

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 685 871**

51 Int. Cl.:

**B22D 11/115** (2006.01)

**B22D 27/02** (2006.01)

**B22D 11/041** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.05.2015 PCT/US2015/032026**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.11.2015 WO15179677**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.05.2015 E 15727523 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.07.2018 EP 3145658**

54 Título: **Control del flujo de metal fundido sin contacto**

30 Prioridad:

**21.05.2014 US 201462001124 P**  
**07.10.2014 US 201462060672 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**11.10.2018**

73 Titular/es:

**NOVELIS, INC. (100.0%)**  
**3560 Lenox Road, Suite 2000**  
**Atlanta, GA 30326, US**

72 Inventor/es:

**WAGSTAFF, SAMUEL R.;**  
**FENTON, WAYNE J.;**  
**WAGSTAFF, ROBERT B.;**  
**FELBERBAUM, MILAN;**  
**BISCHOFF, TODD F. y**  
**KOSMICKI, TINA J.**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 685 871 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

Control del flujo de metal fundido sin contacto

## Referencia a solicitudes relacionadas

## Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere a la fundición de metales, en general, y, más específicamente, a la mejora de la formación de granos durante la fundición de aluminio.

## Antecedentes

10 En el proceso de colada de metal, el metal fundido se hace pasar a una cavidad de moldeo. Para algunos tipos de fundición, se utilizan cavidades de moldeo con fondos falsos o en movimiento. A medida que el metal fundido entra en la cavidad de moldeo, en general, desde la parte superior, el falso fondo desciende a una velocidad que está en relación con la velocidad de flujo del metal fundido. El metal fundido que se ha solidificado cerca de los lados se puede utilizar para retener el líquido y el metal parcialmente líquido en el sumidero fundido. El metal puede estar 99,9% sólido (por ejemplo, completamente sólido), 100% líquido, y en cualquier punto intermedio. El sumidero fundido puede tomar forma de V, forma de U o forma de W, debido al aumento del grosor de las regiones sólidas a medida que se enfría el metal fundido. La interfase entre el metal sólido y el líquido a veces se denomina interfase de solidificación.

15 Como el metal fundido en el sumidero fundido se convierte en entre aproximadamente 0% sólido hasta aproximadamente 5% sólido, puede tener lugar una nucleación, y se pueden formar pequeños cristales del metal. Estos pequeños cristales (por ejemplo, de tamaño nanométrico) comienzan a formarse como núcleos, que continúan creciendo en direcciones preferenciales para formar dendritas a medida que el metal fundido se enfría. A medida que el metal fundido se enfría hasta el punto de coherencia de dendrita (por ejemplo, 632 °C en el aluminio 5182 utilizado para los extremos de las latas de bebida), las dendritas comienzan a pegarse. Dependiendo de la temperatura y del porcentaje de sólidos del metal fundido, los cristales pueden incluir o atrapar diferentes partículas (por ejemplo, intermetálicas o burbujas de hidrógeno), tales como partículas de  $\text{FeAl}_6$ ,  $\text{Mg}_2\text{Si}$ ,  $\text{FeAl}_3$ ,  $\text{Al}_8\text{Mg}_5$  y  $\text{H}_2$  bruto, en ciertas aleaciones de aluminio.

20 Adicionalmente, cuando los cristales cerca del borde del sumidero fundido se contraen durante el enfriamiento, las composiciones líquidas o partículas aún por solidificar pueden ser rechazadas o exprimidas para salir de los cristales (por ejemplo, salir de entre las dendritas de los cristales) y se pueden acumular en el sumidero fundido, lo que resulta en un equilibrio desigual de partículas o elementos de aleación menos solubles en el interior del lingote. Estas partículas se pueden mover independientemente de la interfase de solidificación y tienen una variedad de densidades y respuestas a la flotación, lo que resulta en una sedimentación preferencial en el interior del lingote que se solidifica. Además, puede haber regiones de estancamiento en el interior del sumidero.

25 La distribución no homogénea de elementos de aleación en la escala de longitud de un grano se conoce como microsegregación. Por el contrario, la macrosegregación es la falta de homogeneidad en una escala de longitud mayor que un grano (o que varios de granos), tal como hasta la escala de longitud de metros.

30 La macrosegregación puede resultar en malas propiedades del material, que pueden ser particularmente indeseables para ciertos usos, tales como estructuras aeroespaciales. A diferencia de la microsegregación, la macrosegregación no se puede solucionar mediante prácticas de homogeneización típicas (es decir, antes del laminado en caliente). Aunque algunos compuestos intermetálicos de macrosegregación se pueden romper durante la laminación (por ejemplo, el  $\text{FeAl}_6$ , el  $\text{FeAlSi}$ ), algunos compuestos intermetálicos adquieren formas que son resistentes a la rotura durante el laminado (por ejemplo, el  $\text{FeAl}_3$ ).

Aunque la adición de nuevo metal líquido caliente en el sumidero de metal crea algo de mezcla, se puede desear una mezcla adicional. Algunos enfoques de mezcla actuales en el dominio público no funcionan bien, ya que aumentan la generación de óxido.

- 35 Además, la mezcla con éxito de aluminio incluye retos no presentes en otros metales. La mezcla de aluminio con contacto puede resultar en la formación de óxidos e inclusiones que debilitan la estructura, lo que resulta en un producto de fundición indeseable. La mezcla de aluminio sin contacto puede ser difícil, debido a las características de conductividad térmica, magnética y eléctrica del aluminio.

40 Además de la formación de óxido por medio de algunos enfoques de mezcla, se pueden formar y acumular óxidos metálicos a medida que el metal fundido cae en cascada en la cavidad de moldeo. Los óxidos metálicos, el hidrógeno y/u otras inclusiones pueden acumularse como espuma o escoria de óxido en la parte superior del metal fundido en el interior de la cavidad de moldeo. Por ejemplo, durante la colada de aluminio, algunos ejemplos de óxidos metálicos incluyen óxido de aluminio, óxido de manganeso y aluminio y óxido de magnesio y aluminio.

En la colada de enfriamiento directo, se utiliza agua u otro refrigerante para enfriar el metal fundido a medida que se

5 solidifica en un lingote, a medida que el falso fondo de la cavidad de moldeo desciende. Los óxidos metálicos no difunden el calor tan bien como el metal puro. Los óxidos metálicos que alcanzan las superficies laterales del lingote que se está formando (por ejemplo, mediante "vuelco", en el que el óxido metálico de la superficie superior del metal fundido migra sobre el menisco entre la superficie superior y una superficie lateral) pueden entrar en contacto con el refrigerante y crear una barrera de transferencia de calor en esa superficie. A su vez, las zonas con óxido metálico se contraen a un ritmo diferente que el resto del metal, lo que puede causar puntos de estrés y, por lo tanto, fracturas o fallos en el lingote resultante o en otro metal colado. Incluso pequeños defectos en una pieza de metal colado pueden producir defectos mucho mayores durante el laminado del metal colado si no se lo raspa adecuadamente para eliminar cualquier aberración de un parche de óxido anterior.

10 El control del vuelco del óxido metálico se puede lograr parcialmente mediante la utilización de espumadores. Los espumadores, no obstante, no controlan completamente el vuelco de óxido metálico y pueden agregar humedad al proceso de fundición. Además, los espumadores no se utilizan típicamente durante la colada de ciertas aleaciones, tales como las aleaciones de aluminio y magnesio. Los espumadores pueden formar inclusiones no deseadas en el metal fundido. La extracción manual del óxido por parte de un operario es extremadamente peligrosa y lleva mucho tiempo, y se corre el riesgo de introducir otros óxidos en el metal. Por lo tanto, puede ser deseable controlar la migración de óxido metálico durante el proceso de fundición.

15 El documento US 2004/244939 A1 describe un método que comprende introducir metal fundido en un receptáculo, donde introducir el metal fundido en el receptáculo comprende llenar un molde, generando un campo magnético alterno próximo a la superficie superior del metal fundido, y dirigir el óxido metálico sobre la superficie superior del metal fundido generando el campo magnético alterno.

20 Un objetivo de la presente invención es minimizar el vuelco del óxido metálico sobre un menisco de un lingote de metal colado en una porción media del lingote de metal colado.

Este objetivo se logra mediante un método de acuerdo con la reivindicación 1.

#### Breve descripción de los dibujos

25 La memoria descriptiva hace referencia a las siguientes figuras adjuntas, en las que la utilización de los mismos números de referencia en diferentes figuras pretende ilustrar componentes similares o análogos.

La figura 1 es una vista en corte parcial de un sistema de fundición de metal sin inductores de flujo de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención.

30 La figura 2 es una vista superior de un sistema de fundición de metal que utiliza inductores de flujo en una orientación lateral de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención.

La figura 3 es un diagrama del corte transversal del sistema de fundición de metal de la figura 2 tomado a través de las líneas A – A de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención.

La figura 4 es una vista superior de un sistema de fundición de metal que utiliza inductores de flujo en una orientación radial de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención.

35 La figura 5 es una vista superior de un sistema de fundición de metal que utiliza inductores de flujo en orientación longitudinal de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención.

La figura 6 es una vista en alzado, de primer plano, de un inductor de flujo de las figuras 2 y 3 de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención.

40 La figura 7 es una vista superior de un sistema de fundición de metal que utiliza inductores de flujo en una orientación radial en el interior de una cavidad de moldeo circular de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención.

La figura 8 es un diagrama esquemático de un inductor de flujo que contiene imanes permanentes de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención.

45 La figura 9 es una vista superior de un sistema de fundición de metal que utiliza inductores de flujo de esquina en las esquinas de la cavidad de moldeo de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención.

La figura 10 es una vista axonométrica que representa un inductor de flujo de esquina de la figura 9 de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención.

La figura 11 es una vista en alzado, en corte transversal, de primer plano, de un inductor de flujo utilizado con un director de flujo de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención.

50 La figura 12 es un diagrama del corte transversal de un sistema de fundición de metal que utiliza un inductor de flujo de múltiples partes que emplea la Ley de Fleming para el flujo de metal fundido de acuerdo con ciertos aspectos de

la presente invención.

La figura 13 es una vista superior de un molde durante una fase estacionaria de la colada de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención.

5 La figura 14 es una vista cortada del molde de la figura 13 tomada a lo largo de la línea B - B durante la fase estacionaria, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención.

La figura 15 es una vista cortada del molde de la figura 13 tomada a lo largo de la línea C - C durante la fase final de la colada, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención.

La figura 16 es una vista en alzado, de primer plano, de una fuente de magnetismo por encima del metal fundido de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención.

10 La figura 17 es una vista superior del molde de la figura 13 durante una fase inicial de la colada de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención.

La figura 18 es una vista superior de un molde alternativo de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención.

La figura 19 es un diagrama esquemático de una fuente de magnetismo adyacente a un menisco de metal fundido de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención.

15 La figura 20 es una vista superior de un canal para transportar metal fundido de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención.

La figura 21 es un diagrama de flujo que representa un proceso de moldeo de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención.

### Descripción detallada

20 Ciertos aspectos y características de la presente invención se refieren a la utilización de campos magnéticos (por ejemplo, campos magnéticos variables) para controlar las condiciones de flujo del metal durante la colada del aluminio (por ejemplo, la colada de un lingote, de una palanquilla o de una losa). Los campos magnéticos se pueden introducir utilizando imanes permanentes giratorios o electroimanes. Los campos magnéticos se pueden utilizar para inducir el movimiento del metal fundido en una dirección deseada, tal como en un patrón giratorio alrededor de la superficie del sumidero fundido. Los campos magnéticos se pueden utilizar para inducir condiciones de flujo de metales en el sumidero fundido para aumentar la homogeneidad en el sumidero fundido y el lingote resultante. El aumento del flujo puede aumentar la maduración de los cristales en el sumidero fundido. La maduración de los cristales solidificantes puede incluir redondear la forma del cristal, de manera que se puedan empaquetar más estrechamente.

25 30 Las técnicas descritas en este documento pueden ser útiles para fabricar productos de metal colado. En particular, las técnicas descritas en este documento pueden ser especialmente útiles para fabricar productos de aluminio fundido.

35 Durante el procesamiento de metal fundido, el flujo de metal puede lograrse mediante inductores de flujo de metal sin contacto. Los inductores de flujo de metal sin contacto pueden tener una base magnética, incluidas fuentes de magnetismo tales como imanes permanentes, electroimanes o cualquier combinación de los mismos. Los imanes permanentes pueden ser deseables en algunas circunstancias para reducir los costes de capital que serían necesarios si se utilizaran electroimanes. Por ejemplo, los imanes permanentes pueden necesitar menos enfriamiento y pueden utilizar menos energía para inducir la misma cantidad de flujo. Ejemplos de imanes permanentes adecuados incluyen imanes de AlNiCr, NdFeB y SaCo, aunque se pueden utilizar otros imanes que tengan una coercitividad y remanencia adecuadamente altas. Si se utilizan imanes permanentes, los imanes permanentes se pueden posicionar para girar alrededor de un eje, para generar un campo magnético variable. Se puede utilizar cualquier disposición adecuada de imanes permanentes, tal como, entre otros, imanes monopolo, imanes dipolares equilibrados, matrices de múltiples imanes (por ejemplo, 4 polos), matrices Halbach y otros imanes capaces de generar campos magnéticos variables cuando giran.

40 45 50 Los inductores de flujo de metal pueden controlar, radial o longitudinalmente, la velocidad del metal fundido en el interior de un sumidero de metal, tal como un sumidero de metal de un lingote que se está fundiendo. Los inductores de flujo de metal pueden controlar la velocidad del metal fundido contra la interfase solidificante, que puede cambiar el tamaño, la forma y/o la composición del precipitado cristalino solidificante. Por ejemplo, la utilización de inductores de flujo de metal para aumentar el flujo de metal a través de una interfase de solidificación puede distribuir elementos de aleación de soluto rechazados o compuestos intermetálicos que han sido exprimidos para salir de esa ubicación y pueden moverse alrededor de cristales solidificados para ayudar en la maduración de los cristales.

El flujo de metal puede ser inducido mediante la utilización de campos magnéticos debido a las fuerzas de Lorenz creadas en los metales conductores según lo define la ley de Lenz. La magnitud y la dirección de las fuerzas inducidas en el metal fundido se pueden controlar ajustando los campos magnéticos (por ejemplo, resistencia,

posición y rotación). Cuando los inductores de flujo de metal incluyen imanes permanentes giratorios, el control de la magnitud y la dirección de las fuerzas inducidas en el metal fundido se puede lograr controlando la velocidad de rotación de los imanes permanentes giratorios.

5 Un inductor de flujo metálico sin contacto puede incluir una serie de imanes permanentes giratorios. Los imanes pueden estar integrados en una carcasa no ferromagnética, aislante, que puede estar situada sobre un sumidero fundido. El campo magnético creado por los imanes permanentes giratorios actúa sobre el metal fundido bajo una capa de óxido para generar condiciones de flujo de fluido durante el molde. Las fuentes de magnetismo se pueden hacer girar utilizando cualquier mecanismo de rotación adecuado. Ejemplos de mecanismos de rotación adecuados incluyen motores eléctricos, motores de fluido (por ejemplo, motores hidráulicos o neumáticos), campos magnéticos adyacentes (por ejemplo, utilizando una fuente adicional de magnetismo para inducir la rotación de los imanes de la fuente de magnetismo), etc. Se pueden utilizar otros mecanismos de rotación adecuados. En algunos casos, se utiliza un motor de fluido para hacer girar los motores utilizando un líquido refrigerante, tal como el aire, permitiendo que el mismo fluido enfríe la fuente de magnetismo y provoque la rotación de la fuente de magnetismo, tal como mediante interacción con una turbina o impulsor. Los imanes permanentes pueden ser sin rotación con respecto a un eje central o ser inducidos a girar alrededor del eje central, o bien, los imanes permanentes pueden estar fijos en rotación con respecto a un eje central giratorio. En algunos ejemplos no limitativos, los imanes permanentes se pueden hacer girar aproximadamente a 10 a 1000 revoluciones por minuto (RPM) (tal como 10 RPM, 25 RPM, 50 RPM, 100 RPM, 200 RPM, 300 RPM, 400 RPM, 500 RPM, 750 RPM, 1000 RPM, o cualquier valor intermedio). Los imanes permanentes se pueden hacer girar a una velocidad en el intervalo de aproximadamente 50 RPM a aproximadamente 500 RPM.

En algunos casos, la frecuencia, la intensidad, la ubicación o cualquier combinación de los mismos del campo magnético variable o de los campos generados por encima de la superficie de un sumidero fundido pueden ser ajustados en función de la inspección visual realizada por un operario o cámara. La inspección visual puede incluir vigilar las perturbaciones o la turbulencia en la superficie del sumidero fundido, y puede incluir vigilar la presencia de cristales que impacten en la superficie del sumidero fundido.

En algunos casos, se pueden colocar materiales magnéticamente aislantes (por ejemplo, un apantallamiento magnético) entre fuentes de imanes adyacentes (por ejemplo, inductores adyacentes de flujo fundido sin contacto) para proteger magnéticamente entre sí las fuentes de magnetismo adyacentes.

El sumidero fundido puede ser de forma circular, simétrica o bilateralmente no simétrica. La forma y el número de inductores de flujo de metal utilizados sobre un sumidero fundido particular pueden venir dictados por la forma del sumidero fundido y por el flujo deseado de metal fundido.

En un ejemplo no limitativo, un primer conjunto de ensamblajes de imanes permanentes puede girar en serie con un segundo conjunto de ensamblajes de imanes permanentes. Los primer y segundo conjuntos de ensamblajes pueden estar contenidos en un solo alojamiento o en alojamientos separados. El primer conjunto y el segundo conjunto de ensamblajes pueden girar desfasados (por ejemplo, con campos magnéticos no sincronizados) entre sí, induciendo flujo lineal en una sola dirección, tal como en el lado largo de un molde rectangular de lingote con flujo inverso en el lado opuesto del mismo molde rectangular de lingote. Alternativamente, los ensamblajes pueden girar en fase (por ejemplo, con campos magnéticos sincronizados) entre sí. Los ensamblajes pueden girar a la misma velocidad o diferentes velocidades. Los ensamblajes pueden estar alimentados por un solo motor o por motores separados. Los ensamblajes pueden estar alimentados por un solo motor y estar acoplados para girar a diferentes velocidades o en diferentes direcciones. Los ensamblajes pueden estar espaciados uniforme o desigualmente por encima del sumidero fundido.

Los imanes pueden estar integrados en un conjunto en ubicaciones angulares equidistantes o no equidistantes alrededor del eje de rotación. Los imanes pueden estar integrados en un ensamblaje a distancias radiales iguales o diferentes, alrededor del eje de rotación.

El eje de rotación del ensamblaje puede ser paralelo al nivel de metal fundido a agitar (por ejemplo, mediante control de flujo fundido). El eje de rotación del ensamblaje puede ser paralelo a la isoterma de solidificación. El eje de rotación del ensamblaje no puede ser paralelo a la forma, en general rectangular, de una cavidad de un molde rectangular. Se pueden utilizar otras orientaciones.

Los inductores de flujo fundido sin contacto se pueden utilizar con cavidades de moldeo de cualquier forma, que incluyen moldes de lingotes para la formación de cilindros (por ejemplo, tal como se utilizan para formar lingotes o palanquillas para forja o extrusión). Los inductores de flujo pueden estar orientados para generar un flujo curvilíneo del metal fundido en una dirección a lo largo de la periferia de un molde de lingotes para la formación de cilindros. Los inductores de flujo pueden estar orientados para generar patrones de flujo arqueados que son diferentes de la forma, en general circular, del molde de lingotes para la formación de cilindros.

Los inductores de flujo fundido sin contacto pueden estar orientados adyacentes entre sí alrededor de un único eje de rotación (por ejemplo, la línea central de una cavidad de moldeo) y pueden girar en direcciones opuestas para generar flujos adyacentes, opuestos, con respecto al único eje de rotación. Los flujos adyacentes, opuestos pueden

crear fuerzas de corte en la confluencia de los flujos opuestos. Dichas orientaciones pueden ser especialmente útiles para lingotes de diámetro grande.

5 Los inductores de flujo múltiple pueden estar orientados sobre ejes de rotación no colineales y girar en direcciones que generan flujos de fluido opuestos que a su vez crean fuerzas de cortadura no cilíndricas en la confluencia de los flujos de fluido.

Los inductores de flujo adyacentes pueden tener ejes de rotación paralelos o no paralelos.

10 En algunos casos, los inductores de flujo fundido sin contacto se pueden utilizar en combinación con los directores de flujo. Un director de flujo puede ser un dispositivo sumergible en el interior del aluminio fundido y posicionado para dirigir el flujo de una manera particular. Por ejemplo, los inductores de flujo fundido sin contacto que dirigen el flujo cerca de la superficie del metal fundido hacia los bordes de un molde pueden estar emparejados con directores de flujo situados cerca, pero separados, de la superficie de solidificación, para que los directores de flujo dirijan el flujo hacia abajo de la superficie de solidificación (por ejemplo, evitando que el metal que comienza a fluir por la superficie de solidificación fluya hacia el centro del sumidero de metal hasta después de que haya fluido a lo largo de una porción sustancial de la superficie de solidificación).

15 En algunos casos, el flujo circular inducido sin contacto puede distribuir cristales intermetálicos macrosegregados y/o parcialmente solidificados (por ejemplo, hierro) muy uniformemente a través del sumidero fundido. En algunos casos, el flujo lineal inducido sin contacto hacia o desde las caras largas del molde puede distribuir compuestos intermetálicos macrosegregados (por ejemplo, hierro) a lo largo del centro del producto moldeado. Los compuestos intermetálicos macrosegregados dirigidos a formarse a lo largo del centro del producto colado pueden ser  
20 beneficiosos en algunas circunstancias, tales como en productos de láminas de aluminio que necesitan ser dobladas.

25 En algunos casos, puede ser deseable inducir la formación de intermetálicos de un tamaño particular (por ejemplo, lo suficientemente grandes como para inducir la recristalización durante el laminado en caliente, pero no lo suficientemente grandes como para producir fallos). Por ejemplo, en algunas coladas de aluminio, los intermetálicos que tienen un tamaño de menos de 1  $\mu\text{m}$  de diámetro equivalente no son sustancialmente beneficiosos; los intermetálicos que tienen un tamaño de más de aproximadamente 60  $\mu\text{m}$  de diámetro equivalente pueden ser dañinos y lo suficientemente grandes como para causar fallos en el calibre final de un producto laminado después del laminado en frío. Por lo tanto, los intermetálicos que tienen un tamaño (en diámetro equivalente) de  
30 aproximadamente 1  $\mu\text{m}$  a 60  $\mu\text{m}$ , 5  $\mu\text{m}$  a 60  $\mu\text{m}$ , 10  $\mu\text{m}$  a 60  $\mu\text{m}$ , 20  $\mu\text{m}$  a 60  $\mu\text{m}$ , 30  $\mu\text{m}$  a 60  $\mu\text{m}$ , 40  $\mu\text{m}$  a 60  $\mu\text{m}$ , o 50  $\mu\text{m}$  a 60  $\mu\text{m}$  pueden ser deseables. El flujo de metal fundido inducido sin contacto puede ayudar a distribuir los compuestos intermetálicos lo suficiente como para que estos intermetálicos semi largos se puedan formar más fácilmente.

