñado para retirar rápidamente la cantidad de calor necesaria para establecer una composición de aleación metálica semisólida, no dendrítica, que tenga habitualmente un contenido de sólidos desde aproximadamente el 1% hasta aproximadamente el 20% en peso. La duración de la agitación mediante el agitador controla la cantidad de calor extraído de la composición de aleación de aluminio. Por lo tanto, si hay variaciones en la temperatura inicial del metal, la duración de la agitación se controla para que dé como resultado un producto con temperatura parecida. La temperatura del metal se puede determinar usando alguno de los diversos dispositivos tales como un pirómetro óptico, un termopar, etc.

El agitador 14 puede, por ejemplo, tener forma cilíndrica. Por eso, el agitador 14 puede diferir significativamente de los agitadores convencionales que físicamente deshacen las dendritas a medida que se forman. En vez de eso, un agitador cilíndrico que consigue un rápido enfriamiento crea núcleos o dendritas degeneradas que se distribuyen con la convección creada a partir del movimiento del agitador. Por eso, no es necesario que las suspensiones no dendríticas se formen usando una agitación mecánica tradicional que físicamente fragmenta los brazos dendríticos.

Según una realización preferida de la invención, el agitador está hecho de grafito. Será deseable proporcionar un agitador no revestido que tenga la difusividad térmica deseada para conseguir una rápida retirada del calor, lo cual es importante para evitar que las superficies del agitador se aproximen a la temperatura de liquidus de la composición de aleación, y la baja mojabilidad deseada evite que el metal se acumule o se recoja sobre las superficies del agitador cuando se saca de la suspensión metálica. El grafito tiene una difusividad térmica relativamente alta, por ejemplo comparable al cobre, y una mojabilidad relativamente baja, por ejemplo comparable a un revestimiento de nitruro de boro. Se ha descubierto que un agitador de grafito tiene una resistencia y unas propiedades térmicas que son funcionalmente equivalentes a las de los agitadores usados comúnmente para formar suspensiones de aleaciones metálicas semisólidas, no dendríticas, y la ventaja añadida de ser esencialmente no mojable para las aleaciones metálicas líquidas. Como resultado, puede ser posible usar repetidamente el agitador de grafito en varios ciclos por separado sin tener que retirar la aleación metálica de la superficie del agitador. Sin embargo, la superficie de la varilla debe estar a una temperatura por debajo de la temperatura de liquidus de la aleación para retirar rápidamente calor de la aleación fundida. Además, cualquier metal acumulado se puede retirar fácilmente, por ejemplo haciendo pasar las superficies del agitador de grafito contra un casquillo.

