

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 643 080**

51 Int. Cl.:

F27B 14/06 (2006.01)

F27B 14/14 (2006.01)

F27D 11/06 (2006.01)

H05B 6/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.01.2005 PCT/US2005/001678**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.08.2005 WO05072207**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.01.2005 E 05705903 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.09.2017 EP 1718910**

54 Título: **Horno de inducción de crisol frío con amortiguamiento por corrientes de Foucault**

30 Prioridad:

17.01.2004 US 537365 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.11.2017

73 Titular/es:

**CONSARC CORPORATION (100.0%)
100 INDEL AVENUE P.O. BOX 156
RANCOCAS, NJ 08073-0156, US**

72 Inventor/es:

**ROBERTS, RAYMOND J. y
KEOUGH, GRAHAM A.**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 643 080 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

Horno de inducción de crisol frío con amortiguamiento por corrientes de Foucault

Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

5 Esta solicitud reivindica prioridad de la Solicitud Provisional de EE. UU. Número 60/537.365, presentada el 17 de enero de 2004.

Campo de la invención

La presente invención está dentro del campo técnico de la fusión de materiales eléctricamente conductores, tales como metales y aleaciones, mediante inducción magnética en un horno de inducción de crisol frío.

Antecedentes de la invención

10 Un horno de inducción de crisol frío se utiliza para fundir y calentar materiales eléctricamente conductores situados en el seno del crisol mediante la aplicación de un campo magnético alterno a los materiales. Una aplicación común de tales hornos es la fusión de un metal o aleación reactivos, tales como un compuesto basado en titanio, en una atmósfera controlada o en vacío. La FIG. 1(a) ilustra las características propias principales de un horno de crisol frío convencional. Haciendo referencia a la figura, el crisol 100 frío incluye una pared 112 ranurada. El interior de la
15 pared 112 es generalmente cilíndrico. La porción superior de la pared puede ser en parte cónica para ayudar en la retirada de lobo tal como se describirá adicionalmente más adelante. La pared está fabricada de un material que no reaccione con una carga metálica caliente en el crisol, cuando el crisol se refrigere mediante fluido utilizando medios convencionales. Para una carga basada en titanio, un compuesto de refrigeración mediante fluido basado en cobre resulta apropiado para la pared 112. Las ranuras 118 tienen una anchura muy pequeña (que se ha exagerado en la
20 figura en aras de la claridad), típicamente de entre 0,13 y 3,20 mm (entre 0,005 y 0,125 pulgadas) y puede cerrarse con un material eléctricamente aislante y resistente al calor, tal como mica. La base 114 forma el fondo del crisol frío. La base está fabricada típicamente del mismo material que la pared 112 y también se refrigera mediante fluido utilizando medios convencionales. La base está soportada sobre el elemento 126 estructural de fondo mediante los medios 122 de soporte que también pueden utilizarse como alimentación y retorno de un medio refrigerante. Una
25 capa de material 124 eléctricamente aislante y resistente al calor (cuyo grosor está exagerado en la figura) puede utilizarse para separar la base de la pared lateral. La bobina 116 de inducción está arrollada alrededor del exterior de la pared 112 del crisol, y está conectada a una fuente de suministro de potencia de corriente alterna apropiada (que no se muestra en la figura). Cuando se excita la fuente de suministro de potencia, la corriente circula a través de la bobina 116 y se crea un campo magnético de corriente alterna en el seno de la bobina y en su exterior. El flujo magnético induce corrientes en la pared 112, en la base 114 y en la carga metálica ubicada en el interior del crisol
30 frío. Las ranuras 118 ayudan en la penetración de flujo en el interior del crisol. El calor generado por las corrientes de inducción en la carga funde la carga. Tal como se ilustra mediante el horno 100 en detalle parcial en la FIG. 1(b), una porción de carga metálica adyacente a la pared refrigerada y a la base se solidifica para formar el lobo 190 alrededor del metal 192 líquido. El lobo actúa como un contenedor parcial para el metal fundido, y las regiones superiores del metal fundido están al menos parcialmente soportadas por las fuerzas de Lorentz generadas por la interacción del campo magnético producido por la bobina 116 y las corrientes inducidas en la carga metálica, para formar una región 194 de presión de contacto reducida o incluso separación entre la pared y el metal líquido. Tal presión de contacto reducida o separación es importante para reducir las pérdidas térmicas desde la carga caliente hacia el crisol frío. Las fuerzas de Lorentz también hacen que el metal líquido sea agitado de manera enérgica.
40 Después de la retirada del producto de metal líquido del crisol, el lobo puede dejarse en su sitio para un fundido posterior, o bien puede ser eliminado del crisol, tal como se desee.

Tal como se mencionó anteriormente, el metal líquido en el crisol por encima del lobo se mantiene generalmente alejado de la pared del crisol mediante fuerzas de Lorentz que actúan sobre la masa de metal líquido. Los movimientos fluidos provocados por corrientes inducidas pueden perturbar de manera intermitente la región de
45 separación entre la pared y la masa de metal líquido. Tales perturbaciones aumentan el área de frontera del fundido, dando como resultado un aumento de las pérdidas de radiación de calor desde el líquido, o incluso un aumento de las pérdidas de conducción, si una parte del metal líquido moja o salpica a la pared del crisol.

Resulta en ocasiones deseable sobrecalentar el metal líquido, como por ejemplo para hacerlo más fluido y, por lo tanto, más apropiado para fundirlo en un molde y que forme una pieza fundida que posea secciones delgadas. Sin embargo, el aparato y el método descritos anteriormente presentan desventajas cuando se utilizan para sobrecalentar el metal líquido. Con un sobrecalentamiento mayor, se produce un aumento de la diferencia de temperatura entre el metal líquido (fundido) y el lobo. Esto da como resultado un aumento en el calor transferido desde el metal líquido al lobo. Consecuentemente, una porción del lobo formado se funde de nuevo para formar metal líquido, lo que reduce el espesor del lobo. El espesor reducido del lobo aumenta las pérdidas de calor desde el
50 metal líquido. Más aún, el volumen global de lobo puede reducirse, de tal manera que partes del fundido líquido que estaban contenidas en el seno del lobo pueden entrar en contacto con la pared del crisol, lo que aumenta en gran medida las pérdidas de calor desde el metal líquido. En la práctica, el resultado de ello es que para cualquier entrada de potencia razonable al aparato y el proceso descritos anteriormente, el sobrecalentamiento está severamente

limitado.

El trabajo "Modelling Induction Skull Melting Design Modifications" ("Modelado de Modificaciones en el Diseño del Fundido del Lobo de Inducción"), presentado por V. Bojarevics y K. Pericleous en el International Symposium on Liquid Metal Processing and Casting (Simposio Internacional de Fundición y Procesamiento de Metal Líquido) celebrado el 23 de septiembre de 2003 en Nancy, Francia, sugiere ubicar una bobina de corriente continua separada en una posición adyacente a la bobina de corriente alterna de un montaje de crisol frío (página 4 del artículo de Bojarevics y Pericleous). La corriente continua que circula a través de la bobina de corriente continua genera un campo magnético de corriente continua que se superpone con el campo de corriente alterna. Cuando una carga fundida, accionada por las fuerzas de Lorentz descritas anteriormente, se desplaza a través de las líneas de campo del campo de corriente continua, se inducen corrientes adicionales en el metal que se desplaza. Tales corrientes reaccionan con el flujo de corriente continua para producir una acción de frenado que reduce la velocidad del fluido. Una acción de frenado tal es bien conocida y se hace referencia a ella generalmente como frenado por corrientes de Foucault o amortiguamiento por corrientes de Foucault. Mediante la reducción de la velocidad del flujo metálico, un amortiguamiento tal reduce la turbulencia en el metal líquido cerca del fondo del crisol frío, reduciendo de este modo el calor que se transfiere por convección desde el metal líquido hasta el lobo; permitiendo de este modo un sobrecalentamiento significativamente aumentado para una entrada de potencia dada. Un uso tal de un campo magnético de corriente continua para amortiguamiento o frenado por corrientes de Foucault de metal en movimiento en una bobina de inducción se conoce de la técnica anterior (ver, por ejemplo, la Patente de EE. UU. Número 5.003.551). Sin embargo, situar una bobina de corriente continua adyacente a la bobina de corriente alterna, tal como se propone en el artículo de Bojarevics y Pericleous, daría como resultado que el campo magnético de corriente alterna induciría pérdidas elevadas en los conductores de corriente continua de gran sección transversal mostrados en el artículo. Más aún, no existe ningún reconocimiento ni ningún análisis de este efecto perjudicial en el artículo de Bojarevics y Pericleous. Este problema tampoco puede paliarse desplazando simplemente la bobina de corriente continua alejándola de la bobina de corriente alterna, o viceversa, puesto que el campo magnético de una bobina desplazada de ese modo se reduciría en el espacio interior del crisol, convirtiendo así a la bobina desplazada en una bobina menos efectiva.