35 En algunos casos, puede ser deseable inducir la formación de intermetálicos que son más fáciles de romper durante el laminado en caliente. Los compuestos intermetálicos que se pueden romper fácilmente durante el laminado tienden a producirse más a menudo con una mayor mezcla o agitación, especialmente en las regiones de estancamiento, tales como las esquinas y el centro y/o el fondo del sumidero.

40 Se puede utilizar una mayor mezcla o agitación para aumentar la homogeneidad en el interior del sumidero fundido y en el lingote resultante, tal como mezclando cristales y partículas pesadas. El aumento de la mezcla o agitación también puede mover cristales y partículas más pesadas alrededor del sumidero fundido, reduciendo la velocidad de solidificación y permitiendo que los elementos de aleación se difundan a través de los cristales de metal solidificados. Adicionalmente, la mayor mezcla o agitación puede permitir que los cristales formadores maduren más rápidamente y maduren durante más tiempo (por ejemplo, debido a la menor velocidad de solidificación).

45 Las técnicas descritas en este documento se pueden utilizar asimismo para inducir flujo simpático en todo un sumidero de metal fundido. Debido a la forma del sumidero de metal fundido y a las propiedades del metal fundido, el flujo primario (por ejemplo, flujo inducido directamente sobre el metal del inductor de flujo) no puede alcanzar toda la profundidad del sumidero fundido. El flujo simpático (por ejemplo, el flujo secundario inducido por el flujo primario), no obstante, puede ser inducido por medio de la colocación y de la resistencia correctas del flujo primario, y puede alcanzar las regiones de estancamiento en el interior del sumidero fundido, tal como las descritas anteriormente.

50 Los lingotes colados con las técnicas descritas en el presente documento pueden tener un tamaño de grano uniforme, un tamaño de grano único, una distribución intermetálica a lo largo de la superficie exterior del lingote, un efecto de macrosegregación atípico en el centro del lingote, mayor homogeneidad o cualquier combinación de los mismos. Colar los lingotes utilizando las técnicas y sistemas descritos en este documento puede tener propiedades beneficiosas adicionales. Un tamaño de grano más uniforme y una mayor homogeneidad pueden reducir o eliminar la necesidad de agregar refinadores de grano al metal fundido. Las técnicas descritas en este documento pueden  
55 crear una mayor mezcla sin cavitación y sin una mayor generación de óxido. El aumento de la mezcla puede resultar en una interfase de líquido a sólido más delgada en el interior del lingote que se está solidificando. En un ejemplo, durante la colada de un lingote de aluminio, si la interfase de líquido a sólido tiene aproximadamente 4 milímetros de ancho, se puede reducir hasta en un 75% o más (hasta aproximadamente 1 milímetro de ancho o menos) cuando no

se utilizan inductores de flujo fundido sin contacto para agitar el metal fundido.

En algunos casos, la utilización de las técnicas descritas en el presente documento puede reducir los tamaños de grano promedio en un producto colado resultante y puede inducir un tamaño de grano relativamente uniforme en todo el producto colado. Por ejemplo, un molde de lingote de aluminio que utiliza las técnicas descritas en el presente documento puede tener solo tamaños de grano de aproximadamente 280 µm, 300 µm, 320 µm, 340 µm, 360 µm, 380 µm, 400 µm, 420 µm, 440 µm, 460 µm, 480 µm o 500 µm, 550 µm, 600 µm, 650 µm o 700 µm. Por ejemplo, una colada de lingote de aluminio utilizando las técnicas descritas en este documento puede tener un tamaño medio de grano de o por debajo de aproximadamente 280 µm, 300 µm, 320 µm, 340 µm, 360 µm, 380 µm, 400 µm, 420 µm, 440 µm, 460 µm, 480 µm, 500 µm, 550 µm, 600 µm, 650 µm o 700 µm. El tamaño de grano relativamente uniforme puede incluir desviaciones estándar máximas en el tamaño de grano de o por debajo de 200, 175, 150, 125, 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20 o menores. Por ejemplo, una colada de producto que utiliza las técnicas descritas en este documento puede tener una desviación estándar máxima en el tamaño del grano en o por debajo de 45.

En algunos casos, la utilización de las técnicas descritas en el presente documento puede disminuir el espaciado de los brazos de las dendritas (por ejemplo, la distancia entre los brazos de las dendritas adyacentes de las dendritas en el metal cristalizado) en el producto de colada resultante y puede inducir un espaciado de los brazos de las dendritas relativamente uniforme en la totalidad del producto colado. Por ejemplo, un molde de lingote de aluminio que utiliza inductores de flujo fundido sin contacto puede tener un espaciado promedio de los brazos de las dendritas en toda la superficie de aproximadamente 10 µm, 15 µm, 20 µm, 25 µm, 30 µm, 35 µm, 40 µm, 45 µm, o 50 µm. El espaciado relativamente uniforme de los brazos de las dendritas puede incluir una desviación estándar máxima del espaciado de los brazos de las dendritas igual o inferior a 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8,5, 8, 7,5, 7, 6,5, 6, 5,5, 5 o menor. Por ejemplo, un producto moldeado que tenga un espaciado promedio de los brazos de las dendritas (por ejemplo, medido en ubicaciones a través del grosor de un lingote fundido en una sección transversal común) de 28 µm, 39 µm, 29 µm, 20 µm, y 19 µm puede tener una desviación estándar máxima del espaciado de los brazos de las dendritas de aproximadamente 7,2. Por ejemplo, una colada de producto que utiliza las técnicas descritas en este documento puede tener una desviación estándar máxima del espaciado de los brazos de las dendritas de o por debajo de 7,5.

En algunos casos, las técnicas descritas en la presente memoria pueden permitir un control más preciso de la macrosegregación (por ejemplo, intermetálicos o en las que se recogen los intermetálicos). Un mayor control de los intermetálicos puede permitir la producción de estructuras óptimas de grano en un producto fundido a pesar de comenzar con material fundido que tiene un mayor contenido de elementos de aleación o un mayor contenido reciclado, lo que normalmente obstaculizaría la formación de estructuras óptimas de grano. Por ejemplo, el aluminio reciclado puede tener, en general, un contenido de hierro más alto que el aluminio nuevo o primario. Cuanto más aluminio reciclado se utilice en un molde, generalmente, mayor será el contenido de hierro, a menos que se realice un procesamiento adicional, que consume mucho tiempo y costes para diluir el contenido de hierro. Con un contenido de hierro más alto, a veces puede ser difícil fabricar un producto deseable (por ejemplo, con pequeños tamaños de cristal en todas partes y sin estructuras intermetálicas no deseables). No obstante, el mayor control de los compuestos intermetálicos, tal como la utilización de las técnicas descritas en este documento, puede permitir la colada de productos deseables, incluso con metal fundido que tiene alto contenido de hierro, tal como aluminio 100% reciclado. La utilización de metales 100% reciclados puede ser muy deseable por necesidades comerciales medioambientales y de otro tipo.

En algunos casos, los inductores de flujo sin contacto pueden incluir fuentes de magnetismo que tienen elementos para proteger los imanes de la transferencia de calor por radiación y por conducción, tal como un reflector de calor radiante y/o un material de baja conductividad térmica. Las fuentes de magnetismo pueden incluir un recubrimiento con baja conductividad térmica (por ejemplo, un recubrimiento refractario o un aerogel), tal como para mostrar la transferencia de calor por conducción. Las fuentes de magnetismo pueden incluir una carcasa de metal, tal como una carcasa de metal pulido (por ejemplo, para reflejar el calor por radiación). Las fuentes de magnetismo pueden incluir adicionalmente un mecanismo de enfriamiento. Si se desea, se puede asociar un disipador de calor con la fuente de magnetismo para disipar el calor. En algunos casos, un fluido refrigerante (por ejemplo, agua o aire) puede ser forzado alrededor o a través de la fuente de magnetismo, para refrigerar la fuente de magnetismo. En algunos casos, los mecanismos de apantallamiento y/o enfriamiento se pueden utilizar para mantener baja la temperatura de los imanes, para que los imanes no se desmagnetizen. En algunos casos, los imanes pueden incorporar apantallamiento y/o metales porosos tales como MuMetales, para proteger y/o redirigir los campos magnéticos lejos del equipo y/o del detector que puede verse afectado negativamente por los campos magnéticos generados por los imanes.

Los imanes permanentes colocados adyacentes entre sí a lo largo de un eje central se pueden orientar para tener polos desplazados. Por ejemplo, los polos norte de los imanes secuenciales pueden estar aproximadamente a 60° de distancia de los imanes adyacentes. Se pueden utilizar otros ángulos de desviación. Los polos escalonados pueden limitar la resonancia en el metal fundido debido al movimiento magnético del metal fundido. Alternativamente, los polos de los imanes adyacentes no están compensados. En los casos en que se utilizan imanes no permanentes, los campos magnéticos generados se pueden escalonar para lograr un efecto similar.

Dado que las una o más fuentes de magnetismo crean campos magnéticos variables, puede inducir un flujo de fluido en cualquier metal fundido por debajo de las fuentes de magnetismo en una dirección normal, en general, a los ejes centrales de las fuentes de magnetismo (por ejemplo, los ejes de rotación para una fuente de magnetismo de imán permanente giratorio). El eje central (por ejemplo, el eje de rotación) de una fuente de magnetismo puede ser, en general, paralelo a la superficie del metal fundido.

Los conceptos dados a conocer se pueden utilizar en la fundición monolítica o en la fundición multicapa (por ejemplo, la fundición simultánea de lingotes recubiertos), donde se pueden utilizar imanes giratorios para controlar el flujo de fluido de metal fundido desde o hacia la interfase entre los diferentes tipos de metal fundido. Los conceptos dados a conocer se pueden utilizar con moldes de cualquier forma, que incluyen, pero no están limitados a, formas rectangulares, circulares y complejas (por ejemplo, lingotes conformados para extrusión o forja).

En algunos casos, las una o más fuentes de magnetismo se pueden acoplar a un mecanismo de ajuste de altura que se puede utilizar para levantar y para bajar las una o más fuentes de magnetismo con respecto al molde. Durante el proceso de colado, puede ser deseable mantener una distancia uniforme entre las una o más fuentes de magnetismo y la superficie superior del metal fundido. El mecanismo de ajuste de altura puede ajustar la altura de una o más fuentes de magnetismo si la superficie superior del metal fundido sube o baja. El mecanismo de ajuste de altura puede ser cualquier mecanismo adecuado para ajustar la distancia entre las una o más fuentes de magnetismo y la superficie superior (por ejemplo, si esa diferencia cambia). El mecanismo de ajuste de altura puede incluir detectores capaces de detectar cambios en la altura de la superficie superior. El mecanismo de ajuste de altura puede detectar niveles de metal, tales como cambios en los niveles de metal a los que se hace referencia desde un punto fijo de la superficie superior. Las una o más fuentes de magnetismo se pueden suspender de cables, cadenas u otros dispositivos adecuados. Las una o más fuentes de magnetismo se pueden acoplar a un canal por encima del molde y/o acoplar al propio molde.

En algunos casos, la utilización de una o más fuentes de magnetismo tal como se describe en el presente documento puede ayudar a normalizar la temperatura del metal fundido, tal como durante la fase inicial en la que las temperaturas no normalizadas pueden hacer que sea más difícil comenzar la colada.

En algunos casos, la utilización de una o más fuentes de magnetismo tal como se describe en el presente documento puede ayudar a distribuir metal fundido a cualquier esquina entre las paredes del molde. Dicha distribución puede ayudar a eliminar el efecto del menisco (por ejemplo, un pequeño espacio de 0,5 milímetros a 6 milímetros) en esas esquinas. Dicha distribución se puede realizar durante la fase inicial, generando un flujo de fluido de metal fundido hacia las paredes del molde.

En algunos casos, una o más fuentes de magnetismo pueden ser colocadas en el interior o alrededor de las paredes del molde, o en cualquier otra ubicación adecuada con respecto al metal fundido. En un ejemplo no limitativo, las una o más fuentes de magnetismo se colocan adyacentes al menisco. En otro ejemplo no limitativo, las una o más fuentes de magnetismo se colocan aproximadamente por encima del centro de la superficie superior del metal fundido.

Varios inductores de flujo sin contacto se pueden utilizar en diferentes momentos. El ajuste de la temporización de la generación de campos magnéticos variables puede proporcionar los resultados deseados en diferentes puntos en el tiempo durante el proceso de colado. Por ejemplo, no se podría generar ningún campo al inicio del proceso de fundición, se podría generar un campo magnético variable en una primera dirección durante la primera parte del proceso de colado, y se podría generar un campo magnético variable débil en dirección opuesta durante una segunda parte del proceso de colado. Se pueden utilizar otras variaciones en los tiempos.

Adicionalmente, la utilización de una o más fuentes de magnetismo en el menisco puede modificar las estructuras del grano. Las estructuras del grano pueden ser modificadas mediante convección forzada. Las estructuras del grano se pueden modificar excitando la velocidad del metal fundido en la interfase de sólido a líquido (por ejemplo, forzando el metal caliente desde la superficie superior hacia abajo de la interfase de solidificación). Dicho efecto se puede mejorar mediante la utilización de directores de flujo, tal como se describe en el presente documento.

Otros aspectos y características de la presente invención se refieren a la utilización de un campo magnético alterno para controlar la migración de óxido metálico fundido sobre la superficie del metal fundido, tal como durante la colada (por ejemplo, colada de un lingote, palanquilla o losa). El campo magnético alterno se puede introducir utilizando imanes permanentes giratorios o electroimanes, tal como se describe en el presente documento. El campo magnético alterno se puede utilizar para empujar o inducir el movimiento del óxido metálico en la dirección deseada, por ejemplo, hacia un menisco al inicio de la colada, hacia el centro durante la colada en estado estacionario y hacia el menisco al final de la colada, minimizando de este modo el vuelco del óxido metálico en la parte media del lingote de metal colado y, en su lugar, concentrando cualquier formación de óxido en los extremos del metal colado. El campo magnético alterno se puede utilizar además para deformar el menisco y dirigir el óxido metálico durante los procesos de no colada, tal como durante el filtrado y la desgasificación del metal fundido. Las corrientes parásitas producidas en la superficie superior del metal fundido pueden inhibir adicionalmente el efecto del menisco ayudando al metal fundido a alcanzar cualquier esquina en la que se encuentran las paredes del molde.



Durante el procesamiento, el movimiento y la colada del metal fundido, se pueden formar capas de óxido metálico sobre la superficie del metal fundido. El óxido metálico, en general, no es deseable, ya que puede obstruir los filtros y generar defectos en un producto moldeado. La utilización de una fuente de magnetismo sin contacto para controlar la migración del óxido metálico permite un mayor control de la acumulación y del movimiento del óxido metálico. El óxido metálico puede ser dirigido hacia ubicaciones deseadas (por ejemplo, lejos de un filtro que el óxido metálico pueda obstruir, y hacia una ruta de eliminación del óxido metálico que tenga un filtro diferente y/o una ubicación para que un operario elimine con seguridad los óxidos metálicos). Las fuentes de magnetismo sin contacto se pueden utilizar para generar campos magnéticos alternos que producen corrientes parásitas (por ejemplo, flujo de metal) sobre la superficie superior del metal fundido, que se puede utilizar para dirigir el óxido metálico soportado por la superficie superior del metal fundido en una dirección deseada. Ejemplos de fuentes de magnetismo adecuadas incluyen las descritas en el presente documento con referencia a dispositivos de control de flujo.

Las fuentes de magnetismo se pueden hacer girar utilizando cualquier mecanismo de giro adecuados. En algunos casos, los imanes permanentes pueden hacer girar aproximadamente a 60 revoluciones por minuto a 3000 revoluciones por minuto.

Los imanes permanentes colocados adyacentes entre sí a lo largo de un eje central pueden ser orientados para tener polos desplazados, tal como se describe en el presente documento. Los polos escalonados pueden limitar la resonancia en el metal fundido debido al movimiento magnético del metal fundido. La generación de óxido debido al movimiento del metal fundido también se puede limitar mediante la utilización de polos escalonados.

Puesto que las una o más fuentes de magnetismo crean campos magnéticos alternos, pueden inducir corrientes parásitas (por ejemplo, flujo de metal) en cualquier metal fundido por debajo de las fuentes de magnetismo en una dirección, en general, normal a los ejes centrales de las fuentes de magnetismo (por ejemplo, ejes de rotación para una fuente de magnetismo magnética permanente giratoria). Los ejes centrales (por ejemplo, ejes de rotación) de una fuente de magnetismo pueden ser, en general, paralelos a la superficie del metal fundido.

En el proceso de colada, el metal fundido puede ser introducido en un molde mediante un dispensador. Un espumador se puede utilizar opcionalmente para atrapar cierta cantidad de óxido metálico en una región que rodea inmediatamente el dispensador. Se pueden colocar una o más fuentes de magnetismo entre el dispensador y las paredes del molde para generar corrientes parásitas suficientes en la superficie del metal fundido para controlar y/o inducir la migración de óxido metálico a lo largo de la superficie del metal fundido. Cada fuente de magnetismo puede generar un campo magnético alterno (por ejemplo, a partir del giro de imanes permanentes) que induce corrientes parásitas en direcciones normales a la pared del molde opuesta a la fuente de magnetismo del dispensador (por ejemplo, a lo largo de una línea desde el dispensador a la pared). La utilización de múltiples fuentes de magnetismo permite controlar la migración del óxido metálico en múltiples formas y direcciones, incluida la recogida del óxido metálico en el centro de la superficie superior (por ejemplo, cerca del dispensador) y, de este modo, inhibir su aproximación al menisco de la superficie superior (por ejemplo, adyacente a donde la superficie superior se encuentra con las paredes del molde). La migración del óxido metálico también se puede controlar para empujar el óxido metálico desde el dispensador hacia el menisco de la superficie superior.

En algunos casos, un proceso de colada puede incluir una fase inicial, una fase estacionaria y una fase final. Durante la fase inicial, en primer lugar, se introduce metal fundido en el molde y se forman las primeras varias pulgadas (por ejemplo, cinco a diez pulgadas) del metal colado. Esta parte del metal colado a veces se denomina fondo o fondo del metal colado, que puede ser retirada y desechada. Después de la fase inicial, el proceso de colada alcanza una fase estacionaria, en la que se forma la parte central del metal colado. Tal como se utiliza en el presente documento, el término "fase estacionaria" se puede referir a cualquier fase de funcionamiento del proceso de colada en la que se forma la parte media del metal colado, independientemente de cualquier aceleración o falta de aceleración en la velocidad de colado. Después de la fase estacionaria ocurre la fase final, en la que se forma la parte superior del metal colado y se completa el proceso de colada. Al igual que el tope del metal colado, la parte superior del metal colado (o cabeza del lingote) puede ser retirada y desechada.

En algunos casos, la migración de óxido metálico se puede controlar de manera que el óxido metálico se dirija hacia el menisco de la superficie superior durante la fase inicial y, opcionalmente, durante la fase final. No obstante, durante la fase estacionaria, el óxido metálico puede ser dirigido lejos del menisco de la superficie superior. Como resultado, los óxidos metálicos formados en el metal colado se concentrarán en la parte inferior y/o superior del metal colado, las cuales pueden ser retiradas y desechadas, lo que resulta en que una parte media del lingote de metal colado tenga un mínimo de acumulación de óxido metálico. El óxido metálico puede ser dirigido hacia el menisco durante la fase inicial para dejar más espacio en la superficie superior durante la fase de estado estacionario. El óxido metálico puede ser dirigido hacia el menisco durante la fase final para extender el óxido metálico que ha sido recogido en la superficie superior (por ejemplo, para que el óxido metálico se incorpore en un segmento lo más corto posible del metal colado).

En algunos casos, el campo magnético alterno se inicia en aproximadamente un minuto desde que el metal fundido entra en el molde. El campo magnético alterno puede continuar durante la fase inicial hasta que se alcanza el cénit del nivel de metal, en cuyo punto el campo magnético alterno puede invertir las direcciones para dirigir el óxido metálico lejos del menisco y hacia el centro de la superficie superior del metal fundido.

Los conceptos dados a conocer se pueden utilizar en colada monolítica o en coladas de múltiples capas (por ejemplo, colada simultánea de lingotes revestidos), donde se pueden utilizar imanes giratorios para dirigir el óxido desde la interfase entre los diferentes tipos de metal fundido. Los conceptos dados a conocer se pueden utilizar con moldes de cualquier forma, que incluyen formas rectangulares, circulares y complejas (por ejemplo, lingotes conformados para extrusión o forja).

En algunos casos, las una o más fuentes de magnetismo se pueden colocar encima de la superficie superior del metal fundido y solo entre el dispensador y las paredes del molde que forman los lados de laminación del metal fundido (por ejemplo, aquellos lados que entran en contacto con los rodillos de trabajo durante el laminado). En otros casos, una o más fuentes de magnetismo están colocadas por encima de la superficie superior del metal fundido y entre el dispensador y todas las paredes del molde.

En algunos casos, una o más fuentes de magnetismo pueden ser colocadas en el interior o alrededor de las paredes del molde o en cualquier otra ubicación adecuada con relación al metal fundido. En algunos casos, las una o más fuentes de magnetismo son colocadas adyacentes al menisco. En otros casos, las una o más fuentes de magnetismo son colocadas aproximadamente por encima del centro de la superficie superior del metal fundido.

En algunos casos, las una o más fuentes de magnetismo pueden generar campos magnéticos alternos adyacentes al menisco para deformar el menisco, tal como al aumentar o disminuir la altura del menisco con respecto a la altura del resto de la superficie superior del metal fundido. El aumento de la altura del menisco puede ayudar a evitar el vuelco del óxido metálico actuando como una barrera física para el vuelco y puede ser útil durante la fase estacionaria. Disminuir la altura del menisco puede ayudar a permitir que el óxido metálico se lamine más fácilmente, lo que se puede utilizar durante la fase inicial y/o la fase final.

En algunos casos, las fuentes de magnetismo sin contacto pueden actuar simultánea y/o selectivamente como inductores de flujo y controladores del óxido metálico, tal como se describe en el presente documento. En algunos casos, un inductor de flujo se puede colocar más cerca del metal fundido para inducir un flujo de metal más profundo, mientras que un controlador de óxido metálico se coloca a una distancia mayor del metal fundido para inducir un flujo de metal más superficial (por ejemplo, corrientes parásitas).

Estos ejemplos ilustrativos se dan para presentar al lector el tema general tratado en el presente documento y no tienen la intención de limitar el alcance de los conceptos dados a conocer. Las siguientes secciones describen varias características adicionales y ejemplos con referencia a los dibujos, en los que números iguales indican elementos similares, y las descripciones direccionales se utilizan para describir las realizaciones ilustrativas, pero, como las realizaciones ilustrativas, no deben ser utilizadas para limitar la presente invención. Los elementos incluidos en las ilustraciones del presente documento pueden no estar dibujadas a escala.

