

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 632 210**

51 Int. Cl.:

**B05D 1/06** (2006.01)

**B22F 3/115** (2006.01)

**B22F 9/08** (2006.01)

**C22C 19/05** (2006.01)

**C23C 4/123** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.07.2012 PCT/US2012/046838**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.02.2013 WO13022552**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.07.2012 E 12741179 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.04.2017 EP 2741864**

54 Título: **Proceso para formar productos a partir de metales y aleaciones atomizados**

30 Prioridad:  
**11.08.2011 US 201113207629**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**11.09.2017**

73 Titular/es:  
**ATI PROPERTIES LLC (100.0%)  
1600 N.E. Old Salem Road  
Albany OR 97321, US**

72 Inventor/es:  
**KENNEDY, RICHARD L. y  
FORBES-JONES, ROBIN M.**

74 Agente/Representante:  
**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

ES 2 632 210 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**

Proceso para formar productos a partir de metales y aleaciones atomizados

5 **Campo técnico**

La presente divulgación se refiere a fundir, atomizar y procesar metales y aleaciones y a formar productos de metales y aleaciones usando metales y aleaciones atomizados.

10 **Antecedentes**

Los metales y las aleaciones, tales como, por ejemplo, hierro, níquel, titanio, cobalto y aleaciones basadas en estos metales, se usan normalmente en aplicaciones de ingeniería críticas en las que son ventajosas o necesarias composiciones de microestructuras de grano fino, con homogeneidad y/o sustancialmente libres de defectos. Los problemas tales como el crecimiento indeseado de granos y la segregación en moldeados y lingotes de metales y aleaciones pueden ser perjudiciales para aplicaciones de uso final y pueden aumentar significativamente los costes asociados a la producción de aleación de alta calidad. Las técnicas convencionales de producción de aleaciones, tales como fundido de inducción al vacío, refinado de electroescoria y refundido de arco de vacío pueden usarse para reducir la cantidad de impurezas y contaminantes en los moldeados de aleaciones. Sin embargo, en diversos casos, los procesos convencionales de producción de aleaciones de moldeo y forjado no pueden usarse para producir aleaciones que tienen las composiciones de microestructuras de grano fino, con homogeneidad y/o sustancialmente libres de defectos deseadas o requeridas para diversas aplicaciones de ingeniería crítica.

Los procesos de metalurgia en polvo pueden permitir la producción de metales y aleaciones que tienen microestructuras de grano fino que no pueden lograrse con procesos de producción de aleaciones de moldeo y forjado. Sin embargo, los procesos de metalurgia en polvo son más complejos que los procesos de producción de aleaciones de moldeo y forjado y pueden producir metales y aleaciones que tienen niveles relativamente altos de huecos y porosidad. Los procesos de metalurgia en polvo también tienen el potencial de inducir impurezas y contaminantes en productos de metales y aleaciones durante la producción, el manejo y el procesamiento de los suministros madre en polvo usados para formar los productos. La Patente de EE.UU. número 7.578.960 desvela un aparato para formar un polvo de aleación o una preforma que incluye un ensamblaje de fundido, un ensamblaje de atomizado y un ensamblaje de generación de campo y un colector.

35 **Sumario de la invención**

La invención proporciona un proceso de acuerdo con la reivindicación 1 de las reivindicaciones adjuntas.

Se entiende que la invención desvelada y descrita en la presente memoria descriptiva no se limita a las realizaciones resumidas en este sumario.

40 **Breve descripción de los dibujos**

Diversos rasgos y características de las realizaciones no limitantes y no exhaustivas desveladas y descritas en la presente memoria descriptiva pueden entenderse mejor por referencia a las figuras que acompañan, en las que:

45 La Figura 1 es una ilustración esquemática de un sistema de procesamiento de aleación;

50 La Figura 2 es un diagrama esquemático de un ensamblaje de atomizado, en el que se produce un campo de electrones de forma generalmente rectangular en la ruta de la aleación fundida que pasa a través del ensamblaje de atomizado;

55 La Figura 3 es un diagrama esquemático de un ensamblaje de atomizado, en el que un aparato de barrido por tramas produce un campo de electrones en la ruta de la aleación fundida que pasa a través del ensamblaje de atomizado;

La Figura 4 es un diagrama esquemático de un ensamblaje de atomizado, en el que los electrones usados para producir un campo de electrones en la ruta de una aleación fundida que pasa a través del ensamblaje de atomizado se producen desde la superficie externa de un filamento;

60 La Figura 5 es un diagrama esquemático de la atomización de una gotita de aleación fundida en un ensamblaje de atomizado de haz de electrones;

65 Las Figuras 6, 7, 7A, 8, 8A, 9 y 9A son diagramas esquemáticos de sistemas y aparatos configurados para formar una preforma de aleación mediante un proceso de formación de pulverizado sólido;

Las Figuras 10-13 son diagramas esquemáticos de ensamblajes de fundido que producen aleación fundida;

Las Figuras 14-17 y 17A son diagramas esquemáticos de sistemas y aparatos configurados para formar una preforma de aleación mediante un proceso de formación de pulverizado sólido;

La Figura 18 es un diagrama de flujo de un proceso de formación de pulverizado sólido;

Las Figuras 19A-19F son diagramas esquemáticos que muestran colectivamente un sistema de formación de pulverizado sólido que implementa un proceso de formación de pulverizado sólido;

La Figura 20 es un diagrama esquemático de diversos componentes de un emisor de plasma iónico de alambre de descarga;

La Figura 21 es un diagrama esquemático de un ensamblaje de fusión por haz de electrones de chimenea fría que incluye emisores de plasma iónicos de alambre de descarga;

La Figura 22 es un diagrama esquemático de diversos componentes de un emisor de plasma iónico de alambre de descarga;

La Figura 23 es un diagrama esquemático de un aparato de fusión por haz de electrones que incluye un emisor de plasma iónico de alambre de descarga;

La Figura 24 es una vista en perspectiva de un emisor de plasma iónico de alambre de descarga;

La Figura 25 es un diagrama esquemático que ilustra el funcionamiento del emisor de plasma iónico de alambre de descarga mostrado en la Figura 24; y

La Figura 26 es un diagrama esquemático de un aparato de fusión por haz de electrones que incluye múltiples emisores de plasma iónico de alambre de descarga.

El lector apreciará los anteriores detalles, así como otros, tras considerar la siguiente descripción detallada de diversas realizaciones no limitantes y no exhaustivas de acuerdo con la presente divulgación.

### Descripción

Se describen y se ilustran diversas realizaciones en la presente memoria descriptiva para proporcionar un entendimiento global de la estructura, la función, el funcionamiento, la fabricación y el uso de los procesos y los productos desvelados. Se entiende que las diversas realizaciones descritas e ilustradas en la presente memoria descriptiva son no limitantes y no exhaustivas. De esta manera, la invención no se limita por la descripción de las diversas realizaciones no limitantes y no exhaustivas desveladas en la presente memoria descriptiva. Más bien, la invención se define solamente por las reivindicaciones. Los rasgos y las características ilustrados y/o descritos junto con diversas realizaciones pueden combinarse con los rasgos y las características de otras realizaciones. Tales modificaciones y variaciones se destinan a incluirse dentro del alcance de la presente memoria descriptiva. Como tal, las reivindicaciones pueden modificarse para recitar cualquier rasgo o característica expresa o inherentemente descritos en, o de otra manera expresa o inherentemente soportados por, la presente memoria descriptiva.

Las diversas realizaciones desveladas y descritas en la presente memoria descriptiva pueden comprender, o consistir en los rasgos y las características como se describen diversamente en el presente documento.

La referencia a lo largo de la presente memoria descriptiva a “diversas realizaciones no limitantes” o similares, significa que un rasgo o característica particulares pueden incluirse en una realización. De esta manera, el uso de la frase “en diversas realizaciones no limitantes” o similares, en la presente memoria descriptiva no se refiere necesariamente a una realización común, y puede referirse a realizaciones diferentes. Además, los rasgos o características particulares pueden combinarse de cualquier manera adecuada en una o más realizaciones. De esta manera, los rasgos o características particulares ilustrados o descritos junto con diversas realizaciones pueden combinarse, por completo o en parte, con los rasgos o las características de una o más realizaciones distintas sin limitación. Tales modificaciones y variaciones se destinan a incluirse dentro del alcance de la presente memoria descriptiva.

En diversas aplicaciones críticas, los componentes deben fabricarse a partir de aleaciones, tales como, por ejemplo, superaleaciones basadas en níquel, en forma de lingotes de gran diámetro que carecen de segregación significativa. Tales lingotes deben estar sustancialmente libres de segregación positiva y negativa. Las “pecas” son una manifestación común de la segregación positiva y son metalográficamente observables como regiones grabadas oscuras enriquecidas en elementos solutos. Las pecas resultan del flujo de líquido interdendrítico rico en soluto en la zona blanda de un lingote de moldeado durante la solidificación. Las pecas en la Aleación 718, por ejemplo, están enriquecidas en niobio en comparación con la matriz de aleación global, tienen una alta densidad de carburos y

normalmente contienen fases de Laves. Como tal, las pecas son particularmente desventajosas en aleaciones a usarse en aplicaciones críticas.

5 Las "manchas blancas" son un tipo común de segregación negativa. Las manchas blancas son metalográficamente observables como regiones grabadas claras, que se agotan de elementos solutos endurecedores, tales como niobio. Las manchas blancas se clasifican normalmente en manchas blancas dendríticas, discretas y de solidificación, las manchas blancas discretas son de mayor importancia debido a que se asocian frecuentemente a un agregado de óxidos y nitruros que pueden actuar como sitios de iniciación de grietas en artículos de aleación moldeados.

10 Los lingotes y las preformas que carecen sustancialmente de segregación positiva y negativa y que también están libres de pecas pueden denominarse lingotes y preformas de "primera calidad". Los lingotes y preformas de superaleación a base de níquel de primera calidad se requieren en diversas aplicaciones críticas incluyendo, por ejemplo, componentes rotativos en turbinas de generación de potencia aeronáuticas o de tierra y en otras aplicaciones en las que los defectos metalúrgicos relacionados con la segregación pueden resultar en el fallo catastrófico del componente durante el funcionamiento. Como se usa en el presente documento, un lingote o preforma "carece sustancialmente" de segregación positiva y negativa cuando tales tipos de segregación están completamente ausentes o están presentes solamente en un grado que no hace al lingote o a la preforma inadecuados para su uso en aplicaciones críticas, tales como su uso para la fabricación en componentes rotativos para aplicaciones de turbinas de generación de potencia aeronáuticas o de tierra.

20 Las superaleaciones a base de níquel sometidas a segregación positiva y negativa significativa durante el moldeo incluyen, por ejemplo, la Aleación 718 (UNS N07718) y la Aleación 706 (UNS N09706). Para minimizar la segregación cuando se moldean estas aleaciones para su uso en aplicaciones supercríticas, y para asegurar mejor que la aleación moldeada está libre de inclusiones perjudiciales no metálicas, el material metálico fundido se refina apropiadamente después de moldearse finalmente. Una técnica para refinar la Aleación 718, así como diversas otras superaleaciones a base de níquel propensas a la segregación tales como la Aleación 706, es la técnica del "triple fundido", que combina, secuencialmente, la fusión por inducción al vacío (VIM, por sus siglas en inglés), el refinado/refundido de electroescoria (ESR, por sus siglas en inglés) y el refundido de arco de vacío (VAR, por sus siglas en inglés). Los lingotes de primera calidad de estos materiales propensos a la segregación, sin embargo, son difíciles de producir en grandes diámetros por fusión VAR, la última etapa en la secuencia del triple fundido. En algunos casos, los lingotes de gran diámetro se fabrican en componentes sencillos, en cuyo caso las áreas de segregación inaceptable en los lingotes moldeados por VAR no pueden retirarse selectivamente antes de la fabricación de componentes. En consecuencia, el lingote entero o una porción del lingote pueden necesitar desecharse.

35 Los lingotes de la Aleación 718, la Aleación 706 y otras superaleaciones basadas en níquel tales como la Aleación 600 (UNS N06600), la Aleación 625 (UNS N06625), la Aleación 720 y Waspaloy® (UNS N07001) se requieren cada vez más en pesos más grandes y en consecuencia diámetros más grandes para diversas aplicaciones emergentes. Tales aplicaciones incluyen, por ejemplo, componentes rotativos para turbinas de generación de potencia aeronáuticas o de tierra. Los lingotes más grandes se necesitan no solamente para lograr económicamente el peso del componente final, sino que también facilitan el trabajo termomecánico suficiente para romper adecuadamente la estructura del lingote y lograr todos los requerimientos finales mecánicos y estructurales.

45 La fundición y el moldeo de lingotes de superaleación de gran diámetro acentúan un número de problemas básicos metalúrgicos y relacionados con el procesamiento. Por ejemplo, la extracción de calor durante la solidificación en estado fundido se vuelve más difícil aumentando el diámetro del lingote, dando como resultado tiempos de solidificación más largos y piscinas fundidas más profundas. Esto aumenta la tendencia hacia la segregación positiva y negativa. Además, lingotes más grandes y electrodos ESR/VAR pueden generar estreses térmicos más altos durante el calentamiento y el enfriamiento. La Aleación 718 es particularmente propensa a estos problemas. Para permitir la producción de lingotes VAR de diámetro más grande de calidad metalúrgica aceptable a partir de la Aleación 718 y diversas superaleaciones distintas a base de níquel propensas a la segregación, se han desarrollado secuencias de fusión y tratamiento de calor especializadas. Una secuencia de tratamiento de fusión y tratamiento de calor especializada se describe en la Patente de Estados Unidos n.º 6.416.564.

55 No obstante, las técnicas de metalurgia en polvo pueden usarse para producir productos de aleación de primera calidad tales como lingotes de superaleación a base de níquel de gran diámetro. La formación de pulverizador es una técnica de la metalurgia en polvo para producir lingotes de superaleación de gran diámetro. Durante la formación del pulverizador, una corriente de aleación fundida se atomiza para formar un pulverizado de finas gotitas o partículas de aleación fundida. Las partículas fundidas se dirigen después a un colector donde se juntan y se solidifican en una preforma coherente casi densa. En diversas aplicaciones, el movimiento controlado del colector y el atomizador, junto con el control del proceso de transporte del metal fundido, permite que se produzcan grandes preformas de alta calidad. El proceso de formación de pulverizador es capaz de producir microestructuras homogéneas de grano fino con granos equiaxiales y más del 98 por ciento de densidad teórica para un amplio intervalo de aleaciones. Sin embargo, la formación de pulverizador convencional generalmente emplea técnicas de atomización de impacto de fluidos, que presentan un número de inconvenientes.

En las técnicas de atomización de impacto de fluidos, se impacta bien un gas o bien un líquido en una corriente de un material metálico fundido. El impacto usando líquidos o gases puede introducir contaminantes en el material atomizado. Dado que el impacto de fluidos no se da en un ambiente al vacío, incluso las técnicas que usan gases inertes pueden introducir niveles significativos de impurezas al material atomizado. Se han desarrollado diversas técnicas de atomización de no impacto de fluidos que pueden llevarse a cabo en un ambiente al vacío. Estas técnicas incluyen, por ejemplo, las técnicas de atomización descritas en la Patente de EE.UU. n.º 6.772.961 (denominada en esta memoria descriptiva "US-6.722.961").

El documento US-6.722.961 describe técnicas en la que gotitas de aleación fundida o una corriente de aleación fundida producida por un dispositivo de fundición acoplado a un dispositivo dispensador controlado se cargan electrostáticamente de forma rápida aplicando un alto voltaje a las gotitas a una alta subida de velocidad. Las fuerzas electrostáticas establecidas dentro de las gotitas cargadas provocan que las gotitas se rompan o se atomicen en partículas secundarias más pequeñas. En una técnica descrita en el documento US-6.722.961, se tratan gotitas fundidas primarias producidas por la boquilla de un dispositivo dispensador por un campo eléctrico desde un electrodo con forma de anillo adyacente a y aguas abajo de la boquilla. Las fuerzas electrostáticas desarrolladas dentro de las gotitas primarias exceden las fuerzas de tensión superficial de las partículas y resultan en la formación de partículas secundarias más pequeñas. Pueden proporcionarse electrodos adicionales productores de campo de forma de anillo aguas abajo para tratar las partículas secundarias del mismo modo, produciendo partículas fundidas incluso más pequeñas.

La atomización de haz de electrones es otra técnica de no impacto de fluidos para atomizar material fundido que se lleva a cabo al vacío. En general, la técnica implica usar un haz de electrones para inyectar una carga en una región de una corriente de aleación fundida y/o una serie de gotitas de aleación fundida. Una vez que la región o la gotita acumula suficiente carga excediendo el límite de Rayleigh, la región o la gotita se vuelve inestable y se rompe en finas partículas (es decir, se atomiza). Una técnica de atomización de haz de electrones se describe en las Patentes de EE.UU. n.º: 6.772.961; 7.578.960; 7.803.212; y 7.803.211.

El documento US-6.722.961 también desvela técnicas que usan campos electrostáticos y/o electromagnéticos para controlar la aceleración, la velocidad y/o la dirección de las partículas de aleación fundida formadas por atomización en el proceso de producción de preformas o polvos formados en pulverizado. Como se describe en el documento US-6.722.961, tales técnicas proporcionan sustancial control aguas abajo del material fundido atomizado y pueden reducir el sobre-pulverizado y otro malgasto de material, mejorar la calidad y mejorar la densidad de preformas sólidas hechas por técnicas de formación de pulverizado.

Los métodos para recoger materiales fundidos atomizados como preformas unitarias incluyen formación de pulverizado y moldeado nucleado. Con respecto al moldeado nucleado, se extrae una referencia específica de las Patentes de EE.UU. n.º 5.381.847; 6.264.717; y 6.496.529. En general, el moldeado nucleado implica atomizar una corriente de aleación fundida y después dirigir las partículas de aleación fundidas resultantes en un molde de moldeado que tiene una forma deseada. Las gotitas se juntan y solidifican como un artículo unitario moldeado por el molde y el moldeo puede procesarse adicionalmente en un componente deseado. En general, la formación de pulverización implica dirigir el material fundido atomizado sobre una superficie de, por ejemplo, una placa o un cilindro para juntarse, solidificar y formar una preforma independiente que puede procesarse adicionalmente en un componente deseado.

Como se indica, muchas de las técnicas para fundir, atomizar y procesar metales y aleaciones para producir preformas sólidas son deficientes en uno o más aspectos. Tales deficiencias incluyen, por ejemplo, la complejidad del proceso y el coste; la existencia de altos estreses residuales, huecos, porosidad, óxidos y otros contaminantes en la preforma; pérdidas de rendimiento debido a la sobre-pulverización; limitaciones en los metales y las aleaciones aplicables; y limitaciones inherentes al tamaño. Estas deficiencias son particularmente problemáticas en la producción de diversas aleaciones tales como superaleaciones a base de níquel. Las diversas realizaciones no limitantes desveladas y descritas en la presente memoria descriptiva se dirigen, en parte, a procesos, sistemas y aparatos que superen al menos alguna de estas deficiencias, entre otras, y a proporcionar técnicas mejoradas para la producción de productos metálicos y de aleaciones tales como, por ejemplo, lingotes de diámetro mayor y otras preformas de primera calidad.

Las diversas realizaciones no limitantes desveladas y descritas en la presente memoria descriptiva se dirigen, en parte, a procesos, sistemas y aparatos para fundir y atomizar metales y aleaciones metálicas (es decir, que contienen metales) para producir materiales fundidos atomizados que pueden solidificarse al menos parcialmente en partículas de aleación usadas para producir preformas de aleación unitarias y monolíticas y otros artículos. Como se usa en el presente documento, el término "aleación" se refiere tanto a metales como a aleaciones metálicas tales como, por ejemplo, hierro, níquel, titanio, cobalto y aleaciones basadas en estos metales.

Las diversas realizaciones no limitantes desveladas y descritas en la presente memoria descriptiva pueden emplear equipo y técnicas que utilizan electrones para fundir aleaciones y/o atomizar aleaciones fundidas para producir partículas de aleación fundidas que se solidifican y se forman en pulverizador sólido para producir preformas unitarias y monolíticas y otros artículos de aleación. En diversas realizaciones no limitantes, los procesos, los

sistemas y los aparatos desvelados en el presente documento pueden ser útiles en la producción de preformas y artículos de superaleación a base de níquel, donde las técnicas de metalurgia de moldeado y forjado, de triple fundido y de metalurgia en polvo tienen desventajas acompañantes como se analiza anteriormente.

5 En diversas realizaciones no limitantes, un proceso de formación de pulverizado sólido comprende producir al menos uno de una corriente de aleación fundida y una serie de gotitas de aleación fundida. Las partículas eléctricamente cargadas de la aleación fundida se producen chocando electrones en al menos una de la corriente de aleación fundida y la serie de gotitas de aleación fundida para atomizar la aleación fundida. Las partículas de aleación fundida eléctricamente cargadas se aceleran con al menos uno de un campo electrostático y un campo electromagnético. Las partículas de aleación fundida se enfrían a una temperatura menos de una temperatura solidus de las partículas de aleación fundidas de tal manera que las partículas de aleación fundidas se impacten sobre un sustrato, en el que las partículas que impactan se deforman y se unen metalúrgicamente al sustrato y entre sí para producir una preforma de aleación sólida.

15 Con referencia a la Figura 1, diversas realizaciones no limitantes de un sistema 100, configurado para preformar un proceso de formación de pulverizado sólido como se describe en la presente memoria descriptiva, incluyen: un ensamblaje de fundición 110 (también denominado en el presente documento un “aparato de fundición” o “dispositivo de fundición”) que produce al menos uno de una corriente y una serie de gotitas de aleación fundida; un ensamblaje de atomización de haz de electrones 112 (también denominado en el presente documento un “aparato de atomización” o “dispositivo de atomización”) que atomiza la aleación fundida recibida del ensamblaje de fundición 110 y produce partículas de aleación fundidas relativamente pequeñas; un ensamblaje de producción de campo 114 (también denominado en el presente documento un “aparato de producción de campo” o “dispositivo de producción de campo”) que produce al menos uno de un campo electrostático y un campo electromagnético que influye al menos en uno de la aceleración, la velocidad y la dirección de una o más de las partículas de aleación producidas por el ensamblaje de atomización 112; y un colector 116 sobre el cual las partículas de aleación solidificadas impactan, se deforman y se unen metalúrgicamente para formar una preforma.

30 En diversas realizaciones no limitantes, un proceso de formación de pulverizado comprende: producir una corriente de aleación fundida y/o una serie de gotitas de aleación fundida en un ensamblaje de fundición, que puede estar sustancialmente libre de cerámica en regiones del ensamblaje de fundición contactadas por la aleación fundida; producir al menos uno de un campo electrostático y un campo electromagnético, en el que las partículas de aleación fundidas del ensamblaje de atomización interactúan con el campo y el campo influye al menos en uno de la aceleración, la velocidad y la dirección de una o más de las partículas de aleación fundidas; enfriar las partículas de aleación fundidas durante el transporte de las partículas desde el ensamblaje de atomización para formar partículas de aleación fundidas; y recoger las partículas de aleación sólidas en un colector como una preforma sólida.

40 Como se usa en el presente documento, la frase “ensamblaje de fundición” y similares se refieren a una fuente de una corriente y/o una serie de gotitas de una aleación fundida, que puede producirse a partir de una carga de materiales de partida, raspaduras, un lingote, un electrodo consumible y/u otra fuente de la aleación. El ensamblaje de fundición está en comunicación fluida con y suministra aleación fundida a un ensamblaje de atomización. El ensamblaje de fundición puede carecer sustancialmente de material cerámico en regiones del ensamblaje que están conectadas por material fundido. Como se usa en el presente documento, la frase “sustancialmente carece de cerámica” y similares significa que la cerámica bien está ausente en regiones del ensamblaje de fundición que el material fundido contacta durante el funcionamiento del ensamblaje, o bien está presente en regiones del ensamblaje de fundición que contactan con la aleación fundida durante el funcionamiento normal pero de una manera que no resulta en la inclusión de cantidades problemáticas o tamaños de partículas o inclusiones cerámicas en la aleación fundida.

50 En diversas realizaciones no limitantes, puede ser importante prevenir o limitar sustancialmente el contacto entre el material de aleación fundida y el material cerámico en el ensamblaje de fundición y otros componentes de los sistemas y aparatos descritos en el presente documento. Esto puede ser así debido a que las partículas cerámicas pueden “lavarse” de los revestimientos cerámicos y mezclarse con la aleación fundida. Las partículas cerámicas generalmente tienen una temperatura de punto de fusión mayor que el material de aleación fundido y pueden incorporarse en preformas posteriormente formadas. Una vez incorporadas en un producto sólido, las partículas cerámicas pueden fracturarse e iniciar grietas en el producto durante la fatiga de ciclo bajo, por ejemplo. Una vez iniciadas, las grietas pueden crecer y resultar en el fallo del producto. De esta manera, dependiendo de la aplicación destinada al material de preforma, por ejemplo, puede haber poca o nada de permisión para la presencia de partículas cerámicas en el material.

60 En la metalurgia de moldeado y forjado, las partículas de cerámica de una etapa de fundición de inducción al vacío (VIM) pueden retirarse durante una etapa de refundición de arco de vacío (VAR) o, cuando se usa la práctica de triple fundido, durante las etapas de refinado/refundido de electroescoria (ESR) más VAR. Por lo tanto, en diversas realizaciones no limitantes, un ensamblaje de fundición puede comprender equipo VAR o ESR. La limpieza de óxido de cerámica lograda usando diversas prácticas puede evaluarse usando un ensayo semicuantitativo conocido como el ensayo de “botón EB”, en el que un electrodo de muestra del material a evaluarse se funde por haz de electrones en un crisol y la balsa flotante de óxido resultante se mide para el óxido más grande presente.

En la metalurgia en polvo, el polvo de aleación se consolida en el producto después de la solidificación final y no hay medio de refinar adicionalmente el producto para retirar óxidos. En su lugar, el polvo se tamiza y la fracción más grande de polvo que se hace en el producto es aquella que es equivalente al defecto más pequeño que los diseñadores de partes usan en sus criterios de diseño. En el diseño de las partes de motor de aeronaves más críticas a partir de polvos metálicos, por ejemplo, el defecto modelado más pequeño es aproximadamente de 44 micrómetros y, de esta manera, los polvos que tengan un tamaño de tamiz no mayor que este se usan. Para partes de motor de aeronaves menos críticas, el defecto modelado más pequeño podría ser tan grande como aproximadamente 149 micrómetros y, de esta manera, se usan polvos que tengan un tamaño de tamiz no mayor que éste.

Los ejemplos de técnicas de fundición que no introducen inclusiones cerámicas y que pueden incluirse en un aparato o sistema configurados para realizar un proceso de formación de pulverizado sólido como se describen en la presente memoria descriptiva incluyen, pero no se limitan: dispositivos de fundición que comprenden dispositivos de refundición de doble electrodo al vacío; dispositivos de fundición que comprenden una combinación de una guía de inducción fría y bien un dispositivo de refinado/refundición de electroescoria o bien un dispositivo de refundido de arco al vacío; dispositivos de fundición de arco de plasma; dispositivos de fusón por haz de electrones; y dispositivos de fusión en crisol frío de haz de electrones.

Como se usa en el presente documento, la frase “ensamblaje de atomización” y similares se refiere a un aparato que impacta al menos una corriente de electrones (es decir, un haz de electrones) o un campo de electrones sobre una aleación fundida recibida del ensamblaje de fundición. Como se usa en el presente documento, “impacta” significa poner en contacto. De esta manera, los electrones imparten una carga neta negativa a la región impactada de la corriente y/o las gotitas de aleación fundidas individuales impactadas. Como se analiza en el documento US-6.722.961, que no pertenece a la presente invención, y a continuación, una vez la carga en una gotita o una región particular de una corriente alcanza una magnitud suficiente, la región o la gotita se vuelve inestable y se rompe (es decir, se atomiza) en partículas de aleación fundidas más pequeñas. Como se usa en el presente documento, “partículas de aleación fundidas” se refiere a partículas que incluyen algún contenido de material fundido pero que no están necesariamente fundidas del todo. Como se usa en el presente documento, “partículas de aleación sólidas” se refiere a partículas que están a una temperatura por debajo de la temperatura solidus del material y, por lo tanto, están completamente sólidas.

En diversas realizaciones, un ensamblaje de atomización puede comprender un ensamblaje, aparato, dispositivo o similares de atomización de haz de electrones. Como se analiza en el documento US-6.722.961, un aparato de atomización de haz de electrones puede aplicar rápidamente una carga electrostática a una corriente o a gotitas de aleación fundida. Un aparato de atomización de haz de electrones puede configurarse de tal manera que la carga electrostática impartida a una aleación fundida y rompe físicamente la corriente o la gotita y produce una o más partículas de aleación fundida más pequeñas a partir de la aleación fundida, de esta manera atomizando el material. La atomización de material de aleación fundida usando la carga electrostática rápida a través del impacto por los electrones puede dar como resultado la rápida ruptura de la aleación en partículas relativamente más pequeñas debido a las fuerzas de repulsión electrostáticas impartidas en el material. Más específicamente, una región o gotita de aleación fundida se carga electrostáticamente de forma rápida más allá del “límite de Rayleig”, de tal manera que las fuerzas electrostáticas en la región o gotita exceden la tensión superficial de la aleación fundida y el material se rompe en partículas más pequeñas.

