

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 635 145**

51 Int. Cl.:

**F27B 14/06** (2006.01)

**F27B 14/10** (2006.01)

**F27B 14/14** (2006.01)

**F27D 11/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.02.2014 PCT/EP2014/053027**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.08.2014 WO14125107**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.02.2014 E 14706804 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.04.2017 EP 2956727**

54 Título: **Horno de inducción y procedimiento de tratamiento de los desechos metálicos que hay que almacenar**

30 Prioridad:

**18.02.2013 FR 1351358**

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

**02.10.2017**

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET  
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (50.0%)  
25, Rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D"  
75015 Paris, FR y  
AREVA NC (50.0%)**

72 Inventor/es:

**BOEN, ROGER y  
BONNETIER, ARMAND**

74 Agente/Representante:

**LINAGE GONZÁLEZ, Rafael**

ES 2 635 145 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 y procedimiento de tratamiento de los desechos metálicos que hay que almacenar

5 La invención presente se refiere a un horno de inducción, destinado a la fusión de desechos metálicos, así como a un procedimiento de tratamiento de desechos metálicos de este tipo.

10 Ciertos desechos metálicos u otros deben almacenarse durante largos períodos de tiempo en contenedores apropiados, debido a una fracción peligrosa, contaminada o tóxica, que contienen. La fusión preliminar de los desechos es ventajosa con el fin de reducir su volumen. Además, permite distribuir los elementos contaminantes más reducibles que el metal en todo el volumen del lingote que se obtiene finalmente, y transferir los elementos contaminantes más oxidables que el metal en una escoria de composición adaptada, si posible a base de óxido. Se obtienen de este modo buenas propiedades de confinamiento, reduciendo la superficie libre del metal expuesta a la corrosión, y de este modo el riesgo de oxidación futura de los elementos peligrosos.

15 Los hornos de fusión son de varios tipos. Se usa a menudo el calentamiento por inducción, y un devanado inductor está dispuesto entonces alrededor de un crisol en el que se vierten los desechos. El inductor produce corrientes eléctricas de alta intensidad en los desechos y un calentamiento suficiente para la fusión. El crisol debe enfriarse a menudo mediante una circulación permanente de fluido frío, normalmente el agua, que ocupa unos conductos acoplados al crisol o taladrados en el crisol. Un ejemplo de un horno de inducción de este tipo se describe en la patente FR-2835620-A.

25 El diseñador se enfrenta a diversas dificultades. El crisol se somete primero a grandes esfuerzos térmicos, químicos y mecánicos, producidos por el calor del baño fundido, separando sus propiedades corrosivas y las dilataciones diferenciales consecutivas a la menor distancia el baño fundido del circuito de enfriamiento. La cara interior del crisol, que es la más expuesta a los daños ya que está bañada por el baño fundido, está constituida a menudo por un revestimiento refractario de cerámica, siendo el resto del crisol metálico, sin embargo, subsisten riesgos de desprendimiento entre el metal y la cerámica, o de desmenuzamiento de la misma, siendo las dilataciones diferenciales particularmente grandes en su interfaz. Cabe protegerse todavía contra una rotura del crisol, que llevaría a una mezcla entre el baño fundido y el agua de enfriamiento. Los esfuerzos a los que se somete el crisol pueden conducir a su desgaste precoz o incluso a su rotura, después a una mezcla arriesgada entre el baño fundido y el agua de enfriamiento.

35 Cabe protegerse todavía contra un consumo excesivo de energía de inducción por una producción de corrientes parásitas en la pared del crisol. Se suele remediar esto mediante una sectorización del crisol, es decir su división en sectores angulares, separados por unas juntas aislantes, pero todavía aparecen dificultades adicionales en la cara interna del crisol, en la que estas juntas están expuestas al baño fundido, y los problemas que resultan de las dilataciones diferenciales se empeoran por la multiplicación de interfaces de diferentes materiales. Una concepción de este tipo se expone en WO-03/067166-A, en la que los sectores están revestidos de cerámica, sin que se resuelvan todos los problemas encontrados.

45 Otras dificultades aparecen durante el procedimiento. El metal fundido puede colarse en una lingotera, al final de la fusión, o progresivamente retirado en forma de un lingote, durante este proceso. Los primeros de estos procedimientos pueden llevar a una mezcla no deseada entre el metal y su escoria durante la colada, mientras que los segundos, que se basan en el uso de crisoles fríos, implican una solidificación del metal cerca del orificio de extracción del lingote, y por tanto una gran proximidad entre el metal fundido y el agua de enfriamiento, y peligros incrementados de accidentes consecutivos a una rotura del crisol. En todos los procedimientos, cabe mantener también la estanqueidad de la instalación para evitar la difusión de los vapores producidos con la fusión del metal.

