

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 974 279**

51 Int. Cl.:

B22D 11/049 (2006.01)

B22D 11/114 (2006.01)

B22D 11/115 (2006.01)

B22D 11/117 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.07.2019** **PCT/US2019/043445**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.01.2020** **WO20023751**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.07.2019** **E 19841973 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.02.2024** **EP 3826787**

54 Título: **Mejora ultrasónica de materiales de fundición por enfriamiento directo**

30 Prioridad:

25.07.2018 US 201862703035 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.06.2024

73 Titular/es:

SOUTHWIRE COMPANY, LLC (100.0%)
One Southwire Drive
Carrollton, GA 30119, US

72 Inventor/es:

POWELL, MICHAEL CALEB;
RUNDQUIST, VICTOR FREDERIC y
MANCHIRAJU, VENKATA KIRAN

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 974 279 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

Mejora ultrasónica de materiales de fundición por enfriamiento directo

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Campo de la invención

- 5 Esta invención se refiere a la fundición por enfriamiento directo (DC) de metales y aleaciones de metales, particularmente aluminio y aleaciones de aluminio, en donde se obtiene directamente un producto homogéneo adecuado para formar productos metálicos tales como artículos de láminas y placas.

Descripción de los antecedentes

- 10 Los metales y aleaciones de metales, particularmente aluminio y aleaciones de aluminio, se funden a partir de una fase fundida para producir lingotes o palanquillas que posteriormente se someten a procesamiento adicional tal como laminado o trabajo en caliente para producir artículos en láminas o placas que se pueden convertir en productos finales. A lo largo de la siguiente descripción, se usará el término palanquilla para describir el producto del proceso de fundición por DC. Una palanquilla representa un producto de fundición de metal alargado, generalmente de forma cilíndrica y con un diámetro pequeño en comparación con su longitud. Sin embargo, los principios y operaciones en la presente invención aplicados también pueden ser aplicables a la producción de lingotes. La fundición por DC para producir palanquillas o lingotes se lleva a cabo convencionalmente en un molde axialmente vertical, de extremos abiertos y poco profundo que inicialmente está cerrado en su extremo inferior por una plataforma móvil que se mueve hacia abajo (a menudo denominada bloque inferior). El molde está rodeado por una camisa de enfriamiento a través de la cual circula continuamente un fluido refrigerante, tal como agua, para proporcionar enfriamiento externo de la pared del molde. El aluminio fundido (u otro metal) se introduce en el extremo superior del molde enfriado y, a medida que el metal fundido se solidifica en una región adyacente a la periferia interior del molde, la plataforma se mueve hacia abajo. Con un movimiento efectivamente continuo de la plataforma y el correspondiente suministro continuo de aluminio fundido al molde, se puede producir una palanquilla de la longitud deseada.

- 25 La Figura 1 (técnica anterior) muestra una sección transversal esquemática de un ejemplo de un aparato de fundición vertical por DC convencional 10. El metal fundido 12 se introduce en un molde de extremos abiertos enfriado por agua y orientado verticalmente 14 a través de una entrada 15 del molde y emerge como una palanquilla 16 desde una salida del molde 17. La parte superior de la palanquilla 16 tiene un núcleo de metal fundido 24 que forma un volumen que se estrecha hacia el interior 19 dentro de una capa exterior sólida 26 que se hace más gruesa una distancia creciente desde la salida del molde 17 a medida que se enfría el palanquilla, hasta que se forma una palanquilla completamente sólida a una cierta distancia por debajo de la salida del molde 17. El molde 14 que tiene paredes de molde enfriadas por un líquido (superficies de fundición) debido al refrigerante líquido que fluye a través de una camisa de enfriamiento circundante, que proporciona enfriamiento al metal fundido, confina y enfría periféricamente el metal fundido para comenzar la formación de la capa sólida 26, y el metal que se enfría sale y se aleja del molde a través de la salida 17 del molde en una dirección de avance indicada por la flecha A. Los chorros 18 de líquido refrigerante se dirigen desde la camisa de enfriamiento hacia la superficie exterior de la palanquilla 16 a medida que emerge del molde para proporcionar un enfriamiento directo que hace aumentar el espesor de la capa exterior 26 y mejorar el proceso de enfriamiento. El líquido de enfriamiento normalmente es agua, pero se pueden emplear otros fluidos apropiados para aleaciones especializadas. Se puede proporcionar un rascador anular estacionario 20 de la misma forma que la palanquilla para que esté en contacto con la superficie exterior de la palanquilla y espaciado a una distancia X por debajo de la salida 17 del molde y lo que tiene el efecto de eliminar el líquido de enfriamiento (representado por las corrientes 22) de la superficie de la palanquilla de modo que la superficie de la parte de la palanquilla situada por debajo del rascador esté libre de líquido de enfriamiento a medida que la palanquilla avanza.

- 45 La palanquilla que emerge desde el extremo inferior (salida) del molde en la fundición por DC vertical es externamente sólida, pero todavía está en estado fundido en su núcleo central. En otras palabras, el embolsamiento de metal fundido dentro del molde se extiende hacia abajo dentro de la porción central del lingote que se mueve hacia abajo a cierta distancia por debajo del molde como un volumen de metal fundido. Este volumen tiene una sección transversal que progresivamente decrece en dirección hacia abajo a medida que el lingote se va solidificando hacia dentro desde la superficie exterior hasta que su porción central se vuelve completamente sólida. Los Documentos de Patente de Números US 5 360 329 A, KR 2017 0100221 A y JP H07 68345 A describen además un método para la fundición por enfriamiento directo de una aleación de metal.