El límite de Rayleig se refiere a la carga máxima que un material puede sostener antes de que las fuerzas de repulsión electrostática dentro del material excedan la tensión superficial que mantiene junto al material. Las ventajas de una técnica de atomización que utiliza el impacto de electrones en un material para ajustar repulsión de carga electrostática con el material incluyen la capacidad de conducir la técnica dentro de un ambiente al vacío. De esta manera, las reacciones químicas entre el material de aleación fundida y la atmósfera o un fluido de atomización pueden limitarse o eliminarse. Esta capacidad contrasta con la atomización de fluidos convencional, en la que el material a atomizarse necesariamente contacta con un gas o líquido de atomización y se lleva a cabo normalmente en aire ambiental o una atmósfera de gas inerte.

Una corriente o gotitas de aleación fundida atomizadas por un ensamblaje de atomización se produce por un ensamblaje de fundición hacia arriba. Un ensamblaje de fundición puede incluir, por ejemplo, un dispensador que forma una corriente o gotitas adecuadas de aleación fundida. En diversas realizaciones no limitantes, un dispensador puede incluir una cámara de fundición que tiene un orificio. Un ejemplo de un dispensador tal se muestra en el documento US-6.722.961.

Una corriente y/o gotitas de aleación fundida se fuerzan o de otra forma emergen de un orificio y se hacen pasar hacia abajo en un ensamblaje de atomización. En diversas realizaciones no limitantes, una corriente o gotitas de aleación fundidas emergen de un orificio de una cámara de fundición bajo la influencia de acción mecánica o presión. En diversas realizaciones no limitantes, puede aplicarse presión a la aleación fundida en un dispensador de un ensamblaje de fundición a una magnitud mayor que la presión en el exterior del orificio dispensador para producir gotitas de aleación fundidas en el orificio en el dispensador. La presión puede hacerse cíclica o de otra manera variarse de tal manera que se interrumpa selectivamente el flujo de corrientes y/o gotitas de aleación fundidas.

Diversas realizaciones no limitantes de un ensamblaje de fundición pueden diseñarse para “pre-cargar” una corriente o gotitas de aleación fundida que viajan a un ensamblaje de atomización con una carga negativa neta. Pre-cargar una corriente o gotitas puede reducir la cantidad de carga negativa requerida de un ensamblaje de atomización de haz de electrones para exceder el límite de Rayleigh y atomizar la corriente o las gotitas en partículas más pequeñas.

5 Una técnica no limitante para pre-cargar una corriente o gotitas de aleación fundida es mantener un ensamblaje de fundición a un potencial negativo alto con respecto a otros elementos del aparato global. Esto puede lograrse, por ejemplo, aislando eléctricamente un ensamblaje de fundición de otros elementos del aparato, y después elevando el potencial negativo del ensamblaje de fundición a un alto nivel usando un suministro de potencia eléctricamente acoplado al ensamblaje de fundición. Otra técnica de pre-carga no limitante es posicionar un anillo o placas de inducción aguas arriba de un ensamblaje de atomización en una posición cercana a un orificio de salida de un ensamblaje de fundición. El anillo o las placas pueden configurarse para inducir una carga negativa en las gotitas o la corriente que pasan aguas abajo a un ensamblaje de atomización. Un ensamblaje de atomización puede impactar electrones después en el material pre-cargado para cargar y atomizar negativamente de forma adicional el material.

15 En diversas realizaciones no limitantes, un ensamblaje de atomización puede comprender un emisor de haz de electrones termo-iónico o un dispositivo similar. El fenómeno de emisión termo-iónica, también conocido como el “efecto Edison”, se refiere al flujo de electrones (denominado “termiones”) desde una superficie metálica cuando la energía vibracional supera las fuerzas electrostáticas que mantienen a los electrones hacia la superficie. El efecto aumenta dramáticamente con el aumento de temperatura, pero siempre está presente en algún grado a temperaturas por encima del cero absoluto. Un emisor de haz de electrones termo-iónico utiliza el fenómeno de emisión termo-iónica para producir una corriente de electrones con una energía cinética definida.

20 Los emisores de haces de electrones termo-iónicos generalmente comprenden: (i) un filamento productor de electrones calentado; y (ii) una región aceleradora de electrones, que está unida mediante un cátodo y un ánodo. El filamento consiste normalmente en una longitud de cable de material refractario, que se calienta pasando una corriente eléctrica a través del filamento. Los materiales adecuados de filamento emisor de haz de electrones termo-iónico tienen generalmente las siguientes propiedades: barrera de bajo potencial (función de trabajo); alto punto de fusión; estabilidad a temperaturas altas; presión de vapor baja; y estabilidad química. Diversas realizaciones no limitantes de emisores de haces de electrones termo-iónicos incluyen, por ejemplo, filamentos de tungsteno, hexaboruro de lantano (LaB<sub>6</sub>) o hexaboruro de cerio (CeB<sub>6</sub>).

25 En un emisor de haz de electrones termo-iónico, los electrones “hierven” desde la superficie del filamento tras la aplicación de suficiente energía térmica producida por la corriente aplicada. Los electrones producidos en el filamento derivan a través de un agujero en un cátodo, y el campo eléctrico en la región entre el ánodo cargado positivamente y el cátodo cargado negativamente acelera los electrones a través de la brecha hacia el ánodo, donde los electrones pasan a través de un agujero en el ánodo con una energía final que corresponde al voltaje aplicado entre los electrodos.

35 Para cargar negativamente una corriente o gotitas de aleación fundidas a un nivel necesario para superar la tensión superficial y atomizar el material, las gotitas o la corriente deben someterse a un flujo o campo de electrones de energía e intensidad suficientes durante un periodo de tiempo finito. Un ensamblaje de atomización puede producir un campo de electrones tridimensional, que extiende una distancia adecuada a lo largo del camino viajado por las gotitas o la corriente a través del ensamblaje de atomización. Un campo de electrones tridimensional, en el que los electrones se distribuyen espacialmente, puede contrastarse con un emisor de haz de electrones de fuente puntual, en el que los electrones se centran en un haz bidimensional esencialmente estrecho. Una distribución espacial tridimensional de impacto de electrones aumenta la eficiencia de impacto y de carga y la eficacia de la aleación fundida que viaja a través de un ensamblaje de atomización bajo la influencia de la gravedad, por ejemplo.

40 Sin pretender quedar unidos a cualquier teoría particular, se cree que las partículas de aleación atomizadas por haz de electrones pueden formarse a partir de una gotita fundida o una corriente por uno o ambos de los siguientes mecanismos. En un primer mecanismo no limitante, las partículas atomizadas se forman por un efecto de cascada en el que la corriente o la gotita fundida inicial se rompe en pequeñas partículas, las partículas se recargan a un potencial negativo y se rompen en partículas todavía más pequeñas y el proceso se repite durante el tiempo en el que los electrones se añaden a las partículas atomizadas sucesivamente más pequeñas. Independientemente del mecanismo de atomización físico, la aleación fundida debe exponerse a un campo de electrones durante un tiempo suficiente de tal manera que se acumule suficiente carga negativa y se rompa el material.

45 Una distribución espacial no limitante de los electrones dentro de un campo de electrones producido en un ensamblaje de atomización está en forma de un cilindro de electrones. El eje longitudinal del cilindro puede orientarse en la dirección general de viaje del material de aleación fundido a través del ensamblaje de atomización. La longitud mínima del cilindro (a lo largo del eje longitudinal) requerida para la atomización completa dependerá de la velocidad del material de aleación fundida que viaja a través del ensamblaje de atomización y la energía y la intensidad del campo de electrones dentro del ensamblaje. Las formas del campo de electrones no cilíndricas también pueden usarse, tales como, por ejemplo, campos que tengan una sección transversal (transversal a la dirección general de viaje del material de aleación fundida a través del ensamblaje de atomización) que sea rectangular, triangular o cualquier otra forma poligonal o unida de otra manera. Más generalmente, pueden usarse

campos de cualquier combinación de energía, intensidad y forma tridimensional capaz de atomizar adecuadamente material de aleación fundida. Diversas realizaciones no limitantes de un ensamblaje de atomización de haz de electrones para un aparato construido de acuerdo con la presente divulgación se analizan a continuación.

5 En diversas realizaciones no limitantes, un ensamblaje de atomización puede comprender una fuente de electrones de filamento de tungsteno calentado. Los electrones termo-iónicamente emitidos desde un filamento de tungsteno calentado pueden manipularse usando campos electrostáticos y/o electromagnéticos para formar un haz de electrones de haz con forma rectangular. El haz con forma rectangular puede proyectarse en una cámara de atomización como un campo generalmente con forma de bloque tridimensional a través del camino de viaje del material de aleación fundida a través del ensamblaje de atomización. La Figura 2 ilustra esquemáticamente un ensamblaje de atomización 210 que incluye un filamento de tungsteno 212 que se calienta por un flujo de corriente desde un suministro de potencia 214. El filamento calentado 212 produce electrones libres 216. Los electrones 216 pueden producirse, por ejemplo, mediante un emisor de haz de electrones termo-iónico.

10  
15 Los electrones 216 se dan forma mediante un campo electrostático producido por las placas 220 para formar un haz de electrones tridimensional 222 que tiene una sección transversal generalmente rectangular. El haz de electrones 222 se proyecta hacia el interior del ensamblaje 210 para producir un campo de electrones tridimensional generalmente con forma de bloque. Las gotitas de aleación fundidas 230 dispensadas en un ensamblaje de fundición aguas arriba 232 viajan a través del campo de electrones 226 y se atomizan a partículas más pequeñas 238 a través de la ruptura por acumulación de carga negativa. Las partículas atomizadas 238 pasan en la dirección de la flecha A hacia un colector (no mostrado).

20  
25 En diversas realizaciones, los ensamblajes de atomización pueden comprender dispositivos productores de electrones distintos de o además de los emisores de haces electrónicos termo-iónicos. Por ejemplo, en diversas realizaciones, un ensamblaje de atomización puede comprender un emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga, también conocido como un generador de iones de alambre de cátodo frío y/o emisor de iones de plasma. Los emisores de iones de plasma de alambre de descarga producen un campo de electrones que tiene una sección transversal generalmente rectangular. Una ventaja de un emisor de electrones de plasma iónico es que produce una emisión de electrones a temperaturas menores que un emisor de electrones termo-iónico. Los electrones producidos por un dispositivo o dispositivos particulares productores de electrones dentro de un ensamblaje de atomización pueden manipularse adecuadamente, por ejemplo, usando campos electromagnéticos y/o electrostáticos, para formar un haz de electrones que tiene una sección transversal adecuada. El haz de electrones puede proyectarse después hacia una cámara de atomización a través del camino de viaje del material de aleación fundido a atomizarse.

30  
35 La Figura 3 ilustra otra realización no limitante de un ensamblaje de atomización 310. Uno o más filamentos de tungsteno 312 se calientan mediante el suministro de potencia 314 y producen electrones 316 que tienen suficiente energía para atomizar aleación fundida cuando impactan sobre la aleación fundida. Los electrones pueden producirse, por ejemplo, mediante un emisor de haz de electrones termo-iónico. Los electrones 316 pueden manipularse mediante estructuras tales como, por ejemplo, placas 320 para formar una mancha difusa 322. Un aparato de barrido por tramas 324 barre por tramas la mancha de electrones 322 a una velocidad de barrido por tramas alta dentro de la región del ensamblaje de atomización a través de la que el material de aleación viaja, por ejemplo, bajo la influencia de la gravedad. El efecto de la alta velocidad de barrido por tramas es proporcionar un campo de electrones tridimensional 326 que tiene una forma controlada en la cámara de atomización del ensamblaje de atomización 310 que se configura para atomizar las gotitas de aleación 330 recibidas de un ensamblaje de fundición 332 a partículas atomizadas más pequeñas 338. Las partículas atomizadas 338 pasan en la dirección de la flecha A hacia un colector (no mostrado).

40  
45 Con referencia a la Figura 4, un ensamblaje de atomización 410 produce un campo de electrones que tiene una sección generalmente rectangular. Los electrones se producen a partir de la superficie de una longitud generalmente recta del filamento de tungsteno 412 calentado por el suministro de potencia 414. Este método para producir electrones contrasta con la técnica de producir electrones a partir de una fuente puntual, como se realiza normalmente en pistolas de haces de electrones. Los electrones 416 que emanan desde la superficie del filamento 412 pueden manipularse usando campos electrostáticos y/o electromagnéticos, tales como, por ejemplo, un campo producido por las placas 420, para formar un haz 422 que tiene una sección transversal generalmente rectangular. El haz de electrones rectangular 422 puede barrerse por tramas a una alta velocidad de barrido por tramas mediante un aparato de barrido por tramas en el ensamblaje de atomización 410 para formar un campo de electrones a través del que el material de aleación fundido 430 viaja cuando se recibe desde un ensamblaje de fundición 432.

50  
55  
60 Alternativamente, como se muestra en la Figura 4, el haz de electrones rectangular 422 puede proyectarse hacia el ensamblaje de atomización 410 mediante un dispositivo de proyección 424 para formar un campo de electrones 426, que tiene una sección transversal generalmente rectangular, a través de la cual un material de aleación fundida 430 viaja cuando se recibe desde el ensamblaje de fundición 432. El material de aleación 430 se rompe por acumulación de carga negativa en partículas atomizadas 438, que pasan a través de un colector (no mostrado) en la dirección de la flecha A.

65

En diversas realizaciones, un ensamblaje de atomización puede comprender múltiples fuentes de electrones. Un ensamblaje de atomización puede comprender también múltiples dispositivos de manipulación y proyección/barrido por tramas de electrones para producir y controlar un campo de electrones adecuado. Por ejemplo, un número de emisores de haz electrónico termo-iónico o no termo-iónico puede orientarse en posiciones angulares específicas (por ejemplo, tres emisores/fuentes a 120 grados entre sí) aproximadamente en la ruta del material de aleación fundida en una cámara de atomización y producir un campo tridimensional de electrones proyectando los electrones desde las múltiples fuentes hacia la ruta.

En diversas realizaciones, los componentes y las características de las varias realizaciones de ensamblaje de atomización descritas anteriormente pueden combinarse. Por ejemplo, con referencia a las Figuras 2 y 3, el haz rectangular 222 del ensamblaje de atomización 210 pueden barrerse por tramas usando el aparato de barrido por tramas 324 en el ensamblaje de atomización 310 para producir un campo de electrones para atomizar el material de aleación fundida. Con respecto a la mancha de electrones 322, barrer por tramas el haz de electrones rectangular de relativamente alta relación de aspecto 222 puede proporcionar un campo tridimensional mayor dispuesto a lo largo del camino del material de aleación fundida en la cámara de atomización.

En diversas realizaciones no limitantes de un ensamblaje de atomización de haz de electrones, un primer flujo o corriente de electrones puede impactar sobre el material de aleación fundida que emerge de un ensamblaje de fundición, por lo tanto atomizando el material de aleación en partículas de aleación fundida primarias que tienen un primer tamaño medio. El impacto de un segundo haz de electrones sobre las partículas primarias puede atomizar adicionalmente las partículas a un tamaño de partícula medio menor. Las reducciones adicionales en el tamaño medio pueden lograrse impactando flujos o corrientes de electrones adicionales en las partículas sucesivamente atomizadas. De esta manera, son posibles varios refinamientos de tamaño usando carga electrostática rápida mediante el impacto de electrones.

En diversas realizaciones no limitantes, la carga electrostática rápida mediante un haz de electrones se aplica dos, tres o más veces a lo largo de una ruta para lograr un tamaño de partícula de aleación fundida medio final deseado. De esta manera, el tamaño original de las gotitas de aleación fundida producidas por el ensamblaje de fundición no necesita limitar el tamaño de las partículas atomizadas finales producidas en el ensamblaje de atomización. Las múltiples fuentes de electrones en tal disposición pueden ser, por ejemplo, emisores de haces de electrones termo-iónicos individuales, generadores de iones de alambre de cátodo frío y/o emisores de iones de plasma.

En diversas realizaciones no limitantes de un ensamblaje de atomización, una gotita o una porción de una corriente de aleación fundida se somete a dos o más fases de atomización para reducir sucesivamente la media del tamaño de las partículas atomizadas resultantes. Esto puede lograrse, por ejemplo, posicionando apropiadamente dos o más pistolas de electrones u otras fuentes o flujos o corrientes de electrones a lo largo de una ruta en una región entre el ensamblaje de atomización y el colector. Un ensamblaje de atomización que tiene esta construcción general se ilustra esquemáticamente como ensamblaje 500 en la Figura 5. Un ensamblaje de fundición 512 incluye un dispensador 514 que produce una gotita de aleación fundida 523a. El dispensador 514 puede usar, por ejemplo, dispositivos mecánicos, presión o gravedad para producir la gotita de aleación fundida 523a a partir del material fundido producido a partir de un lingote, una carga, un raspado y/u otra fuente en el ensamblaje de fundición 512.

Las pistolas de haces de electrones primarias 524a produce corrientes de electrones 525a que impactan sobre la gotita 523a e imparten una carga negativa a la gotita. Las fuerzas electrostáticas establecidas dentro de la gotita 523a finalmente exceden la tensión superficial de la gotita, rompiendo la gotita y formando partículas de aleación fundida primarias 523b. Las pistolas de haces de electrones secundarias 524b centran haces de electrones 525b sobre partículas de aleación fundida primarias 523b, similarmente imparten carga negativa a las partículas y las rompen en partículas de aleación fundida secundaria más pequeñas 523c. Las pistolas de haces de electrones terciarias 524c centran haces de electrones 525c sobre partículas de aleación fundida secundarias 523c, impartiendo también carga negativa a las partículas y rompiéndolas en partículas de aleación fundida terciaria todavía más pequeñas 523d. En una realización no limitante de esta disposición, las varias pistolas de haces de electrones son pistolas de haces de electrones termo-iónicos, aunque puede usarse cualquier otro dispositivo adecuado para producir corrientes de electrones adecuadas, tales como, por ejemplo, un generador de ion de alambre de cátodo frío y/o un emisor de iones de plasma.

Como se analiza en el documento US-6.772.961, carga electrostática "rápida" se refiere a cargar a una magnitud deseada en 1 a 1000 microsegundos, o cualquier intervalo subsumido en el mismo, tal como, por ejemplo, 1 a 500 microsegundos, 1 a 100 microsegundos o 1 a 50 microsegundos. La carga electrostática rápida de la aleación fundida producida por un ensamblaje de fundición produce cargas que exceden el límite de Rayleigh del material y por lo tanto produce una pluralidad de partículas de aleación fundida más pequeñas. Las partículas pueden tener un diámetro generalmente uniforme de, por ejemplo, 5 a 5000 micrómetros, o cualquier intervalo subsumido en el mismo, tal como, por ejemplo 5 a 2500 micrómetros o 5 a 250 micrómetros.

Un ensamblaje de atomización produce partículas de aleación fundida, que se procesan adicionalmente para formar una preforma unitaria y monolítica (es decir, de una pieza). Como se usa en el presente documento, el término

“preforma” se refiere a una pieza de trabajo, un lingote u otro artículo que se ha formado recogiendo juntas partículas de aleación sólidas metalúrgicamente unidas producidas a partir de partículas de aleación fundida atomizadas. En los procesos, sistemas y aparatos descritos en el presente documento, todas o una porción de las partículas de aleación fundida producidas por el ensamblaje de atomizado se controlan y se solidifican aguas abajo del ensamblaje de atomizado y se recogen como preforma en un colector. Por ejemplo, en diversas realizaciones no limitantes, un sistema o aparato puede incluir al menos un ensamblaje que produce un campo que produce un campo electrostático y/o un campo electromagnético que está al menos parcialmente presente en una región aguas abajo del ensamblaje de atomización. El campo electrostático y/o el campo electromagnético producidos por el ensamblaje que produce un campo pueden estructurarse y/o manipularse de tal forma que se influya en al menos uno de la aceleración, la velocidad y la dirección de las partículas de aleación fundida que interactúan con el campo.

Como se usa en el presente documento, la frase “ensamblaje que produce el campo” se refiere a un sistema o aparato que produce y, opcionalmente, manipula, uno o más campos electrostáticos y/o electromagnéticos que pueden usarse para controlar al menos uno de la aceleración, la velocidad y la dirección de las partículas de aleación fundidas y solidificadas en una región aguas abajo del ensamblaje de atomización. Los ejemplos de ensamblajes que producen campos adecuados para su uso en los procesos, sistemas y aparatos descritos en el presente documento se describen en el documento US-6.772.961.

Como se usa en el presente documento, la frase “campo electrostático” puede referirse a un campo electrostático único o una pluralidad de (dos o más) campos electrostáticos. Un campo electrostático puede producirse, por ejemplo, cargando un punto, una placa u otra fuente a alto potencial. También como se usa en el presente documento, la frase “campo electromagnético” puede referirse a un campo electromagnético único o una pluralidad de campos electromagnéticos. Un campo electromagnético puede crearse, por ejemplo, pasando corriente eléctrica a través de un conductor, tal como, por ejemplo, una bobina conductora.

En diversas realizaciones no limitantes, un ensamblaje que produce un campo produce uno o más campos electrostáticos y/o electromagnéticos que interactúan con y dirigen partículas de aleación sólidas a diversas regiones de una preforma que se desarrolla en diversos tiempos durante un proceso de formación. Los campos electrostáticos y/o electromagnéticos pueden usarse también para dirigir partículas de aleación sólidas a áreas de una preforma en desarrollo donde se desee añadir o retirar calor, por lo tanto influyendo en la macroestructura de la preforma. Al llevar a cabo la formación de pulverizado sólido, la forma del uno o más campos electrostáticos y/o electromagnéticos también puede manipularse para producir preformas de forma casi neta dirigiendo partículas a regiones predeterminadas en la preforma en desarrollo en diversos tiempos durante el proceso de formación. Empleando uno o más campos electrostáticos y/o electromagnéticos usando el ensamblaje de producción del campo, es posible potenciar el rendimiento del proceso de formación, así como mejorar (y controlar) la densidad de la preforma resultante.

En diversas realizaciones no limitantes, un ensamblaje que produce un campo produce un campo electrostático en una región entre un ensamblaje de atomización y un colector acoplando eléctricamente el colector a un suministro de potencia de alto voltaje DC y poniendo en tierra el ensamblaje de atomización. Dado que la atomización de haz de electrones puede usarse en los procesos, sistemas y aparatos descritos en el presente documento, y dado que las partículas atomizadas estarán cargadas negativamente, se usa una polaridad negativa de tal manera que las partículas atomizadas y solidificadas cargadas negativamente se repelen del ensamblaje de atomización y se atraen hacia el colector. Un campo electrostático puede interactuar con partículas de aleación cargadas negativamente producidas por un ensamblaje de atomización y las partículas pueden dirigirse bajo la influencia del campo a moverse en la dirección general de las líneas del campo electrostático. Esta interacción puede usarse para controlar una o más de la aceleración, la velocidad y la dirección de las partículas de aleación fundidas y solidificadas hacia el colector.

Además de un suministro de potencia de alto voltaje DC, un ensamblaje que produce un campo puede comprender uno o más electrodos localizados en posiciones adecuadas y en orientaciones adecuadas de tal manera que se produzcan campo o campos adecuados entre un ensamblaje de atomización y un colector. Los electrodos pueden posicionarse y configurarse para dar forma a un campo electrostático entre un ensamblaje de atomización y un colector de una manera deseada. Un campo electrostático proporcionado bajo la influencia del uno o más electrodos puede tener una forma que dirige las partículas de aleación fundidas y solidificadas de una forma deseada a un colector.

Un ensamblaje que produce un campo también puede comprender una pluralidad de suministros de potencia de DC de alto voltaje, cada uno conectado funcionalmente a uno o más electrodos dispuestos en posiciones adecuadas y en orientaciones adecuadas entre un ensamblaje de atomización y un colector, y que incluyen en la forma de un campo electrostático producido por el ensamblaje productor de campo entre el ensamblaje de atomización y el colector de una manera dependiente del tiempo. De esta manera, el campo puede manipularse para dirigir adecuadamente las partículas de aleación producidas por el ensamblaje de atomización a áreas o localizaciones específicas en el colector o en la preforma en desarrollo en el tiempo.

Por ejemplo, un ensamblaje que produce un campo que incluye una pluralidad de electrodos y suministros de potencia asociados puede incorporarse en un sistema o aparato configurado para formar por pulverizado sólido artículos sólidos de forma casi neta que tienen altas densidades con respecto a las preformas producidas por formación de pulverizador convencional y procesos de moldeado nucleado. En tales realizaciones, el campo electrostático puede variarse en términos de resistencia y/o forma para dirigir adecuadamente las partículas de aleación solidificadas al colector.

En diversas realizaciones no limitantes, puede producirse un campo electromagnético entre un ensamblaje de atomización y un colector mediante una o más bobinas magnéticas posicionadas entre el ensamblaje de atomización y el colector. Las bobinas magnéticas pueden estar eléctricamente conectadas a un suministro de potencia, que energiza las bobinas. Las partículas de aleación producidas por un ensamblaje de atomización pueden dirigirse a lo largo de las líneas del campo del campo electromagnético hacia el colector. La posición y/o la orientación de la una o más bobinas magnéticas puede configurarse para dirigir las partículas a áreas o localizaciones específicas en un colector o una preforma en desarrollo. De esta manera, las partículas de aleación pueden dirigirse a potenciar la densidad de las preformas o incluso producir preformas de forma casi neta durante la formación de pulverizado sólido.

En diversas realizaciones no limitantes, una pluralidad de bobinas magnéticas puede colocarse entre un ensamblaje de atomización y un colector. Los campos electromagnéticos producidos por la pluralidad de bobinas magnéticas, que pueden energizarse únicamente o de forma múltiple en diferentes intensidades de campo magnético, influyen en la dirección de movimiento de las partículas de aleación producidas por el ensamblaje de atomización, dirigiendo las partículas a áreas o localizaciones específicas predeterminadas en el colector o una preforma en desarrollo. De esta manera, las partículas de aleación pueden dirigirse en patrones predeterminados para producir, por ejemplo, preformas sólidas que tienen una forma casi neta y/o densidad relativamente alta.

En diversas realizaciones no limitantes, los campos producidos por un ensamblaje productor de campos pueden usarse para mejorar o refinar el control direccional fácilmente disponible a través del uso de boquillas de atomización trasladables en un ensamblaje de atomización. En diversas realizaciones no limitantes, el control direccional sustancial obtenible solamente manipulando de forma apropiada la forma, la dirección y/o la intensidad del campo, puede reemplazar el movimiento de las boquillas de atomización en un ensamblaje de atomización.

En diversas realizaciones no limitantes, todas o una porción de las partículas de aleación fundida producidas por un ensamblaje de atomización y que pasan dentro de o a través de campo o campos producidos por un ensamblaje productor de campos se recogen en un colector como una preforma sólida. Como se usa en el presente documento, el término "colector" se refiere a un sustrato, aparato, elemento o porción o región de un sustrato, aparato o elemento, o un ensamblaje de elementos, que se configura para recibir todo o una porción de las partículas de aleación solidificadas producidas por un ensamblaje de atomización. Los ejemplos no imitantes de un colector que puede incorporarse en realizaciones de un sistema o aparato configurado para preformar un proceso de formación de pulverizado sólido incluyen la totalidad o una porción o región de una cámara, una platina, un mandril u otra superficie.

Un colector puede mantenerse en potencial de tierra o, en diversas realizaciones no limitantes, a un potencial positivo alto de tal manera que atraiga las partículas negativamente cargadas producidas por el ensamblaje de atomización. El sistema ilustrado en la Figura 1, es decir, que comprende un ensamblaje de fundición, un ensamblaje de atomización, un ensamblaje de producción de campo y un colector, puede configurarse y hacerse funcionar para formar por pulverizado en sólido un lingote u otra preforma sólida en una superficie del colector, que en tal caso puede ser, por ejemplo, una platina o un mandril. En diversas realizaciones no limitantes, un sistema o aparato configurados para formar por pulverizado en sólido un lingote u otra preforma sólida pueden comprender un colector que comprende una platina o un mandril, que pueden adaptarse a rotar o de otra manera trasladarse para formar adecuadamente un artículo sólido de la geometría deseada.

En diversas realizaciones no limitantes, la sobre-pulverización de partículas de aleación sólidas se reduce o se elimina cargando adecuadamente un colector. La atomización de una corriente fundida y/o partículas fundidas usando un haz de electrones produce partículas que están cargadas negativamente debido al exceso de electrones dentro de las partículas atomizadas. Cambiando sustitivamente un colector a una polaridad positiva, el colector atraerá las partículas y por lo tanto reducirá significativamente o eliminará el sobre-pulverizado. El sobre-pulverizado es un inconveniente problemático de la formación de pulverizado convencional que puede dar como resultado rendimientos de proceso significativamente comprometidos.

