

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 535 725**

51 Int. Cl.:

H05B 6/24 (2006.01)

F27B 14/06 (2006.01)

H05B 6/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.12.2009 E 09835891 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.04.2015 EP 2379975**

54 Título: **Calentamiento y fusión de materiales mediante calentamiento por inducción eléctrica de susceptores**

30 Prioridad:

26.12.2008 US 140897 P

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

14.05.2015

73 Titular/es:

**INDUCTOTHERM CORP. (100.0%)
10 Indel Avenue P.O. Box 157
Rancocas, New Jersey 08073, US**

72 Inventor/es:

**BELSH, JOSEPH T.;
PRABHU, SATYEN N.;
MORTIMER, JOHN H. y
PEYSAKHOVICH, VITALY A.**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 535 725 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

Calentamiento y fusión de materiales mediante calentamiento por inducción eléctrica de susceptores

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere al calentamiento y fusión de un material en un horno, mediante el calentamiento por inducción eléctrica de susceptores en el horno, con transferencia de calor desde los susceptores al material.

Antecedentes de la invención

Las vasijas de susceptor se pueden utilizar para calentar y fundir materiales que no son eléctricamente conductores, mediante calentamiento por inducción eléctrica de la vasija de susceptor y la transferencia de calor desde la vasija de susceptor a los materiales dentro de la vasija.

10 Es un objeto de la presente invención proporcionar un horno que se puede utilizar para calentar y fundir materiales que no son eléctricamente conductores mediante calentamiento por inducción eléctrica de los componentes de susceptor dispuestos en el horno, con transferencia de calor desde los componentes de susceptor al material en el horno.

15 El documento US 2008/267251 A1 describe un aparato de fusión por inducción eléctrica que comprende un crisol refractario encerrado dentro de aislamiento térmico. El crisol tiene un canal inferior abierto que permite a la colada en el crisol caer abajo en un horno de estabilización. Una bobina de inducción rodea la altura exterior del crisol. Se pueden disponer varias varillas de susceptor verticalmente alrededor del perímetro interior del crisol.

20 El documento US 2005/259712 A1 describe un horno con un crisol que tiene un susceptor dispuesto debajo de la parte inferior del crisol con un perímetro exterior de susceptor que es menor que el diámetro de la parte inferior del crisol. El susceptor se puede reemplazar por un elemento de calentamiento por resistencia.

Breve compendio de la invención

La presente invención proporciona un aparato según la reivindicación 1 y un método según la reivindicación 10, a los que ahora se debería hacer referencia. Las reivindicaciones 2 a 9, 11 y 12 definen características opcionales de la invención.

25 Así, en un aspecto, la presente invención es un aparato para, y el método de, calentar y fundir materiales mediante calentamiento por inducción eléctrica de los componentes de susceptor en un horno de inducción. Los componentes de susceptor comprenden al menos un conjunto de varillas de susceptor dispuestas alrededor del perímetro interior de un crisol. Se proporciona también en el crisol una base de susceptor con conexión a un extremo de las varillas de susceptor. También se pueden proporcionar uno o más tubos de susceptor dentro del crisol. El flujo de corriente alterna a través de una o más bobinas de inducción que rodean el exterior del crisol generan campos de flujo magnético que se acoplan con los componentes de susceptor para calentar inductivamente los componentes de susceptor. El calor procedente de los componentes de susceptor se transfiere al material en el horno para calentar y fundir el material. El horno puede ser de una configuración de vertido por presión o de vertido inferior. Se proporciona un dispositivo sensor de varilla de susceptor defectuosa para detectar una varilla de susceptor o tubo de susceptor dañado. En algunos ejemplos de la invención, se conecta una fuente de alimentación de calentamiento resistivo entre las varillas de susceptor, y los tubos de susceptor, si se utilizan, y la base de susceptor para proporcionar calentamiento resistivo de los materiales de susceptor. Se puede proporcionar un dispositivo de fijación de la varilla de susceptor para mantener las varillas de susceptor verticalmente en posición en el crisol. El dispositivo de fijación de la varilla de susceptor también puede incluir un mecanismo de liberación y de eliminación de la varilla de susceptor para la eliminación de una varilla de susceptor mientras el horno está calentando o fundiendo una composición colocada en el crisol. El horno puede incluir una tapa que puede formar un entorno sellado dentro del crisol.

45 En funcionamiento, la frecuencia de salida de las fuentes de energía de corriente alterna conectadas a una o más bobinas de inducción se pueden ajustar para controlar selectivamente la magnitud del calentamiento inducido a la matriz de componentes discretos de susceptor.

En algunas realizaciones de la invención, el horno puede tener una parte inferior abierta de modo que la carga sólida suministrada en la parte superior del horno sale por la parte inferior abierta del horno en forma fundida continua.

El anterior y otros aspectos de la invención se establecen en esta memoria descriptiva y en las reivindicaciones adjuntas.

50 **Breve descripción de los dibujos**

El anterior compendio breve, así como la siguiente descripción detallada de la invención, se entiende mejor cuando se lee conjuntamente con los dibujos adjuntos. Para el propósito de ilustrar la invención, se muestran en los dibujos

los ejemplos de formas de la invención que se prefieren actualmente; sin embargo, la invención no está limitada a las disposiciones e instrumentos específicos descritos en los siguientes dibujos adjuntos.

La FIG. 1(a) es una vista en planta superior abierta de un ejemplo del aparato de fundir y calentar por inducción eléctrica de la presente invención.

5 La FIG. 1(b) es una vista en alzado en sección transversal del aparato de la FIG. 1 (a) a través de la línea A-A.

La FIG. 2 es una vista en alzado en sección transversal de otro ejemplo del aparato de fundir y calentar por inducción eléctrica de la presente invención.

La FIG. 3 es una vista en alzado en sección transversal de otro ejemplo del aparato de fundir y calentar por inducción eléctrica de la presente invención.

10 La FIG. 4 es una vista en alzado en sección transversal del aparato de la FIG. 3 que ilustra un ejemplo de la eliminación de una varilla de susceptor mientras el aparato de fundir y calentar por inducción eléctrica está en funcionamiento.

La FIG. 5 es una vista en alzado en sección transversal de otro ejemplo del aparato de fundir y calentar por inducción eléctrica de la presente invención.

15 La FIG. 6 es una vista en alzado en sección transversal de otro ejemplo del aparato de fundir y calentar por inducción eléctrica de la presente invención.

La FIG. 7(a) y la Fig. 7(b) son vistas en alzado en sección transversal de ejemplos del aparato de fundir y calentar por inducción eléctrica de la presente invención que utilizan un tubo de susceptor.

20 La FIG. 8(a) y la FIG. 8(b) son vistas isométricas de tubos de susceptor alternativos que se pueden utilizar con el aparato mostrado en la FIG. 7(b).

La FIG. 9(a) y la FIG. 9(b) ilustran en vistas en elevación en sección transversal ejemplos del aparato de fundir y calentar por inducción eléctrica de la presente invención que utilizan calentamiento Joule de susceptor suplementario.

25 La FIG. 10 es una vista en alzado en sección transversal de otro ejemplo del aparato de fundir y calentar por inducción eléctrica de la presente invención.

La FIG. 11(a) es una vista en planta superior abierta de otro ejemplo del aparato de fundir y calentar por inducción eléctrica de la presente invención.

La FIG. 11(b) es una vista en elevación en sección transversal del aparato de la FIG. 11(a) a través de la línea B-B.

30 La FIG. 12 es una vista en alzado en sección transversal de otro ejemplo del aparato de fundir y calentar por inducción eléctrica de la presente invención.

Descripción detallada de la invención

Se muestra en la FIG. 1(a) y en la FIG. 1(b) un ejemplo de un aparato 10 de fundir y calentar por inducción eléctrica (horno de calentamiento por inducción) de la presente invención. El crisol 12 se forma a partir de refractario adecuado. La base de susceptor 14 se coloca en la parte inferior 12a del interior del crisol 12. Las varillas 16 de susceptor se disponen alrededor del perímetro interior del crisol. Una sección de las varillas de susceptor puede estar en contacto con la pared interior del crisol, o desplazada con respecto a la pared interior del crisol, dependiendo de los requisitos de una aplicación particular. Las varillas de susceptor se pueden fijar adecuadamente a la base de susceptor, por ejemplo, mediante una conexión roscada a la base. Una o más bobinas de inducción 18 rodean la altura exterior del crisol de modo que cuando una o más de las bobinas de inducción se conectan adecuadamente a uno o más fuentes de energía de corriente alterna (CA) (no mostradas en las figuras), el flujo magnético se genera mediante el flujo de corriente en las bobinas. El flujo se acopla con la base y las varillas de susceptor para calentar por inducción la base y las varillas. El calor de la base y las varillas de susceptor se transfiere por conducción a cualquier tipo de carga colocada en el crisol, y cuando la carga se funde, el calor se transfiere a través de la masa fundida por convección. Por lo tanto el aparato de la presente invención es particularmente adecuado para calentar y fundir mediante inducción eléctrica compuestos de materiales clasificados como semiconductores eléctricos, o compuestos que tiene una conductividad eléctrica menor que la de un material semiconductor. Si la carga es un material que cambia de no conductor de la electricidad en el estado sólido (como carga suministrada al horno) a eléctricamente conductor en el estado fundido, tal como el silicio, además de la transferencia de calor desde la base y las varillas de susceptor, una vez que la carga se funde, el material fundido puede, al menos parcialmente, calentarse inductivamente al acoplarse con el campo de flujo que penetra alrededor de las varillas de susceptor en el interior del crisol. En estos ejemplos de la invención, con frecuencias de salida adecuadamente seleccionadas y en fase desde una o más de las fuentes de alimentación hasta una o más de las bobinas de inducción, se puede establecer una acción de agitación electromagnética en el material fundido. Se

pueden proporcionar las derivaciones electromagnéticas 20 alrededor del perímetro exterior de una o más de las bobinas de inducción para dirigir el flujo magnético hacia el interior del crisol y la base y las varillas de susceptor.