50 La invención permite resolver al menos parcialmente estas diferentes dificultades. Se basa ante todo en la necesidad de un procedimiento de fusión seguro, en el que se eliminarán los riesgos de accidentes por derrame y dispersión del baño fundido, durante la fusión, a causa de una rotura del crisol, o durante la colada final. Nos hemos preocupado también, concibiendo la invención, por obtener un crisol con pérdidas eléctricas aceptables y que es, asimismo, robusto y duradero.

55 Se conservó en primer lugar la concepción, usual para los tratamientos por fusión de desechos de la energía nuclear, de un crisol que tiene una envoltura metálica. Las envolturas metálicas no están sujetas a roturas imprevistas y es fácil incorporar en ellas un circuito de enfriamiento, pero las pérdidas de energía eléctrica por inducción son, en ellas, excesivas, a menos que se construyan en sectores separados por unas juntas aislantes, como se ha visto; pero se debe asegurar la protección de las juntas en la proximidad del baño fundido.

65 Una idea característica de la invención ha sido por tanto la de disociar el dispositivo entre la envoltura construida de este modo y un recipiente interior a la envoltura que constituye ahora el crisol. Este último incluye una capa interna refractaria, una capa externa metálica, y en general una capa intermedia. La capa interna asegura el confinamiento de la materia en fusión a pesar de las temperaturas alcanzadas, la capa externa asegura la resistencia mecánica y la cohesión del crisol contra los riesgos de rotura de la materia refractaria, y la capa intermedia se elige para

absorber las dilataciones térmicas diferenciales y de ser posible para proporcionar un aislamiento térmico que protege el metal de la capa externa contra calentamientos excesivos. El crisol es continuo en circunferencia, a diferencia de la envoltura, con el fin de garantizar su cohesión y su impermeabilidad. La capa externa se somete entonces a pérdidas eléctricas que podrían ser grandes, pero que son en realidad aceptables e incluso pocas, con la condición de respetar ciertas reglas de dimensionamiento descubiertas por los inventores. Y el crisol, cuya estructura es simple, puede atribuirse a una carga única, y servir de recipiente definitivo para esta carga después de la fusión: se levanta fuera de la envoltura y se transporta, después se sustituye por un crisol nuevo para la carga siguiente. Desaparece la etapa delicada de colada de los desechos fundidos, y la continuidad de estructura del crisol permanece apreciable para garantizar el confinamiento de los desechos y oponerse a las fugas de radiaciones. Los crisoles llenos se bajan sencillamente en unos recipientes estancos de almacenamiento previstos para ellos. El crisol se monta en la envoltura con un juego que subsiste a todas las temperaturas, ya que la capa externa del crisol y la envoltura son normalmente de metales idénticos, o similares en cuanto a los coeficientes de dilatación.

La división del dispositivo en dos partes encajadas la una en la otra (crisol y envoltura) ya se ha practicado y expuesto en el documento US-7197061-B, en el que no obstante la envoltura y el crisol son ambos de material refractario, lo que se excluye en este documento para aplicaciones que exigen una alta seguridad, y en el documento DE-2243769-A, cuyo contenido es análogo.

La invención se refiere por tanto, de forma general, a un horno de fusión de desechos metálicos de inducción, de bajo consumo energético y de alto nivel de seguridad, que comprende un inductor, una envoltura metálica circular dividida en sectores separados por unas capas aislantes de la electricidad, rodeada por el inductor y provista de conductos de fluido de enfriamiento, una solera que se extiende debajo de la envoltura, caracterizado porque comprende un crisol interior a la envoltura y constituido por una pared circular y por un fondo, estando el crisol puesto sobre la solera, rodeado por la envoltura, y separado de la envoltura por un juego, continuo y homogéneo en circunferencia y compuesto por tres capas concéntricas de las que una capa interna refractaria, una capa intermedia compuesta por una materia comprimible y una capa externa metálica.

El procedimiento típico de la invención, que usa este horno, se caracteriza porque los desechos se dejan hasta su solidificación en el crisol, después de haberse vertido y fundido en el mismo, y luego, el crisol se retira y se almacena con los desechos.