La Patente de EE. UU. Número 5.109.389 describe un horno de inducción de crisol frío para calentar un material eléctricamente conductor. El horno posee una pared segmentada y un suelo que forman una cámara de fusión en la que puede contenerse un material eléctricamente conductor. Al menos un inductor rodea la altura de la pared y está conectado a una fuente de suministro de potencia de corriente alterna para generar un campo de corriente alterna alrededor del inductor. El campo de corriente alterna se acopla magnéticamente con el material eléctricamente conductor para calentar y fundir de manera inductiva el material mediante corrientes inducidas en el material eléctricamente conductor para formar un fundido en el seno del horno. De manera opcional, una fuente de suministro de potencia de corriente continua puede conectarse en paralelo con la fuente de suministro de potencia de corriente alterna para generar un campo magnético estático que amortigua el flujo de fundido en el seno de la cámara de fusión.

Por lo tanto, existe la necesidad de un aparato y de un método para fundir por inducción un material eléctricamente conductor en un crisol frío de manera que se limite la pérdida de calor por convección al crisol frío, con el fin de obtener un sobrecalentamiento mayor.

Breve resumen de la invención

La presente invención proporciona un horno de inducción de crisol frío tal como se expone en la reivindicación 1, a la que se debe hacer referencia en este momento. La invención también proporciona un método de acuerdo con la reivindicación 8, a la que también debe hacerse referencia. Características propias preferidas pero opcionales de la invención se exponen en las reivindicaciones 2 a 7 y 9 a 11.

Por lo tanto, en la invención, el campo de corriente continua se establece mediante la circulación de corriente continua en una bobina de corriente continua situada debajo del crisol frío. La bobina contiene una pieza de polo magnético en la que se concentra el campo magnético y que está dirigida hacia el fondo del crisol frío. De manera opcional, puede proporcionarse una bobina de corriente continua o más de una entre la bobina de corriente alterna y la bobina de corriente continua alrededor del exterior del crisol frío, para ayudar adicionalmente en la disminución selectiva del movimiento en el material fundido.

Breve descripción de los dibujos

Para propósitos de ilustración de la invención, se muestra en las figuras 5 a 7 de los dibujos una forma que es actualmente preferida; debe entenderse, sin embargo, que esta invención no está limitada a los montajes y la instrumentación precisas mostradas. Como ya se ha advertido, la FIG. 1(a) y la FIG. 1(b) muestran un horno de crisol frío convencional. Los hornos de las figuras 2 a 4 no entran dentro del alcance de la invención.

La FIG. 1(a) es una vista en alzado de una sección transversal parcial de un horno de inducción de crisol frío convencional.

La FIG. 1(b) es una vista en alzado de una sección transversal de lobo y de un metal líquido formados en un horno de inducción de crisol frío convencional.

5 La FIG. 2 es una vista en alzado de una sección transversal parcial de un ejemplo de horno de inducción de crisol frío con amortiguamiento por corrientes de Foucault en el que el amortiguamiento por corrientes de Foucault es proporcionado por la circulación de corriente continua en la bobina de inducción atravesada por corriente alterna para el calentamiento mediante corriente inductiva de un material eléctricamente conductor situado en el crisol.

10 La FIG. 3 es una vista en alzado de una sección transversal parcial de un ejemplo de horno de inducción de crisol frío con amortiguamiento por corrientes de Foucault en el que el amortiguamiento por corrientes de Foucault es proporcionado por la circulación de corriente continua en una bobina de campo de corriente continua que está separada de la bobina de inducción atravesada por corriente alterna para el calentamiento mediante corriente inductiva de un material eléctricamente conductor situado en el crisol.

La FIG. 4 es una vista en alzado de una sección transversal parcial de un ejemplo de horno de inducción de crisol frío con amortiguamiento por corrientes de Foucault en el que el amortiguamiento por corrientes de Foucault es proporcionado por un imán o más de uno situados alrededor del exterior de la pared del horno.

15 La FIG. 5 es una vista en alzado de una sección transversal parcial de un ejemplo del horno de inducción de crisol frío con amortiguamiento por corrientes de Foucault de la presente invención.

La FIG. 6 es una vista en alzado de una sección transversal parcial de otro ejemplo del horno de inducción de crisol frío con amortiguamiento por corrientes de Foucault de la presente invención.

20 La FIG. 7 es una vista en alzado de una sección transversal parcial de otro ejemplo del horno de inducción de crisol frío con amortiguamiento por corrientes de Foucault de la presente invención, dispuesto para proporcionar un proceso de fundición inyectada por contra-gravedad.

Descripción detallada de la invención

25 Tal como se utiliza en este documento, el término "corrientes inducidas" hace referencia genéricamente a corrientes inducidas por una bobina de corriente alterna y el término "corrientes de Foucault" hace referencia genéricamente a corrientes generadas por el movimiento de material fundido eléctricamente conductor a través de líneas de campo de corriente continua. En la FIG. 2 se muestra un horno 10 de inducción de crisol frío, con amortiguamiento por corrientes de Foucault. En este ejemplo, el crisol puede comprender un crisol frío con una pared 12 que posee ranuras 18, y una base 14. La base puede estar separada de la pared mediante una capa de aislante 24 térmico y eléctrico. La base puede estar elevada por encima del elemento 26 de soporte estructural de fondo mediante unos medios 22 de soporte apropiados. La bobina 16 de inducción está arrollada al menos parcialmente alrededor de la altura de la pared 12. La bobina 16 de inducción está conectada de manera apropiada a la fuente 30 de suministro de potencia de corriente alterna. La corriente alterna proporcionada por la fuente de suministro de potencia de corriente alterna circula a través de la bobina 16 y establece un campo de corriente alterna que penetra en la pared 12 y en un material eléctricamente conductor situado en el seno del crisol. Por ejemplo, pero de manera no limitante, el material eléctricamente conductor puede ser un metal o una aleación. El campo de corriente alterna se acopla con el metal e induce corrientes en el metal que calientan el metal hasta llevarlo a un estado líquido. La salida de la fuente 32 de suministro de potencia de corriente continua está conectada en paralelo con la salida de la fuente de suministro de potencia de corriente alterna. La corriente continua proporcionada por la fuente de suministro de potencia de corriente continua circula a través de la bobina 16 y establece un campo de corriente continua que penetra en la pared 12, en la base 14 y en el metal líquido situado en el crisol. El campo de corriente continua amortigua el flujo de fluido inducido en el fundido por el campo de corriente alterna. Las pérdidas de calor desde el metal líquido hasta el lobo tienen lugar principalmente mediante un proceso de convección forzada que se establece por el metal fundido que fluye adyacente a las superficies interiores del lobo accionado por la fuerza de Lorentz. Esta pérdida de calor por convección se reduce cuando la velocidad del fluido disminuye por la acción de frenado por corrientes de Foucault del campo de corriente continua. Consecuentemente, un control selectivo de la magnitud del campo de corriente continua llevado a cabo mediante el control de la magnitud de la corriente continua suministrada por la fuente 32 de suministro de potencia de corriente continua durante los procesos de calentamiento y fundido puede utilizarse para reducir de manera selectiva las pérdidas de calor durante los procesos de calentamiento y fundido.