- 50 Las palanquillas de fundición por enfriamiento directo producidas de esta manera generalmente se someten a etapas de laminación en caliente y frío, u otros procedimientos de trabajo en caliente, para producir artículos de la forma deseada. Sin embargo, convencionalmente es necesario un tratamiento de homogeneización para convertir el metal a una forma más utilizable. Durante la solidificación de las aleaciones de fundición por DC tienen lugar múltiples eventos dentro de la microestructura. En primer lugar, la fase metálica sufre un proceso de nucleación en granos que pueden ser celulares, dendríticos o una combinación de los mismos y, de forma convencional, se añaden productos químicos de refinación de granos para ayudar en este proceso. Estos productos químicos añaden costes y crean problemas de funcionamiento e incluso pueden afectar negativamente a las propiedades del producto final. Además,

cuando existen condiciones de solidificación de no equilibrio, los componentes de la aleación pueden ser rechazados de los granos en formación y concentrarse en bolsas en la microestructura, afectando también negativamente a las propiedades de rendimiento del producto. El resultado de estos eventos son variaciones de composición no sólo a través del grano sino también en las regiones adyacentes a las fases intermetálicas donde coexisten en la estructura regiones relativamente blandas y duras y, si no se modifican o transforman, estas crearán variaciones de propiedades no aceptables para el consumidor en el producto final.

La homogeneización implica convencionalmente un tratamiento térmico para corregir las deficiencias microscópicas descritas anteriormente en la microestructura fundida. La homogeneización implica calentar la palanquilla fundida a una temperatura elevada (generalmente una temperatura superior a una temperatura de transición, por ejemplo, una temperatura cercana a la temperatura líquida del aluminio o de la aleación de aluminio durante desde unas pocas horas hasta un máximo de 24 horas o incluso más). Como resultado del tratamiento de homogeneización, se vuelve más uniforme la distribución de los granos. Además, se disuelven nuevamente las partículas constituyentes de bajo punto de fusión que se pueden haber formado durante la fundición en los granos. Además, se puede fracturar cualquier partícula intermetálica grande que se haya formado durante la fundición. Finalmente, se disuelven los precipitados de aditivos químicos añadidos con el fin de fortalecer el material que se puedan haber formado y luego se redistribuyen uniformemente a medida que se enfría la palanquilla. La operación de homogeneización es una operación de alto consumo de energía y tiene un efecto de costo directo en la operación en consideración del alto costo actual de la energía.

Un objeto de la presente invención es proporcionar un método y aparato de fundición por DC que proporcione directamente una palanquilla de metal fundida con una microestructura homogénea sin necesidad de un tratamiento térmico de homogeneización o que requiera sólo un tratamiento de homogeneización mínimo.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un método y un aparato de fundición por DC que proporcione directamente una palanquilla de metal fundida con una microestructura homogénea sin necesidad de incluir un producto químico de refinado de grano, o sólo una cantidad mínima de producto químico de refinado de grano.

Sumario de la invención

Estos y otros objetos los proporciona la presente invención, cuya primera realización proporciona un método para la fundición por enfriamiento directo de un metal o aleación de metal como se describe en las reivindicaciones 1 a 4 adjuntas, y un molde para fundición por enfriamiento directo como se describe en las reivindicaciones 5-7 adjuntas.

En una cuarta realización no reivindicada, la presente invención proporciona un palanquilla de metal o aleación de metal obtenida mediante el método de la primera realización, en donde el palanquilla no comprende un producto químico de refinado de grano y la palanquilla no se ha sometido a un tratamiento de homogeneización térmica.

En un aspecto especial de la cuarta realización, la palanquilla es una palanquilla de aluminio o aleación de aluminio.

Los párrafos anteriores se han proporcionado a modo de introducción general y no pretenden limitar el alcance de las siguientes reivindicaciones. Las realizaciones descritas, junto con otras ventajas, se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción detallada tomada junto con los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 muestra un diagrama esquemático de una unidad de fundición en molde por enfriamiento directo (DC) convencional y está etiquetada como "Técnica anterior".

La Figura 2 muestra un concepto visual de un sistema de fundición por DC estándar y está etiquetada como "Técnica anterior".

La Figura 3 muestra una vista interior abierta del sistema de fundición por DC estándar de la Figura 2 y está etiquetada como "Técnica anterior".

La Figura 4 muestra un concepto visual de un sistema de fundición por DC según una realización de la invención.

La Figura 5 muestra una vista interior abierta del sistema de fundición por DC mostrado en la Figura 4.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

En la siguiente descripción, las palabras "un" y "una" y similares tienen el significado de "uno o más". Las frases "seleccionado del grupo que consiste en", "elegido entre" y similares incluyen mezclas de los materiales especificados. Términos tales como "contiene(n)" y similares son términos abiertos que significan "incluido al menos" a menos que se indique específicamente lo contrario. Todas las referencias, patentes, solicitudes, pruebas, normas, documentos, publicaciones, folletos, textos, artículos, etc. mencionados en la presente invención se incorporan en la presente invención como referencia. Cuando se establece un límite o intervalo numérico, se incluyen los puntos finales. Además, todos los valores y subintervalos dentro de un límite o intervalo numérico se incluyen específicamente como si estuvieran escritos explícitamente.

A lo largo del resto de esta descripción se analizará la aleación de aluminio. Sin embargo, se debe entender que la esencia de las realizaciones descritas se puede no limitar a la aleación de aluminio y puede ser igualmente aplicable a cualquier metal o aleación de metal fundido en una operación de fundición por DC. Además, aunque en las realizaciones se describen palanquillas, el método también se puede considerar aplicable a la fundición de lingotes.

Así, según las realizaciones del presente método se proporciona la aplicación de energía vibratoria o ultrasónica en un sistema de dos niveles a un proceso de fundición por DC. En el primer nivel, se inserta directamente una combinación de energía ultrasónica y/o gas de purga en el volumen de masa fundida de una palanquilla formada en un molde abierto de un sistema de fundición por DC en un punto donde la palanquilla está fuera de la salida del molde. Esta combinación de energía vibratoria y gas de purga sirve para distribuir uniformemente los elementos de la aleación en la región del volumen de masa fundida y para eliminar los gases atrapados en la masa fundida. Además, se cree que el refinado del grano resulta de esta aplicación directa de energía vibratoria en la región del volumen de masa fundida. Debido a que esta área del volumen de masa fundida es adyacente al límite de solidificación de la palanquilla que se está enfriando, se puede retener la distribución uniforme de los elementos de la aleación en la palanquilla solidificada. Además, en un segundo nivel, mediante la aplicación de energía vibratoria, especialmente energía ultrasónica, a través de la pared de la palanquilla en la región del volumen de masa fundida, los cristales que se solidifican en el frente de solidificación se separan del frente en unidades cristalinas más pequeñas y se distribuyen de una manera más uniforme en la aleación solidificada.