La Figura 6 ilustra esquemáticamente diversos elementos de una realización no limitante de un aparato configurado para formar por pulverizado sólido una preforma sólida. Un ensamblaje de atomización de haz de electrones produce partículas de aleación fundidas cargadas negativamente. Un campo electrostático se produce entre el ensamblaje de atomización y un colector. El ensamblaje de atomización recibe al menos uno de una corriente y una serie de gotitas de aleación fundida desde un ensamblaje de fundición (no mostrado). Las partículas de aleación fundida cargadas interactúan con el campo electrostático, que acelera las partículas de aleación hacia el colector. Las partículas de aleación fundida se solidifican para formar

partículas de aleación sólida mientras viajan desde el ensamblaje de atomización 610 hacia el colector 616. Las partículas de aleación sólida impactan en el colector 616 y forman una preforma sólida 618 en una superficie del colector 616. La influencia del campo en la velocidad y/o la dirección de las partículas de aleación fundida 612 y, a su vez, las partículas de aleación solidificada, pueden usarse para reducir o eliminar el sobre-pulverizado de la preforma 618, potenciando de esta manera el rendimiento de los procesos de formación por pulverizado sólido y posiblemente también aumentando la densidad de la preforma 618 con respecto a una densidad posible sin el uso de un ensamblaje de producción de campo.

La Figura 7 ilustra esquemáticamente diversos elementos de una realización no limitante de un aparato 700 configurado para realizar un proceso de formación de pulverizado sólido. El ensamblaje de fundición 710 suministra al menos uno de una corriente y una serie de gotitas de aleación fundida a un ensamblaje de atomización de haz de electrones 712, que produce un pulverizado de partículas de aleación fundidas cargadas negativamente 714. Un campo electrostático y/o electromagnético 716 se produce por un ensamblaje de producción de campo entre el ensamblaje de atomización 712 y un colector de forma adecuada 718. El campo 716 interactúa con las partículas de aleación fundidas cargadas 714 para acelerar las partículas 714 hacia el colector 718. Las partículas de aleación fundidas 714 solidifican y forman partículas de aleación sólidas 715 mientras viajan desde el ensamblaje de atomización 712 al colector 718. Las partículas de aleación 714/715 pueden acelerarse en un grado mayor si el colector 718 se mantiene en un potencial positivo alto. La fuerza de aceleración y el control direccional ejercidos por el campo 716 en las partículas cargadas 714/715 puede usarse para potenciar la densidad de la preforma sólida 720 y también puede utilizarse para producir una preforma de forma casi neta 720. El colector 718 puede ser estacionario o puede adaptarse a rotar o de otra manera trasladarse adecuadamente. Las partículas de aleación sólidas 715 impactan en el colector 718 y la preforma en desarrollo 720, se deforma tras el impacto, y se une metalúrgicamente para formar la preforma sólida 720.

Como se muestra en la Figura 7A, una realización alternativa no limitante de un aparato 700 incluye un ensamblaje productor de plasma no equilibrado configurado para producir plasma no equilibrado 722 en el camino de las partículas fundidas 714 entre dos electrodos disipadores de calor 724. Los electrodos 724 comunican térmicamente con una masa térmica externa 726 a modo de líquido dieléctrico que circula a través del conducto 728 bajo la influencia de las bombas 730. El acoplamiento térmico entre los electrodos disipadores de calor 724 y la masa térmica externa 726 a modo del fluido dieléctrico permite que el calor se retire de las partículas fundidas 714 y se comunique a la masa térmica 726. El plasma no equilibrado 722 entre los disipadores de calor 724 puede producirse, por ejemplo, por medio de una descarga luminiscente AC o una descarga de corona. El plasma no equilibrado 722 transfiere el calor desde las partículas fundidas 714 hacia los dos electrodos disipadores de calor 724, que transfieren el calor a la masa térmica externa 726. La retirada de calor de las partículas de aleación fundidas 714 permite que las partículas solidifiquen y formen partículas de aleación sólidas 715.

Los sistemas de transferencia de calor y los dispositivos que producen plasma no equilibrado para transferir el calor a o desde las partículas de aleación fundida atomizadas se describen en el documento US-6.772.961. Los sistemas de transferencia de calor y los dispositivos que producen plasma no equilibrado para transferir el calor a o desde los materiales de aleación también se describen en la Patente de EE.UU. n.º 7.114.584.

La Figura 8 ilustra esquemáticamente diversos elementos de una realización no limitante de un aparato 800 configurado para realizar un proceso de formación por pulverizado en sólido. El ensamblaje de fundición 810 proporciona al menos uno de un flujo y una serie de gotitas de una aleación fundida a un ensamblaje de atomización de haz de electrones 812. El ensamblaje de fundición 810 opcionalmente puede mantenerse en un potencial negativo alto, tal como por el suministro de potencia 822 opcional, de tal forma que se "pre-cargue" negativamente el material fundido antes de que pase al ensamblaje de atomización 812, reduciendo de esta manera la cantidad de carga negativa que el ensamblaje de atomización 812 debe transmitir al material fundido para atomizar el material. Esta característica de "pre-carga" también puede usarse con las otras realizaciones descritas en el presente documento para reducir la cantidad de carga negativa que debe añadirse al material fundido para atomizar el material en el ensamblaje de atomización.

El ensamblaje de atomización de haz de electrones 812 produce un pulverizador de partículas de aleación fundida cargadas 814. Un campo electromagnético 816 se produce por una bobina magnética 818 (mostrada en sección). Las partículas de aleación fundida cargadas 814 interactúan con el campo 816 y se dirigen de esta manera hacia un colector 820. Las partículas de aleación fundidas 814 solidifican y forman partículas de aleación sólidas 815 mientras viajan desde el ensamblaje de atomización 812 hacia el colector 820. El control direccional de las partículas de aleación 814/815 ejercidas por el campo 816 pueden reducir el sobre-pulverizado, de esta manera potenciando el rendimiento del proceso de formación por pulverizado en sólido, y también puede potenciar la densidad de la preforma 822. Las partículas de aleación sólida 815 impactan en el colector 820 y la preforma en desarrollo 822, se deforma tras el impacto, y se une metalúrgicamente para formar la preforma sólida 822.

Como se muestra en la Figura 8A, el plasma no equilibrado 842 puede producirse opcionalmente en el camino de las partículas de aleación 814/815 entre dos electrodos disipadores de calor 844, que se conectan térmicamente a una masa térmica externa 846 por un líquido dieléctrico que se hace circular a través de los conductos 848 por bombas 850. La comunicación térmica mantenida entre los electrodos disipadores de calor 844 y la masa térmica

externa 846 permite que el calor se retire de o se añada a las partículas de aleación 814/815. El plasma no equilibrado 842 entre los disipadores de calor 844 puede producirse, por ejemplo, mediante una descarga luminiscente AC o una descarga de corona.

5 El plasma no equilibrado 842 puede extenderse desde los electrodos disipadores de calor 844 a la preforma sólida 822 y el colector 820, proporcionando la retirada de calor de o la adición de calor a la preforma 822 y el colector 820. En consecuencia, en el aparato 800, el calor puede transferirse desde las partículas de aleación fundida 814, las partículas de aleación sólida 815, la preforma sólida 822 y el colector 820 por el plasma no equilibrado 842 a los electrodos disipadores de calor 844 y después a la masa térmica externa 846. La retirada de calor de las partículas de aleación fundidas 814 permite que las partículas solidifiquen y formen las partículas de aleación sólidas 815.

10 La Figura 9 ilustra esquemáticamente diversos elementos de una realización no limitante de un aparato 900 configurado para realizar un proceso de formación por pulverizado en sólido. El ensamblaje de fundición 910 proporciona al menos uno de una corriente y una serie de gotitas de una aleación fundida a un ensamblaje de atomización de electrones 912. El ensamblaje de atomización 912 produce partículas de aleación fundidas cargadas 914. El campo electromagnético 916 producido por una bobina magnética 918 (mostrada en sección) interactúa con las partículas de aleación fundidas cargadas 914 para esparcir las partículas 914 y reducir la probabilidad de su colisión, inhibiendo de esta manera la formación de partículas fundidas más grandes y, en consecuencia, partículas de aleación sólidas más grandes 942. Un segundo campo electromagnético 940 producido por una bobina magnética 943 (mostrada en sección) interactúa con y dirige las partículas solidificadas 942 hacia un colector 944. Una preforma sólida 946 se forma en el colector 944 y hacia la preforma 946, en la que las partículas de aleación sólidas 942 se deforman tras el impacto y se unen metalúrgicamente para formar la preforma sólida 946.

15 Como se muestra en la Figura 9A, una realización no limitante de un aparato 900 puede configurarse de tal manera que se crea plasma no equilibrado 922 en el camino de las partículas fundidas 914, entre dos electrodos disipadores de calor 924 que comunican térmicamente con una masa térmica externa 926 por un fluido dieléctrico que circula a través del conducto 928 por medio de las bombas 930. La disposición de los electrodos disipadores de calor 924 que comunican térmicamente con la masa térmica externa 926 permite que el calor se retire de las partículas de aleación fundida 914 para solidificar las partículas de aleación fundida y formar las partículas de aleación sólida 942.

20 En diversas realizaciones no limitantes, un aparato o sistema configurado para realizar un proceso de formación por pulverizado en sólido puede incluir una cámara o similar que guarde o contenga todo o una porción del ensamblaje de fundición, el ensamblaje de atomización, el ensamblaje de producción de campo, el ensamblaje de producción de plasma, el colector y/o la pieza de trabajo (por ejemplo, la preforma). Si, por ejemplo, se incorpora un dispositivo de transferencia de calor que emplea plasma no equilibrado en un aparato o sistema, todo o una porción del dispositivo de transferencia de calor y sus electrodos asociados, así como el plasma no equilibrado, también pueden abarcarse dentro de la cámara. Una cámara tal puede proporcionarse para permitir regular la atmósfera dentro de la cámara, incluyendo las especies y las presiones parciales de los gases presentes y/o la presión global del gas dentro de la cámara.

25 Por ejemplo, la cámara puede evacuarse para proporcionar un vacío (como se usa en el presente documento, "vacío" se refiere a vacío completo o parcial) y/o puede estar completa o parcialmente llenado con un gas inerte (por ejemplo, argón y/o nitrógeno) para limitar la oxidación de los materiales que se procesan y/o para inhibir otras reacciones químicas indeseadas, tales como nitrificación. En una realización no limitante de un aparato que incorpora una cámara, la presión dentro de la cámara puede mantenerse a menos de presión atmosférica, tal como por ejemplo de 0,013 a 0,00013 kPa (0,1 a 0,0001 torr) o cualquier intervalo subsumido en el mismo, tal como, por ejemplo de 0,0013 a 0,00013 kPa (0,01 a 0,001 torr).

30 Las partículas de aleación fundidas producidas impactando electrones sobre el material fundido, como se describe en la presente memoria descriptiva, generalmente están cargados negativamente de forma alta. Diversas realizaciones no limitantes descritas en el presente documento también incluyen dispositivos para pre-cargar material fundido con una carga negativa, antes de impactar electrones sobre y atomizando el material fundido. Puede existir una tendencia para las partículas/el material cargados negativamente a acelerar hacia estructuras cercanas mantenidas a potencial de tierra. Tales estructuras pueden incluir paredes de cámara y otros componentes de aparatos adyacentes al camino del material fundido de viaje aguas abajo del ensamblaje de fundición. En diversas realizaciones no limitantes, el ensamblaje de atomización del aparato incluye placas u otras estructuras con forma adecuada mantenidas a potencial negativo y dispuestas de tal manera que desvíen las partículas/el material cargados negativamente e inhiban la aceleración indeseada de las partículas/el material hacia las paredes de la cámara y/u otras estructuras mantenidas a potencial de tierra.

35 Diversas realizaciones no limitantes de un aparato o sistema configurados para realizar un proceso de formación de pulverizado en sólido pueden incluir un ensamblaje de fundición sustancialmente libre de cerámica en regiones que contactarían, y por lo tanto podrían contaminar, la aleación fundida producida por el ensamblaje de fundición durante el funcionamiento del aparato. Cada aparato tal puede incluir también un ensamblaje de atomización de haz de electrones para atomizar el material fundido y producir partículas de aleación fundidas. Cada aparato tal puede incluir también un ensamblaje para producir campo, que produce uno o más campos electromagnéticos y/o

electrostáticos entre el ensamblaje de atomización y un colector e influye en al menos uno de la aceleración, la velocidad y la dirección de las partículas conforme pasan toda o una porción de la distancia entre el ensamblaje de atomización y el colector.

5 Diversas realizaciones no limitantes de un aparato o sistema configurados para realizar un proceso de formación de pulverizado en sólido pueden incluir uno o más ensamblajes de producción de plasma no equilibrado que producen plasma no equilibrado para transferir calor a o desde las partículas fundidas y/o sólidas después de que se produzcan por un ensamblaje de atomización, pero antes de que las partículas sólidas impacten en un colector/pieza de trabajo en desarrollo para formar una preforma sólida. Alternativamente, o además, las realizaciones no limitantes de un aparato configurado para realizar un proceso de formación de pulverizado en sólido puede producir uno o más plasmas no equilibrado para transferir calor a o desde el material de aleación sólido después de que impacte en un colector y pueda aplicarse a una preforma en desarrollo o en el colector.

15 Las Figuras 10-13 ilustran esquemáticamente diversas realizaciones no limitantes de ensamblajes de fundición que pueden incluirse como un componente de un aparato o sistema configurado para realizar un proceso de formación de pulverizado en sólido. Cada realización de ensamblaje de fundición puede usarse para producir al menos uno de una corriente y una serie de gotitas de aleación fundida a partir de un electrodo consumible u otro suministro de aleación. Cada realización de ensamblaje de fundición tal puede construirse de tal manera que carezca de cerámica en regiones del ensamblaje que estarían en contacto con la aleación fundida producida en el ensamblaje.

20 La Figura 10 ilustra el uso de un dispositivo de refundición de electrodo doble al vacío como un componente de un ensamblaje de fundición que produce aleación fundida que se suministra a un ensamblaje de atomización de haz de electrones. La técnica de refundición de electrodo doble al vacío, o "VADER" (por sus siglas en inglés), se describe, por ejemplo, en la Patente de EE.UU. n.º 4.261.412. En un aparato VADER, el material fundido se produce golpeando un arco en un vacío entre dos electrodos consumibles, que se funden. Una ventaja de la técnica VADER sobre la refundición de arco de vacío (VAR) convencional es que la técnica VADER permite un control más ajustado de la temperatura y la velocidad de fundición.

30 Con referencia a la Figura 10, la pared de la cámara de vacío 1010 rodea a los electrodos consumibles opuestos 1014 y un ensamblaje de atomización 1016. La corriente eléctrica pasa entre y a través de los electrodos opuestos 1014, fundiendo los electrodos para producir gotitas 1018 (o alternativamente, una corriente) de aleación fundida. Las gotitas de aleación fundidas 1018 caen desde los electrodos 1014 hacia el ensamblaje de atomización 1016. Alternativamente, una piscina fundida en comunicación fluida con una guía de inducción fría o un dispositivo de dispensación similar (no mostrado) puede posicionarse entre los electrodos 1014 y el ensamblaje de atomización 1016. Las partículas de aleación fundida atomizadas producidas por el ensamblaje de atomización 1016 pasan a través de y se influyen por uno o más campos electromagnéticos y/o electrostáticos producidos por un ensamblaje de producción de campo (no mostrado), se unen metalúrgicamente y forman una preforma sólida.

40 La Figura 11 ilustra el uso de un dispositivo de fusión por haz de electrones como un componente de un ensamblaje de fundición que produce aleación fundida que se suministra a un ensamblaje de atomización de haz de electrones. En la fusión por haz de electrones, un suministro de materia prima se funde impactando electrones de alta energía sobre el suministro de materia prima. La contaminación del producto fundido puede reducirse o eliminarse fundiendo en un vacío controlado. La eficiencia energética de la fusión por haz de electrones puede exceder aquella de los procesos que compiten debido al control disponible del tiempo de permanencia de mancha del haz de electrones y la distribución a las áreas a fundirse. Además, las pérdidas de potencia del haz de electrones dentro de la pistola y entre la boquilla de la pistola y el material diana son relativamente pequeñas.

50 Como se analiza anteriormente, los dispositivos de fundición descritos en el presente documento, incluyendo el dispositivo de fundición mostrado en la Figura 11, por ejemplo, pueden configurarse para mantenerse a un potencial negativo alto y por lo tanto impartir una carga negativa al material fundido antes de que pase aguas abajo al ensamblaje de atomización del aparato. Como un ejemplo, el dispositivo de fundición mostrado en la Figura 11 puede configurarse para incluir una cámara de fundición que es eléctricamente conductora y se mantiene a un potencial negativo alto y que el material fundido contacte antes de pasar al ensamblaje de atomización.

55 Con referencia a la Figura 11, la cámara de vacío 1110 rodea las fuentes de haces de electrones del dispositivo de fundición 1112, el electrodo consumible 1114 que se está fundiendo, un ensamblaje de atomización de haz de electrones 1116 y un colector (no mostrado). Los haces de electrones impactan en el electrodo 1114, calientan y funden el electrodo para producir gotitas 1118 (o alternativamente, una corriente) de aleación fundida. Las gotitas 1118 caen desde el electrodo 1114 al ensamblaje de atomización 1116. Las partículas de aleación fundida atomizadas producidas por el ensamblaje 1116 pasan a través de y están influidas por uno o más campos electromagnéticos y/o electrostáticos producidos por un ensamblaje de producción de campo (no mostrado), se solidifican, impactan sobre un colector o una pieza de trabajo en desarrollo (no mostrada), se unen metalúrgicamente y forman una preforma sólida.

65 La Figura 12 ilustra el uso de un dispositivo de fusión en crisol frío de haz de electrones como un componente de un ensamblaje de fundición que produce aleación fundida que se suministra a un ensamblaje de atomización de haz de

electrones. En una técnica típica de fusión en crisol frío de haz de electrones, una primera pistola de haz de electrones funde la carga, que puede tener diversas formas (por ejemplo, lingote, esponja o raspadura). El material fundido fluye hacia un crisol enfriado en agua superficial (la chimenea fría), donde una o más pistolas de electrones mantienen la temperatura del material fundido. Una función principal de la chimenea fría es separar inclusiones más ligeras o más pesadas que el material líquido, mientras que al mismo tiempo aumenta el tiempo de residencia de las partículas de densidad menor que tienen un punto de fusión alto para asegurar su disolución completa. Todas las funciones pueden llevarse a cabo en un ambiente al vacío par asegurar el funcionamiento apropiado de las pistolas de electrones y para evitar la contaminación de la aleación por el ambiente ambiental. Una ventaja de la técnica de fusión en crisol frío de haz de electrones es que puede eliminar eficazmente elementos volátiles, tales como cloruro e hidrógeno (debido en parte al vacío opcional) e inclusiones en el fundido. La técnica también es flexible con respecto a la forma de los materiales de suministro.

Con referencia a la Figura 12, la cámara de vacío 1210 rodea las fuentes de haces de electrones 1212 y una chimenea fría de cobre enfriada 1216 del ensamblaje de fundición, el electrodo consumible 1214 que se está fundiendo, un ensamblaje de atomización de haz de electrones 1218 y un colector (no mostrado). El material fundido 1220, en forma de una corriente y/o una serie de gotitas, cae desde la chimenea fría de cobre enfriada 1216 hacia el ensamblaje de atomización 1218. Las partículas de aleación fundidas atomizadas producidas por el ensamblaje de atomización 1218 pasan a través de y están influidas por uno o más campos electromagnéticos y/o electrostáticos producidos por un ensamblaje de producción de campo (no mostrado), se solidifican, impactan sobre un colector o una pieza de trabajo en desarrollo (no mostrada), se unen metalúrgicamente y forman una preforma sólida.

La Figura 13 ilustra el uso de un ensamblaje de fundición que comprende una combinación de un dispositivo de refinado/refundido de electroescoria (ESR) y una guía de inducción en frío (CIG, por sus siglas en inglés) para producir aleación fundida que se suministra a un ensamblaje de atomización de haz de electrones. Alternativamente, puede usarse un dispositivo de fundición que combina refundido de arco de vacío (VAR) y una CIG en lugar de una combinación ESR/CIG. Los dispositivos que combinan dispositivos ESR o VAR y una CIG se describen, por ejemplo, en la Patente de EE.UU. n.º 5.325.906.

En una técnica típica de ESR, se hace pasar corriente eléctrica a través de un electrodo consumible y una escoria eléctricamente conductora se pone en contacto con el electrodo. Las gotitas fundidas a partir del electrodo pasan a través de y se refinan por la escoria conductora y pueden pasar después a un aparato aguas abajo. Los componentes básicos de un aparato ESR incluyen un suministro de potencia, un mecanismo de suministro de electrodo, un recipiente de refinado de cobre enfriado en agua y la escoria. El tipo de escoria específico usado dependerá del material particular a refinarse. El proceso VAR implica la fundición de un electrodo consumible compuesto por la aleación golpeando un arco con el electrodo en un vacío. Además de reducir el nitrógeno y el hidrógeno disueltos, el proceso VAR retira muchas inclusiones de óxido en el plasma de arco.

En las combinaciones ESR/CIG y VAR/CIG, la CIG, que también se denomina diversamente un "dedo frío" o una "guía de inducción de pared fría", puede mantener el material fundido en forma fundida conforme el material pasa desde el aparato VAR o ESR aguas abajo al ensamblaje de atomización. La CIG también protege el material fundido de contactar con la atmósfera. La CIG puede acoplarse directamente aguas arriba al aparato ESR o VAR y aguas abajo al ensamblaje de atomización para proteger el material fundido refinado de la atmósfera, previniendo que se formen óxidos y que contaminen el fundido. Una CIG también puede usarse para controlar el flujo de material fundido desde un aparato ESR o VAR a un ensamblaje de atomización aguas abajo.

La construcción y la manera de funcionamiento del dispositivo CIG se describe, por ejemplo, en las Pat. de EE.UU. n.º 5.272.718; 5.310.165; 5.348.566; y 5.769.151. Una CIG incluye generalmente un recipiente de fundido para recibir material fundido. El recipiente de fundido incluye una pared inferior que contiene una apretura. Una región de transferencia de la CIG se configura para incluir un pasaje (que puede ser, por ejemplo, generalmente con forma de embudo) construido para recibir material fundido de la abertura en el recipiente de fundido. En un diseño convencional de una CIG, la pared del pasaje con forma de embudo se define por un número de segmentos metálicos enfriados con fluido y los segmentos enfriados con fluido definen un contorno interno del pasaje que puede disminuir generalmente en el área en sección transversal desde un extremo de la entrada a un extremo de salida de la región. Una o más bobinas eléctricamente conductoras se asocian a la pared del pasaje con forma de embudo, y una fuente de corriente eléctrica está en conexión eléctrica selectiva con las bobinas conductoras. Durante el tiempo en que el material fundido está fluyendo desde el recipiente de fundido de la CIG a través del pasaje de la CIG, la corriente eléctrica se pasa a través de las bobinas conductoras a una intensidad suficiente para calentar inductivamente el material fundido y mantenerlo en forma fundida.

Una porción del material fundido contacta con la pared enfriada del pasaje con forma de embudo de la CIG y puede solidificar para formar un cráneo que aísla el resto del material fundido que fluye a través de la CIG de contactar la pared. El enfriamiento de la pared y la formación del cráneo aseguran que el material fundido que pasa a través de la CIG no se contamina por los metales u otros constituyentes de los que están formadas las paredes de la CIG. Como se desvela, por ejemplo, en la Pat. de EE.UU. n.º 5.649.992, el grosor de la pared en una región de la porción con forma de embudo de la CIG puede controlarse ajustando apropiadamente la temperatura del enfriante, la velocidad de flujo del enfriante y/o la intensidad de corriente en las bobinas de inducción para controlar o cortar

totalmente el flujo del fundido a través de la CIG; conforme el grosor del cráneo aumenta, el flujo a través de la región de transferencia se reduce correspondientemente. Aunque puede proporcionarse un aparato de CIG en diversas formas, cada forma incluye normalmente: (1) un pasaje que utiliza gravedad para guiar un fundido; (2) medio de enfriamiento en al menos una región de la pared para promover la formación del cráneo en la pared; y (3) bobinas eléctricamente conductoras asociadas a al menos una porción del pasaje, para calentar inductivamente el material fundido dentro del pasaje.

Con referencia a la Figura 13, la cámara de vacío 1310 rodea un ensamblaje de fundición de ESR/CIG, un ensamblaje de atomización de haz de electrones 1312 y un colector (no mostrado). La fuente de fundición de ESR/CIG incluye un electrodo consumible 1314 de la aleación deseada y un crisol de cobre enfriado en agua 1316. Una escoria fundida calentada 1318 actúa para fundir el electrodo 1314 para formar una piscina de aleación fundida 1320. La aleación fundida de la piscina fundida 1320 fluye a través de la boquilla de CIG 1324, en forma de una corriente fundida y/o una serie de gotitas 1322 y pasas a través del ensamblaje de atomización 1312. Las partículas de aleación fundida atomizadas producidas por el ensamblaje de atomización 1312 pasan a través de y están influidas por uno o más campos electromagnéticos y/o electrostáticos producidos por un ensamblaje de producción de campo (no mostrado), se solidifican, impactan sobre un colector o una pieza de trabajo en desarrollo (no mostrada), se unen metalúrgicamente y forman una preforma sólida.

Alternativamente las técnicas para fundir suministro de materia prima en un ensamblaje de fundición de un aparato o sistema configurado para preformar un proceso de formación de pulverizado sólido incluyen, pero no se limitan a, fundición por inducción, fundición de arco de plasma y similares. Por ejemplo, en la fundición de inducción, un conductor eléctrico primario enrollado puede rodear una barra de material de suministro metálico. Haciendo pasar corriente eléctrica a través del conductor primario se induce una corriente eléctrica secundaria dentro de la barra a través de inducción electromagnética. La corriente secundaria calienta la barra a una temperatura mayor que su temperatura de fusión.

Las Figuras 14-17 ilustran diversas realizaciones no limitantes de sistemas y aparatos configurados para realizar un proceso de formación de pulverizado sólido.

La Figura 14 ilustra esquemáticamente partículas de aleación atomizadas y solidificadas que se impactan y se unen metalúrgicamente sobre una pieza de trabajo en desarrollo para formar una preforma sólida. Una cámara de vacío 1410 aloja un ensamblaje de atomización de haz de electrones 1412. Una serie de gotitas de aleación fundida 1414 producidas por un ensamblaje de fundición (no mostrado), que pueden ser, por ejemplo, uno de los diversos ensamblajes de fundición analizados anteriormente, pasa a través del ensamblaje de atomización 1412. El ensamblaje de atomización 1412 produce partículas de aleación atomizadas 1416, que pasan a través, interactúan con y están influenciadas por el campo o campos electromagnéticos y/o electrostáticos 1413 producidos por la bobina electromagnética 1417 (mostrada seccionada) de un ensamblaje de producción de campo. La bobina 1417 se posiciona para producir el campo o campos en la región 1418 aguas abajo del ensamblaje de atomización 1412. Las partículas de aleación atomizadas 1416 solidifican mientras viajan desde el ensamblaje de atomización 1412, impactan y se unen metalúrgicamente a la pieza de trabajo en desarrollo para formar una preforma sólida.

La Figura 15 ilustra esquemáticamente la producción de un lingote formado por pulverizado en sólido a partir de una aleación atomizada fundida y solidificada producida por atomización de haz de electrones. La cámara de vacío 1510 aloja un ensamblaje de fundición (no mostrado) y un ensamblaje de atomización de haz de electrones 1512. El ensamblaje de fundición puede ser, por ejemplo, uno de los diversos ensamblajes de fundición analizados anteriormente. Las gotitas de aleación fundida 1514 producidas por el ensamblaje de fundición (no mostrado) pasan hacia el ensamblaje de atomización 1512. Las gotitas de aleación fundida 1514 se atomizan dentro del ensamblaje de atomización 1512 para formar un pulverizado de partículas de aleación atomizadas 1516.

Las partículas de aleación atomizadas 1516 pasan a través, interactúan con y están influenciadas por uno o más campos electromagnéticos y/o electrostáticos (no indicados) producidos por las placas 1518 de un ensamblaje que produce campos. Las placas 1518 se conectan a una fuente de potencia (no mostrada) mediante cables 1520 que pasan a través de las paredes de la cámara 1510. Las partículas de aleación atomizadas 1516 se solidifican y se hacen impactar sobre una placa colectoras rotativa 1524 bajo la influencia del campo o campos producidos por el ensamblaje que produce campos produciendo un ensamblaje para formar una preforma sólida 1525. La placa colectoras rotativa 1524 puede extraerse hacia abajo a una velocidad que mantenga la interfaz de deposición a una distancia sustancialmente constante desde el ensamblaje de atomización. Para potenciar el rendimiento y mejorar la densidad de deposición, la placa colectoras 1524 puede cargarse a un potencial positivo alto conectando la placa 1524 a un suministro de potencia (no mostrado) mediante cables 1526 que pasan a través de la pared de la cámara 1510.