ES 2 341 247 T3

El procedimiento de la invención comprende una primera etapa para formar la composición de aleación metálica líquida. La composición de aleación metálica líquida se pone dentro de un vaso 12 y se enfría mientras que se agita vigorosamente la aleación enfriada, como por ejemplo agitando bajo condiciones en las que se forman partículas de núcleos sólidos mientras que se evita la oclusión de gases dentro de la composición de aleación agitada. La aleación se agita vigorosamente mientras que se enfría de una manera tal que los núcleos sólidos se distribuyen por toda la composición de aleación líquida metálica de forma sustancialmente homogénea. La agitación se puede efectuar mientras que se utiliza un intervalo de rápida velocidad de enfriamiento durante un corto tiempo, como por ejemplo entre aproximadamente 1 segundo y aproximadamente 1 minuto, preferiblemente entre aproximadamente 1 y aproximadamente 30 segundos por encima de un intervalo de temperatura que corresponde a una solidificación porcentual de la aleación de entre aproximadamente 1 y aproximadamente el 20% en peso de fracción de sólidos, preferiblemente entre aproximadamente 3 y aproximadamente el 7% de fracción de sólidos. La agitación se puede efectuar utilizando un agitador frío de cualquier manera que evite la cavitación excesiva en la superficie del líquido para evitar, por ello, la oclusión de gases en el líquido. El agitador puede enfriarse haciendo pasar un fluido intercambiador de calor, como el agua, por todo él. Los medios de agitación representativos adecuados incluyen una, o una pluralidad de varillas cilíndricas provistas de un medio de refrigeración, un agitador helicoidal, o similares, que preferiblemente se prolonga en la profundidad del líquido. El agitador se extiende en una porción de la profundidad del líquido de hasta sustancialmente el 100% de la profundidad del líquido para promover la dispersión homogénea de los núcleos cristalinos. Se cesa luego la agitación en un procedimiento por cargas, o la aleación sólido-líquido se retira de la fuente de agitación en un procedimiento continuo. La composición de aleación metálica sólido-líquido resultante se puede enfriar luego dentro del vaso para efectuar la conformación de las partículas esféricas sólidas alrededor de las partículas de los núcleos sólidos hasta una concentración en la que las partículas sólidas esféricas y/o elipsoidales, no dendríticas, aumentan la viscosidad de la composición global sólido-líquido donde se puede mover a una etapa de conformación, como por ejemplo una etapa de colada. Generalmente, el tanto por ciento, en peso, más alto de sólidos primarios no dendríticos está entre aproximadamente el 40 y aproximadamente el 65 por ciento y, preferiblemente, contiene del 10 al 50 por ciento, basado en el peso total de la composición sólido-líquido. La formación de partículas sólidas esféricas y/o elipsoidales sin agitación se efectúa por engrosamiento sin la formación de una red de dendritas interconectadas. Ya que la agitación se efectúa únicamente durante un corto periodo de tiempo, se evita la inclusión de gases ocluidos dentro de la composición de aleación. Además, se ha descubierto que operando de esta manera, se minimiza o se elimina la macrosegregación de elementos a lo largo de todo el volumen del producto de aleación metálica producido. La composición sólido-líquido resultante se conforma luego, como tal, por colada.

La composición de aleación metálica que comprende las partículas sólidas de aleación metálica, no dendríticas, y la fase líquida, se pueden formar a partir de una diversidad de metales o de aleaciones que, cuando solidifican a partir del estado líquido, sin agitación, forman una estructura de red dendrítica. Las partículas no dendríticas están compuestas de una única fase primaria que tiene una composición media diferente a la composición media de la fase secundaria que la rodea (sólida o líquida, dependiendo de la temperatura), fase secundaria que puede, ella misma, comprender las fases primaria y secundaria tras la solidificación adicional.

Los sólidos no dendríticos (dendritas degeneradas) se caracterizan por tener superficies más suaves y estructuras menos ramificadas que se aproximan a una configuración más esférica que las dendritas normales y no tienen una estructura dendrítica donde se efectúa la interconexión de las partículas primarias para formar una estructura de red dendrítica. Además, los sólidos primarios están sustancialmente exentos de eutécticos. Por el término "sólido secundario", según se usa aquí, se entiende la fase o fases que solidifican a partir del líquido que se extingue en la suspensión a una temperatura más baja que en la que se forman las partículas sólidas dendríticas. Normalmente, las aleaciones solidificadas tienen dendritas ramificadas separadas unas de otras en las primeras etapas de solidificación, es decir hasta el 15 al 20 por ciento, en peso, de sólidos, y se desarrollan en una red interconectada a medida que la temperatura se reduce y la fracción de sólidos, en peso, aumenta. La composición que contiene sólidos primarios, no dendríticos, de esta invención, evita por otro lado la formación de la red interconectada manteniendo las partículas no dendríticas, discretas, separadas unas de otras mediante la fase líquida incluso hasta con fracciones de sólidos de aproximadamente el 65 por ciento en peso.

El sólido secundario que se forma durante la solidificación a partir de la fase líquida, posterior a la formación del sólido no dendrítico, contiene una o más fases del tipo que se obtendría durante la solidificación mediante procedimientos convencionales de formación. Es decir, la fase secundaria comprende soluciones sólidas, o mezclas de dendritas, compuestos y/o soluciones sólidas.