Así, como resultado de los dos niveles de tratamiento, se obtiene una palanquilla con una distribución homogénea de los elementos de la aleación y unos granos finos. Este es exactamente el resultado buscado en el proceso de homogeneización térmica como se describió anteriormente y, así, se pueden evitar los costos operativos y de energía de una operación de homogeneización. Además, como se generan granos finos mediante la aplicación de energía ultrasónica en el frente de solidificación como se describió anteriormente, se obtiene una estructura de grano fino sin la necesidad de incluir productos químicos de refinado de grano tal como el boruro de titanio (TIBOR) o la mezcla de carbono y titanio (TiCar).

De este modo se puede obtener una palanquilla fundida de aleación de aluminio por DC de alta calidad sin el uso de productos químicos de refinado y con una reducción significativa del tiempo de producción y del coste de energía. Esta mejora en la calidad y el coste en la fundición de palanquillas por DC fue muy inesperada y ofrece una ventaja significativa sobre el sistema de fundición por DC convencional actualmente en funcionamiento.

Así, en la primera realización, la presente invención proporciona un método para la fundición por enfriamiento directo (DC) de un metal o aleación de metal, que comprende:

suministrar una masa fundida fluida que comprende un metal fundido o una aleación de metal fundido a un molde de enfriamiento directo con una entrada y una salida;

enfriar la masa fundida fluida en el molde para obtener una palanquilla con un núcleo fundido que forma un volumen que se estrecha hacia dentro y una capa exterior sólida que se hace más gruesa a medida que aumenta la distancia desde la salida del molde;

aplicar energía vibratoria a la masa fundida fluida en el volumen de núcleo fundido de una palanquilla que sale del molde con un dispositivo colocado dentro del molde;

inyectar un flujo de gas de purga en la masa fundida fluida en el volumen del núcleo fundido de la palanquilla;

aplicar energía vibratoria a la capa exterior sólida de la palanquilla más allá de la salida del molde en una región del volumen que se estrecha; y

retirar la palanquilla de la salida del molde;

enfriar aún más el palanquilla más allá de la salida del molde para obtener una palanquilla sólida.

El molde para la fundición por DC puede estar orientado vertical u horizontalmente.

La preparación y el suministro de la masa fundida fluida de metal fundido o de la aleación de metal se conocen convencionalmente y se puede emplear cualquiera de los sistemas conocidos con la presente invención. Además, también se conoce convencionalmente la manipulación de la palanquilla solidificada y cualquiera de dichos sistemas se puede combinar adecuadamente con la presente invención.

La aplicación de la energía vibratoria ultrasónica a la capa exterior sólida de la palanquilla en la región del volumen que se estrecha incluye aplicar la energía vibratoria desde una pluralidad de fuentes de energía vibratoria ubicadas en una pluralidad de posiciones alrededor de la circunferencia de la palanquilla. En teoría, cuanto mayor sea el número de entradas de energía vibratoria aplicadas, más eficaz será la generación de granos finos a partir del frente de solidificación. Sin embargo, en la práctica el número máximo puede estar limitado por la configuración espacial de la unidad de moldeo por DC. Generalmente, se pueden emplear al menos dos fuentes de energía vibratoria, preferiblemente de 2 a 8 fuentes de energía vibratoria, más preferiblemente de 3 a 6, y lo más preferiblemente 4 dispositivos de energía vibratoria.

El gas de purga puede ser cualquier gas adecuado para su uso con metal fundido o aleación de metal fundido. Generalmente se prefiere un gas inerte tal como nitrógeno o argón. Sin embargo, en aplicaciones específicas se pueden emplear otros gases como gas de purga, incluidas combinaciones de gases.

5 La fuente de energía vibratoria colocada en el molde y la unidad de alimentación de gas de purga se combinan como una unidad desgasificadora ultrasónica en donde el desgasificador ultrasónico comprende: una sonda alargada que comprende un primer extremo y un segundo extremo, el primer extremo unido a un transductor ultrasónico y el segundo extremo que comprende una punta ubicado en la salida del molde, y un suministro de gas de purga que comprende una entrada de gas de purga y una salida de gas de purga, estando la salida del gas de purga dispuesta en la punta de la sonda alargada para introducir un gas de purga en la región a la salida del molde.

10 Como se indicó anteriormente, la palanquilla por debajo o más allá de la salida del molde está recubierto con una camisa refrigerante, preferiblemente una camisa de agua. Así, existen dos configuraciones para la aplicación de la energía vibratoria a la capa exterior de la palanquilla. En una configuración, la fuente de energía vibratoria se puede insertar a través de la camisa de enfriamiento y hacer contacto directamente con la superficie de la palanquilla. En una segunda configuración, la fuente de energía vibratoria entra en contacto con la camisa de agua y el refrigerante transmite la energía ultrasónica a la superficie de la palanquilla.

15 En cualquier configuración, teniendo en cuenta que la energía vibratoria es amortiguada por la estructura sólida de la palanquilla, la posición del dispositivo de energía vibratoria con respecto al volumen que se estrecha se puede ubicar cerca de la salida del molde donde es mínimo el espesor de la pared sólida. En ciertas disposiciones, el posicionamiento de la pluralidad de dispositivos de energía vibratoria se puede disponer en diferentes ubicaciones del volumen de modo que la energía ultrasónica se aplique a través de un área máxima del frente de solidificación.

20 El dispositivo de energía vibratoria puede ser cualquier dispositivo adecuado para su uso en el molde de fundición por DC como se describe. Se puede usar una amplia gama de potencias y frecuencias ultrasónicas con el método de fundición por DC como se describe en la presente invención y se puede ajustar para un rendimiento óptimo dependiendo de la aleación particular que se va a fundir y la profundidad, forma y dimensiones del molde. En un aspecto, la fuente de vibraciones ultrasónicas puede proporcionar una potencia de 1,5 kW a una frecuencia acústica de 20 kHz.