La figura 1 es una vista en corte parcial de un sistema de colada de metal 100 sin inductores de flujo de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención. Una fuente de metal 102, tal como una artesa, puede suministrar metal fundido a través de un tubo de alimentación 104. Se puede utilizar un espumador 108 alrededor del tubo de alimentación 104 para ayudar a distribuir el metal fundido y reducir la generación de óxidos metálicos en la superficie superior del sumidero fundido 110. Un bloque de fondo 120 puede ser elevado por un cilindro hidráulico 122 para encontrarse con las paredes de la cavidad de moldeo 112. A medida que el metal fundido comienza a solidificarse en el interior del molde, el bloque de fondo 120 puede descender de manera constante. El metal colado 116 puede incluir lados 118 que se han solidificado, mientras que el metal fundido añadido a la colada se puede utilizar para alargar de manera continua el metal colado 116. En algunos casos, las paredes de la cavidad de moldeo 112 definen un espacio hueco y pueden contener un refrigerante 114, tal como el agua. El refrigerante 114 puede salir como chorros desde el espacio hueco y fluir por los lados 118 del metal colado 116 para ayudar a solidificar el metal colado 116. El lingote que se está fundiendo puede incluir una región de metal solidificado 128, una región de metal de transición 126 y una región de metal fundido 124.

Cuando no se utilizan inductores de flujo, el metal fundido que sale del dispensador 106 fluye en un patrón indicado, en general, por las líneas de flujo 134. El metal fundido puede fluir solo aproximadamente 20 milímetros por debajo del dispensador 106 antes de regresar a la superficie. Las líneas de flujo 134 del metal fundido permanecen, en general, cerca de la superficie del sumidero fundido 110, sin alcanzar las partes media e inferior de la región de metal fundido 124. Por lo tanto, el metal fundido en las partes media e inferior de la región de metal fundido 124, especialmente las zonas de la región de metal fundido 124 adyacentes a la región de metal de transición 126, no está bien mezclado.

Tal como se describió anteriormente, debido a la sedimentación preferencial de los cristales formados durante la solidificación del metal fundido, se puede producir una región de estancamiento 130 de cristales en la porción media de la región de metal fundido 124. La acumulación de estos cristales en la región de estancamiento 130 puede provocar problemas en la formación de lingotes. La región de estancamiento 130 puede alcanzar fracciones sólidas desde hasta aproximadamente el 15% hasta aproximadamente el 20%, aunque son posibles otros valores fuera de ese intervalo. Sin la utilización de inductores de flujo, el metal fundido no fluye adecuadamente (por ejemplo, véanse las líneas de flujo 134) dentro de la región de estancamiento 130 y, por lo tanto, los cristales que se pueden formar en la región de estancamiento 130 se acumulan y no se mezclan a través de la región de metal fundido 124.

Además, dado que los elementos de aleación son rechazados de los cristales que se forman en la interfase de solidificación, se pueden acumular en una región de estancamiento 132 que está por debajo. Sin la utilización de inductores de flujo, el metal fundido no fluye adecuadamente (por ejemplo, véanse las líneas de flujo 134) a la región de estancamiento 132 que está por debajo y, por lo tanto, los cristales y las partículas más pesadas dentro de la región de estancamiento que está por debajo normalmente no se mezclarían bien en toda la región de metal fundido 124.

Adicionalmente, los cristales de una región de estancamiento 130 que está por encima y de la región de estancamiento 132 que está por debajo pueden caer hacia y acumularse cerca del fondo del sumidero, formando un abombamiento central 136 de metal sólido en el fondo de la región de metal de transición 126. Este abombamiento central 136 puede resultar en propiedades indeseables en el metal colado (por ejemplo, una concentración indeseable de elementos de aleación, compuestos intermetálicos y/o una estructura de grano indeseablemente grande). Sin la utilización de inductores de flujo, el metal fundido no fluye (por ejemplo, véanse las líneas de flujo 134) lo suficientemente abajo como para moverse y mezclar estos cristales y partículas que se han acumulado cerca del fondo del sumidero.

La figura 2 es una vista superior de un sistema de colada de metal 200 que utiliza inductores de flujo 240 en una orientación lateral de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención. Los inductores de flujo 240 son inductores de flujo fundido sin contacto que utilizan imanes permanentes giratorios. Se pueden utilizar otros inductores de flujo fundido sin contacto, tales como los inductores de flujo electromagnéticos.

La cavidad de moldeo 212 está configurada para contener metal fundido 210 en el interior de un conjunto de paredes largas 218 y de paredes cortas 234. Mientras que la cavidad de moldeo 212 se muestra como de forma rectangular, se puede utilizar cualquier otra cavidad de moldeo conformada. El metal fundido 210 es introducido en la cavidad de moldeo 212 a través del dispensador 206. Se puede utilizar un espumador 208 opcional para recoger cierta cantidad de óxido metálico que se puede formar cuando el metal fundido sale del dispensador 206 hacia la cavidad de moldeo 212.

Cada inductor de flujo 240 puede incluir una o más fuentes de magnetismo. Los inductores de flujo 240 pueden colocarse adyacentes y por encima de la superficie 202 del metal fundido 210. Aunque se ilustran cuatro inductores de flujo 240, se puede utilizar cualquier cantidad adecuada de inductores de flujo 240. Tal como se describió anteriormente, cada inductor de flujo 240 puede colocarse por encima de la superficie 202 de cualquier manera adecuada, incluso mediante suspensión. Las fuentes de magnetismo en los inductores de flujo 240 pueden incluir uno o más imanes permanentes que pueden girar alrededor de los ejes de rotación 204 para generar un campo magnético variable. Se pueden utilizar electroimanes en lugar de, o además de, imanes permanentes, para generar el campo magnético variable.

Los inductores de flujo 240 pueden colocarse en lados opuestos de una línea central del molde 236 con sus ejes de rotación 204 paralelos a la línea central del molde 236. Los inductores de flujo 240 situados en un lado de la línea central del molde 236 (por ejemplo, el lado izquierdo, tal como se ve en la figura 2) pueden girar en una primera dirección 246, para inducir el flujo de metal 242 hacia la línea central del molde 236. Los inductores de flujo 240 situados en el lado opuesto de la línea central del molde 236 (por ejemplo, el lado derecho, tal como se ve en la figura 2) pueden girar en una segunda dirección 248, para inducir el flujo de metal 242 hacia la línea central del molde 236. La interacción entre flujos de metal 242 en lados opuestos de la línea central del molde 236 puede generar un aumento de la mezcla en el interior del metal fundido 210, tal como se describe en el presente documento.

Los inductores de flujo 240 se pueden hacer girar en otras direcciones para inducir el flujo de metal 242 en otras direcciones. Los inductores de flujo 240 se pueden ubicar en orientaciones diferentes a las que tienen los ejes de rotación 204 paralelos a la línea central del molde 236 o paralelos entre sí.

La figura 3 es un diagrama en corte transversal del sistema de colada de metal 200 de la figura 2, tomado a través de las líneas A - A de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención. El metal fundido fluye desde la fuente de metal 302, baja por el tubo de alimentación 304, y sale por el dispensador 206. El metal en la cavidad de moldeo 212 puede incluir una región de metal solidificado 328, una región de metal de transición 326, y una región de metal fundido 324.

Se ven dos inductores de flujo 240 por encima de la superficie 202 del sumidero fundido 306. Un inductor de flujo 240 gira en una primera dirección 246, mientras que el otro gira en una segunda dirección 248. La rotación de los inductores de flujo 240 induce un flujo fundido 242 en el metal fundido 342 del sumidero fundido 306. El flujo fundido 242 inducido por los inductores de flujo 240 induce un flujo simpático 334 a través del sumidero fundido 306. El flujo simpático 334 a través del sumidero fundido 306 puede proporcionar una mayor mezcla y puede evitar la formación de regiones de estancamiento. Adicionalmente, debido a una mayor homogeneidad térmica, la región de metal de transición 326 puede ser más pequeña o más delgada que cuando no se utilizan inductores de flujo 240. Los inductores de flujo 240 pueden agitar el metal fundido 210 lo suficiente para disminuir el ancho de la región de metal de transición 326 hasta en un 75% o más. Por ejemplo, si el ancho de la región de metal de transición 326 sería ordinariamente de aproximadamente 4 milímetros, o cualquier otro ancho adecuado, la utilización de inductores de

flujo tal como se describe en el presente documento puede reducir ese ancho a menos de aproximadamente 4 milímetros, tal como, pero sin limitación, a menos de 3 milímetros o a menos de 1 milímetro o menos.

La figura 4 es una vista superior de un sistema de colada de metal 400 que utiliza inductores de flujo 440 en una orientación radial de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención. Los inductores de flujo 440 son inductores de flujo fundido sin contacto que utilizan imanes permanentes giratorios. Se pueden utilizar otros inductores de flujo fundido sin contacto, tales como inductores de flujo electromagnéticos.

La cavidad de moldeo 412 está configurada para contener metal fundido 410 en el interior de un conjunto de paredes largas 418 y de paredes cortas 434. Mientras que la cavidad de moldeo 412 se muestra como de forma rectangular, se puede utilizar cualquier otra cavidad de moldeo conformada. El metal fundido 410 es introducido en la cavidad de moldeo 412 a través del tubo de alimentación 406. Se puede utilizar un espumador 408 opcional para recoger cierta cantidad de óxido metálico que se puede formar cuando el metal fundido sale del tubo de alimentación 406 al interior de la cavidad de moldeo 412.

Cada inductor de flujo 440 puede incluir una o más fuentes de magnetismo. Los inductores de flujo 440 pueden colocarse adyacentes y por encima de la superficie superior 402 del metal fundido 410. Aunque se ilustran seis inductores de flujo 440, se puede utilizar cualquier cantidad adecuada de inductores de flujo 440. Tal como se describió anteriormente, cada inductor de flujo 440 puede estar posicionado por encima de la superficie superior 402 de cualquier manera adecuada, incluyendo mediante suspensión. Las fuentes de magnetismo en los inductores de flujo 440 pueden incluir uno o más imanes permanentes que giran alrededor de los ejes de rotación 404 para generar un campo magnético variable. Se pueden utilizar electroimanes en lugar de, o además de, los imanes permanentes para generar el campo magnético variable.

Los inductores de flujo 440 pueden colocarse alrededor del tubo de alimentación 406 y orientarse para inducir el flujo de metal 442 en una dirección, en general, circular. Tal como se ve en la figura 4, la rotación de los inductores de flujo 440 en el sentido 446 induce el flujo de metal 442, en general, en sentido horario. Los inductores de flujo 440 se pueden hacer girar en un sentido opuesto al sentido 446, para inducir el flujo de metal en un sentido, en general, antihorario. El flujo rotacional del metal 442 puede generar una mayor mezcla en el interior del metal fundido 410, tal como se describe en el presente documento. Los inductores de flujo 440 pueden ubicarse en orientaciones diferentes a las que se muestran.

En algunos casos, se puede inducir suficiente flujo circular o rotacional para formar un vórtice.

La figura 5 es una vista superior de un sistema de colada de metal 500 que utiliza inductores de flujo 540 dispuestos en una orientación longitudinal de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención. Los inductores de flujo 540 son inductores de flujo fundido sin contacto que utilizan imanes permanentes giratorios. Se pueden utilizar otros inductores de flujo fundido sin contacto, tales como inductores de flujo electromagnético. Los inductores de flujo 540 se muestran alojados en un primer ensamblaje 550 y en un segundo ensamblaje 552.

La cavidad de moldeo 512 está configurada para contener metal fundido 510 en el interior de un conjunto de paredes largas 518 y paredes cortas 534. Mientras que la cavidad de moldeo 512 se muestra como de forma rectangular, se puede utilizar cualquier otra cavidad de moldeo con otra forma. El metal fundido 510 es introducido en la cavidad de moldeo 512 a través del tubo de alimentación 506. Se puede utilizar un espumador 508 opcional para recoger cierta cantidad de óxido metálico que se puede formar cuando el metal fundido sale del tubo de alimentación 506 hacia la cavidad de moldeo 512.

Cada inductor de flujo 540 puede incluir una o más fuentes de magnetismo. Los inductores de flujo 540 pueden colocarse adyacentes y por encima de la superficie superior 502 del metal fundido 510. Aunque se ilustran dieciséis inductores de flujo 540 que abarcan dos ensamblajes 550, 552, se puede utilizar cualquier cantidad adecuada de inductores de flujo 540 y de ensamblajes 550, 552. Tal como se describió anteriormente, cada inductor de flujo 540 puede estar posicionado por encima de la superficie superior 502 de cualquier manera adecuada, incluyendo mediante suspensión. Las fuentes de magnetismo en los inductores de flujo 540 pueden incluir uno o más imanes permanentes que giran alrededor de ejes giratorios para generar un campo magnético variable. Se pueden utilizar electroimanes en lugar de, o además de, los imanes permanentes, para generar el campo magnético variable.

Cada ensamblaje 550, 552 puede orientarse lateralmente por encima de la cavidad de moldeo 512, en general, en paralelo a las paredes largas 518 y posicionado entre las paredes largas 518 y el tubo de alimentación 506. Los inductores de flujo 540 pueden inducir un flujo de metal 542 en una dirección, en general, circular. Tal como se ve en la figura 5, la rotación de los inductores de flujo 540 en el sentido 546 induce un flujo de metal 542 en un sentido, en general, en sentido antihorario. Los inductores de flujo 540 se pueden hacer girar en un sentido opuesto al sentido 546 para inducir un flujo de metal, en general, en el sentido horario. El flujo rotacional de metal 542 puede generar una mayor mezcla en el interior del metal fundido 510, tal como se describe en el presente documento. Los inductores de flujo 540 y los ensamblajes 550, 552 se pueden ubicar en orientaciones diferentes a las mostradas.

Cada inductor de flujo 540 puede ser accionado fuera de fase con respecto a los activadores de flujo adyacentes 540 (por ejemplo, con polos magnéticos de un imán permanente girando 90°, 60°, 180°, u otras cantidades con respecto a un imán permanente adyacente). El funcionamiento de los inductores de flujo 540 adyacentes fuera de

fase uno con respecto a otro puede controlar la frecuencia armónica y la amplitud de una onda creada en el metal fundido 510.

5 La figura 6 es una vista en alzado, en corte transversal, de primer plano, de un inductor de flujo 240 de las figuras 2 y 3 de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención. El inductor de flujo 240 se puede hacer girar en el sentido 246 para inducir el flujo fundido 242 en el metal fundido del sumidero fundido 306. El flujo fundido 242 puede generar un flujo simpático 334 de metal fundido más abajo en el interior del sumidero fundido 306, tal como se describe en el presente documento.

10 Tal como se ilustra, un inductor de flujo 240 puede incluir una carcasa exterior 602. La carcasa exterior 602 puede ser un reflector de calor por radiación, tal como una carcasa de metal pulido o cualquier otro reflector de calor por radiación adecuado. El inductor de flujo 240 puede incluir adicionalmente un inhibidor de calor por conducción 604. El inhibidor de calor por conducción 604 puede ser cualquier material adecuado de baja conductividad térmica, tal como un material refractario o un aerogel, o cualquier otro material adecuado de baja conductividad térmica.

15 El inductor de flujo 240 puede incluir adicionalmente una carcasa intermedia 606 que separa los imanes permanentes 608 y el inhibidor de calor por conducción 604. Uno o más imanes permanentes 608 pueden colocarse alrededor de un eje 614.

En algunos casos, los imanes permanentes 608 pueden ser libres en rotación con respecto al eje 614. Los imanes permanentes 608 pueden colocarse alrededor de una carcasa interior 610 que es libre en rotación con respecto al eje 614 mediante la utilización de rodamientos 612.

Se pueden utilizar otros tipos y disposiciones de fuentes de magnetismo.

20 La figura 7 es una vista superior de un sistema de colada de metal 700 que utiliza inductores de flujo 740 en una orientación radial en el interior de una cavidad de moldeo 712 circular de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención. Los inductores de flujo 740 son inductores de flujo fundido sin contacto que utilizan imanes permanentes giratorios. Se pueden utilizar otros inductores de flujo fundido sin contacto, tales como inductores de flujo electromagnéticos.

25 La cavidad de moldeo 712 circular está configurada para contener metal fundido 710 en el interior de una única pared circular 714. Mientras que la cavidad de moldeo 712 se muestra como de forma circular, se puede utilizar cualquier otra cavidad de moldeo con otra forma, con cualquier número de paredes. El metal fundido 710 es introducido en la cavidad de moldeo 712 a través del tubo de alimentación 706. El sistema de colada de metal 700 se muestra sin el espumador opcional.

30 Cada inductor de flujo 740 puede incluir una o más fuentes de magnetismo. Los inductores de flujo 740 pueden colocarse adyacentes y por encima de la superficie superior 702 del metal fundido 710. Aunque se ilustran seis inductores de flujo 740, se puede utilizar cualquier cantidad adecuada de inductores de flujo 740. Tal como se describió anteriormente, cada inductor de flujo 740 puede estar posicionado por encima de la superficie superior 702 de cualquier manera adecuada, incluso mediante suspensión. Las fuentes de magnetismo en los inductores de flujo 35 740 pueden incluir uno o más imanes permanentes que giran alrededor de los ejes de rotación 704 para generar un campo magnético variable. Se pueden utilizar electroimanes en lugar de, o además de, imanes permanentes, para generar el campo magnético variable.

40 Los inductores de flujo 740 pueden colocarse alrededor del tubo de alimentación 706 y orientarse para inducir el flujo de metal 742 en una dirección, en general, circular. Los ejes de rotación 704 de los inductores de flujo 740 pueden posicionarse sobre (por ejemplo, colineales con) radios que se extienden desde el centro de la cavidad de moldeo 712. Tal como se ve en la figura 7, la rotación de los inductores de flujo 740 en el sentido 746 induce un flujo de metal 742 en un sentido, en general, antihorario. Los inductores de flujo 740 se pueden hacer girar en un sentido opuesto al sentido 746, para inducir un flujo de metal en un sentido, en general, horario. El flujo giratorio de metal 742 puede generar una mayor mezcla en el interior del metal fundido 710, tal como se describe en el presente documento. Los inductores de flujo 740 pueden ubicarse en orientaciones diferentes a las que se muestran. 45

La figura 8 es un diagrama esquemático de un inductor de flujo 800 que contiene imanes permanentes de acuerdo con ciertos aspectos de la presente descripción. El inductor de flujo 800 incluye una carcasa 802 e imanes permanentes 804. Los imanes permanentes 804 están fijados de manera giratoria a un eje 806. El eje 806 puede estar impulsado por un motor, o de cualquier otra manera adecuada.

50 En algunos casos, un impulsor 808 puede estar fijado de manera giratoria al eje 806. A medida que el refrigerante es forzado hacia el inductor de flujo 800 en el sentido 810, el refrigerante puede pasar sobre el impulsor 808, haciendo que el eje 806 gire, lo que provoca el giro de los imanes permanentes 804. Adicionalmente, el refrigerante continuará hacia abajo por el inductor de flujo 800, pasando por encima o cerca de los imanes permanentes 804, enfriándolos. Ejemplos de refrigerante adecuado incluyen aire u otros gases o fluidos.

55 Tal como se ve en la figura 8, los imanes permanentes 804 adyacentes pueden tener polos norte desplazados giratoriamente (por ejemplo, escalonados). Por ejemplo, los polos norte de los imanes secuenciales pueden estar a

aproximadamente 60° de distancia de los imanes adyacentes. Se pueden utilizar otros ángulos de desviación. Los polos escalonados pueden limitar la resonancia en el metal fundido debido al movimiento magnético del metal fundido. En otros casos, los polos de los imanes adyacentes no están desviados.

5 La figura 9 es una vista superior de un sistema de colada de metal 900 que utiliza inductores de flujo de esquina 960 en las esquinas de la cavidad de moldeo 912 de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención. Los inductores de flujo de esquina 960 son inductores de flujo fundido sin contacto que utilizan imanes permanentes giratorios. Se pueden utilizar otros inductores de flujo fundido sin contacto, tales como inductores de flujo electromagnéticos.

10 La cavidad de moldeo 912 está configurada para contener metal fundido 910 en el interior de un conjunto de paredes largas 918 y paredes cortas 934. Existe una esquina en la que una pared se encuentra con una pared adyacente. Aunque la cavidad de moldeo 912 se muestra como de forma rectangular y con esquinas de 90°, se puede utilizar cualquier otra cavidad de moldeo de otra forma, con cualquier número de esquinas, que tengan cualquier anchura angular. El metal fundido 910 es introducido en la cavidad de moldeo 912 a través del tubo de alimentación 906. Se puede utilizar un separador de espuma 908 opcional para recoger cierta cantidad de óxido metálico que se puede formar cuando el metal fundido sale del tubo de alimentación 906 hacia la cavidad de moldeo 912.

15 Los inductores de flujo de esquina 960 pueden incluir una o más fuentes de magnetismo para generar cambios en los campos magnéticos. Un inductor de flujo de esquina 960 puede incluir una placa giratoria 966 acoplada a un motor 962 mediante un eje 964. Opcionalmente, la placa giratoria se puede hacer girar mediante otros mecanismos. 20 El eje puede estar soportado por un soporte 970. El soporte 970 puede estar montado en las paredes de la cavidad de moldeo 912 o colocado de otro modo adyacente a la cavidad de moldeo 912. La placa giratoria 966 puede incluir uno o más imanes permanentes 968 que están separados radialmente del eje de rotación 974 de la placa giratoria 966. El eje de rotación 974 de la placa giratoria 966 puede estar ligeramente inclinado hacia la superficie del metal fundido 910, de modo que la rotación de la placa giratoria 966 (por ejemplo, en el sentido 972) secuencialmente 25 desplaza los uno o más imanes permanentes 968 hacia y desde la superficie del metal fundido 910 cerca de la esquina de la cavidad de moldeo 912, generando un campo magnético variable en la esquina de la cavidad de moldeo 912. En otros casos, los inductores de flujo de esquina 960 pueden incluir fuentes electromagnéticas para generar campos magnéticos variables en las esquinas de las cavidades de moldeo 912.

30 La rotación de las placas giratorias 966 en el sentido 972 puede inducir un flujo fundido 942 en el metal fundido 910 a través de la esquina (por ejemplo, flujo generalmente en el sentido horario a través de la esquina). Por ejemplo, la rotación de las placas giratorias 966 tal como se representa en la figura 9 puede inducir el flujo fundido 942 desde el lado izquierdo de cada inductor de flujo de esquina 960, a través de la esquina y más allá del lado derecho de cada inductor de flujo de esquina 960, visto mirando al inductor de flujo de esquina 960 desde el tubo de alimentación 906. La rotación en un sentido opuesto puede inducir un flujo fundido en el sentido opuesto.