El tamaño de las partículas no dendríticas depende de la composición de la aleación o del metal empleado, la temperatura de la mezcla sólido-líquido, y el tiempo que gasta la aleación en el intervalo de temperatura sólido-líquido. En general, el tamaño de las partículas primarias depende de la composición, la historia termo-mecánica de la suspensión, el número de núcleos cristalinos formados, la velocidad de enfriamiento, y puede variar desde aproximadamente 1 a aproximadamente 10.000 micrómetros, y están distribuidas homogéneamente, en tamaño, por toda la composición de la aleación metálica. Se prefiere que la composición contenga entre 10 y 50 por ciento en peso de sólidos primarios, ya que estas composiciones tienen una viscosidad que fomenta la facilidad de la colada o del conformado.

La composición de esta invención se puede formar a partir de cualquier sistema de aleación metálica que, cuando solidifica a partir del estado líquido, forma una estructura dendrítica. Incluso aunque los metales puros y los eutécticos funden a una única temperatura, se pueden emplear para formar la composición de esta invención ya que pueden existir

ES 2 341 247 T3

en equilibrio sólido-líquido en el punto de fusión controlando la entrada o la salida del calor neto a la masa fundida, de forma que, en el punto de fusión, el metal puro o el eutéctico contengan suficiente calor para fundir únicamente una porción del metal, o del eutéctico, líquido. Esto sucede ya que no se puede obtener la retirada completa del calor de fusión, en una suspensión empleada en el proceso de colada de esta invención, igualando la energía térmica suministrada y la retirada por el medio ambiente refrigerante que lo rodea. Las aleaciones adecuadas representativas incluyen, pero no se limitan a, aleaciones de plomo, aleaciones de magnesio, aleaciones de cinc, aleaciones de aluminio, aleaciones de cobre, aleaciones de hierro, aleaciones de cobalto. Son ejemplos de estas aleaciones las aleaciones de plomo-estaño, aleaciones de cinc-aluminio, aleaciones de cinc-cobre, aleaciones de magnesio-aluminio, aleaciones de magnesio-aluminio-cinc, aleaciones de magnesio-cinc, aleaciones de aluminio-silicio, aleaciones de aluminio-cobre-cinc-magnesio, bronce de cobre-estaño, latón, bronce de aluminio, aceros, hierros colados, aceros para herramientas, aceros inoxidables, superaleaciones, y aleaciones de cobalto-cromo, o metales puros tales como hierro, cobre o aluminio.

En la Figura 2 se muestra una realización alternativa de la invención que incluye un aparato 10, generalmente similar al de la realización mostrada en la Figura 1, pero que incluye un vaso 20 de enfriamiento al que se transfiere la suspensión 18 después de que se haya completado la agitación en el vaso 12 de termotratamiento y el contenido de sólidos se haya elevado hasta un valor desde aproximadamente el 1% hasta aproximadamente el 20%. El vaso 20 de enfriamiento tiene paredes 22 que están hechas de un material que tiene una alta conductividad térmica. Las paredes 22 del vaso se pueden diseñar con una capacidad calorífica total (la capacidad calorífica específica de las paredes determina la masa de las paredes) que permite el rápido equilibrio de la temperatura de las paredes 22 con una cantidad dada de suspensión 18, para conseguir el rápido enfriamiento de la suspensión hasta dar el contenido de sólidos deseado cuando las paredes 22 del vaso se mantienen a una temperatura predeterminada relativamente fría, antes de ponerse en contacto con la suspensión. Se puede emplear un ventilador o soplante 24 para producir altas tasas de transferencia de calor desde la suspensión a través de las paredes 22, y desde las paredes 22 al aire que lo rodea, por lo que se produce el rápido enfriamiento de la suspensión 18. Esto permite tasas de producción más altas.

