(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 608 863**

(51) Int. Cl.:

C22B 9/22 (2006.01)
F27B 3/08 (2006.01)
H01J 37/305 (2006.01)
B22D 11/11 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.03.2008 PCT/US2008/058175**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **09.10.2008 WO08121630**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.03.2008 E 08744347 (9)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.09.2016 EP 2137329**

(54) Título: **Horno de fusión que incluye un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo**

(30) Prioridad:

30.03.2007 US 909118 P

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.04.2017

(73) Titular/es:

ATI PROPERTIES LLC (100.0%)
1600 N.E. Old Salem Road
Albany OR 97321, US

(72) Inventor/es:

FORBES JONES, ROBIN M. y
KENNEDY, RICHARD L.

(74) Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

Observaciones:

Véase nota informativa (Remarks, Remarques o Bemerkungen) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes

ES 2 608 863 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 fusión que incluye un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo

Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

La presente solicitud reivindica la prioridad bajo la norma 35 U.S.C. 119(e) respecto a la Solicitud de Patente Provisional de Estados Unidos N.º de Serie 60/909.118, presentada el 30 de marzo de 2007.

Antecedentes de la tecnología

Campo de la tecnología

La presente divulgación se refiere a equipos y técnicas para la fusión de metales y aleaciones metálicas (de aquí en adelante "aleaciones"). La presente divulgación se refiere más específicamente a equipos y técnicas que utilizan electrones para fundir metales y aleaciones y/o los materiales en tanto en un estado fundido.

Descripción de los antecedentes de la tecnología

Los procesos de fusión de aleaciones implican la preparación de una carga de materiales adecuados y a continuación la fusión de la carga. La carga fundida o "fundición" puede refinarse entonces y/o tratarse para modificar la química de la fundición, retirar componentes no deseados de la fundición y/o afectar a la microestructura del moldeo de artículos de la fundición. Los hornos de fusión son alimentados bien por electricidad o bien por la combustión de combustibles fósiles, y la selección de un aparato adecuado está ampliamente influida por los costes relativos y normativa medioambiental aplicable, así como por la identidad del material que está siendo preparado. Están disponibles hoy en día varias técnicas y aparatos de fusión. Las clases generales de las técnicas de fusión incluyen, por ejemplo, fusión por inducción (incluyendo fusión por inducción en vacío), fusión por arco (incluyendo la fundición en corteza por arco en vacío), fusión en crisol, y fusión por haz de electrones.

La fusión por haz de electrones implica normalmente la utilización de cañones de haces de electrones termoiónicos para generar unas corrientes de electrones de alta energía sustancialmente lineales que se usan para calentar los materiales objetivo. Los cañones de haces de electrones termoiónicos funcionan mediante el paso de la corriente por un filamento, calentando de ese modo el filamento a una alta temperatura e "hirviendo" electrones fuera del filamento. Los electrones generados desde el filamento se enfocan y se aceleran entonces al objetivo en la forma de un haz de electrones muy estrecho, sustancialmente lineal. Un tipo de cañón del haz de electrones de plasma iónico se ha usado para la preparación de fundiciones de aleación. Específicamente, un cañón de haz de electrones de "descarga luminiscente" descrito en V.A. Chernov, "Powerful High-Voltage Glow Discharge Electron Gun and Power Unit on Its Base", 1994 Intern. Conf. on Electron Beam Melting (Reno, Nevada), págs. 259-267, se ha incorporado en ciertos hornos de fusión disponibles en Antares, Kiev, Ucrania. Dichos dispositivos funcionan produciendo cationes que inducen plasma frío que bombardean un cátodo y producen electrones que se enfocan para formar un haz de electrones sustancialmente lineal.

Los haces de electrones sustancialmente lineales producidos por los tipos precedentes de cañones de haz de electrones se dirigen a una cámara de fusión de vacío de un horno de fusión de haz de electrones e inciden sobre los materiales a ser fundidos y/o mantenidos en un estado fundido. La conducción de los electrones a través de los materiales eléctricamente conductores los calienta rápidamente a una temperatura por encima de la temperatura de fusión particular. Dada la alta energía de los haces de electrones sustancialmente lineales, que puede ser, por ejemplo, de aproximadamente 100 kW/cm^2, los cañones de haces de electrones son fuentes de calor de muy alta temperatura y son fácilmente capaces de superar las temperaturas de fusión y, en algunos casos, las de vaporización de los materiales sobre los que inciden los haces sustancialmente lineales. Usando deflexión magnética o medios direccionales similares, los haces de electrones sustancialmente lineales se provoca un barrido a alta frecuencia a través de los materiales objetivo dentro de la cámara de fusión, permitiendo que el haz se dirija a través de un área ancha y a través de objetivos que tengan múltiples y complejas formas.

Debido a que la fusión por haz de electrones es un método de calentamiento superficial, produce normalmente solo una colada fundida poco profunda, lo que puede ser ventajoso en términos de limitar la porosidad y segregación en el lingote fundido. Debido a que la colada de metal sobrecalentado producida por el haz de electrones se dispone dentro de un entorno de alto vacío de la cámara de fusión del horno, la técnica también tiende beneficiosamente a desgasificar el material fundido. También, los constituyentes metálicos y no metálicos no deseables dentro de la aleación que tengan presiones de vapor relativamente altas pueden evaporarse selectivamente en la cámara de fusión, mejorando de ese modo la pureza de la aleación. Por otro lado, se debe tener en cuenta la evaporación de constituyentes deseables producida por el haz de electrones sustancialmente lineal altamente enfocado. La evaporación no deseable debe factorizarse en la producción y pueden complicar significativamente la producción de aleaciones cuando se usan hornos de fusión por haz de electrones.

Varios métodos de fusión y refinado implican la fusión por haz de electrones de materiales usando cañones de electrones termoiónicos. La fusión por goteo es un método clásico usado en hornos de fusión de cañón de haces de electrones termoiónicos para el procesamiento de metales refractarios tales como, por ejemplo, tántalo y niobio. La materia prima en la forma de una barra se suministra normalmente a la cámara del horno y el haz de electrones lineal enfocado sobre la barra funde por goteo el material directamente en un molde fijo o de extracción. Cuando se forma la pieza moldeada en un molde de extracción, el nivel de la colada líquida se mantiene sobre la parte superior del lingote creciente mediante la extracción de la parte inferior del lingote. El material suministrado se refina como resultado de los fenómenos de desgasificación y evaporación selectiva descritos anteriormente.

La técnica de fusión de solera fría por haz de electrones se usa comúnmente en el procesamiento y reciclado de metales y aleaciones reactivas. El material se funde por goteo mediante la incidencia de un haz de electrones sustancialmente lineal sobre un extremo de una barra de material. El material fundido gotea en una zona del extremo de una solera de cobre refrigerada por agua, formando una corteza protectora. Cuando el material fundido se recoge en la solera, se desborda y cae por gravedad dentro de un molde de extracción u otro dispositivo de moldeo. Durante el tiempo de permanencia del material dentro de la solera, los haces de electrones sustancialmente lineales barren rápidamente a través de la superficie del material, manteniéndola en una forma fundida. Esto también tiene los efectos de desgasificar y refinar el material fundido a través de la evaporación de los componentes de alta presión de vapor. La solera también puede dimensionarse para promover la separación por gravedad entre inclusiones sólidas de alta densidad y baja densidad, en cuyo caso el óxido y otras inclusiones de relativamente baja densidad permanecen en el metal fundido durante un tiempo suficiente para permitir la disolución mientras las partículas de alta densidad se sumergen al fondo y quedan atrapadas en la corteza. La patente de Estados Unidos número 5.222.547 divulga un horno de haz de electrones con un sistema de evacuación que mantiene el interior del horno a una presión en el intervalo de 6,67 Pa (50 µm Hg) a 40 Pa (300 µm Hg). La patente de Estados Unidos número 4.482.376 divulga un proceso e instalación para fusión-purificación de metales y aleaciones altamente reactivos y de elevada fusión usando una fuente de electrones de plasma a presiones de 13,3 Pa a 1,33 Pa (10^{-1} - 10^{-2} Torr).

Dados los diversos beneficios de las técnicas convencionales de fusión por haz de electrones, sería ventajoso mejorar adicionalmente esta tecnología.

De acuerdo con un aspecto no limitativo de la presente divulgación, se describe una realización del aparato para la fusión de un material metálico eléctricamente conductor. El aparato incluye una cámara de vacío, una solera dispuesta en la cámara de vacío, y al menos un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo dentro o adyacente a la cámara de vacío. El emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo se posiciona para dirigir un campo de electrones de área ancha al interior de la cámara, en donde el campo de electrones tiene una energía suficiente para calentar el material metálico eléctricamente conductor hasta su temperatura de fusión. Un molde u otro dispositivo de moldeo o atomización está en comunicación con la cámara y se sitúa para recibir el material fundido desde la solera. Ciertas realizaciones no limitativas del aparato de fusión pueden hacerse funcionar a presiones de cámara mayores que las presiones de cámara de hornos de fusión convencionales por haz de electrones de modo que se reduzca o elimine la vaporización en la cámara de elementos volátiles desde el material fundido.

De acuerdo con otro aspecto no limitativo de la presente divulgación, se describe un horno de fusión de solera fría por haz de electrones que incluye una cámara de vacío y una solera dispuestos en la cámara de vacío, incluyendo la solera una zona de mantenimiento del material fundido. El horno incluye adicionalmente al menos un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo que se dispone en, o está adyacente a, la cámara de vacío. La solera y el al menos un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo se disponen de modo que el campo de electrones de área ancha emitido por el emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo incide al menos parcialmente sobre la zona de mantenimiento del material fundido y cualquier material dispuesto dentro de la zona. Un molde de extracción está en comunicación con la cámara y se posiciona para recibir el material fundido desde la solera. Al menos un alimentador de material está en comunicación con la cámara y está adaptado para introducir material de alimentación eléctricamente conductor dentro de la cámara de vacío en una posición sobre la zona de la solera. Ciertas realizaciones no limitativas del horno de fusión de solera fría por haz de electrones pueden funcionar a presiones de cámara de vacío mayores que las presiones de cámara de hornos convencionales de fusión por haz de electrones de modo que se reduzca o elimine la vaporización en la cámara de vacío de elementos volátiles desde el material fundido.