35 La figura 10 es una vista axonométrica que representa un inductor de flujo de esquina 960 de la figura 9 de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención. El inductor de flujo de esquina 960 incluye un soporte 970 que está fijado a las paredes de la cavidad de moldeo 912. Un motor 962 acciona un eje 964 que hace girar una placa giratoria 966 en el sentido 972. Opcionalmente, la placa giratoria se puede hacer girar mediante otros mecanismos. 40 Los imanes permanentes 968 están montados en la placa giratoria 966 para girar junto con la placa giratoria 966. La placa giratoria 966 gira alrededor de un eje de rotación 974 que está inclinado hacia la superficie del metal fundido 910. En casos alternativos, el eje de rotación 974 no forma un ángulo, sino que, por el contrario, es paralelo a la superficie del metal fundido 910.

45 Cuando la placa giratoria 966 gira, uno de los imanes permanentes 968 comienza a acercarse a la superficie del metal fundido 910 cuando el otro de los imanes permanentes 968 comienza a alejarse de la superficie del metal fundido 910. A medida que el primero de los imanes permanentes 968 se hace girar hasta su punto más cercano cerca de la superficie del metal fundido 910, el otro de los imanes permanentes 968 se hace girar hasta su punto más alejado de la superficie del metal fundido 910. La rotación continúa llevando el otro de los imanes permanentes 968 hacia la superficie del metal fundido 910 cuando el primero de los imanes permanentes 968 se hace girar fuera de la superficie del metal fundido 910.

50 Las fluctuantes distancias de los imanes permanentes 968 con respecto a la superficie del metal fundido 910 generan un campo magnético variable, que induce el flujo fundido 942 del metal fundido 910 a través de la esquina. Por ejemplo, la rotación de la placa giratoria 966 tal como se representa en la figura 10 puede inducir el flujo fundido 942 desde el lado izquierdo de la esquina, a través de la esquina, y salir por el lado derecho de la esquina. La rotación en un sentido opuesto puede inducir un flujo fundido en el sentido opuesto.

55 La figura 11 es una vista en alzado, en corte transversal, de primer plano, de un inductor de flujo 1100 utilizado con un director de flujo 1120 de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención. El inductor de flujo 1100 puede ser similar al inductor de flujo 240 de la figura 2, o puede ser cualquier otro inductor de flujo adecuado (por ejemplo, con otros tipos y disposiciones de fuentes de magnetismo). El inductor de flujo 1100 se puede hacer girar en el sentido 1116 para inducir el flujo fundido 1122 en el metal fundido del sumidero fundido 1118. El flujo fundido 1122

puede pasar sobre la parte superior del director de flujo 1120, y continuar hacia abajo por la interfase de solidificación 1124.

5 El director de flujo 1120 puede estar realizado de cualquier material adecuado para ser sumergido en el metal fundido 1118. El director de flujo 1120 puede tener forma de ala o estar conformado de otro modo para inducir un flujo a través de la interfase de solidificación 1124 (por ejemplo, para aumentar el flujo en la región de estancamiento que está por debajo, cerca de la interfase de solidificación 1124 y/o para ayudar a la maduración de los cristales metálicos). El director de flujo 1120 se puede extender a cualquier profundidad adecuada en el interior del sumidero.

10 En algunos casos, el director de flujo 1120 está acoplado al cuerpo del molde 1126, tal como a través de brazos móviles (no mostrados). En algunos casos, el director de flujo 1120 está acoplado a un portador (no mostrado) que, opcionalmente, también soporta el inductor de flujo 1100. De esta manera, las distancias entre el inductor de flujo 1100 y el director de flujo 1120 se pueden mantener estables. En algunos casos, los brazos móviles (no mostrados) que acoplan el director de flujo 1120 al portador o al cuerpo del molde 1126 pueden permitir que el director de flujo 1120 se mueva (por ejemplo, para posicionarse en el interior del sumidero fundido 1118, y/o para ser introducido en / retirado del sumidero fundido 1118).

15 La figura 12 es un diagrama de corte transversal de un sistema de colada de metal 1200 que utiliza un inductor de flujo de múltiples partes que emplea la Ley de Fleming para el flujo de metal fundido, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención. El inductor de flujo de múltiples partes incluye, por lo menos, una fuente de campo magnético 1226 (por ejemplo, un par de imanes permanentes) y un par de electrodos. Al aplicar simultáneamente una corriente eléctrica y un campo magnético a través del metal fundido 1208, se puede inducir una fuerza en el metal fundido perpendicular a las direcciones de la corriente eléctrica y el campo magnético.

20 El metal fundido fluye desde la fuente de metal 1202, baja por el tubo de alimentación 1204 y sale por el dispensador 1206. El metal en la cavidad de moldeo 1212 puede incluir una región de metal solidificado 1214, una región de metal de transición 1216 y una región de metal fundido 1218.

25 Las fuentes de campo magnético 1226 pueden estar situadas en cualquier lugar adecuado para inducir un campo magnético a través de, por lo menos, una porción de la región de metal fundido 1218. En algunos casos, las fuentes de campo magnético 1226 pueden incluir imanes permanentes estáticos, imanes permanentes giratorios, o cualquier combinación de los mismos. En algunos casos, las fuentes de campo magnético 1226 pueden estar posicionadas en, sobre, o alrededor de la cavidad de moldeo 1212.

30 El par de electrodos pueden estar acoplados a un controlador 1230. Un electrodo inferior 1224 puede entrar en contacto con la región metálica solidificada 1214 a medida que desciende el producto colado. El electrodo inferior 1224 puede ser cualquier electrodo adecuado para entrar en contacto con la región metálica solidificada 1214 de forma deslizante. En algunos casos, el electrodo inferior 1224 es un electrodo con forma de cepillo, tal como un cepillo de electrodeposición. En algunos casos, el electrodo superior puede ser un electrodo 1220 integrado en el dispensador 1206. En algunos casos, el electrodo superior puede ser un electrodo 1222 que es sumergible en el metal fundido 1208.

35 La figura 13 es una vista superior de un molde 1300 durante una fase estacionaria de la colada de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención. Tal como se utiliza en el presente documento, un molde 1300 es una forma de receptáculo de metal fundido. El molde 1300 está configurado para contener metal fundido 1304 entre las paredes 1302 del molde 1300. Tal como se ve en la figura 13 comenzando desde la parte superior de la página y moviéndose en el sentido horario, las paredes 1302 incluyen una primera pared, una segunda pared, una tercera pared y una cuarta pared que rodean el metal fundido 1304. Un menisco 1328 de metal fundido 1304 está presente adyacente a las paredes 1302 del molde 1300. Mediante el dispensador 1306 se introduce metal fundido 1304 en el molde 1300. Se puede utilizar un espumador 1308 opcional para recoger cierta cantidad de óxido metálico que se puede formar cuando el metal fundido sale del dispensador 1306 al molde 1300.

45 Una o más fuentes de magnetismo, tales como las fuentes de magnetismo 1310, 1312, 1314, 1316, son posicionadas por encima de la superficie superior 1340 del metal fundido 1304. Aunque se ilustran cuatro fuentes de magnetismo, se puede utilizar cualquier cantidad adecuada de fuentes de magnetismo, incluidas más o menos de cuatro. Tal como se describió anteriormente, las fuentes de magnetismo 1310, 1312, 1314, 1316 pueden ser colocadas por encima de la superficie superior 1340 de cualquier manera adecuada, incluso mediante suspensión.

50 La fuente de magnetismo 1310 incluye uno o más imanes permanentes que pueden girar alrededor del eje 1338 para generar un campo magnético alterno. Se pueden utilizar electroimanes en lugar de o además de los imanes permanentes para generar el campo magnético alterno. La fuente de magnetismo 1310 se puede hacer girar en el sentido 1330 para inducir corrientes parásitas en el metal fundido 1304 en la dirección 1318. Asimismo, las fuentes de magnetismo 1312, 1314, 1316 pueden estar construidas, y posicionadas y hechas girar de manera similar en las direcciones 1332, 1334, 1336, respectivamente, para generar corrientes parásitas en el metal fundido 1304 en las direcciones 1320, 1322, 1324, respectivamente. Mediante las corrientes parásitas colectivas inducidas en el metal fundido 1304 en las direcciones 1318, 1320, 1322, 1324, el óxido metálico 1326 soportado por la superficie superior 1340 del metal fundido 1304 es dirigido hacia el dispensador 1306 en el centro de la superficie superior 1340. Este control del óxido metálico 1326 ayuda a evitar que el óxido metálico 1326 ruede sobre el menisco 1328.

La figura 14 es una vista cortada del molde 1300 de la figura 13 tomada a lo largo de la línea B - B durante la fase estacionaria, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención. Una artesa 1402 puede suministrar metal fundido a un dispensador 1306. El espumador 1308 opcional se puede utilizar alrededor del dispensador 1306. Durante una fase inicial, el bloque inferior 1420 puede ser elevado mediante un cilindro hidráulico 1422 para encontrarse con las paredes 1302 del molde 1300. A medida que el metal fundido comienza a solidificarse en el interior del molde, el bloque inferior 1420 se puede hacer descender de manera constante. El metal colado 1404 puede incluir lados 1412, 1414, 1416 que se han solidificado, mientras que el metal fundido añadido al molde se puede utilizar para alargar de manera continua el metal colado 1404. La porción del metal colado 1404 que se formó en primer lugar (por ejemplo, la porción cerca del bloque inferior 1420) se conoce como el fondo o la base del metal colado 1404, y que puede ser retirada y desechada después de que se forme el metal colado 1404.

El menisco 1328 se ve en la superficie superior 1340 adyacente a las paredes 1302. En algunos casos, las paredes 1302 pueden definir un espacio hueco y pueden contener un refrigerante 1410, tal como agua. El refrigerante 1410 puede salir como chorros desde el espacio hueco y fluir por los lados 1412, 1414 del metal colado 1404 para ayudar a solidificar el metal colado 1404. El tercer lado solidificado 1416 del metal colado 1404 se ve en la figura 14. El tercer lado 1416 incluye inclusiones de óxido metálico 1418 cerca del fondo del metal colado 1404. Tal como se describió anteriormente, se puede haber inducido que el óxido metálico rueda sobre el menisco 1328 durante la fase inicial, lo que hace que se formen inclusiones de óxido metálico 1418 cerca de la parte inferior del metal colado 1404. Debido a que el proceso de colada 1300 se ve en una fase estacionaria en la figura 14, se forman inclusiones mínimas de óxido metálico 1418 en los lados del metal colado 1404, debido a la rotación de las fuentes de magnetismo 1310, 1312, 1314, 1316.

La figura 15 es una vista en corte del molde 1300 de la figura 13 tomada a lo largo de la línea C - C durante la fase final de la colada, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención. La vista en corte muestra que el metal colado 1404 está compuesto de metal fundido 1304, metal solidificado 1504 y metal de transición 1502. El metal de transición 1502 es metal que está entre los estados fundido y solidificado.

El menisco 1328 se ve en la superficie superior 1340 adyacente a las paredes 1302. En algunos casos, las paredes 1302 definen un espacio hueco y pueden contener un refrigerante 1410, tal como agua. El refrigerante 1410 puede salir como chorros desde el espacio hueco y fluir por los lados 1412, 1414 del metal colado 1404 para ayudar a solidificar el metal colado 1404.

Durante la fase final de la colada, las fuentes de magnetismo 1310, 1312, 1314, 1316 pueden girar en direcciones opuestas a las que giran durante la fase estacionaria. Por ejemplo, las fuentes de magnetismo 1312, 1316 pueden girar en direcciones 1506, 1508, respectivamente, para crear corrientes parásitas en la superficie superior 1340 en las direcciones 1510, 1512, respectivamente. Estas corrientes parásitas pueden ayudar a impulsar el óxido metálico hacia el menisco 1328, de modo que el óxido metálico se pueda volcar. Las fuentes de magnetismo 1310, 1312, 1314, 1316 también pueden estar girando en estas direcciones durante la fase inicial de la colada.

La figura 16 es una vista en alzado, de primer plano, de una fuente de magnetismo 1316 por encima del metal fundido 1304 de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención. La fuente de magnetismo 1316 puede ser la misma o similar al inductor de flujo 240 de la figura 6 y puede incluir cualquier variación, tal como se describió anteriormente. La fuente de magnetismo 1316 se puede hacer girar en el sentido 1336 para inducir corrientes parásitas en la superficie superior 1340 del metal fundido 1304 en el sentido 1324. Las corrientes parásitas pueden ayudar a inhibir el que el óxido metálico 1326 en la superficie superior 1340 alcance y rueda sobre el menisco 1328, dirigiendo el óxido metálico 1326 hacia el centro del metal fundido 1304.

La figura 17 es una vista superior del molde 1300 de la figura 13 durante una fase inicial de colada de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención. El molde 1300 contiene metal fundido 1304 entre las paredes 1302 del molde 1300.

Durante la fase inicial de la colada, las fuentes de magnetismo 1310, 1312, 1314, 1316 pueden girar en las direcciones 1702, 1704, 1706, 1708, respectivamente, para inducir corrientes parásitas en el metal fundido 1304 en las direcciones 1710, 1712, 1714 y 1716, respectivamente. Estas corrientes parásitas pueden impulsar el óxido metálico 1326 hacia el menisco 1328, induciendo el vuelco.

La figura 18 es una vista superior de un molde alternativo 1800 de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención. El molde 1800 incluye una pared 1802 con forma compleja. El metal fundido 1804 es introducido en el molde 1800 mediante un dispensador 1808. Una o más fuentes de magnetismo 1806 son posicionadas entre el dispensador 1808 y la pared 1802 para controlar la migración del óxido metálico a lo largo de la superficie superior del metal fundido 1804 (por ejemplo, para inhibir y/o inducir el vuelco del óxido metálico sobre el menisco 1810), según se desee.

En casos con paredes 1802 de forma compleja, la forma compleja de las paredes 1802 puede incluir curvas 1812 (por ejemplo, curvas hacia el interior o hacia el exterior). Las fuentes de magnetismo 1806 pueden ser colocadas alrededor de las curvas 1812, de tal manera que el eje de cada fuente de magnetismo 1806 esté aproximadamente perpendicular a la línea más corta entre el centro de la fuente de magnetismo 1806 y las paredes 1802 (por ejemplo,



paralelo a la parte más cercana de la pared). Tal disposición puede permitir que las fuentes de magnetismo 1806 induzcan corrientes parásitas dirigidas hacia o desde la pared.

La figura 19 es un diagrama esquemático de una fuente de magnetismo 1912 adyacente a un menisco 1906 de metal fundido de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención. La fuente de magnetismo 1912 se puede situar entre las paredes 1908 de un molde 1900. El molde 1900 puede incluir una banda de grafito 1910 utilizada para formar una capa de solidificación primaria del metal fundido. Un menisco 1906 puede estar situado adyacente a donde la superficie superior 1902 del metal fundido 1904 se encuentra con las paredes 1908.

En condiciones normales (por ejemplo, sin utilizar una fuente de magnetismo 1912 adyacente al menisco 1906), el menisco 1906 puede tener una curva 1918 que es, en general, plana. En los casos en que una fuente de magnetismo 1912 es adyacente al menisco 1906, la fuente de magnetismo 1912 puede producir un cambio de altura en el menisco 1906. Cuando la fuente de magnetismo 1912 gira en el sentido 1914, el menisco 1906 puede elevarse y seguir la curva 1920. Cuando la fuente de magnetismo 1912 gira en un sentido opuesto al sentido 1914, el menisco 1906 se puede hacer bajar y puede seguir la curva 1916.

Cuando el menisco 1906 es elevado hasta la curva 1920, el menisco 1906 puede proporcionar una barrera física al vuelco del óxido metálico sobre la superficie superior 1902, lo que puede ser ventajoso durante la fase estacionaria de la colada. Cuando el menisco 1906 se hace bajar hasta la curva 1916, el menisco 1906 puede proporcionar una menor barrera al vuelco del óxido metálico sobre la superficie superior 1902, lo que puede ser ventajoso durante la fase inicial y/o la fase final de la colada.

En algunos casos, la fuente de magnetismo 1912 entre las paredes 1908 se puede enfriar utilizando un refrigerante (no mostrado), tal como agua, ya existente en y/o fluyendo a través de las paredes 1908.

En algunos casos en los que la fuente de magnetismo 1912 está girando en un sentido opuesto al sentido 1914, la estructura del grano del metal colado resultante puede ser alterada mediante el ajuste de la velocidad con la que el metal fundido 1904 se aproxima a la interfase sólido / líquido (no mostrada).

La figura 20 es una vista superior de un canal 2002 para transportar metal fundido 2004 de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención. Tal como se utiliza en el presente documento, un canal 2002 es un tipo de receptáculo de metal fundido. Una o más fuentes de magnetismo 2006 son situadas por encima de la superficie superior del metal fundido 2004 para controlar la migración del óxido metálico 2008 a lo largo de la superficie superior del metal fundido 2004. Puesto que las una o más fuentes de magnetismo 2006 crean campos magnéticos alternos, inducen corrientes parásitas en el metal fundido 2004 en una dirección normal a sus ejes centrales (por ejemplo, los ejes de rotación para una fuente de magnetismo magnética permanente giratoria). Las corrientes parásitas pueden desviar el óxido metálico 2008 en una trayectoria alternativa del canal 2002, tal como en una zona de recogida 2010.

Los óxidos metálicos 2008 en la zona de recogida 2010 se pueden filtrar de manera manual o automática. En algunos casos, la zona de recogida 2010 puede volver a conectarse con la trayectoria principal del canal 2002.

En algunos casos, la fuente de magnetismo 2006 puede ser posicionada para desviar el óxido metálico de 2008 a medida que el metal fundido 2004 se desplaza entre un desgasificador y un filtro. Al desviar los óxidos metálicos 2008 a una zona de recogida 2010 para su eliminación, el metal fundido 2004 puede ser procesado por el filtro sin obstrucción prematura y/u obstrucción del filtro por parte de los óxidos metálicos de 2008.

La figura 21 es un diagrama de flujo que representa un proceso de colada 2100 de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención. El proceso de colada 2100 puede incluir una fase inicial 2102 seguida de una fase estacionaria 2104, seguida de una fase final 2106, tal como se ha descrito con más detalle anteriormente.

Durante la fase inicial 2102, puede ser deseable dirigir el óxido metálico hacia los lados del metal colado que se está formando (por ejemplo, favorecer el vuelco del óxido metálico). Durante la fase inicial 2102, una o más fuentes de magnetismo adyacentes a la superficie superior del metal fundido pueden dirigir óxido metálico al menisco en el bloque 2108. Si se desea, durante la fase inicial 2102, una o más fuentes de magnetismo adyacentes al menisco pueden hacer descender el menisco en el bloque 2110.

Durante la fase estacionaria 2104, puede ser deseable dirigir el óxido metálico alejándolo de los lados del metal fundido que se está formando (por ejemplo, inhibir el vuelco del óxido metálico), recogiendo el óxido metálico sobre la superficie del metal fundido hasta la fase final 2106. Durante la fase estacionaria 2104, una o más fuentes de magnetismo adyacentes a la superficie superior del metal fundido pueden dirigir el óxido metálico alejándolo del menisco en el bloque 2112. Si se desea, durante la fase estacionaria 2104, una o más fuentes de magnetismo adyacentes al menisco puede elevar el menisco en el bloque 2114.

Durante la fase final 2106, puede ser deseable dirigir el óxido metálico hacia los lados del metal colado que se está formando (por ejemplo, favorecer el vuelco del óxido metálico). Durante la fase final 2106, una o más fuentes de magnetismo adyacentes a la superficie superior del metal fundido pueden dirigir el óxido metálico hacia el menisco en el bloque 2116. Si se desea, durante la fase final 2106, una o más fuentes de magnetismo adyacentes al menisco

pueden hacer descender el menisco en el bloque 2118.

En diversos ejemplos, uno o más de los bloques 2108, 2110, 2112, 2114, 2116, 2118 descritos anteriormente pueden estar omitidos de sus fases respectivas en cualquier combinación.

5 Las realizaciones y ejemplos descritos en el presente documento permiten controlar mejor la migración del óxido metálico sobre la superficie del metal fundido.

10 Se han descrito diversos inductores de flujo utilizados en diversas orientaciones para inducir flujo fundido y controlar los óxidos metálicos. Aunque se proporcionan ejemplos de ciertos inductores de flujo y orientaciones haciendo referencia a las figuras contenidas en este documento, se comprenderá que cualquier combinación de inductores de flujo y cualquier combinación de colocación u orientación de los inductores de flujo se pueden utilizar juntas para lograr los resultados deseados (por ejemplo, mezcla, control del óxido metálico, o cualquier combinación de los mismos). Como ejemplo no limitativo, los inductores de flujo de esquina 960 de la figura 9 se pueden utilizar con los inductores de flujo 240 de la figura 2 para producir un flujo fundido deseado.

15 La descripción proporcionada en el presente documento permite el control del flujo fundido sin contacto del metal fundido. El control del flujo descrito en el presente documento puede permitir la colada de lingotes que tienen una estructura cristalina más deseable y propiedades más deseables para la laminación hacia abajo u otro procesamiento.

20 La descripción anterior de las realizaciones, que incluye las realizaciones ilustradas, se ha presentado solo con fines de ilustración y descripción y no pretende ser exhaustiva o limitar las formas precisas descritas. Numerosas modificaciones, adaptaciones y usos de las mismas serán evidentes para los expertos en la materia, dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

Tal como se utiliza a continuación, cualquier referencia a una serie de ejemplos debe entenderse como una referencia a cada uno de esos ejemplos de manera disyuntiva (por ejemplo, "Ejemplos 1 a 4" deben entenderse como "Ejemplos 1, 2, 3 o 4").

25 El ejemplo 1 es un aparato que comprende un molde para aceptar metal fundido; y, por lo menos, un inductor de flujo sin contacto posicionado por encima de la superficie del metal fundido para generar un campo magnético variable cerca de la superficie del metal fundido que es suficiente para inducir el flujo fundido en el metal fundido.

El ejemplo 2 es el aparato del ejemplo 1, en el que, por lo menos, un inductor de flujo sin contacto incluye un primer inductor de flujo sin contacto posicionado frente a una línea central del molde y paralelo a un segundo inductor de flujo sin contacto.

30 El ejemplo 3 es el aparato de los ejemplos 1 o 2, en el que el por lo menos un inductor de flujo sin contacto está posicionado próximo a una esquina del molde, para inducir el flujo fundido a través de la esquina del molde.

El ejemplo 4 es el aparato del ejemplo 3, en el que el por lo menos un inductor de flujo sin contacto incluye una pluralidad de imanes permanentes posicionados en una placa giratoria que gira alrededor de un eje de rotación.

35 El ejemplo 5 es el aparato de los ejemplos 1 a 4, en el que el por lo menos un inductor de flujo sin contacto comprende por lo menos un imán permanente que gira alrededor de un eje.

El ejemplo 6 es el aparato del ejemplo 5, en el que el eje está posicionado paralelo a una línea central del molde.