La figura 16 ilustra esquemáticamente una realización de un aparato o sistema configurados para realizar un proceso de formación de pulverizado en sólido en el que las partículas de aleación fundida atomizadas se solidifican y se hacen impactar en un colector/una pieza de trabajo en una primera cámara del aparato. La cámara de vacío 1610 abarca un ensamblaje de fundición (no mostrado) y un ensamblaje de atomización de haz de electrones 1612. El ensamblaje de fundición puede ser, por ejemplo, uno de los diversos ensamblajes de fundición analizados

anteriormente. Una serie de gotitas de aleación fundida 1614 producidas por el ensamblaje de fundición (no mostrado) pasan hacia el ensamblaje de atomización 1612. Las gotitas de aleación fundida 1614 se atomizan dentro del ensamblaje de atomización 1612 para formar partículas de aleación 1616. Las partículas de aleación 1616 pasan a través de, interactúan con y están influenciadas por uno o más campos electromagnéticos y/o electrostáticos 1618 producidos por una bobina electromagnética 1620 (mostrada seccionada) de un ensamblaje que produce campo. Las partículas atomizadas 1616 solidifican y se dirigen hacia un colector en forma de un recipiente 1621 bajo la influencia del campo 1618.

Las partículas de aleación sólida impactan en una pieza de trabajo 1625 que se está formando en el recipiente 1621, se deforman y se unen metalúrgicamente a la pieza de trabajo 1625 para formar una preforma sólida. Cuando se forma la preforma sólida, puede transferirse a una cámara 1626, que puede sellarse mediante cierre al vacío 1628. El recipiente 1621 y la preforma pueden liberarse a la atmósfera a través de un segundo cierre al vacío 1630 para el procesamiento termomecánico de acuerdo con técnicas conocidas. Opcionalmente, el aparato de la Figura 16 puede incluir un dispositivo de transferencia de calor, tal como se describe generalmente de forma anterior, se configura para retirar el calor de las partículas de aleación fundidas atomizadas para formar partículas de aleación sólidas. Además, opcionalmente, el recipiente 1621 puede conectarse eléctricamente a un suministro de potencia 1624 mediante el cable 1622 y se mantiene en un potencial positivo mientras las partículas sólidas cargadas negativamente 1616 están impactando en el recipiente 1621. El cable 1622 puede desconectarse remotamente del recipiente 1621 antes de que el recipiente se mueva hacia la cámara 1626.

La Figura 17 ilustra esquemáticamente una realización no limitante de un aparato o un sistema 1700 configurado para realizar un proceso de formación de pulverizado en sólido. En la Figura 17 un artículo formado por pulverizado sólido se produce en un molde pulverizando partículas de aleación sólidas producidas solidificando partículas de aleación molidas proporcionadas por atomización de haz de electrones. La cámara de vacío 1710 abarca elementos incluyendo un ensamblaje de fundición (no mostrado) y un ensamblaje de atomización de haz de electrones 1712. El ensamblaje de fundición puede ser, por ejemplo, uno de los diversos ensamblajes de fundición analizados anteriormente. Una serie de gotitas de aleación fundidas 1714 producidas por el ensamblaje de fundición pasan hacia el ensamblaje de atomización 1712. Las gotitas de aleación fundida 1714 se atomizan dentro del ensamblaje de atomización 1712 para formar un pulverizador de partículas de aleación atomizada 1716. Las partículas de aleación atomizadas 1716 pasan a través de, interactúan con y están influenciados por el uno o más campos electromagnéticos y/o electrostáticos 1718 producidos por la bobina eléctricamente energizada 1720 (mostrada seccionada) de un ensamblaje que produce campos. El material atomizado 1716 se solidifica y se dirige hacia el molde 1724 bajo la influencia del campo 1718 producido por el ensamblaje que produce campo, y el artículo resultante formado por pulverizado sólido 1730 se extrae del molde 1724 por movimiento hacia debajo de la base del molde (no mostrado). Opcionalmente, la base del molde puede configurarse para rotar o de otra manera trasladarse.

En una realización alternativa no limitante del aparato 1700 mostrado en la Figura 17A, se proporcionan suministros de potencia 1732 y crean una diferencia de potencial de tal manera que se forme un plasma no equilibrado entre los electrodos 1734. El calor se conduce por el plasma desde las partículas de aleación solidificadas y/o la superficie del artículo sólido 1730 a los electrodos 1734, que se enfrían con un líquido dieléctrico que circula a través de intercambiadores de calor 1736 y los electrodos 1734.

La Figura ilustra una realización no limitante de un proceso de formación de pulverizado sólido que puede realizarse usando los sistemas y aparatos descritos en el presente documento. Un suministro de aleación 1801 se funde en una etapa de fundición 1805 para producir al menos una de una corriente de aleación fundida y una serie de gotitas de aleación fundida. La etapa de fundición 1805 puede incluir múltiples sub-etapas sucesivas de fundición, refinado y re-fundición. Por ejemplo, el suministro de aleación puede comprender raspadura, esponja, fuentes recicladas y/o vírgenes de metal básico y elementos de aleación, según sea aplicable, que se funden para formar un fundido inicial. El fundido inicial puede producirse usando VAR, fundición de arco de plasma, fusión por haz de electrones o cualquier otra técnica de fundición adecuada.

La química de fundición inicial puede analizarse y modificarse según sea necesario para lograr una química predeterminada. Una vez que se logra la química de fundición aceptable, el fundido puede moldearse en un electrodo consumible para funciones de refinado y/o refundido adicionales o se usan para producir al menos una corriente de aleación fundida y una serie de gotitas de aleación fundida. En diversas realizaciones, el suministro de aleación puede comprender un electrodo consumible u otro artículo consumible de química de aleación aceptable que se funde para producir al menos uno de una corriente de aleación fundida y una serie de gotitas de aleación fundida.

Como se indica anteriormente, como se usa en el presente documento, el término "aleación" se refiere tanto a metales puros como a aleaciones e incluye, por ejemplo, hierro, cobalto, níquel, aluminio, titanio, niobio, circonio y aleaciones basadas en cualquiera de estos metales, tales como aceros inoxidable, aluminuros de titanio, aleaciones de titanio-níquel y similares los ejemplos no limitantes de superaleaciones basadas en níquel que pueden procesarse de acuerdo con realizaciones descritas en el presente documento incluyen, pero no se limitan a, aleación IN 100 (UNS 13100), aleación Rene 88™, Aleación 720, Aleación 718 (UNS N07718), y aleación 718Plus™ (UNS N07818) (disponible de ATI Allvac, Monroe, Carolina del Norte, EE.UU.). Los ejemplos no limitantes de aleaciones

de titanio que pueden procesarse de acuerdo con realizaciones descritas en el presente documento incluyen, pero no se limitan a, aleación Ti-6Al-4V, aleación T-17, aleación Ti-5-5-5-3, aleación Ti-Ni y aleaciones Ti-Al.

Al menos uno de una corriente de aleación fundida y una serie de gotitas de aleación fundida se atomiza en la etapa 1810 usando atomización de haz de electrones. Durante la etapa 1810, los electrones producidos a partir de una fuente de electrones, tales como, por ejemplo, un emisor de haz de electrones termo-iónico y/o un emisor de electrones de plasma iónico de descarga de alambre, se impactan en la al menos una de una corriente de aleación fundida y una serie de gotitas de aleación fundida. Los electrones que impactan cargan electrostáticamente de forma rápida la corriente de aleación fundida y/o la serie de gotitas de aleación fundida hasta que las fuerzas de repulsión electrostáticas exceden la tensión superficial de la corriente de la aleación fundida y rompen físicamente la corriente y/o las gotitas de en partículas de aleación fundida más pequeñas, de esta manera atomizando la aleación fundida. Los electrones que impactan también producen partículas atomizadas cargadas eléctricamente de aleación fundida. El tamaño y la carga de las partículas de aleación fundida puede controlarse, por ejemplo, controlando el tamaño, la forma y la densidad del campo de electrones que impactan en la aleación fundida.

Las partículas atomizadas y eléctricamente cargadas de aleación fundida se aceleran en la etapa 1815 a través de la interacción con al menos uno de un campo electrostático y un campo electromagnético. En diversas realizaciones, un campo electrostático establecido entre un ensamblaje de atomización y un colector interactúa con las partículas de aleación atomizadas y eléctricamente cargadas para acelerar las partículas lejos del ensamblaje de atomización y hacia un colector. La magnitud de la aceleración puede controlarse, por ejemplo, controlando la magnitud de una diferencia de voltaje entre un ensamblaje de atomización y un colector, que afecta directamente a la intensidad del campo electrostático.

Las partículas de aleación fundidas aceleradas se solidifican en la etapa 1820 enfriando las partículas de aleación fundidas a una temperatura no mayor que la temperatura solidus de la aleación. Como se usa en el presente documento, la frase "temperatura solidus" se refiere a la temperatura máxima de una aleación en la que la aleación está en un estado completamente sólido. Por el contrario, la "temperatura liquidus" de una aleación es la temperatura máxima en la que los cristales de sólido de la aleación coexisten en equilibrio termodinámico con la aleación líquida. A temperaturas por encima de la temperatura liquidus, una aleación es completamente líquida y a temperaturas iguales a o por debajo de la temperatura solidus, una aleación es completamente sólida. A temperaturas mayores de la temperatura solidus y hasta e incluyendo la temperatura liquidus, una aleación existe en un estado bifásico.

El enfriamiento de las partículas de aleación aceleradas a una temperatura no mayor de la temperatura solidus de la aleación asegura que la aleación cambia desde el estado fundido al estado sólido antes de ponerse en contacto con un colector. Por ejemplo, la Aleación 718, una superaleación a base de níquel, tiene una temperatura liquidus de aproximadamente 1358 °C y una temperatura solidus de aproximadamente 1214 °C. Véase Wei-Di Cao, "Solidification and solid state phase transformation of Allvac® 718Plus™ alloy," Journal of the Minerals, Metals & Materials Society, 2005. Por lo tanto, en realizaciones no limitantes en las que la Aleación 718 se forma por pulverizado en sólido, las partículas de Aleación 718 fundidas aceleradas pueden enfriarse a una temperatura no mayor de 1214 °C para solidificar las partículas antes de ponerse en contacto con un colector.

En diversas realizaciones, las partículas de aleación fundidas se enfrían a una temperatura no mayor que la temperatura solidus ( $T_S$ ) de la aleación y más de 0,50 veces la temperatura solidus ( $0,50 * T_S$ ). Enfriar las partículas de aleación fundidas a una temperatura en el intervalo de  $0,50 * T_S$  a  $T_S$  puede asegurar que las partículas se solidifican sustancialmente pero se mantienen suficientemente blandas para deformarse tras el impacto con un sustrato y unirse metalúrgicamente en el estado sólido (es decir, soldadura en estado sólido) para formar una preforma sólida unitaria y monolítica. Por ejemplo, la resistencia última, la resistencia de rendimiento del 2 % y la dureza de la Aleación 718 disminuye (es decir la aleación se reblandece) a una velocidad mayor a temperaturas por encima de aproximadamente 600 °C, que es aproximadamente 0,50 veces la temperatura solidus de la aleación.

En diversas realizaciones, las partículas de aleación fundidas aceleradas se enfrían a una temperatura en el intervalo de  $0,50 * T_S$  a  $T_S$ , o cualquier intervalo subsumido en el mismo, tal como, por ejemplo,  $0,50 * T_S$  a  $0,99 * T_S$ ,  $0,50 * T_S$  a  $0,95 * T_S$ ,  $0,60 * T_S$  a  $0,95 * T_S$ ,  $0,70 * T_S$  a  $0,95 * T_S$ ,  $0,80 * T_S$  a  $0,95 * T_S$  o  $0,90 * T_S$  a  $0,99 * T_S$ ,

En diversas realizaciones, la distancia entre un ensamblaje de atomización y un colector, a través del que se aceleran las partículas fundidas, se predetermina de tal manera que las partículas de aleación fundidas pierdan suficiente energía calorífica a través de la conducción, la convección y/o la radiación para solidificar las partículas antes de contactar con un colector. En diversas realizaciones, se produce un plasma no equilibrado en la ruta de las partículas de aleación fundidas aceleradas para transferir activamente la energía de calor desde las partículas fundidas para solidificar las partículas antes de contactar con un colector.

En diversas realizaciones, las partículas de aleación fundidas aceleradas viajan a través de una zona de control térmico en una zona de control térmico en un aparato o sistema configurado para realizar un proceso de formación por pulverizado en sólido. Una zona de control térmico puede comprender dispositivos de transferencia de calor para retirar activamente el calor de las partículas de aleación o aumentar la velocidad de pérdida de calor a modo de

conducción, convención y/o radiación al ambiente circundante en la zona de control térmico. Por ejemplo, una zona de control térmico puede comprender dispositivos como bobinas de enfriamiento para mantener una temperatura sub-ambiental en la zona de control térmico, que establece un diferencial de temperatura mayor entre las partículas de aleación fundidas y el ambiente circundante. Un diferencial de temperatura mayor puede correlacionarse con una mayor velocidad de pérdida de calor de las partículas de aleación fundidas, que permite la solidificación más eficaz y/o eficiente antes de contactar con el colector.

Las partículas de aleación sólidas se hacen impactar sobre un sustrato en la etapa 1825 para formar por pulverizado sólido una preforma de aleación 1830. En diversas realizaciones, el sustrato puede comprender un colector tal como, por ejemplo, una platina, un cilindro, un mandril, un recipiente, una cámara, un molde u otra superficie. En diversas realizaciones, el sustrato puede comprender una pieza de trabajo o preforma en desarrollo que se formó a partir de partículas de aleación sólidas que impactaron sobre una superficie del colector inicial. De esta manera, las partículas de aleación sólidas que impactan desarrollan adicionalmente la pieza de trabajo y forman la preforma.

En diversas realizaciones, las partículas de aleación sólidas impactan en un sustrato después de enfriarse a una temperatura no mayor de la temperatura solidus de la aleación, tal como por ejemplo, una temperatura en el intervalo de  $0,50 \cdot T_s$  a  $T_s$ , o cualquier intervalo subsumido en el mismo. Impactar partículas de aleación sólidas que tienen una temperatura no mayor de la temperatura solidus de la aleación, por ejemplo una temperatura en el intervalo de  $0,50 \cdot T_s$  a  $T_s$ , puede asegurar que las partículas se solidifican sustancialmente pero son suficientemente blandas para deformarse tras el impacto con un sustrato y unirse metalúrgicamente en el estado sólido (es decir, soldadura en estado sólido) para formar una preforma sólida unitaria y monolítica.

En diversas realizaciones, el colector inicial puede comprender un artículo sólido formado a partir del mismo o una aleación similar como la aleación que forma las partículas atomizadas y sólidas. Esto puede asegurar que las partículas de aleación sólidas son metalúrgicamente compatibles con el colector inicial de tal manera que las partículas de aleación sólidas se unan metalúrgicamente (es decir, soldadura en estado sólido) al sustrato, y entre sí, para formar una preforma unitaria y monolítica. En diversas realizaciones, el material que forma el colector inicial puede retirarse de una preforma de aleación formada por pulverizado en estado sólido cortando, moliendo o similares.

Las Figuras 19A-19F ilustran colectivamente una realización no limitante de un proceso de formación de pulverizado sólido y un sistema 1900. Con referencia a la Figura 19A, un aparato de fundición de aleación 1910 produce una serie de gotitas 1915 de aleación fundida, sin embargo, se entiende que el aparato de fundición de aleación 1910 puede producir una corriente de aleación fundida y/o una serie de gotitas de aleación fundida. Un aparato de atomización 1920 produce un campo de electrones 1925 que intersecta el camino de las gotitas de aleación fundidas 1915 que viajan a través del sistema de formación de pulverizado sólido 1900 desde el aparato de fundición 1910 hacia un sustrato 1930.

Con referencia a la Figura 19B, los electrones que comprenden el campo de electrones 1925 impactan en las gotitas de aleación fundidas 1915 y cargan electrostáticamente de forma rápida las gotitas 1915 más allá del límite de Rayleigh y las gotitas se atomizan en partículas de aleación fundida más pequeñas 1935. Las partículas de aleación fundidas atomizadas 1935 tienen una carga negativa eléctrica neta debido a los electrones que impactan. Las partículas de aleación fundidas atomizadas 1935 pueden formarse mediante un efecto de cascada en el que las gotitas de aleación fundidas 1915 se rompen en partículas más pequeñas, las partículas más pequeñas se recargan a potencial negativo impactando electrones y rompiéndolas en partículas aún más pequeñas y el proceso se repite durante el tiempo en que los electrones se añaden a las partículas atomizadas sucesivamente más pequeñas. Alternativamente, o además, las partículas de aleación fundidas atomizadas 1935 puede quitarse secuencialmente de la superficie de las gotitas de aleación 1915. Independientemente del mecanismo de atomización físico, la gotita de aleación fundida 1915 se expone al campo de electrones que chocan 1925 durante un tiempo suficiente de tal manera que se acumula suficiente carga negativa en y rompe la aleación en partículas de aleación fundidas atomizadas 1935.

Con referencia a la Figura 19C, las partículas de aleación fundidas cargadas eléctricamente y atomizadas 1935 se aceleran con al menos un campo electrostático y un campo electromagnético 1940. El campo 1940 se configura para controlar la aceleración, la velocidad y/o la dirección de las partículas de aleación fundidas atomizadas y eléctricamente cargadas 1935 de tal manera que las partículas viajan a través del sistema formador de pulverizado sólido 1900 desde el aparato de atomización 1920 hacia el sustrato 1930 de forma controlada.

Con referencia a la Figura 19D, las partículas de aleación fundidas cargadas eléctricamente y atomizadas 1935 se enfrían a una temperatura no mayor de la temperatura solidus de la aleación de tal manera que las partículas de aleación fundidas 1935 se solidifican mientras se aceleran y se forman partículas de aleación sólidas 1945. Las partículas de aleación 1935/1945 se enfrían y se solidifican antes de entrar en contacto con el sustrato 1930. La Figura 19D muestra una zona de control térmico que establece un diferencial de temperatura mayor entre las partículas de aleación fundida 1935 y el ambiente circundante. Un diferencial de temperatura mayor puede correlacionarse con una mayor velocidad de pérdida de calor de las partículas de aleación fundidas 1935, que permite la solidificación más eficaz y/o eficiente en partículas de aleación sólidas 1945 antes de contactar con el

sustrato 1930.

Se entiende, sin embargo, que puede utilizarse un medio de enfriamiento diferente en una zona de control térmico en el sistema de formación de pulverizado sólido 1900. Por ejemplo, un ensamblaje de producción de plasma no equilibrado (no mostrado), como se describe en el presente documento, puede usarse para enfriar y solidificar las partículas de aleación fundidas 1935. En consecuencia, o además, la distancia (d) entre el aparato de atomización 1920 y el sustrato 1930 puede configurarse con tamaños de partículas atomizadas y aceleración de partículas controlada y para provocar la solidificación sin calentamiento o enfriamiento variables en una zona de control térmico.

Con referencia a la Figura 19E, las partículas de aleación sólidas 1945 impactan sobre el sustrato 1930, que comprende un colector que tiene una polaridad eléctrica positiva como se describe en el presente documento. Las partículas de aleación sólidas que impactan 1945 se deforman y se unen metalúrgicamente al sustrato 1930 y producen una pieza de trabajo en desarrollo 1955. Con referencia a la Figura 19F, las partículas de aleación sólidas 1945 continúan impactando sobre el sustrato 1930, que comprende la pieza de trabajo en desarrollo 1955, se deforman y se unen metalúrgicamente al sustrato 1930 y entre sí para formar una preforma de aleación sólida unitaria y monolítica.

Uno o más de los diversos componentes del sistema formador de pulverizado en sólido 1900 formado en las Figuras 19A-19F puede alojarse en un recipiente al vacío o múltiples recipientes al vacío conectados funcionalmente. En diversas realizaciones no limitantes, puede establecerse una gran diferencia de voltaje entre un sustrato positivamente sesgado y un aparato de atomización negativamente sesgado, que puede facilitar la aceleración de partículas de aleación fundida atomizadas y las partículas de aleación sólida enfriadas. La magnitud de la diferencia de voltaje puede correlacionarse con la aceleración resultante y la velocidad de impacto de las partículas de aleación.

En diversas realizaciones, la temperatura de las partículas de aleación sólidas al impacto y a la velocidad de impacto de las partículas de aleación sólidas son parámetros de funcionamiento importantes que afectan al desarrollo de la pieza de trabajo/preforma. El control de estos parámetros de funcionamiento puede lograrse controlando el tamaño de partícula atomizado, el voltaje de aceleración electrostática, la distancia de sustrato-aparato y/o el calentamiento o el enfriamiento variables en la zona de control térmico entre el aparato de atomización y el sustrato.

Además, los aspectos del funcionamiento de fundición de aleación inicial pueden presentar diversas desventajas a un proceso de formación de pulverizador sólido global. Un funcionamiento de fundición de aleación inicial implica preparar una carga de materiales adecuados y después fundir la carga. La carga fundida o "fundido" puede refinarse después y/o tratarse para modificar la química del fundido y/o retirar componentes indeseables del fundido. Los hornos de fundición pueden potenciarse por medios que incluyen electricidad y la combustión de combustibles fósiles y la selección de un aparato adecuado está altamente influida por los costes relativos y las regulaciones ambientales aplicables, así como por la identidad del material a prepararse. Las clases generales de técnicas de fundición incluyen, por ejemplo, fundición de inducción (incluyendo fundición de inducción al vacío), fundición de arco (incluyendo fundición de cráneo de arco de vacío), fundición de crisol y fusón por haz de electrones.

Los fundidos producidos en hornos de líneas cerámicas pueden volverse contaminados con óxidos. Se han desarrollado diversas técnicas de fundición que emplean un ambiente al vacío y no usan hornos de líneas cerámicas. Estas técnicas resultan significativamente en menos contaminación con óxido en el fundido con respecto a la formación del fundido en un horno de línea cerámica convencional. Los ejemplos de tales técnicas incluyen, por ejemplo, fusón por haz de electrones (EB), refundido de arco al vacío (VAR), refundido de doble electrodo al vacío (VADER) y refinado/refundido de electroescoria (ESR). Las técnicas VAR, VADER y ESR se describen, por ejemplo, en las Patentes de EE.UU. n.º 4.261.412; 5.325.906; y 5.348.566.

El fusón por haz de electrones implica utilizar pistolas de haces de electrones termo-iónicos para producir corrientes de electrones sustancialmente lineales de alta energía que se usan para calentar los materiales diana. Las pistolas de haces de electores termo-iónicos funcionan pasando corriente por un filamento, calentando de esta manera el filamento a alta temperatura e "hirviendo" electrones fuera del filamento. Los electrones producidos desde el filamento se centran y se aceleran hacia la diana en forma de un haz de electrones muy estrecho (casi bidimensional) sustancialmente lineal. Un tipo de pistola de haz de electrones de plasma iónico también se ha usado para preparar fundidos de aleaciones. Específicamente, una pistola de haz de electrones de "descarga de luminiscencia" descrita 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), pp. 259-267, se ha incorporado en ciertos hornos de fundición disponibles de Antares, Kiev, Ucrania. Tales dispositivos funcionan produciendo un plasma frío que incluye cationes que bombardean un cátodo y producen electrones que se centran para formar un haz de electrones lineal sustancialmente bidimensional.

Los haces de electrones sustancialmente lineales producidos por los anteriores tipos de pistolas de haces de electrones pueden dirigirse a una cámara de fundición evacuada de un horno de fundición de haces de electrones y se impactan sobre los materiales a fundirse y/o a mantenerse en un estado fundido. La conducción de los electrones

a través de los materiales eléctricamente conductores los calienta rápidamente a una temperatura en exceso de la temperatura de fundición particular. Dada la energía de los haces de electrones sustancialmente lineales, que pueden ser, por ejemplo, de aproximadamente  $100 \text{ kW/cm}^2$ , las pistolas de haces de electrones lineales son fuentes de calor de muy alta temperatura y son fácilmente capaces de exceder la temperatura de fusión y, en algunos casos, las temperaturas de vaporización de los materiales en los que se impactan los haces sustancialmente lineales. Usando la desviación magnética o medios direccionales similares, los haces de electrones sustancialmente lineales pueden realizar barrido por tramas a alta frecuencia a través de materiales diana dentro de una cámara de fundición, permitiendo que el haz se dirija a través de una amplia área y a través de dianas que tengan formas múltiples y complejas.

Puede usarse una técnica de fusión en crisol frío de haz de electrones en los procesos de formación de pulverizado sólido, los sistemas y los aparatos descritos en el presente documento. Puede fundirse por goteo una materia prima de suministro impactando un haz de electrones sustancialmente lineal en un extremo de una barra de materia prima de suministro. La materia prima de suministro fundida se funde en una región final de una chimenea de cobre enfriada con agua, formando un cráneo protector. Conforme el material fundido se recoge en la chimenea, sobrefluye y cae por gravedad hacia un ensamblaje de atomización. Durante el tiempo de permanencia del material de aleación fundido dentro de la chimenea, pueden barrerse por tramas rápidamente haces de electrones sustancialmente lineales a través de la superficie del material, reteniéndolo en una forma fundida. Esto también tiene los efectos de desgasificar y refinar el material de aleación fundida a través de la evaporación de componentes de presión de alto vapor. La chimenea también puede darse un tamaño para promover la separación de gravedad entre las inclusiones sólidas de alta densidad y de baja densidad, en cuyo caso el óxido y otras inclusiones de baja densidad se mantienen en el metal fundido durante un tiempo suficiente para permitir la disolución, mientras que las partículas de alta densidad se van al fondo y se quedan atrapadas en el cráneo.

Las técnicas de fundición que son adecuadas para su uso en los procesos, sistemas y aparatos formadores de pulverizado sólido descritos en el presente documento también incluyen técnicas de fusión en crisol frío de haz de electrones que incorporan emisores de electrones de plasma iónico de alambre de descarga. Estas técnicas se describen, por ejemplo, en la Patente de EE.UU. N.º 7.803.211 y en las Publicaciones de Patentes de EE.UU. N.º 2008/0237200 y 2010/0012629.

Como se usa en el presente documento, la frase “emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga” se refiere a un aparato que produce un campo de electrones relativamente amplio tridimensional impactando iones cargados positivamente sobre un cátodo y por lo tanto liberando electrones del cátodo. El haz de electrones producido por un emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga no es un haz bidimensional, sino que en su lugar es un campo tridimensional o “inundación” de electrones que, cuando impactan sobre la diana, cubren una región superficial bidimensional en la diana que es muy grande con respecto al pequeño punto cubierto impactando un haz de electrones sustancialmente lineal sobre la diana. Como tal, el campo de electrones producido por el emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga se denomina en el presente documento un campo de electrones de “área amplia”, con referencia al punto de contacto relativamente mucho menor producido por las pistolas de electrones convencionales usadas en los hornos de fundición de haces de electrones. Los emisores de electrones de plasma iónico de alambre de descarga se han usado para aplicaciones no relacionadas y se denominan diversamente, por ejemplo, pistolas o emisores de “electrones de plasma iónico de alambre (WIP)”, pistolas o emisores de “electrones WIP” y, de alguna forma confusamente, como “emisores de haces de electrones lineales” (refiriéndose a la naturaleza lineal del electrodo o electrodos de alambre que producen el plasma de naturaleza lineal en diversas realizaciones de los dispositivos).

Los emisores de electrones de plasma iónico de alambre de descarga están disponibles en diversos diseños, pero todos los emisores tales comparten ciertos atributos de diseño fundamentales. Cada emisor tal incluye una región de plasma o ionización que incluye una fuente de iones positivos en forma de un ánodo de alambre alargado para producir cationes que incluyen plasma, y un cátodo que está espaciado de y posicionado para interceptar iones positivos generados por el alambre. Se aplica un voltaje negativo grande al cátodo, provocando una fracción de los iones positivos en el plasma generado por la fuente de iones positivos de alambre para acelerarse hacia y chocar contra la superficie del cátodo de tal manera que se emiten 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 que tiene normalmente la forma tridimensional del plasma de iones positivos que impactan contra el cátodo. Los electrones secundarios se aceleran después desde la vecindad del cátodo de vuelta al ánodo, experimentando unas pocas colisiones en el proceso de pasar a través del gas a baja presión dentro del emisor.

Configurando apropiadamente los diversos componentes de un emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga, un amplio campo de electrones secundarios energéticos puede formarse en el cátodo y acelerar desde el emisor hacia una diana. La Figura 20 es una representación simplificada de componentes de un emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga, en el que se aplica una corriente a un ánodo de alambre fino 12 para generar plasma 14. Los iones positivos 16 con el plasma 14 aceleran hacia y colisionan contra el cátodo cargado negativamente 18, que libera una nube de electrones secundarios de amplia área 20, que se acelera en la dirección del ánodo 12 por acción del campo eléctrico entre los electrodos y hacia la diana.