De acuerdo con aún otro aspecto no limitativo de la presente divulgación, se proporciona un método de procesamiento de un material. El método incluye la introducción de un material que incluye al menos uno de entre metal y aleación metálica eléctricamente conductores dentro de una cámara de fusión que se mantiene a una baja presión con relación a la presión atmosférica. El material se somete a un campo de electrones de área ancha dentro de la cámara de modo que caliente el material a una temperatura por encima de su temperatura de fusión. El campo de electrones de área ancha se genera al menos parcialmente por al menos un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo. Opcionalmente, se forma una pieza moldeada o polvo a partir del material posteriormente o simultáneamente con el sometimiento del material al campo de electrones. En ciertas realizaciones no limitativas del método la presión dentro de la cámara de fusión es mayor que las presiones de cámara de fusión

de hornos convencionales de fusión por haz de electrones de modo que se reduzca o elimine la vaporización en la cámara de fusión de elementos volátiles desde el material fundido dentro de la cámara de fusión.

De acuerdo con un aspecto adicional de la presente divulgación se proporciona un método de procesamiento del material que incluye la introducción de al menos un material eléctricamente conductor seleccionado de entre titanio, aleaciones de titanio, tungsteno, niobio, tántalo, platino, paladio, circonio, iridio, níquel, aleaciones a base de níquel, hierro, aleaciones a base de hierro, cobalto, y aleaciones a base de cobalto dentro de la cámara mantenida a una baja presión con relación a la presión atmosférica. El material se somete a un campo de electrones de área ancha dentro de la cámara para calentar el material a una temperatura por encima de una temperatura de fusión del material, en el que el campo de electrones de área ancha es generado por un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo. Opcionalmente, se añade al menos un aditivo de aleación al material dentro de la cámara. Se forma una pieza moldeada o un polvo a partir del material o bien posteriormente a o bien simultáneamente con el sometimiento del material al campo de electrones. En ciertas realizaciones no limitativas del método de procesamiento la presión dentro de la cámara es mayor que las presiones en cámaras de fusión de hornos convencionales de fusión por haz de electrones de modo que se reduzca o elimine la vaporización en la cámara de elementos volátiles desde el material fundido dentro de la cámara de fusión.

De acuerdo con aún otro aspecto adicional de la presente divulgación se proporciona un método para disminuir o eliminar la evaporación no deseable de elementos volátiles desde un material fundido durante el calentamiento del material en una cámara de vacío de un horno de fusión por haz de electrones. El método incluye el mantenimiento de la presión dentro de la cámara de vacío al menos 5,3 Pa (40 μm Hg) durante al menos una parte del tiempo en el que el material está siendo calentado en la cámara de vacío.

Breve descripción de los dibujos

Podrán entenderse mejor las características y ventajas del aparato y métodos descritos en el presente documento por referencia a los dibujos adjuntos en los que:

La Figura 1 es una ilustración esquemática en sección transversal de una realización de un horno de fusión con cañón de haz de electrones termoiónico convencional;

La Figura 2 es una representación simplificada de ciertos componentes de una realización de un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo.

La Figura 3 es una ilustración esquemática en sección transversal de una realización no limitativa de un horno de fusión de solera fría por haz de electrones que incluye múltiples emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo de acuerdo con la presente divulgación;

la Figura 4 es una ilustración esquemática de una realización no limitativa de un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo;

la Figura 5 es una ilustración esquemática de una realización no limitativa de acuerdo con la presente divulgación de un horno de fusión de haz de electrones que incluye un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo como una fuente de electrones;

la Figura 6 es una vista en perspectiva, parcialmente en sección, de una realización no limitativa de un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo que puede adaptarse para su uso en un horno de fusión de haz de electrones de acuerdo con la presente divulgación;

la Figura 7 es un diagrama que ilustra el funcionamiento del emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo ilustrado en la Figura 6; y

la Figura 8 es una ilustración esquemática en sección transversal de una realización de horno de fusión de solera fría por haz de electrones de acuerdo con la presente divulgación.

El lector apreciará los detalles precedentes, así como otros, tras la consideración de la descripción detallada a continuación de ciertas realizaciones no limitativas de aparatos y métodos de acuerdo con la presente divulgación. El lector puede también comprender ciertos de dichos detalles adicionales tras llevar a cabo o usar el aparato y métodos descritos en el presente documento.

Descripción detallada de ciertas realizaciones no limitativas

La presente divulgación, en parte, se dirige a un diseño mejorado para un horno de haz de electrones para la fusión de metales y aleaciones metálicas y/o para mantenimiento de materiales en un estado fundido para su uso en la preparación de piezas moldeadas o polvos metálicos. Se ilustra esquemáticamente en la Figura 1 un horno de fusión por cañón de haz de electrones termoiónico convencional. El horno 110 incluye una cámara de vacío 114 rodeada

por una pared de la cámara 115. Se sitúan múltiples cañones de haces de electrones termoiónicos 116 fuera y adyacentes a la cámara 114 y dirigen haces de electrones lineales discretos 118 al interior de la cámara 114. Se introduce un material de suministro en la forma de barra metálica 120 y polvo de aleación 122 dentro de la cámara 114 por un alimentador de barras 115 convencional y un alimentador de partículas o gránulos 117 convencional, respectivamente. El cañón de electrones 118 lineal de uno de los cañones de haces de electrones 116 incide sobre y funde un extremo de la barra 120, y la aleación fundida resultante 124 cae al interior de una solera de refinado 126 (una “solera fría”) de cobre refrigerada por agua dentro de la cámara 114. Los cañones de haces de electrones termoiónicos 116 son de un diseño convencional y generan electrones mediante calentamiento del material del filamento adecuado. Los cañones 116 enfocan los electrones generados a un punto, y los electrones se proyectan desde los cañones 116 en la forma de un haz estrechamente enfocado, sustancialmente lineal. Por ello, los electrones proyectados desde los cañones 116 inciden esencialmente sobre el objetivo como una fuente puntual. El calentamiento del objetivo por la fuente de electrones puntual se facilita por el barrido de los haces de electrones lineales 118 a través de al menos una parte de los objetivos, de modo similar a la forma de barrido de electrones a través de una pantalla de fósforo de un tubo de televisión de rayos catódicos. El barrido del haz de electrones 118 sustancialmente lineal del cañón de haces de electrones termoiónicos 116 a través de la zona del extremo de la barra 120, por ejemplo, funde la barra 120.

Con referencia adicional a la Figura 1, la aleación fundida 124 depositada en la solera 126 se mantiene en un estado fundido mediante el barrido de ciertos de los haces de electrones 118 sustancialmente lineales a través de la superficie de la aleación fundida 124 en un patrón predeterminado y programado. Los materiales de aleación 122 en polvo o granulados introducidos en la aleación fundida 124 por el alimentador 117 se incorporan en el material fundido. La aleación fundida 124 avanza a través de la solera 126 y gotea desde la solera por gravedad dentro de un molde de extracción 130 de cobre. El molde de extracción 130 incluye una base trasladable 134 de modo que se adapte a la longitud del lingote creciente 132. La aleación fundida 124 se recoge inicialmente en el molde de extracción 130 como una colada fundida 131, y progresivamente se solidifica en un lingote 132. La incidencia de los electrones sobre la colada fundida 131 por medio del barrido de uno o más de los haces de electrones 118 sustancialmente lineales a través de la superficie de la colada, mantiene ventajosamente las zonas de la colada 131, particularmente en los bordes de la colada, en un estado fundido.

En hornos que utilizan uno o más haces de electrones sustancialmente lineales para calentar el material en la cámara del horno, tal como un horno de fusión por cañón de haz de electrones termoiónico convencional, las aleaciones que incluyen elementos volátiles, es decir, elementos con presión de vapor relativamente alta a las temperaturas de fusión del horno, tienden a hervir fuera de la colada fundida y se condensan sobre las paredes relativamente frías de la cámara del horno. (Elementos de aleación comunes que tienen presiones de vapor relativamente altas a las temperaturas comúnmente alcanzadas en la fusión por haz de electrones incluyen, por ejemplo, aluminio y cromo.) La técnica de fusión por haz de electrones sustancialmente lineal conduce particularmente a la volatilización, lo que es una desventaja significativa de los hornos de haz de electrones convencionales cuando se crean aleaciones, en oposición al refinado o purificación, por al menos dos razones. Primero, la composición química global y localizada de la aleación se hace difícil de controlar durante la fusión debido a pérdidas inevitables de elementos altamente volátiles de la colada fundida. Segundo, el condensado de los elementos vaporizados tiende a acumularse sobre las paredes del horno a lo largo del tiempo y pueden caer dentro de la fundición, contaminando de ese modo la fundición con inclusiones y produciendo variaciones localizadas en la química de la fundición.

Sin pretender quedar ligado a teoría particular alguna, los inventores creen que las desventajas precedentes de los hornos de fusión de haz de electrones convencionales son el resultado de la acción de los haces de electrones sustancialmente lineales convencionales sobre los materiales procesados dentro de los hornos de haz de electrones. Como se ha sugerido anteriormente en conexión con la descripción de la Figura 1, la tecnología de fusión de solera fría por haz de electrones convencional utiliza haces de electrones sustancialmente lineales tanto para fundir las materias primas introducidas dentro del horno como para mantener la temperatura del material fundido cuando fluye a lo largo y sobre la solera fría, y al interior del molde de pieza moldeada. Dichos hornos incluyen normalmente múltiples fuentes de haces de electrones, en los que cada fuente produce un haz de electrones sustancialmente lineal que es esencialmente una fuente puntual. Estos “puntos” de concentración intensa de electrones deben barrerse rápidamente sobre las áreas a ser calentadas de modo que la temperatura media necesaria para fundir el material y permitir que el material fundido fluya adecuadamente se alcance a todo lo largo del área objetivo. Debido a la naturaleza de fuente puntual de los haces de electrones lineales, sin embargo, el punto en el que el haz de electrones incide sobre la aleación se calienta a una temperatura extremadamente alta. Este fenómeno de calentamiento intenso localizado puede observarse como radiación blanca visible emitida desde el punto particular en el que incide el haz de electrones sobre la aleación sólida o fundida dentro del horno. Se cree que el efecto de sobrecalentamiento intenso que ocurre en estos puntos, junto con el elevado vacío mantenido en la cámara del horno, evapora fácilmente los elementos relativamente volátiles dentro de la aleación, dando como resultado una evaporación excesiva de los elementos volátiles y condensación simultánea sobre las paredes de la cámara. Como se ha hecho notar anteriormente, dicha condensación presenta el riesgo de contaminación del baño cuando el material condensado cae de vuelta al interior de la aleación fundida, y esto puede dar como resultado, por ejemplo, heterogeneidades composicionales remarcables en los lingotes de pieza moldeada.