El ejemplo 7 es el aparato del ejemplo 5, en el que el eje está posicionado a lo largo de un radio que se extiende desde un centro del molde.

El ejemplo 8 es una colada de producto metálico que utiliza el aparato de los ejemplos 1 a 7.

40 El ejemplo 9 es un método que comprende introducir metal fundido en una cavidad de moldeo; generar un campo magnético variable cerca de la superficie superior del metal fundido; e inducir un flujo fundido en el metal fundido mediante la generación del campo magnético variable.

El ejemplo 10 es el método del ejemplo 9, que comprende, además, inducir un flujo simpático en el metal fundido que induce el flujo fundido.

45 El ejemplo 11 es el método del ejemplo 10, en el que la inducción del flujo simpático comprende inducir un flujo simpático suficiente para mezclar el metal fundido y reducir el grosor de una región de metal de transición hasta aproximadamente menos de 3 milímetros.

50 El ejemplo 12 es el método del ejemplo 10, en el que la inducción del flujo simpático comprende inducir un flujo simpático suficiente para mezclar el metal fundido y reducir un grosor de una región de metal de transición hasta aproximadamente menos de 1 milímetro.

- El ejemplo 13 es el método de los ejemplos 9 a 12, en el que inducir el flujo fundido incluye inducir un primer flujo fundido hacia una línea central del molde de la cavidad de moldeo; e inducir un segundo flujo fundido hacia la línea central del molde y en un sentido opuesto al primer flujo fundido.
- 5 El ejemplo 14 es el método de los ejemplos 9 a 13, en el que inducir el flujo fundido incluye inducir el flujo fundido en una dirección, en general, circular.
- El ejemplo 15 es el método de los ejemplos 9 a 14, en el que inducir el flujo fundido incluye inducir el flujo fundido a través de una esquina de la cavidad de moldeo.
- El ejemplo 16 es una colada de producto metálico utilizando el método de los ejemplos 9 a 15.
- 10 El ejemplo 17 es un sistema que comprende un molde para aceptar metal fundido; un inductor de flujo sin contacto posicionado directamente sobre la superficie del metal fundido; y una fuente de magnetismo incluida en el inductor de flujo sin contacto para generar un campo magnético variable suficiente para inducir un flujo fundido bajo la superficie del metal fundido.
- 15 El ejemplo 18 es el sistema del ejemplo 17, en el que la fuente de magnetismo incluye, por lo menos, un imán permanente que gira alrededor de un eje de rotación a una velocidad de entre aproximadamente 10 revoluciones por minuto y aproximadamente 500 revoluciones por minuto.
- El ejemplo 19 es el sistema de los ejemplos 17 o 18, en el que el inductor de flujo sin contacto está orientado para inducir el flujo fundido en una dirección paralela a una pared del molde.
- El ejemplo 20 es el sistema de los ejemplos 17 a 19, en el que el inductor de flujo sin contacto está orientado para inducir el flujo fundido en una dirección perpendicular a un radio que se extiende desde un centro del molde.
- 20 El ejemplo 21 es un aparato que comprende un molde para aceptar metal fundido; y, por lo menos, una fuente de magnetismo situada encima del molde para generar un campo magnético alterno próximo a la superficie del metal fundido que es suficiente para dirigir el movimiento de los óxidos metálicos sobre la superficie del metal fundido.
- El ejemplo 22 es el aparato del ejemplo 21, en el que la por lo menos una fuente de magnetismo comprende por lo menos un imán permanente que gira alrededor de un eje.
- 25 El ejemplo 23 es el aparato del ejemplo 22, en el que la por lo menos una fuente de magnetismo comprende una pluralidad de imanes permanentes dispuestos en una matriz de Halbach.
- El ejemplo 24 es el aparato de los ejemplos 22 o 23, en el que la por lo menos una fuente de magnetismo comprende, además, un reflector de calor por radiación y un inhibidor de calor por conducción que rodea al por lo menos un imán permanente.
- 30 El ejemplo 25 es el aparato de los ejemplos 21 a 24, que comprende, además, un mecanismo de ajuste de la altura acoplado a la por lo menos una fuente de magnetismo para ajustar una distancia entre la por lo menos una fuente de magnetismo y la superficie del metal fundido.
- 35 El ejemplo 26 es el aparato de los ejemplos 21 a 25, que comprende, además, una o más fuentes de magnetismo adicionales para generar uno o más campos magnéticos alternos adicionales suficientes para generar una o más corrientes parásitas adicionales en la superficie del metal fundido, suficientes para inhibir el vuelco de los óxidos metálicos.
- El ejemplo 27 es un método que comprende introducir metal fundido en un receptáculo; generar un campo magnético alterno cerca de la superficie superior del metal fundido; y dirigir el óxido metálico sobre la superficie superior del metal fundido mediante la generación del campo magnético alterno.
- 40 El ejemplo 28 es el método del ejemplo 27, en el que la generación del campo magnético alterno comprende hacer girar uno o más imanes permanentes alrededor de un eje.
- El ejemplo 29 es el método de los ejemplos 27 o 28, en el que introducir el metal fundido en el receptáculo comprende llenar un molde, y dirigir el óxido metálico comprende inhibir el vuelco de los óxidos metálicos dirigiendo el óxido metálico hacia un centro del molde.
- 45 El ejemplo 30 es el método del ejemplo 29, en el que llenar el molde comprende por lo menos una fase inicial y una fase estacionaria; en el que la inhibición del vuelco se produce durante la fase estacionaria; y en el que dirigir el óxido metálico comprende, además, favorecer el vuelco de los óxidos metálicos dirigiendo el óxido metálico para que migre hacia los bordes del molde durante la fase inicial.
- 50 El ejemplo 31 es el método de los ejemplos 27 a 30, que comprende, además, generar un segundo campo magnético alterno próximo a un menisco de la superficie superior del metal fundido; y ajustar la altura del menisco en base a la generación del segundo campo magnético alterno.

- El ejemplo 32 es el método del ejemplo 31, en el que la introducción del metal fundido en el receptáculo comprende llenar un molde; en el que llenar el molde comprende por lo menos una fase inicial y una fase estacionaria; y en el que el ajuste de la altura del menisco comprende elevar la altura del menisco durante la fase estacionaria.
- 5 El ejemplo 33 es el método del ejemplo 32, en el que el ajuste de la altura del menisco comprende, además, reducir la altura del menisco durante la fase inicial.
- El ejemplo 34 es el método de los ejemplos 27 a 33, que comprende, además, ajustar la altura del campo magnético alterno en respuesta al movimiento vertical de la superficie superior del metal fundido.
- 10 El ejemplo 35 es un sistema que comprende una fuente de magnetismo sin contacto que puede ser posicionada adyacente a la superficie superior del metal fundido para generar un campo magnético alterno adecuado para controlar la migración del óxido metálico a lo largo de la superficie superior, y un controlador acoplado a la fuente de magnetismo sin contacto para controlar el campo magnético alterno.
- El ejemplo 36 es el sistema del ejemplo 35, en el que la fuente de magnetismo sin contacto comprende uno o más imanes permanentes montados de manera giratoria alrededor de uno o más ejes, y en el que el controlador es accionable para controlar el giro de los uno o más imanes permanentes alrededor de los uno o más ejes.
- 15 El ejemplo 37 es el sistema del ejemplo 35 o 36, en el que la fuente de magnetismo sin contacto puede ser posicionada junto a un menisco de la superficie superior para deformar el menisco.
- El ejemplo 38 es el sistema de los ejemplos 35 o 36, en el que la fuente de magnetismo sin contacto puede ser posicionada por encima de la superficie superior del metal fundido y entre una pared de un molde y un dispensador de metal fundido.
- 20 El ejemplo 39 es el sistema del ejemplo 38, en el que la fuente de magnetismo sin contacto es ajustable en altura para separar selectivamente la fuente de magnetismo sin contacto a una distancia deseada de la superficie superior del metal fundido.
- El ejemplo 40 es el sistema de los ejemplos 38 o 39, en el que el campo magnético alterno está orientado para controlar la migración del óxido metálico a lo largo de la superficie superior en una dirección normal a la pared del molde.
- 25 El ejemplo 41 es un producto de aluminio que tiene una estructura cristalina con una desviación estándar máxima del espaciado de los brazos de las dendritas igual o inferior a 16, obteniéndose el producto de aluminio introduciendo metal fundido en una cavidad de moldeo, e induciendo un flujo fundido en el metal fundido mediante la generación de un campo magnético variable cerca de la superficie superior del metal fundido.
- 30 El ejemplo 42 es el producto de aluminio del ejemplo 41, en el que la desviación estándar máxima del espaciado de los brazos de las dendritas es igual o inferior a 10.
- El ejemplo 43 es el producto de aluminio del ejemplo 41, en el que la desviación estándar máxima del espaciado de los brazos de las dendritas es igual o inferior a 7,5.
- 35 El ejemplo 44 es el producto de aluminio de los ejemplos 41 a 43, en el que el espaciado promedio de los brazos de las dendritas es de 50  $\mu\text{m}$  o inferior.
- El ejemplo 45 es el producto de aluminio de los ejemplos 41 a 43, en el que el espaciado promedio de los brazos de las dendritas es igual o inferior a 30  $\mu\text{m}$ .
- El ejemplo 46 es el producto de aluminio de los ejemplos 41 a 45, en el que inducir un flujo fundido en el metal fundido incluye, además, inducir un flujo simpático en el metal fundido.
- 40 El ejemplo 47 es un producto de aluminio que tiene una estructura cristalina con una desviación estándar máxima de tamaño de grano de 200 o inferior, obteniéndose el producto de aluminio introduciendo metal fundido en una cavidad de moldeo e induciendo un flujo fundido en el metal fundido mediante la generación de un campo magnético variable, próximo a la superficie superior del metal fundido.
- 45 El ejemplo 48 es el producto de aluminio del ejemplo 47, en el que la desviación estándar máxima del tamaño de grano es igual o inferior a 80.
- El ejemplo 49 es el producto de aluminio del ejemplo 47, en el que la desviación estándar máxima del tamaño de grano es igual o inferior a 45.
- El ejemplo 50 es el producto de aluminio de los ejemplos 47 a 49, en el que el tamaño promedio del grano está es igual o inferior a 700  $\mu\text{m}$ .
- 50 El ejemplo 51 es el producto de aluminio de los ejemplos 47 a 49, en el que el tamaño promedio del grano es igual o

inferior a 400  $\mu\text{m}$ .

El ejemplo 52 es el producto de aluminio de los ejemplos 47 a 51, en el que inducir un flujo fundido en el metal fundido incluye, además, inducir un flujo simpático en el metal fundido.

5 El ejemplo 53 es el producto de aluminio de los ejemplos 47 a 52, en el que la desviación estándar máxima del espaciado de los brazos de las dendritas es igual o inferior a 10.

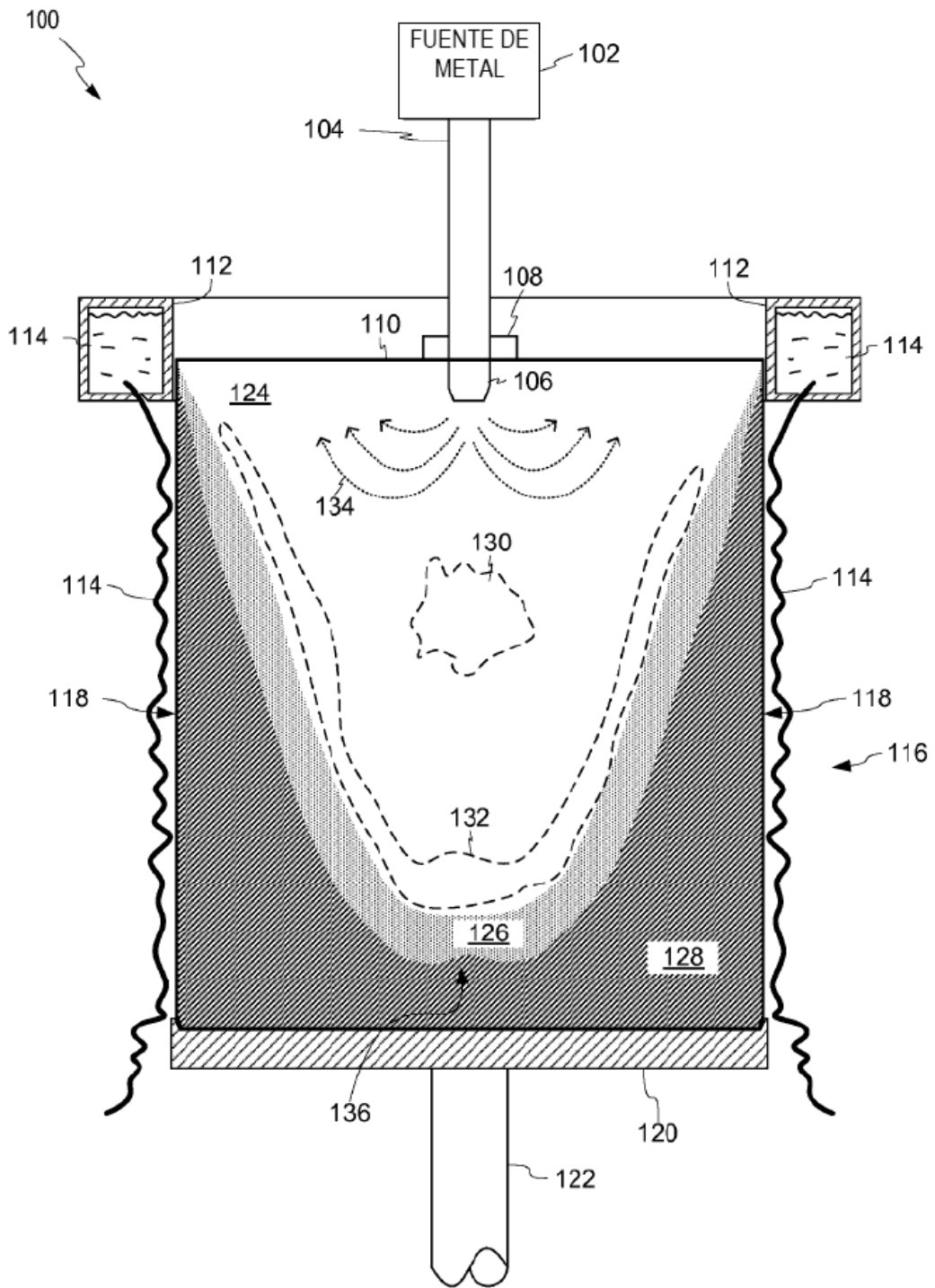
El ejemplo 54 es el producto de aluminio del ejemplo 47 a 52, en el que la desviación estándar máxima del espaciado de los brazos de las dendritas es igual o inferior a 7,5.

El ejemplo 55 es el producto de aluminio de los ejemplos 47 a 52, en el que el espaciado promedio de los brazos de las dendritas es igual o inferior a 50  $\mu\text{m}$ .

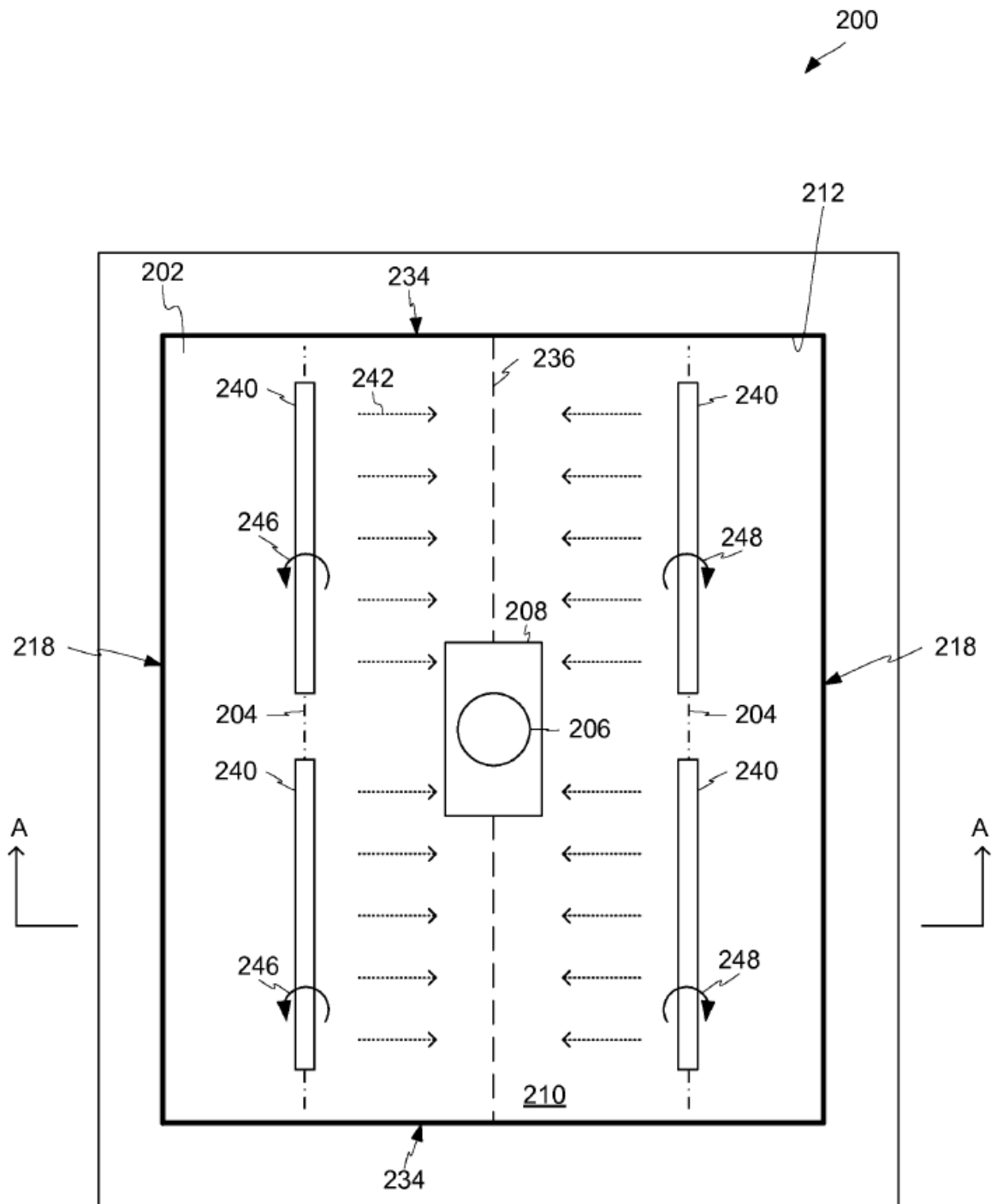
10 El ejemplo 56 es el producto de aluminio de los ejemplos 47 a 52, en el que el espaciado promedio de los brazos de las dendritas es igual o inferior a 30  $\mu\text{m}$ .

**REIVINDICACIONES**

1. Un método, que comprende:  
introducir metal fundido en un receptáculo, en el que introducir el metal fundido en el receptáculo comprende llenar un molde, y en el que llenar el molde comprende, por lo menos, una fase inicial y una fase estacionaria;
- 5 generar un campo magnético alterno cerca de la superficie superior del metal fundido; y  
dirigir el óxido metálico sobre la superficie superior del metal fundido mediante la generación del campo magnético alterno, en el que, dirigir el óxido metálico comprende inhibir el vuelco de los óxidos metálicos dirigiendo el óxido metálico para que migre hacia el centro del molde, en el que la inhibición del vuelco se produce durante la fase estacionaria; y en el que dirigir el óxido metálico comprende, además, favorecer el vuelco de los óxidos metálicos dirigiendo el óxido metálico para que migre hacia los bordes del molde durante la fase inicial.
- 10 2. El método de la reivindicación 1, en el que generar el campo magnético alterno comprende:  
hacer girar uno o más imanes permanentes alrededor de un eje.
3. El método de la reivindicación 1, que comprende, además:  
generar un segundo campo magnético alterno cerca de un menisco de la superficie superior del metal fundido; and
- 15 ajustar la altura del menisco en base a la generación del segundo campo magnético alterno.
4. El método de la reivindicación 3, en el que ajustar la altura del menisco comprende elevar la altura del menisco durante la fase estacionaria.
5. El método de la reivindicación 4, en el que ajustar la altura del menisco comprende, además, reducir la altura del menisco durante la fase inicial.
- 20 6. El método de la reivindicación 1, que comprende, además:  
ajustar la altura del campo magnético alterno en respuesta al movimiento vertical de la superficie superior del metal fundido.