25 En general, la potencia de la sonda (dispositivo de energía vibratoria) puede oscilar entre 50 y 5000 W, dependiendo de las dimensiones de la sonda. Estas potencias normalmente se aplican a la sonda para garantizar que la densidad de potencia en el extremo de la sonda sea mayor de 100 W/cm², que se puede considerar el umbral para la escisión del grano en el frente de solidificación. Las potencias en esta zona pueden oscilar de 50 a 5000 W, de 100 a 3000 W, de 500 a 2000 W, de 1000 a 1500 W o cualquier intervalo intermedio o superpuesto. Son posibles potencias más altas para sondas más grandes y potencias más bajas para sondas más pequeñas. En diversas realizaciones de la invención, la densidad de potencia de la energía vibratoria aplicada puede oscilar de 10 W/cm² a 500 W/cm², o de 20 W/cm² a 400 W/cm², o de 30 W/cm² a 300 W/cm², o de 50 W/cm² a 200 W/cm², o de 70 W/cm² a 150 W/cm², o cualquier intervalo intermedio o superpuesto de los mismos.

35 En general, se puede usar una frecuencia de desde 5 a 400 kHz (o cualquier intervalo intermedio). Alternativamente, se pueden usar 10 y 30 kHz (o cualquier intervalo intermedio). Alternativamente, se pueden usar 15 y 25 kHz (o cualquier intervalo intermedio). La frecuencia aplicada puede variar de 5 a 400 KHz, de 10 a 30 kHz, de 15 a 25 kHz, de 10 a 200 KHz o de 50 a 100 kHz, o cualquier intervalo intermedio o superpuesto de los mismos.

40 El dispositivo de energía vibratoria puede ser cualquiera de los dispositivos conocidos en la técnica y puede ser una sonda de ondas ultrasónicas (o sonotrodo), un transductor piezoeléctrico, un radiador ultrasónico o un elemento magnetostrictivo. En el caso en que la energía vibratoria se transmita a través del medio de enfriamiento, se puede preferir un transductor ultrasónico. En una realización de la invención, la energía ultrasónica se suministra desde un transductor que es capaz de convertir corrientes eléctricas en energía mecánica creando así frecuencias de vibración por encima de 20 kHz (por ejemplo, hasta 400 kHz), siendo suministrada la energía ultrasónica desde uno o ambos elementos piezoeléctricos o elementos magnetostrictivos.

45 En una realización en donde una sonda de ondas ultrasónicas hace contacto con el medio de enfriamiento líquido, puede ser variable una distancia de separación desde una punta de sonda de ondas ultrasónicas hasta la pared de la palanquilla sólida. La distancia de separación puede ser, por ejemplo, menor de 1 mm, menor de 2 mm, menor de 5 mm, menor de 1 cm, menor de 2 cm, menor de 5 cm, menor de 10 cm, menor de 20 o menor de 50 cm.

50 En un aspecto de la invención, el dispositivo de energía vibratoria puede ser un transductor piezoeléctrico formado de un material cerámico que está intercalado entre electrodos que proporcionan puntos de unión para contacto eléctrico. Una vez que se aplica voltaje a la cerámica a través de los electrodos, la cerámica se expande y contrae a frecuencias ultrasónicas.

55 Como se sabe en la técnica, se puede usar un amplificador ultrasónico para amplificar o intensificar la energía vibratoria creada por un transductor piezoeléctrico. El amplificador no aumenta ni disminuye la frecuencia de las vibraciones; aumenta la amplitud de la vibración. En una realización de la invención, se conecta un amplificador entre el transductor piezoeléctrico y la sonda.

Los transductores magnetostrictivos suelen estar compuestos por una gran cantidad de placas de material que se expandirán y contraerán una vez que se aplique un campo electromagnético. Más específicamente, los transductores magnetostrictivos adecuados para la presente invención pueden incluir en una realización una gran cantidad de placas o laminaciones de níquel (u otro material magnetostrictivo) dispuestas en paralelo con un borde de cada laminado unido al fondo de un recipiente de proceso u otra superficie para ser vibrado. Se coloca una bobina de alambre alrededor del material magnetostrictivo para proporcionar el campo magnético. Por ejemplo, cuando se suministra un flujo de corriente eléctrica a través de una bobina de alambre, se crea un campo magnético. Este campo magnético hace que el material magnetostrictivo se contraiga o alargue, introduciendo así una onda sonora en un fluido en contacto con el material magnetostrictivo en expansión y contracción. Las frecuencias ultrasónicas típicas de los transductores magnetostrictivos adecuados para la invención oscilan entre 20 y 200 kHz. Se pueden usar frecuencias más altas o bajas dependiendo de la frecuencia natural del elemento magnetostrictivo.

Para los transductores magnetostrictivos, el níquel es uno de los materiales más usados. Cuando se aplica voltaje al transductor, el material de níquel se expande y contrae a frecuencias ultrasónicas. En una realización de la invención, las placas de níquel se sueldan directamente con plata a una placa de acero inoxidable. La placa de acero inoxidable del transductor magnetostrictivo es la superficie que vibra a frecuencias ultrasónicas y es la superficie (o sonda) acoplada directamente al medio de enfriamiento. Las cavitaciones que se producen en el medio de enfriamiento a través de la vibración de la placa a frecuencias ultrasónicas impactan luego en la superficie sólida de la palanquilla.

Los vibradores mecánicos útiles para la invención pueden funcionar de 8000 a 15000 vibraciones por minuto, aunque se pueden usar frecuencias más altas y bajas. En una realización de la invención, el mecanismo vibratorio está configurado para vibrar entre 565 y 5000 vibraciones por segundo. Por consiguiente, los intervalos adecuados para las vibraciones mecánicas que se pueden usar en la invención incluyen: de 0 a 10 KHz, de 10 Hz a 4000 Hz, de 20 Hz a 2000 Hz, de 40 Hz a 1000 Hz, de 100 Hz a 500 Hz e intervalos intermedios y combinados de los mismos, incluyendo un intervalo preferido de 565 a 5000 Hz.