Un diseño mejorado para un horno de fusión de haz de electrones descrito en el presente documento utiliza uno o más emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo como al menos una parte de la fuente de electrones en dicho horno. Como se usa en el presente documento, la expresión “emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo” se refiere a un aparato que produce un campo de electrones relativamente ancho, no lineal mediante la incidencia de iones cargados positivamente sobre un cátodo y liberando de ese modo electrones desde el cátodo. El haz de electrones producido por el emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo no es un haz lineal, sino que en su lugar es un campo tridimensional o “inundación” de electrones que, cuando incide sobre el objetivo, cubre una zona bidimensional que es muy amplia en relación al pequeño punto cubierto por la incidencia de un haz de electrones sustancialmente lineal sobre el objetivo. De ese modo, se hace referencia al campo de electrones producido por los emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo en el presente documento como un campo electrónico de “área ancha”, con referencia al punto relativamente mucho más pequeño de contacto producido por los cañones de electrones convencionales usados en los hombros de fusión por haz de electrones. Los emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo son conocidos en la técnica (para su uso en aplicaciones no relacionadas) y se denominan de modo diverso tal como, por ejemplo, cañones o emisores “de electrones de plasma iónico por hilo (WIP, del inglés “wire ion plasma”)”, cañones o emisores de cañones de “electrones WIP” y, en alguna forma confusamente, como “emisores de haces de electrones lineales” (en referencia a la naturaleza lineal de los electrodos de hilo que producen el plasma dentro de ciertas realizaciones de los dispositivos).

Los emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo están disponibles en varios diseños, pero todos los dichos emisores comparten ciertos atributos de diseño fundamentales. Cada uno de dichos emisores incluye una zona de plasma o ionización que incluye una fuente de iones positivos en la forma de un ánodo de hilo alargado para producir plasma que incluye cationes, y un cátodo que está separado de, y situado para interceptar los iones positivos generados por el hilo. Se aplica un gran voltaje negativo al cátodo, provocando que una fracción de los iones positivos en el plasma generado en la fuente de iones positiva del hilo se aceleren hacia y colisionen con la superficie del cátodo de modo que se emitan electrones secundarios desde el cátodo (estando presentes los electrones “primarios” dentro del plasma junto con los iones positivos). Los electrones secundarios producidos desde la superficie del cátodo forman un campo de electrones no lineal que tiene normalmente una forma tridimensional del plasma de iones positivos que impactan en el cátodo. Los electrones secundarios se aceleran entonces desde la proximidad del cátodo de vuelta hacia el ánodo, experimentando pocas colisiones en el proceso de pasar a través del gas a baja presión dentro del emisor. Mediante el diseño y disposición apropiados de diversos componentes del emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo, puede formarse un campo ancho de electrones secundarios energéticos en el cátodo y acelerarse desde el emisor y hacia el objetivo. La Figura 2 es una representación simplificada de componentes de un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo, en el que se aplica una corriente a un ánodo de hilo delgado 12 para generar el plasma 14. Los iones positivos 16 dentro del plasma 14 se aceleran hacia y colisionan con el cátodo 18 cargado negativamente, liberando una nube 20 de electrones secundarios de área ancha, que se acelera en la dirección del ánodo 12 por la acción del campo eléctrico entre los electrodos y hacia el objetivo.

De acuerdo con una realización no limitativa de acuerdo con la presente divulgación, un aparato para la fusión de un material metálico eléctricamente conductor en la forma de un horno de fusión de haz de electrones incluye una cámara de vacío (cámara de fusión) y una solera dispuesta en la cámara de vacío y adaptada para mantener un material fundido. Se dispone al menos un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo en o adyacente a la cámara de vacío y se sitúa para dirigir un campo de electrones no lineal, de área ancha generado por el emisor al interior de la cámara. El emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo produce un campo no lineal de electrones que tiene suficiente energía para calentar el material metálico eléctricamente conductor hasta su temperatura de fusión. Se dispone un molde u otro dispositivo de moldeo o atomización en comunicación con la cámara y se sitúa y adapta para recibir el material desde la solera. El horno puede usarse para fundir cualquier material que pueda fundirse usando un horno de fusión de haz de electrones convencional, tal como, por ejemplo, titanio, aleaciones de titanio, tungsteno, niobio, tántalo, platino, paladio, circonio, iridio, níquel, aleaciones a base de níquel, hierro, aleaciones a base de hierro, cobalto, y aleaciones a base de cobalto.

Realizaciones de un horno de fusión de haz de electrones de acuerdo con la presente divulgación pueden incluir uno o más alimentadores de material adaptados para introducir materiales eléctricamente conductores u otros aditivos de aleación dentro de la cámara de vacío. Preferentemente, los alimentadores introducen los materiales dentro de la cámara de vacío en una posición sobre o por encima de al menos una zona de la solera de modo que la gravedad permitirá que los materiales, en forma sólida o fundida, caigan hacia abajo y al interior de la solera. Los tipos de alimentadores pueden incluir, por ejemplo, alimentadores de barra y alimentadores de hilo, y el tipo de alimentador seleccionado dependerá de los requisitos de diseño particulares para el horno. En ciertas realizaciones del horno de acuerdo con la presente divulgación, el alimentador de materiales y al menos uno de uno o más emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo del horno se disponen de modo que el campo de electrones emitidos por el emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo incide al menos parcialmente sobre el material introducido dentro de la cámara por el alimentador. Si el material que se introduce dentro de la cámara de vacío por el alimentador es eléctricamente conductor, entonces el campo de electrones, si tiene intensidad suficiente, calentará y fundirá el material.

La solera incorporada en realizaciones de un horno de fusión de acuerdo con la presente divulgación puede seleccionarse entre varios tipos de solera conocidos en la técnica. Por ejemplo, el horno puede tener la naturaleza de un horno de fusión de solera fría por haz de electrones mediante la incorporación de una solera fría o, más específicamente, por ejemplo, una solera fría de cobre refrigerada por agua en la cámara de vacío. Como es conocido para los expertos en la materia, una solera fría incluye medios de refrigeración que hacen que el material fundido dentro de la solera se solidifique en la superficie de la solera y forme una capa protectora sobre ella. Como otro ejemplo, la solera puede ser una solera "autógena", que es una solera que se platea o se fabrica a partir de la aleación que está siendo fundida en el horno, en cuyo caso la superficie inferior de la solera también puede ser refrigerada con agua para impedir que se consuma.

La solera particular incluida en la cámara de vacío puede incluir una zona de mantenimiento del material fundido, en la que el material fundido reside durante un cierto tiempo de permanencia antes de pasar al dispositivo de moldeo o atomización conectado para fluidos a la cámara de vacío. En ciertas realizaciones de un horno de acuerdo con la presente divulgación, la solera y al menos uno de uno o más emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo del horno se disponen de modo que el campo de electrones emitidos por el emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo incide al menos parcialmente sobre zona de mantenimiento del material fundido. En esta forma, el campo de electrones puede aplicarse para mantener el material dentro de la zona de mantenimiento del material fundido en un estado fundido, y la acción de calentamiento del campo de electrones puede servir también para desgasificar y refinar el material fundido.

Ciertas realizaciones no limitativas de un horno de acuerdo con la presente divulgación incluyen un molde para el moldeo del material fundido. El molde puede ser cualquier molde adecuado conocido en la técnica tal como, por ejemplo, un molde estático, un molde de extracción o un molde de moldeo continuo. Alternativamente, el horno puede incluir o estar asociado con un aparato de atomización para la producción de un material en polvo a partir del material fundido.

Una realización particular no limitativa de un horno de fusión por electrones de acuerdo con la presente divulgación incluye una cámara de vacío y una solera dispuesta en la cámara de vacío, en la que la solera incluye una zona de mantenimiento del material fundido. El horno incluye adicionalmente uno o más emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo, dispuestos en o adyacentes a la cámara de vacío. La solera y el al menos un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo se disponen de modo que el campo de electrones producido por el emisor incide al menos parcialmente sobre la zona de mantenimiento del material fundido. Un molde de extracción comunica con la cámara de vacío y se sitúa para recibir el material fundido desde la solera. Se incluye al menos un alimentador en el horno y está adaptado para introducir material dentro de la cámara de vacío en una posición sobre al menos una zona de la solera.

Cualquier emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo adecuado puede usarse en conexión con el aparato de acuerdo con la presente divulgación. Realizaciones adecuadas de emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo se divulgan en, por ejemplo, las Patentes de Estados Unidos N.º 4.025.818, 4.642.522, 4.694.222, 4.755.722 y 4.786.844. Emisores adecuados incluyen aquellos capaces de producir un campo de electrones no lineal, de área ancha que puedan dirigirse al interior de la cámara de vacío del horno y que calentarán materiales suministrados, eléctricamente conductores colocados en la cámara del horno hasta la temperatura deseada.

En una realización de un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo, el emisor incluye una zona de plasma y una zona de cátodo. La zona de plasma incluye al menos un ánodo de hilo alargado adaptado para producir un plasma que incluye iones positivos. La zona del cátodo incluye un cátodo que está conectado eléctricamente a una fuente de alimentación de alta tensión adaptada para cargar negativamente el cátodo. En el emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo, el método usado para producir el plasma puede ser un hilo o múltiples hilos situados a lo largo de una longitud de la zona del plasma. Al menos una parte del cátodo impactado por los iones positivos se compone de un material adecuado para la generación de electrones. Ciertas realizaciones no limitativas del cátodo dispuesto en la zona del cátodo del emisor pueden incluir también una inserción, tal como, por ejemplo, una inserción de molibdeno, que tiene una alta temperatura de fusión y una baja función de trabajo de modo que facilite la generación de electrones. El cátodo y el ánodo se sitúan relativamente entre sí de modo que los iones positivos en el plasma generado por el hilo del ánodo se aceleran hacia e inciden sobre el cátodo bajo la influencia del campo eléctrico entre los electrodos, liberando el campo de electrones de área ancha desde el cátodo.

Ciertas realizaciones no limitativas del emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo incluyen al menos una ventana adecuadamente transmisora de electrones, tal como una lámina delgada de titanio o aluminio transmisora de electrones, que se abre a través de una pared de la cámara de vacío del horno. Materiales alternativos a partir de los que puede construirse la ventana transmisora de electrones incluyen, por ejemplo, BN, diamantes y ciertos otros materiales compuestos de elementos de bajo número atómico. Como se ha explicado en el presente documento, otras realizaciones del emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo no incluyen una ventana transmisora de electrones, en cuyo caso la zona de plasma del emisor comunica para fluidos con la cámara de vacío que mantiene el material fundido. En cualquier caso, el campo de electrones de área ancha

derivado entra en la cámara del horno y puede incidir sobre el material dentro de la cámara. Si una ventana transmisora de electrones no separa el interior del emisor de electrones de la cámara de vacío (como se explica adicionalmente en el presente documento), entonces el campo de electrones pasa a través de la ventana como si se proyectara desde el emisor de electrones al interior de la cámara de vacío. En ciertas realizaciones no limitativas de un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo, la fuente de alimentación de alta tensión conectada eléctricamente al cátodo alimenta el cátodo a una tensión negativa mayor de 20.000 voltios. La tensión negativa sirve para las funciones de aceleración de los iones positivos en el plasma hacia el cátodo y a continuación repeler el campo de electrones secundarios desde el cátodo y hacia el ánodo.