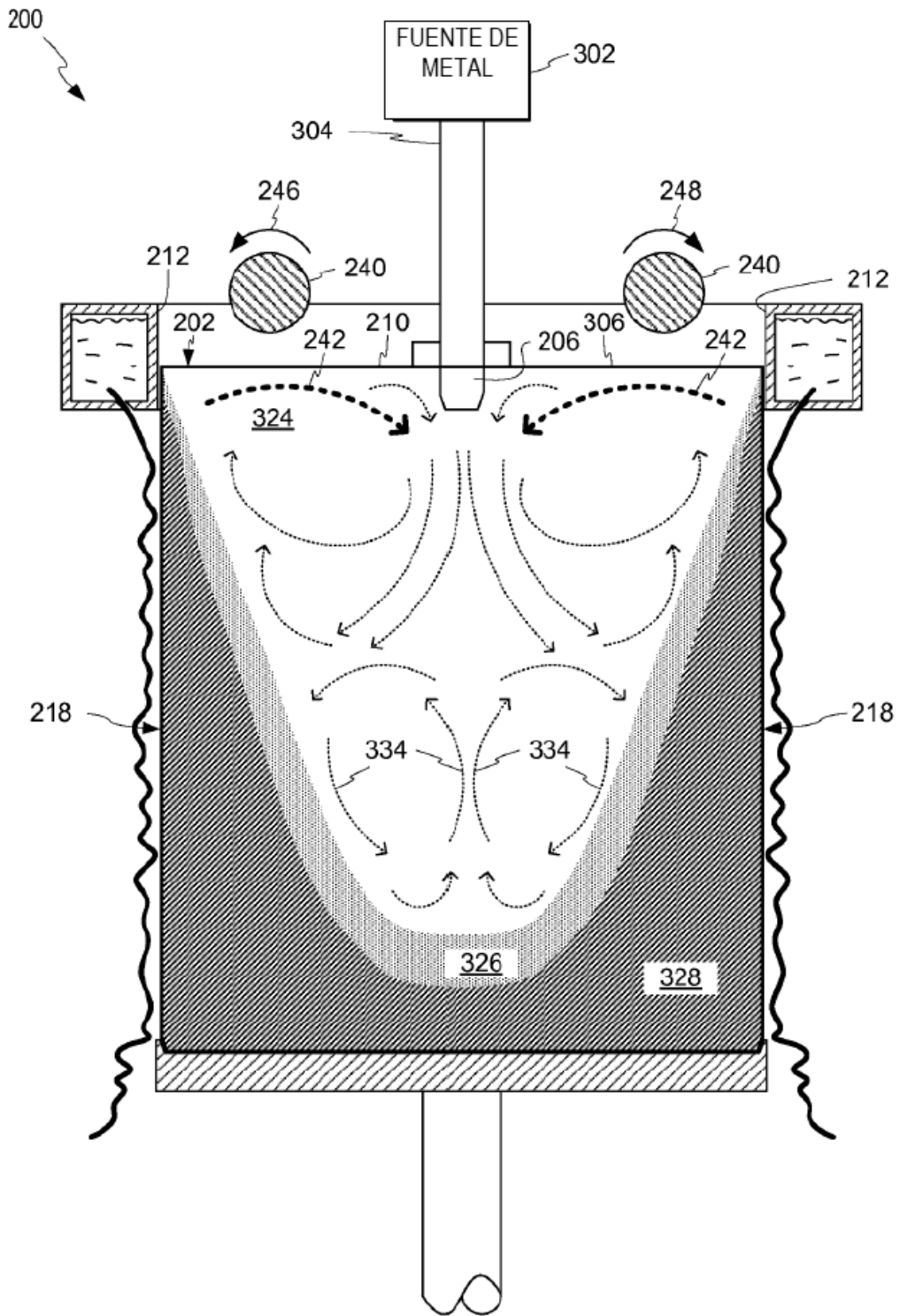


**FIG. 1**

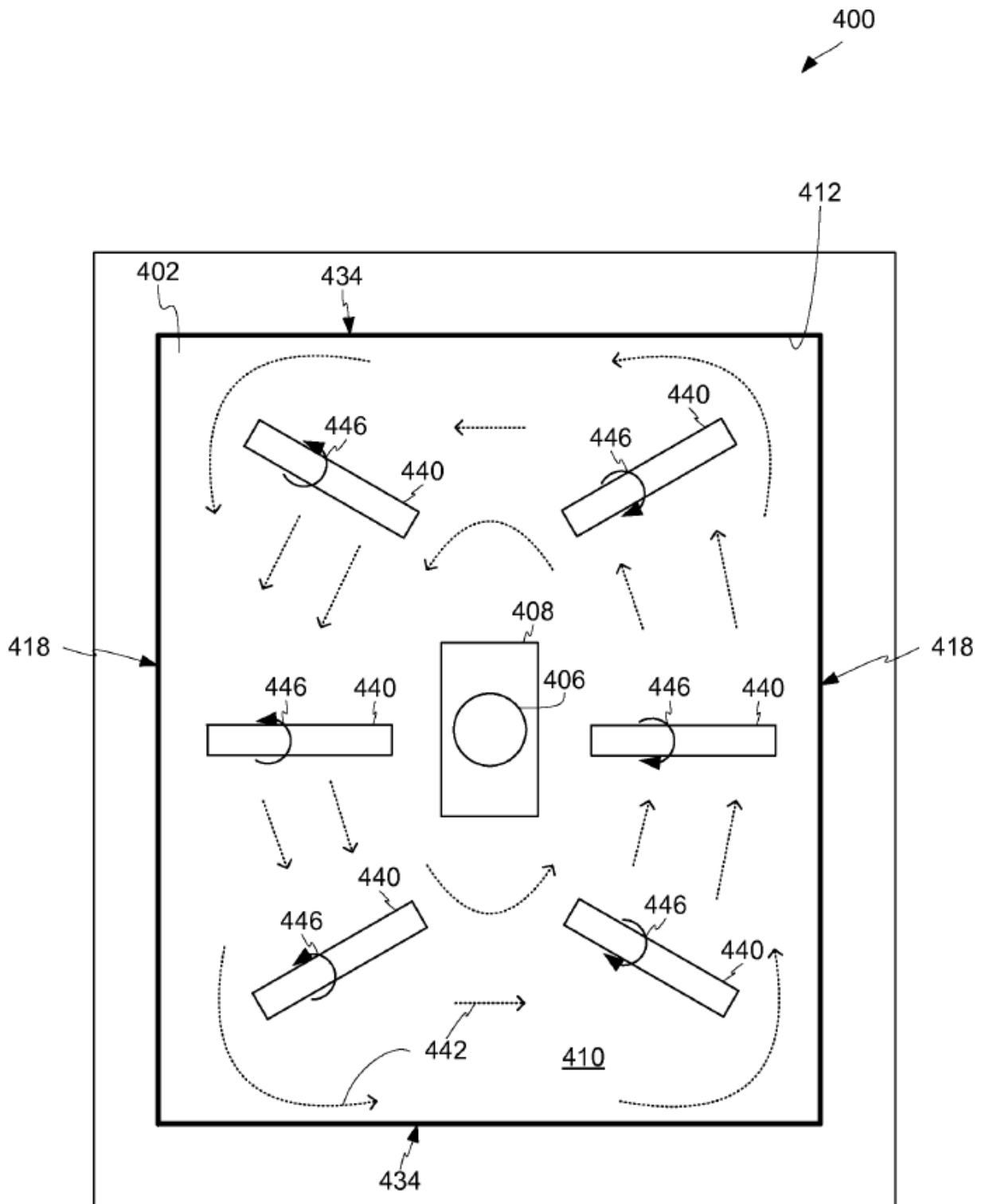


**FIG. 2**

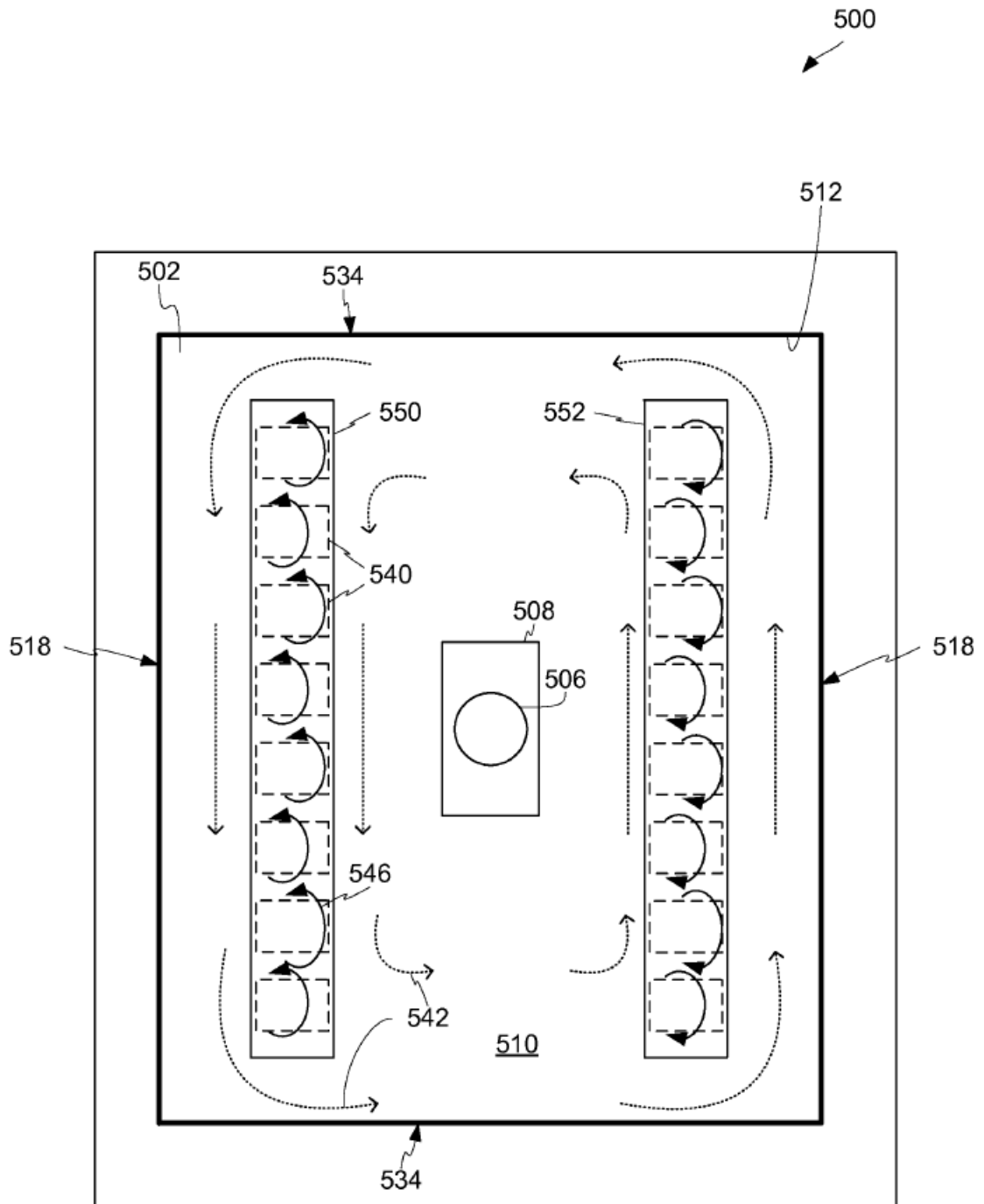




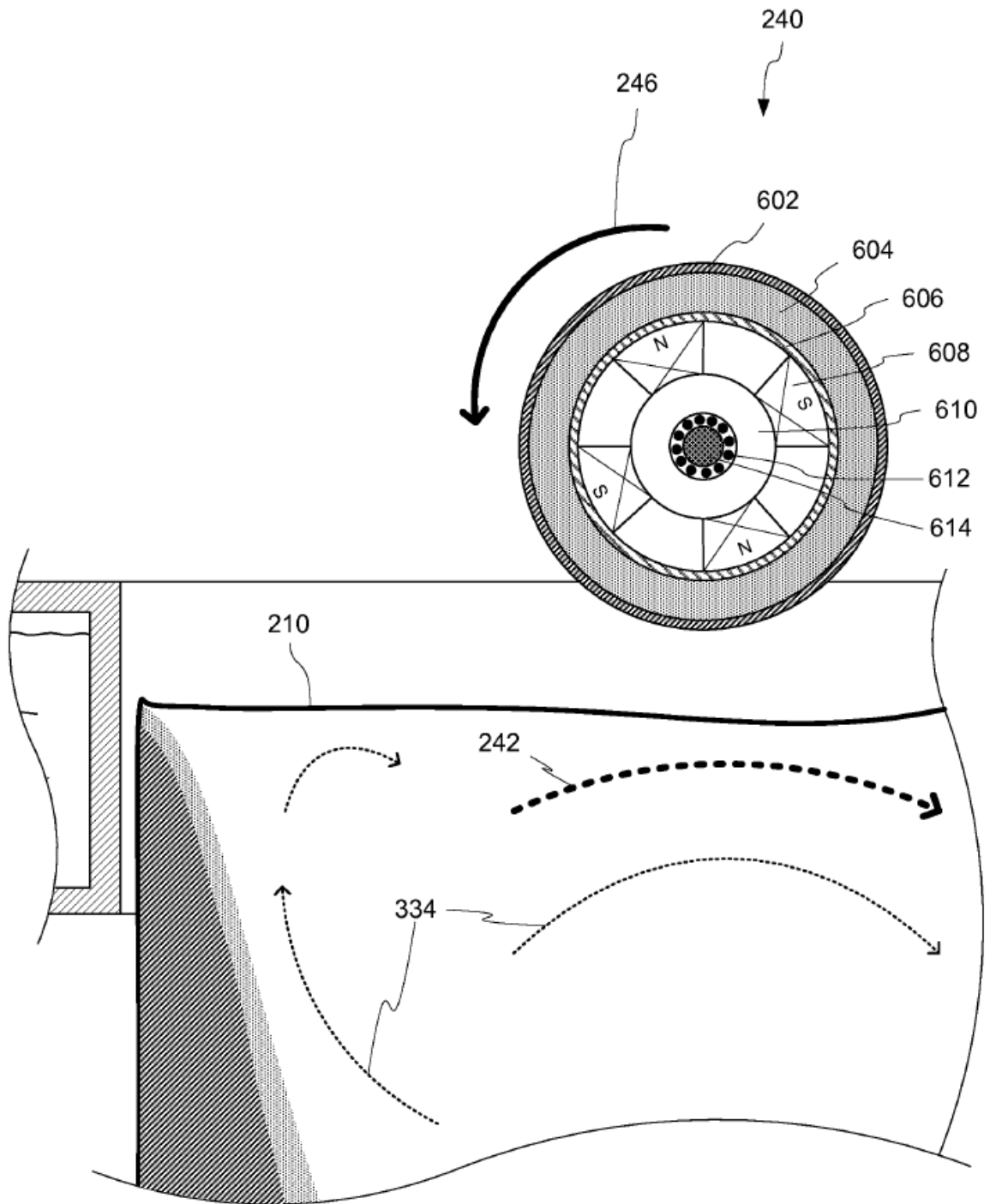
**FIG. 3**



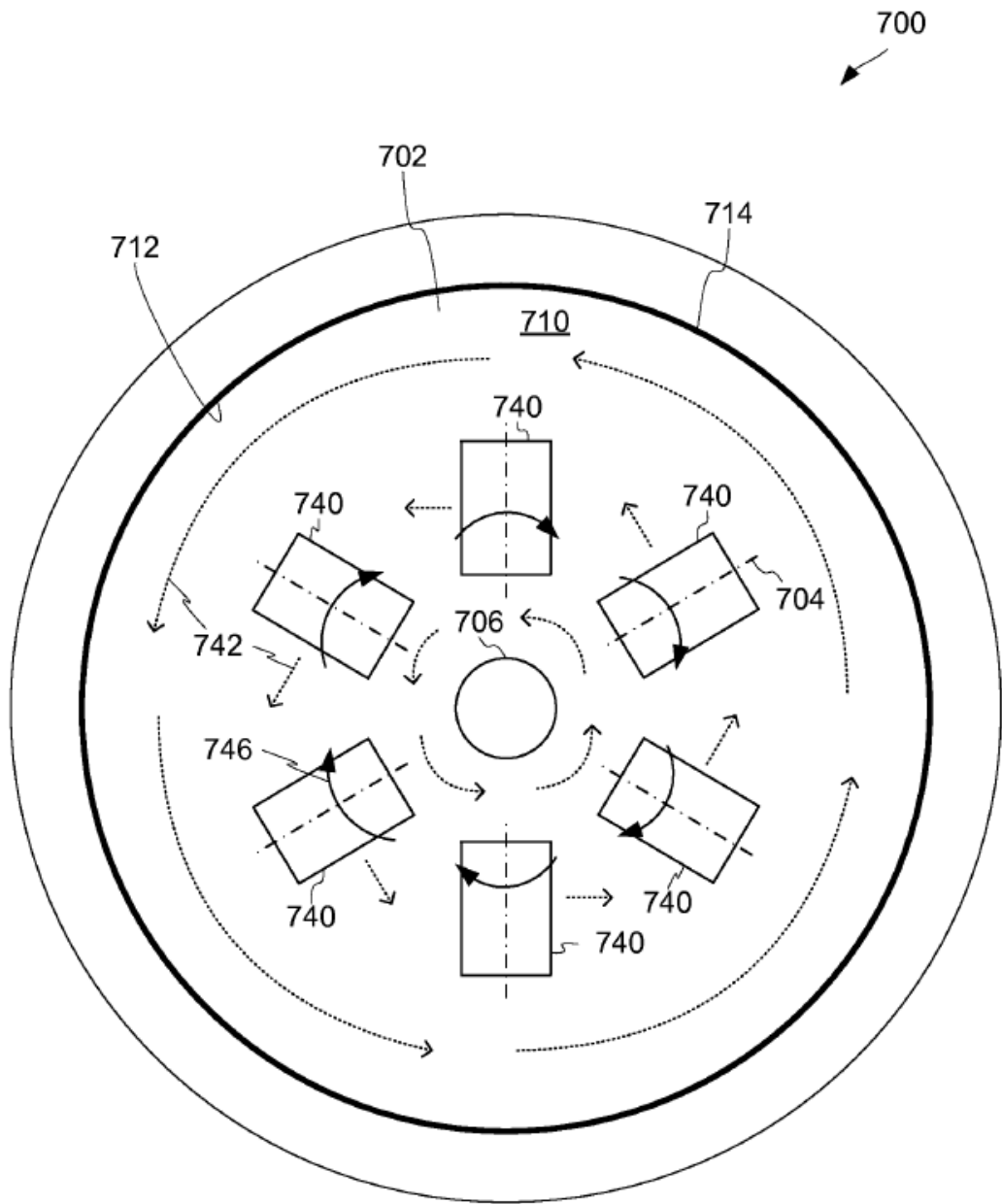
**FIG. 4**



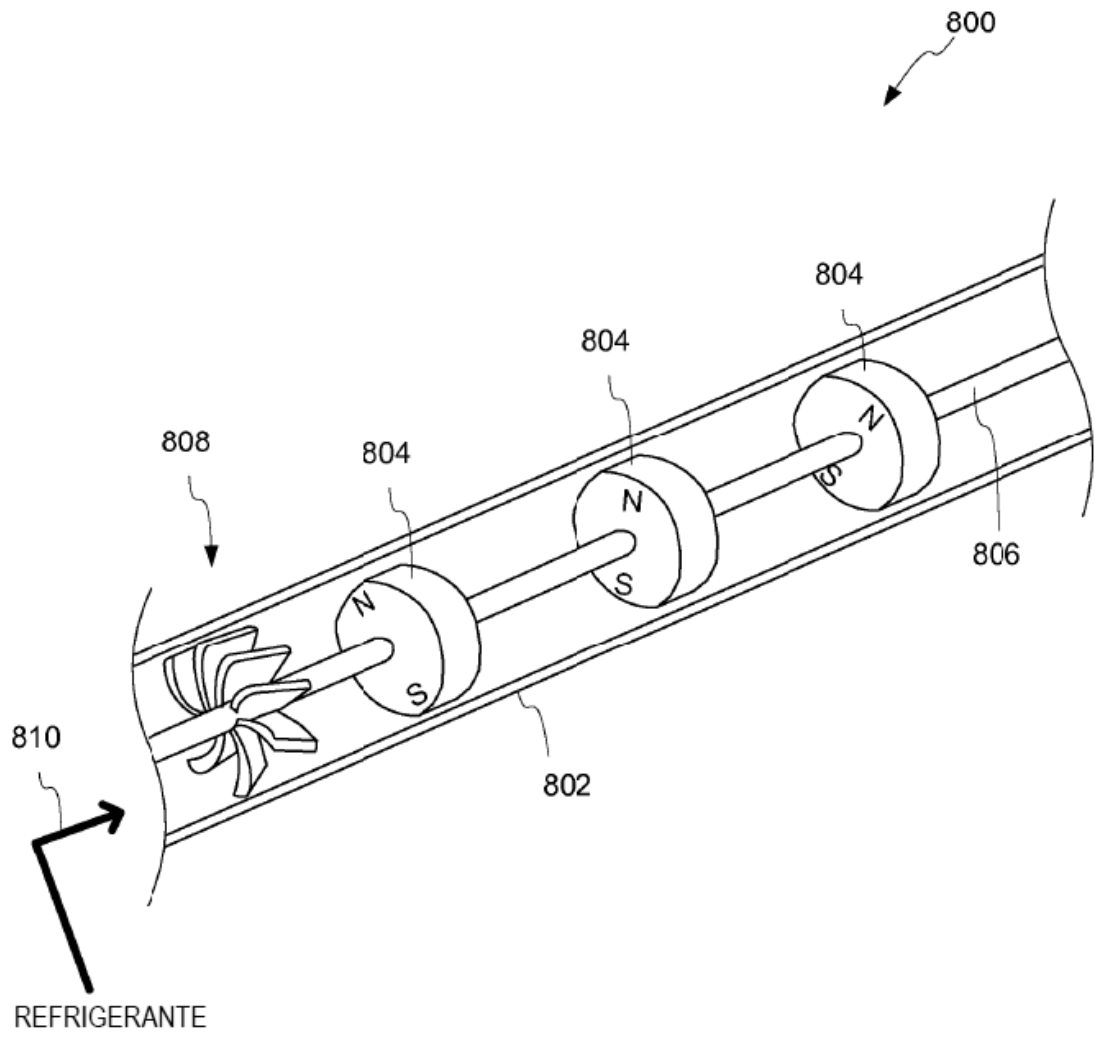
**FIG. 5**



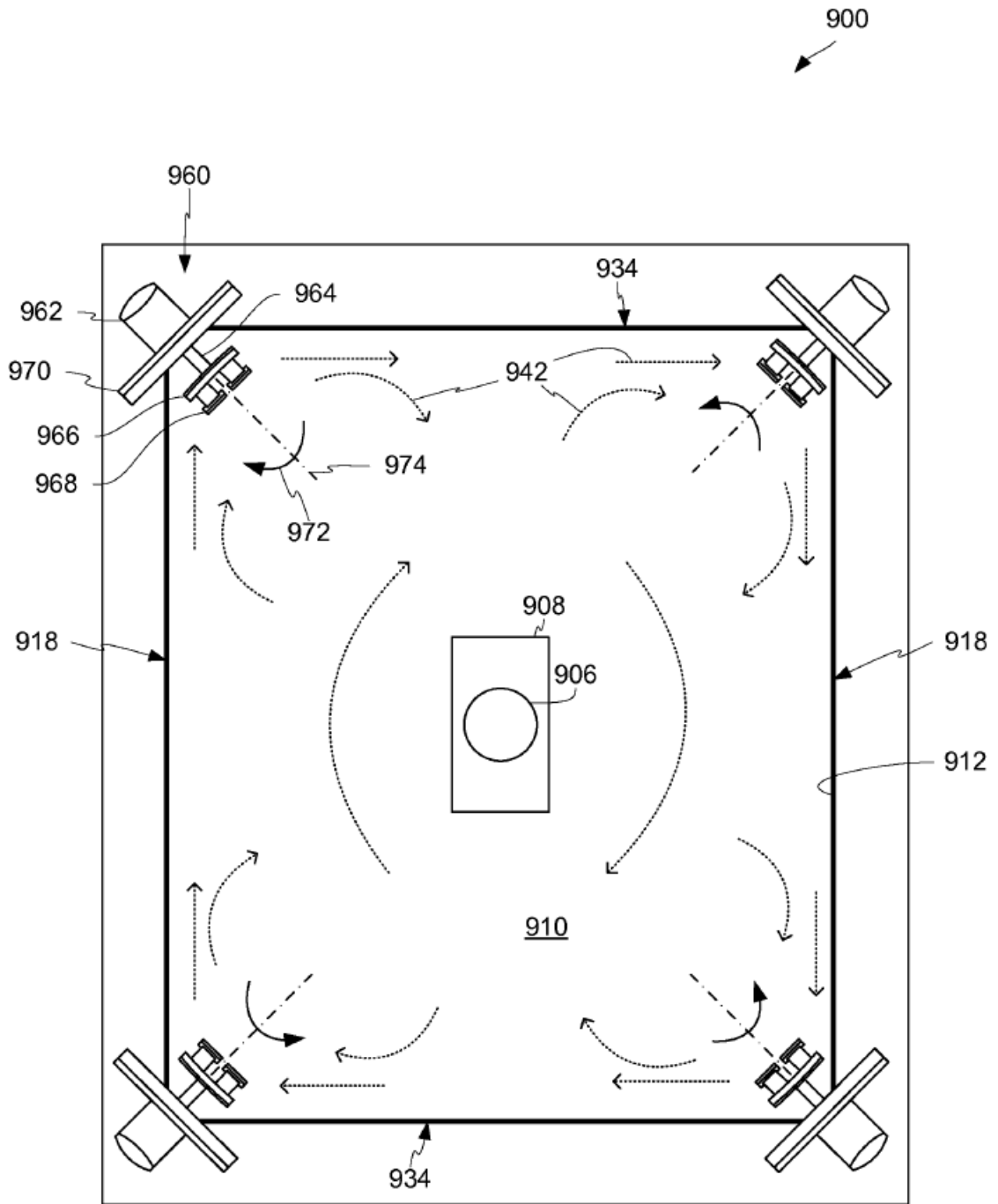
