

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 821 942**

51 Int. Cl.:

F27D 27/00 (2010.01)
B01F 13/08 (2006.01)
B22D 17/30 (2006.01)
C22B 9/00 (2006.01)
B01F 7/18 (2006.01)
B22D 1/00 (2006.01)
B01F 15/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.08.2015 PCT/GB2015/052409**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **25.02.2016 WO16027087**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.08.2015 E 15762664 (9)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.07.2020 EP 3183523**

54 Título: **Dispositivo y método para el tratamiento de metal líquido con alto cizallamiento**

30 Prioridad:

20.08.2014 GB 201414810

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

28.04.2021

73 Titular/es:

CASSINATH, ZEN (100.0%)
17 Woodyard Close
Castle Gresley DE11 9HR, GB

72 Inventor/es:

CASSINATH, ZEN

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 821 942 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

Dispositivo y método para el tratamiento de metal líquido con alto cizallamiento

Campo técnico

5 La presente invención se refiere genéricamente a un método y a un sistema para el tratamiento de metales semisólidos y líquidos que se lleva a cabo previamente al proceso de solidificación completa de materiales metálicos, y la invención se refiere más en particular a un dispositivo para cizallar metales semisólidos y líquidos.

Antecedentes de la invención

10 Es bien conocido que los metales líquidos contienen diversas cantidades de constituyentes no metálicos, es decir, inclusiones gaseosas y no metálicas, y que su presencia puede producir defectos en los productos terminados. Se han propuesto muchos procedimientos para la retirada del gas y de las inclusiones.

15 El tratamiento de metales líquidos previo al proceso de solidificación resulta necesario en el caso de una diversidad de procesos de fundición que incluyen, pero que no están limitados a, fundición en molde de arena, fundición en molde permanente, fundición por moldeado a alta presión, fundición directa en coquilla, fundición de doble rodillo y procedimientos similares para propósitos de refinamiento de grano, limpieza del fundido metálico, consecución de una microestructura homogénea y de una composición química homogénea, dispersando y distribuyendo tanto las partículas endógenas como exógenas.

Los métodos existentes para el tratamiento de metales líquidos incluyen principalmente agitación mecánica mediante un agitador, agitación electromagnética y algunos otros métodos tales como flujo de líquido inducido por gas.

20 La agitación mecánica mediante un agitador constituye una manera muy simple de tratar metales líquidos. Solamente proporciona un cizallamiento moderado en el fundido alrededor del agitador, pero provoca la aparición de varios vórtices en el metal líquido y una turbulencia muy notoria cerca de la superficie líquida, dando como resultado la aparición de importantes atrapamientos de gas y de otros contaminantes de la superficie del fundido. Se han propuesto un número de estrategias para abordar la solución de estos problemas.

25 La patente de EE. UU. N° 3.785.632 a favor de Kraemer y otros describe un proceso y un aparato para acelerar reacciones metalúrgicas. El proceso incluye la agitación mecánica en la frontera entre el baño fundido y el reactivo, y utiliza un doble agitador. Se crea una componente de fuerza centrífuga cuando el aparato comienza con la agitación y provoca curvaturas diferentes hacia el margen de la cuchara de colada, lo que conduce a la aceleración de la reacción química entre el material metálico fundido y los reactivos.

30 La patente de EE. UU. N° 4.743.428 a favor de McRae y otros describe un método de agitación mecánica de metales líquidos para producir aleaciones. El proceso introduce un dispositivo de agitación básicamente para acelerar la disolución de los elementos de aleación y para entlentecer la formación de escoria.

35 La patente de EE. UU. N° 3.902.544 a favor de Flemings y otros describe un proceso continuo para tratar metales líquidos mediante agitación mecánica para obtener materiales metálicos semisólidos con un sólido primario no dendrítico. En este proceso, se introducen tres hélices y éstas se ubican en tres zonas de agitación separadas. Las hélices son más efectivas en comparación con el agitador de doble álabes. La distancia entre la superficie interna de la zona de agitación y la superficie externa de la hélice se mantiene lo suficientemente pequeña como para que se apliquen fuerzas de cizallamiento de alto valor a los materiales en las zonas de agitación.

40 La patente de EE. UU. N° 4.373.950 a favor de Shingu y otros introduce agitación mecánica mediante un agitador en un proceso de fundición directa en coquilla para purificar aluminio. El fundido de aluminio se purifica utilizando un aparato de agitación mecánica para romper las dendritas en la interfaz entre el líquido y sólido, y para dispersar las impurezas liberadas por las dendritas en la globalidad del líquido.

45 La patente de EE. UU. N° 4.931.060 a favor de Duenkelmann describe un dispositivo giratorio que comprende un árbol hueco y un rotor hueco fijado al árbol para dispersar gas en un metal fundido. El dispositivo introduce gas inerte desde la parte superior del árbol y suministra un gran volumen de gas inerte al fundido para desgasificar metales líquidos.

Las invenciones discutidas más arriba implican todas ellas el uso de agitación mecánica. Ni proporcionan la alta velocidad de cizallamiento necesaria para el acondicionamiento del fundido, ni tampoco evitan los problemas del atrapamiento de gas y de otros contaminantes de la superficie del fundido.

50 La patente de EE. UU. N° 4.960.163 introduce un agitador mecánico en un proceso de fundición directa en coquilla para conseguir una estructura de grano fino y una partición para dividir el espacio en el fundidor entre un reservorio de suministro y un reservorio de solidificación para evitar las turbulencias cerca de la superficie líquida en el reservorio de suministro sin debilitar la agitación en el reservorio de solidificación. Se consiguió un cierto grado de

refinamiento de grano mediante esta invención, pero los resultados no fueron consistentes entre lote y lote.

La patente de EE. UU. N° 6.618.426 a favor de Ernst describe un proceso de agitación electromagnética para tratar metales líquidos. Este proceso utilizó múltiples espirales con diferentes direcciones para reducir la turbulencia cerca de la superficie líquida. Sin embargo, la velocidad de cizallamiento mediante la agitación electromagnética es baja y el coste económico del aparato es elevado.

El documento WO 2010/032550 (Nippon Light Metal Co. Ltd.) describe un refinador de fundido metálico para ser utilizado en una cámara de cuchareado. Se trata esencialmente de un agitador multi-álabe para desgasificar y desescoriar metales líquidos. Sin embargo, tiene una potencia de dispersión y de distribución muy pequeña y el montaje completo no resulta apropiado para su incorporación directa en procesos de fundición existentes. El documento CN 102861902 A describe un dispositivo para agitar una lechada de material semisólido.

Se conoce un método y un aparato para agitar metal fundido en el tanque del horno utilizando un campo electromagnético. El inductor del campo magnético se sitúa a lo largo de la pared vertical del horno. El horno contiene el pasadizo para el metal fundido. El flujo entrante de metal fundido que se desplaza desde el pasadizo hasta el tanque se dirige principalmente a lo largo de una pared del tanque. Sin embargo, el aparato y el sistema relacionado con el mismo fracasan en la consecución del propósito, puesto que la intensidad del mezclado del chorro en la parte media del tanque es inferior a la existente a lo largo de las paredes del mismo. Por lo tanto, para fundir metal sólido en la parte media del tanque, se requiere una agitación por contacto mecánico adicional. Además, otra forma de generar agitación consiste en situar perlas magnéticas en el seno del metal fundido, de manera que las perlas son sometidas a un movimiento circular, agitando de este modo el líquido. Otro inconveniente, que limita el uso de dicho método y aparato, es la necesidad de una detención del horno de larga duración para desmantelar el inductor y para reemplazar las placas para la retirada de escoria del pasadizo.

De otra técnica anterior, se conoce un horno con una cavidad fijada a lo largo de un extremo del horno, por debajo de la cual se sitúa el inductor. La parte inferior de la cavidad está enrasada con la parte inferior del horno. El metal es bombeado a lo largo de la cavidad y llega al tanque a través de una ventana en la pared del tanque. La intensidad de la agitación en la parte media del tanque es inferior a la de los lados del tanque.

De otra técnica anterior adicional, cuyo objetivo es proporcionar un aparato para agitar que no requiera ninguna reconstrucción sustancial del horno de fundición y que debe asegurar una mezcla de chorro efectiva del metal fundido en el tanque del horno de fundición. La agitación se consigue en el régimen intermitente. El objetivo establecido no se consigue, debido a que la masa del metal fundido, que puede introducirse en el tanque del horno en la forma de un chorro, no puede exceder la capacidad de la tubería del aparato. La laboriosidad relacionada con la retirada de escoria de la tubería y la complejidad en el recorrido de la tubería de la bomba de accionamiento mecánico constituyen limitaciones de dicho aparato.

De acuerdo con otra técnica anterior más, se proporciona un dispositivo giratorio para tratar metal fundido, en el que la combinación de una cámara, tuberías de salida que poseen una sección transversal mayor que las tuberías de entrada, y zonas recortadas en el techo y en la base, dan como resultado tanto una desgasificación mejorada como un mezclado mejorado del metal fundido tales que puede reducirse la velocidad de giro manteniendo a su vez la misma eficiencia de la desgasificación y/o del mezclado, extendiendo de ese modo la vida útil del árbol y del rotor, o también pueden conseguirse buenos tiempos de desgasificación y/o de mezclado de manera más eficiente a la misma velocidad del rotor, proporcionando una oportunidad para reducir el tiempo de tratamiento. Sin embargo, la regulación controlada de la velocidad de giro de acuerdo con la viscosidad del metal fundido y con las dimensiones de la cámara, las tuberías de salida y las tuberías de entrada, es una tarea llena de dificultades. El vórtice que se forma en el metal líquido y la turbulencia muy significativa que se genera cerca de la superficie líquida, dan como resultado una severa formación de atrapamientos de gas y de otros contaminantes.