Es necesaria una ventana transmisora de electrones si la presión dentro del emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo difiere significativamente de la presión dentro de la cámara del horno, en cuyo caso la ventana de láminas sirve para aislar las dos zonas adyacentes de diferente presión. Una ventaja de los emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo con relación a los emisores de electrones que no contienen gas, tal como cañones de haces de electrones termoiónicos, es que los emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo deben incluir gas dentro de la zona del plasma para servir como la fuente de plasma. Aunque los emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo pueden funcionar con muy bajas presiones de gas, dichos dispositivos también pueden funcionar efectivamente con presiones de gas relativamente altas. Por el contrario, los hornos de fusión de haces de electrones convencionales funcionan comúnmente en condiciones de vacío ultra bajo, y en ese caso sería necesaria la ventana transmisora de electrones para separar la atmósfera de gas dentro del emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo y el entorno cercano al vacío dentro de la cámara del horno. Parece, sin embargo, que la evaporación del elemento volátil dentro de la cámara del horno puede reducirse mediante el incremento de la presión del gas dentro de la cámara del horno más allá de los niveles ultra bajos de los hornos de fusión de haz de electrones lineales (emisor termoiónico) convencionales. Estos niveles de presión convencionales están normalmente dentro del intervalo de 10^{-3} a 1 Pa (10^{-3} a 7,5 μm Hg) y no superan los 2 Pa (15 μm Hg). El incremento de la presión dentro de la cámara del horno más allá de los niveles convencionales, es decir, a presiones que superen los 5,3 Pa (40 μm Hg), o más preferentemente que superen los 40 Pa (300 μm Hg), incrementa la presión en la superficie del material fundido dentro del horno y de ese modo reduce la fuerza de impulsión para vaporización indeseable. Por ejemplo, los datos presentados en el documento de H. Duval et ál., “Theoretical and Experimental Approach of the Volatilization in Vacuum Metallurgy”, sugieren que hay una reducción significativa en el transporte por vapor de cromo a 66,7 Pa (500 mTorr) de argón en relación a 4,67 Pa (35 mTorr) de argón. Debido a que los emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo ya requieren un entorno de presión de gas parcial (normalmente de helio) para ser funcionales, los presentes inventores consideran posible que tanto el emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo como la cámara del horno podrían funcionar a sustancialmente la misma presión, en la que la presión sea suficientemente alta para permitir que el emisor de electrones funcione y también sea más alta que los hornos de haces de electrones convencionales, reduciendo de ese modo la volatilización indeseable dentro de la cámara del horno. En dicho caso, la ventana transmisora de electrones puede omitirse de modo que el ambiente de gas dentro del emisor y la cámara del horno sean sustancialmente el mismo. Alternativamente, en otra realización de un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo los electrones generados por el emisor pasan a través de una ventana impermeable al gas que es transparente a los electrones, en el que la presión del gas ionizable dentro del emisor es adecuada para el funcionamiento del emisor de electrones y la cámara del horno se hace funcionar a una presión mayor que las presiones convencionales en los hornos de haz de electrones y es adecuada para minimizar o reducir la volatilización indeseable. Se entenderá que la reducción en la vaporización elemental indeseable se optimizaría tanto mediante la utilización de uno o más emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo, que no crean puntos de calentamiento intenso, junto con presiones en la cámara del horno mayores de lo que es convencional en hornos de haces de electrones.

Se proporciona a continuación una explicación adicional de realizaciones posibles de un horno de fusión de haz de electrones y posibles realizaciones de un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo, útiles en conexión con un horno de acuerdo con la presente divulgación.

La Figura 3 ilustra esquemáticamente una posible de realización no limitativa de un horno de fusión de haz de electrones mejorado de acuerdo con la presente divulgación. El horno 210 incluye una cámara de vacío 214 al menos parcialmente definida por las paredes de cámara 215. Unos emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo 216 se sitúan fuera y adyacentes a la cámara 214. Unos emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo 216 proyectan campos de electrones de área ancha 218 en el interior de la cámara 214. De modo similar al horno convencional 110 mostrado en la Figura 1, la barra de aleación 220 se introduce dentro de la cámara 214 por un alimentador de barras 215. La aleación fundida 226 se produce mediante la incidencia del campo de electrones de área ancha 218 de al menos un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo 216 sobre la barra 220. La aleación fundida 226, que se funde a partir de la barra 220 gotea dentro de la solera 224 de cobre refrigerado por agua, reside en la solera 224 durante un cierto tiempo de permanencia, en la que se calienta, desgasifica y refina mediante uno o más campos de electrones de área ancha 218 producido por emisores 216. La aleación fundida 226 gotea finalmente desde la solera 224 al interior del molde 230 y forma una colada fundida 231. La colada fundida 231 solidifica finalmente y progresivamente en el molde 230 para formar el lingote 232. Al menos uno de los campos de electrones de área ancha 218 calienta preferentemente la aleación fundida dentro de la colada 231 en una forma ventajosa para controlar la tasa de solidificación del lingote 232 en formación.

Como se ha explicado anteriormente, los emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo 216 del horno 210 se diseñan para generar un campo o “inundación” de electrones energéticos que cubren un área ancha con relación a la cobertura del punto del haz sustancialmente lineal producido por cañones de haces de electrones usados en los hornos de haz de electrones convencional. Los emisores 216 de campo de electrones dispersan electrones sobre un área ancha e inciden sobre los materiales a ser fundidos y/o mantenidos en estado fundido dentro del horno 210. Debido a que el campo de electrones que produce cubrirá un área ancha dentro de la cámara del horno, un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo mantendrá una temperatura más uniforme dentro del horno de fusión de haz de electrones con relación a un horno de haz electrones convencional, y también prescindirá de la necesidad de barrer un punto de electrones altamente enfocados. En cualquier caso, ciertas realizaciones de horno de haz electrones de acuerdo con la presente divulgación pueden incluir componentes que generan campos eléctricos u otros componentes adecuados para dirigir el campo de electrones generado por los uno o más emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo según se desee. Por ejemplo, en el horno 210, puede ser deseable barrer el amplio campo producido por un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo 216 de lado a lado para proporcionar calor adicional a los bordes de la solera 224. Al inundar un área relativamente ancha con un campo de electrones energéticos, en lugar de barrer una fuente puntual de electrones a través del área, el efecto de calentamiento intenso localizado (por ejemplo, potencia por unidad de área) asociado con haces de electrones sustancialmente lineales, que tiene lugar cuando se usan hornos de fusión de haces de electrones convencionales, se reduce significativamente. Esto elimina o al menos reduce significativamente el grado en el que los elementos de la aleación relativamente volátiles se evaporan indeseablemente por la razón de que no se producen puntos de temperatura relativa extremadamente alta. Esto, a su vez, obvia parcial o totalmente el control composicional y problemas de contaminación inherentes al diseño de hornos de haces de electrones convencionales.

Como se ha hecho notar anteriormente, varias realizaciones de emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo incluyen generalmente uno o más ánodos de hilo alargado que producen plasma de iones positivos, en el que el plasma se hace incidir sobre un cátodo para generar un campo de electrones secundarios que pueda ser acelerado para incidir sobre un objetivo que ha de ser calentado. Una representación esquemática del diseño conocido de un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo, previamente usado en otras aplicaciones, no relacionadas, se muestra en la Figura 4. Este emisor 310 incluye una zona de ionización 314 o plasma en la que se produce un plasma de iones positivos, y una zona de cátodo 316 que incluye el cátodo 318. La zona de plasma 314 se llena con un gas ionizable a baja presión, y el gas se ioniza en la zona de plasma para producir el plasma que contiene cationes. Por ejemplo, la zona de ionización 314 puede llenarse con un gas helio, por ejemplo, a aproximadamente 2,67 Pa (20 mTorr). Un ánodo de hilo estirado de pequeño diámetro 319 pasa a través de una longitud de la zona de plasma 314. Se aplica una tensión positiva al ánodo de hilo 319 por la fuente de alimentación 322, y esto inicia la ionización del gas helio en un plasma que comprende cationes de helio y electrones libres (los electrones “primarios”). Una vez se inicia la ionización del gas helio, el plasma se sostiene por la aplicación de una tensión al ánodo de hilo delgado 319. Los iones de helio positivamente cargados dentro del plasma se extraen de la cámara de ionización 314 a través de una rejilla de extracción 326 mantenida a alto potencial eléctrico negativo y se acelera a través de un espacio de alta tensión en la zona de cátodo 316, en donde los cationes en el plasma impactan en el cátodo 318 de alta tensión negativa. El cátodo 318 puede ser, por ejemplo, un metal o aleación recubierto o sin recubrir. La incidencia de los iones helio sobre el cátodo 318 libera electrones secundarios desde el cátodo 318. El espacio 328 de alta tensión acelera los electrones secundarios en una dirección opuesta a la dirección de movimiento de los cationes de helio, a través de la rejilla de extracción 326 y al interior de la zona de plasma 314, y a continuación a través de una ventana de lámina 329 metálica delgada fabricada de un material relativamente transparente a los electrones. Como se ha hecho notar anteriormente, dependiendo de las presiones de gas relativas dentro del emisor de electrones y la cámara del horno, puede ser posible omitir la ventana 329 de la lámina, en cuyo caso los electrones producidos por el emisor entrarían en la cámara del horno directamente.

