

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 994 209**

51 Int. Cl.:

C04B 35/48 (2006.01)
B05B 7/22 (2006.01)
C04B 35/626 (2006.01)
C04B 35/58 (2006.01)
B22F 1/065 (2012.01)
B22F 1/142 (2012.01)
C22C 1/04 (2013.01)
C22C 33/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.11.2020** **PCT/US2020/060778**
87 Fecha y número de publicación internacional: **17.06.2021** **WO21118762**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.11.2020** **E 20875643 (7)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.05.2024** **EP 4061787**

54 Título: **Materias primas únicas para polvos esféricos y métodos de fabricación**

30 Prioridad:

18.11.2019 US 201962937054 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
20.01.2025

73 Titular/es:

6K INC. (100.00%)
25 Commerce Way Unit 1
North Andover, MA 01845, US

72 Inventor/es:

BADWE, SUNIL, BHALCHANDRA;
TURCHETTI, SCOTT, JOSEPH y
REDJDAL, MAKHLOUF

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 994 209 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

Materias primas únicas para polvos esféricos y métodos de fabricación

5 **Antecedentes****Campo**

10 **[0001]** La presente descripción se dirige generalmente en algunas realizaciones a producir productos pulverulentos esféricos o esferoidales a partir de materiales de materia prima únicos.

Descripción de la técnica relacionada

15 **[0002]** Un aspecto importante de preparar algunas formas de polvos industriales es el proceso de esferoidización, que transforma polvos de forma irregular o angular producidos por métodos de trituración convencionales en partículas esféricas de baja porosidad. Los polvos esféricos tienen forma homogénea, son más densos, menos porosos, tienen una fluidez alta y consistente y una alta densidad compactada. Dichos polvos presentan propiedades superiores en aplicaciones tales como moldeo por inyección, recubrimientos por termopulverización, fabricación de aditivos, etc.

20 **[0003]** Los métodos de esferoidización convencionales emplean un plasma de arco térmico descrito en la patente US-4.076.640 concedida el 28 de febrero de 1978 y un plasma generado por radiofrecuencia descrito en la patente US-6.919.527 concedida el 19 de julio de 2005. Sin embargo, estos dos métodos presentan limitaciones inherentes a la no uniformidad térmica de los plasmas de radiofrecuencia y del arco térmico.

25 **[0004]** En el caso del plasma de arco térmico, se produce un arco eléctrico entre dos electrodos genera un plasma dentro de un canal de plasma. El plasma se expulsa del canal de plasma usando gas de plasma. El polvo se inyecta desde el lateral, bien perpendicularmente o en ángulo, al penacho de plasma, donde se funde por la alta temperatura del plasma. La tensión superficial del material fundido lo estira a una forma esférica, a continuación se enfría, se solidifica y se recoge en filtros. Un problema con el plasma de arco térmico es que los electrodos utilizados para encender el plasma están expuestos a la alta temperatura provocando la degradación de los electrodos, que contaminan el penacho de plasma y el material de proceso. Además, el penacho del plasma de arco térmico presenta inherentemente un alto gradiente de temperatura. Al inyectar el polvo en el penacho de plasma desde el lateral, no todas las partículas de polvo quedan expuestas a la misma temperatura del proceso, lo que da como resultado un polvo que está parcialmente esferoidizado, no es uniforme y tiene una porosidad no homogénea.

35 **[0005]** En el caso de la esferoidización mediante plasma acoplado inductivamente por radiofrecuencia, el plasma se produce mediante un campo magnético variable que induce un campo eléctrico en el gas de plasma, que a su vez impulsa los procesos de plasma tales como ionización, excitación, etc. para mantener el plasma en el tubo dieléctrico cilíndrico. Se sabe que los plasmas acoplados inductivamente tienen una baja eficiencia de acoplamiento de la energía de radiofrecuencia en el plasma y una temperatura plasmática más baja en comparación con los plasmas generados por arco y microondas. El campo magnético responsable de generar el plasma presenta un perfil no uniforme, que produce un plasma con un elevado gradiente de temperatura, donde el plasma toma una forma de tipo toroidal que muestra la temperatura más alta en el borde del plasma (cerca de las paredes del tubo dieléctrico) y la temperatura más baja en el centro del toroide. Además, se crea un componente capacitivo entre el plasma y las bobinas de radiofrecuencia que envuelven el tubo dieléctrico debido a la tensión de RF en las bobinas. Este componente capacitivo crea un campo eléctrico grande que impulsa iones desde el plasma hacia las paredes internas dieléctricas, lo que a su vez produce la formación de arcos y la degradación del tubo dieléctrico y la contaminación del material del proceso con el material del tubo. El documento WO 2015/174949 A1 describe un método para procesar material de alimentación para producir productos densos y esferoidales.