5 La base y las varillas de susceptor se pueden formar a partir de cualquier material de susceptor adecuado tal como una composición de grafito. Si el horno de inducción se utiliza para calentar o fundir un material que puede contaminarse por contacto con la composición de grafito, por ejemplo silicio, las superficies exteriores de la base de susceptor y de las varillas se puede tratar para formar una capa límite de protección sobre la base y las varillas. De manera alternativa, las superficies exteriores de la base de susceptor y de las varillas se pueden cubrir con un material de revestimiento adecuado, tal como sílice, para proteger el material fundido de la contaminación con el material de susceptor.

Aunque se hayan dispuesto dieciséis varillas de susceptor alrededor del perímetro interior del crisol como se muestra en la FIG. 1(a) y en la FIG. 1(b), se puede utilizar cualquier otro número de varillas de susceptor en otros ejemplos de la invención, como apropiado para una aplicación particular.

15 En algunos ejemplos de la invención puede no utilizarse la base 14 de susceptor, y las varillas 16 de susceptor se pueden conectar adecuadamente a la base del crisol 12.

Se muestra en la FIG. 2 otro ejemplo de la presente invención del aparato de fundir y calentar por inducción eléctrica. En este ejemplo, el horno de inducción es un horno de vertido por la parte inferior en el que se proporciona un dispositivo de grifo inferior 22 adecuado (mostrado en esquema) en la base 12a del crisol para la extracción por la parte inferior del material fundido desde el horno. El dispositivo de grifo puede ser cualquier dispositivo de grifo adecuado, tal como un tapón reemplazable, una válvula mecánica, una válvula controlada electromagnéticamente o un tapón de solidificación de material fundido que se abre selectivamente (no se solidifica) al suministrar energía de CA a una bobina de inducción que rodea el tapón de solidificación de material fundido.

25 Se muestra en la FIG. 3 otro ejemplo de la presente invención del aparato de fundir y calentar por inducción eléctrica. En este ejemplo, se utiliza la tapa 24 como un método de retener las varillas 16 de susceptor en su lugar, y de facilitar la eliminación de una o más de las varillas de susceptor. La abertura opcional 24a en la tapa 24, cuya abertura puede sellarse opcionalmente, se puede utilizar como una lumbrera de carga para cargar la carga adicional en el horno de inducción, así como la masa fundida se extrae del horno de inducción, por ejemplo, a través del dispositivo de grifo inferior 22.

30 El dispositivo de fijación 26 de la varilla de susceptor, tal como, pero no limitado a, un conjunto de anillo de compresión, que se une a la tapa 24 se puede utilizar para retener cada varilla de susceptor en su lugar mientras que la tapa se coloca sobre el horno, como se muestra en la FIG. 3. Se puede bloquear una varilla de susceptor en la posición de funcionamiento, como se muestra en la FIG. 3 al bloquear el anillo de compresión 26a alrededor de la varilla de susceptor. El anillo de compresión puede servir como un mecanismo de liberación y eliminación de la varilla de susceptor. La sustitución de una o más de las varillas de susceptor puede llevarse a cabo mientras el horno está en funcionamiento y se carga, al menos parcialmente, con carga y material fundido al desbloquear el anillo de compresión asociado con la varilla de susceptor que se va a eliminar y elevar la varilla de susceptor a través de la tapa 24, como se muestra, por ejemplo, en la FIG. 4. En esta disposición, un método adecuado para asegurar cada varilla de susceptor a la base de susceptor es a través de una conexión roscada de tal manera que la varilla de susceptor que se va a eliminar podría girarse en el extremo de la varilla 16a por encima de la tapa para liberar la varilla de la base y elevarla fuera del horno mientras el horno está en funcionamiento. Se pueden utilizar otros métodos para lograr una conexión física, y opcionalmente una eléctrica, entre una o más de las varillas de susceptor y la base; por ejemplo, el extremo de una varilla se puede forzar a fijarse en la base, o los insertos clave del perímetro se pueden utilizar en la interconexión entre el extremo de una varilla y la base.

45 Una varilla de susceptor puede llegar a ser defectuosa y requerir la sustitución mientras el horno está en funcionamiento. Por ejemplo, si las varillas de susceptor se forman a partir de una composición de grafito, una varilla puede fracturarse. Se pueden proporcionar dispositivos sensores adecuados de varilla de susceptor defectuosa para detectar el daño a una varilla. Por ejemplo, la impedancia del circuito de carga de una o más de las fuentes de alimentación cambiará notablemente si una varilla está dañada; el dispositivo sensor de varilla susceptor defectuosa puede controlar la impedancia del circuito de carga, e indicar los cambios anormales en la impedancia del circuito de carga que reflejan una varilla de susceptor defectuosa. Además, se puede utilizar un sistema de medición de megaohmios como un sensor de varilla de susceptor defectuosa para detectar cambios en la resistencia entre el extremo de cada varilla individual que sobresale fuera de la tapa y la base de susceptor.

En otros ejemplos de la invención, la retención de los susceptores se puede llevar a cabo mediante un sistema de retención independiente de la tapa, por ejemplo, como se muestra en la FIG. 5.

55 En la FIG. 6 se ilustra otro ejemplo de la presente invención del aparato de fundir y calentar por inducción eléctrica. En este ejemplo, el horno es un horno de vertido por presión en el que la tapa 25 forma una cubierta sellada sobre el material fundido en el horno. Se puede inyectar un gas a presión en el horno a través de la lumbrera 30 sobre la

superficie del material fundido en el horno para forzar al material fundido por el tubo de salida 32 y hasta un recipiente adecuado, un reguero de colada o un sistema de tuberías.

La FIG. 7(a) y la FIG. 7(b) ilustran ejemplos de la presente invención del aparato de fundir y calentar por inducción eléctrica en los que además del susceptor 14 de la base y de los susceptores 16 de varilla del perímetro, hay un tubo 17 de susceptor colocado centralmente que tiene una sección transversal en forma anillo. Esta disposición es particularmente ventajosa cuando se utilizan uno o más fuentes de alimentación de frecuencia variable para suministrar energía a una o más de las bobinas de inducción que rodean el crisol del horno. Dependiendo de tamaño físico de las varillas de susceptor del perímetro y del tubo de susceptor central, las magnitudes relativas del calor inducido en las varillas de susceptor del perímetro y del tubo de susceptor central se pueden ajustar cambiando la frecuencia de salida de una o más de las fuentes de alimentación conectadas a una o más de las bobinas de inducción que rodean el crisol. Por ejemplo, con el horno inicialmente cargado con carga sólida, puede ser deseable calentar inductivamente las regiones exteriores de las varillas de susceptor del perímetro y el tubo central de susceptor a aproximadamente la misma temperatura máxima. Los sensores de temperatura, tales como termopares, se pueden incrustar a lo largo de la longitud de las varillas de susceptor y del tubo para detectar la temperatura de las varillas y del tubo a medida que se calientan por inducción hasta la temperatura máxima de funcionamiento. Una vez que las varillas de susceptor y el tubo se llevan hasta la temperatura máxima de funcionamiento detectada por los sensores de temperatura, puede ser deseable inducir una mayor magnitud de calor en las varillas de susceptor del perímetro que en el tubo de susceptor central, ya que la pérdida de calor desde las varillas de susceptor del perímetro exterior será mayor que la pérdida de calor en el tubo colocado centralmente. Al reducir la frecuencia de salida de una o más de las fuentes de alimentación, se puede aumentar el calor inducido en las varillas de susceptor, mientras que el calor inducido en el tubo de susceptor se reduce. Es decir, más generalmente, cambiar la frecuencia de salida de una o más de las fuentes de alimentación cambiará la magnitud relativa de calor inducido entre las varillas de susceptor del perímetro y el tubo de susceptor central. Se puede almacenar un perfil del proceso de calentamiento deseado en forma digital en un dispositivo de almacenamiento de datos electrónico adecuado y ejecutarse mediante un programa de ordenador en un dispositivo de procesamiento sensible a las temperaturas detectadas por los sensores de temperatura en los susceptores durante el proceso de calentamiento. En la FIG. 7(a) se conecta una única bobina de inducción 18 a una única fuente de alimentación; por lo tanto, el cambio en la frecuencia de salida cambia la relación de calor inducido a lo largo de toda la longitud de las varillas y tubos de susceptor. En la FIG. 7(b) las bobinas de inducción 18a, 18b y 18c, cada una rodea una altura parcial del crisol. En consecuencia, proporcionar energía a cada una de las tres bobinas de inducción a partir de una fuente de energía de salida de frecuencia variable por separado, permite una mayor flexibilidad en el control de la relación de calor inducido a lo largo de toda la longitud de las varillas y tubos de susceptor. Alternativamente, cambiar la salida de una única fuente de alimentación entre las tres bobinas, también se puede utilizar en otros ejemplos de la invención. Además, se puede utilizar la modulación del ancho de pulso para controlar la magnitud de energía variable suministrada a cada una de una o más de las bobinas de inducción.