50 Pueden suministrarse elementos de una impedancia apropiada en la salida de las fuentes de suministro de potencia de corriente alterna y de corriente continua para evitar la realimentación de corriente desde una fuente hasta la otra fuente. En el horno mostrado en la FIG. 2 se utiliza solamente una única bobina de inducción. En otros hornos pueden utilizarse dos bobinas de inducción o más de dos para rodear diferentes regiones a lo largo de la altura del crisol, y pueden conectarse de manera selectiva una fuente de suministro de potencia de corriente alterna y de corriente continua o más de una a una de las bobinas de inducción múltiples o a más de una dependiendo de si una región particular necesita amortiguamiento de campo de corriente continua. En hornos en los que se proporciona más de una bobina de inducción, la una o más fuentes de suministro de potencia de corriente continua pueden conectarse de manera selectiva a un número de bobinas de inducción menor que el número total de las mismas.

En otros hornos se proporcionan una bobina de campo de corriente continua o más de una separadas de una bobina de inducción de corriente alterna o más de una alrededor de la pared externa del crisol. En el horno mostrado en la FIG. 3, la bobina 17 de campo de corriente continua está arrollada alrededor del exterior de la bobina 16 de inducción arrollada. La fuente 30 de suministro de potencia de corriente alterna suministra corriente alterna a la bobina 16 de inducción para fundir y/o calentar un material eléctricamente conductor situado dentro del crisol mediante inducción magnética de corrientes en el material tal como se describió anteriormente. La fuente 32 de suministro de potencia de corriente continua suministra corriente continua a la bobina 17 de campo de corriente continua para amortiguar de manera selectiva el flujo de fluido en el material. La pantalla 19 puede proporcionarse de manera opcional para apantallar la bobina de campo de corriente continua frente al campo de corriente alterna producido por la bobina de inducción. La pantalla puede fabricarse de un material apropiado con alta conductividad eléctrica. De manera alternativa, la una o más bobinas de campo de corriente continua pueden estar interespaciadas con la una o más bobinas de inducción en una alineación sustancialmente vertical. Otro montaje no limitante consiste en proporcionar una bobina de campo de corriente continua o más de una arrolladas por debajo de la base 14 del crisol. Esto concentra el campo de corriente continua establecido cerca del fondo del fundido en el crisol, donde más necesario es el amortiguamiento, para reducir las pérdidas de calor por convección forzada al lobo. En todos los casos en los que se utiliza una bobina de corriente continua separada, las pérdidas inducidas excesivas en los conductores de la bobina de corriente continua se evitan mediante alguna combinación de apantallamiento, ubicación de la bobina, o mediante el uso de conductores de sección transversal pequeña múltiples, aislados, para conducir la corriente continua.

En los hornos descritos anteriormente en los que se utiliza una corriente continua variable para proporcionar amortiguamiento por corrientes de Foucault variable, un método no limitante de la invención consiste en empezar con una magnitud de corriente continua nula o pequeña en el proceso de fundido cuando se desea una agitación enérgica del fundido por corriente inducida para disolver material de carga (tal como el lobo de una fusión anterior) con una temperatura de fusión elevada. Cuando la carga se funde, la magnitud de la corriente continua puede aumentarse, de manera que se utiliza una corriente continua máxima cuando la carga está completamente fundida y el objetivo es maximizar el sobrecalentamiento en preparación para la transferencia del metal líquido a un molde o a otro contenedor.

En otros hornos, puede disponerse un imán permanente discreto o más de uno alrededor del perímetro externo de la pared 12 ranurada del horno, generalmente en una región cilíndrica identificada como región A en la FIG. 4, y/o en una región por debajo de la base 14 (no ilustrada en el dibujo). Puede utilizarse una pluralidad de imanes discretos, cada uno de ellos con una magnitud particular de fuerza de campo de corriente continua y una geometría que es dependiente de su ubicación alrededor del crisol. Deben proporcionarse medios para evitar el sobrecalentamiento de los imanes provocado por el acoplamiento magnético con el campo de corriente alterna establecido por la conducción de corriente alterna a través de la bobina 16 de inducción. Tales medios pueden incluir la colocación del uno o más imanes en regiones de mínimo campo de corriente alterna; el apantallamiento magnético de los imanes frente a los campos de corriente alterna; y/o la formación de los imanes a partir de elementos segmentados aislados eléctricamente. El uso de imanes permanentes proporciona menos flexibilidad en el control de las corrientes de Foucault en comparación con un campo de corriente continua variable establecido mediante la corriente continua variable en los hornos descritos anteriormente. De manera alternativa, pueden utilizarse electroimanes discretos para variar el campo de corriente continua del imán y, a su vez variar el amortiguamiento por corrientes de Foucault.

En otros hornos, el amortiguamiento por corrientes de Foucault puede conseguirse mediante una combinación selectiva de dos o tres de los métodos previamente descritos, en concreto: conducción de corriente continua en la bobina de inducción; conducción de corriente continua en una bobina de campo de corriente continua separada de la bobina de corriente alterna; uso de imanes permanentes o de electroimanes.

Se contempla que otras disposiciones de bobinas de corriente alterna y de corriente continua combinadas, bobinas de inducción de corriente alterna y bobinas de campo de corriente continua separadas, e imanes están en el seno del alcance de la invención siempre que los campos de corriente continua establecidos se utilicen para amortiguar los flujos de fluido inducidos en el material eléctricamente conductor en el crisol, con el fin de aumentar el sobrecalentamiento, sin incurrir en pérdidas inducidas excesivas en los componentes que están siendo utilizados para generar el campo de corriente continua.

En la FIG. 5 se muestra un ejemplo de un horno de inducción de crisol frío, con amortiguamiento por corrientes de Foucault, de la presente invención. El horno 11 posee una primera bobina 52 de corriente continua arrollada alrededor de una sección terminal primera de la pieza 54 de polo magnético. En otros ejemplos de la invención, la primera bobina de corriente continua puede arrollarse alrededor de otras regiones de la pieza de polo magnético; además, puede proporcionarse más de una primera bobina de corriente continua. La primera bobina 52 de corriente continua puede estar constituida por conductores eléctricos huecos, pero no está limitada a ello, de manera que el conducto interior se utiliza para la circulación de un medio de refrigeración. La pieza 54 de polo magnético está fabricada de un material magnético débil apropiado, tal como hierro de alta pureza. Una forma no limitante para la pieza de polo magnético es sustancialmente la de un cilindro sólido, aunque pueden utilizarse otras formas para concentrar el campo magnético de corriente continua generado alrededor de la primera bobina de corriente continua. Una aleta de pieza de polo magnético (que no se muestra en la figura) puede fijarse al primer extremo de la pieza de

5 polo magnético para servir como un medio para sujetar la primera bobina de corriente continua en su sitio y para controlar la forma del campo magnético de corriente continua. La pieza 54 de polo magnético sobresale dentro de la base del horno tal como se muestra en la FIG. 5 de tal manera que el segundo extremo de la pieza de polo es adyacente a la placa 58 de base de crisol. Una segunda bobina 73 de corriente continua opcional esta arrollada alrededor del exterior de la base del horno en una ubicación situada entre la placa 58 de base de crisol y el soporte 60 estructural o placa de bastidor. La segunda bobina 73 de corriente continua puede tener una construcción igual o similar a la de la primera bobina de corriente continua.

10 El soporte 64 proporciona un medio para soportar la placa 58 de base y el peso del metal en la cámara 72 de fusión. La camisa 62 de refrigeración proporciona un medio para soportar y proporcionar refrigerante a la pared 70 del horno segmentada y a la base 58. En este ejemplo no limitante de la invención, cada uno de los segmentos que constituyen la pared del horno posee una cámara interior para el paso de un medio refrigerante, tal como agua. La bobina 68 de inducción de corriente alterna se muestra solamente en el lado izquierdo del horno en la FIG. 5 puesto que el aislamiento de bobina en el lado derecho del horno en esta figura en sección transversal parcial contiene a la bobina de inducción de corriente alterna. En este ejemplo no limitante de la invención, la entrada 80 de agua de la bobina de inducción suministra corriente y agua de refrigeración a la bobina 68 de inducción hueca; el agua y la corriente salen de la bobina a través de una salida de agua de bobina de inducción que no se muestra en la figura.