De acuerdo con otra técnica anterior adicional más, se proporciona un aparato de agitación de fluido mediante vibración que comprende un tanque para acomodar fluido; una porción de generación de vibraciones que contiene un vibrador; un elemento de absorción de vibraciones situado entre el tanque y la porción de generación de vibraciones; una barra de vibración conectada de manera operacional a la porción de generación de vibraciones y que se extiende en el tanque; y una pala de vibración fijada a la barra de vibración, en donde el elemento de absorción de vibraciones comprende una placa de caucho o una placa de caucho laminada y una placa de metal. El rendimiento del sistema depende del elemento de absorción de vibraciones y el sistema también presenta el inconveniente de la dispersión de líquido a la parte externa del tanque debido a que la regulación controlada de la frecuencia de vibración resulta muy difícil.

La agitación mecánica o electromagnética de los sistemas actuales para tratar metales líquidos provoca turbulencias cerca de la superficie del líquido que resultan dañinas en la mayor parte de los procesos de fundición. Por lo tanto, la velocidad de agitación debe estar limitada con el fin de conseguir una superficie del líquido relativamente estable y, consecuentemente, quedan comprometidas tanto la efectividad como la eficiencia del tratamiento de metal líquido.

Por las razones mencionadas anteriormente, que resultan evidentes para aquellas personas expertas en la técnica al leer y comprender este documento, existe la necesidad en la técnica de un sistema y método para tratamiento de

metal líquido previo al proceso de solidificación que sea escalable e independiente/compatible en relación a plataformas basadas en nuevas tecnologías, que utilice unos recursos mínimos y que pueda experimentar un mantenimiento efectivo desde el punto de vista de la facilidad y del coste económico y que sea transportable y que pueda desplegarse en cualquier lugar en muy poco tiempo.

- 5 Resultaría ventajoso, por consiguiente, proporcionar un método y un aparato que puedan ser aplicables sin esfuerzo a procesos de fundición existentes y que puedan proporcionar un cizallamiento intensivo del fundido a la vez que evitan el atrapamiento de gas y de otros contaminantes de la superficie del fundido, así como que suministren el mencionado fundido cizallado aguas abajo mediante la presurización del líquido o de la lechada/materia prima semisólidas requeridas para el procesamiento aguas abajo.

10 **Resumen de la invención**

La presente invención proporciona un dispositivo de tratamiento de metal líquido con alto cizallamiento que comprende:

un tambor que posee un eje longitudinal que se extiende entre un primer extremo y un segundo extremo, y que posee una abertura en sus extremos primero y segundo;

- 15 un árbol de rotor montado de manera central a través del tambor y paralelo al eje longitudinal del tambor;

una pluralidad de hélices de rotor montadas a lo largo de una extensión longitudinal axial del árbol y en el seno del tambor, en donde cada hélice de rotor está fabricada de tal manera que su extremo externo está situado dentro de una distancia mínima en relación a una pared interna del tambor; y

- 20 una pluralidad de placas de estátor fabricadas en una superficie interna del tambor, en donde las placas de estátor están situadas entre hélices de rotor adyacentes, en donde cada placa de estátor se extiende desde una superficie interna hasta el árbol del rotor, en donde cada placa de estátor posee una pluralidad de conductos fabricados a su través para permitir el paso de fluido a través de la placa; en donde unas y superficies superior e inferior de cada placa de estátor fabricadas para estar situadas dentro de una distancia mínima en relación a una hélice de rotor adyacente;

- 25 en donde la distancia mínima está comprendida en el intervalo entre 10 μm y 10 mm.

La presente invención también proporciona un método para tratar metal líquido que utiliza el dispositivo de la presente invención en donde el metal líquido pasa a través del tambor desde el primer extremo hasta el segundo extremo mientras las hélices de rotor se hacen girar a una velocidad angular comprendida en el intervalo entre 1 rpm y 50.000 rpm.

- 30 Es decir, la presente invención está constituida por un dispositivo y un método para proporcionar metal líquido tratado/acondicionado como materia prima para un proceso de solidificación adicional de materiales metálicos, materiales compuestos de matriz metálica reforzados con partículas (MMCs, *Metal Matrix Composites*) y aleaciones inmiscibles.

- 35 El dispositivo y el método de la presente invención pueden homogeneizar compuestos químicos, gases dispersos y distribuidos, fases líquidas y sólidas en metales líquidos o en materiales compuestos de matriz metálica (MMCs). Además, el dispositivo y el método pueden implementarse en diversas estructuras de procesos de fundición. El método de la invención puede implementarse como un sistema independiente o bien como un sistema integrado.

- 40 La presente invención se puede utilizar para el tratamiento de metal líquido antes de los procesos de solidificación de materiales metálicos. En particular, los metales líquidos pueden ser tratados utilizando el presente dispositivo debido al alto cizallamiento que éste es capaz de aplicarles. Esto proporciona un medio para controlar las inclusiones y los elementos gaseosos, para homogeneizar el compuesto metálico y la temperatura, para mejorar la cinética de cualesquiera reacciones químicas o transformaciones de fase que impliquen a una fase líquida, para mezclar materiales que contienen fases heterogéneas, para refinar microestructuras de fundición, para eliminar/reducir defectos de fundido y para dispersar diversos agentes. Como resultado de ello, la invención puede aplicarse a una variedad de técnicas de fundición, tales como, pero sin limitarse a, fundición por moldeado a alta presión, fundición por moldeado a baja presión, fundición a presión por gravedad, fundición en molde de arena, fundición en molde de cera, fundición directa en coquilla, fundición de doble rodillo y cualquier otro proceso de fundición que requiera metal líquido como materia prima.

- 50 El propósito principal de la presente invención es proporcionar un aparato y un método para proporcionar metal líquido tratado/acondicionado o lechada semisólida como materia prima para procesos de solidificación posteriores de materiales metálicos, materiales compuestos de matriz metálica reforzados con partículas (MMCs) y aleaciones inmiscibles. Otro propósito de la presente invención es proporcionar un aparato y un método que puedan homogeneizar compuestos químicos, gases dispersos y distribuidos, fases líquidas y sólidas en líquidos metálicos o en partículas o gases que puedan reaccionar con el metal para formar materiales compuestos de matriz metálica (MMCs). El aparato y el método de la presente invención se pueden utilizar para mejorar las condiciones cinéticas

de reacciones químicas y de transformaciones de fase que impliquen al menos una fase líquida.

5 La presente invención resulta ventajosa para tratar lechada semisólida de materiales metálicos. En particular, el efecto del cizallamiento en la lechada semisólida consiste en romper cualesquiera dendritas que se hayan formado y garantizar de esa manera que la microestructura es/permanece equiaxial. Esto puede resultar particularmente importante debido a que el límite elástico de un material metálico es inversamente proporcional al tamaño de grano, que a su vez es inversamente proporcional a la velocidad de cizallamiento. Además, si un metal se solidifica (incluso de manera parcial) en un ambiente tal, la estructura de grano resultante tiende a ser equiaxial si la lechada semisólida está sometida a un cizallamiento suficiente durante un tiempo lo suficientemente largo.

10 La presente invención resulta ventajosa para tratar materiales metálicos completamente líquidos. En particular, puede distribuir partículas en el seno de un material líquido de manera uniforme, proporcionando de este modo una distribución uniforme de lugares de nucleación que puede dar como resultado una microestructura fina y homogénea en el material sólido resultante.

15 La presente invención se puede utilizar para producir materiales metálicos de alta calidad, así como materiales compuestos de matriz metálica (MMCs) y espumas metálicas con microestructura refinada y defectos de fundición reducidos.

La presente invención se puede utilizar para llevar a cabo un mezclado dispersivo en condiciones de alta velocidad de cizallamiento y para un mezclado distributivo con flujo macroscópico en el volumen completo de metal líquido sin provocar turbulencias importantes cerca de la superficie líquida.

20 El dispositivo de la presente invención se puede utilizar como horno de aleación en línea. De manera alternativa, se puede utilizar como una bomba para metal líquido en el ambiente de una fundición proporcionando al mismo tiempo material cizallado y refinado. De manera alternativa, se puede utilizar como un molino potencial para reciclar metal. Como alternativa adicional, un dispositivo de acuerdo con la presente invención se puede utilizar como un suministrador de presión en un proceso de extrusión mediante la fijación de un troquel de perfil simple para producir extrusiones que también pueden alimentarse a un conjunto de rodillos en un estado semisólido para fabricar metal laminado.

25 El giro del árbol de rotor y de las hélices de rotor puede conseguirse de cualquier manera que resulte evidente para una persona experta en la técnica. En algunas realizaciones de la invención, el giro del árbol y de las hélices puede conseguirse mediante el suministro de un fluido al dispositivo bajo presión de tal manera que, cuando el fluido es forzado a través del dispositivo, éste actuar para hacer girar las hélices y el árbol. Con el fin de que esto puede conseguirse, las hélices necesitan estar fabricadas de una manera apropiada, y la persona experta comprenderá sin dificultad las diversas maneras según las cuales podrían fabricarse las hélices para conseguir este resultado.

30 De manera alternativa o de manera adicional, el dispositivo de la presente invención puede comprender adicionalmente un motor conectado al árbol de rotor para hacer girar las hélices del rotor. El motor puede estar directa o indirectamente conectado al árbol de rotor. El motor puede situarse en una plataforma y conectarse al árbol de rotor para accionar las hélices de rotor.