En algunos ejemplos de la invención, como se ilustra en la FIG. 7(a), el volumen A dentro de la región anular del tubo 17 de susceptor central se puede llenar con refractario mientras la carga se carga en el volumen B anular entre la pared exterior del tubo de susceptor y la pared interior del refractario 12 del crisol. En otros ejemplos de la invención, como se ilustra en la FIG. 7(b), la carga se puede suministrar al volumen A, así como al volumen B. Cuando la carga se suministra al volumen B del tubo de susceptor puede tener una o más aberturas a lo largo de su longitud para permitir a la carga que se ha fundido fluir en el volumen B. La FIG. 8(a) y la Fig. 8(b) ilustran dos ejemplos no limitativos de aberturas que se pueden utilizar en el tubo de susceptor. Para el tubo de susceptor 17a en la figura. 8(a), las aberturas 17a' se concentran cerca de la parte inferior del tubo, adyacentes a la interfaz del tubo con el susceptor 14 de la base, mientras que en la FIG. 8(b), las aberturas 17b' en el tubo susceptor 17b se distribuyen a lo largo de la longitud media inferior del tubo.

La descarga de material fundido desde los hornos de inducción ilustrados en la FIG. 7(a) y la FIG. 7(b) puede ser por cualquier método adecuado, por ejemplo, como se ilustra en otros ejemplos de la invención. El horno puede ser un horno de vertido basculante, un horno de vertido por presión o un horno de drenaje inferior. Para los hornos de drenaje inferior, se puede proporcionar un dispositivo 22a de grifo lateral inferior adecuado (se muestra en esquema en la FIG. 7(a)) en el crisol. El dispositivo de grifo puede ser cualquier dispositivo de grifo adecuado, tal como un tapón reemplazable, una válvula mecánica, una válvula controlada electromagnéticamente o un tapón de solidificación de material fundido que se abre selectivamente (no solidifica) mediante el suministro de alimentación de CA a una bobina de inducción que rodea el tapón de solidificación de material fundido. Alternativamente, como se muestra en la FIG. 7(b), se puede proporcionar un dispositivo 22b de grifo anular alrededor de todo el perímetro de la parte inferior del crisol, mediante el cual el material fundido se puede alimentar a otro aparato de procesado directamente desde el horno de inducción, o a un cucharón de retención caliente u horno de retención, para transferirlo posteriormente a otro aparato de procesado.

Mientras que hay un único tubo de susceptor colocado centralmente utilizado en los ejemplos de la invención mostrada en la FIG. 7(a) y la Fig. 7(b), en otros ejemplos de la invención puede haber más de un tubo de susceptor dispuesto en diferentes ubicaciones dentro del perímetro interno establecido por las varillas 16 de susceptor en el crisol. Alternativamente, se pueden utilizar varillas de susceptor suplementarias dentro de los límites de las varillas 16 de susceptor, ya sea con, o sin, tubos de susceptor.

5 En cualquier ejemplo de la invención que utiliza una base de susceptor y una multitud de varillas de susceptor, con o sin un tubo de susceptor, en el que se mantiene la continuidad eléctrica entre la conexión de una varilla de susceptor y la base de susceptor, se puede aplicar, bien una fuente de corriente continua o de alterna, PS, entre dos o más varillas 16 de susceptor, como se muestra, por ejemplo, en la FIG. 9(a), o entre la base 14 de susceptor y una o más varillas 16 de susceptor, como se ilustra en la FIG. 9(b). Si se utiliza un tubo de susceptor, entonces también se puede incluir en el circuito de carga a la fuente de alimentación. Con esta disposición, se puede utilizar el calentamiento Joule del material susceptor entre las conexiones de la fuente de alimentación, para complementar el calentamiento inducido de los materiales de susceptor, como se ha descrito anteriormente. Para mejorar el calentamiento Joule en el material susceptor, se pueden incrustar conductores eléctricos, tales como conductores de cobre, en el material susceptor.

10 En todos los ejemplos de la invención, se pueden proporcionar uno o más de los susceptores 15 de anillo opcionales a lo largo de la altura del interior del horno, para mejorar el calentamiento en una sección vertical particular del material dentro del crisol, como se muestra en la FIG. 10.

15 Aunque los susceptores del perímetro en los anteriores ejemplos de la invención se configuran como varillas cilíndricas, se pueden utilizar otras formas según se requiera en una aplicación particular. Por ejemplo, una configuración alternativa aceptable son susceptores 16c del perímetro con forma generalmente rectangular, como se muestra en la FIG. 11(a) y la FIG. 11(b), se puede utilizar bien con, o sin un tubo 17c de susceptor, en cualquiera de los demás ejemplos de esta invención.

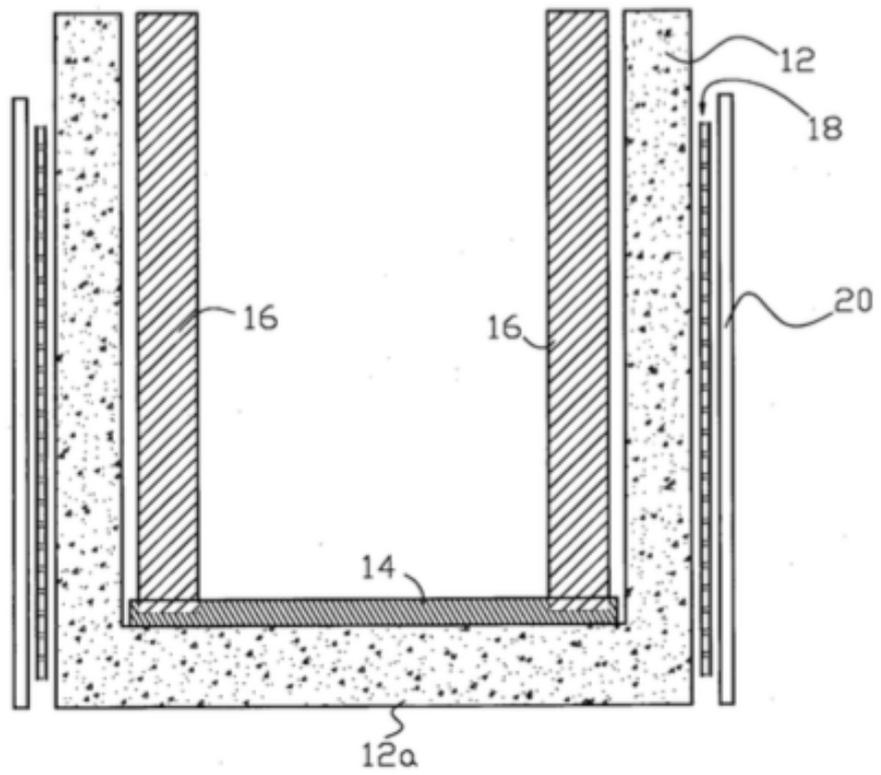
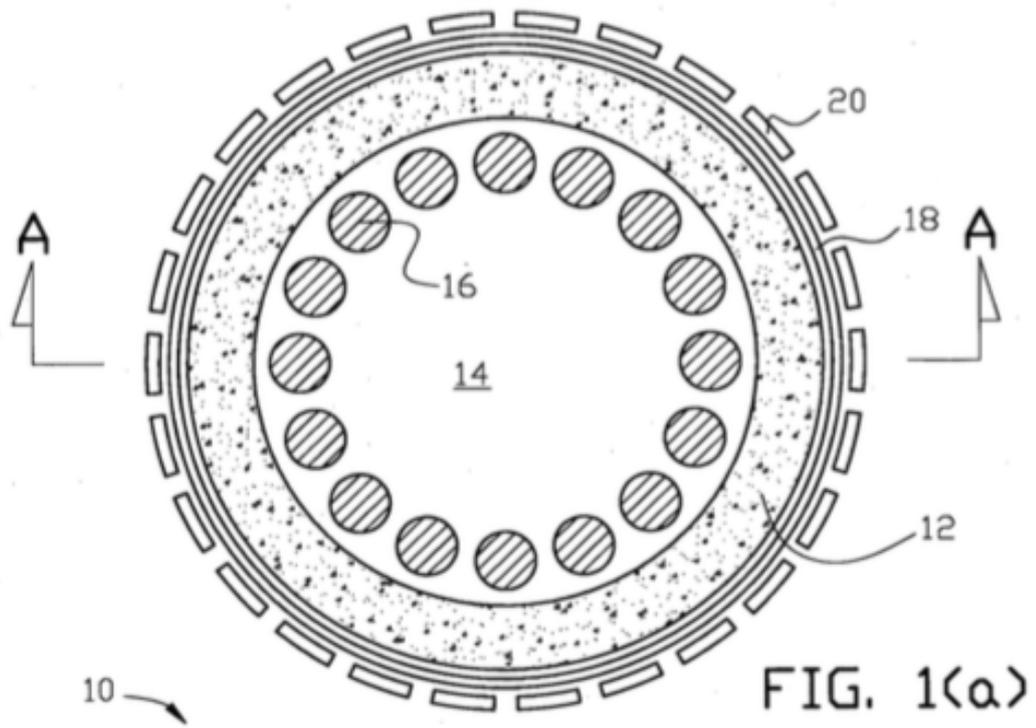
20 Si el tiempo de procesado de la carga sólida al estado fundido lo permite, el horno de calentamiento por inducción eléctrica y de fusión de la presente invención se puede utilizar como un dispositivo 60 de descarga de material fundido continuo, como se muestra en la FIG. 12. En esta disposición, la velocidad de carga sólida alimentada en la parte superior del horno 50 se coordina con la velocidad de fusión a lo largo de la longitud, L, del horno, de modo que en la salida 50a inferior abierta, toda la carga sólida ha hecho la transición al estado fundido, y puede ser la gravedad, u otro modo de alimentación, en otros equipos de procesado, o un recipiente de retención, tal como un cucharón u horno de retención 52, que puede calentarse inductivamente, o de otro diseño adecuado.