- 5 En diversas realizaciones no limitantes, un sistema o aparato configurado para realizar un proceso de formación de pulverizado sólido puede comprender un ensamblaje de fusión para fundir una aleación que incluye una cámara de presión regulada (cámara de fundición) y una chimenea colocada en la cámara de fundición y configurada para mantener la aleación fundida. Al menos un emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga puede colocarse en o adyacente a la cámara de fundición y puede colocarse para dirigir un campo de electrones tridimensional de amplia área generado por el emisor hacia la cámara. El emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga produce un campo de electrones tridimensional que tiene suficiente energía para calentar la aleación eléctricamente conductora a su temperatura de fusión.
- 10 En diversas realizaciones no limitantes, se configura un ensamblaje de atomización para recibir al menos una de una corriente y una serie de gotitas de aleación fundida desde la chimenea. El ensamblaje de fundición puede usarse para fundir cualquier aleación que pueda fundirse usando un horno de fusión por haz de electrones convencional, tal como, por ejemplo, aleaciones basadas en aluminio, tántalo, titanio, tungsteno, niobio, circonio, níquel, hierro y cobalto. En diversas realizaciones no limitantes, un ensamblaje de fundición se configura para fundir una carga que comprende materiales que producen la química de superaleaciones a base de cobalto o aleaciones a base de níquel. En diversas realizaciones distintas no limitantes, el ensamblaje de fundición se configura para fundir un lingote de aleación preformado u otra estructura, que puede haberse producido y procesado previamente por uno más de VIM, VAR y ESR, por ejemplo.
- 15 20 Un ensamblaje de fundición puede incluir uno o más suministradores de material adaptados a introducir metales eléctricamente conductores u otros aditivos de aleación en una cámara de fundición. Los tipos de suministradores pueden incluir, por ejemplo, suministradores en barra y suministradores en cable, y el tipo de suministrador dependerá de los requerimientos de diseño particulares para un horno. Un suministrador de material y al menos un emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga de un ensamblaje de fundición pueden configurarse de tal manera que el campo de electrones emitido por el emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga impacte al menos parcialmente en el material introducido en la cámara por el suministrador. Si el material que se introduce en la cámara de fundición por el suministrador es eléctricamente conductor, entonces el campo de electrones puede calentar y fundir el material.
- 25 30 Una chimenea incorporada en un ensamblaje de fundición puede seleccionarse de los diversos tipos de chimeneas conocidas en la técnica. Por ejemplo, un ensamblaje de fundición puede ser de la naturaleza de un horno de fusión en crisol frío de haz de electrones incorporando una chimenea fría o, más específicamente, por ejemplo, una chimenea fría de cobre enfriada en agua en la cámara de fundición. Como sabrá un experto en la materia, una chimenea enfriada incluye medios de enfriamiento que provocan que el material fundido dentro de la chimenea se congele hacia la superficie de la chimenea y formen una capa protectora o cáscara. Como otro ejemplo no limitante, una chimenea puede comprender una chimenea "autógena", que es una chimenea que se chapa con o se fabrica a partir de la aleación que se está fundiendo en el horno, en cuyo caso la superficie inferior de la chimenea también puede enfriarse en agua para prevenir el quemado a través
- 35 40 La chimenea particular incluida en una cámara de fundición puede incluir una región de alojamiento de material fundido, en la que el material fundido reside durante un cierto tiempo de permanencia antes de pasar hacia un dispositivo de atomización aguas abajo en comunicación fluida con la cámara de fundición. Una chimenea y al menos un emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga pueden posicionarse en un ensamblaje de fundición de manera que el campo de electrones emitido por el emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga impacte en la región de alojamiento de material fundido. De esta manera, el campo de electrones puede aplicarse para mantener el material de aleación dentro de la región de alojamiento de material fundido en un estado fundido.
- 45 50 En diversas realizaciones, un ensamblaje de fundición incluye una cámara de fundición regulada por presión y una chimenea dispuesta en la cámara de fundición regulada por presión, en la que la chimenea incluye una región de alojamiento de material fundido. El ensamblaje de fundición puede incluir además uno o más emisores de electrones de plasma iónico de alambre de descarga dispuestos en o adyacentes a la cámara de fundición regulada por presión. La chimenea y el al menos un emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga se posicionan de tal manera que un campo de electrones producido por el emisor al menos parcialmente impacta contra la región de alojamiento de material fundido. Un ensamblaje de atomización en comunicación fluida con la cámara de fundición regulada por presión puede posicionarse para recibir material fundido de la chimenea. Al menos un suministrador puede incluirse en el horno y puede configurarse para introducir material en la cámara de fundición regulada por presión en una posición sobre al menos una región de la chimenea.
- 55 60 Cualquier dispositivo emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga puede usarse en sistemas y aparatos configurados para realizar un proceso de formación de pulverizado sólido. Las realizaciones adecuadas de emisores de electrones de plasma iónico de alambre de descarga se describen, por ejemplo, en las Patentes de EE.UU. n.º 4.025.818; 4.642.522; 4.694.222; 4.755.722; y 4.786.844. Los emisores adecuados incluyen aquellos capaces de producir un campo de electrones tridimensional de amplia área que puede dirigirse hacia una cámara de fundición de un horno y que calentará materiales de suministro eléctricamente conductores colocados en la cámara de fundición de un horno a la temperatura deseada. Los emisores adecuados también incluyen aquellos capaces de
- 65

producir un campo de electrones tridimensional de amplia área que puede dirigirse a una cámara de atomización y un material de aleación fundido atomizado como se analiza anteriormente.

5 En diversas realizaciones no limitantes de un emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga, el emisor incluye una región de plasma y una región de cátodo. La región de plasma incluye al menos un ánodo de alambre largo adaptado para producir un plasma que incluye iones positivos. La región del cátodo incluye un cátodo que se conecta eléctricamente con un suministro de potencia de alto voltaje adaptado para cargar negativamente el cátodo. En el emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga, el electrodo usado para producir el plasma puede ser un alambre o múltiples alambres posicionados a lo largo de una longitud de la región del plasma.  
10 Al menos una porción del cátodo impactado por los iones positivos está compuesto por un material adecuado para generar electrones. Diversas realizaciones no limitantes del cátodo dispuesto en la región del cátodo del emisor también pueden incluir un inserto, tal como, por ejemplo, un inserto de molibdeno, que tiene una temperatura de fusión alta y una función de bajo trabajo de tal manera que facilite la generación de electrones. El cátodo y el ánodo se posicionan entre sí de tal manera que los iones positivos en el plasma generados por el ánodo alambre aceleren hacia e impacten contra el cátodo bajo la influencia del campo eléctrico de electrones secundarios desde el cátodo.  
15

Diversas realizaciones no limitantes de un emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga incluyen al menos una ventana transmisora de electrones adecuada, tal como una lámina delgada de titanio o de aluminio transmisora de electrones, que se abra a través de una pared de una cámara de fundición y/o una cámara de atomización. Las ventanas adecuadas transmisoras de electrones pueden incluir, por ejemplo, ventanas que comprenden nitruro de boro o materiales de carbono (por ejemplo, diamante). Las ventanas transmisoras de electrones pueden comprender además materiales que incluyen elementos de número atómico bajo conocidos generalmente en la técnica que son transmisores de electrones. Diversas realizaciones no limitantes de un emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga no incluyen una ventana transmisora de electrones, en cuyo caso la región plasmática del emisor comunica fluidamente con una cámara de fundición y/o una cámara de atomización. En cualquier caso, un campo de electrones de amplia área entra en una cámara de fundición y/o una cámara de atomización y puede impactarse sobre el material dentro de la cámara o cámaras. En diversas realizaciones no limitantes, un emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga puede barrerse por tramas para aumentar el volumen del campo de electrones de amplia área producido por el emisor.  
20  
25  
30

Si una ventana transmisora de electrones separa el interior de un emisor de electrones de una cámara de fundición o una cámara de atomización, entonces el campo de electrones pasa a través de la ventana conforme se proyecta desde el emisor de electrones hacia la cámara. En diversas realizaciones no limitantes de un emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga, un suministro de potencia de alto voltaje eléctricamente acoplado al cátodo potencia al cátodo hasta un voltaje negativo mayor que 20.000 voltios. El voltaje negativo sirve y funciona para acelerar los iones positivos en el plasma hacia el cátodo y también repele el campo de electrones secundario desde el cátodo y hacia el ánodo.  
35

Una ventana transmisora de electrones puede ser necesaria si la presión dentro del emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga difiere significativamente de la presión dentro de una cámara de fundición y/o una cámara de atomización, en cuyo caso la ventana de lámina sirve para aislar las dos regiones adyacentes de presión diferente. Una ventaja de los emisores de electrones de plasma iónico de alambre de descarga con respecto a los emisores de electrones que no contienen gas, tales como las pistolas de haces de electrones termo-iónicos, es que los emisores de electrones de plasma iónico de alambre de descarga deben incluir gas dentro de la región de plasma para servir como la fuente de plasma. Aunque los emisores de electrones de plasma iónico de alambre de descarga puedan funcionar a presiones de gas muy bajas, tales dispositivos pueden funcionar a presiones de gas muy bajas, tales dispositivos pueden funcionar eficazmente a presiones de gas relativamente altas.  
40  
45

La Figura 21 ilustra esquemáticamente una realización no limitante de un ensamblaje de fusión por haz de electrones. El ensamblaje de fundición 2210 incluye una cámara de fundición 2214 al menos parcialmente definida por una pared de cámara 2215. Los emisores de electrones de plasma iónico de alambre de descarga 2216 se colocan fuera y adyacentes a la cámara 2214. Los emisores de electrones de plasma iónico de alambre de descarga 2216 proyectan campos de electrones de amplia área 2218 hacia el interior de la cámara 2214. Una barra de aleación 2220 se introduce hacia la cámara 2214 mediante un suministrador de barra 2219. La aleación fundida 2226 se produce impactando el campo de electrones de amplia área 2218 de al menos un emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga 2216 sobre la barra de aleación 2220. La aleación fundida 2226 fundida desde la barra de aleación 2220 cae en una chimenea de cobre enfriada en agua 2224 y reside en la cámara 2224 durante un tiempo de permanencia, donde se calienta, se desgasifica y se refina por uno o más de los campos de electrones 2218 producidos por los emisores 2216. La aleación fundida 2226 cae en última instancia desde la chimenea 2224 hacia el ensamblaje de atomización 2231 donde la aleación fundida se atomiza en partículas de aleación 2232, que están influidas por un ensamblaje de generación de campo 2230, se solidifican e impactan sobre un colector 2233.  
50  
55  
60

Como se analiza anteriormente, los emisores de electrones de plasma iónico de alambre de descarga 2216 del ensamblaje de fundición 2210 se configuran para generar un campo o "inundación" de electrones energéticos que cubren una amplia área con respecto al cubrimiento de manchas de un haz sustancialmente lineal producido por una  
65

pistola de haz de electrones termo-iónicos. Los emisores del campo de electrones 2216 dispersa los electrones en una amplia área e impactan sobre los materiales a fundirse y/o mantenerse en estado fundido dentro del ensamblaje de fundición 2210. Igualmente, los emisores de electrones de plasma iónico de alambre de descarga (no mostrados) pueden establecer un campo de electrones de amplia área en el ensamblaje de atomización 2231 que impacta sobre la aleación fundida recibida desde el ensamblaje de fundición 2210 y atomiza la aleación fundida.

Como se indica anteriormente, diversas realizaciones de emisores de electrones de plasma iónico de alambre de descarga incluyen generalmente uno o más ánodos de alambre alargado que producen plasma iónico positivo, en el que el plasma se impacta sobre un cátodo para generar un campo de electrones secundarios que pueden acelerarse para impactar en una diana a calentarse. Una representación esquemática de un diseño de un emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga se muestra en la Figura 22. El emisor 2310 incluye una región de ionización o de plasma 2314 en la que se produce un plasma iónico positivo, y una región de cátodo 2316 que incluye un cátodo 2318. La región de plasma 2314 se llena con un gas ionizable a baja presión y el gas se ioniza en la región de plasma para producir plasma que contiene cationes. Por ejemplo, la región de ionización 2314 puede cargarse con gas helio a, por ejemplo, aproximadamente 2,66 Pa (20 mTorr).

Un ánodo de alambre alargado de pequeño diámetro 2319 pasa a través de una longitud de la cámara de plasma 2314. Se aplica un voltaje positivo a un ánodo de alambre 2319 mediante el suministro de potencia 2322 y esto inicia la ionización del gas helio en el plasma que comprende cationes helio y electrones libres (los electrones "primarios"). Una vez que la ionización del gas helio se ha iniciado, el plasma se sostiene aplicando un voltaje al ánodo de alambre delgado 2319. Los iones helio cargados positivamente dentro del plasma se extraen de la cámara de ionización 2314 a través de una rejilla de extracción 2326 mantenidos a un potencial eléctrico negativo alto y acelerados a través de un hueco de alto voltaje hacia la región de cátodo 2316, donde los cationes en el plasma impactan al cátodo de alto voltaje negativo 2318.

El cátodo 2318 puede ser, por ejemplo, un metal o una aleación recubiertos o no recubiertos. El impacto de los iones helio sobre el cátodo 2318 libera electrones secundarios del cátodo 2318. El hueco de alto voltaje 2328 acelera los electrones secundarios hacia la dirección opuesta a la dirección del movimiento de los cationes helio, a través de la rejilla de extracción 2326 y hacia la cámara de región de plasma 2314 y después a través de una ventana de lámina metálica delgada 2329 hecha de material relativamente transparente a electrones. Como se indica anteriormente, dependiendo de las presiones de gas relativas dentro del emisor de electrones y la cámara de fundición y/o la cámara de atomización, puede ser posible omitir la ventana de lámina 2329, en cuyo caso los electrones producidos por el emisor entrarían directamente a la cámara. El campo de electrones energéticos tridimensional de amplia área que sale del emisor 2310 puede dirigirse a impactar sobre una ventana de lámina posicionada opuesta diana 2329 y dentro de una cámara de fundición o una cámara de atomización.

Uno o más emisores de electrones de plasma iónico de alambre de descarga, tales como por ejemplo, el emisor 2310, pueden proporcionarse para suministrar el campo de electrones hacia una cámara de fundición de un horno de fusión por haz de electrones y/o en una cámara de atomización de un ensamblaje de atomización de haz de electrones. Como se muestra en la Figura 6, una realización no limitante de un aparato de fusión por haz de electrones incluye uno o más emisores de electrones de plasma iónico de alambre de descarga 2310 posicionados adyacentes a una cámara de fundición 2330. Un campo de electrones de área amplia 2332 existe el emisor 2310 a través de una ventana de película 2329 e inunda al menos una región de la superficie de una aleación fundida 2334 en una chimenea 2336, calentando de esta manera la aleación para mantenerla en un estado fundido.

La ventana de película 2329 puede omitirse si la presión diferencial de funcionamiento entre el emisor 2310 y la cámara de fundición 2330 no es significativa. La cámara de fundición 2330 puede hacerse funcionar a una presión mayor que lo convencional para reducir adicionalmente o eliminar indeseablemente la vaporización de elementos y en tal caso la necesidad de una ventana de película que particione el emisor de electrones desde la cámara de fundición que dependerá, de nuevo, de la presión diferencial particular usada en la configuración. Opcionalmente, los componentes 2340 para controlar electrostática y/o electromagnéticamente el campo de electrones de amplia área se proporcionan para permitir un control adicional mejorado del proceso de fundición dentro de la cámara de fundición 2330.

Aunque la Figura 6 proporciona una vista simplificada de una realización de un horno de fundición de electrones de plasma iónico de alambre de descarga que incluye un emisor de electrones único, pueden emplearse múltiples emisores de electrones de plasma iónico de alambre de descarga en diversas realizaciones no limitantes. Uno o más emisores de electrones de plasma iónico de alambre de descarga pueden incorporarse en un aparato tal para: (1) fundir los materiales sin tratar introducidos en la cámara de fundición, en forma de, por ejemplo, un lingote, una losa, una barra, un alambre u otra carga; y (2) mantener la aleación fundida residente en la chimenea del horno a una temperatura por encima de la temperatura de fundición de la aleación (y posiblemente desgasificar y/o refinar la aleación fundida). Además, en diversas realizaciones no limitantes, uno o más emisores de electrones de plasma iónico de alambre de descarga pueden usarse junto con una o más pistolas de haces de electrones produciendo haces de electrones lineales sustancialmente bidimensionales.

Las Figuras 24 y 25 proporcionan detalles adicionales de una realización no limitante de un emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga que puede configurarse para su uso como la fuente de electrones energéticos en una realización de un aparato de fusión por haz de electrones de acuerdo con la presente divulgación. La Figura 24 es una vista en perspectiva, parcialmente en sección, de una realización de un emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga. La Figura 25 es un diagrama esquemático que ilustra el funcionamiento del emisor 2510 en la Figura 24. El emisor 2510 incluye un recinto con conexión a tierra 2513, que incluye una región de cátodo 2511, una región de ionización o plasma 2514 y una ventana de lámina transmisora de electrones 2515. Un electrodo de alambre largo 2516 se extiende a través de una longitud de la región de ionización 2514. La ventana de lámina 2515 está acoplada eléctricamente a la cámara 2513 y forma un ánodo que funciona acelerando los electrones dentro de la cámara 2513, que sale de la cámara 2513 en dirección general de las flechas "A". La cámara 2513 se llena con gas helio a baja presión, tal como  $1^{-10}$  mTorr y se suministra con el gas mediante un suministro 2517. El suministro de gas 2517 se conecta al recinto 2513 mediante un conducto 2519 que pasa a través de una válvula 2521. La regulación de presión en la cámara 2513 se controla mediante una bomba 2523 que está conectada a la cámara 2513 mediante el conducto 2519.

La región del cátodo 2511 incluye un cátodo 2518 que a su vez incluye un inserto 2520 montado sobre una superficie menor del mismo. El inserto 2520 puede comprender, por ejemplo, molibdeno, pero puede comprender cualquier material con un coeficiente de emisión de electrones secundario alto adecuado. El cátodo 2518 se espacia uniformemente de forma adecuada de las paredes del recinto 2513 para prevenir la ruptura de Paschen. El cátodo 2518 se acopla a un suministro de potencia de alto voltaje 2522 mediante un cable 2525 que pasa a través del aislador 2526 y hacia el resistor 2528. El suministro de potencia 2522 suministra alto potencial negativo, por ejemplo, 200-300 kV al cátodo 2518. El cátodo 2518 y el inserto 2520 pueden enfriarse adecuadamente, de tal manera que, por ejemplo se circule un fluido de enfriamiento a través de los conductos 2524.

La región de ionización 2514 incluye una pluralidad de costillas metálicas 2530 que se acoplan tanto eléctrica como mecánicamente. Cada costilla 2530 incluye una región central de corte para permitir que un electrodo de alambre 2516 pase a través de la cámara de ionización 2514. Los lados de las costillas 2530 de cara al cátodo 2518 forman una rejilla de extracción 2534. El lado opuesto para todo o una porción de las costillas 2530 proporciona una rejilla soportada 2536 para una ventana de lámina transmisora de electrones 2515. Los canales de enfriamiento 2540 pueden proporcionarse para circular un fluido de enfriamiento a través de y en la vecindad de las costillas 2530 para permitir la retirada de calor de la región 2514.

La ventana de lámina transmisora de electrones 2515, que puede comprender, por ejemplo, lámina de aluminio o titanio, se soporta en la rejilla 2534 y se sella al recinto 2513 mediante un toro u otra estructura suficiente para mantener el ambiente de gas helio de alto vacío dentro del recinto 2513. Un dispositivo de control eléctrico 2548 se conecta al electrodo de alambre 2516 a través de un conector 2549. En la activación del dispositivo de control 2548, el electrodo de alambre 2516 se energiza a un potencial positivo alto y el helio dentro de la región de ionización 2514 se ioniza para producir cationes helio que incluyen plasma. Una vez que el plasma ha iniciado en la región de ionización 2514, el cátodo 2518 se energiza mediante el suministro de potencia 2522. Los cationes helio en la región de ionización 2514 se atraen eléctricamente al cátodo 2518 mediante el campo eléctrico que se extiende desde el cátodo 2518 hacia la región del plasma 2514. Los cationes helio viajan a través de las líneas de suministro, a través de la rejilla de extracción 2534 y hacia la región del cátodo 2511.

En la región del cátodo 2511, los cationes helio aceleran a través del potencial completo del campo eléctrico generado mediante el cátodo energizado 2518 y a la fuerza impactan sobre el cátodo 2518 como un haz colmatado de cationes. Los electrones secundarios libres de cationes impactan desde el inserto 2520. El campo de electrones secundario producido por el inserto 2520 se acelera en una dirección opuesta a la dirección de viaje de los cationes helio, hacia el electrodo de alambre 2516 y a través de la ventana de lámina 2515.

Se han proporcionado medios para monitorizar la presión de gas dentro de la cámara 2513 ya que los cambios de presión pueden afectar a la densidad del plasma de iones helio y, a su vez, la densidad del campo de electrones secundario generado en el cátodo 2518. Una presión inicial puede ajustarse dentro del enclave 2513 apropiadamente ajustando la válvula 2521. Una vez que el plasma que contiene cationes se inicia en la región de plasma 2514, un monitor de voltaje 2550 puede proporcionarse para monitorizar directamente la presión quiescente instantánea dentro de la cámara 2513. Una elevación en el voltaje es indicativa de una menor presión de cámara. La señal de salida del monitor de voltaje 2550 se usa para controlar la válvula 2521 a través de un controlador de válvula 2552. La corriente suministrada al electrodo de alambre 2516 por el dispositivo de control 2548 también se controla mediante la señal del monitor de voltaje 2550. Utilizar la señal generada por el monitor de voltaje 2550 para controlar la válvula de suministro de gas 2521 y para controlar el dispositivo 2548 permite una salida de campo de electrones estable desde el emisor 2510.

La corriente generada por el emisor 2510 puede determinarse por la densidad de los cationes que impactan en el cátodo 2518. La densidad de cationes que impactan en el cátodo 2518 puede controlarse ajustando el voltaje en el electrodo de alambre 2516 a través del dispositivo de control 2548. La energía de los electrones emitidos desde el cátodo 2518 puede controlarse ajustando el voltaje en el cátodo 2518 a través del suministro de potencia 2522. Tanto la corriente como la energía de los electrones emitidos pueden controlarse independientemente y las

relaciones entre estos parámetros y los voltajes aplicados son lineales, haciendo el control del emisor 2510 tanto eficiente como eficaz.

- 5 La figura 26 es una ilustración esquemática de un ensamblaje de fusón por haz de electrones que incorpora dos emisores de electrones de plasma de iones de descarga de alambre 2614 y 2616 que tienen un diseño como se muestra en las Figuras 24 y 25. El ensamblaje de fundición 2610 incluye una cámara de fundición 2620, un suministrador de material 2622 y está unido funcionalmente a un ensamblaje de atomización 2624. La corriente requerida para el funcionamiento de los emisores 2614 y 2616 se suministra a los emisores mediante líneas de suministro 2626 y la interfaz entre los emisores 2614 y 2616 y la cámara de fundición 2620 incluye ventanas de lámina de transmisión de electrones 2634 y 2634, que permiten que los campos de electrones 2638 producidos por los emisores 2614 y 2616 entren en la cámara de fundición 2620. Los dispositivos de control electromagnético 2639 para dirigir magnéticamente los campos de electrones 2638 pueden incluirse dentro de la cámara 2620 para proporcionar control de proceso adicional.
- 10
- 15 Una chimenea 2640, que puede ser, por ejemplo, una chimenea fría, se posiciona en la cámara de fundición 2620. En el funcionamiento, los emisores de electrones de plasma de iones de descarga de alambre 2614 y 2616 se energizan y producen los campos electrónicos 2618. Un material de suministro de aleación 2644 se introduce en la cámara de fundición 2620 mediante el suministrador 2622, se funde por el campo de electrones 2638 emitido desde el emisor 2614 y cae hacia la chimenea 2640. El campo de electrones de amplia área 2638 emitido por el emisor 2616 calienta, desgasifica y refina el material de aleación fundida 2642 mientras reside en la chimenea 2640. El material de aleación fundida 2642 avanza a lo largo de la chimenea 2624 y se forma en pulverizado en sólido en una preforma sólida. El ensamblaje atomizador 2624 puede comprender uno o más emisores de haces de electrones termo-iónicos o uno o más emisores de electrones de plasma de iones de descarga de alambre.
- 20
- 25 La presente solicitud se ha escrito con referencia a diversas realizaciones no limitantes y no exhaustivas. Sin embargo, se reconocerá por personas expertas en la materia que pueden realizarse diversas sustituciones, modificaciones o combinaciones de cualquiera de las realizaciones descritas (o porciones de las mismas) dentro del alcance de esta memoria descriptiva. De esta manera, se contempla y se entiende que esta solicitud soporta realizaciones adicionales no expresamente expuestas en el presente documento. Tales realizaciones pueden obtenerse, por ejemplo, combinando, modificando o reorganizando cualquiera de las etapas desveladas, componentes, elementos, rasgos, aspectos, características, limitaciones y similares, de las diversas realizaciones no limitantes descritas en la presente memoria descriptiva. De esta manera, el solicitante se reserva el derecho a las reivindicaciones adjuntas durante el procesamiento para añadir rasgos como se han descrito diversamente en la presente memoria descriptiva.
- 30
- 35

**REIVINDICACIONES**

1. Un proceso que comprende:

- 5 producir al menos una corriente de aleación fundida y una serie de gotitas de aleación fundida;  
 producir partículas eléctricamente cargadas de la aleación fundida impactando electrones en al menos una de la  
 corriente de aleación fundida y la serie de gotitas de aleación fundida para atomizar (1810) la aleación fundida;  
 10 acelerar (1815) las partículas de aleación fundida eléctricamente cargadas con al menos uno de un campo  
 electrostático y un campo electromagnético;  
 enfriar (1820) las partículas de aleación fundidas a una temperatura que no es mayor que una temperatura  
*solidus* de la aleación de tal manera que las partículas de aleación fundida solidifican al acelerar y se forman  
 partículas de aleación sólidas;  
 15 impactar (1825) las partículas de aleación sólidas sobre un sustrato, en el que las partículas que impactan se  
 deforman y se unen metalúrgicamente al sustrato para producir una preforma de aleación sólida.
2. El proceso de la reivindicación 1, en el que las partículas de aleación fundida se enfrían a una temperatura que no  
 es mayor que la temperatura *solidus* de la aleación y que es mayor de 0,50 veces la temperatura *solidus* de la  
 aleación.
- 20 3. El proceso de la reivindicación 1, en el que las partículas de aleación fundida se enfrían a una temperatura que no  
 es mayor de 0,95 veces la temperatura *solidus* de la aleación y que es mayor de 0,50 veces la temperatura *solidus*  
 de la aleación.
- 25 4. El proceso de la reivindicación 1, en el que enfriar las partículas de aleación fundida comprende poner en contacto  
 las partículas de aleación fundida con un plasma no equilibrado.
5. El proceso de la reivindicación 1, en el que enfriar las partículas de aleación fundida comprende dirigir las  
 partículas de aleación a través de una bobina de enfriamiento (1950).
- 30 6. El proceso de la reivindicación 1, en el que producir al menos uno de una corriente de aleación fundida y una serie  
 de gotitas de una aleación fundida comprende fundir un material de aleación usando al menos uno de fusión por  
 inducción al vacío, refundido de arco al vacío, refundido de doble electrodo al vacío, refinado/refundido de  
 electroescoria, fusón por haz de electrones y fusión en crisol frío de haz de electrones.
- 35 7. El proceso de la reivindicación 1, en el que el sustrato se mantiene a un potencial positivo para atraer las  
 partículas de aleación cargadas eléctricamente producidas impactando electrones sobre la aleación fundida.
8. El proceso de la reivindicación 1, en el que el impacto de electrones comprende un campo de electrones  
 tridimensional.
- 40 9. El proceso de la reivindicación 8, en el que el campo de electrones tridimensional comprende una distribución  
 espacial cilíndrica a través de la que se dirige un paso de flujo de la aleación fundida.
10. El proceso de la reivindicación 9, en el que un eje longitudinal de la distribución espacial cilíndrica de los  
 45 electrones se orienta en la dirección del paso de flujo de la aleación fundida.
11. El proceso de la reivindicación 8, en el que el campo de electrones tridimensional comprende una distribución  
 espacial rectangular a través de la que se dirige un paso de flujo de la aleación fundida.
- 50 12. El proceso de la reivindicación 11, en el que en un haz de electrones que comprende una sección transversal  
 rectangular se realiza un barrido por tramas para proporcionar una distribución espacial rectangular de los  
 electrones.
13. El proceso de la reivindicación 8, en el que los electrones se dirigen para formar una mancha difusa y en la  
 55 mancha difusa se realiza un barrido por tramas para proporcionar una distribución espacial tridimensional de los  
 electrones que tiene una forma controlada.
14. El proceso de la reivindicación 1, en el que los electrones que impactan los produce al menos uno de un emisor  
 de haz de electrones termo-iónico y un emisor de electrones de plasma iónico de alambre de descarga.
- 60 15. El proceso de la reivindicación 1, en el que los electrones que impactan se dirigen con al menos uno de un  
 campo electrostático y un campo electromagnético para producir un campo de electrones tridimensional en un paso  
 de flujo de la aleación fundida.
- 65 16. El proceso de la reivindicación 1, en el que el sustrato comprende una aleación que es la misma aleación que la  
 que forma las partículas de aleación.