La capa interna resiste al calor del baño fundido con la que está en contacto, la capa externa contribuye a la cohesión del crisol, y la capa intermedia limita las transferencias térmicas hacia el exterior. La capa interna debe resistir a la corrosión por el metal líquido durante un periodo de tiempo limitado (de unas horas a unos días); puede ser de cerámica (a base de carburo de silicio por ejemplo); la capa intermedia puede ser de materia comprimible (con el fin de absorber las dilataciones térmicas diferenciales sin tensiones en el crisol), y la capa externa, preferentemente - al igual que la envoltura metálica - de un metal mal conductor de la electricidad, con el fin de reducir en la misma las corrientes inducidas.

La solera puede estar desunida de la envoltura, con el fin de poder bajarse y de descubrir el crisol, después de la solidificación, lo que permite retirarlo sin dificultad.

Los diferentes aspectos de la invención se describirán ahora más ampliamente con relación a la Figura única, que representa una realización dada únicamente a título ilustrativo.

El dispositivo de fusión comprende un crisol 1 multicapa, que comprende una pared lateral 2 cilíndrica y un fondo 3 unido a dicha pared lateral 2. La pared lateral 2 y el fondo 3 comprenden cada uno tres capas que van desde el interior hacia el exterior, y primero una capa interna 4 de material resistente a la corrosión por el metal del baño fundido 20, presente en el crisol 1, mientras dure la operación, habitualmente de unas horas; este material debe ser poco conductor de la electricidad para no apantallar demasiado el campo electromagnético inducido, destinado a calentar la carga del crisol. El crisol 1 comprende también una capa intermedia 5, como aislante térmico, para limitar el flujo térmico hacia el exterior; el aislante es un poco comprimible, sin perder sus propiedades de aislamiento térmico, para adaptarse a las dilataciones diferenciales entre la capa interna 4 y una capa externa 6 entre las que está interpuesto; puede tratarse de un fieltro compuesto de fibras refractarias. Para terminar, la capa externa 6 sirve para la delimitación y para la manipulación del crisol 1; es metálica, de nuevo de un metal que no es un conductor eléctrico muy bueno; que no está en contacto con el metal fundido 20 y que está a una temperatura menos caliente que la capa interna 4, servirá de barrera de confinamiento, en caso de rotura de esta última.

El crisol 1 está colocado en un horno constituido primero por una envoltura 7 circular, que rodea el crisol 1 y mantiene su superficie exterior a una temperatura tan baja como sea posible, de unos cientos de grados. La envoltura 7 es también de un metal poco conductor de la electricidad. Con el fin de reducir más las pérdidas de campo magnético, la envoltura 7 está dividida ventajosamente en sectores 8, que se extienden en sectores de círculo y separados por unas juntas aislantes 9, como se conoce en la técnica anterior, lo que suprime casi completamente las corrientes inducidas. El enfriamiento puede asegurarse mediante una circulación interna de agua, o incluso de aire, por unos canales no representados, excavados en los sectores 8. La potencia perdida en los sectores 8 llega a ser insignificante si el diámetro equivalente de cada sector 8 (diámetro equivalente D calculado a

## ES 2 635 145 T3

5 partir de la superficie S de su sección,  $D = (4.S/II)^{0.5}$  es inferior a la mitad de la profundidad de penetración P de las corrientes inducidas en el material constitutivo de los sectores ( $P = 503$  (resistividad del material del sector / frecuencia de las corrientes inducidas)<sup>0.5</sup>). La envoltura 7 asegura el confinamiento del metal fundido en caso de rotura del crisol 1. La envoltura 7 es bien adecuada para la estanqueidad con respecto a los gases producidos por la fusión de la carga del crisol 1, y puede completarse a tal fin con una cubierta, no representada, puesta sobre la misma. Se señala que el crisol 1 no es sin embargo sectorizado sino continuo y homogéneo en su circunferencia, lo que le permite resistir bien al baño fundido.

10 Un solenoide inductor 10 rodea la envoltura 7; está alimentado por una corriente alterna y crea el campo electromagnético de calentamiento de la carga, hasta la licuefacción.

15 Se va a desarrollar ahora cómo el dispositivo está optimizado en cuanto a la moderación de las pérdidas eléctricas, esencialmente en la capa externa 6 de la envoltura 7. Para evaluar la frecuencia a partir de la que la potencia perdida en la envoltura 7 es insignificante, unas medidas de resistencia se han efectuado a diferentes frecuencias en una envoltura 7 sectorizada.