35 Generalmente, el dispositivo de la presente invención se utilizará en una orientación ortodoxa en la cual el primer extremo del tambor es el que está situado en una posición más elevada cuando el dispositivo está en uso. Sin embargo, también se puede utilizar en orientaciones alternativas. Por ejemplo, el dispositivo se puede utilizar en una orientación sustancialmente invertida, con el primer extremo del tambor situado en una posición más baja y con el metal líquido siendo bombeado hacia arriba a través del tambor. Esto puede resultar preferible si el dispositivo se utiliza para desgasificar y/o para la producción de MMRCs. Si se utiliza en una orientación invertida, el gas puede burbujear a través del metal líquido pasando a través del dispositivo, formando de este modo óxidos, carburos u otras inclusiones debido a la reacción del gas y del metal líquido.

40 Un dispositivo de acuerdo con la presente invención puede comprender un reservorio fabricado en el primer extremo del tambor. El reservorio estará seguido por disposiciones alternantes de placas de estátor y de hélices de rotor encapsuladas en el seno del tambor. La sección de reservorio puede comprender placas deflectoras internas para evitar torbellinos en el metal líquido contenido en él. Una placa de estátor puede formar la parte inferior del reservorio y las placas deflectoras pueden estar fabricadas de manera que eviten torbellinos aguas arriba provocados por la hélice de rotor inmediatamente por debajo de la placa de estátor.

45 Las placas de estátor pueden fabricarse de cualquier manera que resulte evidente para una persona experta en la técnica. Puede resultar preferible que cada placa de estátor consista en dos mitades de una placa circular que se encajan dentro del tambor y que son sostenidas conjuntamente por el mismo, con un orificio formado en la parte media a través del cual puede pasar el árbol de rotor.

50 Las placas de estátor están fabricadas generalmente de tal manera que actúan para convertir la energía cinética de un fluido (el metal líquido) con torbellinos en presión en el fluido cuando éste es forzado a pasar a través de al menos un conducto fabricado a través de la placa.

- 5 Cada placa de estátor posee una pluralidad de orificios fabricados (por ejemplo, taladrados) a su través para permitir que el metal líquido pase a su través. El diámetro de los orificios puede tener cualquier tamaño apropiado y de manera preferible puede estar comprendido en el intervalo entre 0,5 mm y 10 mm. El diámetro de los orificios en las placas de estátor puede ser consistente a lo largo de la extensión longitudinal del tambor o puede variar de cualquier manera apropiada. Sin embargo, puede resultar preferible que el diámetro de los orificios se reduzca a lo largo de la extensión longitudinal del tambor. Es decir, el diámetro de los orificios en las placas de estátor estaría determinado por la posición de la placa de estátor a lo largo del eje longitudinal del tambor, de manera que las placas que estén más cerca del primer extremo del tambor tengan orificios relativamente grandes en comparación con las placas que estén más cerca del extremo inferior del tambor.
- 10 Debe comprenderse que el dispositivo de la presente invención debería fabricarse utilizando materiales que no se fundan o deterioren de manera excesiva a las temperaturas a las cuales se pretende usar el dispositivo. Como resultado de ello, resulta preferible que el dispositivo esté fabricado utilizando un material o unos materiales que tengan un punto de fusión no inferior a 200°C, y es incluso más preferible que no sea inferior a 600°C, y es incluso más preferible todavía que no sea inferior a 1.000°C. Un dispositivo fabricado utilizando materiales con unos puntos
- 15 de fusión tan elevados lo convierte en apropiado para ser utilizado en el ambiente de alta temperatura del procesamiento de metal líquido.
- Cada hélice de rotor de la presente invención comprende preferiblemente al menos un álabe. Cada álabe puede estar fabricado de tal manera que, cuando gira, transmite energía al metal líquido y actúa para empujarlo a través de una placa de estátor adyacente.
- 20 El alto cizallamiento producido por el dispositivo de la presente invención es un resultado de la distancia mínima entre cada hélice de rotor y las placas de estátor adyacentes. En particular, el hecho de que las hélices de rotor estén situadas dentro de una distancia mínima que está comprendida en el intervalo entre 10 µm y 10 mm garantiza que el metal líquido en el seno del dispositivo está sometido a un cizallamiento mayor cuando se hace girar las hélices de rotor.
- 25 De manera preferible, el dispositivo de la presente invención comprende adicionalmente una carcasa protectora de manera que las placas de estátor, el tambor y las hélices de rotor están todos ellos contenidos en el seno de la carcasa.
- De manera preferible, el dispositivo de la presente invención comprende un casquillo. El casquillo está fijado en la mencionada carcasa o bien en el mencionado árbol de rotor.
- 30 El árbol de rotor de la presente invención puede estar roscado de tal manera que las hélices de rotor pueden montarse de manera sencilla sobre el mismo y pueden mantenerse inmóviles en relación a él utilizando tuercas.
- El método de la presente invención puede cizallar metales líquidos de manera intensiva, bien en lotes o bien de manera continua, utilizando el dispositivo de la presente invención. Esto puede llevarse a cabo como parte de un método para tratar un metal líquido que también incluye, pero que no está limitado a, desgasificar metales líquidos,
- 35 preparar lechadas semisólidas, preparar materiales compuestos de matriz metálica, preparar espumas metálicas, mezclar líquidos metálicos inmiscibles, reciclar, fabricar aleaciones, bombear metales líquidos, proporcionar metales líquidos acondicionados para una solidificación posterior o procesar metales líquidos en el seno de procesos de fundición existentes.
- 40 Durante el funcionamiento, el motor puede hacerse funcionar para accionar el árbol de rotor y de ese modo hacer girar las hélices de rotor entre las placas de estátor. Si las hélices están fabricadas de manera apropiada, esto provocará que una presión negativa se aplique hacia abajo sobre el líquido en el seno del dispositivo y también la aparición de torbellinos en el líquido. Puesto que el líquido está describiendo torbellinos a través de las placas de estátor, el metal líquido es cizallado debido al pequeño tamaño del hueco entre las hélices de rotor y las placas de estátor. Las hélices de rotor pueden hacerse girar a alta velocidad y esto provocará el cizallamiento del metal líquido
- 45 cuando las hélices corten el metal líquido y se fuerce el líquido a través de la hélice.
- El giro de las hélices también empujará el metal líquido a través de una pluralidad de conductos fabricados en cada placa de estátor, y esto cizallará adicionalmente el metal líquido. Cuando el metal líquido pasa a través de una placa de estátor, cualquier torbellino del flujo en el metal líquido se reducirá, lo que da como resultado un aumento en la presión a través de la placa de estátor.
- 50 En algunas realizaciones de la invención, el diámetro del tambor puede reducirse desde su primer extremo hasta su segundo extremo. En estas realizaciones, una vez que el metal líquido ha pasado a través de una pluralidad de conductos fabricados en la placa de estátor, tal como se describió anteriormente, será forzado hacia un volumen más pequeño que se forma entre la placa de estátor a través de la cual ha pasado y la placa de estátor siguiente. Esto es debido a la disminución del diámetro del tambor. Esto aumenta la presión del metal líquido en esta etapa.
- 55 Después de pasar a través de una placa de estátor, el metal líquido se encuentra con otra hélice de rotor y el proceso descrito anteriormente se repite hasta que el metal líquido pasa a través del extremo inferior del tambor.

Un dispositivo de acuerdo con la presente invención comprenderá un número suficiente de hélices de rotor y de placas de estátor como para que el metal líquido que pasa a través del dispositivo experimente un cizallamiento intensivo suficiente y esté sometido a una presión suficiente para que se produzca el tratamiento deseado del metal líquido. El cizallamiento y la presión necesarios están determinados por el uso específico pretendido de la realización del dispositivo.

Cada hélice de rotor puede comprender uno o más álabes de hélice. Cada álabe puede ser paralelo al eje longitudinal del tambor o formar un ángulo con el mismo, o bien pueden tener forma curva de tal manera que su orientación en relación al eje longitudinal del tambor varía a lo largo de su extensión longitudinal. La forma de cada álabe puede ser un cilindro, una columna cuadrada, un prisma o cualquier otro cuerpo geométrico bien regular o bien irregular, siempre y cuando puedan fabricarse y montarse de manera práctica. La forma de los álabes individuales puede ser diferente entre ellos, y la superficie de un álabe puede ser plana o curva o bien puede tener una combinación de diferentes superficies geométricas. Una misma hélice de rotor puede comprender álabes con formas diferentes. La distribución de los álabes de una hélice de rotor alrededor del árbol de rotor no necesita ser simétrica, aunque puede resultar preferible. Para los propósitos de estabilidad estructural, especialmente cuando se consideran variantes cerámicas más grandes, una hélice de rotor puede comprender un anillo periférico externo que se utiliza para unir los bordes/puntas externas de todos los álabes de una hélice de rotor de tal manera que se mantiene la integridad estructural de la hélice y de tal manera que pueden reducirse las tensiones de tracción en los álabes durante el uso del dispositivo derivadas de las fuerzas centrífugas.

Los álabes de una o varias hélices de un dispositivo de acuerdo con la presente invención pueden ser huecas y estar fabricadas de tal manera que puede alimentarse aire u otro material a través de las hélices dentro del metal líquido. Fabricar las hélices de rotor de esta manera permitiría introducir aire o partículas MMRC (o cualquier otro material apropiado) dentro del metal líquido con el fin de mejorar el procesamiento del metal líquido.

Las formas de los orificios fabricados a través de cada placa de estátor pueden ser redondos, cuadrados, ranuras o formas similares, siempre que el metal líquido en el interior del dispositivo sea cizallado de manera eficiente y práctica. La preferencia es generalmente disponer orificios redondos de un tamaño apropiado. La función de las placas de estátor es proporcionar cizallamiento, así como reducir la energía cinética en el flujo de líquido mediante la conversión de ésta en energía de presión, ayudando de este modo a hacer crecer la presión y a aumentar la capacidad de transporte del dispositivo.