Si bien se describió anteriormente con respecto a realizaciones ultrasónicas y accionadas mecánicamente, la invención no se limita a uno u otro de estos intervalos, sino que se puede usar para un amplio espectro de energía vibratoria de hasta 400 KHz, incluidas fuentes de frecuencia única y de frecuencia múltiple. Además, se puede usar una combinación de fuentes (fuentes ultrasónicas y accionadas mecánicamente, o diferentes fuentes ultrasónicas, o diferentes fuentes accionadas mecánicamente o fuentes de energía acústica que se describirán más adelante).

En una segunda realización, la presente invención proporciona un molde de fundición por enfriamiento directo (DC), que comprende:

- un molde de extremos abiertos orientado verticalmente con una entrada situada en la parte superior y una salida situada en la parte inferior;

- un canal de alimentación para el suministro de una masa fundida fluida a la entrada superior del molde;

- un sistema de enfriamiento líquido que proporciona una camisa de enfriamiento líquido a la salida del molde;

- una fuente de energía vibratoria situada verticalmente por encima de la entrada del molde y que se extiende hacia el interior del molde;

- opcionalmente, una unidad de alimentación de gas de purga situada verticalmente por encima de la entrada del molde y que se extiende hacia el interior del molde; y

- una pluralidad de fuentes de energía vibratoria dispuestas circunferencialmente por debajo de la salida del molde;

- en donde la posición vertical de la pluralidad de fuentes de energía vibratoria dispuestas circunferencialmente está situada muy cerca de la salida del molde de modo que la energía vibratoria se aplica a una palanquilla que sale del molde en una región de un volumen de masa fundida que se estrecha hacia el interior dentro de la palanquilla.

El molde se puede construir con cualquier material compatible con la composición de metal fundido que se va a fundir. Generalmente, el molde se puede construir de cobre o grafito.

En un aspecto, la fuente de energía vibratoria colocada verticalmente comprende al menos un transductor ultrasónico, al menos un vibrador accionado mecánicamente o una combinación de los mismos.

En un aspecto adicional, la fuente de energía vibratoria colocada verticalmente y la unidad de alimentación de gas de purga se combinan como una unidad desgasificadora ultrasónica en donde el desgasificador ultrasónico comprende: una sonda alargada que comprende un primer extremo y un segundo extremo, el primer extremo unido a un transductor ultrasónico y el segundo extremo comprende una punta ubicado a la salida del molde, y un suministro de gas de purga que comprende una entrada de gas de purga y una salida de gas de purga, estando la salida de gas de purga dispuesta en la punta de la sonda alargada para introducir un gas de purga en la región a la salida del molde.

En la Figura 4 se muestra un concepto visual esquemático del sistema de molde de fundición por DC, donde una unidad desgasificadora ultrasónica se coloca verticalmente sobre el molde y se proyecta hasta un punto por debajo de la salida del molde (Figura 5). Cuatro dispositivos de ultrasonido se colocan simétricamente alrededor de la circunferencia de la palanquilla directamente debajo de la salida del molde y adyacentes a la región de la palanquilla que contiene el volumen de masa fundida que se estrecha hacia el interior.

Como se describió anteriormente, cada una de la pluralidad de fuentes de energía vibratoria dispuestas circunferencialmente debajo de la salida del molde comprende al menos un transductor ultrasónico, al menos un vibrador accionado mecánicamente o una combinación de los mismos. Además, cada una de la pluralidad de fuentes de energía vibratoria dispuestas circunferencialmente debajo de la salida del molde se puede colocar para hacer contacto de forma directa con una superficie sólida de un palanquilla que sale del molde. En otro aspecto, como se muestra en las Figuras 4 y 5, cada una de la pluralidad de fuentes de energía vibratoria dispuestas circunferencialmente debajo de la salida del molde se colocan para hacer contacto con una camisa de fluido de enfriamiento sobre una superficie sólida de un palanquilla que sale del molde. Preferiblemente, la camisa de enfriamiento es una camisa de agua.

En una tercera realización, la presente invención proporciona un molde de fundición por enfriamiento directo (DC), que comprende:

- un molde de extremos abiertos orientado horizontalmente con una entrada y una salida;
- un canal de alimentación para el suministro de una masa fundida fluida a la entrada del molde;
- un sistema de enfriamiento líquido que proporciona una camisa de enfriamiento líquido a la salida del molde;
- una fuente de energía vibratoria situada a la entrada del molde y que se extiende hacia el interior del molde;
- opcionalmente, una unidad de alimentación de gas de purga situada a la entrada del molde y que se extiende hacia el interior del molde; y
- una pluralidad de fuentes de energía vibratoria dispuestas circunferencialmente más allá de la salida del molde;

en donde la posición de la pluralidad de fuentes de energía vibratoria dispuestas circunferencialmente está situada muy cerca de la salida del molde de modo que la energía vibratoria se aplica a un palanquilla que sale del molde en una región de un volumen de fusión que se estrecha hacia el interior dentro de la palanquilla.

El molde se puede construir con cualquier material compatible con la composición de metal fundido que se va a fundir. Generalmente, el molde se puede construir de cobre o grafito.

En un aspecto, la fuente de energía vibratoria colocada dentro del molde comprende al menos un transductor ultrasónico, al menos un vibrador accionado mecánicamente o una combinación de los mismos.

En un aspecto adicional, cuando se emplea gas de purga, la fuente de energía vibratoria colocada dentro del molde y la unidad de alimentación de gas de purga se combinan como una unidad desgasificadora ultrasónica en donde el desgasificador ultrasónico comprende: una sonda alargada que comprende un primer extremo y un segundo extremo, el primer extremo unido a un transductor ultrasónico y el segundo extremo que comprende una punta ubicado en la salida del molde, y un suministro de gas de purga que comprende una entrada de gas de purga y una salida de gas de purga, estando la salida de gas de purga dispuesta en la punta de la sonda alargada para introducir un gas de purga en la zona a la salida del molde.