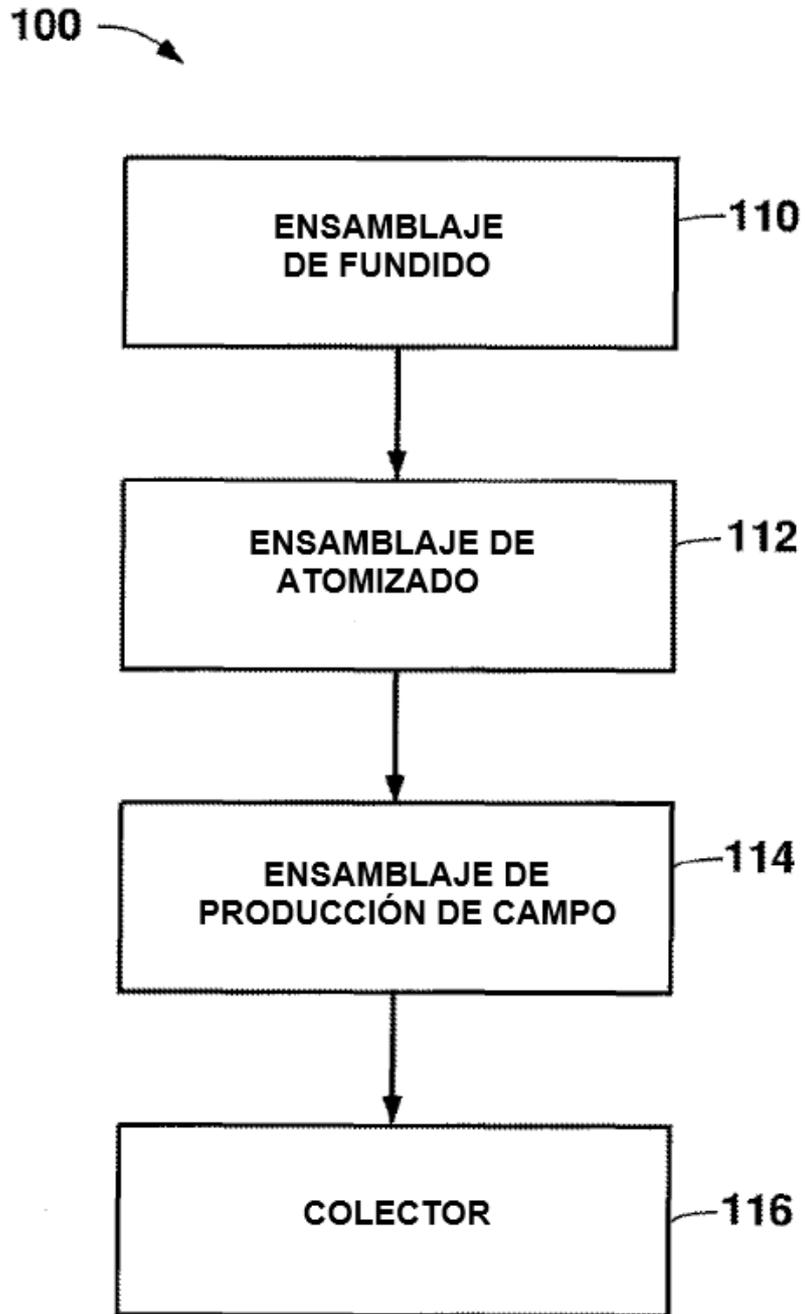
17. El proceso de la reivindicación 1, en el que la aleación es una superaleación a base de níquel.

5 18. El proceso de la reivindicación 1, en el que se induce una carga negativa en la aleación fundida antes de impactar electrones en la aleación fundida.

19. El proceso de la reivindicación 1, que comprende:

10 producir un campo de electrones tridimensional;  
impactar electrones desde el campo de electrones tridimensional en al menos una de la corriente de aleación fundida y la serie de gotitas de aleación fundida para atomizar la aleación fundida y para producir partículas cargadas eléctricamente de la aleación fundida;

15 y  
acelerar las partículas de aleación fundida eléctricamente cargadas con un campo electrostático.



**FIG. 1**

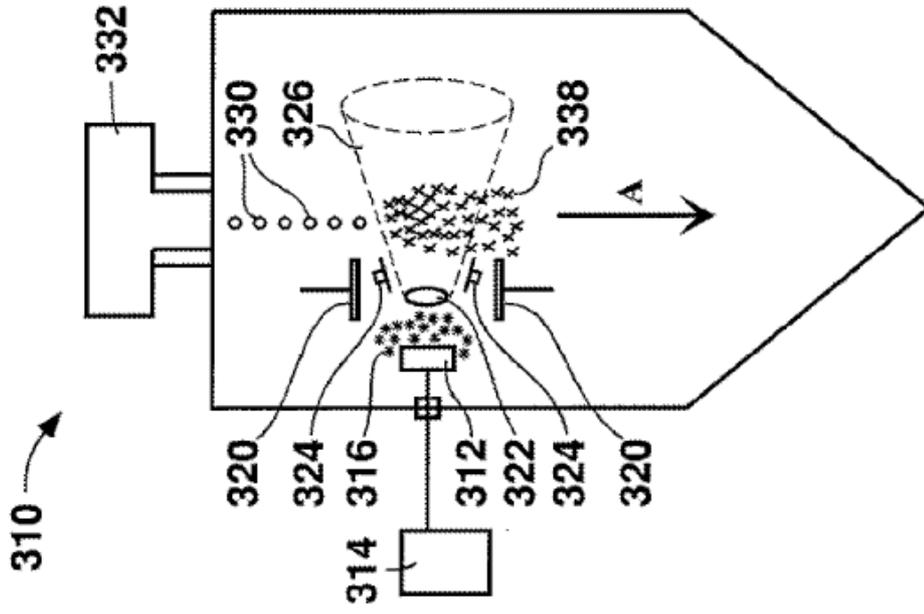


FIG. 3

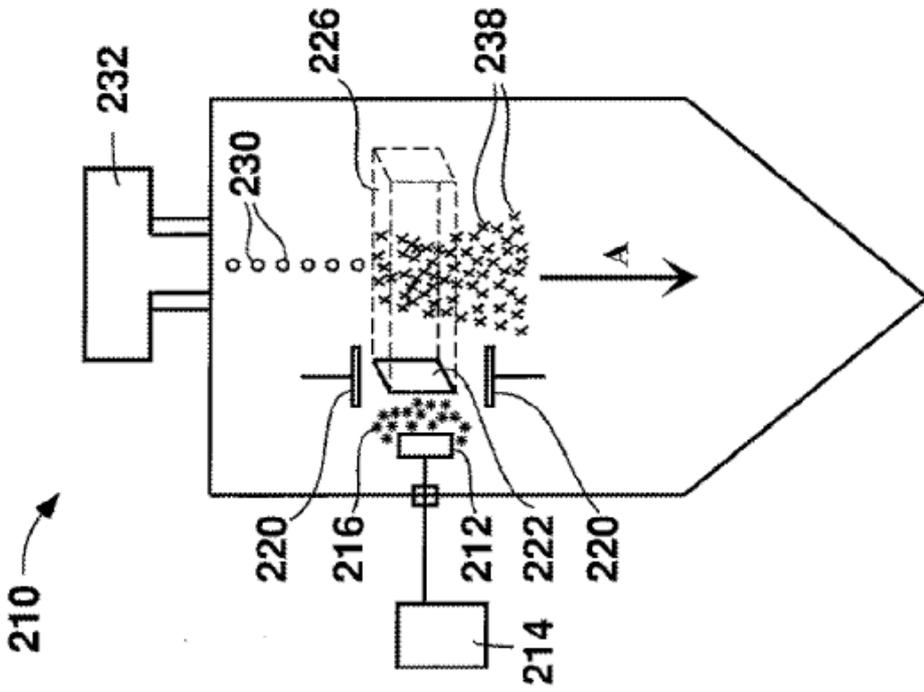


FIG. 2

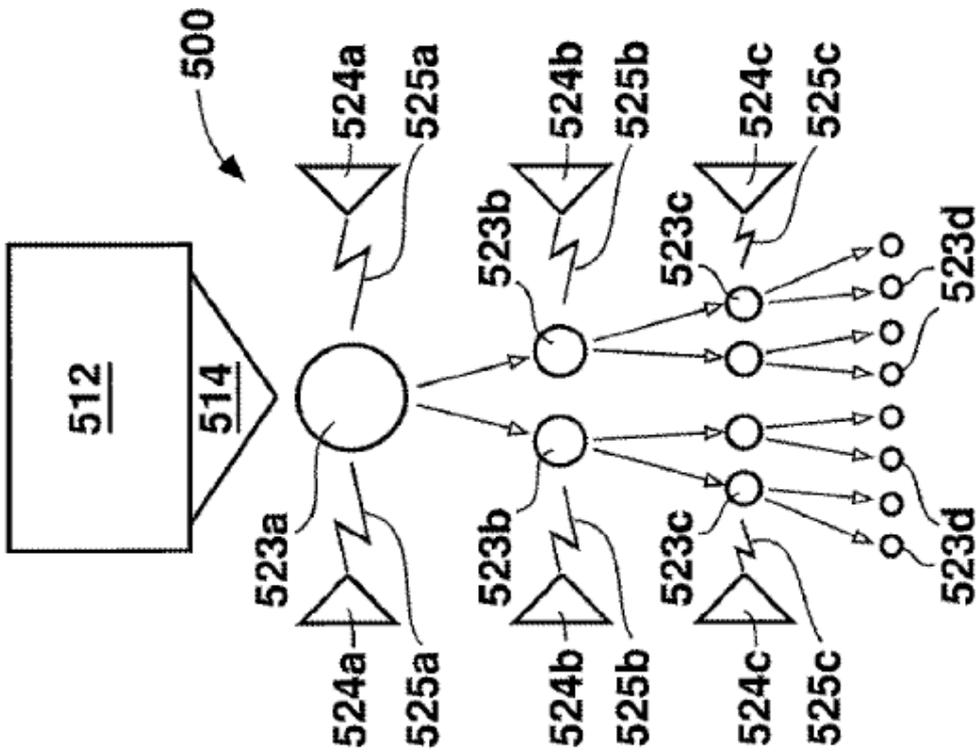


FIG. 5

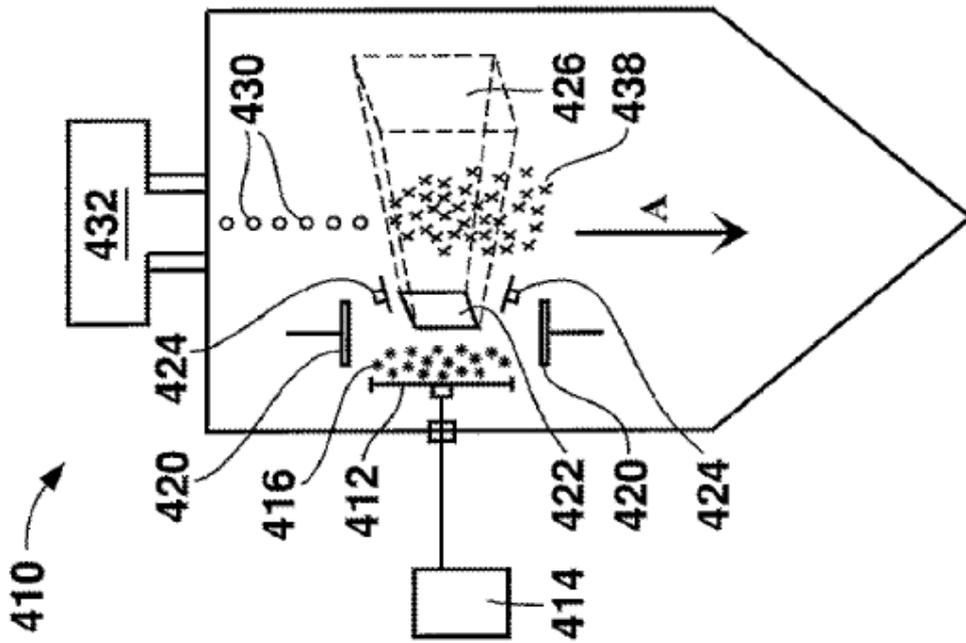
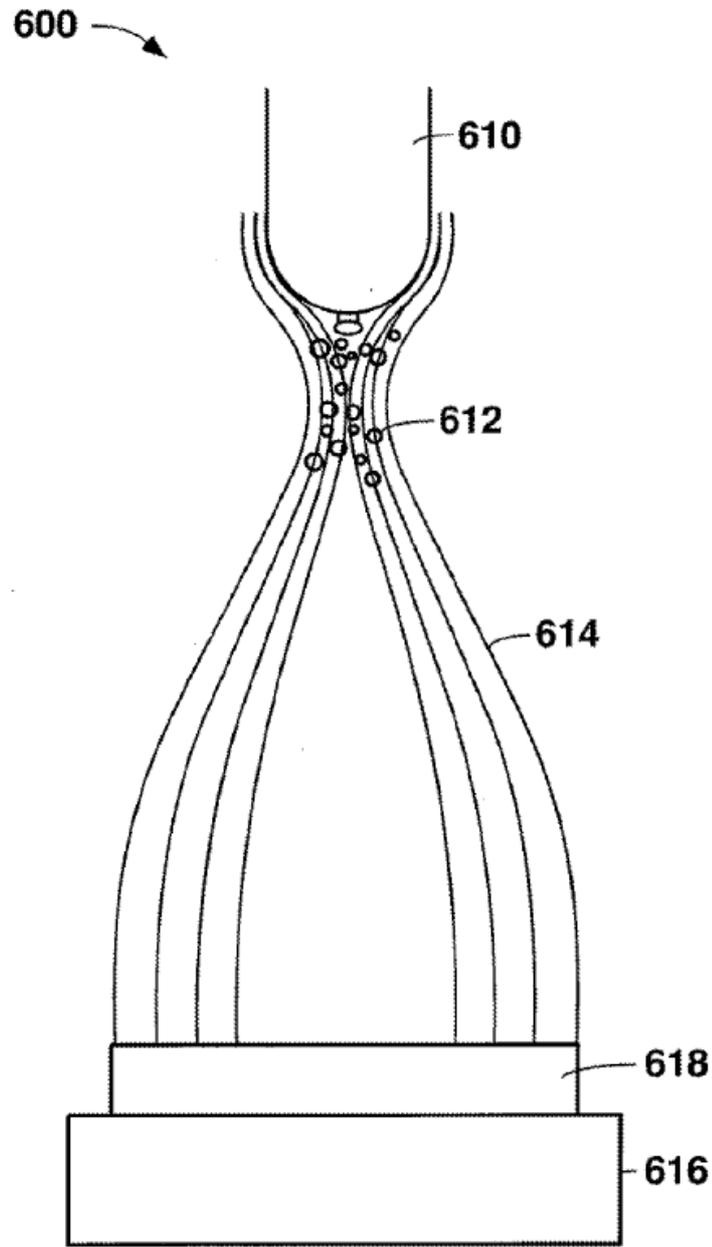