Los materiales adecuados que tienen alta conductividad térmica, que se pueden incluir en la fabricación de las paredes del vaso 20, incluyen acero, acero inoxidable y grafito. El grafito está particularmente indicado para una alta producción a un bajo coste, porque tiene una conductividad térmica bastante alta que es comparable a la de los metales, y una superficie que exhibe una baja mojabilidad para diversas aleaciones metálicas de interés (por ejemplo, aleaciones de aluminio y magnesio). Como resultado, es posible un enfriamiento relativamente rápido de la suspensión de la aleación desde un contenido de sólidos más bajo (por ejemplo, de aproximadamente el 1% a aproximadamente el 20%) a un contenido de sólidos relativamente más alto (por ejemplo, de aproximadamente el 10% a aproximadamente el 65%), mientras que la superficie del vaso 20 se puede volver a usar sin la posterior limpieza para quitar los depósitos, y/o la limpieza para quitar los depósitos metálicos es más fácil, por lo que son posibles tasas de producción más altas a coste más bajo. Cuando el vaso 20 está fabricado de un metal o de otro material que posea una superficie que pueda ser mojada por la suspensión, las superficies internas del vaso que entran en contacto con la suspensión de la aleación están preferiblemente revestidas con un revestimiento de baja mojabilidad, como por ejemplo un revestimiento de nitruro de boro.

El vaso 20 de enfriamiento se puede enfriar también haciendo pasar un fluido de transferencia de calor a través de canales de enfriamiento formados, o si no dispuestos dentro de las paredes del vaso de enfriamiento. También, el vaso de enfriamiento se puede configurar con una superficie específica, masa y capacidad calorífica apropiadas para efectuar un rápido enfriamiento de la suspensión desde un contenido de sólidos relativamente bajo hasta un deseado contenido de sólidos más alto, bajo condiciones de reposo, sin enfriar la suspensión a una temperatura por debajo de la que es adecuada para conformar el componente metálico deseado.

Después de que la suspensión 18 se haya enfriado hasta el contenido más alto de sólidos deseado, sin agitación (es decir, bajo condiciones de reposo), la suspensión se conforma en los componentes metálicos deseados, por ejemplo por colada.

50

Primer ejemplo de agitador de grafito

Se mantuvo una carga fundida de aleación de aluminio en un recipiente. La aleación de aluminio tiene las siguientes propiedades:

55

Temperatura (T_f) = 640°C

60

Calor latente de fusión (H_f) = 400.000 J/kg (donde J es un julio, una unidad de energía)

Capacidad calorífica del aluminio (C_p) \approx 1.000 J/kg°C

Cantidad de aleación de aluminio (m) \approx 4 kg

65

Para enfriar la aleación de aluminio parcialmente solidificada a una temperatura de 610°C y una fracción de sólidos de 0,10, se debe retirar la siguiente cantidad de calor:

Fracción de sólidos (Δf_s) = 0,10

ES 2 341 247 T3

Temperatura (T_i) = 610°C

$$\Delta H = m \cdot \Delta f_s \cdot H_f + m \int_{T_i}^{T_f} C_p dT$$

$$\Delta H = 4(\text{kg}) \cdot 0.10 \cdot 400.000 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right) + 4(\text{kg}) \cdot (30^\circ\text{C}) \cdot 1.000 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}\right) = 280.000 \text{ J}$$

Para retirar 280.000 julios de energía, la varilla debe tener suficiente masa y capacidad calorífica para absorber esta cantidad de energía. La varilla debe tener también una difusividad térmica, α , suficientemente alta para permitir que el calor se transfiera dentro de la varilla, desde fuera de la superficie, manteniendo la temperatura de la superficie por debajo de la temperatura de líquidos de la aleación

Agitador cilíndrico de grafito:

Radio exterior (R_0) = 0,025 m

Altura del cilindro (H) = 0,25 m

Volumen del cilindro = $V = \pi R_0^2 H = 4,91 \times 10^{-4} \text{ m}^3$

Densidad del grafito = 1.800 kg/m³

Masa de grafito = 0,88 kg

La varilla puede retirar la siguiente cantidad de calor si la temperatura inicial de la varilla es de 100°C y se eleva a 500°C.

Temperatura de la varilla = 100°C

Masa del recipiente de grafito = 0,88 kg

Capacidad calorífica del grafito $\approx 800 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$

$$\Delta H = m \int_{T_i}^{T_f} C_p dT = 0,88 \text{ kg} \cdot 400^\circ\text{C} \cdot 800 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \approx 280.000 \text{ J}$$

La varilla tiene suficiente masa y capacidad calorífica para absorber la cantidad de energía procedente del aluminio para enfriar la aleación desde por encima de su temperatura de liquidus hasta por debajo de su temperatura de liquidus.