En una cuarta realización no reivindicada, la presente invención se refiere a un palanquilla de aleación fundida obtenida mediante el método de la presente invención. El palanquilla no comprende un producto químico de refinado de grano, o una cantidad significativamente reducida de producto químico de refinado de grano, y la palanquilla no ha sido sometido a un tratamiento de homogeneización térmica. En un aspecto preferido, la palanquilla es una palanquilla de aluminio o aleación de aluminio.

REIVINDICACIONES

1. Un método para la fundición por enfriamiento directo de un metal o aleación de metal, que comprende:

suministrar una masa fundida fluida que comprende un metal fundido o una aleación de metal fundido a un molde de enfriamiento directo con una entrada y una salida;

5 enfriar la masa fundida fluida en el molde para obtener un palanquilla con un núcleo fundido en la forma de un volumen que se estrecha hacia el interior y una capa exterior sólida que aumenta en su espesor a medida que aumenta la distancia desde la salida del molde;

aplicar energía vibratoria a la masa fundida fluida en el volumen de núcleo fundido de una palanquilla que sale del molde con un dispositivo colocado dentro del molde;

10 inyectar un flujo de gas de purga en la masa fundida fluida en el volumen de núcleo fundido de la palanquilla mediante una unidad de alimentación de gas de purga que se extiende dentro del molde;

aplicar energía vibratoria a la capa exterior sólida de la palanquilla más allá de la salida del molde en una región del volumen que se estrecha;

retirar la palanquilla de la salida del molde; y

15 enfriar aún más la palanquilla más allá de la salida del molde para obtener una palanquilla sólida,

en donde el dispositivo que aplica energía vibratoria y que está colocado en el molde y la unidad de alimentación de gas de purga se combinan como una unidad desgasificadora ultrasónica en donde el desgasificador ultrasónico comprende: una sonda alargada que comprende un primer extremo y un segundo extremo, el primer extremo unido a un dispositivo ultrasónico transductor y el segundo extremo que comprende una punta ubicado en la salida del molde, y un suministro de gas de purga que comprende una entrada de gas de purga y una salida de gas de purga, estando la salida de gas de purga dispuesta en la punta de la sonda alargada para introducir un gas de purga en la región a la salida del molde, y

20 en donde aplicar energía vibratoria a la capa exterior sólida de la palanquilla en la región del volumen que se estrecha incluye aplicar la energía vibratoria desde una pluralidad de fuentes de energía vibratoria ubicadas en una pluralidad de posiciones alrededor de la circunferencia de la palanquilla.

2. El método de la reivindicación 1, en donde aplicar energía vibratoria a la capa exterior sólida de la palanquilla en la región del volumen que se estrecha incluye aplicar la energía vibratoria a través de una capa de enfriamiento rociada sobre la superficie exterior de la palanquilla a la salida del molde.

3. El método de la reivindicación 1, en donde:

30 una frecuencia de la energía vibratoria aplicada a la masa fundida fluida en el volumen central de la palanquilla es de 5 a 400 kHz;

una frecuencia de la energía vibratoria aplicada a la capa exterior sólida de la palanquilla es de 5 a 400 kHz; o

35 una frecuencia de la energía vibratoria aplicada a una capa de refrigerante sobre la capa exterior sólida de la palanquilla es de 5 a 400 kHz.

4. El método de la reivindicación 1, en donde una aleación de metal se somete a fundido por DC y la aleación de metal es una aleación de aluminio.

5. Un molde de fundición por enfriamiento directo (DC), que comprende:

un molde de extremos abiertos con una entrada y una salida;

40 un canal de alimentación para el suministro de una masa fundida fluida a la entrada del molde;

un sistema de enfriamiento líquido que proporciona una camisa de enfriamiento líquido a la salida del molde;

una fuente de energía vibratoria situada en el molde;

una unidad de alimentación de gas de purga que se extiende hacia el interior del molde; y

45 una pluralidad de fuentes de energía vibratoria dispuestas circunferencialmente más allá de la salida del molde;

en donde la posición de la pluralidad de fuentes de energía vibratoria dispuestas circunferencialmente está ubicada de manera que la energía vibratoria se aplica a una palanquilla que sale del molde en una región de un volumen de masa fundida que se estrecha hacia el interior dentro de la palanquilla, y

5 en donde la fuente de energía vibratoria colocada en el molde y la unidad de alimentación de gas de purga se combinan como una unidad desgasificadora ultrasónica en donde el desgasificador ultrasónico comprende:

10 una sonda alargada que comprende un primer extremo y un segundo extremo, el primer extremo unido a un transductor ultrasónico y el segundo extremo que comprende una punta ubicado a la salida del molde, y un suministro de gas de purga que comprende una entrada de gas de purga y una salida de gas de purga, estando la salida de gas de purga dispuesta en la punta de la sonda alargada para introducir un gas de purga en la región a la salida del molde.

6. El molde de fundición por enfriamiento directo de la reivindicación 5, en donde cada una de la pluralidad de fuentes de energía vibratoria dispuestas circunferencialmente más allá de la salida del molde:

15 comprende al menos un transductor ultrasónico, al menos un vibrador accionado mecánicamente o una combinación de los mismos;

se sitúa para hacer contacto de forma directa con una superficie sólida de una palanquilla que sale del molde; o

se sitúa para hacer contacto con una camisa de fluido de enfriamiento sobre una superficie sólida de una palanquilla que sale del molde.

20 7. El molde de fundición por enfriamiento directo de la reivindicación 5, en donde:

el molde de extremos abiertos se orienta verticalmente, la entrada es una entrada situada en la parte superior y la salida es una salida situada en la parte inferior;

la fuente de energía vibratoria se sitúa verticalmente por encima de la entrada del molde y se extiende hacia el interior del molde;

25 la unidad de alimentación de gas de purga se sitúa verticalmente por encima de la entrada del molde y se extiende más allá de la salida del molde.