Las placas de estátor de la presente invención pueden comprender álabes de estátor en lugar de placas sólidas para proporcionar cizallamiento y para reducir la energía cinética del flujo, convirtiendo ésta en energía de presión. Es decir, como una alternativa a fabricar placas de estátor como placas sólidas con uno o varios orificios fabricados a su través, una o varias placas de estátor pueden consistir en un anillo de álabes contenidos/fijados en/introducidos en una pared interna del tambor. Estos álabes pueden estar conformados para conseguir la misma función de conversión de energía cinética en energía de presión y para proporcionar un alto cizallamiento. Tal como resultará evidente para una persona experta en la técnica, las formas de los álabes pueden ser cilíndricas, columnas cuadradas, prismas, y cualesquiera otros cuerpos geométricos bien regulares o bien irregulares, siempre y cuando puedan fabricarse y montarse de manera práctica. La forma de los álabes individuales puede ser diferente entre ellos, y la superficie de un álabe puede ser plana o curva o bien puede tener una combinación de diferentes superficies geométricas. Pueden utilizarse diferentes álabes para la misma placa de estátor. La distribución de los álabes alrededor de una placa de estátor no necesita ser simétrica. Los álabes de estátor pueden ser curvados y/o contener orificios. Durante el funcionamiento, el motor transmite la potencia al rotor a través del árbol de rotor y acciona el rotor para que gire dentro del estátor.

Si una o varias placas de estátor están fabricadas mediante álabes, durante el uso el metal líquido pasará a través de las placas de estátor y entre los álabes. Durante el uso, debido al pequeño tamaño del hueco entre las hélices de rotor y las placas de estátor, el metal líquido entre ellas está sometido a un alto cizallamiento. También se genera un componente de flujo hacia afuera debido a la fuerza centrífuga que resulta del giro de las hélices de rotor. El metal líquido influenciado por éste será cizallado entre los bordes externos de las hélices de rotor y la pared interna del tambor en el seno del delgado hueco entre ambos.

Durante el uso, el árbol de rotor y las hélices de rotor del dispositivo de la presente invención pueden hacerse funcionar a cualquier velocidad que resulte apropiada. Generalmente, resulta preferible que el árbol de rotor gire a una velocidad angular comprendida en el intervalo entre 1 rpm y 50.000 rpm. Puede concebirse que la persona experta en la técnica será capaz de determinar la velocidad de rotación preferida sin dificultad.

Una o varias hélices de un dispositivo de acuerdo en la presente invención pueden comprender un anillo periférico externo, fabricado alrededor de las puntas de cualesquiera álabes que forman cada hélice de rotor. Esta construcción resulta beneficiosa si las hélices de rotor están fabricadas de un material basado en cerámica puesto que permite una construcción más simple. También resulta particularmente apropiado para los dispositivos que pretenden ser utilizados para el procesamiento de metales líquidos más corrosivos, tales como aluminio, y aleaciones con la temperatura de fusión elevada. La presencia de un anillo periférico externo puede dar como resultado una transferencia de tensión radial a lo largo de una hélice de rotor más uniforme.

En algunas realizaciones del método de la presente invención, durante el uso de un dispositivo de acuerdo con la presente invención, éste puede estar completamente sumergido en un contenedor del material que está siendo procesado.

5 En algunas realizaciones del dispositivo de la presente invención, el árbol de rotor puede extenderse más allá del primer extremo del dispositivo (y de cualquier reservorio, si es que existe) y por lo tanto puede estar sujeto por un tubo hueco para evitar que se deforme durante el uso.

10 La pared interna del tambor del dispositivo de la presente invención es sustancialmente cilíndrica y simétrica alrededor de su eje longitudinal. Esto permite que los extremos externos de las hélices de rotor se mantengan dentro de la distancia mínima en relación a la pared interna. La pared interna del tambor de la presente invención puede comprender ranuras circunferenciales para permitir que las placas de estátor se monten de manera sencilla y se mantengan en su posición.

15 Un dispositivo de acuerdo con la presente invención puede tener un perfil que posea cualquier sección transversal apropiada a lo largo de su eje longitudinal. Puede resultar preferible que el tambor tenga su mayor anchura en su primer extremo y que se estrechen gradualmente hacia su extremo inferior. Esto puede resultar preferible puesto que facilita un aumento en la presión del metal líquido cuando pasa a través del tambor. De manera alternativa, el tambor puede tener un diámetro sustancialmente constante a lo largo de su eje longitudinal.

20 Como una alternativa adicional, el tambor puede estar conformado como un venturímetro y tener una sección transversal con una secuencia ancha-estrecha-ancha. Como una alternativa adicional, el tambor puede estar conformado de la manera opuesta con una sección transversal con una secuencia estrecha-ancha-estrecha. Ambos tipos de sección transversal pueden comprimir y expandir el líquido que pasa a través del dispositivo, proporcionando de este modo una variación cíclica en la presión que puede explotarse para mejorar el tiempo de cizallamiento/mezclado/procesamiento.

25 En algunas realizaciones del dispositivo de la presente invención, las hélices de rotor y/o las placas de estátor están fabricadas de tal manera que atraen líquido a través del dispositivo cuando las hélices de rotor están girando. En estas realizaciones, el dispositivo puede ser operado con la abertura en el primer extremo ubicada en una posición sumergida en el metal líquido de tal manera que el metal líquido sea automáticamente atraído hacia el dispositivo a través de la abertura.

30 En algunas realizaciones de la invención, una o varias hélices de rotor pueden estar fabricadas con dos conjuntos de álabes que están espaciados en dirección longitudinal entre sí. De manera similar, una o varias placas de estátor pueden estar fabricadas con dos placas planas espaciadas en dirección longitudinal. Las hélices de rotor y las placas de estátor fabricadas de esta manera pueden proporcionar una elevación más intensa de la presión y después una difusión del flujo.

35 En algunas realizaciones de la invención, las hélices de rotor pueden estar situadas alrededor de, y a lo largo de, el árbol de rotor en una configuración en espiral y las placas de estátor pueden estar situadas alrededor de la pared interna del tambor en una configuración en espiral que coopere con la anterior. Tal como se apreciará sin dificultad, con el fin de conseguir esto, cada placa de estátor y cada hélice de rotor pueden no ser completamente circulares y, en lugar de eso, deben extenderse en una porción del camino alrededor del árbol de rotor. Sin embargo, en una dirección a lo largo del eje longitudinal del tambor, las hélices de rotor y las placas de estátor permanecen situadas de manera alternante.

40 El tambor de la presente invención puede estar construido de cualquier manera que resulte evidente para una persona experta en la técnica. Por ejemplo, el tambor puede estar construido en dos mitades separadas que son posteriormente unidas entre sí para formar el tambor. Esto puede conseguirse utilizando anillos de retención: un primer anillo de retención formado alrededor del tambor en su primer extremo o cerca del mismo, y un segundo anillo de retención formado alrededor del tambor en su segundo extremo o cerca del mismo. De manera alternativa, las dos mitades pueden estar simplemente atornilladas fuertemente entre sí y puede conseguirse un sello entre las dos mitades utilizando una simple brida atornillada.

Más aún, tal como se estableció anteriormente, el tambor puede estar contenido en el seno de una carcasa de tal manera que, en caso de que se produzca cualquier rotura en las partes del tambor, el metal líquido permanezca contenido dentro de la carcasa.

50 En algunas realizaciones de la invención, el dispositivo puede comprender adicionalmente uno o varios calentadores externos a, o integrados en, el tambor con el fin de controlar la temperatura del material en el seno del tambor (por ejemplo, garantizando un gradiente de temperatura correcto en el material contenido en el tambor). Los calentadores pueden estar fabricados de cualquier manera que resulte evidente para una persona experta en la técnica.

55 Los materiales con los que se fabrica un dispositivo de acuerdo con la presente invención deben satisfacer los requerimientos de material que resultarán evidentes de manera inmediata para una persona experta en la técnica. Estos requerimientos incluyen, pero no están limitados a, los siguientes:

deben tener una alta resistencia y una alta durabilidad a las temperaturas a las que se utiliza el dispositivo;

deben ser resistentes a la corrosión para poder soportar la naturaleza corrosiva de los metales líquidos con los que se utilizan;

deben ser susceptibles de ser fabricados utilizando técnicas de fabricación disponibles; y

5 deben tener un coste económico apropiado.

Pueden utilizarse materiales cerámicos, grafito, acero, aleaciones de alta temperatura y cualesquiera otros materiales para fabricar los dispositivos de alto cizallamiento siempre y cuando tengan una resistencia y una estabilidad química suficiente a la temperatura deseada, que está definida por el metal líquido con el que se utilizará el dispositivo. Por ejemplo, los aceros de alta temperatura libres de níquel son los materiales preferidos para la construcción de los mencionados dispositivos de alto cizallamiento para tratar/acondicionar aleaciones de magnesio líquido. El grafito, el molibdeno revestido de M0S12 y los materiales cerámicos son los materiales preferidos para la construcción de los mencionados dispositivos de alto cizallamiento para tratar/acondicionar aleaciones de aluminio. Materiales cerámicos apropiados incluyen, pero no están limitados a, nitruros, siliciuros, óxidos, carburos, cerámicas SiAlON y otras cerámicas mixtas. Materiales cerámicos particularmente preferidos incluyen carburo de silicio, óxidos de aluminio, nitruro de boro, nitruro de silicio y cerámicas SiAlON. Debe apreciarse que el grafito es uno de los materiales apropiados para casquillos en todas las realizaciones de la presente invención.

El dispositivo de la presente invención tiene muchas aplicaciones. Resulta particularmente útil como una bomba de alto cizallamiento para suministrar metal líquido acondicionado a una variedad de procesos de fundición tales como laminación, extrusión, estiramiento, etc.

20 El dispositivo de la presente invención también puede integrarse en un horno de fundición o en un horno de mantenimiento para proporcionar metal líquido acondicionado a una máquina de fundición de lingotes continua para la producción de lingotes de alta calidad. Dichos lingotes pueden contener partículas de óxido bien dispersadas y poseer poder de auto refinamiento de grano, y pueden utilizarse como materia prima para fundición en fundiciones de alta calidad.