15 La bobina 68 de inducción rodea al menos parcialmente la cámara de fusión del horno y calienta por inducción una carga eléctricamente conductora situada en el seno de la cámara de fusión cuando circula una corriente alterna (suministrada por una fuente de suministro de potencia apropiada que no se muestra en las figuras) a través de la bobina de inducción. La corriente continua que circula a través de la primera bobina 52 de corriente continua, proveniente de una o más fuentes de suministro de potencia de corriente continua apropiadas (que no se muestran en las figuras), genera un campo de corriente continua que se concentra en la pieza 54 de polo magnético. El segundo extremo de la pieza de polo está dispuesto para ser adyacente a la placa 58 de base de crisol de tal manera que el campo de corriente continua penetra predominantemente en el fondo y en los lados inferiores de la cámara 72 de fusión para disminuir la intensidad de flujo y la turbulencia del líquido adyacente a la base en la cámara de fusión que está provocada por las corrientes alternas inducidas en la carga. La forma y la ubicación de la pieza 54 de polo y la ubicación de la primera bobina 52 de corriente continua hacen que varios componentes del montaje de crisol apantallen la pieza 54 de polo de corriente continua y la primera bobina 52 de corriente continua frente a los campos de corriente alterna producidos por la bobina de inducción.

20 La segunda bobina 73 de corriente continua opcional puede utilizarse para minimizar la pérdida de flujo magnético de corriente continua desde los lados de la pieza 54 de polo y para mejorar adicionalmente la densidad de flujo (fuerza de campo magnético) en la parte superior de la pieza 54 de polo por debajo de la placa 58 de base. Tal segunda bobina 73 de corriente continua opcional puede estar apantallada de manera separada frente al campo magnético de corriente alterna producido por la bobina 68 de inducción mediante la pantalla 71 de bobina que está compuesta sustancialmente por un material con alta conductividad eléctrica. Las corrientes inducidas en esta pantalla por el campo magnético proveniente de la bobina 68 de corriente alterna sirven para redireccionar el campo de corriente alterna, reduciendo la magnitud de las corrientes inducidas en los conductores de la segunda bobina 73 de corriente continua.

25 La entrada 84 de agua proporciona agua de refrigeración a los conductos interiores en los segmentos de la pared 70 y de la placa 58 de base. La salida 86 de agua proporciona un retorno para agua de refrigeración desde los conductos interiores en los segmentos de la pared 70; la salida 88 de agua proporciona un retorno para el agua de refrigeración desde los conductos interiores en la base 58.

30 La FIG. 6 ilustra otro ejemplo de un horno de inducción de crisol frío, con amortiguamiento por corrientes de Foucault, de la presente invención. En este ejemplo de la invención, la parte superior de la pieza 54 de polo magnético está conformada para concentrar la penetración del campo de corriente continua, alejándolo del centro de la placa 58 de base de crisol tal como se ilustra mediante líneas de flujo de corriente continua típicas (mostradas como líneas 99 discontinuas en la figura). La ventaja de esta disposición es que el campo de corriente continua se concentra en regiones en las que el flujo de metal fundido inducido electromagnéticamente en la cámara de fusión (representado genéricamente mediante líneas 97 punteadas en la figura) tiene la máxima velocidad de flujo a través de las líneas de campo de corriente continua, mejorando de este modo el efecto de frenado por corrientes de Foucault del campo de corriente continua, para reducir adicionalmente la pérdida de calor por convección al lobo. El conformado de la parte superior de la pieza de polo en la FIG. 6 ilustra una disposición no limitante para conseguir esta ventaja. En la figura, la pieza 54 de polo magnético tiene una forma sustancialmente de cilindro sólido, y posee un volumen 54a abierto cónico formado en el centro de su parte superior, que concentra el campo de corriente continua cerca del radio medio de la base del crisol.

35 Existe una tercera bobina 75 de corriente continua opcional que también se muestra en la FIG. 6 que está situada por encima y más lejos de la pared 70 en comparación con la segunda bobina 73 de corriente continua opcional. La ventaja de la tercera bobina de corriente continua opcional, que puede utilizarse en cualquier ejemplo de la invención en el que se utilice la segunda bobina de corriente continua opcional, consiste en una mejora adicional del campo de corriente continua en la región situada justamente por encima de la base del crisol. La pantalla 71a de bobina lleva a cabo una función similar a la de la pantalla 71 de bobina tal como se describió previamente más arriba.

5 En otros ejemplos de la invención, la primera bobina 52 de corriente continua en la FIG. 6 no se utiliza, mientras que la segunda bobina 73 de corriente continua y la tercera bobina 75 de corriente continua se utilizan para establecer un campo de corriente continua que se concentra en la pieza 54 de polo magnético y penetra predominantemente el fondo y los lados inferiores de la cámara de fusión. Todas las características propias y opciones restantes de estos ejemplos de la invención son generalmente los mismos que aquellos mostrados en la FIG. 6 y que se describieron anteriormente.

10 Una vez que el material eléctricamente conductor, tal como un metal líquido, sea fundido en la cámara de fusión mediante calentamiento por inducción, pueden utilizarse varios métodos para retirar el metal líquido de la cámara. Por ejemplo, la cámara de fusión puede estar montada en una estructura de soporte que proporciona unos medios para inclinar la cámara de fusión y verter el metal líquido dentro de un contenedor apropiado tal como un molde. Otro método no limitante para retirar el metal líquido de la cámara de fusión en el horno de inducción de crisol frío de la presente invención consiste en un proceso conocido como fundición inyectada por contra-gravedad de metales fundidos. La Patente de EE. UU. Número 4.791.977 describe genéricamente el proceso de fundición inyectada por contra-gravedad. Haciendo referencia a la FIG. 7, en este proceso la porción inferior de la tubería 91 de llenado es insertada dentro del metal 93 fundido en la cámara de fusión. La tubería de llenado está conectada de manera que puede retirarse a la cavidad 95 interior en el molde 96. Se aplica una presión reducida a la cavidad interior del molde tal como se describe adicionalmente en la Patente de EE. UU. número 4.791.977 para extraer el metal fundido de la cámara de fusión a través de la tubería de llenado hacia arriba hacia adentro de la cavidad interior del molde hasta que el molde está lleno. El campo de corriente continua aplicado en la presente invención puede utilizarse para aumentar el sobrecalentamiento del metal para mejorar el llenado de las cavidades del molde.

20 De manera alternativa en todos los ejemplos de la invención, cualquiera de las bobinas de corriente continua puede comprender una disposición apropiada de una pluralidad de conductores aislados de sección transversal pequeña para evitar el sobrecalentamiento de las bobinas de corriente continua.

25 Los ejemplos anteriores de la invención utilizan una pieza de polo magnético. Se contempla que el uso de dos o más piezas de polo dispuestas de manera apropiada está en el seno del alcance de la invención.

Los ejemplos anteriores no limitan el alcance de la invención descrita. El alcance de la invención descrita se establece en las reivindicaciones.