50 Difusividad térmica

La varilla extrae calor de la aleación de aluminio fundida a través de su superficie según la siguiente ecuación de transferencia de calor:

$$q(W) = hA\Delta T$$

Coefficiente de transferencia de calor (h) $\approx 1.500 \text{ W/m}^2\text{C}$, donde W es un vatio (J/s).

Superficie específica de la varilla = 0,0393 m²

$$q(W) = hA\Delta T = 1.500(\text{W/m}^2\text{C}) \cdot 0,0393(\text{m}^2) \cdot 2 \cdot 50(\text{C}) \approx 15.000 \text{ W}$$

La varilla debe retirar 280.000 J, y la tasa de transferencia de calor es de 15.000 W, por lo tanto, el tiempo requerido para la retirada del calor es de aproximadamente 19 segundos. Esta duración variará dependiendo de las propiedades termofísicas de la aleación, de la temperatura inicial de la aleación, y de la masa y las propiedades termofísicas de la varilla.

ES 2 341 247 T3

La difusividad térmica (α) se define como la conductividad térmica (k) dividida por la densidad (ρ) del material multiplicado por la capacidad calorífica (C_p):

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$$

Para un material con una conductividad térmica relativamente baja, y alta densidad, como por ejemplo un material cerámico, la difusividad térmica es baja. El material es incapaz de transferir calor fuera desde su superficie a su interior, por lo tanto, la temperatura de la superficie se equilibra con la aleación, y es incapaz de reducir más la temperatura de la aleación.

Además de tener una masa suficientemente grande para absorber la energía de la aleación, el material de la varilla debe tener también una difusividad térmica adecuada para retirar calor de la superficie de la varilla a su interior.

Una varilla con una alta difusividad térmica podría tener una masa más pequeña que la que normalmente se requiere para absorber suficiente energía para iniciar la solidificación en la aleación si se usa un fluido de transferencia de calor para retirar calor de la varilla conjuntamente con la agitación y la extracción del calor.

Segundo ejemplo de agitador de grafito

Se mantuvieron en un recipiente cargas consecutivas de aleación de aluminio fundido. La aleación de aluminio tiene las siguientes propiedades:

Temperatura de la 1ª carga (T_1) = 640°C

Temperatura de la 2ª carga (T_1) = 657°C

Calor latente de fusión (H_f) = 400.000 J/kg (donde J es un julio, una unidad de energía)

Capacidad calorífica del aluminio (C_p) \approx 1.000 J/kg°C

Cantidad de aleación de aluminio (m) \approx 4 kg

Para enfriar la aleación de aluminio parcialmente solidificada a una temperatura de 610°C y una fracción de sólidos de 0,10, se debe retirar la siguiente cantidad de calor:

Fracción de sólidos (Δf_s) = 0,10

Temperatura (T_f) = 610°C

$$\Delta H = m \cdot \Delta f_s \cdot H_f + m \int_{T_f}^{T_i} C_p dT$$

Carga 1:

$$\Delta H = 4(\text{kg}) \cdot 0,10 \cdot 400.000 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right) + 4(\text{kg}) \cdot (30^\circ\text{C}) \cdot 1.000 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}\right) = 280.000 \text{ J}$$

Carga 2:

$$\Delta H = 4(\text{kg}) \cdot 0,10 \cdot 400.000 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right) + 4(\text{kg}) \cdot (47^\circ\text{C}) \cdot 1.000 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}\right) = 348.000 \text{ J}$$

ES 2 341 247 T3

La varilla en este ejemplo puede retirar 15000 W. en la Carga 1, la varilla debe retirar 280.000 J, mientras que en la Carga 2 la varilla debe retirar 348.000 J. El tiempo requerido para retirar el calor de la Carga 1 y de la Carga 2 es de 19 y 23 segundos, respectivamente.