25 En todos los ejemplos de la presente invención del aparato de fundir y calentar por inducción eléctrica, el calentamiento y/o la fusión pueden llevarse a cabo, bien en atmósfera ambiente o en un ambiente controlado, tal como una cámara de vacío, o bajo una atmósfera de gas inerte.

30 Los anteriores ejemplos de la invención se han proporcionado simplemente con el propósito de la explicación y de ninguna manera deben interpretarse como una limitación de la presente invención. Aunque la invención ha sido descrita con respecto a varios ejemplos o realizaciones, las palabras utilizadas en la presente memoria son palabras de descripción e ilustración, en lugar de palabras de limitaciones. Aunque la invención se ha descrito en la presente memoria con respecto a medios, materiales y realizaciones particulares, la invención no pretende limitarse a los datos descritos en la presente memoria; más bien, la invención se extiende a todas las estructuras, métodos y usos funcionalmente equivalentes. Los expertos en la técnica, que tienen el beneficio de las enseñanzas de la presente memoria, pueden efectuar numerosas modificaciones a los mismos, y se pueden hacer cambios sin apartarse del alcance de la invención en sus aspectos.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de calentar y fundir por inducción eléctrica que comprende:
 un crisol (12) formado de refractario;
 una base (14) de susceptor dispuesta en una parte inferior (12a) del crisol;
 5 al menos una bobina (18) de inducción que al menos rodea parcialmente la altura exterior del crisol; y
 una multitud de varillas (16) de susceptor dispuestas verticalmente alrededor del perímetro interior del
 crisol, estando cada una de la multitud de varillas de susceptor conectada eléctricamente a la base de
 susceptor;
 10 caracterizado por
 un dispositivo sensor de varilla de susceptor defectuosa para detectar una varilla de susceptor dañada.
2. Un aparato según la reivindicación 1, que incluye al menos una fuente de alimentación de calentamiento
 resistivo (PS) conectada a una o más de la multitud de varillas de susceptor y a la base de susceptor.
3. Un aparato según la reivindicación 1 o 2, que incluye un dispositivo de grifo (22) inferior para la retirada por
 la parte inferior de una composición de material fundido desde el crisol.
- 15 4. Un aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que incluye un dispositivo de fijación de la varilla
 de susceptor para mantener al menos una de la multitud de varillas de susceptor en una posición vertical en
 el crisol.
5. Un aparato según la reivindicación 4, en el que el dispositivo de fijación de la varilla de susceptor
 20 comprende un mecanismo para liberar y eliminar la varilla de susceptor para la eliminación de al menos una
 de la multitud de varillas de susceptor mientras el aparato está calentando o fundiendo una composición
 colocada en el crisol.
6. Un aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que incluye una tapa (25) dispuesta sobre la
 abertura superior del crisol para formar un ambiente sellado dentro del crisol.
7. Un aparato según la reivindicación 6, que incluye un tubo (32) de salida orientado generalmente de forma
 25 vertical que tiene un extremo inferior dispuesto en el crisol y el extremo superior opuesto abierto a la
 atmósfera, y un suministro (30) de un gas para la inyección de gas en el ambiente sellado dentro del crisol.
8. Un aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que incluye uno o más tubos (17, 17a, 17b) de
 susceptor dispuestos verticalmente en el crisol dentro del perímetro interior de la multitud de varillas (16) de
 susceptor.
- 30 9. Un aparato según la reivindicación 8, en el que uno o más de los tubos de susceptor comprende un único
 tubo de susceptor dispuesto centralmente en el interior del crisol, ya sea con un interior de volumen abierto
 o con un interior lleno de refractario.
10. Un método de calentar y fundir una composición no conductora eléctricamente en al menos el estado
 35 sólido, comprendiendo el método las etapas de:
 colocar al menos una carga parcialmente sólida de la composición en un crisol (12) formado de refractario
 que tiene una disposición de componentes de susceptor discretos, dispuestos verticalmente dentro del
 volumen interior del crisol y una base (14) de susceptor dispuesta en una parte inferior (12a) del crisol,
 estando cada uno de los componentes de susceptor discretos, de la disposición de componentes de
 susceptor discretos, conectado eléctricamente a la base de susceptor; y
 40 ajustar la frecuencia de salida de una o más de las fuentes de alimentación de corriente alterna conectadas
 a una o más de las bobinas (18) de inducción que rodean la altura exterior del crisol (12), para controlar
 selectivamente el calor inducido en la disposición de componentes de susceptor discretos;
 caracterizado por que
 detecta una varilla de susceptor dañada con un sensor de varilla de susceptor defectuosa.
- 45 11. Un método según la reivindicación 10, en el que la disposición de componentes de susceptor discreta
 comprende una multitud de varillas (16) de susceptor dispuestas verticalmente alrededor del perímetro
 interior del crisol (12) y un tubo (17) de susceptor dispuesto centralmente dentro del interior del crisol, la
 etapa de ajustar la frecuencia de salida de una o más de las fuentes de alimentación de corriente alterna
 comprende controlar selectivamente la magnitud de calor inducido entre la multitud de varillas (16) de
 50 susceptor y el tubo (17) de susceptor.
12. Un método según la reivindicación 11, en el que el crisol tiene una parte inferior abierta y el interior del tubo
 (17) de susceptor se llena con refractario, incluyendo el método la etapa de fundir la carga parcialmente
 sólida dentro del crisol para formar una composición fundida en la parte inferior abierta del crisol.