20 La envoltura está constituida por 32 sectores de diámetro equivalente igual a 2,4 cm y de una altura de 40 cm, que forma un cilindro de diámetro interior de 33,2 cm. Los sectores 8 están constituidos de acero inoxidable de una resistividad de  $70 \cdot 10^{-8}$  Ohm.m.

Esta envoltura 7 está rodeada por un inductor 10 de 17 espiras de diámetro interior de 38 cm, y de una altura de 30 cm. Su sección es igual a  $50 \text{ mm}^2$ .

25 La resistencia de esta envoltura 7 vista por el inductor 10 y por tanto la potencia que se disipa en el mismo se ha medido a diferentes frecuencias y comparado con la resistencia del inductor 10 y por tanto con la potencia disipada en el inductor 10 (tabla 1).

Tabla 1

FRECUENCIA EN Hz	RESISTENCIA DEL INDUCTOR EN m.Ω	RESISTENCIA DE LA ENVOLTURA EN m.Ω	RELACIÓN RESISTENCIA DE LA ENVOLTURA SOBRE RESISTENCIA DEL INDUCTOR	PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN DE LAS CORRIENTES EN LA ENVOLTURA EN cm
30	6,84	0	0	7,68
50	6,95	0	0	5,95
60	7	0	0	5,43
80	7	0,02	0,003	4,71
100	7	0,06	0,009	4,21
120	6,85	0,12	0,017	3,84
140	6,76	0,18	0,027	3,56
160	6,88	0,23	0,033	3,33
180	7,03	0,27	0,038	3,14
200	7	0,32	0,045	2,98
400	7	1,10	0,157	2,1
800	7,3	4,74	0,649	1,49
1600	7	18,5	2,643	1,05

30 Se puede comprobar que la potencia perdida en la envoltura 7 sectorizada llega a ser insignificante (inferior a un 0,3 % de la potencia perdida en el inductor no optimizado) cuando la profundidad de penetración de las corrientes inducidas es superior a dos veces el diámetro equivalente de los sectores.

35 Un especialista de la inducción habría podido pensar que bastaría con que la profundidad de penetración de las corrientes inducidas fuera igual al diámetro equivalente de los sectores 8 para minimizar las pérdidas, ahora bien se comprueba que a 200 Hz (para una profundidad de penetración de las corrientes inducidas igual a 2,98 cm que hay que comparar con los 2,4 cm de diámetro equivalente de los sectores 8) la potencia perdida en la envoltura 7 es aun igual al 4,54 % de la que se pierde en el inductor 10, es decir 15 veces más alta que a 80 Hz.

El horno comprende también una solera 11 sobre la que se pone el crisol 1. La solera 11 puede estar dividida también en sectores 12 con el fin de evitar las pérdidas de energía electromagnética. Unos canales 22 de circulación de fluido están excavados en los sectores 12, con el fin de enfriarlos. El crisol 1 está alojado en la envoltura 7 con juego en frío, es decir antes del inicio del calentamiento o después del enfriamiento del crisol 1, y la solera 11 está dispuesta también en la envoltura 7 con juego, lo que permite elevarlo y bajarlo a voluntad por un dispositivo cualquiera, para poder hacer salir el crisol 1 de la envoltura 7 por arriba o por debajo. En caliente durante la fusión, este juego se recupera con la dilatación del crisol 1 que entra en contacto con la envoltura 7, lo que permite mejorar el enfriamiento del crisol 1 y evitar su sobrecalentamiento.

El procedimiento de tratamiento de los desechos es el siguiente. Se vierten primero en el crisol 1, después el solenoide 10 se pone en marcha para inducir un campo electromagnético, que induce a su vez corrientes inducidas en la carga, que la calientan hasta licuarla. El baño fundido 20 se mantiene todo el tiempo necesario, después se deja enfriar hasta solidificarse en un lingote. De manera característica de la invención, el crisol 1 se saca luego del horno y se almacena con el lingote en un contenedor apropiado. Se evita de este modo una colada del baño fundido 20 o una salida progresiva de un lingote solidificado, y, entre otros, las dificultades consecutivas al mantenimiento de la estanqueidad con respecto a los gases. Un contacto accidental entre el baño fundido 20 y el agua de los conductos de enfriamiento 21 y 22 es extremadamente improbable, gracias a la multiplicidad de las capas y a la temperatura más baja de las capas externas, que reduciría la corrosión y los riesgos de accidentes incluso después de una rotura de la capa interna 4. El tratamiento de la escoria en la parte superior del baño fundido 20 es fácil, en ausencia de movimientos de perturbaciones. Una temperatura bastante elevada puede tolerarse por la capa interna 4, incluso a expensas de una corrosión más intensa, ya que el crisol 1 es de uso único y su duración de funcionamiento es corta (de unas horas a unos días). La capa interna 4 puede tener por tanto una vida útil corta. La capa intermedia 5 limita las pérdidas térmicas hacia la envoltura 7 y la solera 12 enfriada, lo que permite una menor potencia de calentamiento. Las dilataciones diferenciales producen unas tensiones mucho menos grandes, gracias al juego entre el crisol 1 y la envoltura 7 y a la presencia de la capa intermedia 5 comprimible.