FIG. 4



**FIG. 6**

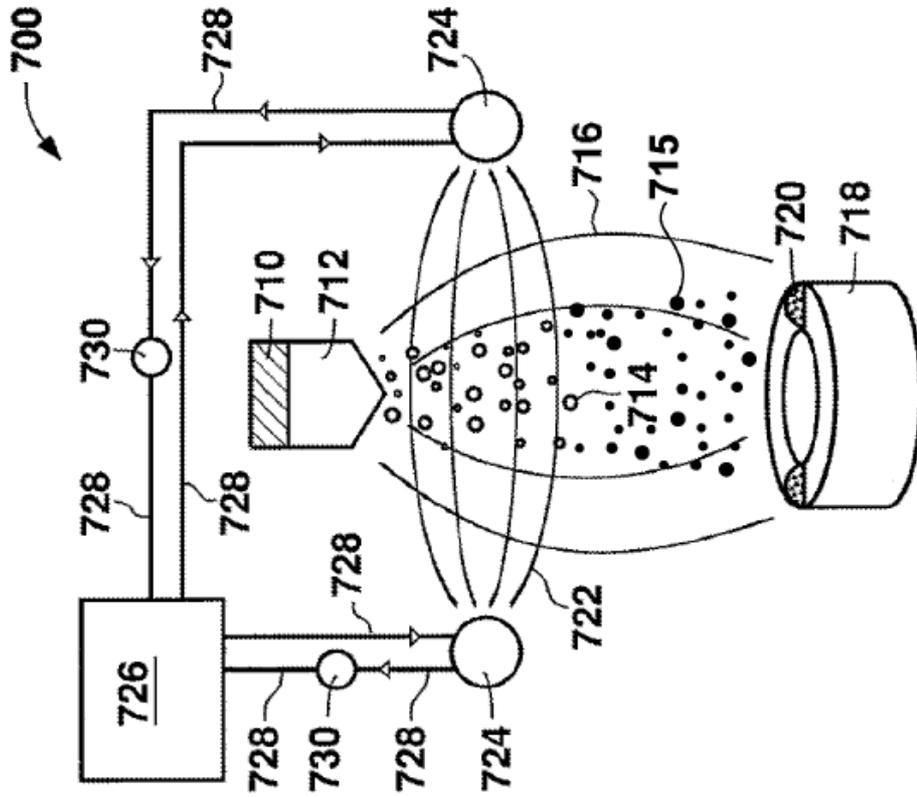


FIG. 7A

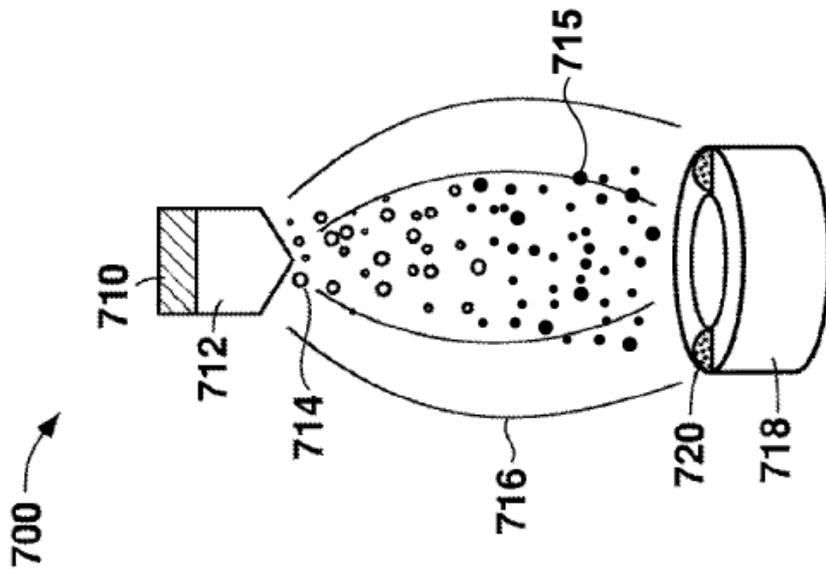


FIG. 7

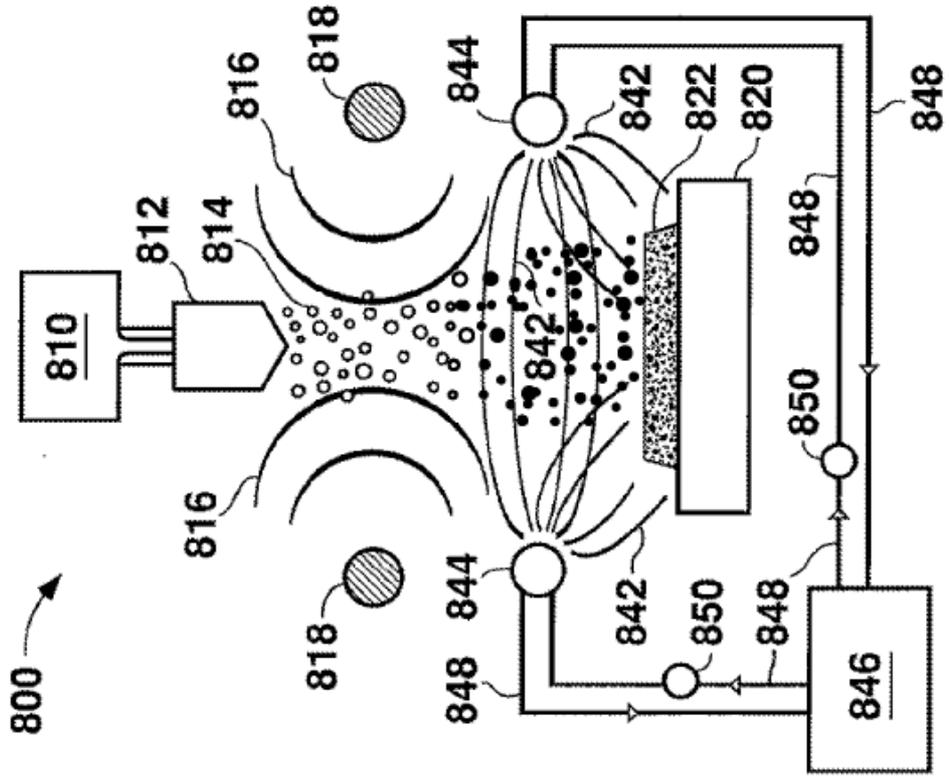


FIG. 8A

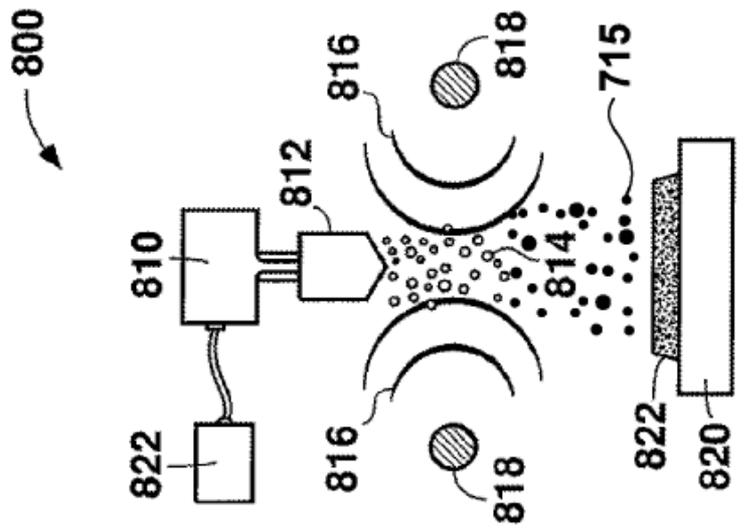


FIG. 8

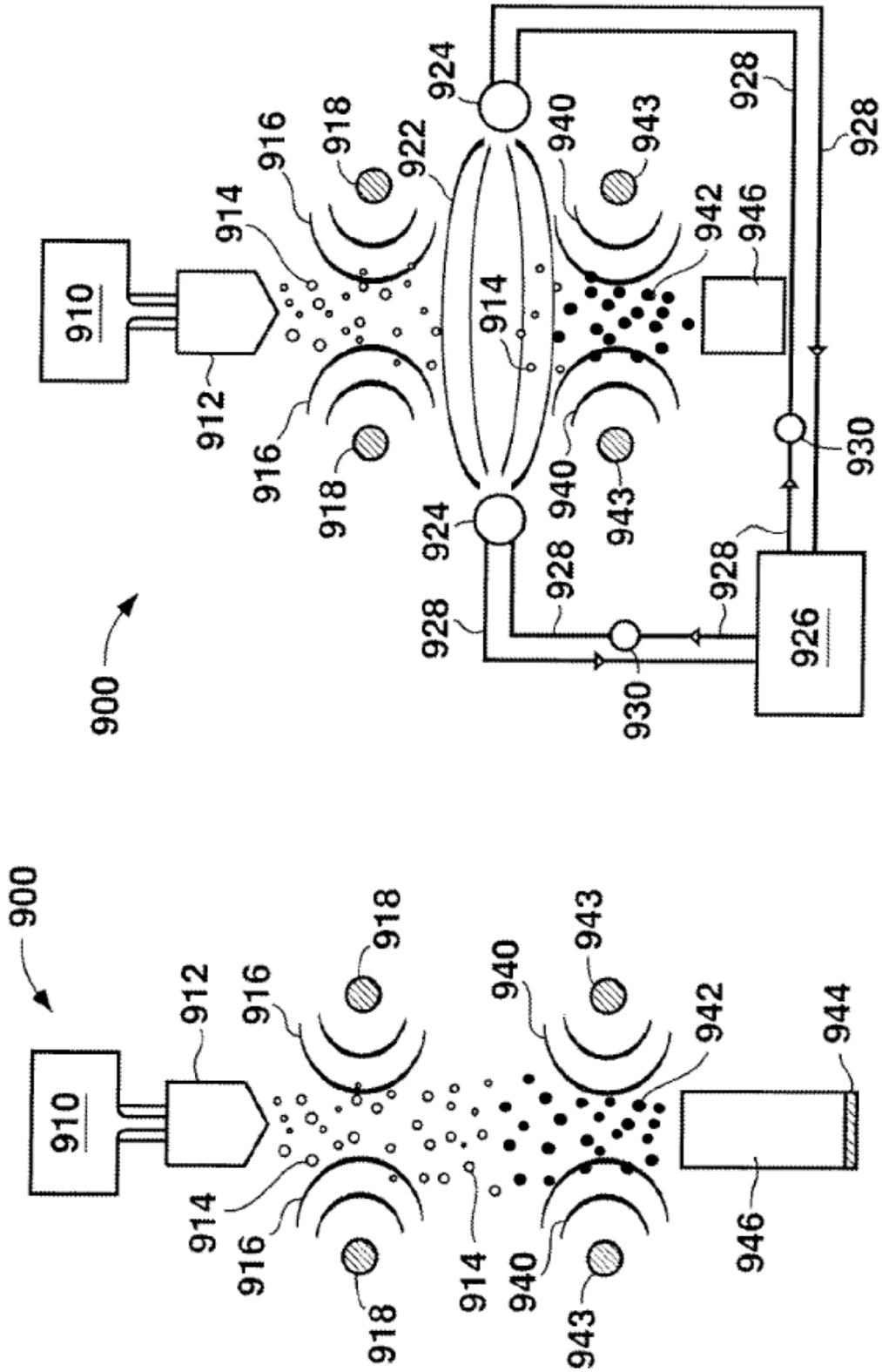


FIG. 9A

FIG. 9

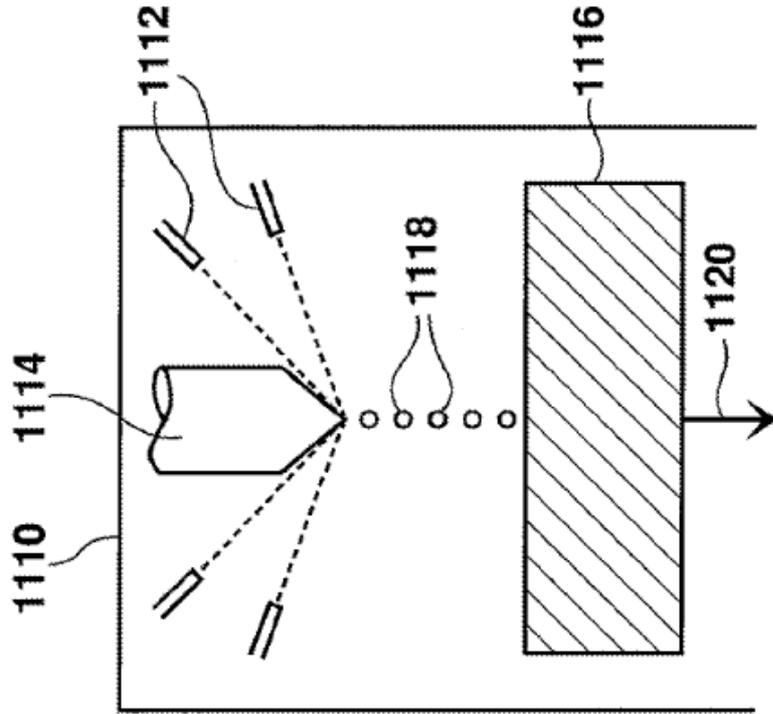


FIG. 10

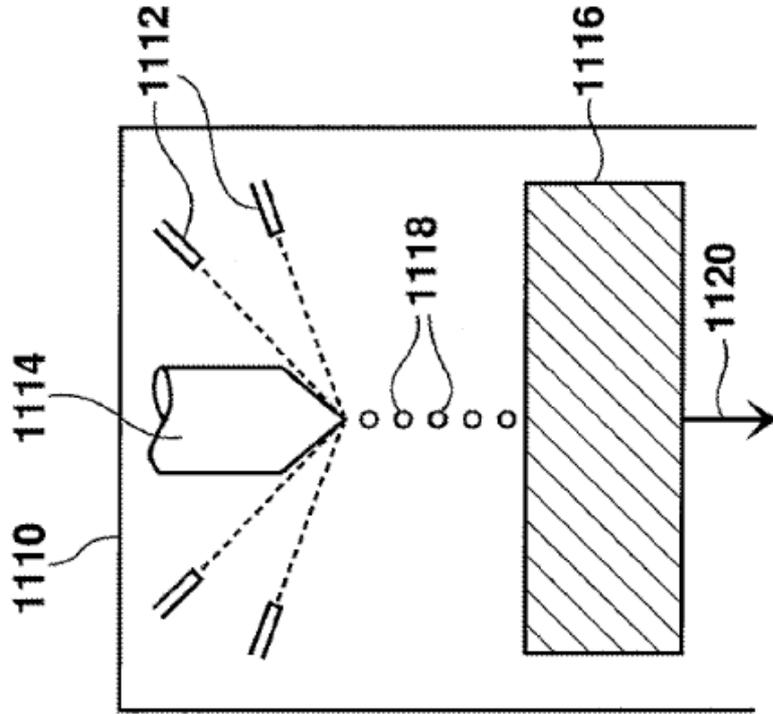


FIG. 11

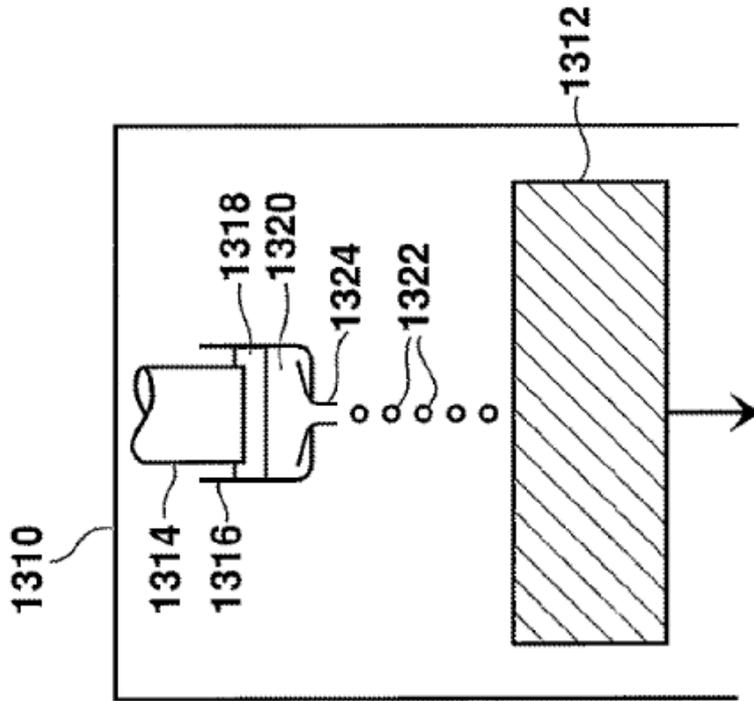


FIG. 12

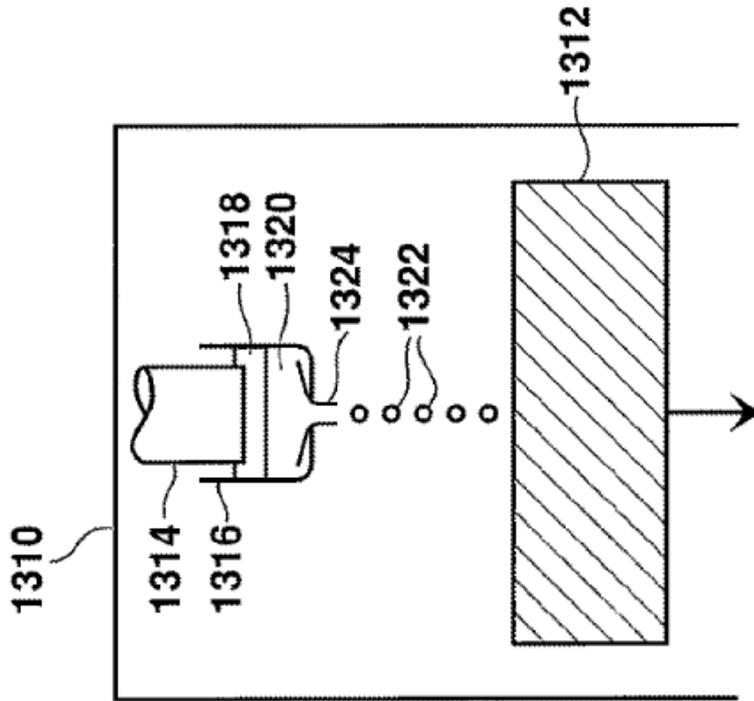


FIG. 13

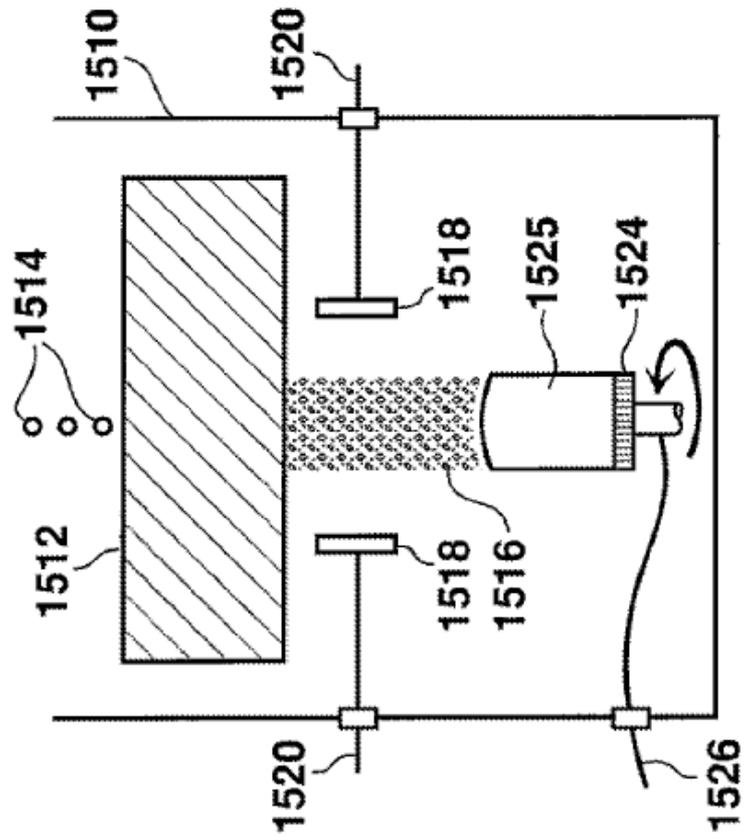


FIG. 15

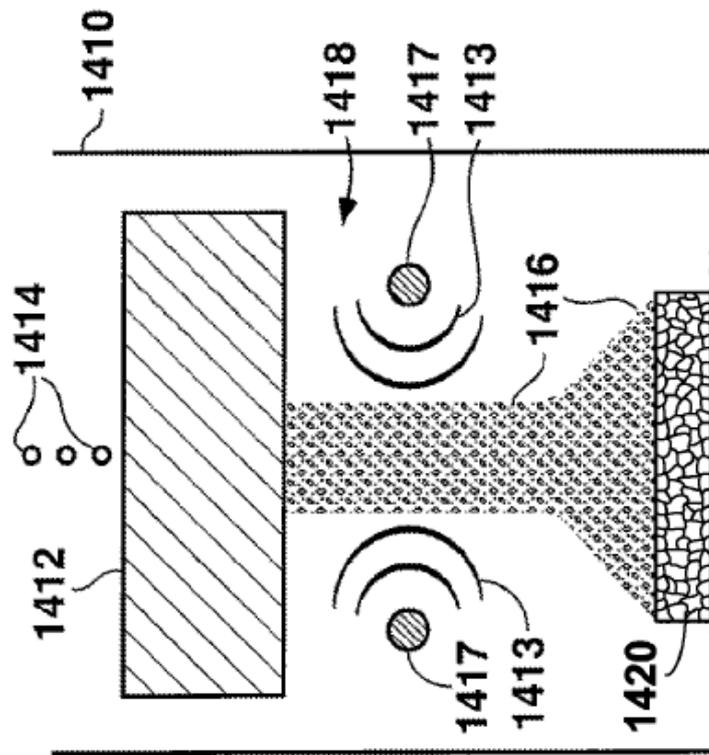
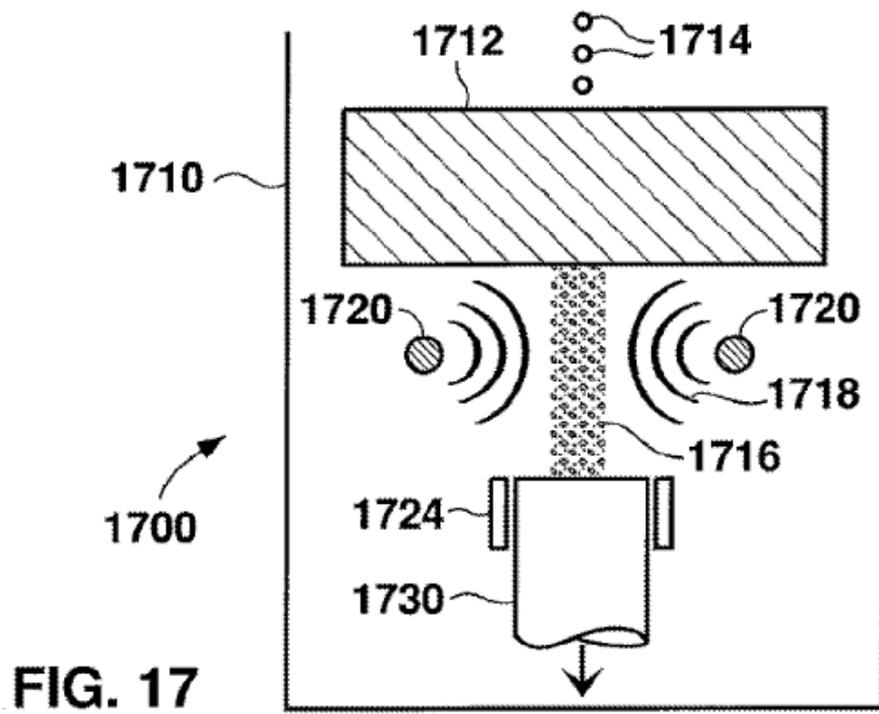
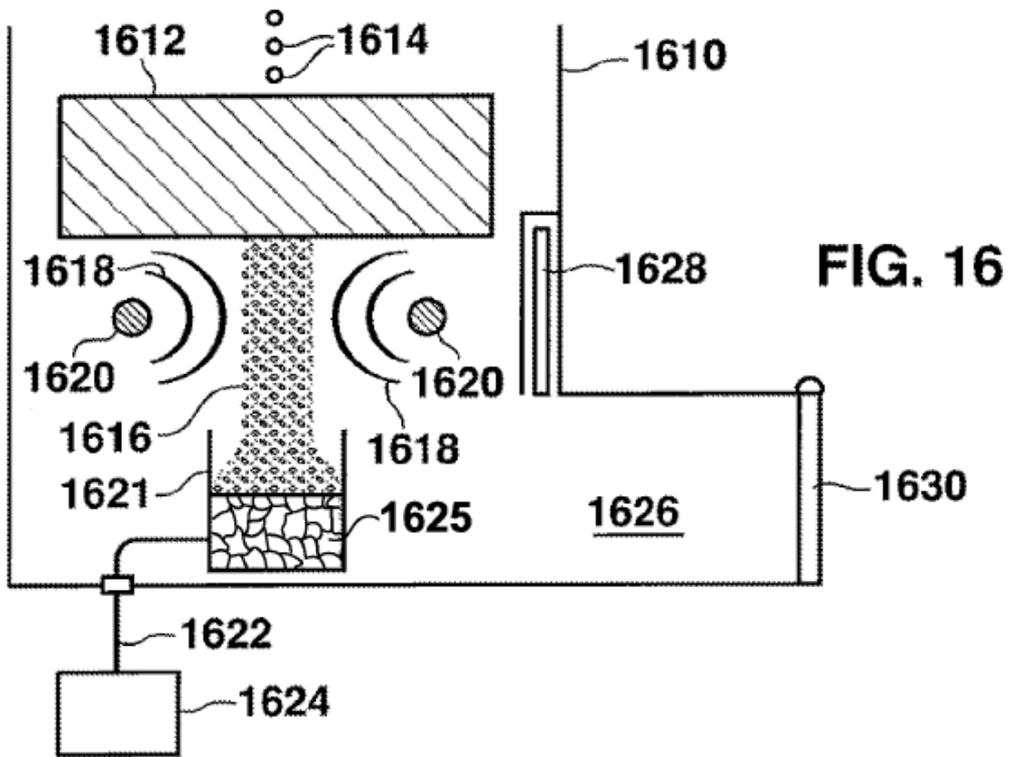


FIG. 14



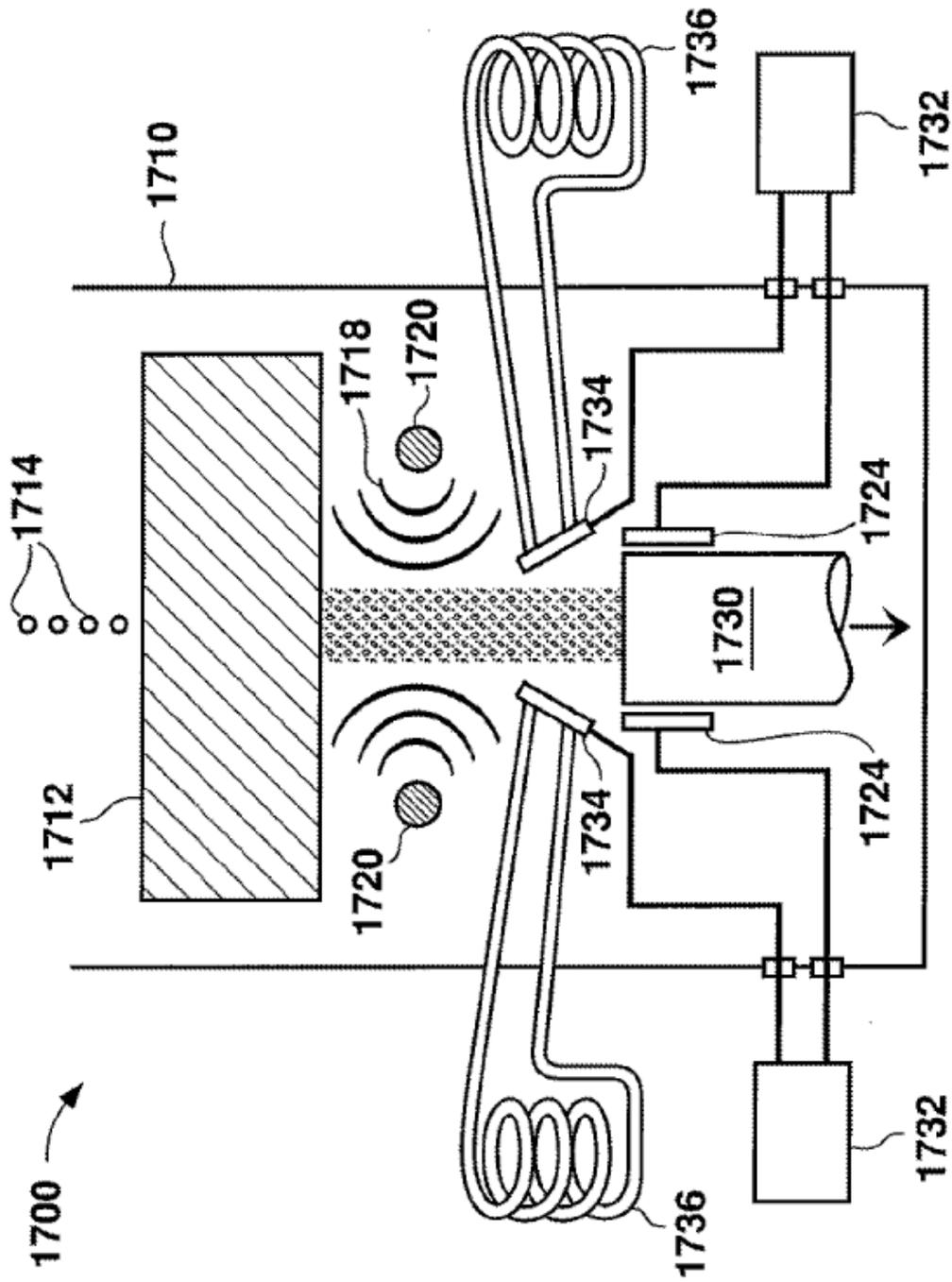
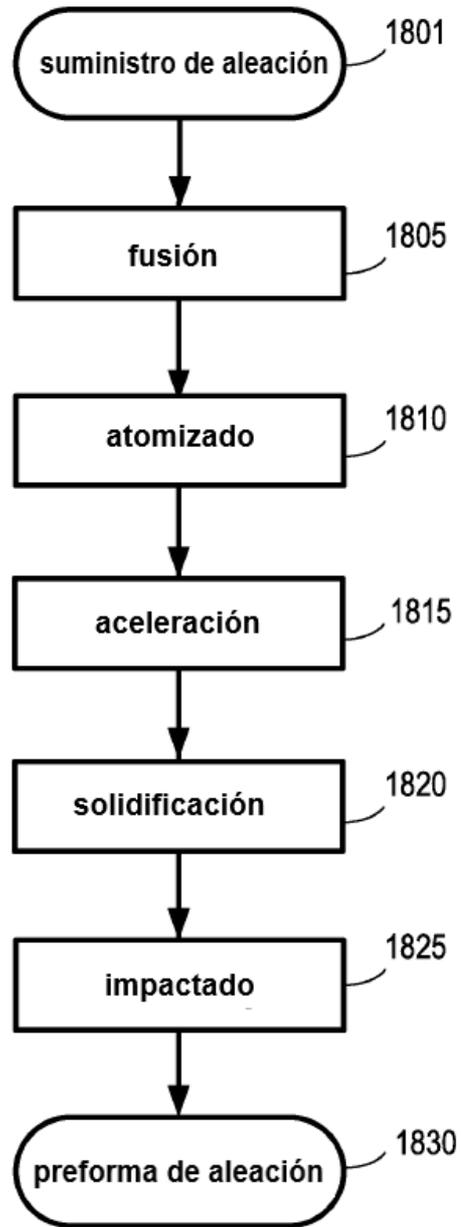
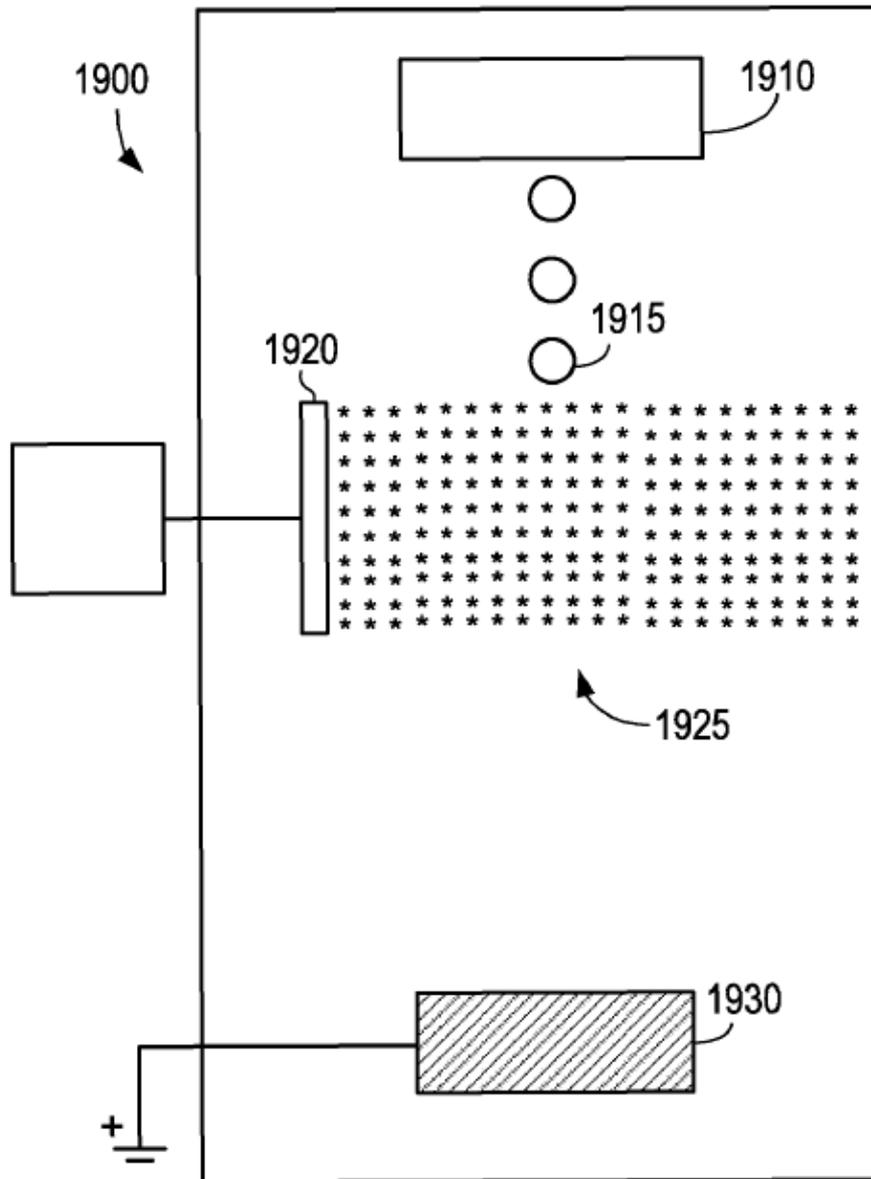