25 El dispositivo de la presente invención puede estar integrado en un horno de fundición o en un horno de mantenimiento para suministrar metal líquido acondicionado a un proceso de fundición continua (o semicontinua). Dicho proceso continuo incluye, pero no está limitado a, fundición de doble rodillo para fabricar tiras delgadas, fundición directa en coquilla para fabricar lingotes y planchas, fundición superior para fabricar varillas y cualquier otro proceso de fundición continua (o semicontinua) que requiera metal líquido como materia prima. El ritmo de suministro de dicho fundido acondicionado puede controlarse mediante la variación de la velocidad del rotor y el diseño de las hélices de rotor y/o de las placas de estátor del dispositivo.

35 El dispositivo de la presente invención puede integrarse en un horno de fundición o en un horno de mantenimiento para suministrar metal líquido acondicionado a un proceso de fundición a forma para producir componentes conformados. El mencionado proceso de fundición a forma incluye, pero no está limitado a, fundición por moldeado a alta presión, fundición por moldeado a baja presión, fundición a presión por gravedad, fundición en molde de arena, fundición en molde de cera y cualesquiera otros procesos de fundición a forma que requieran metal líquido como materia prima. La dosificación del mencionado fundido acondicionado puede controlarse mediante la variación de la velocidad del rotor y el diseño de las hélices de rotor y/o de las placas de estátor del dispositivo.

40 El dispositivo de la presente invención se puede utilizar para producir metales líquidos con las siguientes características. Los ejemplos se ofrecen a modo puramente ilustrativo y no engloban la totalidad de características.

El dispositivo puede producir metal líquido acondicionado con bajo contenido en gas, con una buena dispersión de películas de óxido y otras inclusiones, con una temperatura uniforme y una composición química homogénea, como materia prima apropiada para procesos de solidificación en una variedad de procesos de fundición.

45 El dispositivo se puede utilizar para refinamiento de grano, para facilitar el proceso de fundición y para mejorar la calidad de los productos fabricados mediante fundición. Por ejemplo, el dispositivo puede implantarse directamente en procesos de fundición directa en coquilla y fundición de doble rodillo para promover una solidificación equiaxial y también en procesos de fundición a forma como una bomba de dosificación para proporcionar directamente metal líquido acondicionado.

50 El dispositivo se puede utilizar para dispersar y distribuir fases gaseosas, líquidas y sólidas discretas en una matriz líquida, tales como en procesos de desgasificación con alta eficiencia, mezclado de líquidos metálicos inmiscibles para producir microestructuras finamente dispersadas, producción de materiales compuestos de matriz metálica con partículas sólidas finas uniformemente distribuidas y bien dispersadas, y mejora de reacciones químicas entre fases heterogéneas.

55 El dispositivo se puede utilizar para bombear metal fundido en un ambiente de una fundición. El dispositivo se puede utilizar como un horno de aleación en línea. El dispositivo se puede utilizar para reciclar chatarra metálica de manera

efectiva. El dispositivo se puede utilizar para proporcionar presión aguas arriba para una variedad de métodos de conformado semisólido retroajustables que incluyen extrusión, laminación, estiramiento de alambres, fundición de tochos y placas.

5 El dispositivo se puede utilizar para dispersar de manera efectiva y distribuir de manera uniforme partículas sólidas, gotículas de líquido y burbujas de gas en metales líquidos. El dispositivo se puede utilizar para reducir el tamaño de partículas sólidas, gotículas de líquido o burbujas de gas en metales líquidos. El dispositivo se puede utilizar para mejorar la homogenización de compuestos químicos y de distribuciones de temperatura en metales líquidos.

10 El dispositivo se puede utilizar para proporcionar refinado de grano físico a metales y aleaciones mediante la activación de partículas sólidas tanto endógenas como exógenas en los metales líquidos, dando como resultado un refinamiento de grano significativo en los materiales metálicos. El dispositivo se puede utilizar para mejorar las condiciones cinéticas en reacciones químicas y en transformaciones de fase que impliquen al menos una fase líquida.

La presente invención se comprenderá mejor a partir de las realizaciones preferidas que se ilustran en los dibujos y que se describen a continuación.

15 **Dibujos**

La Fig. 1 comprende ilustraciones esquemáticas de una primera realización de un dispositivo de acuerdo con la presente invención y muestra sus partes integrantes;

la Fig. 2 es una ilustración esquemática de una segunda realización de un dispositivo de acuerdo con la presente invención;

20 la Fig. 3 es una ilustración esquemática de un proceso de acondicionamiento de metal líquido utilizando el dispositivo de la Fig. 1;

la Fig. 4 es una ilustración esquemática de un proceso de desgasificación de metal líquido utilizando el dispositivo mostrado en la Fig. 1;

25 la Fig. 5 es una ilustración esquemática de un proceso de fundición directa en coquilla (DC, *Direct Chill*) que integra un proceso de fundición DC convencional con el dispositivo de la Fig. 1; y

la Fig. 6 muestra ilustraciones esquemáticas de diversas hélices de rotor y placas de estátor de realizaciones del dispositivo de la presente invención.

30 La Figura 1 ilustra de manera esquemática una realización de un dispositivo 1 de acuerdo con la presente invención y sus partes integrantes. El dispositivo 1 comprende un tambor 2 que posee un extremo 3 superior y un extremo 4 inferior y un eje longitudinal que se extiende entre ellos. El diámetro del tambor 2 decrece con una ratio constante entre su extremo 3 superior y su extremo 4 inferior, de tal manera que el tambor 2 tiene forma de cono truncado invertido.

35 Un árbol 5 de rotor se extiende a través del tambor 2 entre los extremos 3, 4 superior e inferior a lo largo del eje longitudinal. Tres hélices 6, 7, 8 de rotor están montadas en el árbol 5 de rotor. Tres placas 9, 10, 11 de estátor están montadas en la pared interna del tambor 2 y se extienden desde la pared interna hasta el árbol 5 de rotor. Un reservorio 12 está fabricado en el extremo 3 superior del tambor 2 por encima de la hélice 6 de rotor superior. El reservorio 12 contiene una placa 13 deflectora para evitar la formación de torbellinos de líquido en el seno del reservorio y posee una placa 15 montada en su extremo superior. La placa 15 forma el extremo superior del reservorio 12 y posee una abertura 16 fabricada en la misma para permitir que metal líquido entre en el reservorio.
40 Un casquillo 14 está montado en el árbol 5 de rotor cerca de su extremo superior.

45 La Figura 1 muestra detalles de cada hélice 6, 7, 8 de rotor. El rotor 6 superior consiste en dieciséis álabes de rotor sustancialmente planos, la hélice 7 de rotor intermedia consiste en ocho álabes de rotor sustancialmente planos, y la hélice 8 de rotor inferior consiste en cuatro álabes de rotor sustancialmente planos. Los álabes de rotor de cada hélice están alineados con el árbol 5 de rotor y están espaciados en dirección circunferencial de manera equidistante entre ellos alrededor de las hélices 6, 7, 8 de rotor. Las hélices 6, 7, 8 de rotor están fabricadas de tal manera que el extremo radial externo de cada álabe está situado dentro de una distancia mínima de la pared interna del tambor 2 y de tal manera que las superficies superior e inferior de cada álabe están situadas dentro de la distancia mínima de las placas 9, 10, 11 de estátor adyacentes. La distancia mínima es menor de 10 mm. Se comprenderá sin dificultad que, puesto que la Fig. 1 es un diagrama esquemático, el hueco entre las placas 6, 7, 8 de estátor y las hélices 9, 50 10, 11 de rotor está exagerado en la figura.

La Figura 1 también muestra los detalles de las placas 9, 10, 11 de estátor. Las placas de estátor comprenden placas sustancialmente planas que poseen una pluralidad de orificios 17 fabricados a su través. Los orificios permiten el paso de metal líquido a través de las placas 9, 10, 11. La Fig. 1 también muestra detalles de la placa 13 deflectora. La placa 13 deflectora comprende una placa con una pluralidad de orificios fabricados a su través y un

cierto número de álabes verticales que se extienden desde una superficie de la placa 13 deflectora para evitar la formación de torbellinos de líquido en el seno del reservorio. Tal como se muestra en la esquina inferior izquierda de la Figura 1, el tambor 2 y las placas 9, 10, 11 de estátor están fabricadas en dos mitades que se sujetan entre sí.

5 Durante el uso, se proporciona metal líquido al dispositivo 1 a través del orificio 16 en la placa 15 superior. Este metal líquido entra en el reservorio 12 y a continuación pasa a través de la placa 13 deflectora y de la placa 9 de estátor superior y entra en el tambor 2. El metal líquido puede pasar entonces a través del dispositivo 1 antes de abandonar el tambor 2 en su extremo 4 inferior. Durante su paso a través del dispositivo 1, el árbol 5 de rotor y, por lo tanto, las hélices 5 de rotor, están girando a una velocidad angular comprendida en el intervalo entre 1 rpm y 50.000 rpm. Esto provoca un cizallamiento del metal entre los álabes del rotor y la pared interna del tambor o bien
10 entre los álabes del rotor y las placas 9, 10, 11 de estátor. Puesto que los álabes de rotor están situados dentro de la distancia mínima tanto con respecto a la pared interna como a las placas 9, 10, 11 de estátor, el metal líquido está sometido a un alto cizallamiento mientras es procesado.

Una realización alternativa de un dispositivo 1 de acuerdo en la presente invención se muestra en la Figura 2. El dispositivo 1 de la Figura 2 es similar y opera de acuerdo con los mismos principios que el dispositivo de la Figura 1 y, por esta razón, los mismos componentes del dispositivo 1 están etiquetados utilizando los mismos números de referencia donde resulte apropiado y no se explicarán con detalle excepto en los casos en los que existan diferencias estructurales significativas.