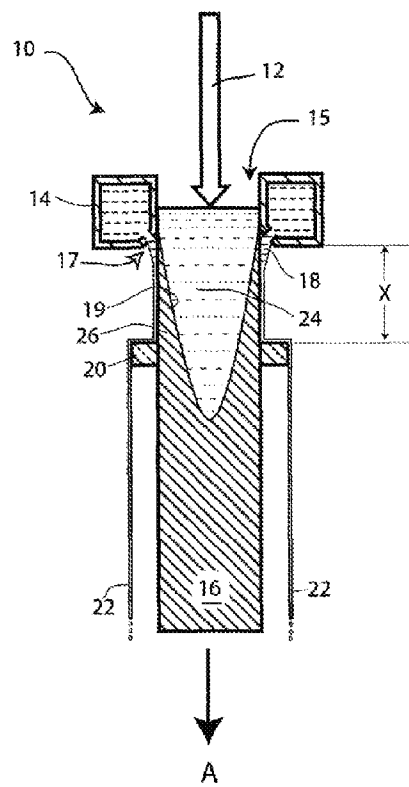


Figura 1

(TÉCNICA ANTERIOR)

PRÁCTICA ESTÁNDAR - FUNDICIÓN POR ENFRÍAMIENTO DIRECTO (DC)

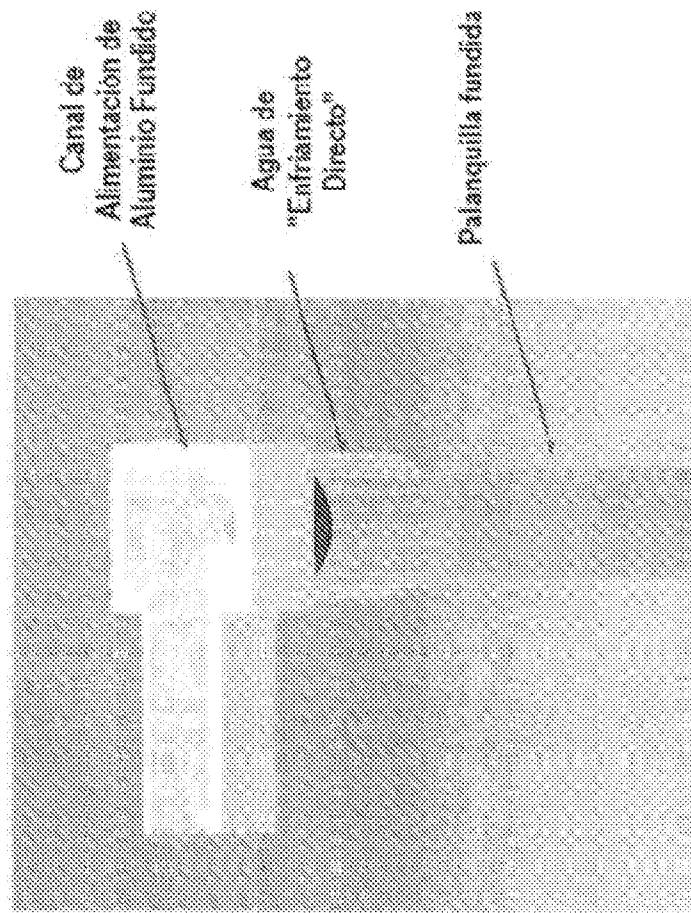


Figura 2
(TECNICA ANTERIOR)

PRÁCTICA ESTÁNDAR - FUNDICIÓN POR ENFRÍAMIENTO DIRECTO (DC)

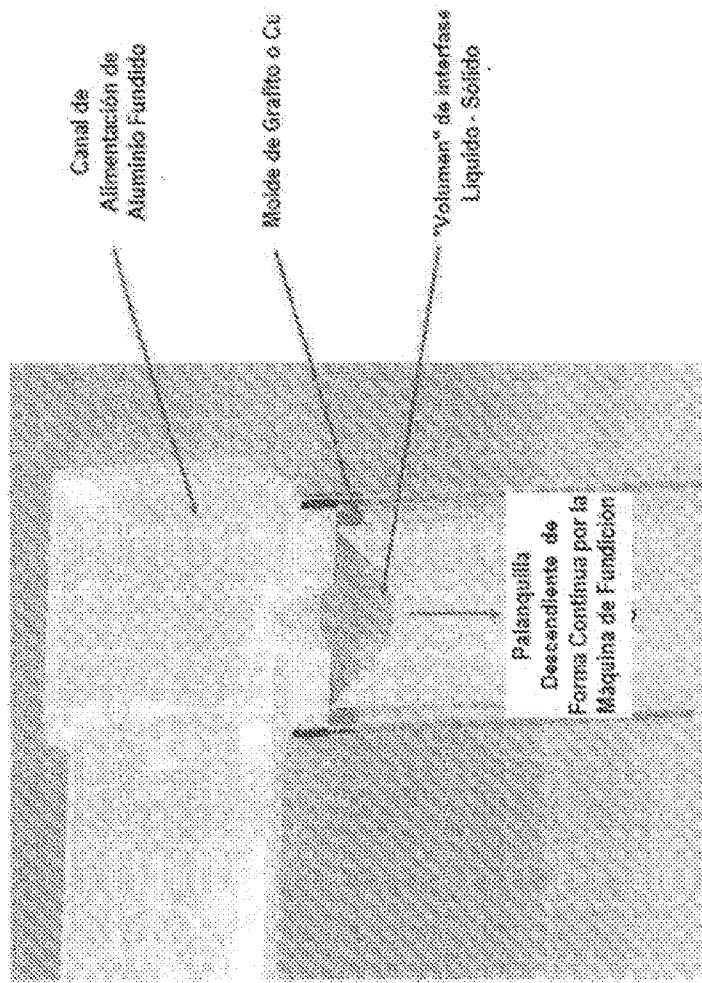


Figura 3
(TECNICA ANTERIOR)