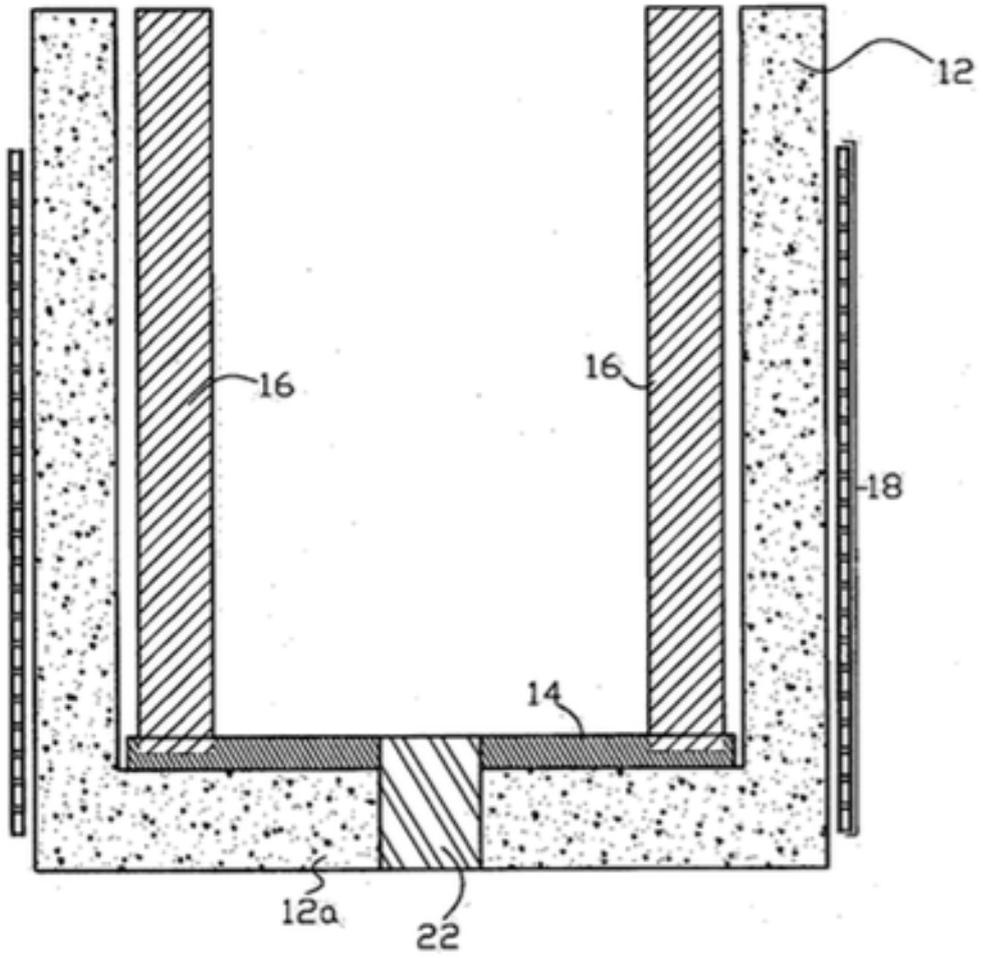


FIG. 2

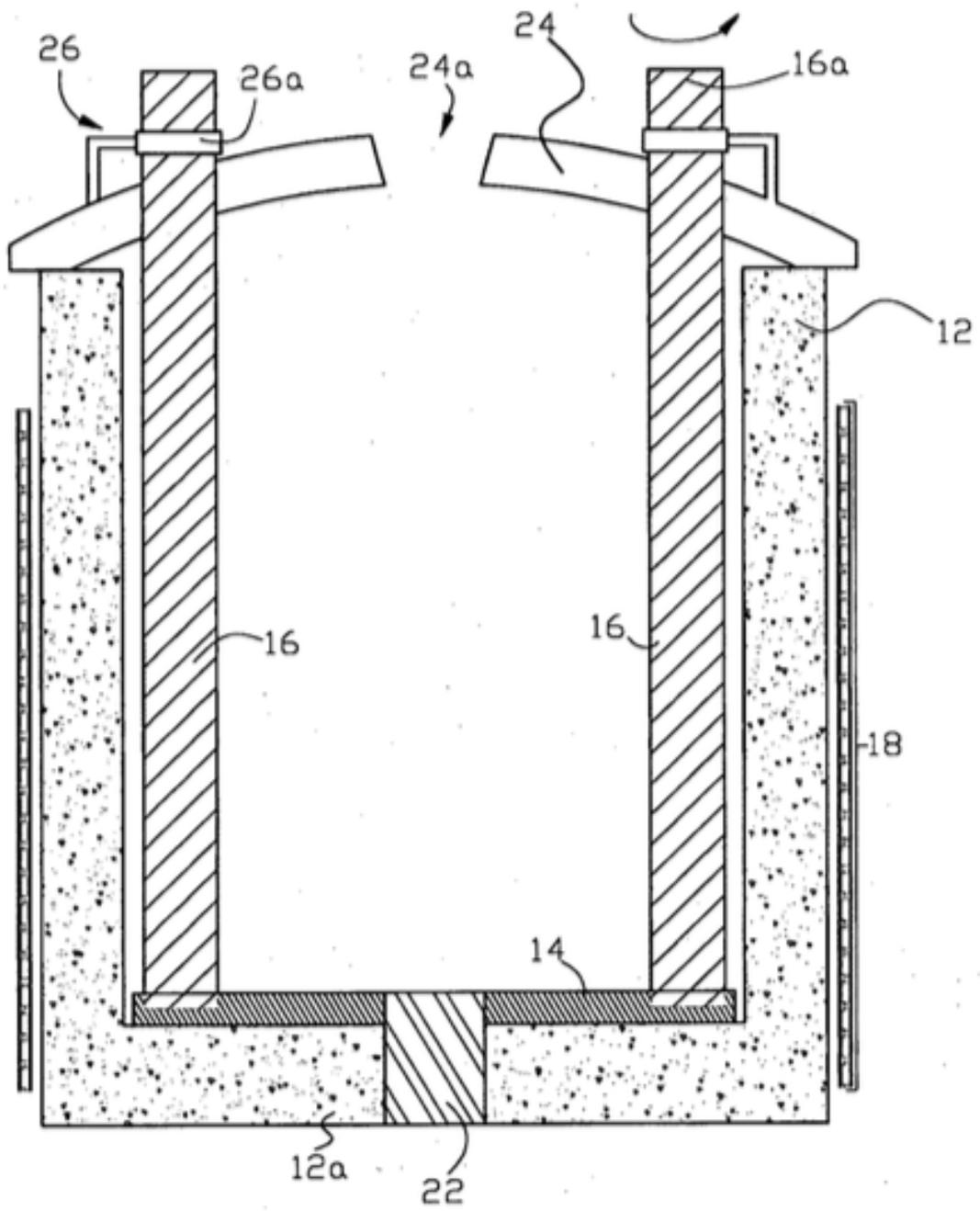


FIG. 3

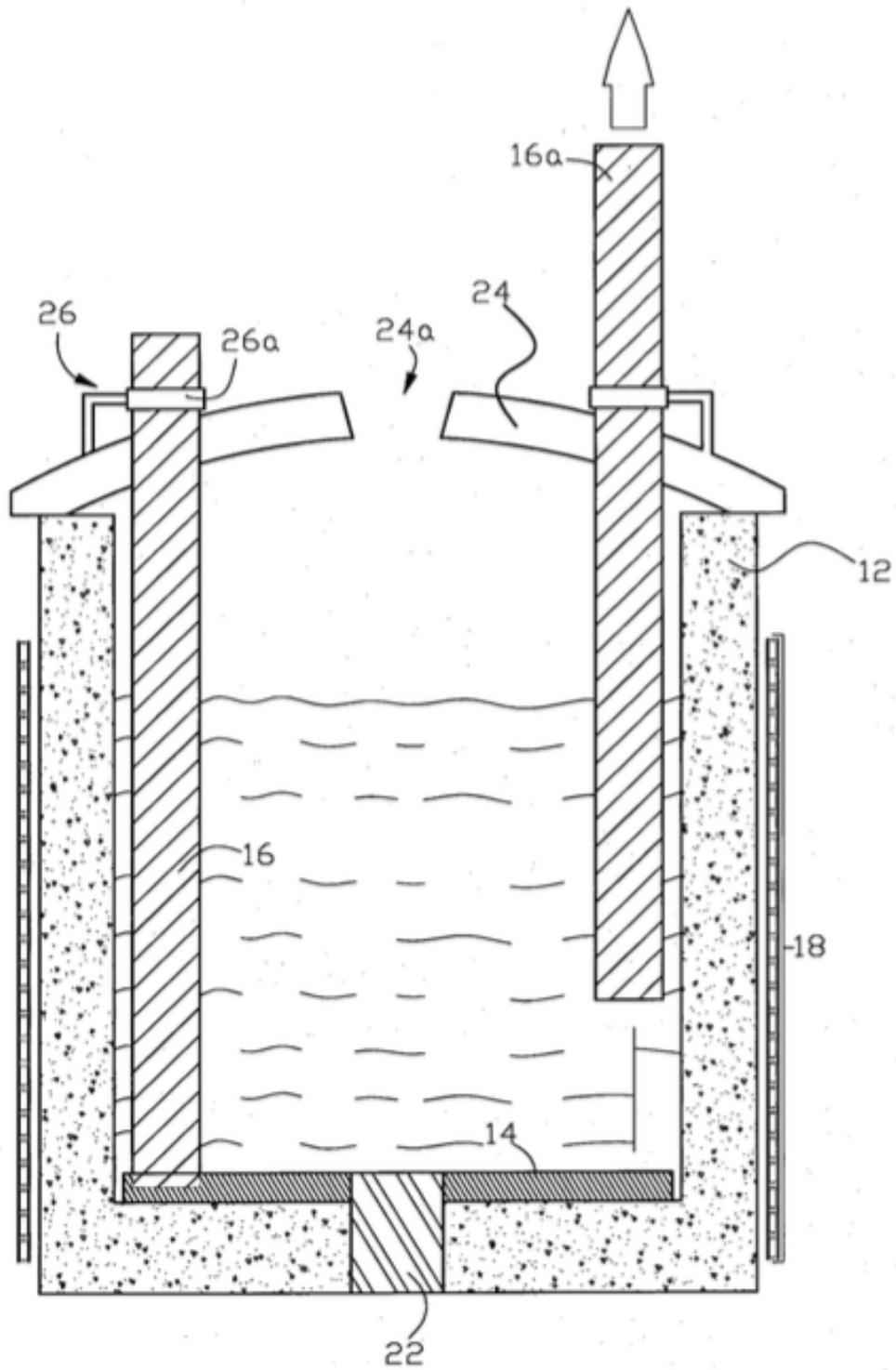