El dispositivo 1 de la Figura 2 difiere del dispositivo 1 de la Figura 1 en que el tambor 2 es sustancialmente cilíndrico y posee un diámetro constante a lo largo de su eje longitudinal. Como resultado de ello, cada una de las placas 9, 10, 11 de estátor son idénticas entre sí y cada una de las hélices 6, 7, 8 de rotor son idénticas entre sí. Además, las placas 9, 10, 11 de estátor están formadas por una pluralidad de álabes espaciados en dirección circunferencial de manera equidistante con conductos fabricados entre álabes adyacentes. Los álabes son planos y están formando un ángulo en relación al eje longitudinal del tambor 2. Las hélices 6, 7, 8 de rotor están formadas de una manera similar, aunque comprenden un número inferior de álabes y, por esta razón, los conductos entre los álabes son mayores. Tanto las hélices 6, 7, 8 de rotor como las hélices 9, 10, 11 de estátor poseen un anillo externo radial cuya función es sujetar los álabes entre sí. Los álabes de las hélices 6, 7, 8 de rotor están fabricadas de manera que atraen metal líquido a través del tambor 2 cuando el dispositivo 1 está en funcionamiento.

Las Figuras 4, 5 y 6 muestran aplicaciones potenciales de un dispositivo 1 de acuerdo con la realización de la Figura 1. En estas Figuras, el dispositivo 1 se representa esquemáticamente mediante un triángulo. La Figura 4 es una ilustración esquemática de un proceso de acondicionamiento de metal líquido que utiliza al dispositivo 1. La Figura 5 es una ilustración esquemática de un proceso de desgasificación de metal líquido que utiliza el dispositivo 1. La Figura 6 es una ilustración esquemática de un proceso de fundición directa en coquilla utilizando el dispositivo 1. La persona experta comprenderá sin dificultad la manera convencional en la que cada uno de estos procesos se lleva a cabo típicamente y, por esta razón, no se repetirá aquí. Sin embargo, sí se explicará la implementación del uso del dispositivo 1 de la presente invención haciendo referencia a cada uno de los procesos relevantes.

En los procesos mostrados en la Figura 4, el dispositivo 1 está fijado en la plataforma 22 ajustable y el árbol 5 de rotor está accionado por un motor (no mostrado). La posición del dispositivo 1 está controlada de tal manera que está sumergido parcialmente en metal 21 líquido contenido en un crisol 20 mediante el ajuste de la posición de la plataforma. El crisol 20 está siendo calentado para mantener el metal 21 líquido a una temperatura deseada.

40 Durante el funcionamiento, el metal 21 líquido es atraído hacia el dispositivo a través de su extremo superior mediante el giro de las hélices de rotor y está sometido a un alto cizallamiento. El metal 21 líquido sale entonces del dispositivo 1 por su extremo inferior. El paso del metal 21 líquido a través del dispositivo 1 por la acción de las hélices de rotor da como resultado un patrón de flujo macroscópico en el crisol tal como se indica mediante las flechas en la figura. Este flujo macroscópico entrega el metal 21 líquido al dispositivo 1 de tal manera que todo el metal líquido en el crisol 20 está sometido a un tratamiento repetido de alto cizallamiento. Además, el flujo macroscópico también promueve la uniformidad espacial tanto de la temperatura del fundido como de su composición química.

Este tratamiento de alto cizallamiento dispersa las agrupaciones de óxido, las películas de óxido y cualesquiera otras inclusiones metálicas o no metálicas presentes en el metal 21 líquido. El flujo macroscópico distribuye las partículas dispersadas de manera uniforme a lo largo del metal 21 líquido. Debe señalarse que el flujo macroscópico en el crisol 20 será débil cerca de la superficie del metal 21 líquido y, consecuentemente, el flujo macroscópico mantendrá una superficie de fundido relativamente inalterada, evitando el posible atrapamiento de gas, escoria u otros contaminantes potenciales en el metal 21 líquido. Esto hace que los metales líquidos acondicionados sean particularmente apropiados para fabricar fundiciones de alta calidad.

55 El proceso de la Figura 4 también puede dispersar partículas sólidas exógenas en el metal 21 líquido. Las partículas sólidas exógenas pueden ser partículas de afinadores de grano, partículas cerámicas para materiales compuestos de matriz metálica (MMCs) o nanopartículas para la producción de nanomateriales compuestos de matriz metálica (NMMCs). El dispositivo 1 dispersará las partículas sólidas, distribuirá las partículas sólidas dispersadas de manera uniforme en el metal 20 líquido y forzará a que las partículas sólidas sean humedecidas por el metal 21 líquido.

El proceso de la Figura 4 pueden utilizarse para tratar metales líquidos bien por encima del *liquidus* de aleación para acondicionar metal líquido o bien por debajo del *liquidus* de aleación para formar una lechada semisólida. Cuando se trata el metal 21 líquido por encima del *liquidus*, el proceso puede aumentar los lugares de nucleación potenciales mediante la dispersión de películas de óxido y/o agrupaciones de óxido en partículas individuales, mejorando la humectabilidad y la distribución espacial en el metal líquido. Esto resulta de mucha ayuda para el refinamiento de grano sin añadir afinadores de grano químicos. Esto se denomina refinamiento de grano físico. Cuando se tratan los metales por debajo de su *liquidus*, el proceso puede proporcionar una lechada semisólida con partículas sólidas de un tamaño fino y con una distribución de tamaños estrecha. Además, el aparato y el método mencionados pueden proporcionar lechada semisólida de alta calidad en grandes cantidades.

El metal 21 líquido acondicionado por el proceso de la Figura 4, tratado bien por encima o bien por debajo del *liquidus* de aleación, puede suministrarse bien por lotes o bien de manera continua a un proceso de fundición específico, por ejemplo a un fundición por moldeado a alta presión, fundición por moldeado a baja presión, fundición a presión por gravedad, fundición en molde de arena, fundición en molde de cera, fundición directa en coquilla, fundición de doble rodillo o cualesquiera otros procesos de fundición a forma que requieran metal líquido o semisólido como materia prima.

En el proceso mostrado en la Figura 5, el proceso es idéntico al de la Figura 4 con la excepción de que los tubos 26 que se utilizan para la entrada de gas en el metal 21 líquido están formados a través de la plataforma 22 de tal manera que un extremo de cada tubo está situado inmediatamente por encima del dispositivo 1. Con el propósito de desgasificar el metal 21 líquido, se introduce un gas inerte, tal como argón, nitrógeno o un gas similar, dentro del metal líquido a través de los tubos 26 de tal manera que el gas entra en el metal 21 líquido inmediatamente por encima del dispositivo.

Durante el funcionamiento del proceso, tanto el metal 21 líquido como el gas son atraídos a través del dispositivo 1 del mismo modo que en el proceso de la Figura 4. Esto somete al metal 21 líquido y al gas a un cizallamiento alto y produce un flujo macroscópico del metal 21 líquido. Esto dispersa grandes burbujas de gas inerte y las convierte en burbujas de gas inerte mucho más pequeñas. Más aún, el flujo macroscópico puede distribuir las burbujas de gas inerte de manera uniforme a lo largo del metal 21 líquido en el crisol 20, creando un área de interfaz gas/líquido significativamente mayor. El gas disuelto en el metal 21 líquido se difundirá hacia las burbujas de gas inerte debido a que la presión parcial es mucho menor en el gas inerte que en el metal 21 líquido. Debido a su flotabilidad, y con la ayuda del flujo macroscópico, las burbujas de gas inerte que contienen el gas disuelto escapan de la superficie del fundido del metal 21 líquido, dando como resultado un contenido de gas en el metal líquido significativamente reducido.

Cuando se lleva a cabo una desgasificación utilizando el proceso de la Figura 5, el tamaño de las burbujas inertes en el metal líquido puede controlarse variando la realización específica del dispositivo 1 que se está utilizando. En particular, los siguientes parámetros afectarán al tamaño de las burbujas inertes: la distancia mínima del dispositivo 1, el tamaño y la forma de los conductos en las placas de estátor, la velocidad a la cual giran las hélices de rotor y el árbol de rotor, el número de hélices de rotor y de platos de estátor, el tamaño, forma y construcción de las hélices de rotor y el tamaño y la forma del tambor.

El proceso de la Figura 5 también se puede utilizar para preparar materiales compuestos de matriz metálica (MMCs) reemplazando la entrada de gas inerte con polvos cerámicos tales como carburo de silicio, óxido de aluminio o compuestos similares. El alto cizallamiento aplicado por el dispositivo 1 de la presente invención puede mejorar la uniformidad y la humectabilidad de las partículas, lo que resulta muy importante para preparar materiales MMC de alta calidad.

El proceso de la Figura 5 también se puede utilizar para preparar *in situ* materiales compuestos de matriz metálica (MMCs) cambiando la entrada de gas inerte por un gas reactivo para formar partículas de reforzamiento *in situ*. Un ejemplo es la introducción de oxígeno en una aleación de aluminio líquido para preparar MMCs de aluminio con partículas de reforzamiento.

El proceso de la Figura 5 también se puede utilizar para mezclar metales inmiscibles cambiando la entrada de gas inerte por un metal líquido que es inmiscible con el metal 21 líquido en el crisol 20. El proceso puede dispersar y distribuir los líquidos metálicos inmiscibles de manera uniforme.

El proceso de la Figura 5 también puede modificarse mediante el uso de un árbol 5 de rotor hueco para introducir el gas inerte, las partículas cerámicas, los metales líquidos inmiscibles o los elementos de ese tipo en el metal 21 líquido con el propósito de desgasificar, preparar MMCs, mezclar metales líquidos inmiscibles o para realizar acciones similares.