30

REIVINDICACIONES

- 1.- Un horno de inducción de crisol frío para calentar un material eléctricamente conductor, en donde el horno comprende una pared (70) y una base (58) que forman una cámara de fusión que, cuando está en uso, contiene al material eléctricamente conductor, al menos una bobina (68) de inducción de corriente alterna que rodea al menos parcialmente la altura de la pared (70), una fuente de suministro de potencia de corriente alterna cuya salida está conectada a la al menos una bobina (68) de inducción de corriente alterna para suministrar potencia en forma de corriente alterna a la al menos una bobina (68) de inducción de corriente alterna y para generar un campo de corriente alterna alrededor de la al menos una bobina (68) de inducción de corriente alterna, en donde el campo de corriente alterna se acopla magnéticamente con el material eléctricamente conductor para calentar mediante inducción y fundir al menos parcialmente el material eléctricamente conductor mediante corrientes inducidas en el material eléctricamente conductor, y en donde el horno comprende adicionalmente una pieza (54) de polo magnético que posee un primer extremo y un segundo extremo opuestos entre sí, de manera que el segundo extremo está situado en un lugar adyacente al fondo de la base (58), una bobina (52) de corriente continua o más de una dispuestas alrededor de la pieza (54) de polo magnético, y una fuente de suministro de potencia o más de una conectadas a la una o más bobinas (52) de corriente continua para generar un campo magnético de corriente continua, de manera que el campo magnético de corriente continua está concentrado por la pieza (54) de polo magnético a través de la cual el campo magnético de corriente continua penetra en la porción inferior de la cámara de fusión.
- 2.- Un horno de inducción de crisol frío según la reivindicación 1, en el que la una o más bobinas (52) de corriente continua comprenden una primera bobina (52) de corriente continua arrollada alrededor de la pista (54) de polo magnético y una segunda bobina (73) de corriente continua, donde la segunda bobina (73) de corriente continua esta arrollada alrededor del exterior de la base (58) en una ubicación entre la base (58) y un soporte (60) estructural inferior, con una pantalla (71) de segunda bobina de corriente continua situada entre la segunda bobina (73) de corriente continua y la al menos una bobina (68) de inducción de corriente alterna para reducir las corrientes en la segunda bobina (73) de corriente continua inducidas por la circulación de corriente en la al menos una bobina (68) de inducción de corriente alterna; una entrada de agua de refrigeración para una pared (70) y una base (84); y unas salidas (86 y 88) de agua de refrigeración para una pared (70) y una base (84) dispuestas entre la segunda bobina (73) de corriente continua y la primera bobina (52) de corriente continua.
- 3.- Un horno de inducción de crisol frío según la reivindicación 2, que incluye una tercera bobina (75) de corriente continua que rodea al menos parcialmente la altura del horno y una pieza (54) de polo magnético por encima de la segunda bobina (73) de corriente continua, de manera que la tercera bobina (75) de corriente continua está situada a una distancia adicional desde la pared (70) del horno en relación a la segunda bobina (73) de corriente continua con una tercera pantalla (71a) de bobina de corriente continua situada entre la tercera bobina (75) de corriente continua y la al menos una bobina (68) de inducción de corriente alterna para reducir las corrientes en la tercera bobina (75) de corriente continua inducidas por la al menos una bobina (68) de inducción de corriente alterna, en donde la pieza (54) de polo magnético exhibe una abertura (54a) cónica en el centro de la parte superior de la pieza (54) de polo magnético directamente debajo de la base (58).
- 4.- Un horno de inducción de crisol frío según una cualquiera de las reivindicaciones 1, 2 y 3, en el que al menos una de las bobinas (52) de corriente continua está fabricada de una pluralidad de conductores aislados de sección transversal pequeña.
- 5.- Un horno de inducción de crisol frío según una cualquiera de las reivindicaciones 2 y 4, en el que la primera bobina (52) de corriente continua esta arrollada alrededor de una primera sección extrema de la pieza (54) de polo magnético.
- 6.- Un horno de inducción de crisol frío según la reivindicación 2, que incluye una tercera bobina (75) de corriente continua que rodea al menos parcialmente la altura del horno y la pieza (54) de polo magnético por encima de la segunda bobina (73) de corriente continua, de manera que la tercera bobina (75) de corriente continua está situada a una distancia adicional desde la pared (70) del horno en relación a la segunda bobina (73) de corriente continua en donde el segundo extremo de la pieza (54) de polo magnético posee un volumen (54a) abierto cónico formado en el centro de la parte superior de la pieza (54) de polo magnético para concentrar el campo de corriente continua cerca del radio medio de la base (58).
- 7.- Un horno de inducción de crisol frío según la reivindicación 2, que incluye una tercera bobina (75) de corriente continua que rodea al menos parcialmente la altura del horno y la pieza (54) de polo magnético por encima de la segunda bobina (73) de corriente continua, de manera que la tercera bobina (75) de corriente continua está situada a una distancia adicional desde la pared (70) del horno en relación a la segunda bobina (73) de corriente continua en donde la pieza (54) de polo magnético tiene sustancialmente la forma de un cilindro sólido con una abertura (54a) centrado en el segundo extremo de la pieza (54) de polo magnético.
- 8.- Un método para calentar y fundir al menos parcialmente un material eléctricamente conductor en un crisol frío, en donde el método comprende los pasos de situar el material eléctricamente conductor en una cámara de fusión formada por una pared (70) y una base (58) del crisol frío, y acoplar el material eléctricamente conductor con un

- 5 campo magnético de corriente alterna que genera el flujo de corriente alterna que circula a través de una bobina (68) de inducción que rodea la pared del crisol frío para inducir corrientes en el material eléctricamente conductor, y que comprende adicionalmente el paso de concentrar la penetración de un campo magnético de corriente continua dentro del fondo y de los lados inferiores de la cámara de fusión mediante la generación de un campo magnético de corriente continua dentro de y alrededor de una pieza (54) de polo magnético que posee un segundo extremo adyacente por debajo del fondo de la base (58) del horno de crisol frío mediante el suministro de potencia en forma de corriente continua a una o más bobinas (52) de campo de corriente continua que rodean la pieza (54) de polo magnético.
- 10 9.- Un método según la reivindicación 8, que incluye el paso de apantallar la una o más bobinas (52) de campo de corriente continua frente al campo magnético de corriente alterna.
- 10.- Un método según la reivindicación 8 o 9, que incluye el paso de verter el material eléctricamente conductor desde la cámara de fusión dentro de un contenedor apropiado.
- 15 11.- Un método según la reivindicación 8 o 9, que incluye el paso de transferir el material eléctricamente conductor fundido desde la cámara de fusión hasta un contenedor (96) apropiado mediante fundición inyectada por contra-gravedad.