En un modo de realización particular, la capa interna 4 era de cerámica, a base de carburo de silicio, de diámetro interior 330 mm, de altura 1050 mm y de espesor 25 mm. La capa intermedia 5 era de fibras minerales de espesor de 10 mm y de altura de 1050 mm. La capa externa 6 era de acero inoxidable, de espesor 5 mm y de altura 1050 mm. La envoltura 7 tenía un diámetro interior de 412 mm, un espesor de 20 mm y comprendía treinta sectores 8, separados por 3 mm de aislante eléctrico para las juntas 9, y una altura de 1300 mm. La dilatación diferencial de la capa externa 6 permitía recuperar el juego de 2 mm entre el crisol 1 y la envoltura 7, para una temperatura de aproximadamente 300<sup>o</sup> de esta capa externa 6.

El solenoide 10 tenía un diámetro interior de 500 mm y una altura de 500 mm, y estaba alimentado a una frecuencia de aproximadamente 50 Hz. Incluía cinco espiras y era móvil en altura para seguir la subida de nivel del baño fundido 20. La profundidad de penetración de las corrientes inducidas con una frecuencia de este tipo era de 7 cm en el acero inoxidable. Un radio de al menos 10 cm para el baño fundido 20 (en este documento es de 16,5 cm) permitirá obtener entonces un buen rendimiento de calentamiento electromagnético, evitando producir corrientes inducidas antagonistas más allá del centro del baño fundido 20.

La solera 11 tenía un diámetro exterior de 412 mm y se encontraba a aproximadamente 20 mm más bajo que la parte inferior del solenoide 10. Era de acero inoxidable.

Para una capacidad de fusión del orden de 60 kg a la hora, a aproximadamente 1450 °C, la potencia inductiva necesaria era igual a aproximadamente 230 kW, obtenida aplicando una tensión de aproximadamente 45 Voltios, en los bornes del solenoide 10. La potencia térmica que hay que evacuar en el inductor era entonces aproximadamente de 68 kW. La potencia térmica perdida por efecto Joule en la capa externa 6 del crisol 1 era del orden de 48 kW, lo que es aceptable. La duración de la operación de fusión es entonces del orden de 12 horas, lo que es compatible con la resistencia a la corrosión de la cerámica usada.