FIG. 4

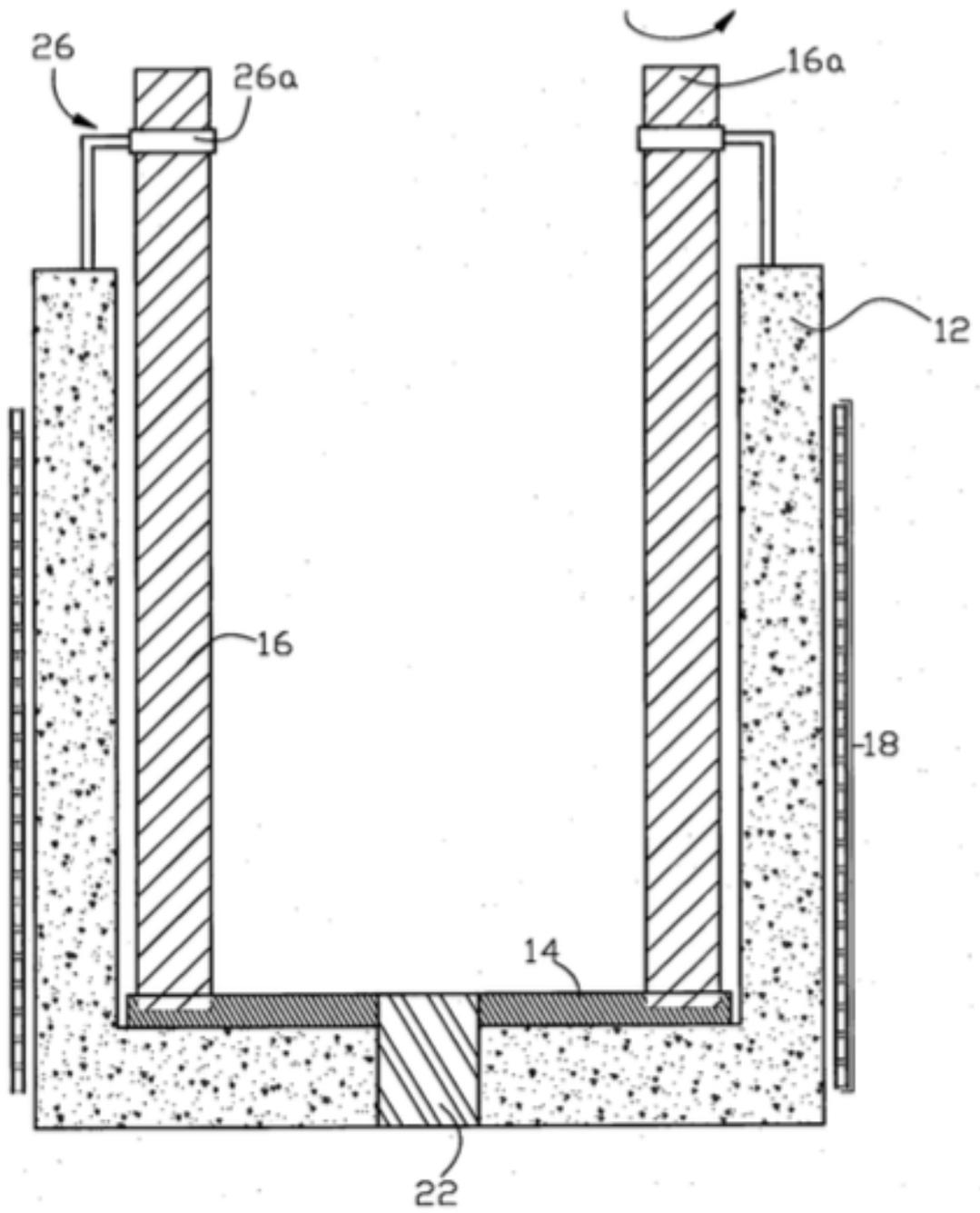


FIG. 5

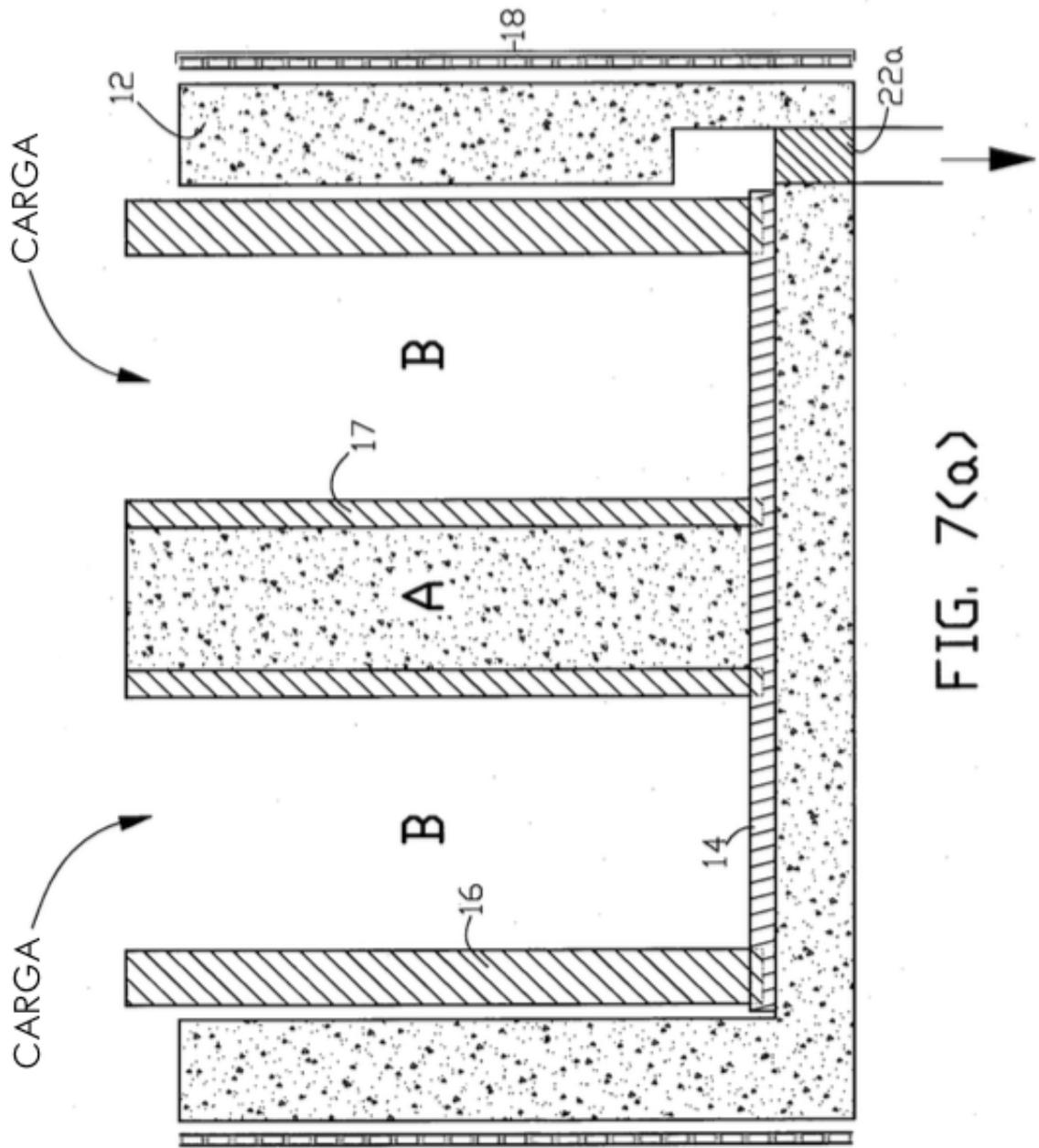


FIG. 7(a)