- 5 Midiendo la temperatura del baño fundido antes de enfriar y de agitar con el agitador, se pueden eliminar las variaciones de la temperatura dentro de la suspensión semisólida. La duración de la agitación se puede determinar mediante un algoritmo que está basado en la temperatura del metal entrante, la temperatura de la varilla, los retrasos (pérdida de energía a los alrededores), etc.

10

Ejemplo de recipiente cilíndrico (vasija de enfriamiento)

Se mantuvo en un recipiente una carga de aleación de aluminio parcialmente solidificada. La aleación de aluminio tiene las siguientes propiedades:

15

Temperatura (T_1) = 610°C

Calor latente de fusión (H_f) = 400.000 J/kg (donde J es un julio, una unidad de energía)

20

Capacidad calorífica del aluminio (C_p) \approx 1.000 J/kg°C

Cantidad de aleación de aluminio (m) \approx 4 kg

25

Para enfriar la aleación de aluminio, parcialmente solidificada, a una temperatura de 590°C y una fracción de sólidos de 0,30, se debe retirar la siguiente cantidad de calor:

Diferencia de la fracción de sólidos (Δf_s) = 0,20

30

Temperatura (T_f) = 590°C

35

$$\Delta H = m \cdot \Delta f_s \cdot H_f + m \int_{T_i}^{T_f} C_p dT$$

40

$$\Delta H = 4(\text{kg}) \cdot 0,20 \cdot 400.000 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right) + 4(\text{kg}) \cdot (20^\circ\text{C}) \cdot 1.000 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}\right) = 400.000 \text{ J}$$

Para retirar 400.000 julios de energía, se diseña un recipiente para absorber esta cantidad de calor. Puede retirar este calor un recipiente de grafito de paredes delgadas con las siguientes propiedades:

45

Recipiente cilíndrico de grafito:

Radio interior (R_i) = 0,0508 m

50

Radio exterior (R_o) = 0,0568 m

Altura del cilindro (H) = 0,2346 m

55

Espesor de la pared (t) = 0,006 m

Volumen del cilindro = $V = \pi R_o^2 t + 2\pi R_o \cdot (H-t) \cdot t = 5,38 \times 10^{-4} \text{ m}^3$

Densidad del grafito = 1.800 kg/m³

60

Masa de grafito = 0,97 kg

El grafito puede retirar la siguiente cantidad de calor si su temperatura inicial es de 90°C y se equilibra con el aluminio a 590°C.

65

Temperatura del grafito = 90°C

ES 2 341 247 T3

Masa del recipiente de grafito = 0,97 kg

Capacidad calorífica del grafito $\approx 800 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$

5

$$\Delta H := m \int_{T_i}^{T_f} C_p dT = 0,97 \text{ kg} \cdot 500^\circ\text{C} \cdot 800 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cong 400.000 \text{ J}$$

10

15 El recipiente de grafito requiere la misma cantidad de calor para alcanzar una temperatura de 590°C . Por eso, el recipiente de grafito está diseñado para retirar rápidamente una cantidad predeterminada de calor para aumentar rápidamente el contenido de sólidos desde un primer valor en el intervalo de aproximadamente el 1% a aproximadamente el 10% en peso, hasta un segundo valor en el intervalo de aproximadamente el 10% a a aproximadamente el 65% en peso.

20 La descripción anterior se considera que es únicamente de las realizaciones preferidas. Las modificaciones de la invención se producirán para los expertos en la materia y para los que hacen o usan la invención. Por lo tanto, se entiende que las realizaciones descritas anteriormente son meramente para fines ilustrativos y no pretenden limitar el alcance de la invención, el cual está definido por las siguientes reivindicaciones interpretadas según los principios de la ley de patentes.