**FIG. 6**



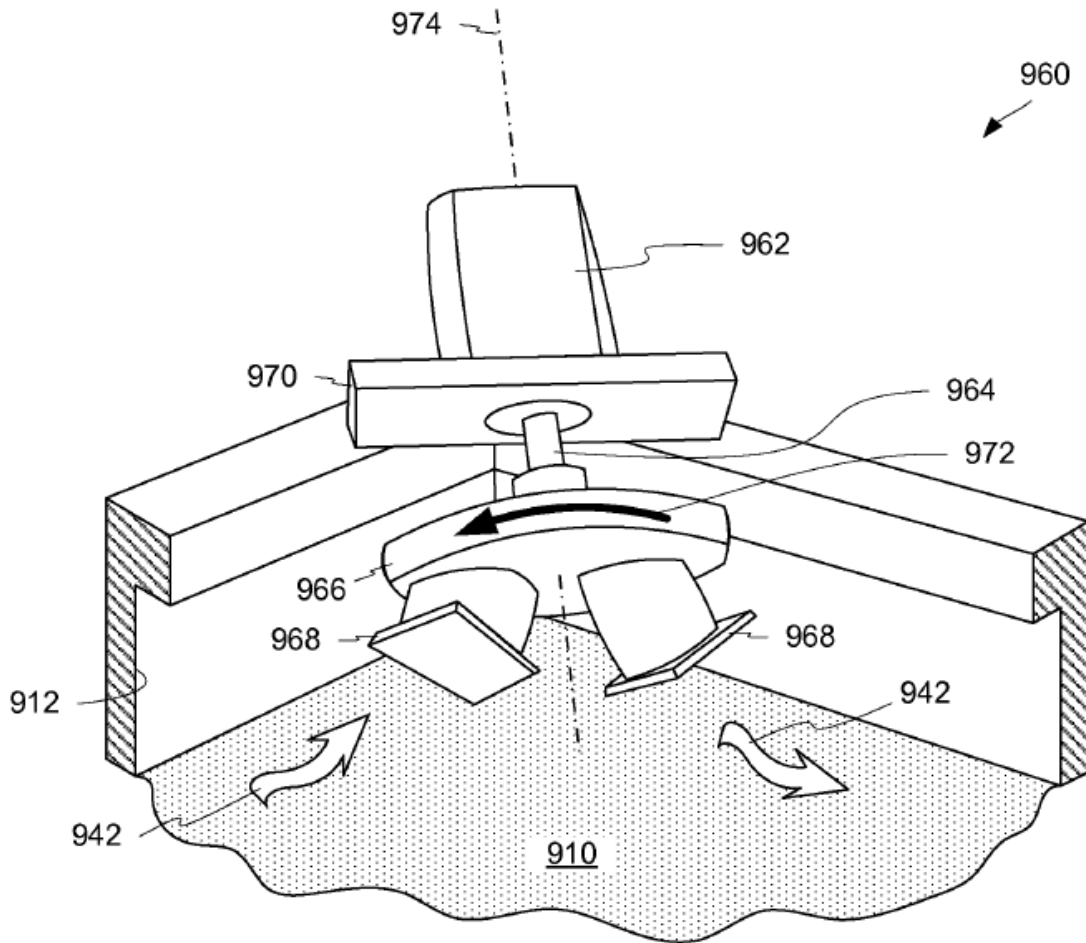
**FIG. 7**



**FIG. 8**

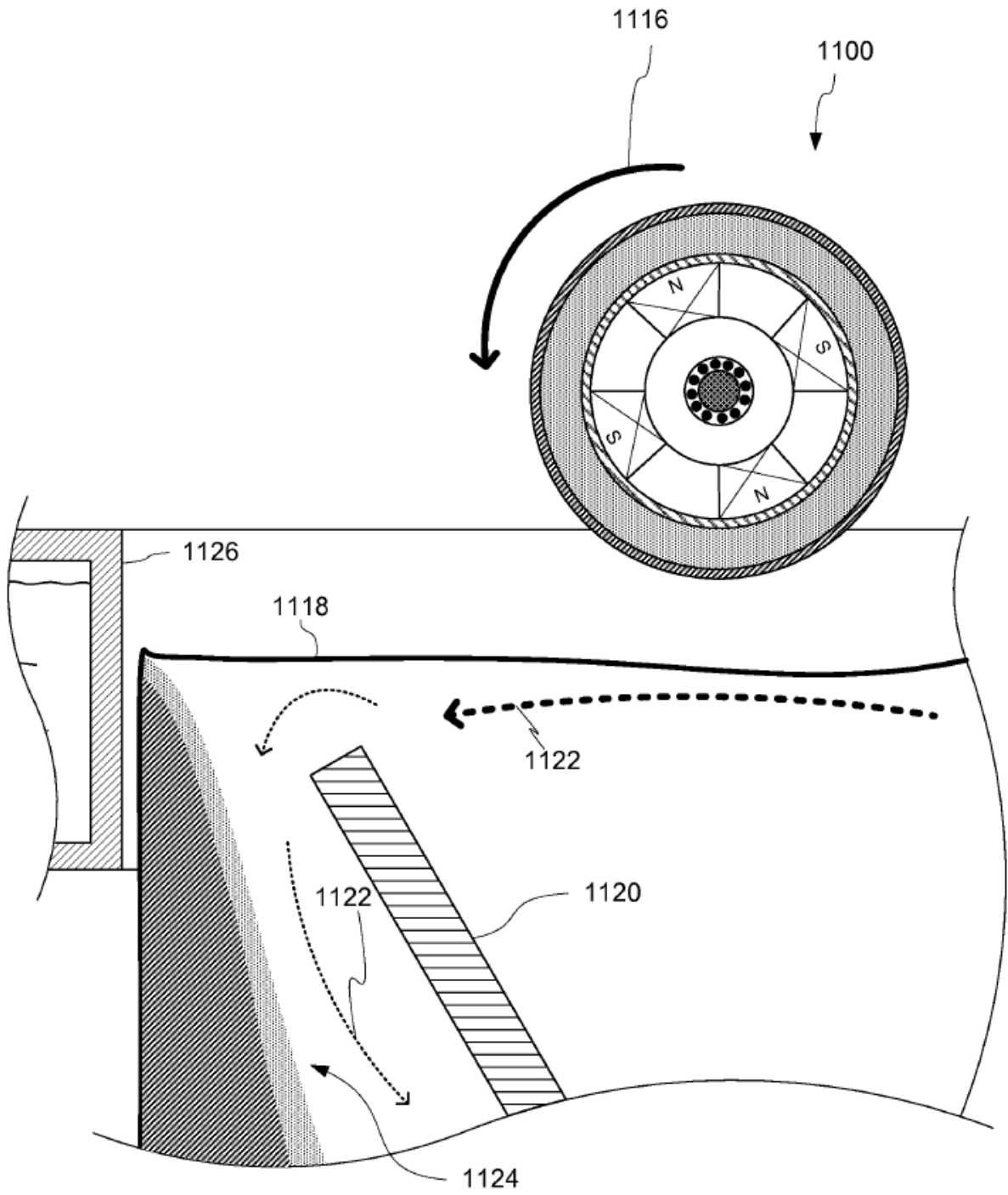


**FIG. 9**

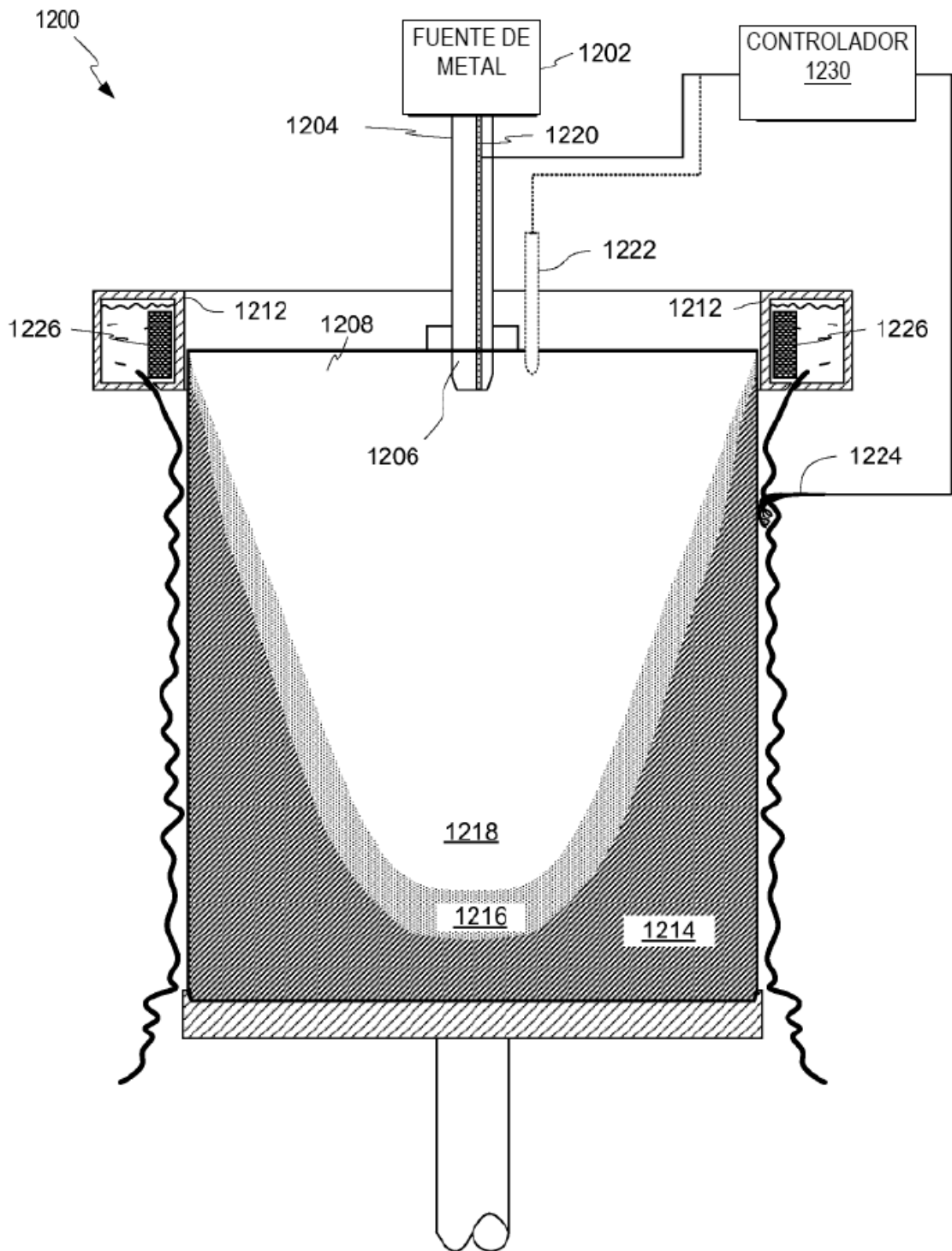


**FIG. 10**

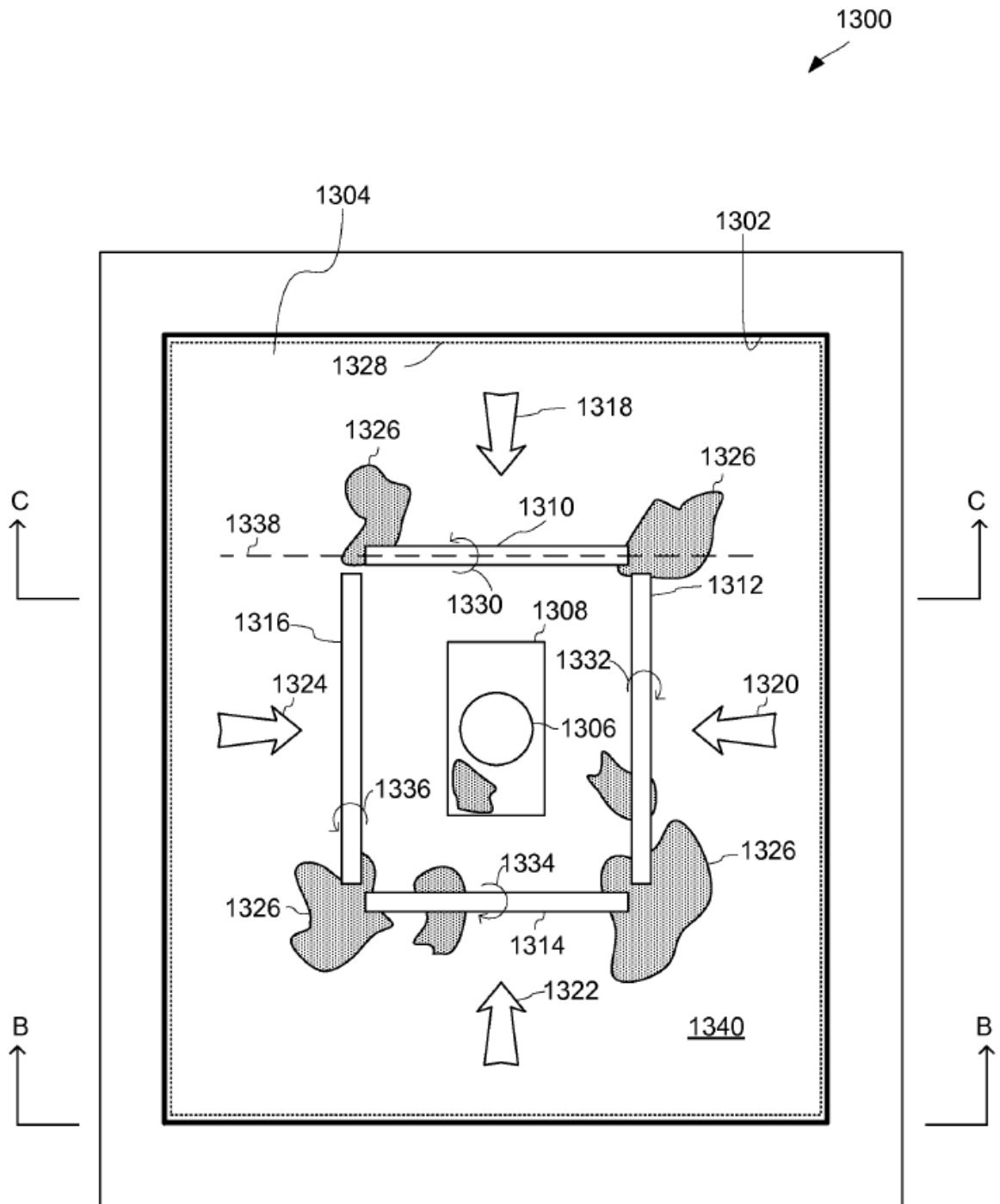




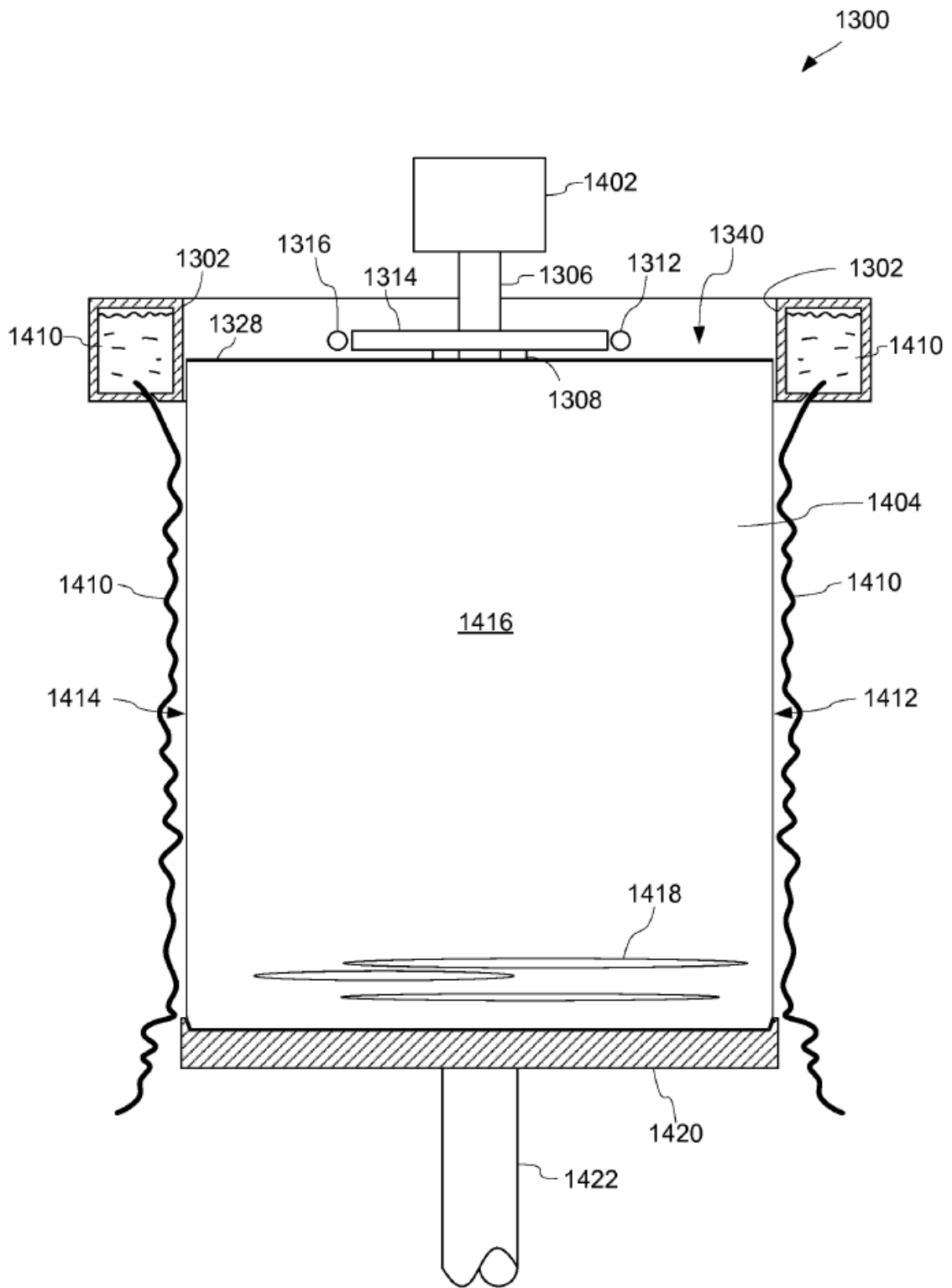
**FIG. 11**



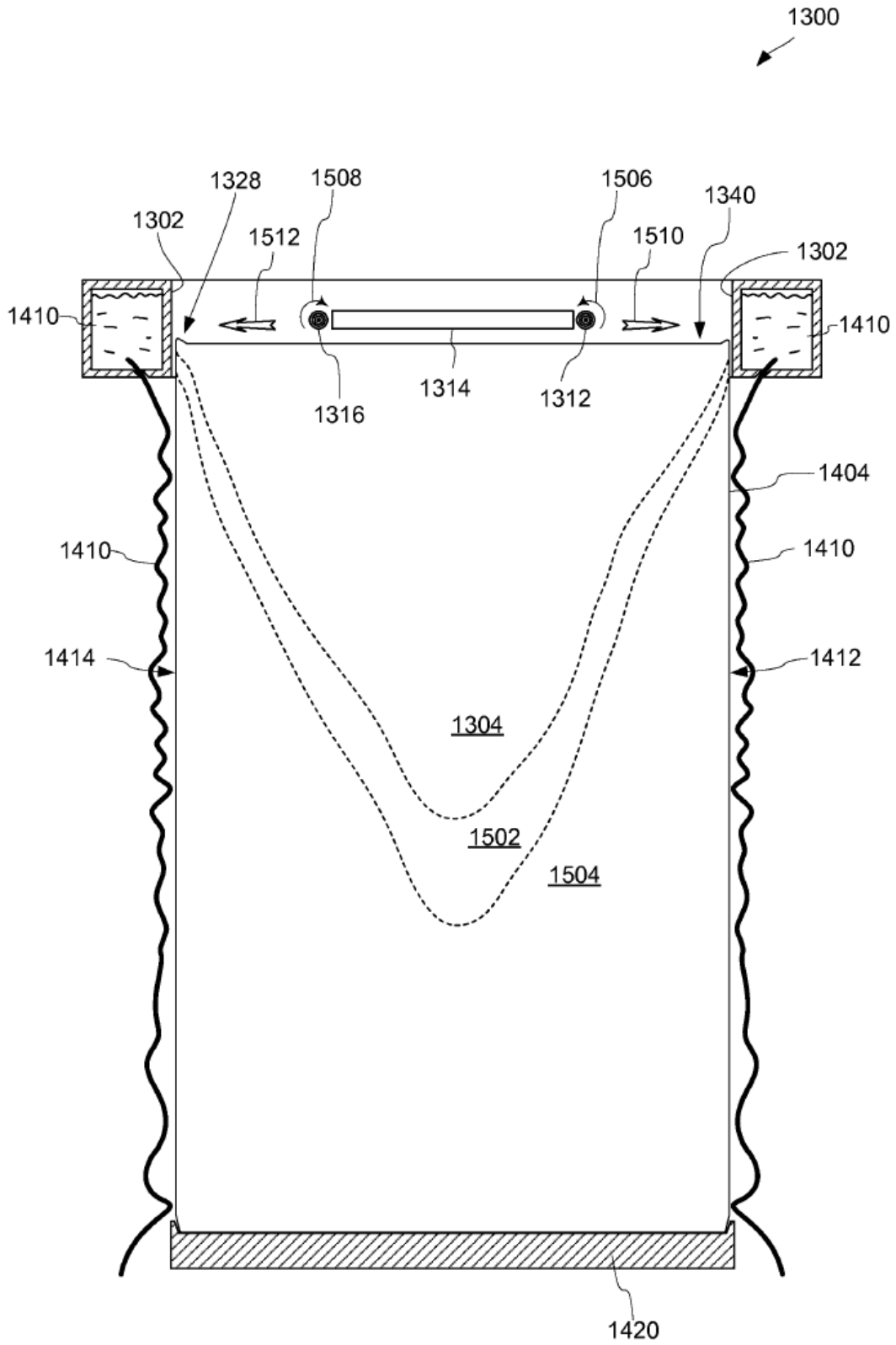
**FIG. 12**



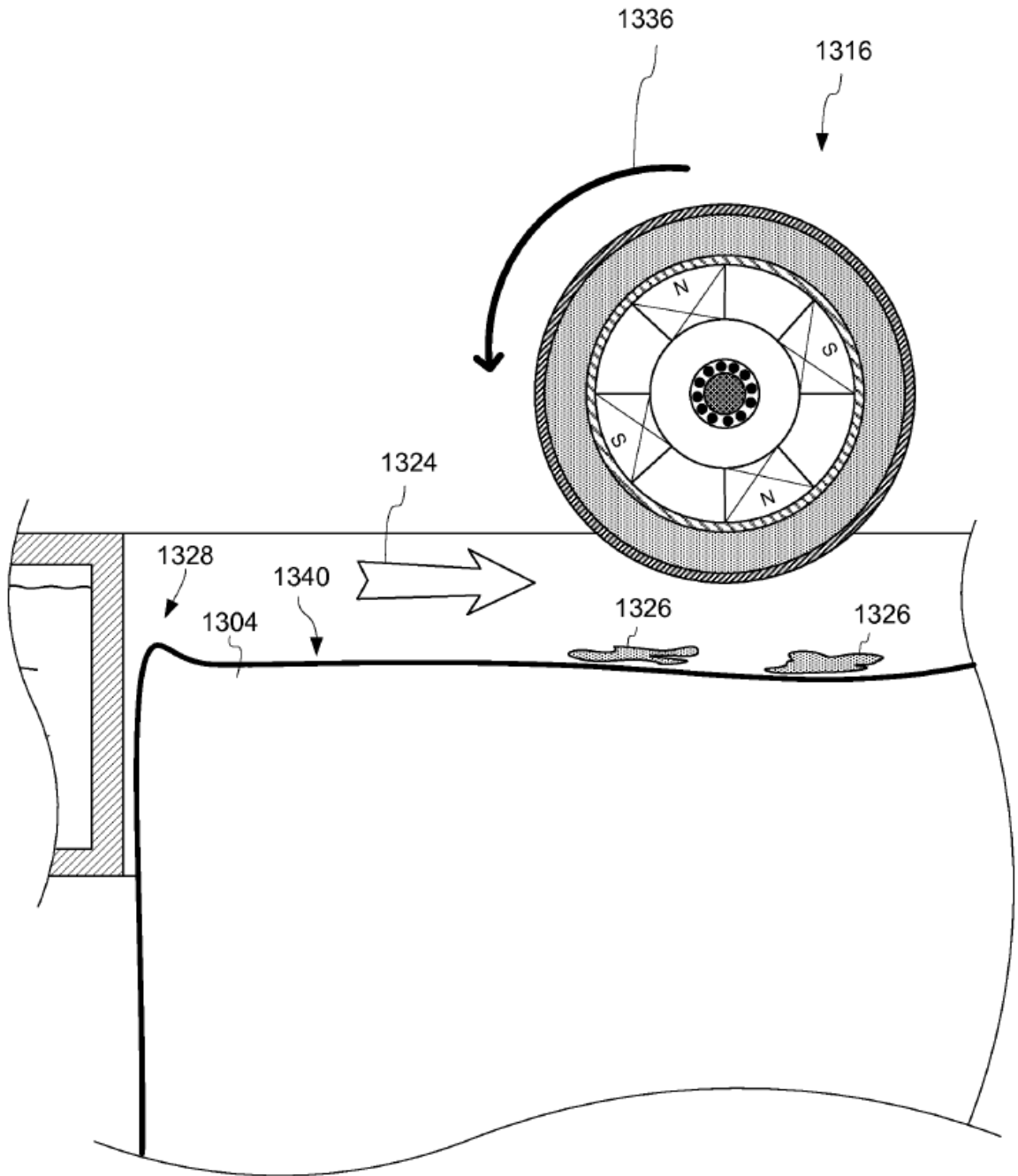