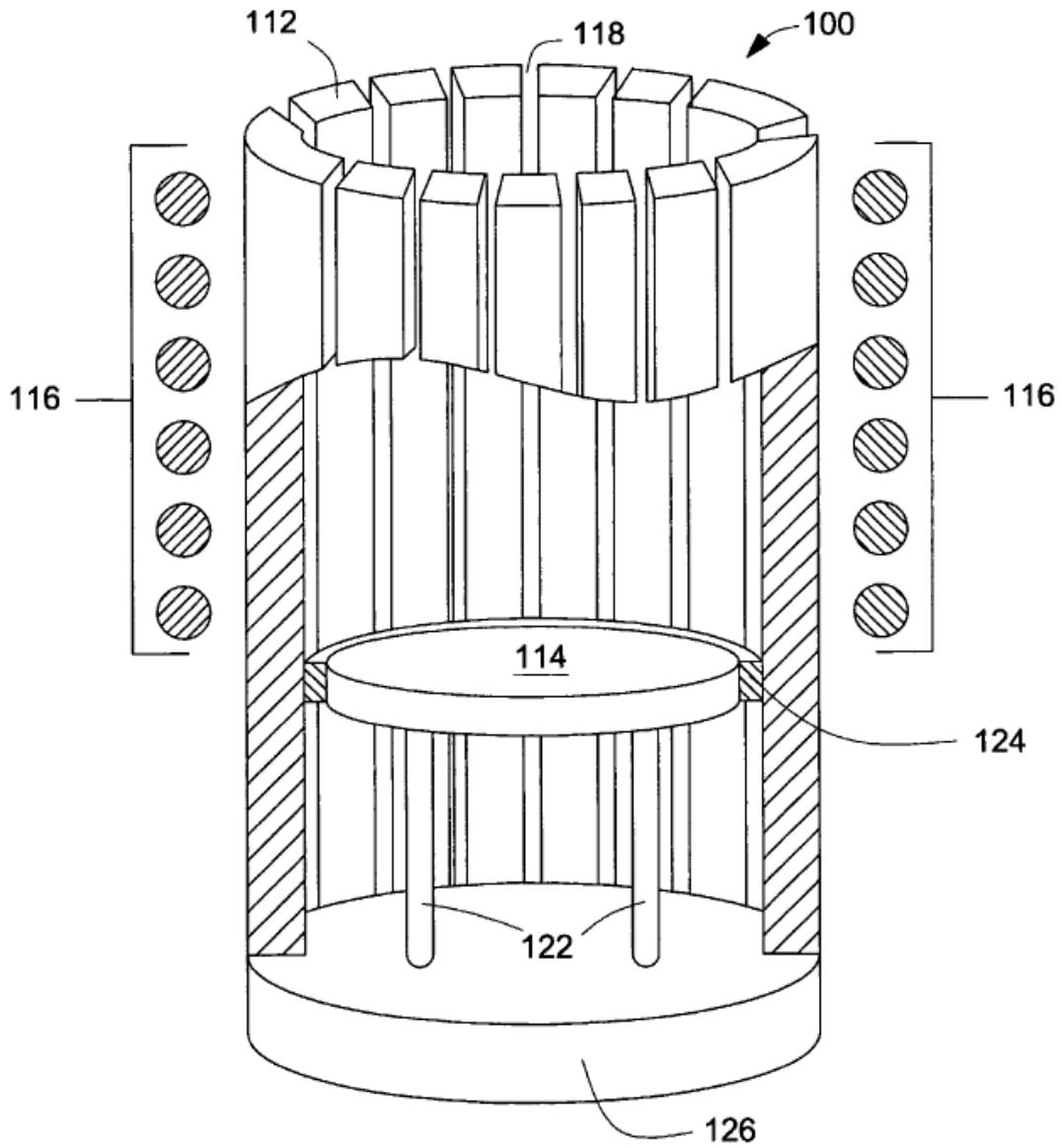


FIG. 1(a)