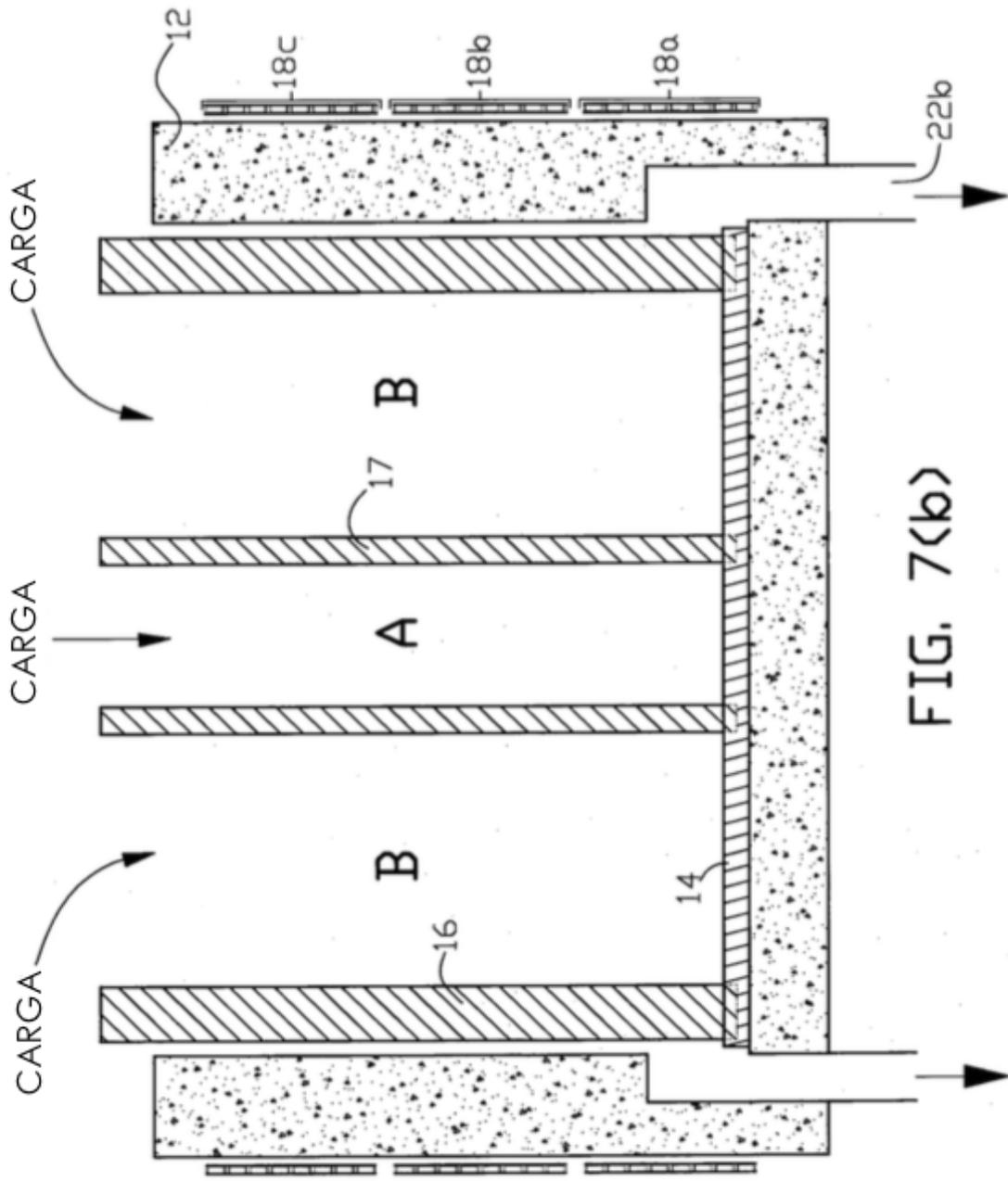


FIG. 7(b)

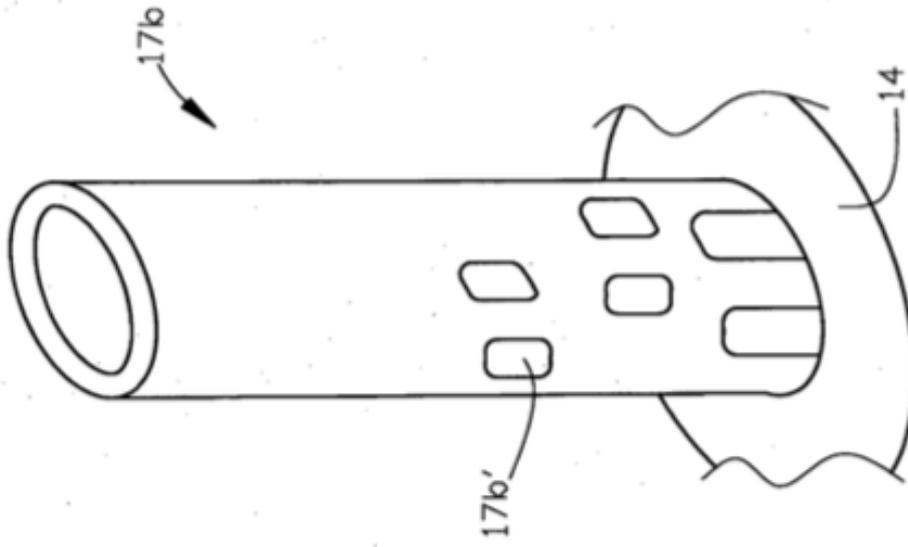


FIG. 8(b)

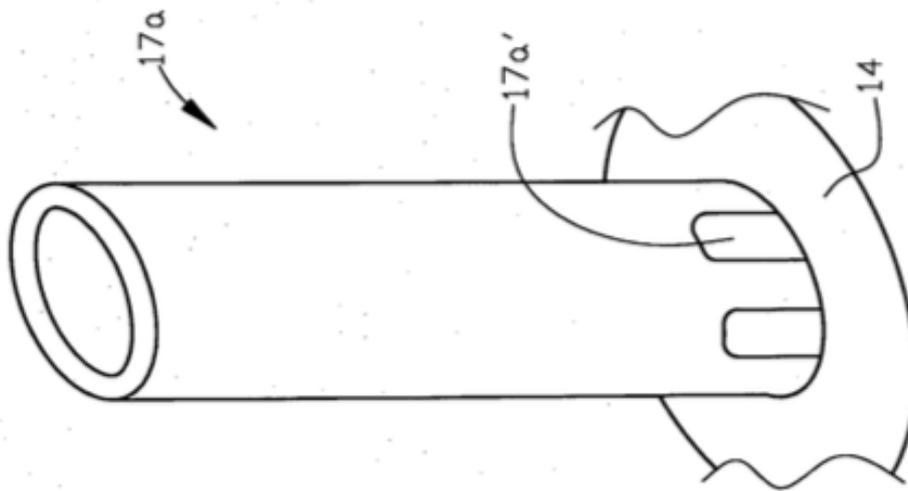
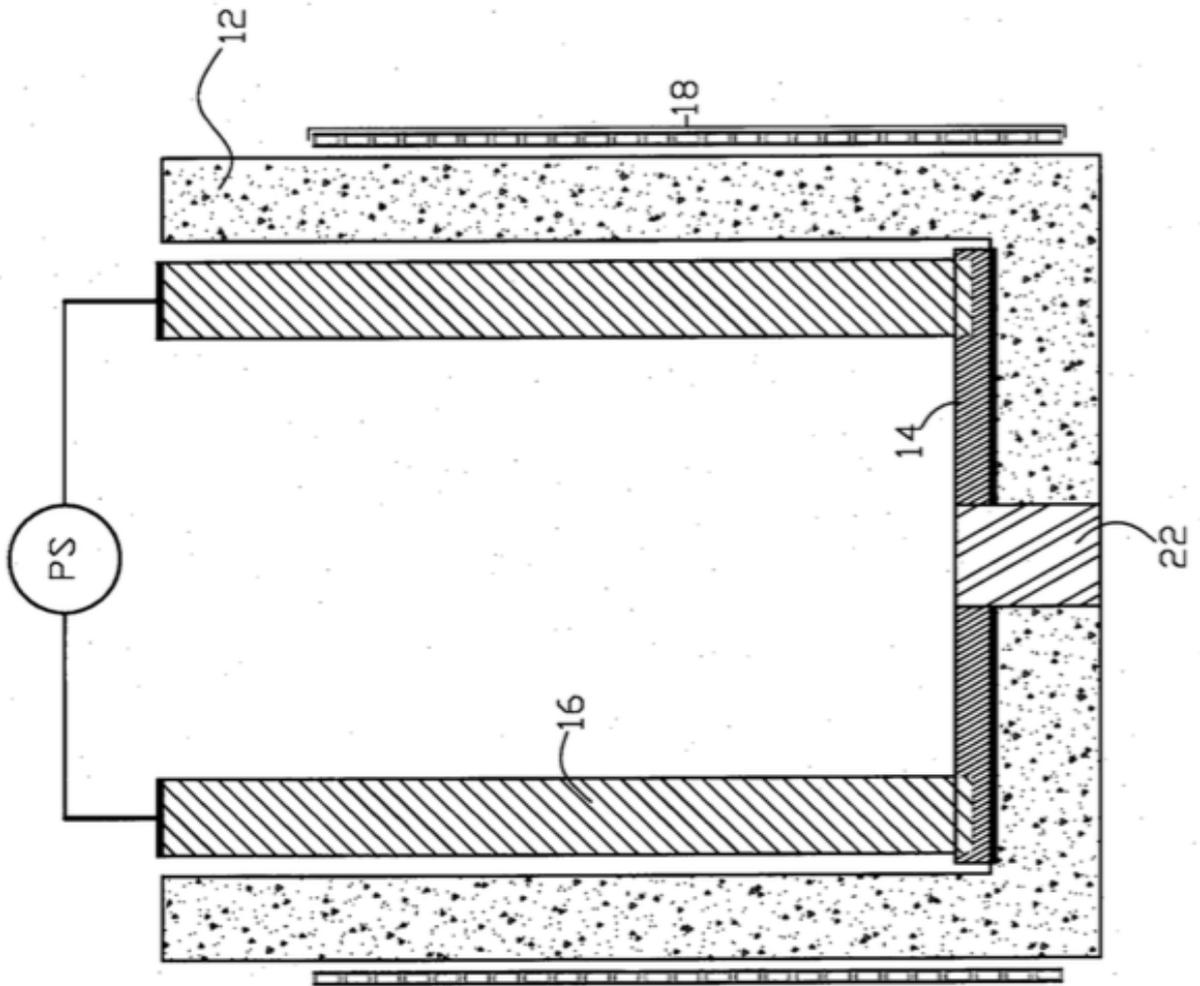