El electrodo de hilo 319 y el cátodo 318 pueden diseñarse y disponerse para promover mejor el movimiento de los iones de helio positivamente cargados hacia el cátodo 318. También, el cátodo 318 y la rejilla de extracción 326 pueden diseñarse y disponerse para maximizar la transmisión de electrones secundarios a través de la rejilla 326 y con un perfil de haces adecuado para la penetración a través de la ventana de lámina 329, si está presente. El campo de área ancha de electrones energéticos que sale del emisor 310 puede dirigirse para incidir sobre un objetivo situado en oposición a la ventana de lámina 329 y dentro de la cámara de vacío de un horno de fusión. También, la ventana 329 puede dimensionarse de modo que sea tan delgada como sea posible para maximizar la transmisión de electrones desde el emisor 310. Puede usarse como la ventana de lámina 329, si es necesario, una lámina de tipo aluminio o tipo titanio que tenga un grosor que permita una suficiente transmisión de electrones, en tanto mantiene también un entorno de vacío suave dentro del emisor 310. Otros materiales adecuadamente fuertes y aceptablemente transparentes a los electrones que pueden usarse como una ventana en el aparato, si está presente, serán conocidos para los expertos en la materia. Como se ha explicado generalmente en el presente documento, la ventana 329 puede omitirse si las diferencias de presión entre el interior del emisor 310 y la cámara de vacío que contiene el objetivo no son significativas

De acuerdo con la presente divulgación, pueden proporcionarse uno o más emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo, tales como por ejemplo, el emisor 310, para suministrar los electrones energéticos al interior de

la cámara de vacío de un horno de fusión de haz de electrones, como un sustituto para los cañones de haces de electrones que producen un haz de electrones sustancialmente lineal. Como se muestra en la Figura 5, una realización no limitativa de un horno de fusión de haz de electrones de acuerdo con la presente divulgación incluye uno o más emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo 310 posicionados adyacentes a la cámara de vacío 330. El campo de electrones 332 de área ancha sale del emisor 310 a través de la ventana de película 329 e inunda al menos una zona de la superficie de la aleación 334 fundida en la solera 336, calentando de ese modo la aleación para mantenerla en un estado fundido. Debido a que los electrones que inciden sobre la aleación en la solera 336 están dispersos a través de un área relativamente ancha, la energía enfocada sobre el material fundido en cualquier zona localizada particular no es suficientemente grande para dar como resultado un nivel problemático de volatilización de elementos de la aleación, reduciendo de ese modo u obviando la contaminación de la aleación y problemas de heterogeneidad inherentes en el uso de hornos de fusión convencionales de haz de electrones. Como se hecho notar anteriormente, la ventana de película 329 puede omitirse si la presión diferencial de funcionamiento entre el emisor 310 y la cámara de vacío 330 no es significativa. También, como se hecho notar anteriormente, la cámara de vacío 330 funciona preferentemente a una presión más alta que lo que es convencional para reducir adicionalmente o eliminar la indeseable vaporización de elementos, y en tal caso la necesidad de una ventana de película que divida el emisor de electrones de la cámara del horno dependerá, de nuevo, de la presión diferencial particular inherente al diseño. Opcionalmente, se proporcionan componentes 340 para dirigir magnéticamente el campo de electrones de área ancha de modo que permitan un control mejorado adicional del proceso de fusión dentro de la cámara de vacío 330.

Aunque la Figura 5 proporciona una vista simplificada de una realización de un horno de fusión de haz de electrones de plasma iónico por descarga de hilo de acuerdo con la presente divulgación que incluye un emisor de electrones simple, será evidente para los expertos en la materia que las realizaciones reales o alternativas de dichos aparatos pueden tener múltiples emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo. También será evidente que pueden incorporarse uno o más emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo en dicho aparato para: (1) fundir materias primas introducidas dentro del horno, en la forma de, por ejemplo, una barra o hilo de aleación; (2) mantener la aleación fundida residente en la solera del horno a una temperatura por encima de la temperatura de fusión de la aleación (y posiblemente desgasificar y/o refinar la aleación fundida); y (3) mantener zonas deseadas de la colada fundida sobre la superficie de lingote de pieza moldeada que avanza incrementalmente en un estado fundido, influyendo de ese modo en la tasa de solidificación del lingote en una forma deseada. También, en ciertas realizaciones, pueden usarse uno o más emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo junto con uno o más cañones de haces de electrones que producen haces de electrones convencionales sustancialmente lineales.

Las Figuras 6 y 7 proporcionan detalles adicionales relativos a una posible realización no limitativa de un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo que puede adaptarse para su uso como la fuente de electrones energéticos en una realización de un horno de fusión de haz de electrones acuerdo con la presente divulgación. La Figura 6 es una vista en perspectiva, parcialmente en sección, de la realización del emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo. La Figura 7 es un diagrama esquemático que ilustra, en una forma simplificada, el funcionamiento del emisor 510. El emisor 510 incluye un recinto 513 eléctricamente puesto a tierra, que incluye la zona del cátodo 511, zona de ionización 514 o plasma, y ventana de lámina transmisora de electrones 515. El electrodo de hilo 516 estirado se extiende a través de una longitud de la zona de ionización 514. La ventana de lámina 515 se conecta eléctricamente a la cámara 513 y de ese modo forma un ánodo que funciona para acelerar los electrones dentro de la cámara 513 a través de ella para salir a la cámara 513 en la dirección general de las flechas “A”. La cámara 513 está llena con gas helio a baja presión, tal como 0,13 - 1,33 Pa (1 - 10 mTorr), y se alimenta con el gas por la alimentación de gas 517. La alimentación de gas 517 se conecta al recinto 513 por el conducto 519, que pasa a través de la válvula 521. Se mantiene un entorno de vacío suave en la cámara 513 por la bomba 523, que se conecta a la cámara 513 por el conducto 525.

La zona del cátodo 511 incluye el cátodo 518, que a su vez incluye una inserción 520 montada sobre una superficie inferior del mismo. La inserción 520 puede componerse de, por ejemplo, molibdeno, pero puede componerse de cualquier material con un coeficiente de emisión de electrones secundarios adecuadamente alto. El cátodo 518 está de modo adecuado uniformemente separado de las paredes del recinto 513 para impedir la rotura de Paschen. El cátodo 518 se conecta a una fuente de alimentación 522 de alta tensión por el cable 524 que pasa a través del aislante 526 y a la resistencia 528. La fuente de alimentación 522 suministra alto potencial negativo, por ejemplo, 200-300 kV, al cátodo 518. El cátodo 518 y la inserción 520 pueden refrigerarse adecuadamente, tal como mediante, por ejemplo, la circulación de aceite u otro fluido de refrigeración adecuado a través de los conductos 527.

La zona de ionización 514 incluye una pluralidad de nervios metálicos delgados que se acoplan tanto eléctricamente como mecánicamente. Cada nervio 530 incluye una zona de recorte central para permitir que el electrodo de hilo 516 pase a través de la cámara de ionización 514. Los laterales de los nervios 530 que miran al cátodo 518 forman una rejilla 534 de extracción. El lado opuesto de todos o una parte de los nervios 530 proporciona una rejilla de soporte 536 para la ventana de lámina transmisora de electrones 515. Pueden proporcionarse canales 540 de refrigeración para circular un fluido de refrigeración a su través y en la proximidad de los nervios 530 para permitir la eliminación del calor de la zona de ionización 514. La ventana de lámina transmisora de electrones 515, puede estar compuesta de, por ejemplo, una lámina de aluminio o titanio, está soportada sobre la rejilla 534 y se sella al recinto

513 por un anillo tórico u otras estructuras suficientes para mantener el entorno de gas helio con alto vacío dentro del recinto 513. En ciertas realizaciones del emisor 510, se proporciona un colector de gas 544 para refrigerar la ventana de lámina 515, tal como con nitrógeno presurizado. Como se ha explicado en general en el presente documento, la ventana 515 puede omitirse si las diferencias de presión entre el interior de la cámara 513 del emisor 510 y la cámara que contiene el objetivo del campo de electrones no son significativas.

Se conecta un dispositivo de control 548 eléctrico al electrodo de hilo 516 a través del conector 549. Con la activación del dispositivo de control 548, el electrodo de hilo 516 se energiza a un potencial positivo alto, y el helio dentro de la zona de ionización 514 se ioniza para producir un plasma que incluye cationes de helio. Una vez se inicia el plasma en la zona de ionización 514, el cátodo 518 se energiza por la fuente de alimentación 522. Los cationes de helio en la zona de ionización 514 son atraídos eléctricamente al cátodo 518 por el campo eléctrico que se extiende desde el cátodo 518 al interior de la zona de plasma 514. Los cationes de helio viajan a lo largo de las líneas de campo, a través de la rejilla 534 de extracción, y al interior de la zona del cátodo 511. En la zona del cátodo 511, los cationes de helio aceleran a través de todo el potencial del campo eléctrico generado por el cátodo 518 energizado y forzosamente inciden sobre el cátodo 518 como un haz de cationes colimado. Los cationes que impactan liberan electrones secundarios de la inserción 520. El campo de electrones secundarios producido por la inserción 520 es acelerado en una dirección opuesta a la dirección de recorrido de los cationes de helio, hacia el electrodo de hilo 516, y a través de la ventana de lámina 515, si está presente.

Pueden proporcionarse medios para supervisar la presión de gas real dentro de la cámara 513 dado que los cambios en presión pueden afectar a la densidad del plasma de iones de helio y, a su vez, la densidad del campo de electrones secundarios generado en el cátodo 518. Puede fijarse una presión inicial dentro del recinto 513 mediante el ajuste en la forma apropiada de la válvula 521. Una vez se inicia el plasma que contiene cationes en la zona de plasma 514, puede proporcionarse un supervisor de tensión 550 para supervisar indirectamente la presión quiescente instantánea dentro de la cámara 513. Una elevación en la tensión es indicativa de una presión en la cámara más baja. La señal de salida del supervisor de tensión 550 se usa para controlar la válvula 521, a través del controlador de válvula 552. La corriente suministrada al electrodo de hilo 516 por el dispositivo de control 548 también se controla por la señal del supervisor de tensión 550. El utilizar la señal generada por el supervisor de tensión 550 para controlar la válvula 521 de suministro de gas y el dispositivo de control 548 permite una producción de campo de electrones estable desde el emisor 510.

La corriente generada por el emisor 510 puede determinarse por la densidad de cationes que impactan en el cátodo 518. La densidad de los cationes que impactan en el cátodo 518 puede controlarse ajustando la tensión del electrodo de hilo 516 a través del dispositivo de control 548. La energía de los electrones emitidos desde el cátodo 518 puede controlarse mediante el ajuste de la tensión sobre el cátodo 518 a través de la fuente de alimentación 522. Tanto la corriente como la energía de los electrones emitidos pueden controlarse independientemente, y las relaciones entre estos parámetros y las tensiones aplicadas son lineales, haciendo el control del emisor 510 tanto eficiente como efectivo. Por el contrario, los cañones de haces de electrones termoiónicos convencionales no puede controlarse en una forma correspondientemente lineal cuando se ajustan los parámetros del haz.