TECNICA ANTERIOR

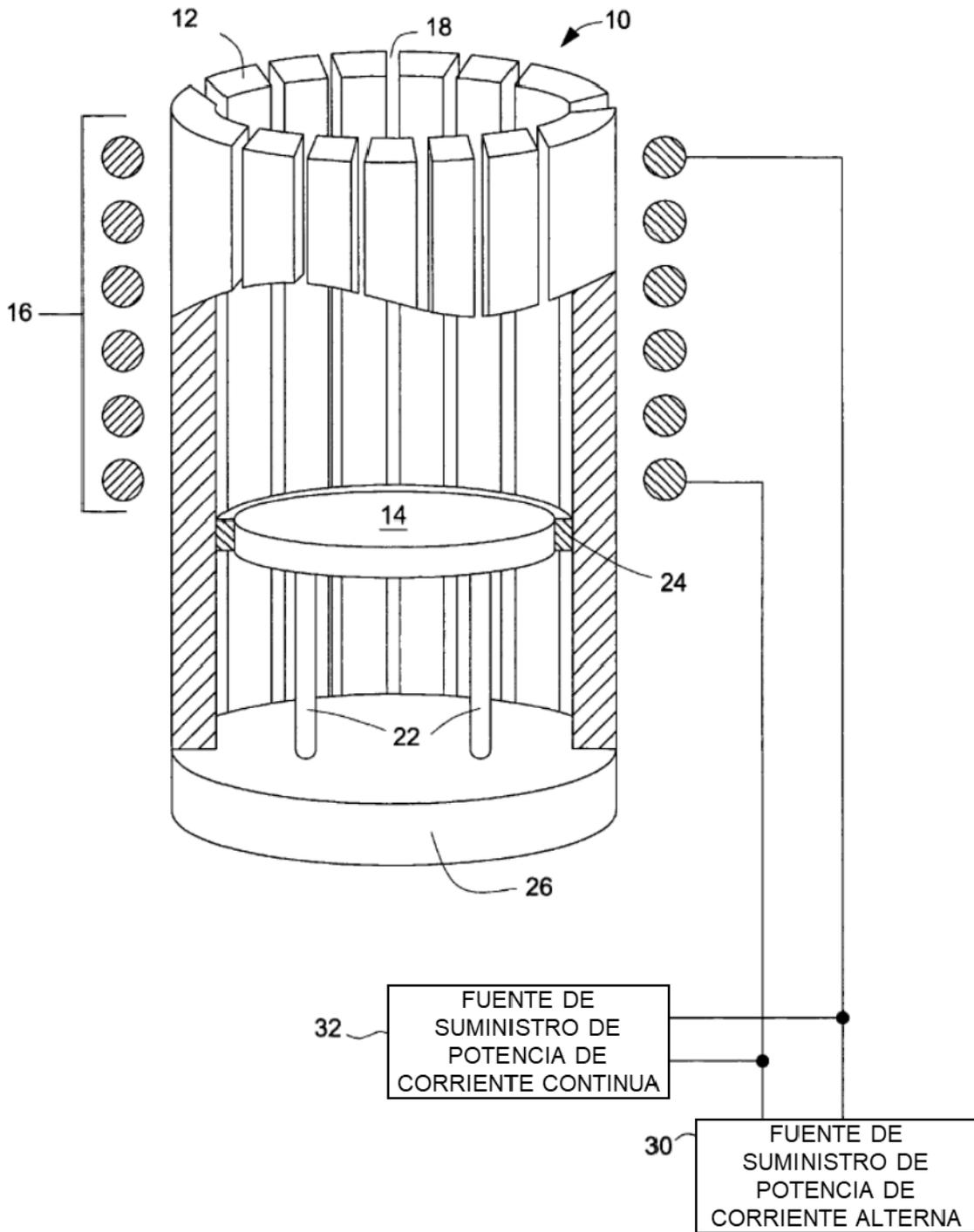


FIG. 2

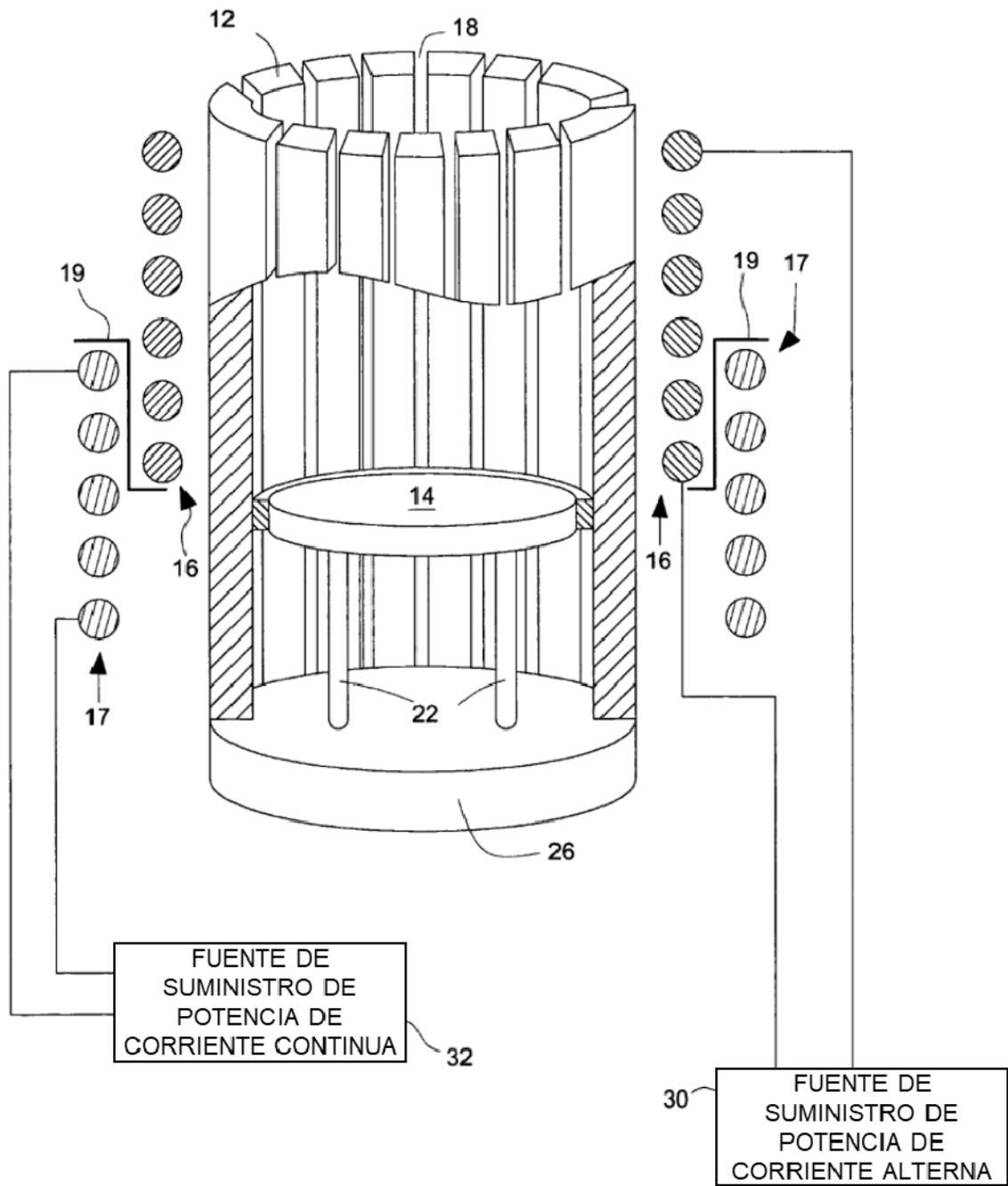


FIG. 3

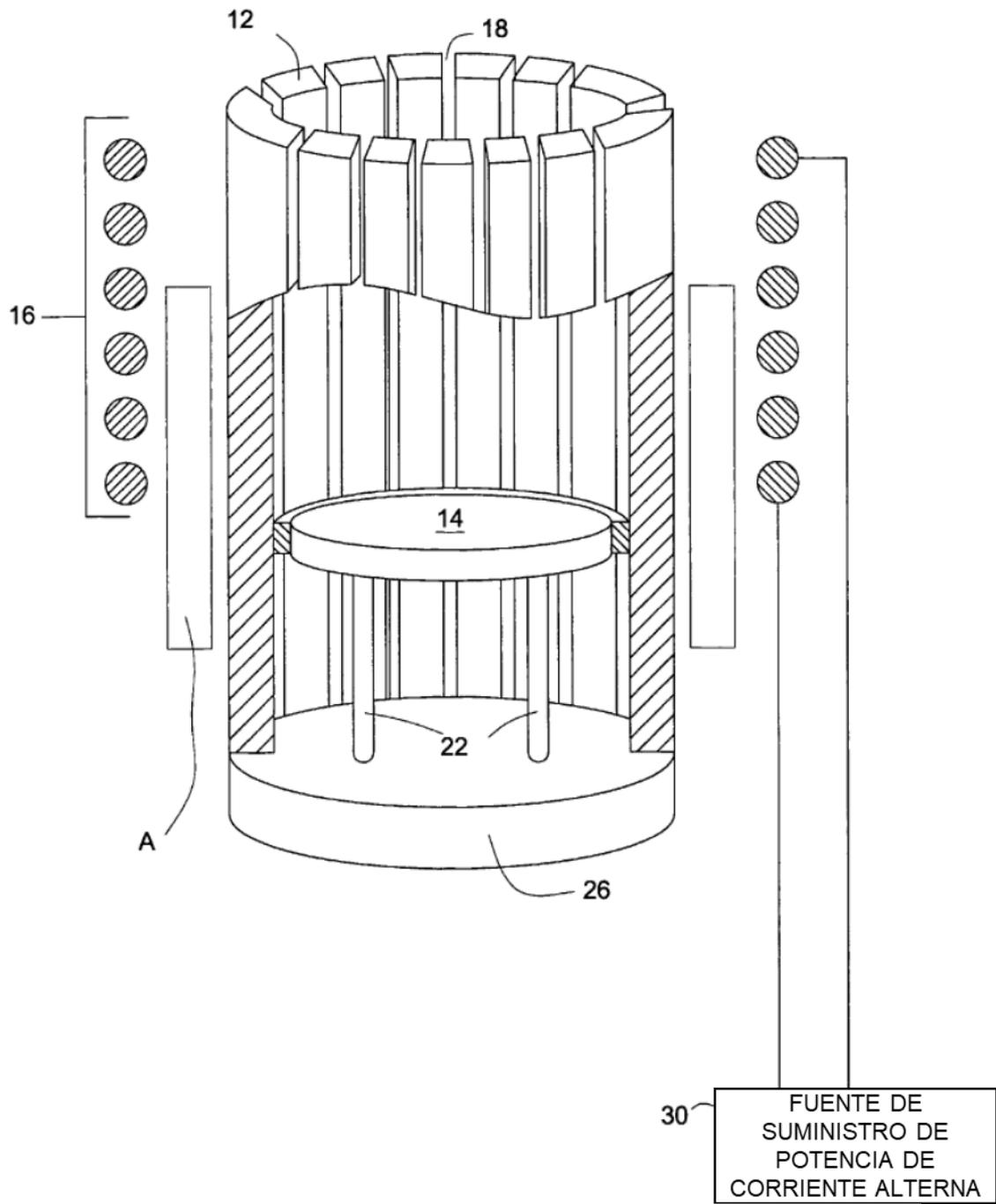