FIG. 8(a)

FIG. 9(a)



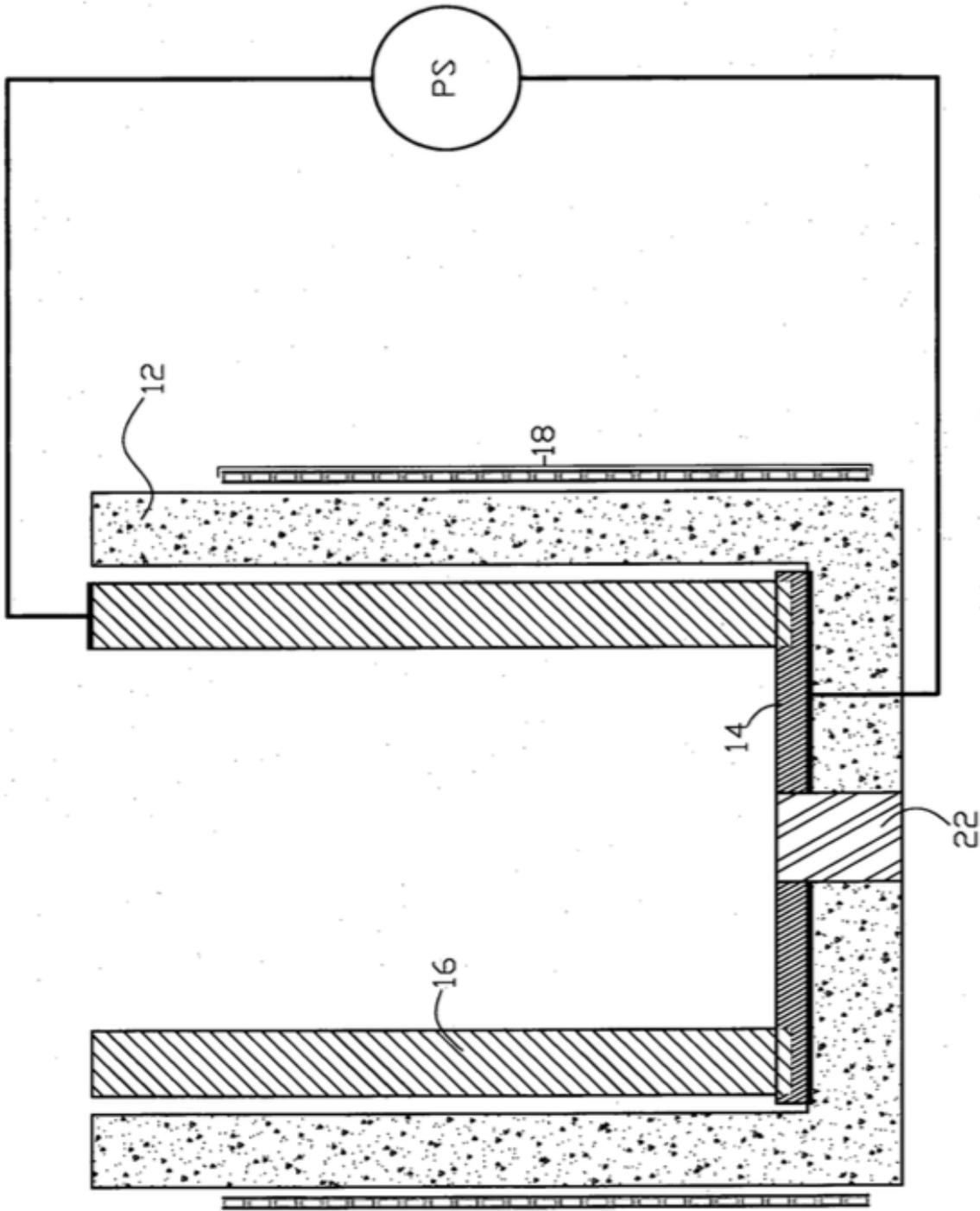


FIG. 9(b)

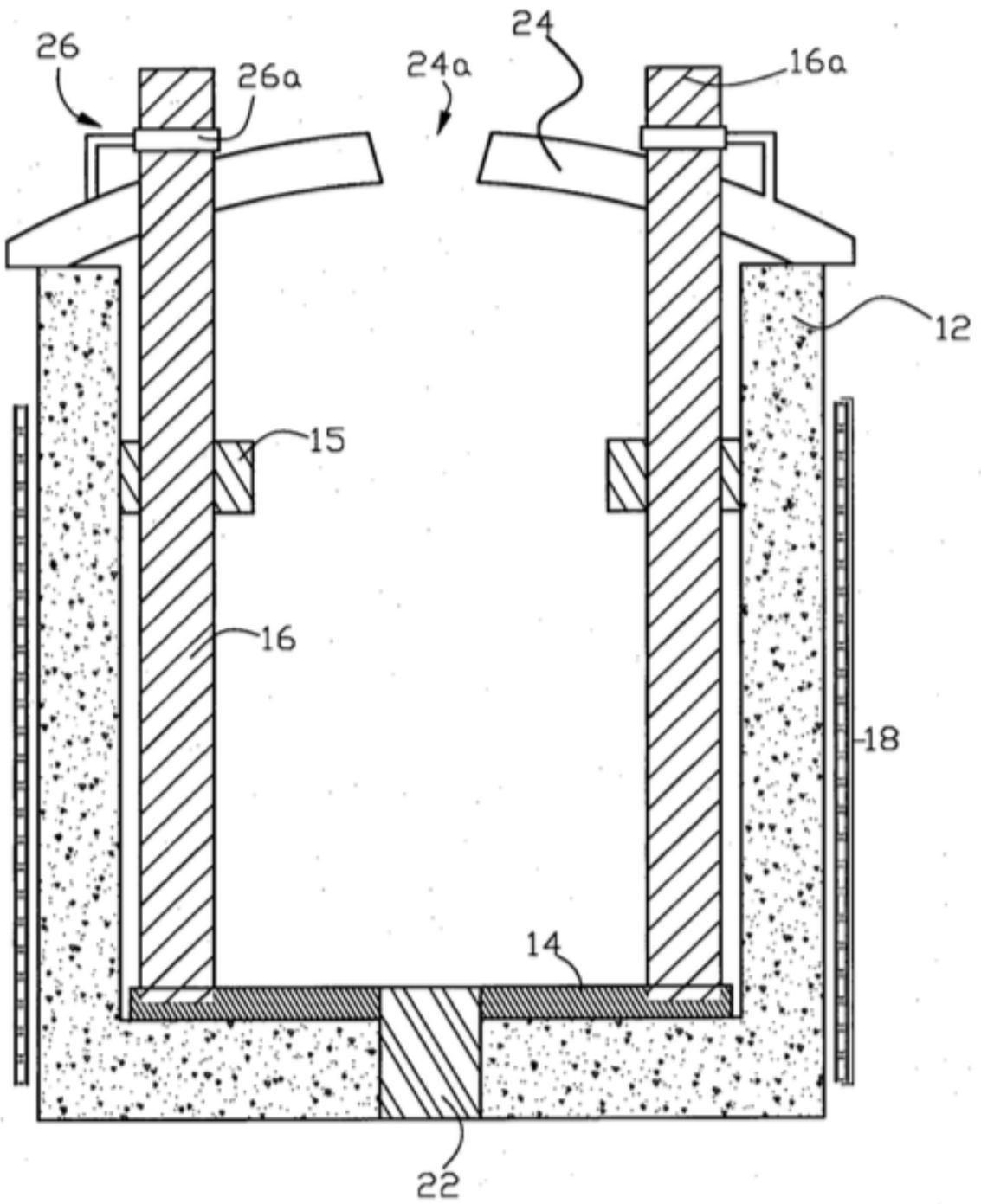


FIG. 10