La Figura 8 es una ilustración esquemática de una realización de un horno de fusión de haz de electrones de acuerdo con la presente divulgación, en la que el horno 610 incorpora dos emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo 614, 616 que tienen un diseño como se muestra en general en las Figuras 6 y 7 y se ha explicado anteriormente en conexión con esas figuras. El horno 610 incluye una cámara de vacío 620, alimentador de materialc622, y dispositivo de moldeo o atomización 624. La corriente requerida para el funcionamiento de los emisores 614 y 616, como se ha explicado anteriormente, se suministra a los emisores por líneas de alimentación 626, y la interfaz entre los emisores 614, 616 y la cámara de vacío 620 incluye ventanas de lámina transmisora de electrones 634, 636, que permite que los campos de electrones 638 generados por los emisores 614, 616 entren en la cámara de vacío 620. Las ventanas de lámina 634, 636 pueden omitirse si las presiones de funcionamiento dentro de los emisores 614, 616 y la cámara de vacío son idénticas o no difieren significativamente. Pueden incluirse medios 639 para dirigir magnéticamente los campos de electrones 638 dentro de la cámara de vacío 620 para proporcionar un control del proceso adicional. Una solera 640, que puede ser, por ejemplo, una solera fría, se dispone en la cámara de vacío 620. En funcionamiento, los emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo 614, 616 se energizan y generan campos de electrones 618. Se introduce un material 644 de alimentación eléctricamente conductor dentro de la cámara de vacío 620 por el alimentador 622, se funde por el campo de electrones 638 emitido desde el emisor 614, y gotea a la solera 640. El campo de electrones de área ancha 638 emitido por el emisor 616 calienta, desgasifica y refina el material fundido 642 mientras reside en la solera 640. El material fundido 642 avanza a lo largo de la solera 640 y gotea dentro del dispositivo de moldeo o atomización 624 y se procesa a una forma deseada.

Aunque la descripción precedente ha presentado necesariamente solo un número limitado de realizaciones, los expertos en la materia apreciarán que pueden realizarse por los expertos en la materia varios cambios en los aparatos y métodos y otros detalles de los ejemplos que se han descrito e ilustrado en el presente documento, y todas las dichas modificaciones permanecerán dentro del principio y alcance de la presente divulgación tal como se ha expresado en el presente documento y en las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, aunque la presente divulgación solo ha presentado necesariamente un número limitado de realizaciones de hornos de fusión de haz de

electrones de acuerdo con la presente divulgación, y también ha explicado solo necesariamente un número limitado de diseños de emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo, se entenderá que la presente divulgación y reivindicaciones asociadas no están limitadas a ello. Los expertos en la materia identificarán fácilmente diseños de emisores de electrones de plasma iónico por descarga de hilo y pueden diseñar y construir diseños de horno adicionales a lo largo de las líneas y dentro del espíritu del número necesariamente limitado de realizaciones explicadas en el presente documento. Se entiende, por lo tanto, que la presente invención no está limitada a las realizaciones particulares divulgadas o incorporadas en el presente documento, sino que se pretende que cubra modificaciones que están dentro de los principios y alcance de la invención, tal como se define por las reivindicaciones. Se apreciará también por los expertos en la materia que podrían realizarse cambios a las realizaciones anteriores sin apartarse del amplio concepto inventivo de las mismas.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato para fundir un material metálico eléctricamente conductor, comprendiendo el aparato:

una cámara de vacío (214):

una solera (224) dispuesta en dicha cámara de vacío (214);
al menos un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo (216) dispuesto en o adyacente a dicha cámara de vacío (214) y posicionado para dirigir un campo de electrones de área ancha (218) al interior de dicha cámara (214), teniendo dicho campo de electrones de área ancha (218) suficiente energía para calentar dicho material metálico eléctricamente conductor hasta su temperatura de fusión;

al menos uno de un molde (230) y un aparato de atomización en comunicación con dicha cámara (214) y posicionado para recibir el material desde dicha solera; y

al menos un alimentador (215) adaptado para introducir el material eléctricamente conductor dentro de la cámara de vacío (214) en una posición sobre al menos una zona de la solera.

2. El aparato de la reivindicación 1, en el que el alimentador y el al menos un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo (216) están dispuestos de modo que el campo de electrones de área ancha (218) emitido por el emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo (216) incide al menos parcialmente sobre el material metálico eléctricamente conductor introducido dentro de la cámara (214) por el alimentador.

3. El aparato de la reivindicación 1, en el que la solera incluye una zona de mantenimiento del material fundido y en el que la solera y el al menos un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo (216) están dispuestos de modo que el campo de electrones de área ancha (218) emitido por el emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo (216) incide al menos parcialmente sobre la zona de mantenimiento del material fundido.

4. El aparato de la reivindicación 1 o la reivindicación 3, en el que la solera se selecciona de entre el grupo que consiste en una solera fría y una solera autógena.

5. El aparato de la reivindicación 1, en el que el emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo (216) comprende una zona de plasma (314) que incluye un electrodo de hilo adaptado para producir un plasma de iones positivos y una zona de cátodo (316) que incluye un cátodo eléctricamente conectado a una fuente de alimentación de alta tensión adaptada para cargar negativamente dicho cátodo, posicionado dicho cátodo en relación a dicho electrodo de modo que los iones positivos generados por dichos electrodos son acelerados hacia dicho cátodo e inciden sobre él, liberando un campo de electrones de área ancha desde dicho cátodo, comprendiendo dicho cátodo una inserción que tiene una temperatura de fusión alta y una función de trabajo baja.

6. El aparato de la reivindicación 5, en el que el emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo (216) comprende adicionalmente una ventana de lámina transmisora de electrones (329), posicionada dicha ventana de lámina dentro de una pared de dicha cámara, permitiendo de ese modo que los electrones liberados desde dicho cátodo entren en dicha cámara a través de dicha ventana de lámina.

7. El aparato de la reivindicación 6, en el que dicha ventana de lámina comprende al menos una de entre una lámina de titanio transmisora de electrones y una lámina de aluminio transmisora de electrones.

8. El aparato de la reivindicación 1, en el que dicho al menos un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo (216) se abre al interior de dicha cámara de vacío (214) de modo que dicho campo de electrones de área ancha puede pasar directamente desde dicho al menos un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo al interior de dicha cámara de vacío (214) sin pasar a través de una ventana transmisora de electrones.

9. El aparato de la reivindicación 1, en el que el aparato es un horno de fusión de solera fría de haz de electrones y el material metálico eléctricamente conductor es al menos uno de un material elegido entre titanio, aleaciones de titanio, tungsteno, niobio, tántalo, platino, paladio, circonio, iridio, níquel, aleaciones a base de níquel, hierro, aleaciones a base de hierro, cobalto y aleaciones a base de cobalto.

10. El aparato de la reivindicación 5 o la reivindicación 6, en el que dicha fuente de alimentación de alta tensión alimenta dicho cátodo hasta una tensión negativa mayor de 20.000 voltios.

11. Un método de procesamiento de un material, comprendiendo el método:

introducir un material que comprende el menos uno de entre un metal y una aleación metálica dentro de una cámara de horno (214) mantenida a una baja presión con relación a la presión atmosférica; y
someter el material a un campo de electrones de área ancha (218) dentro de la cámara de horno (214) para calentar el material hasta una temperatura por encima de una temperatura de fusión del material, en donde el

campo de electrones de área ancha (218) se genera mediante un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo (216).

12. El método de la reivindicación 11, en el que el material comprende el menos uno de entre titanio, aleaciones de titanio, tungsteno, niobio, tántalo, platino, paladio, circonio, iridio, níquel, aleaciones a base de níquel, hierro, aleaciones a base de hierro, cobalto y aleaciones a base de cobalto.

13. El método de las reivindicaciones 11, que comprende adicionalmente:

formar una pieza moldeada o un polvo a partir del material posterior o simultáneamente a someter el material al campo de electrones de área ancha.

14. El método de la reivindicación 11 que comprende:

introducir al menos un material eléctricamente conductor seleccionado de entre el grupo que consiste en titanio, aleaciones de titanio, tungsteno, niobio, tántalo, platino, paladio, circonio, iridio, níquel, aleaciones a base de níquel, hierro, aleaciones a base de hierro, cobalto y aleaciones a base de cobalto en una cámara mantenida a una baja presión con relación a la presión atmosférica;
someter el material a un campo de electrones de área ancha (218) dentro de la cámara del horno para calentar el material hasta una temperatura por encima de la temperatura de fusión del material, en donde el campo de electrones de área ancha (218) se genera mediante un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo (216);
opcionalmente añadir al material al menos un aditivo de aleación; y
formar una pieza moldeada o un polvo a partir del material posterior o simultáneamente a someter el material al campo de electrones.

15. El método de la reivindicación 11, en el que una presión dentro del emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo (216) es sustancialmente la misma que una presión dentro de la cámara del horno (214).

16. El método de la reivindicación 11, en el que una presión dentro de la cámara del horno (214) es mayor que una presión dentro del emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo (216).

17. El método de la reivindicación 11 o la reivindicación 14, en el que una presión dentro de la cámara del horno (214) se mantiene mayor de 5,3 Pa (40 μ), disminuyendo o eliminando de ese modo la evaporación no deseable de elementos volátiles del material durante el calentamiento del material en la cámara del horno.

18. El método de la reivindicación 11 o la reivindicación 14, en el que una presión dentro de la cámara del horno (214) se mantiene mayor de 40 Pa (300 μ) disminuyendo o eliminando de ese modo la evaporación no deseable de elementos volátiles del material durante el calentamiento del material en la cámara del horno.

19. Un método para disminuir o eliminar la evaporación no deseable de elementos volátiles desde un material fundido durante el calentamiento del material en una cámara de vacío (214) de un horno de fusión de haz de electrones que incluye un emisor de electrones de plasma iónico por descarga de hilo (216) que emite un campo de electrones de área ancha (218) para calentar el material dentro de la cámara del horno, comprendiendo el método mantener la presión dentro de la cámara de vacío (214) a al menos 5,3 Pa (40 μ).

20. El método de la reivindicación 19, en donde el método comprende mantener la presión dentro de la cámara de vacío (214) superando 40 Pa (300 μ).

21. El método de la reivindicación 19, en el que el material fundido se selecciona de entre titanio, aleaciones de titanio, tungsteno, niobio, tántalo, platino, paladio, circonio, iridio, níquel, aleaciones a base de níquel, hierro, aleaciones a base de hierro, cobalto y aleaciones a base de cobalto.