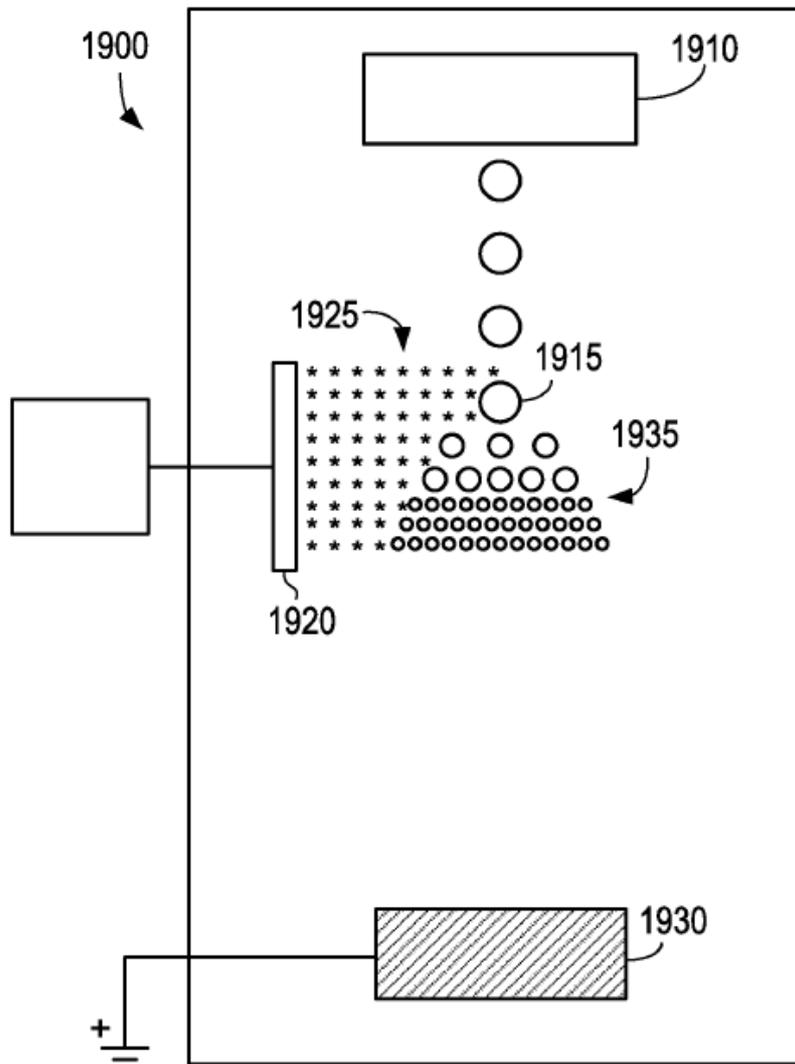
FIG. 17a



**FIG. 18**



**FIG. 19A**



**FIG. 19B**

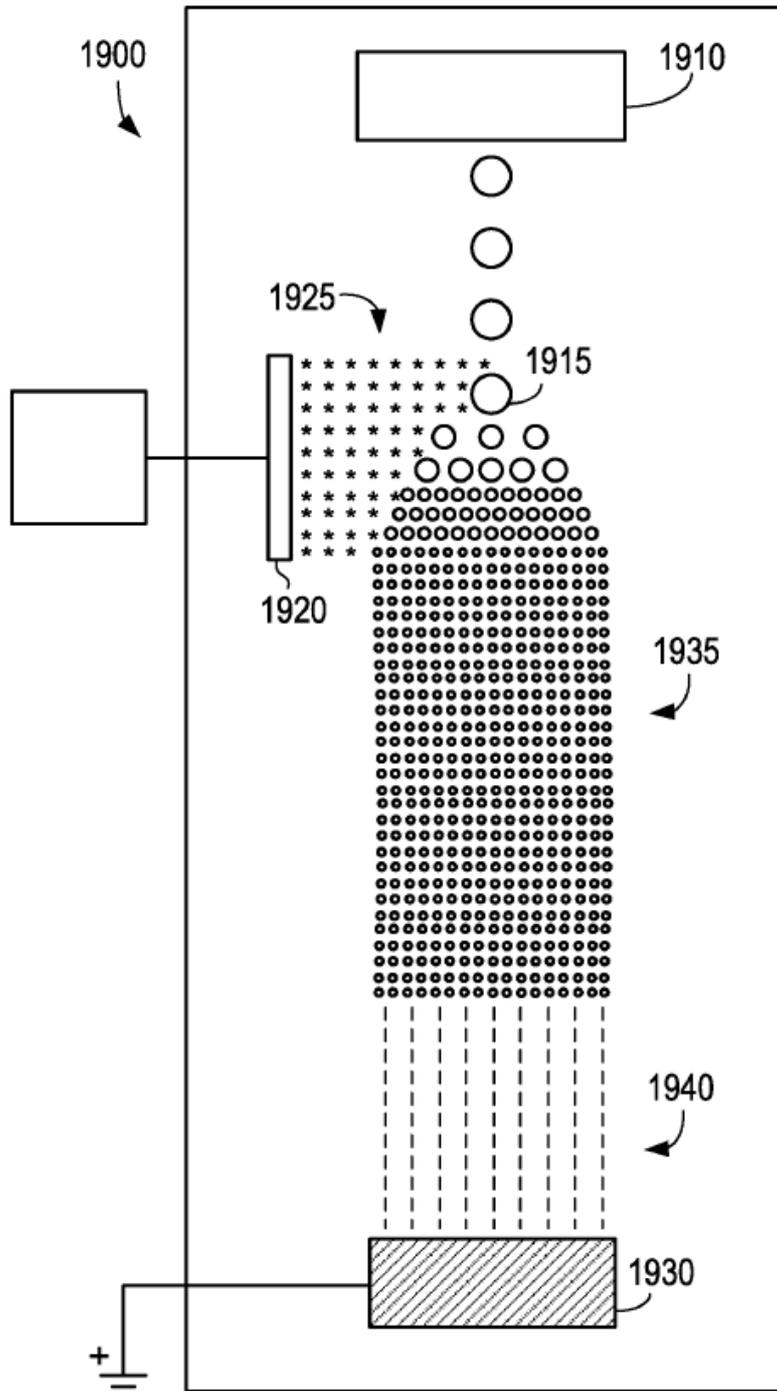


FIG. 19C

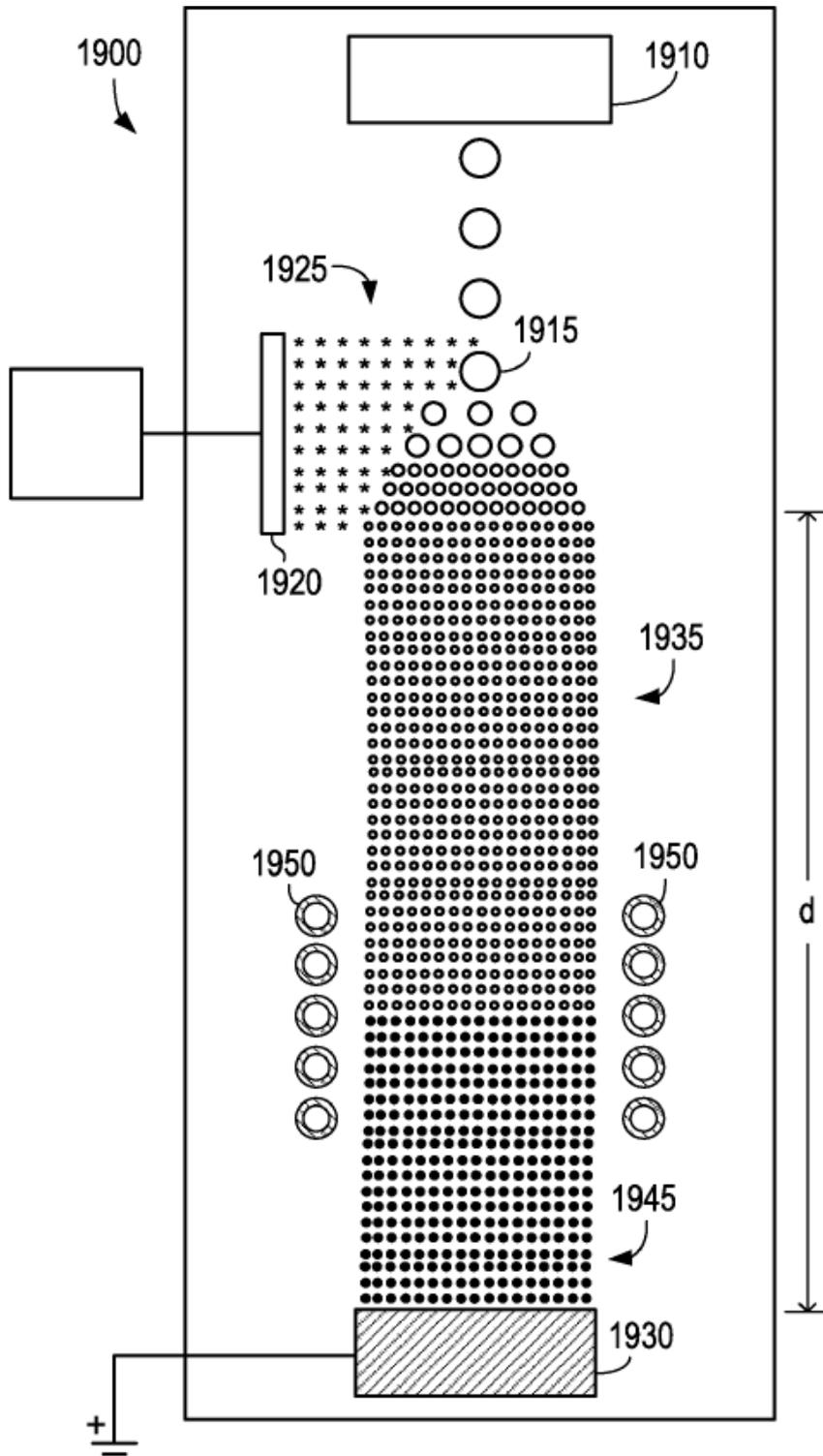


FIG. 19D

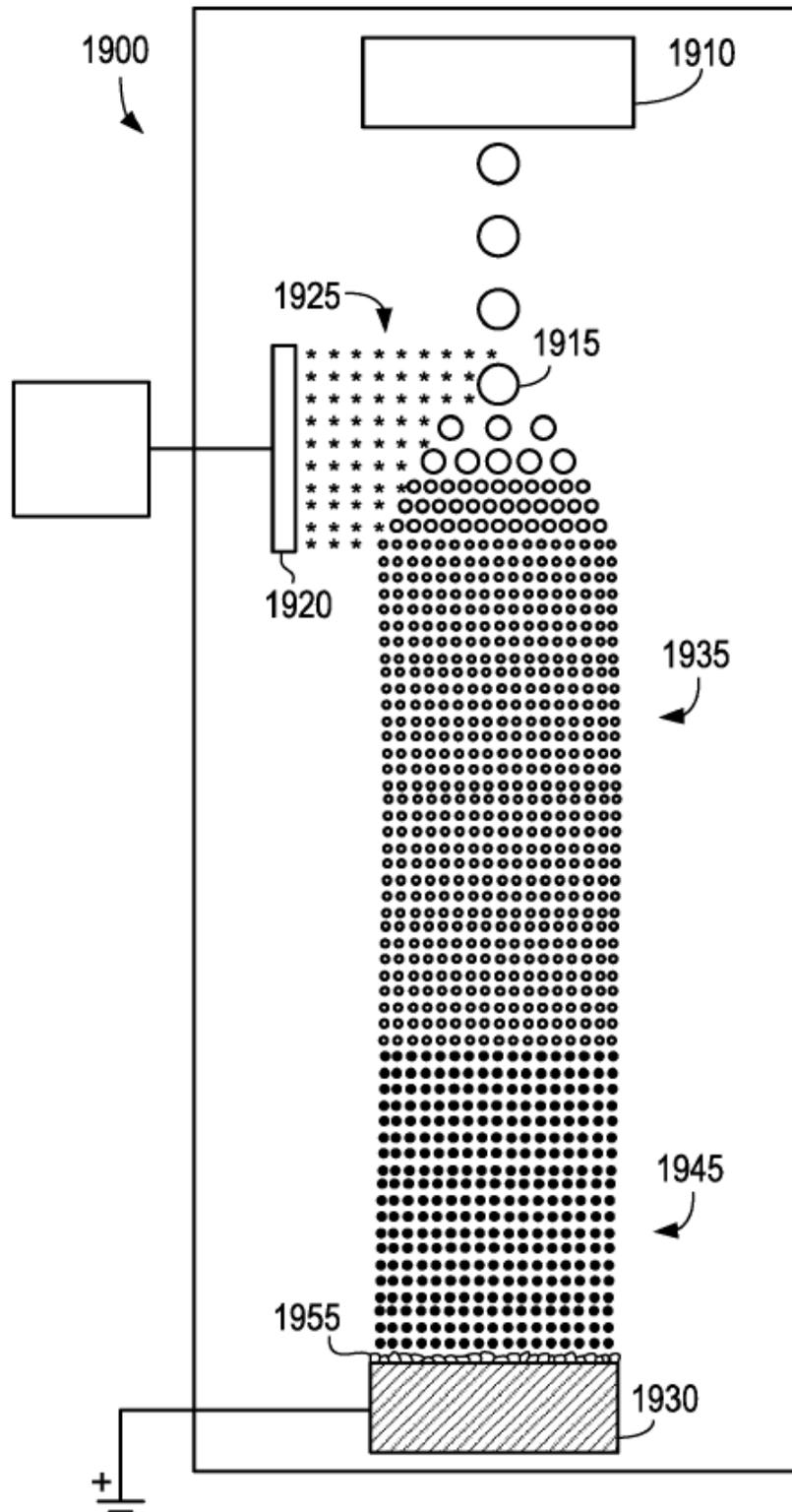


FIG. 19E

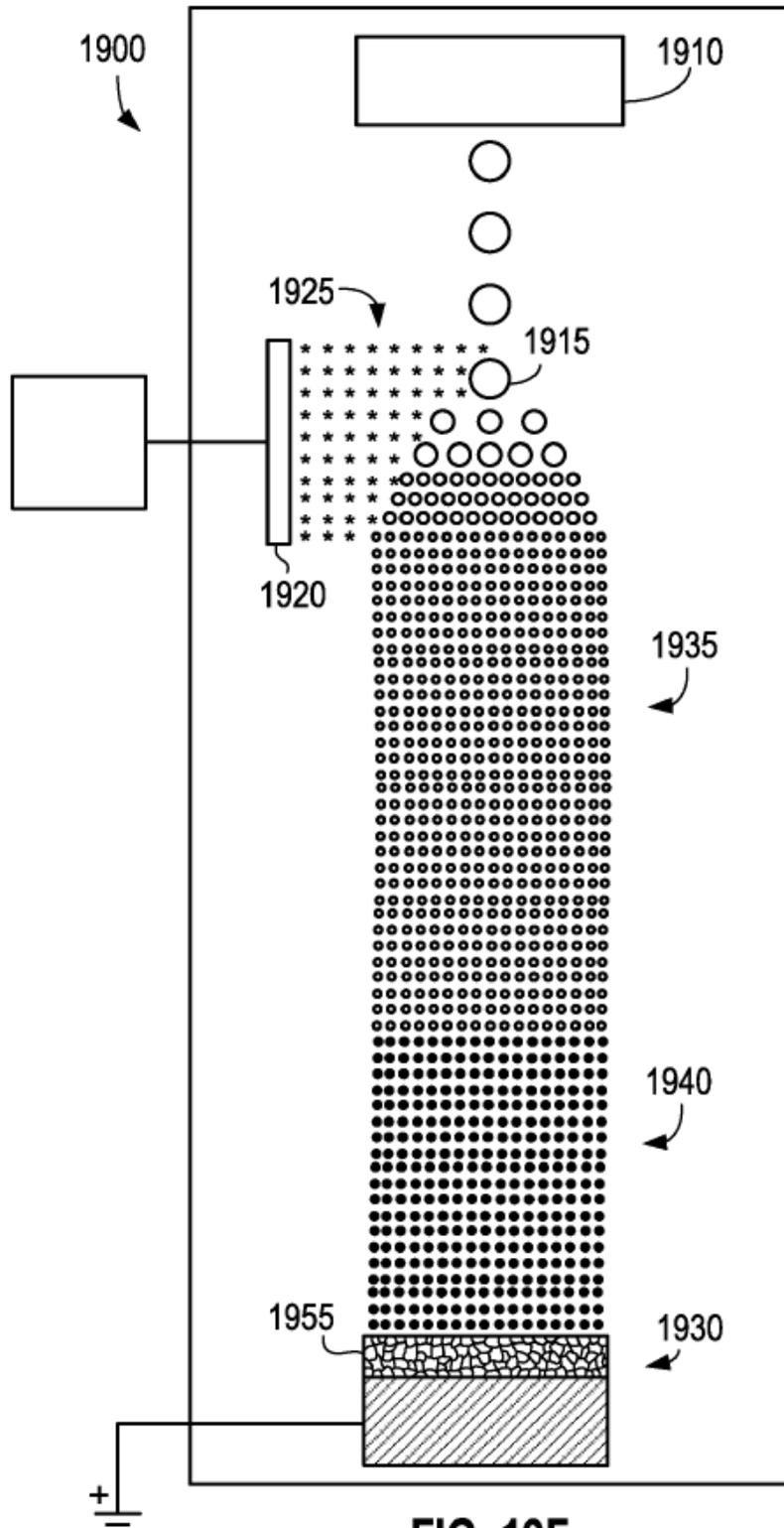


FIG. 19F

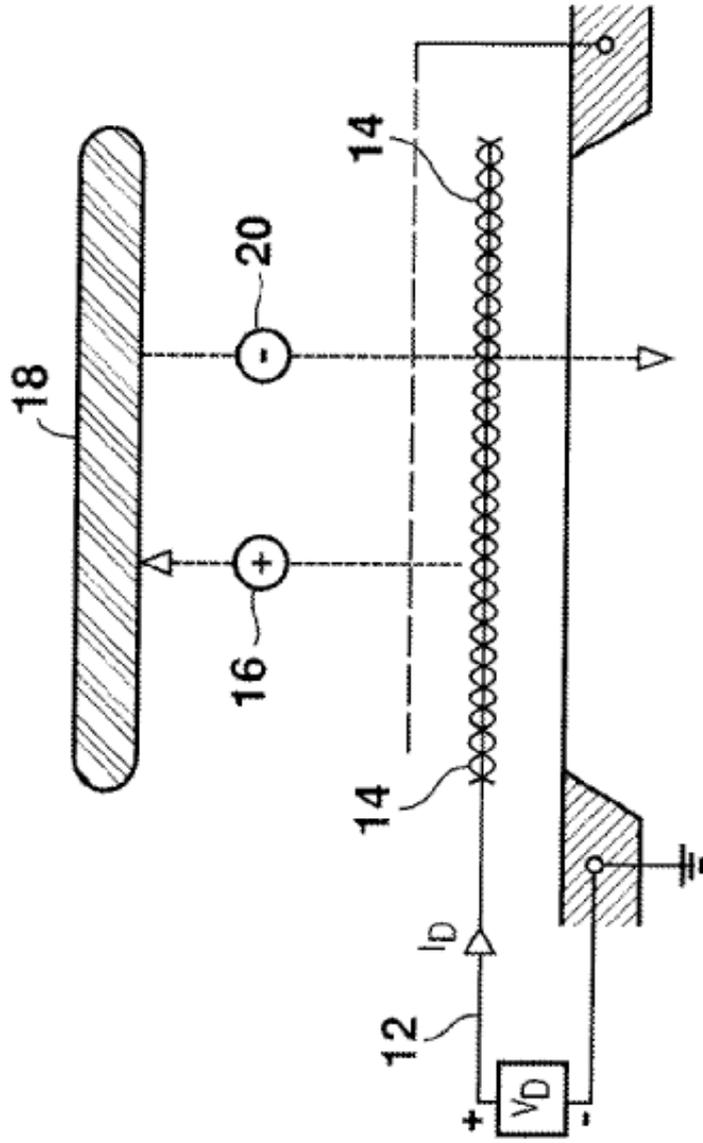


FIG. 20

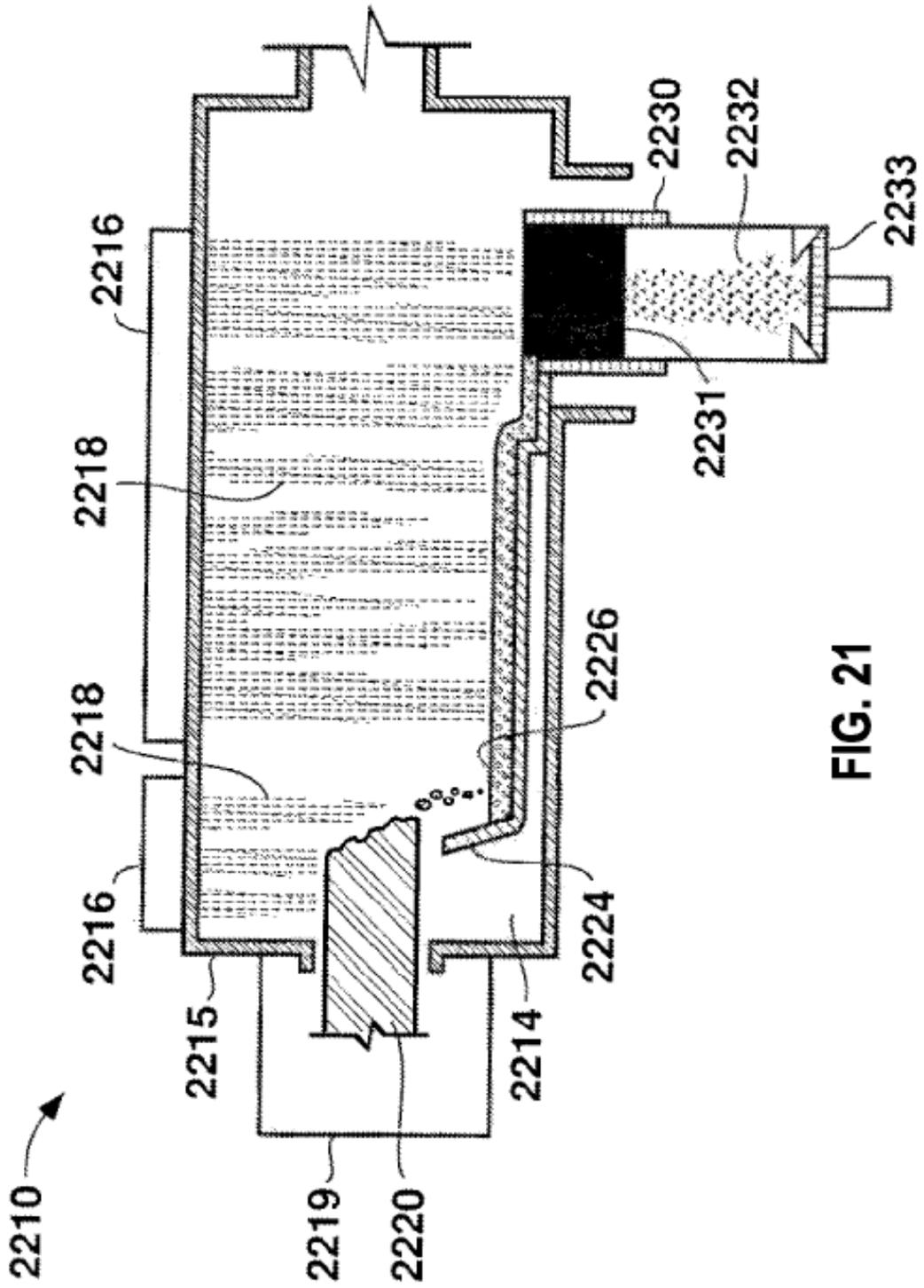


FIG. 21

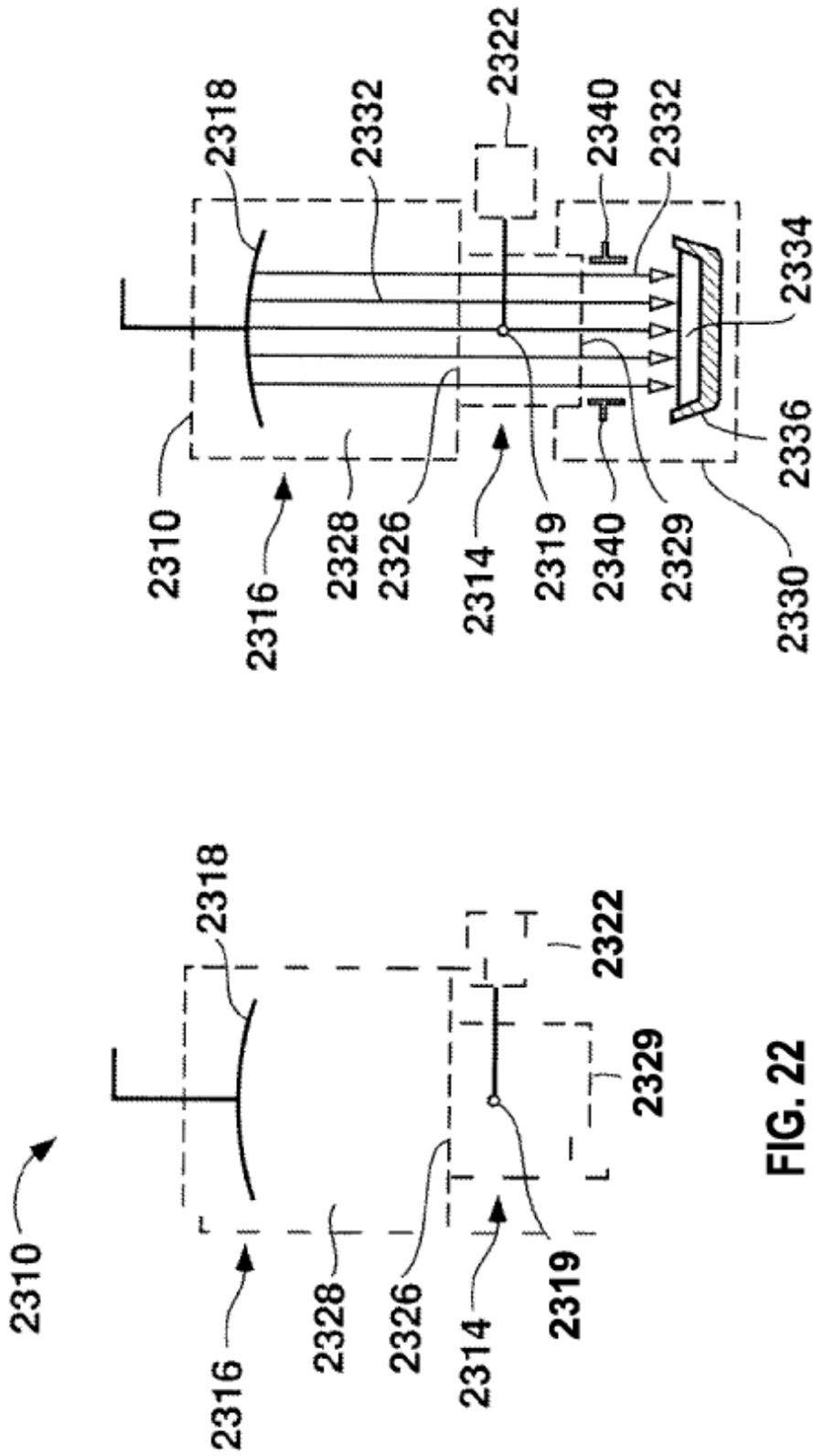
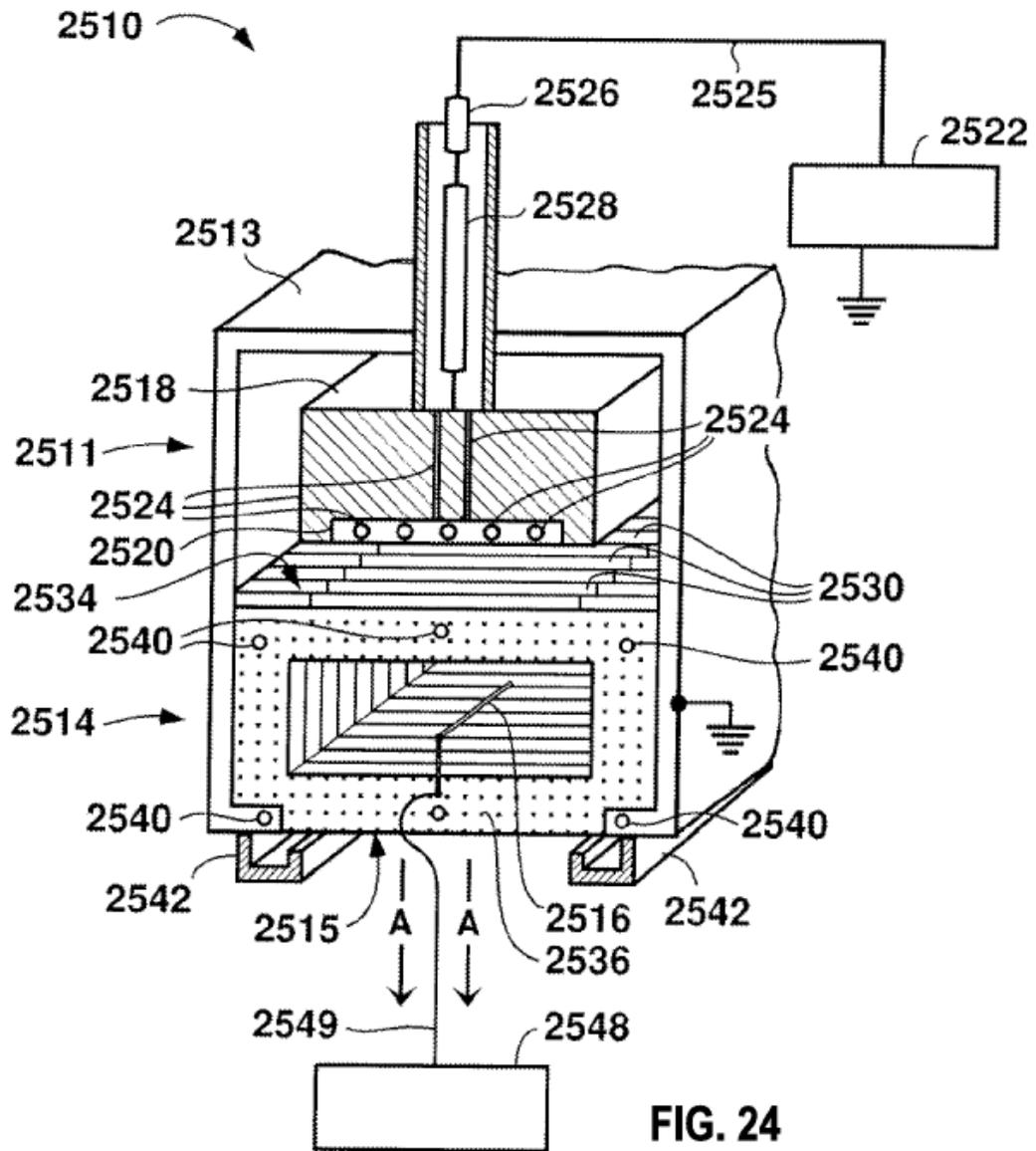


FIG. 23

FIG. 22



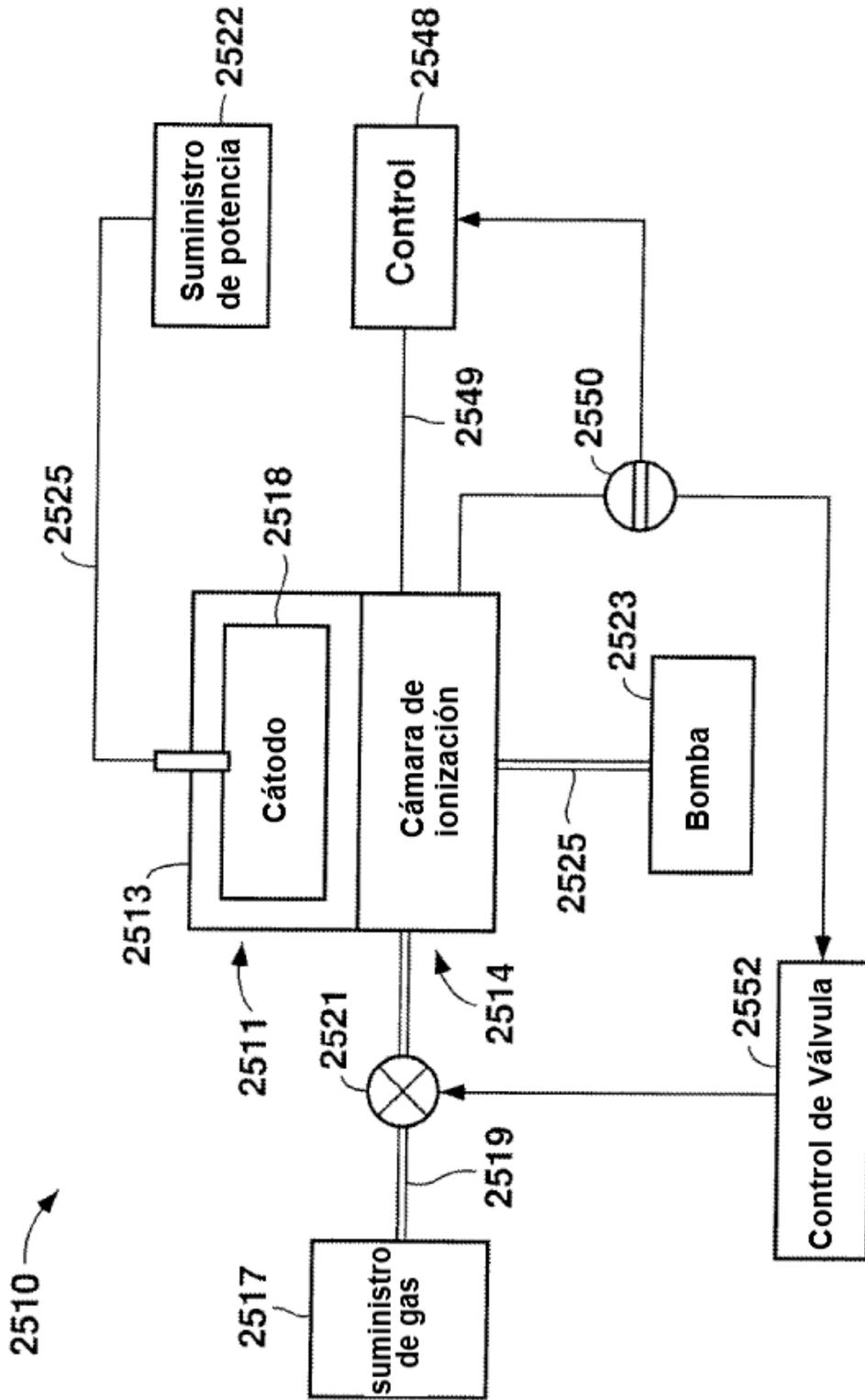


FIG. 25

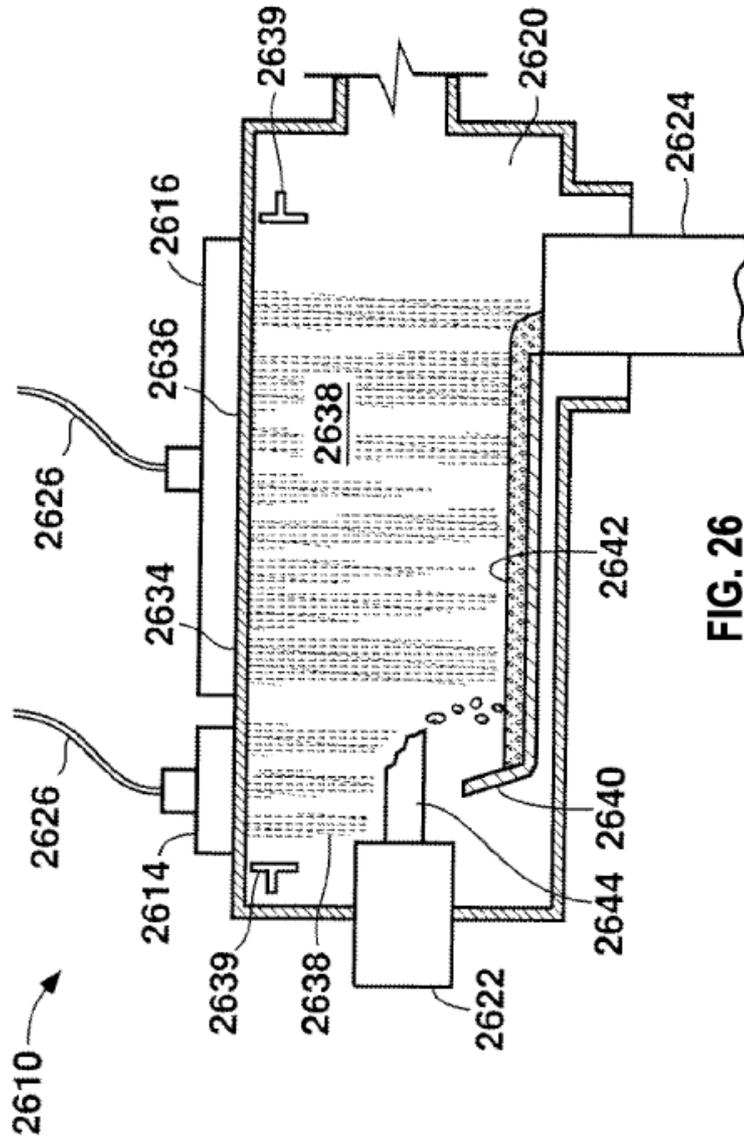


FIG. 26