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

5 1. Un método para producir un componente metálico a partir de una composición de aleación metálica líquida, que comprende:

formar una composición de aleación metálica líquida que esté exenta de material sólido;

poner una cantidad de la composición de aleación metálica líquida en un vaso (12) de termotratamiento;

10 insertar un agitador (14) de grafito en la composición de aleación metálica líquida en el vaso de termotratamiento;

agitar la composición de aleación metálica líquida con el agitador de grafito mientras que se enfría la composición de aleación metálica para iniciar la solidificación y formar una suspensión (18) semisólida, no dendrítica;

15 cesar la agitación y retirar el agitador de grafito de la suspensión semisólida, no dendrítica, después de que el contenido de sólidos de la suspensión se haya elevado hasta un valor del 1% al 20% en peso;

20 enfriar la suspensión semisólida, no dendrítica, sin agitación hasta que el contenido de sólidos se haya elevado hasta un valor del 10% al 65%; y

transferir la suspensión semisólida, no dendrítica, que tiene un contenido de sólidos del 10% al 65% a un aparato para conformar un componente y dar forma al material transferido en el componente metálico deseado.

25 2. El método de la reivindicación 1, en el que el enfriamiento de la suspensión semisólida, no dendrítica, se consigue transfiriendo la suspensión semisólida, no dendrítica, que tiene un contenido de sólidos del 1% al 20%, en peso, a un vaso de enfriamiento, y enfriando la suspensión en el vaso (20) de enfriamiento.

30 3. El método de la reivindicación 2, en el que el vaso (20) de enfriamiento tiene paredes (22) hechas de un material seleccionado de acero y acero inoxidable.

4. El método de la reivindicación 2, en el que el vaso (20) de enfriamiento tiene paredes (22) hechas de grafito.

35 5. El método de la reivindicación 2, en el que se sopla aire a lo largo de las paredes (22) del vaso de enfriamiento.

6. El método de la reivindicación 3, en el que las paredes (22) internas del vaso (20) de enfriamiento están provistas de un revestimiento que no se moja, o que se moja de forma reducida.

40 7. El método de la reivindicación 6, en el que el revestimiento es un revestimiento de nitruro de boro.

8. El método de la reivindicación 1, en el que la composición de aleación metálica líquida se agita durante un tiempo predeterminado basado en la temperatura inicial de la composición de aleación metálica y de la tasa de extracción de calor del agitador (14).

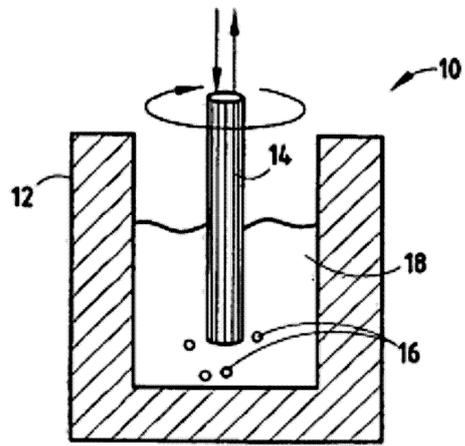


FIG. 1

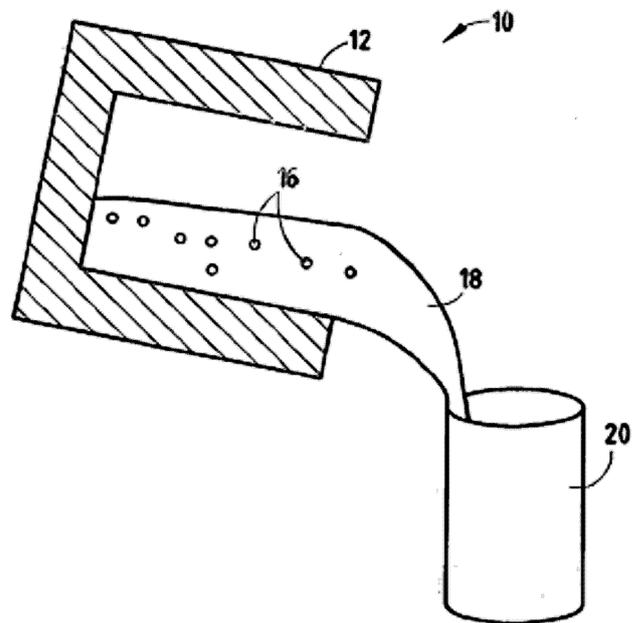


FIG. 2