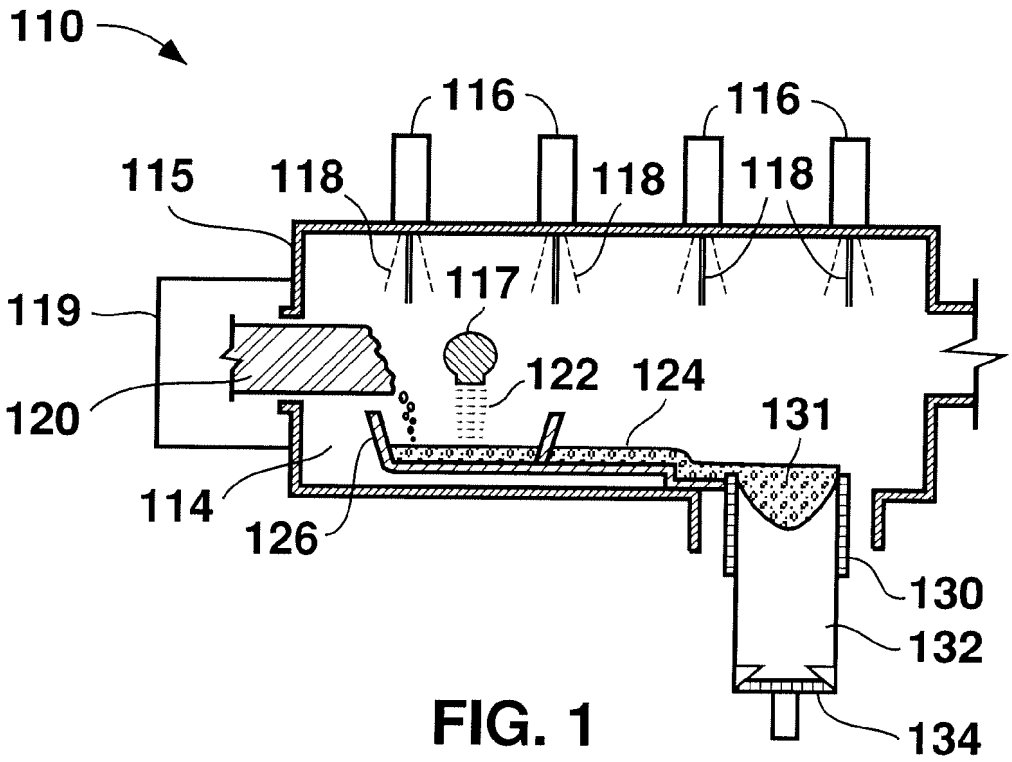
110
116
116
115
118
118
118
117
119
122
124
120
131
114
126
130
132
134

FIG. 1

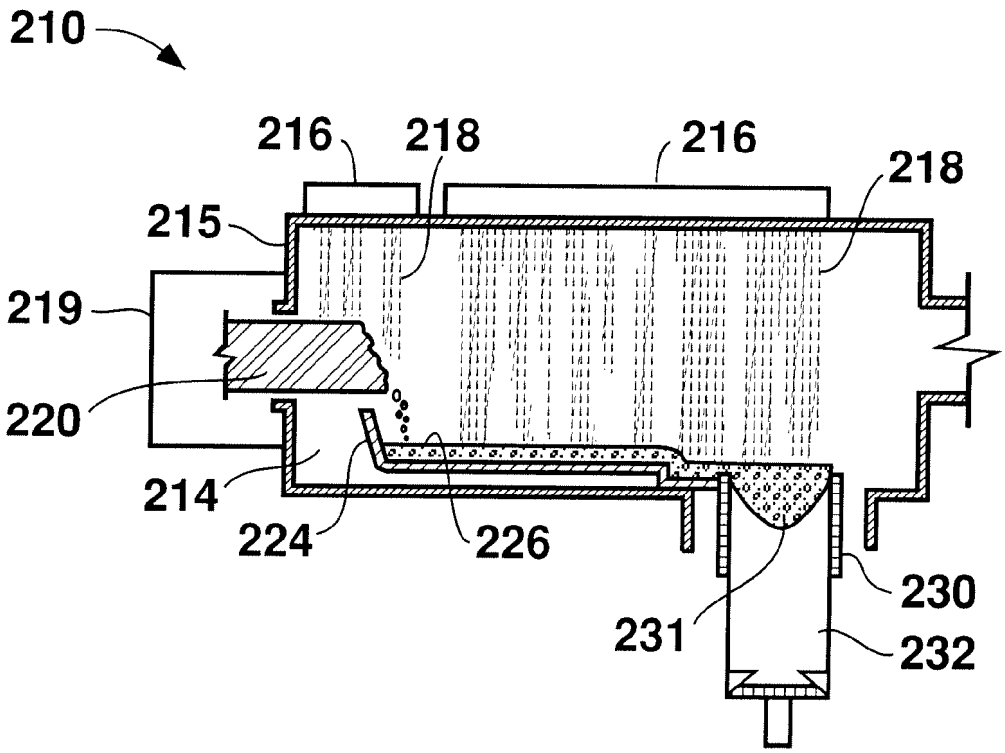
210
216
218
216
218
215
219
220
214
224
226
230
231
232

FIG. 3

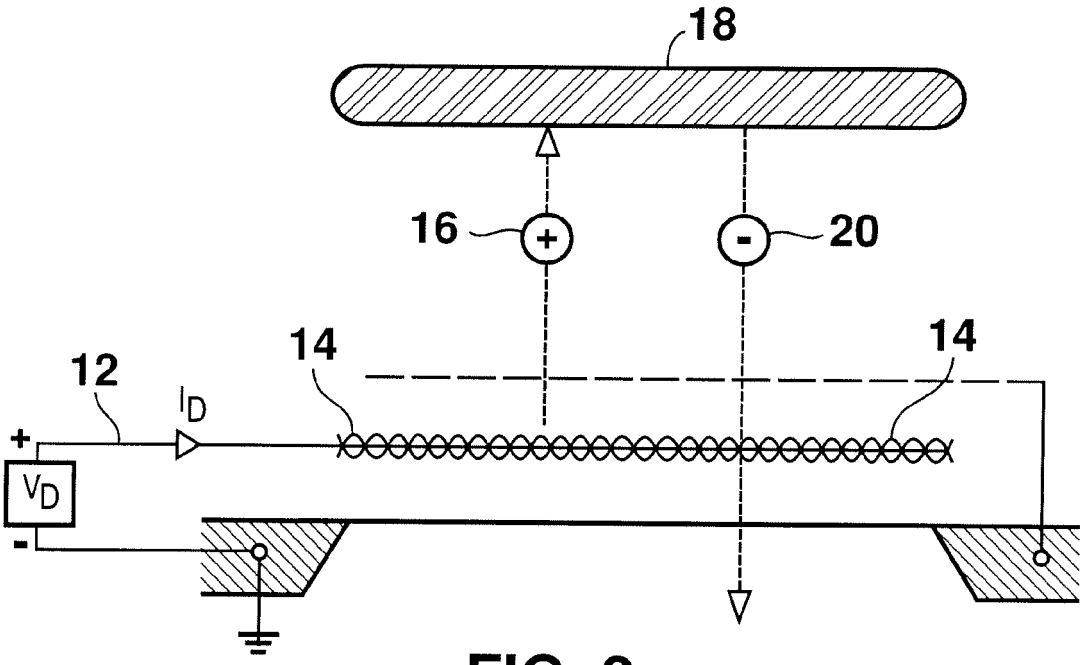

FIG. 2

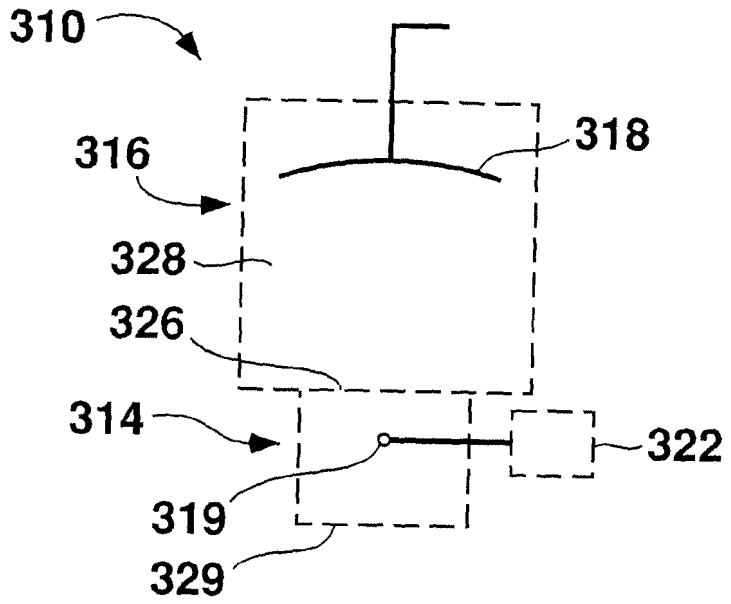
310
316
318
328
326
314
322
319
329

FIG. 4

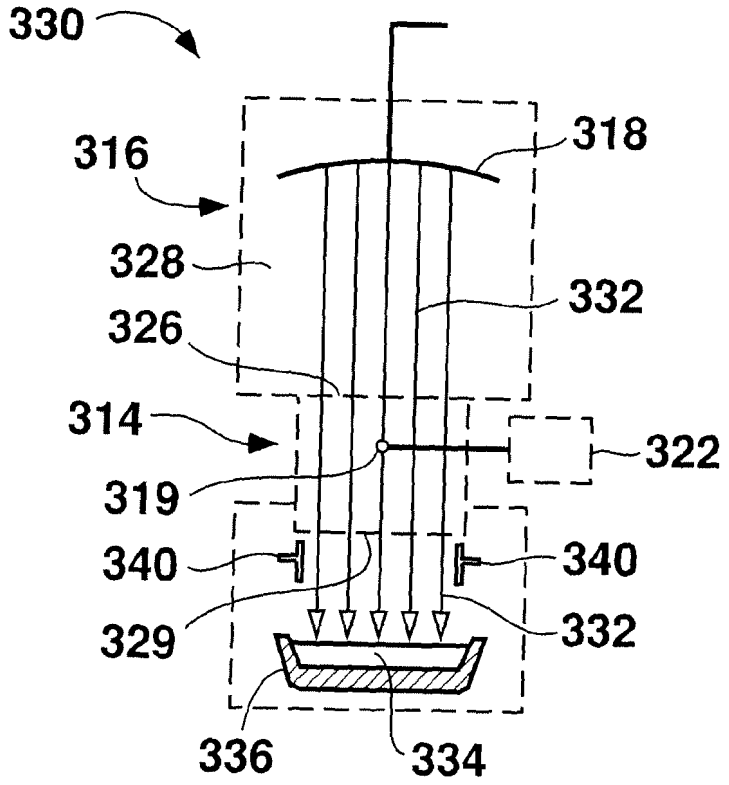
330
316
318
328
332
326
314
322
319
340
340
329
332
336
334