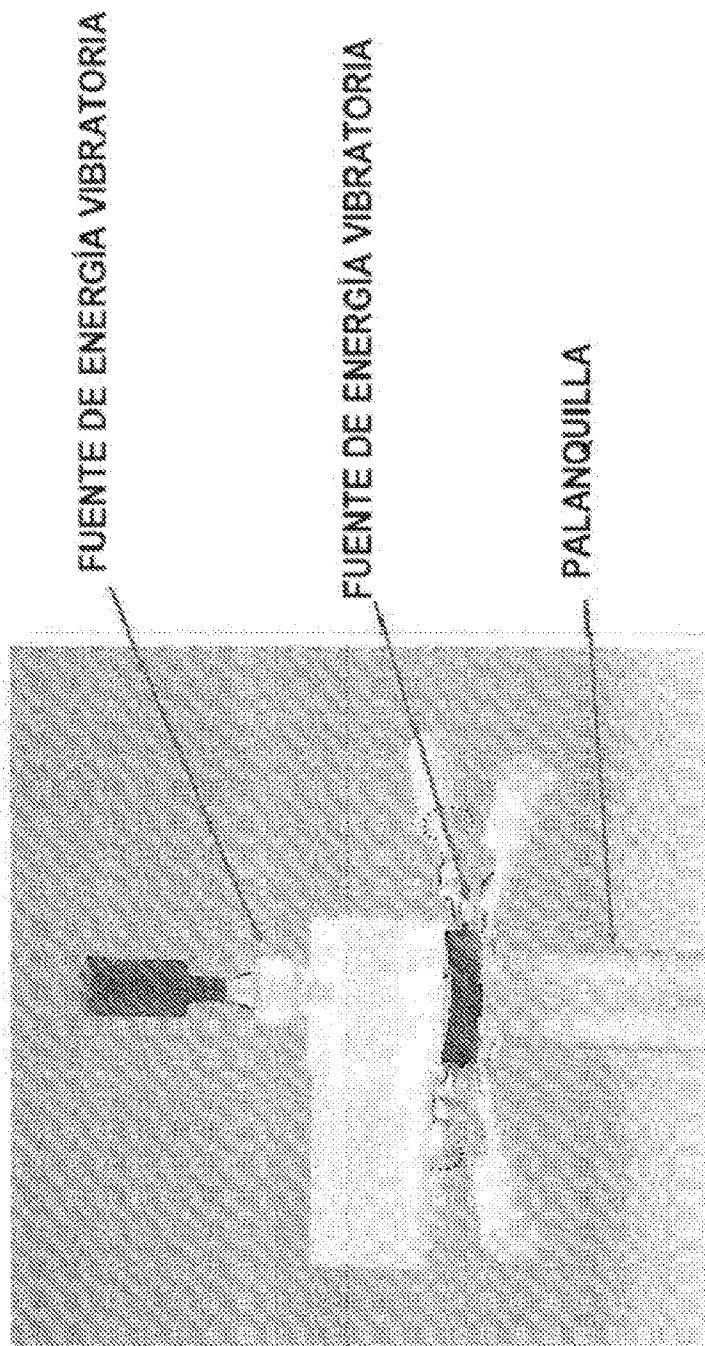


Figura 4

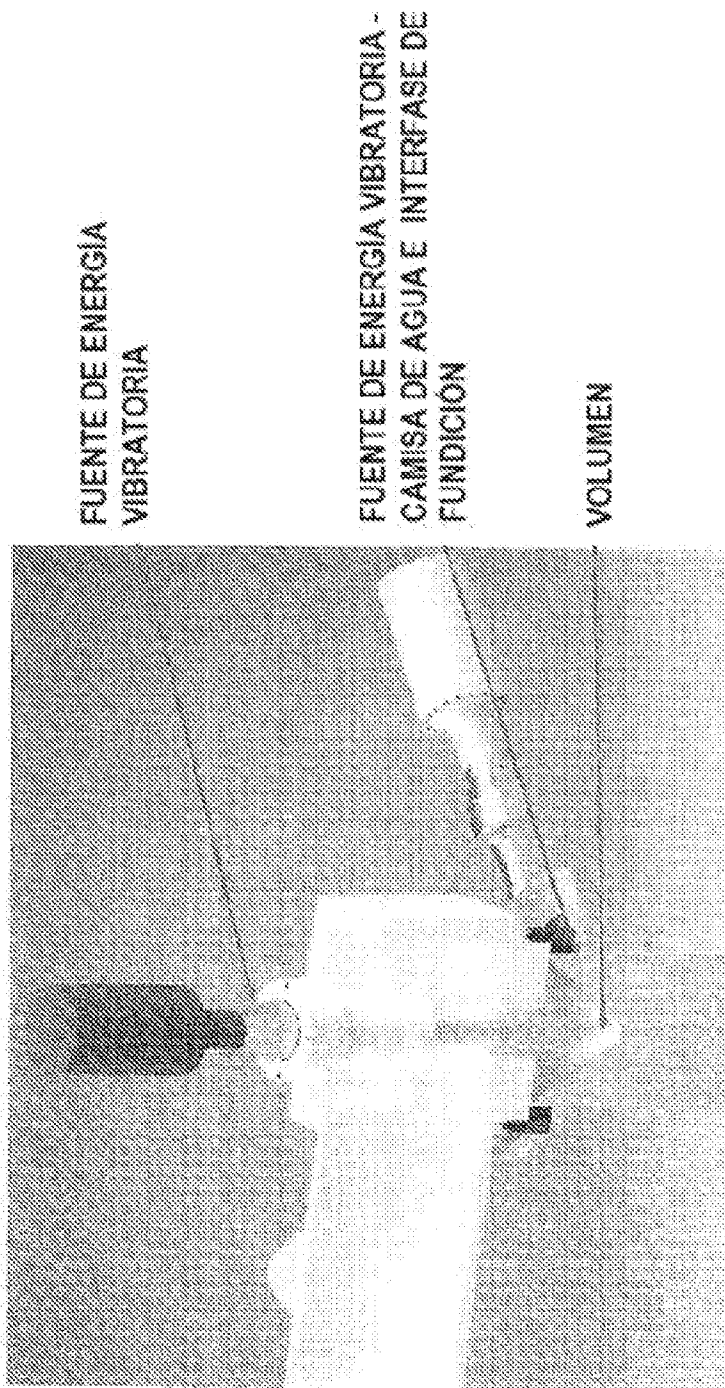


Figura 5