**FIG. 13**



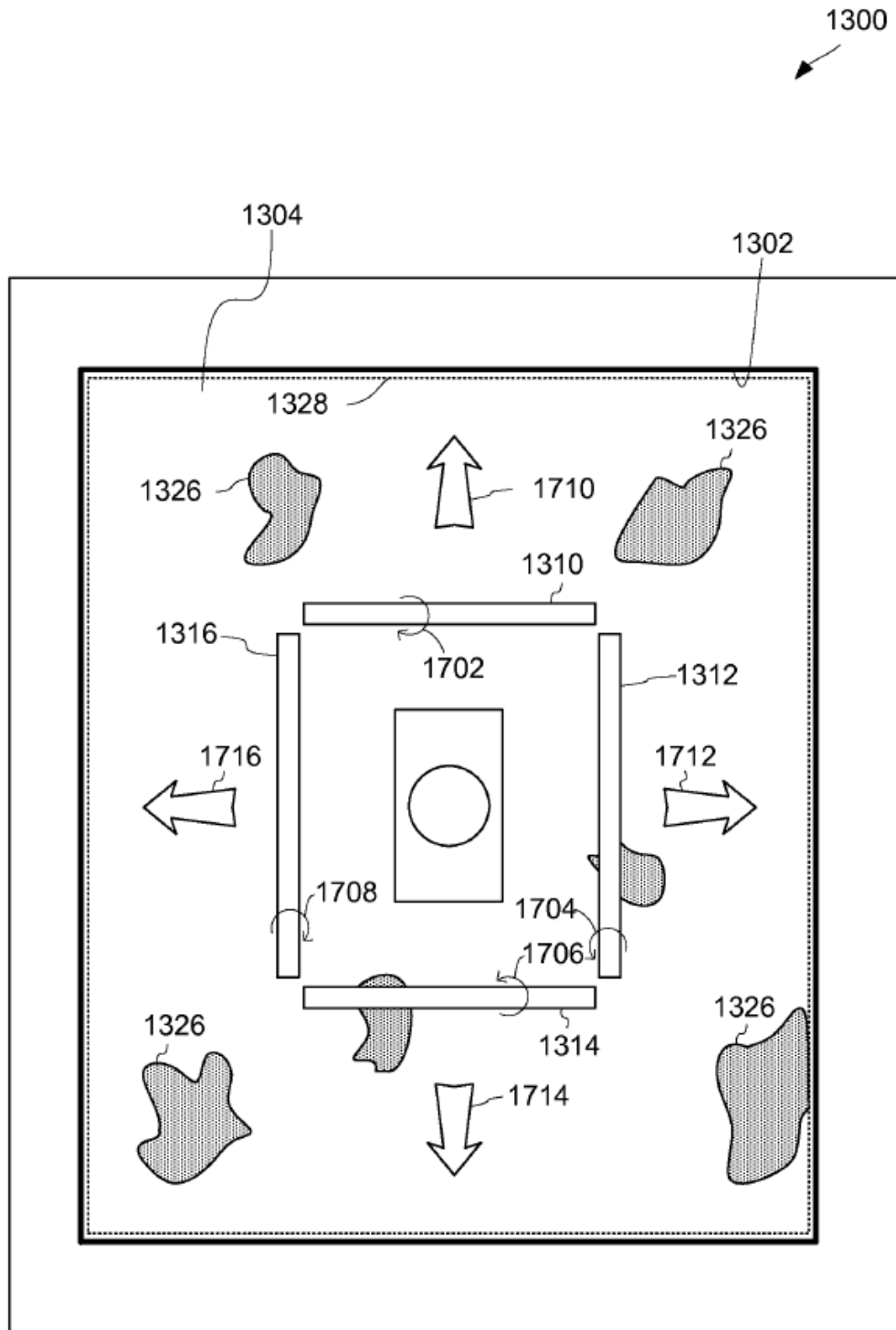
**FIG. 14**



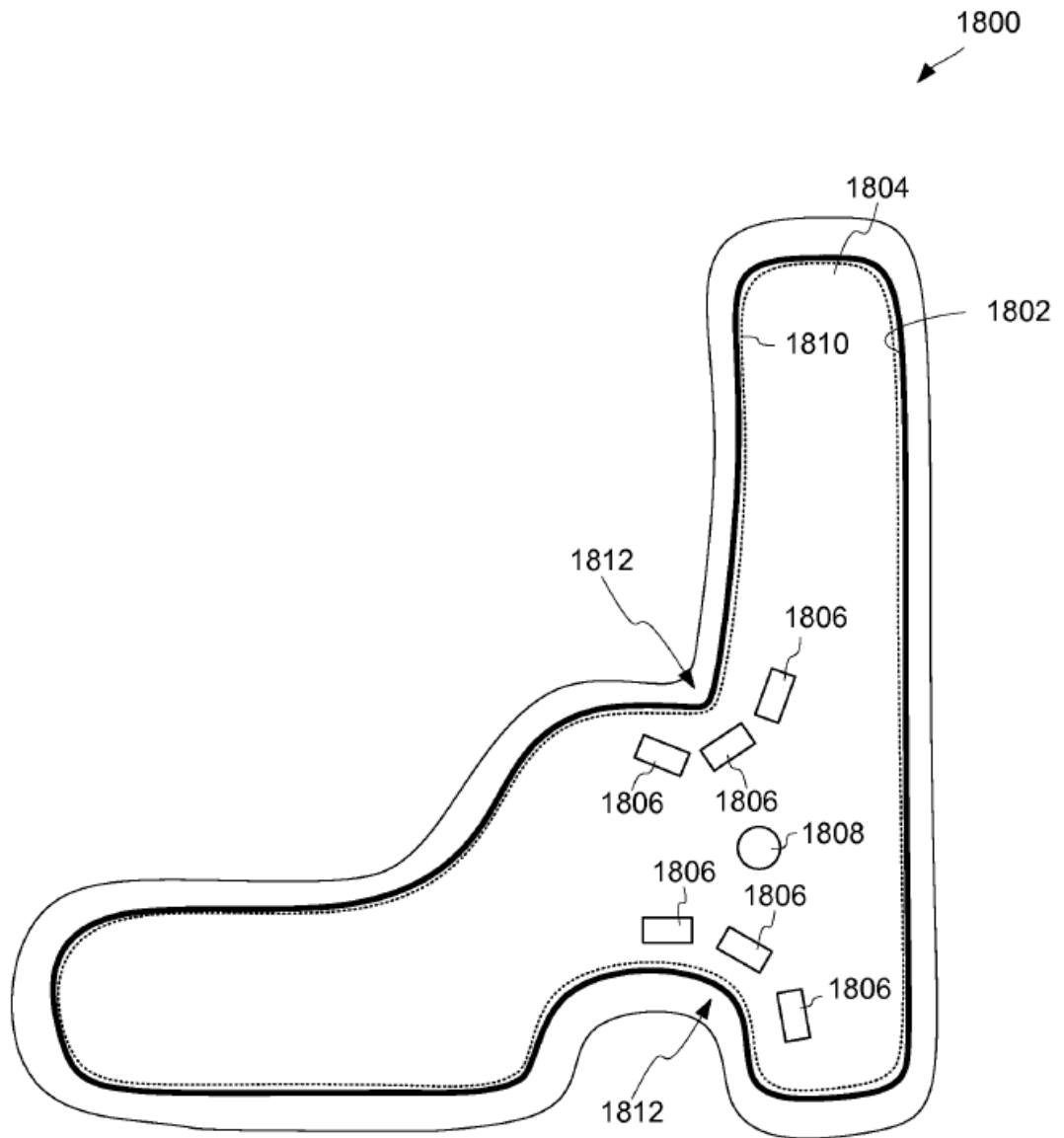
**FIG. 15**



**FIG. 16**

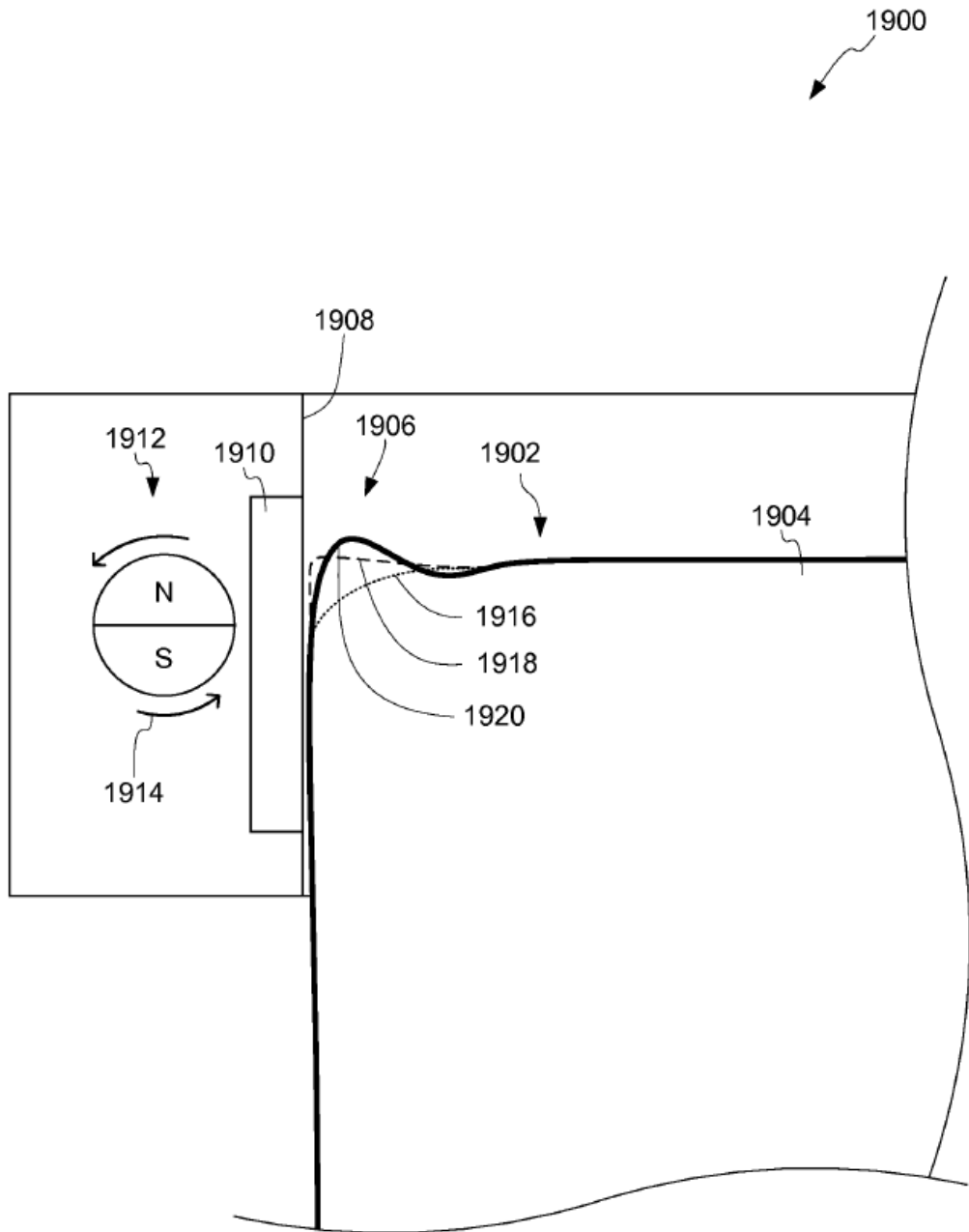


**FIG. 17**

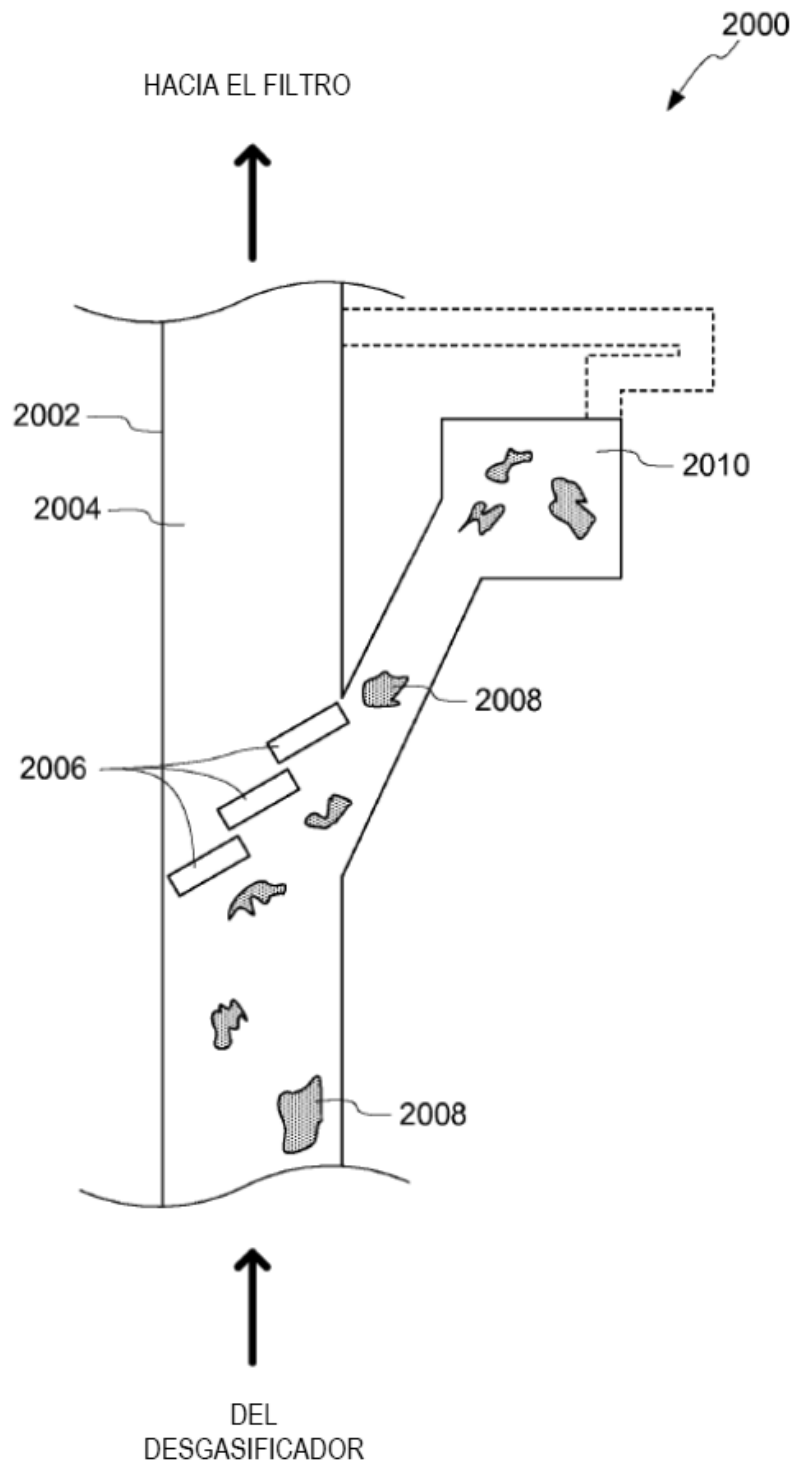


**FIG. 18**

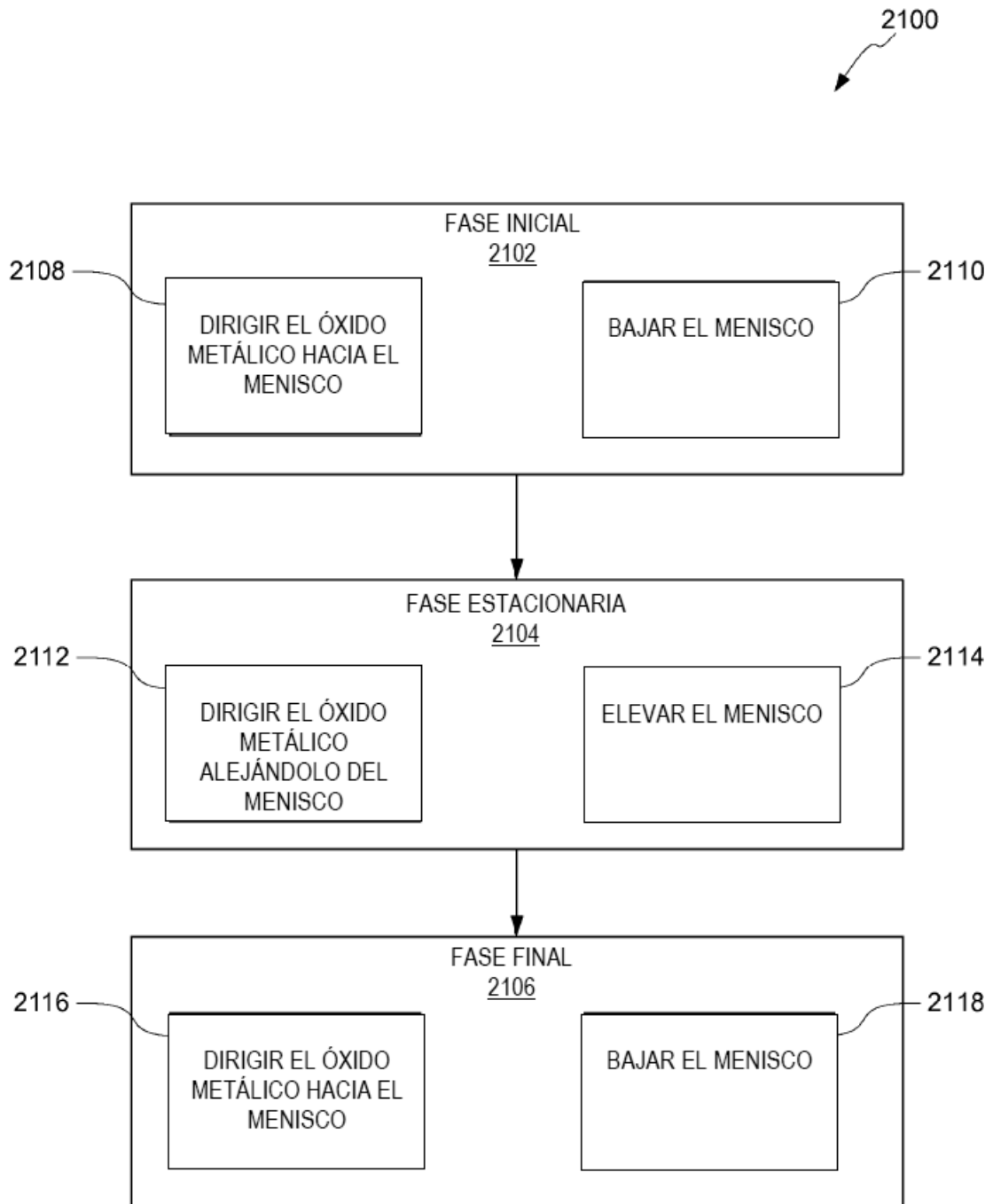




**FIG. 19**



**FIG. 20**



**FIG. 21**