Se obtienen las ventajas siguientes. Separando el propio crisol de la envoltura metálica exterior, sometida al enfriamiento, las dilataciones diferenciales térmicas se reducen tanto en el uno como en la otra. El propio crisol llega a ser una parte sustituible y consumible después de cada fusión, mientras que la envoltura metálica deja de estar en contacto con el metal fundido y no se somete por tanto a la corrosión. Si el calor del metal fundido es responsable de un accidente, la rotura concierne al crisol, y la envoltura metálica, que alberga los conductos de enfriamiento, permanece completa. La envoltura puede estar dividida en sectores sin inconveniente, ya que la superficie del crisol permanece continua en cuanto a ella. Manteniendo los desechos en el crisol hasta la solidificación, es posible evacuar los vapores antes de sacar el crisol de la envoltura y de disponer de los desechos solidificados, de modo que la estanqueidad del horno puede mantenerse sin la menor dificultad. Para terminar, es obvio que la extracción y el almacenamiento del lingote son extremadamente fáciles, ya que basta con manipular el crisol.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Horno de fusión de desechos metálicos de inducción, de bajo consumo energético y de alto nivel de seguridad, que comprende un inductor (10), una envoltura (7) metálica circular dividida en sectores (8) separados por unas capas aislantes de la electricidad, rodeada por el inductor y provista de unos conductos (21) de fluido de enfriamiento, una solera (11) que se extiende debajo de la envoltura, caracterizado porque comprende un crisol (1) interior a la envoltura (7) y constituido por una pared circular y por un fondo, estando el crisol:
- 10 - puesto sobre la solera (11),
- rodeado por la envoltura (7),
- separado de la envoltura por un juego,
- 15 - continuo y homogéneo en circunferencia y
- compuesto por tres capas concéntricas, a saber: una capa interna (4) refractaria, una capa intermedia (5) compuesta por una materia comprimible y una capa externa (6) metálica.
- 20 2. Horno de fusión según la reivindicación 1, caracterizado porque la capa interna es de cerámica, por ejemplo a base de carburo de silicio.
3. Horno de fusión según la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque la capa intermedia está compuesta de una materia aislante térmica.
- 25 4. Horno de fusión según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque la capa intermedia tiene una estructura fibrosa.
- 30 5. Horno de fusión según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los sectores (8) tienen un diámetro equivalente (D) inferior a la mitad de una profundidad de penetración (P) de corrientes inducidas en el material constitutivo.
- 35 6. Procedimiento de tratamiento de desechos metálicos que hay que almacenar, en el que se usa un horno según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, vertiéndose los desechos en el crisol (1) y poniéndose en marcha el inductor (10) para fundir los desechos, caracterizado porque los desechos se dejan hasta su solidificación en el crisol y luego el crisol (1) se retira y se almacena con los desechos.

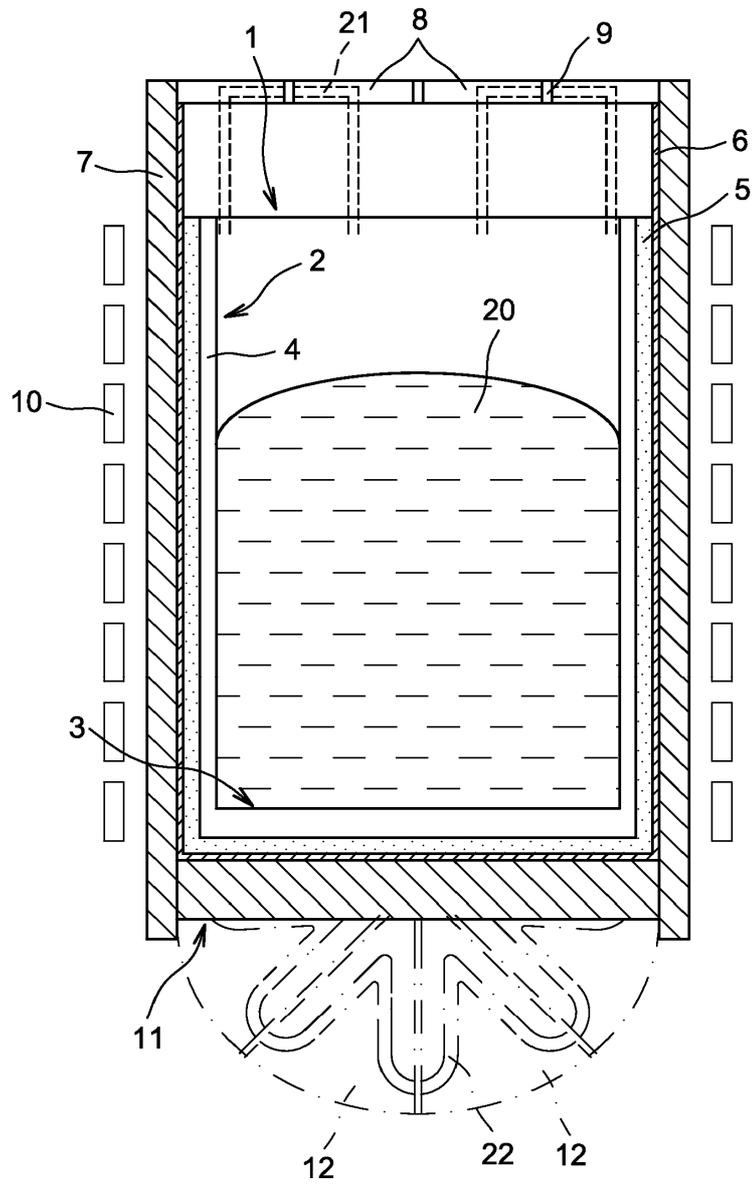


FIG. 1