FIG. 4

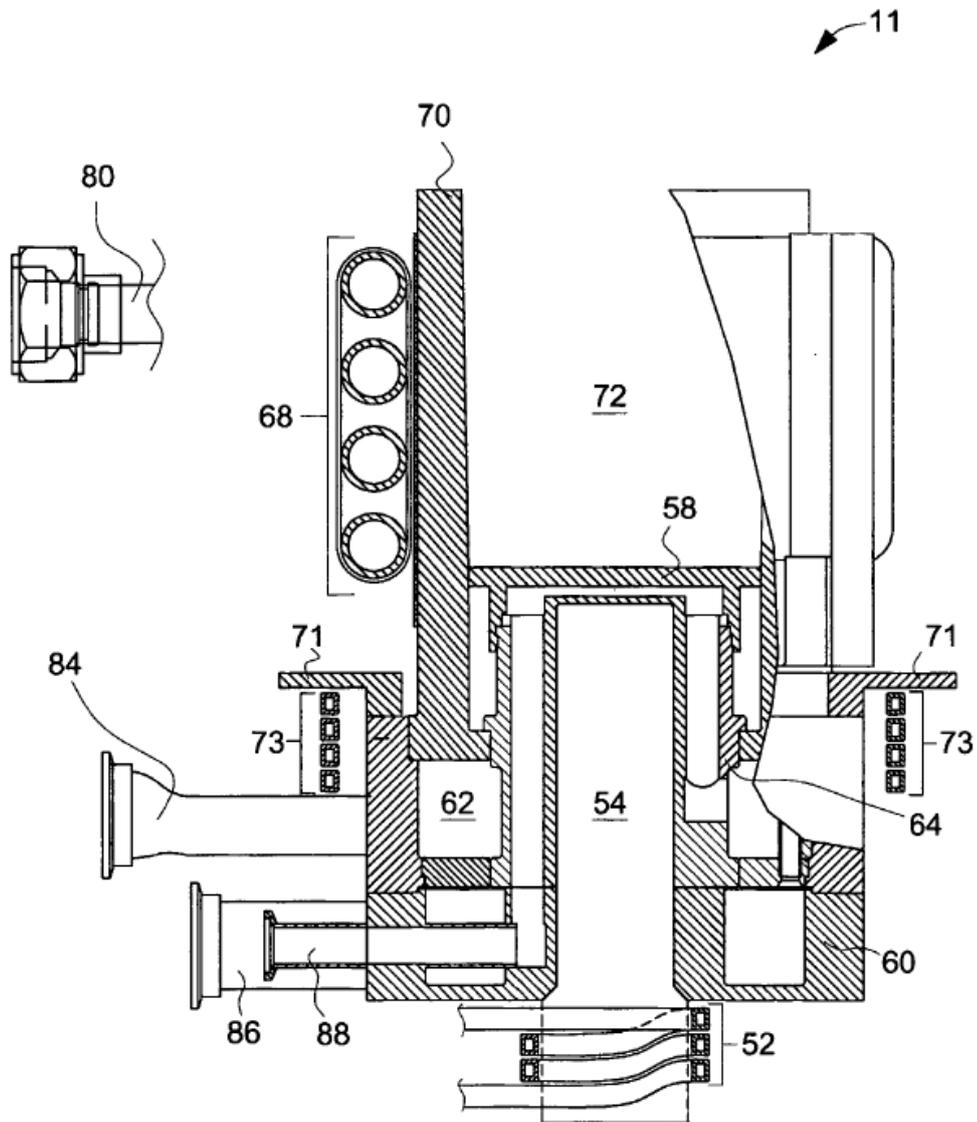


FIG. 5

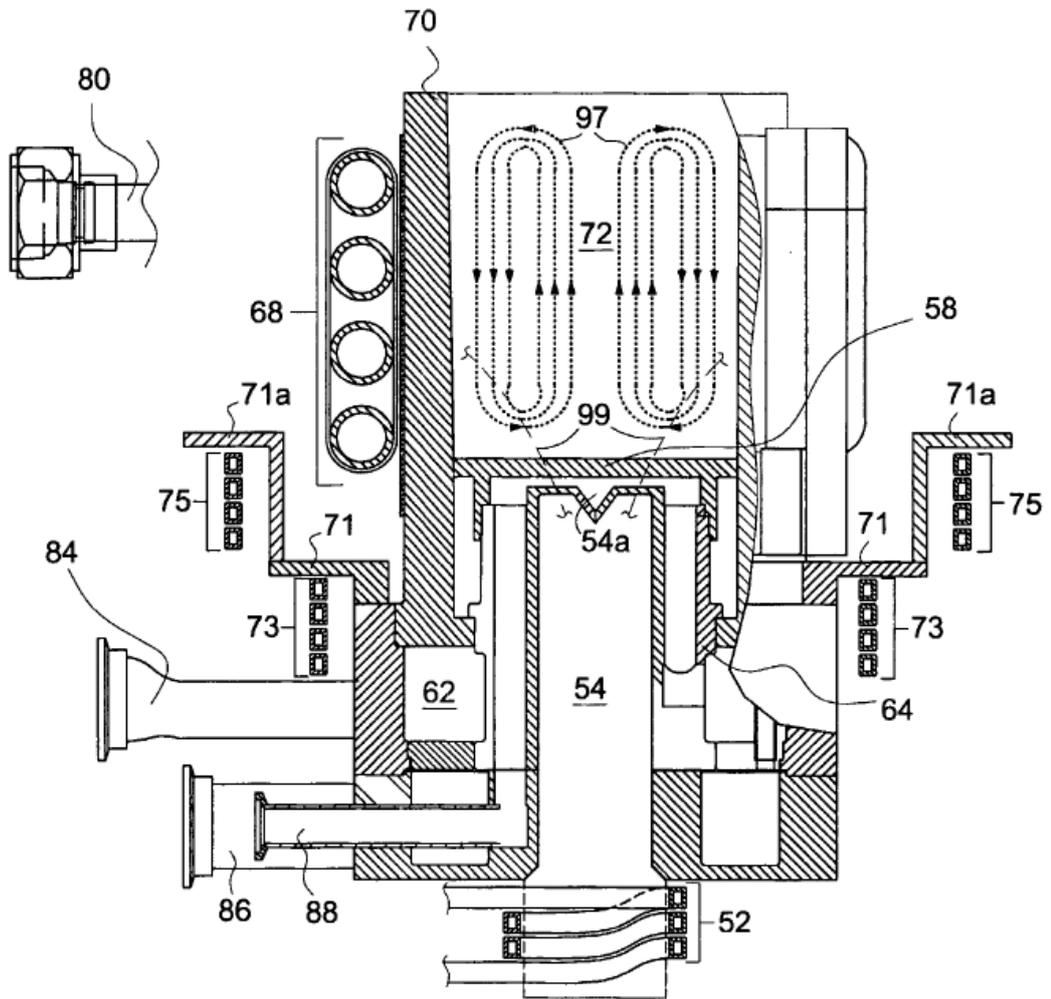


FIG. 6

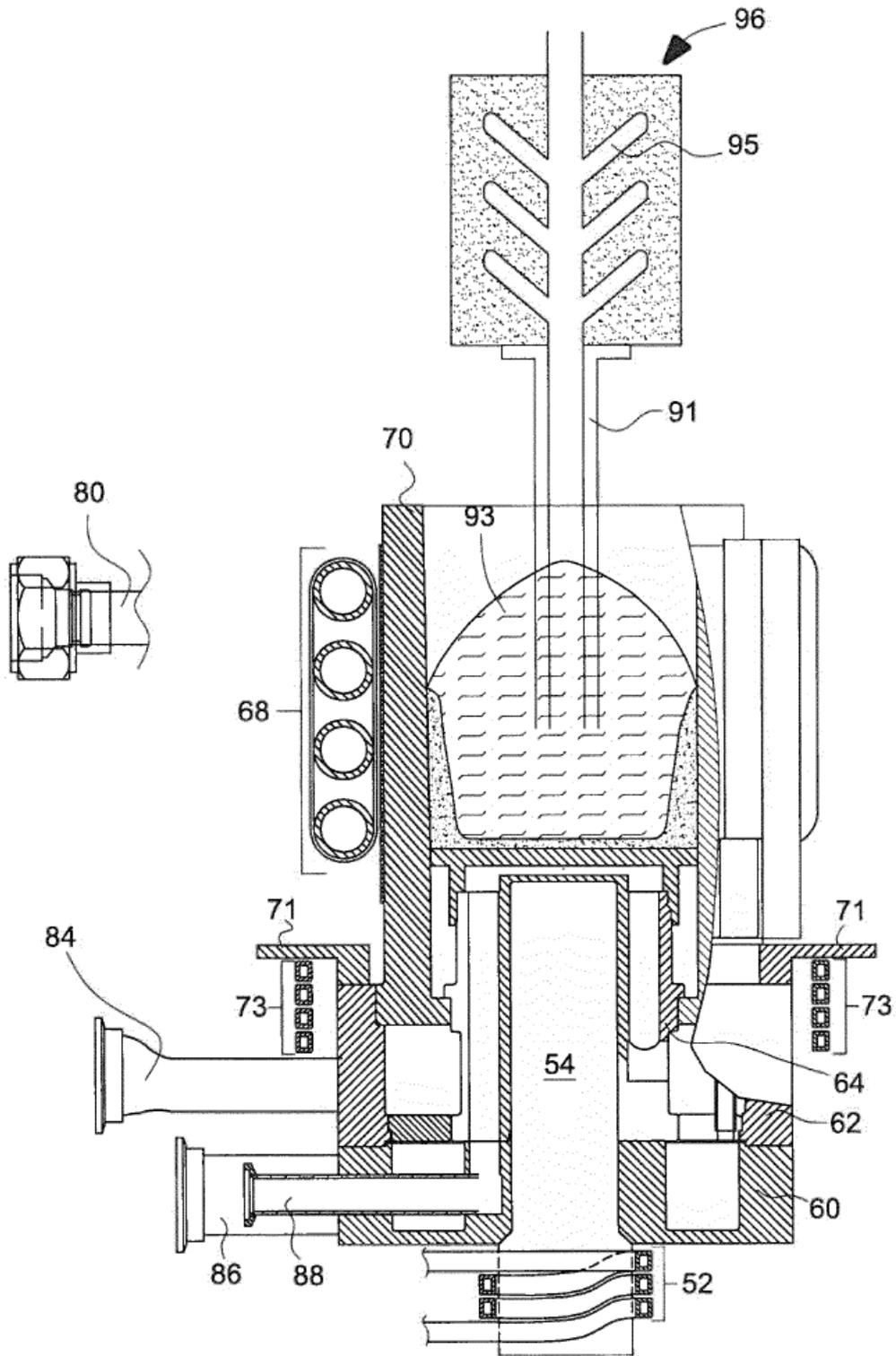


FIG. 7