FIG. 5

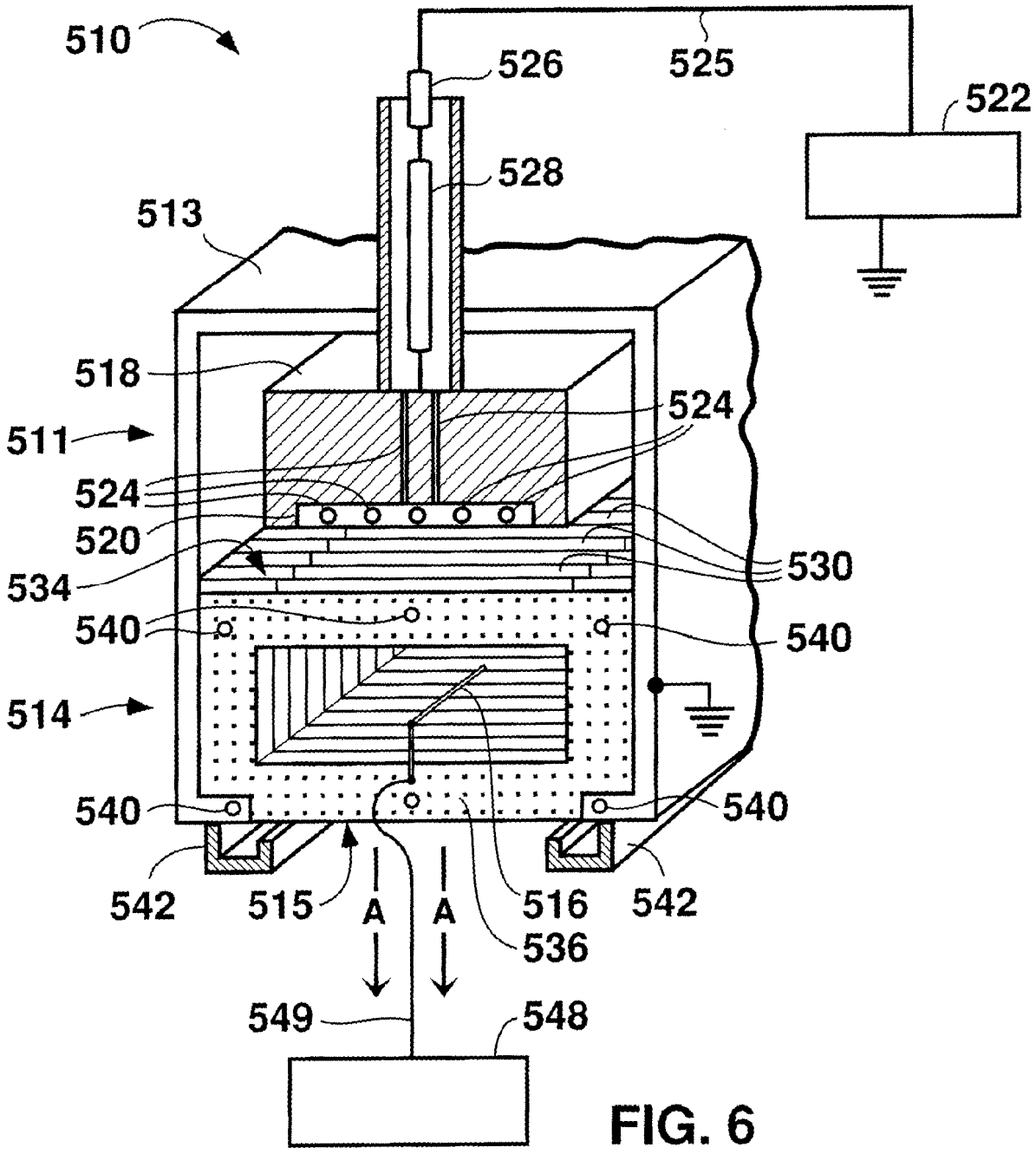
510
526
525
522
528
513
518
524
511
524
520
530
534
540
540
514
540
540
542
515
A
A
516
542
536
549
548

FIG. 6

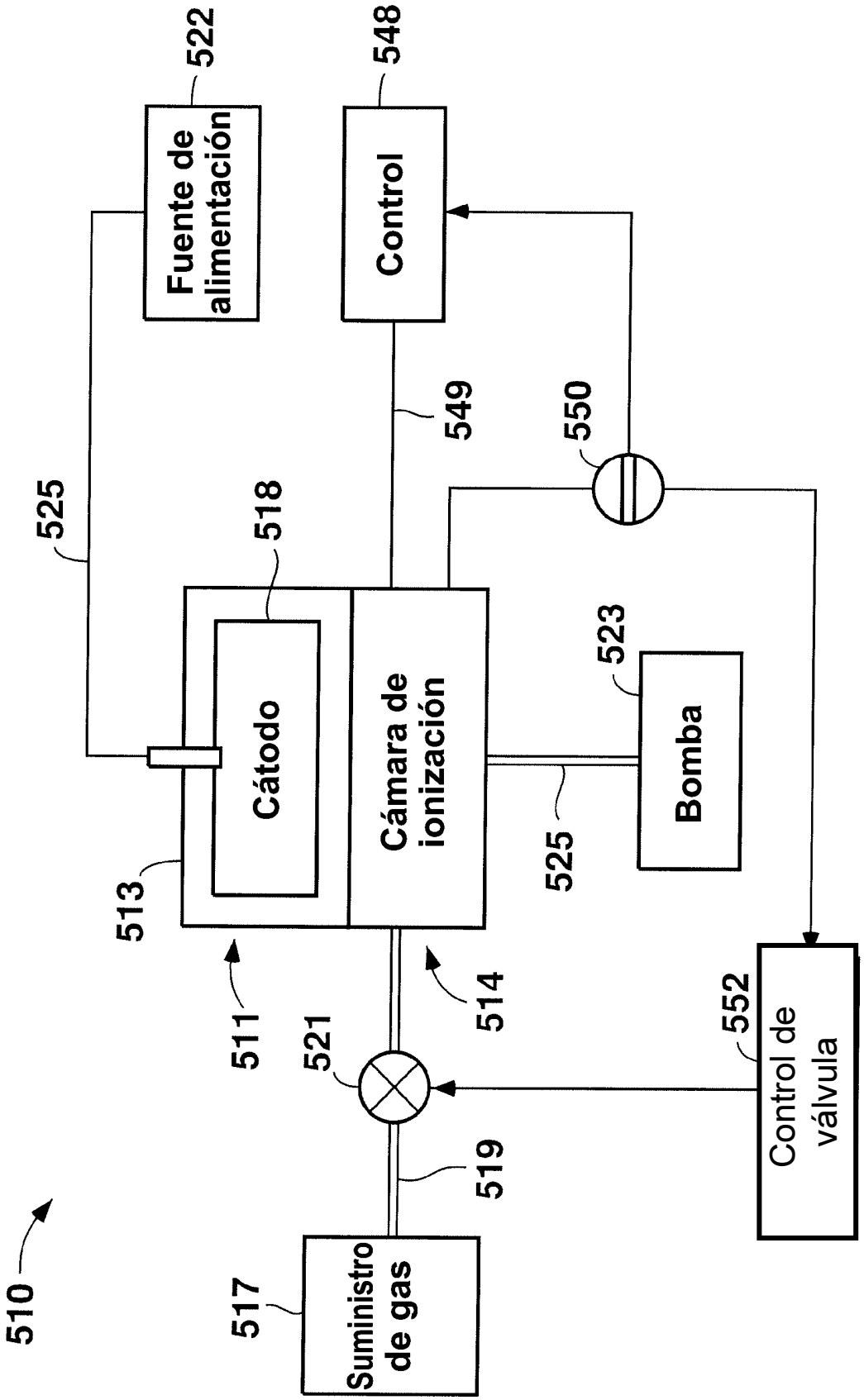
510
517
Suministro de gas
519
521
511
513
525
Cátodo
518
Cámara de ionización
514
525
Fuente de alimentación
522
549
Control
548
550
523
Bomba
552
Control de válvula

FIG. 7

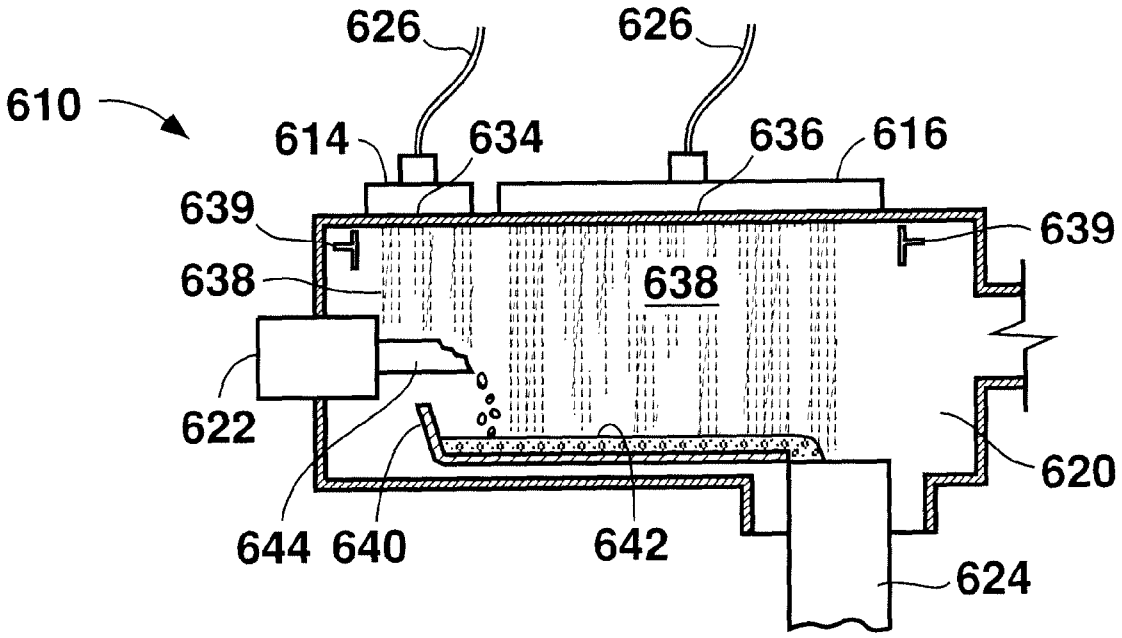
626
626
610
614
634
636
616
639
639
638
638
622
620
644
640
642
624

FIG. 8