La Figura 6 muestra un diagrama esquemático de una integración directa de un proceso de fundición directa en coquilla (DC) convencional con el dispositivo 1 de la presente invención, dando lugar a un proceso de fundición DC de alto cizallamiento. El dispositivo 1 de alto cizallamiento se fija en una plataforma ajustable (no mostrada) para su posicionamiento. Se asume que las características propias de un proceso de fundición DC convencional son bien conocidas por parte de una persona experta en la técnica, por lo que no se repetirán aquí. El dispositivo 1 se

sumerge dentro de la pileta del fundidor DC. La ubicación preferida para la parte inferior del dispositivo 1 está entre 0 y 300 mm por encima de la zona pastosa.

5 Durante la fundición DC, el metal líquido es continuamente suministrado al molde DC a través de un tubo de alimentación y es continuamente cizallado por el dispositivo 1 de la presente invención. El metal líquido que contiene partículas sólidas y elementos de soluto rechazados en la zona pastosa es absorbido hacia adentro del dispositivo desde el frente de solidificación, sometido a un cizallamiento intensivo y a continuación forzado a salir. El fundido que ha sido cizallado de manera intensiva genera un patrón de flujo macroscópico en la pileta del fundidor DC de la misma manera que en el caso del proceso descrito anteriormente. El patrón de flujo macroscópico provoca la homogenización de temperatura y de composición química en el metal líquido alrededor del dispositivo 1. Esto genera una condición de solidificación única en la pileta del fundidor DC, dando como resultado un lingote moldeado con una microestructura fina y uniforme, una composición química uniforme y unos defectos de moldeo reducidos/eliminados.

10 La Figura 7 muestra una variedad de placas 9, 10, 11 de estátor y de hélices 6, 7, 8 de rotor que pueden formar parte de un dispositivo de acuerdo con la presente invención. Las placas 9, 10, 11 de estátor y las hélices 6, 7, 8 de rotor son sustancialmente las mismas que las del dispositivo 1 mostrado en la Figura 1, pero comprende adicionalmente un anillo 40 periférico que está fabricado alrededor de sus bordes radiales externos. El anillo 40 externo proporciona un refuerzo estructural en las placas 9, 10, 11 de estátor y en las hélices de rotor que puede resultar necesario en algunas realizaciones de la invención.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un dispositivo (1) de tratamiento de metal (21) líquido con alto cizallamiento que comprende:
un tambor (2) que posee un eje longitudinal que se extiende entre un primer extremo (3) y un segundo extremo (4), y que posee una abertura en sus extremos (3, 4) primero y segundo;
- 5 un árbol (5) de rotor montado centralmente a través de y paralelo al eje longitudinal del tambor (2);
una pluralidad de hélices (6, 7, 8) de rotor montados a lo largo de una extensión longitudinal axial del árbol (5) y en el seno del tambor (2), en donde cada hélice (6, 7, 8) de rotor estar fabricada de tal manera que su extremo externo está situado dentro de una distancia mínima en relación a una pared interna del tambor (2); y
- 10 una pluralidad de placas (9, 10, 11) de estátor fabricadas en una superficie interna del tambor (2), en donde las placas (9, 10, 11) de estátor están situadas entre hélices (6, 7, 8) de rotor adyacentes, en donde cada placa (9, 10, 11) de estátor se extiende desde una superficie interna hasta el árbol (5) de rotor, en donde cada placa (9, 10, 11) de estátor posee una pluralidad de conductos (17) fabricados a su través para permitir que el fluido pase a través de la placa (9, 10, 11); y en donde unas superficies superior e inferior de cada placa (9, 10, 11) de estátor están fabricadas para estar situadas dentro de una distancia mínima en relación a una hélice (6, 7, 8) de rotor adyacente;
- 15 en donde la distancia mínima está comprendida en el intervalo entre 10 µm y 10 mm.
- 2.- Un dispositivo (1) según la reivindicación 1, en donde el tambor (2) posee un diámetro que va decreciendo desde su primer extremo (3) hasta su segundo extremo (4).
- 3.- Un dispositivo (1) según la reivindicación 1 en donde un diámetro del tambor (2) en su primer extremo (3) y diámetro del tambor (2) en su segundo extremo (4) tienen el mismo valor y el diámetro del tambor (2) varía entre
20 ambos.
- 4.- Un dispositivo (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende adicionalmente un reservorio (12) fabricado en el primer extremo (3) del tambor (2).
- 5.- Un dispositivo (1) según la reivindicación 4, en donde el reservorio (12) comprende placas (13) deflectoras internas posicionadas para evitar la formación de torbellinos en el metal (21) líquido contenido en el mismo.
- 25 6.- Un dispositivo (1) según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes en donde las placas (9, 10, 11) de estátor son sustancialmente circulares y están fabricadas a partir de dos mitades de placa circular.
- 7.- Un dispositivo (1) según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes en donde las placas (9, 10, 11) de estátor son discos que poseen al menos un orificio fabricado a su través para permitir el paso del fluido a través de la placa.
- 30 8.- Un dispositivo (1) según la reivindicación 7, en donde el diámetro de cada orificio está comprendido en el intervalo entre 0,5 mm y 10 mm.
- 9.- Un dispositivo (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 8, en donde el diámetro de los orificios (17) fabricados a través de las placas (9, 10, 11) de estátor se reduce a lo largo del eje longitudinal del tambor (2).
- 35 10.- Un dispositivo (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde una o varias placas (9, 10, 11) de estátor consiste en un anillo de álabes.
- 11.- Un dispositivo (1) según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes que comprende adicionalmente un motor conectado al árbol (5) de rotor para hacer girar las hélices (6, 7, 8) de rotor.
- 12.- Un dispositivo (1) según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el tambor (2) está fabricado a partir de dos mitades que están atornilladas entre sí y selladas utilizando una brida.
- 40 13.- Un dispositivo (1) según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes en donde, durante el uso, el primer extremo del tambor (2) está situado por encima del segundo extremo del tambor (2), de tal manera que el paso de fluido desde el primer extremo del tambor (2) hacia el segundo extremo del tambor (2) es ayudado por la gravedad.
- 14.- Un dispositivo (1) según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde las hélices (6, 7, 8) de rotor estar fabricadas de tal manera que, cuando el árbol (5) de rotor gira, pueden operar de manera que atraen fluido desde el primer extremo (3) del tambor (2) hacia el segundo extremo (4).
- 45 15.- Un método para tratar metal (21) líquido utilizando un dispositivo (1) según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el metal (21) líquido pasa a través del tambor (2) desde el primer extremo hasta el segundo extremo a la vez que las hélices (6, 7, 8) de rotor giran a una velocidad angular comprendida entre 1 rpm y 50.000 rpm.

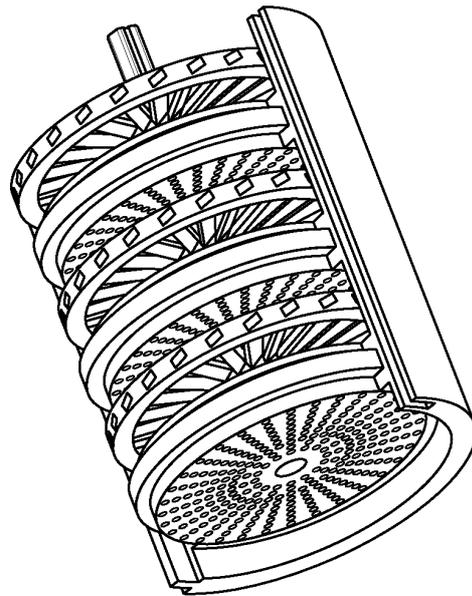
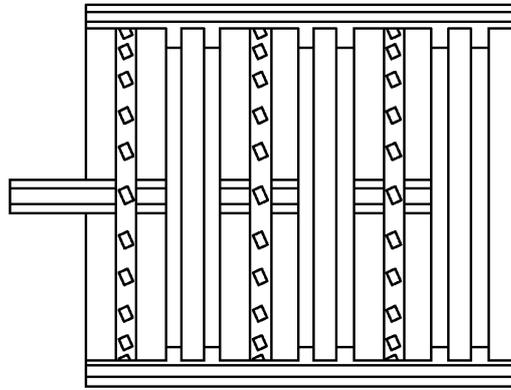
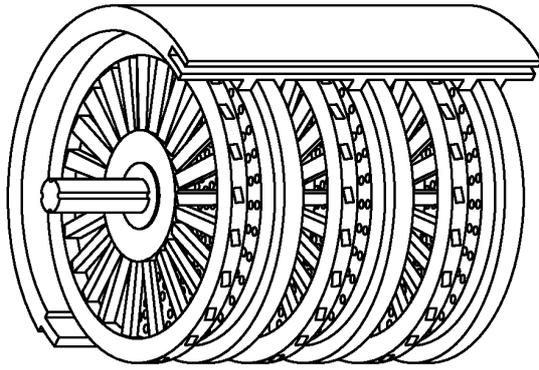


FIG. 2

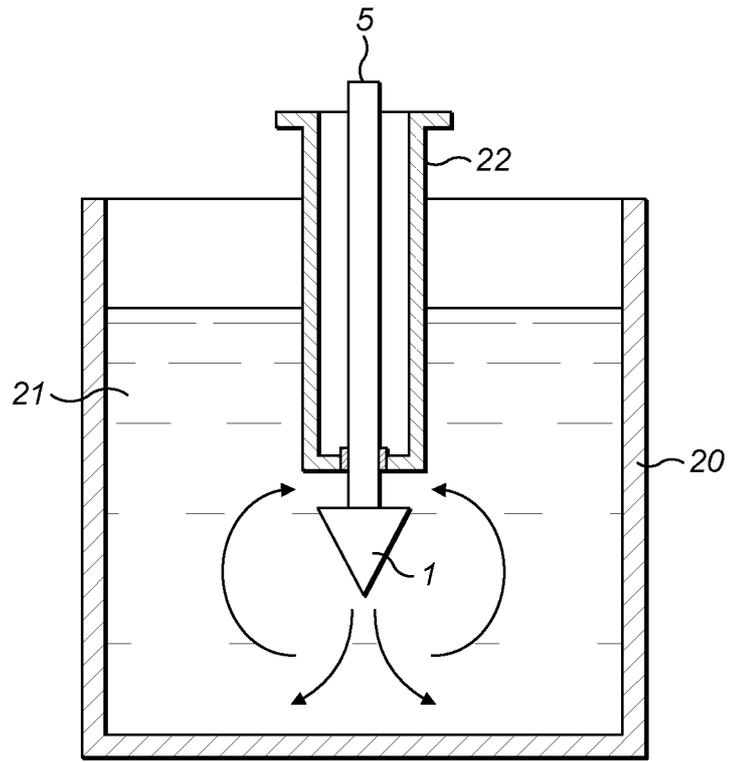


FIG. 3

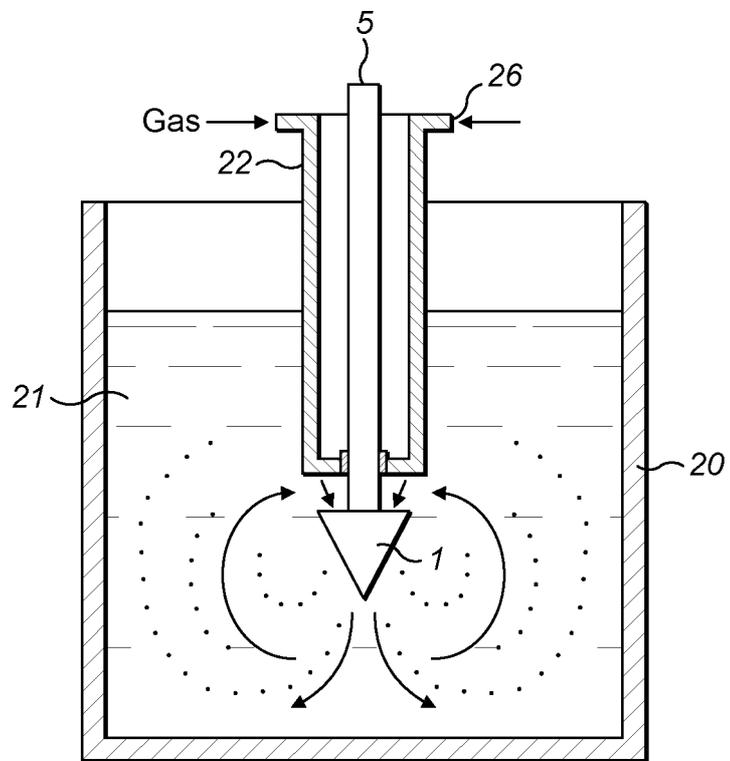


FIG. 4

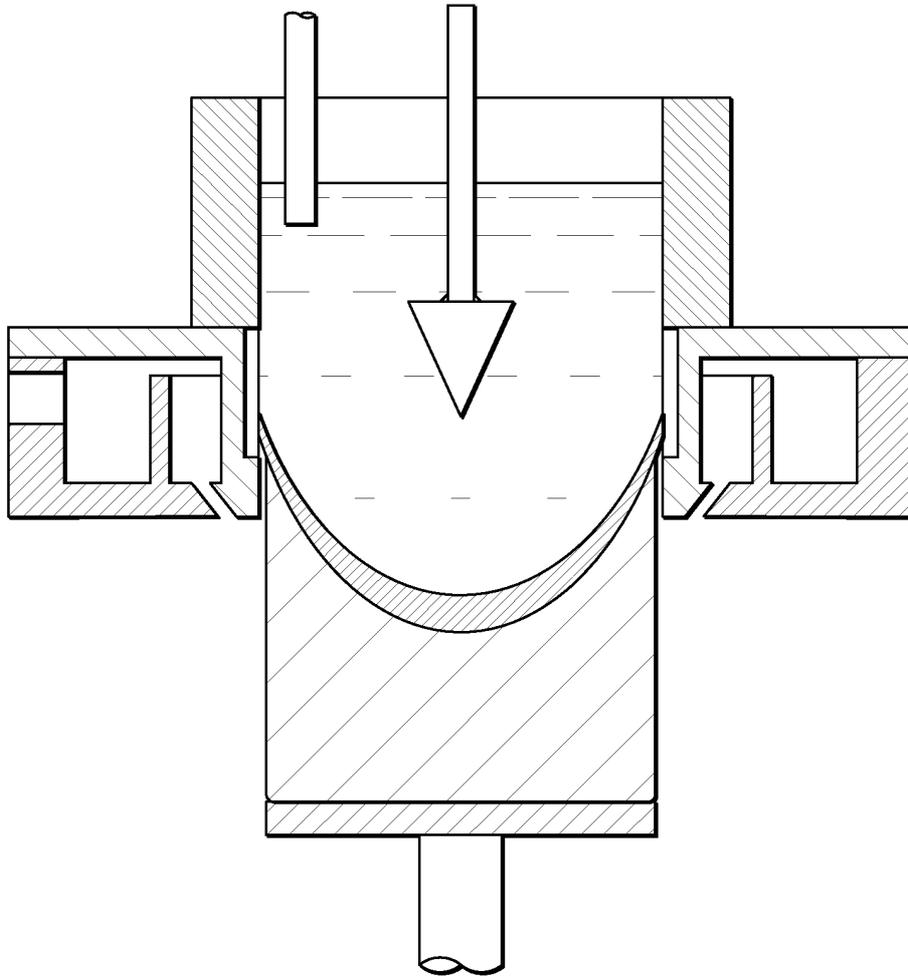


FIG. 5

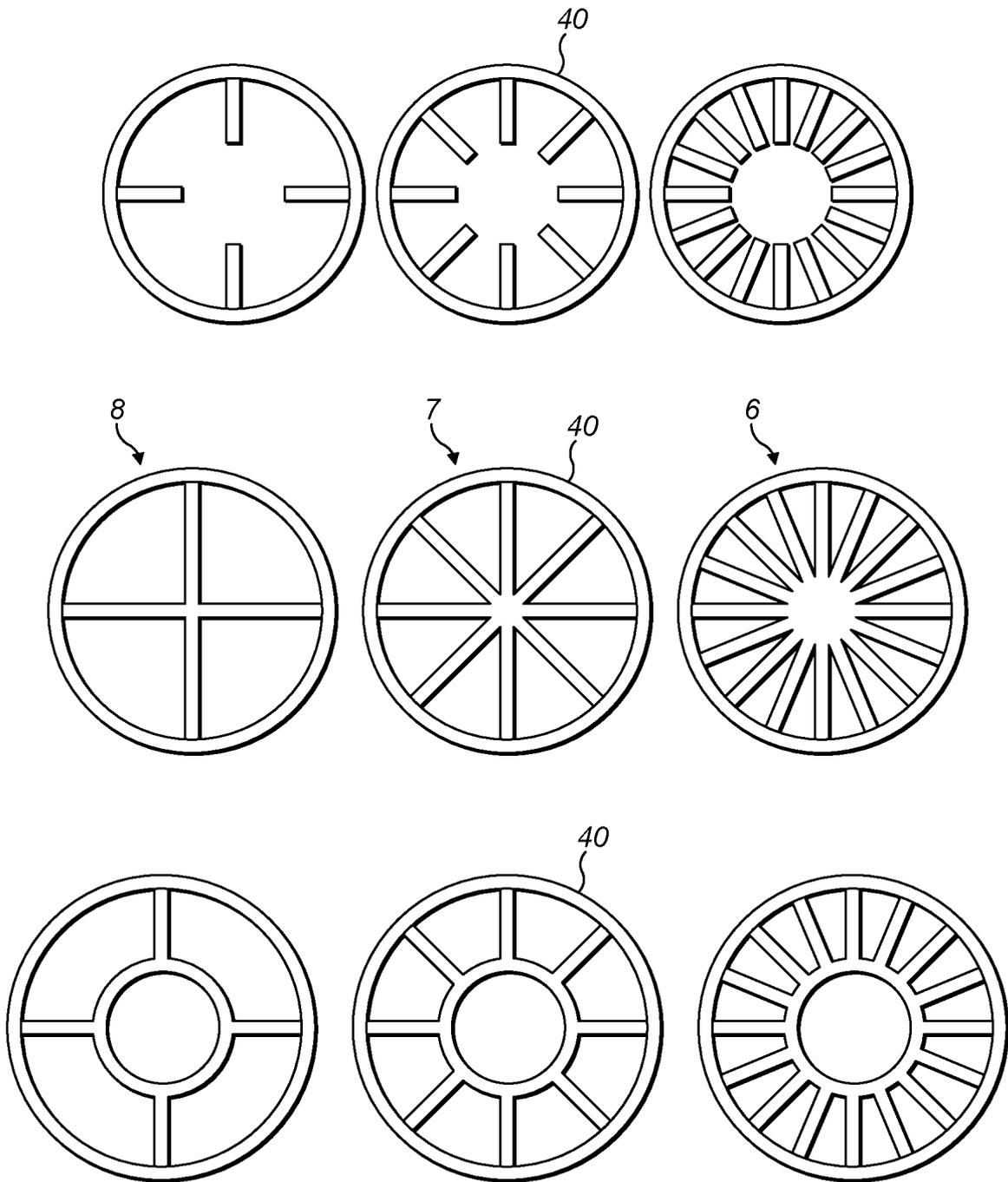


FIG. 6