50 **Resumen**

[0006] La invención se define en las reivindicaciones. En la presente memoria se describen aspectos para esferoidizar materiales de materia prima únicos usando el procesamiento por plasma de microondas. En un aspecto, se proporciona un método para producir un polvo esferoidizado a partir de un material de alimentación que incluye circonio estabilizado con itrio (YSZ). El método incluye: introducir un material de alimentación que incluye partículas de YSZ en una antorcha de plasma de microondas; y fundir y esferoidizar las partículas dentro de un plasma generado por la antorcha de plasma de microondas para formar polvo esferoidizado.

60 **[0007]** En otro aspecto, se proporciona un método para producir un polvo esferoidizado a partir de un material de alimentación que incluye aluminio (Al) o aleación de Al. El método incluye: introducir un material de alimentación que incluye partículas de Al o aleación de Al en una antorcha de plasma de microondas; y fundir y esferoidizar las partículas dentro de un plasma generado por la antorcha de plasma de microondas para formar polvo esferoidizado. En algunas realizaciones, el Al o aleación de Al incluye una serie Al 6000 o una aleación de aluminio-sílice-magnesio (AlSiMg). El AlSiMg puede ser AlSi10Mg.

[0008] En otro aspecto, se proporciona un método para producir un polvo esferoidizado a partir de un material de alimentación que incluye una aleación atomizada con agua. El método que incluye: introducir un material de alimentación que incluye una aleación atomizada con agua en una antorcha de plasma de microondas; y fundir y esferoidizar las partículas dentro de un plasma generado por la antorcha de plasma de microondas para formar polvo esferoidizado. En algunas realizaciones, la aleación atomizada con agua incluye acero inoxidable 17-4 moldeado por inyección de metal (MIM). En algunas realizaciones, la aleación atomizada con agua incluye la aleación Inconel 625 (IN625).

[0009] En otro aspecto, se proporciona un método para producir un polvo esferoidizado a partir de un material de alimentación que incluye tántalo (Ta). El método incluye: introducir un material de alimentación que incluye partículas de Ta en una antorcha de plasma de microondas; y fundir y esferoidizar las partículas dentro de un plasma generado por la antorcha de plasma de microondas para formar polvo esferoidizado.

[0010] En otro aspecto, se proporciona un método para producir un polvo esferoidizado a partir de un material de alimentación que incluye nitruro de titanio (TiN). El método incluye: introducir un material de alimentación que incluye partículas de TiN en una antorcha de plasma de microondas; y fundir y esferoidizar las partículas dentro de un plasma generado por la antorcha de plasma de microondas para formar polvo esferoidizado.

[0011] En otro aspecto, se proporciona un método para producir un polvo esferoidizado a partir de un material de alimentación que incluye renio (Re). Incluyendo el método: introducir un material de alimentación que incluye partículas de Re en una antorcha de plasma de microondas; y fundir y esferoidizar las partículas dentro de un plasma generado por la antorcha de plasma de microondas para formar polvo esferoidizado.

[0012] En otro aspecto, se proporciona un método para producir un polvo esferoidizado a partir de un material de alimentación que incluye tungsteno (W). Incluyendo el método: introducir un material de alimentación que incluye partículas de W en una antorcha de plasma de microondas; y fundir y esferoidizar las partículas dentro de un plasma generado por la antorcha de plasma de microondas para formar polvo esferoidizado.

[0013] En otro aspecto, se proporciona un método para producir un polvo esferoidizado a partir de un material de alimentación que incluye molibdeno (Mo). El método incluye: introducir un material de alimentación que incluye partículas de Mo en una antorcha de plasma de microondas; y fundir y esferoidizar las partículas dentro de un plasma generado por la antorcha de plasma de microondas para formar polvo esferoidizado.

[0014] La introducción del material de alimentación en la antorcha de plasma de microondas comprende introducir el material de alimentación en un escape de la antorcha de plasma de microondas o en un penacho de la antorcha de plasma de microondas.

[0015] La relación dimensional promedio colectiva o mediana del material de alimentación; I está entre 5:1 y 20:1. En varias realizaciones, el método incluye además tamizar el material de alimentación antes de introducir el material de alimentación en la antorcha de plasma de microondas. El polvo esferoidizado tiene una esfericidad media de al menos 0,91 y una distribución de tamaño de partícula de 15 μm a 105 μm . En varias realizaciones, el polvo esferoidizado puede tener una distribución de tamaño de partícula de 15 a 45 μm . En varias realizaciones, el polvo esferoidizado puede tener una distribución de tamaño de partícula de 45 a 105 μm .

Breve descripción de los dibujos

[0016]

La **Figura 1** ilustra una realización ilustrativa de un método para producir partículas esferoidales según la presente descripción.

La **Figura 2** ilustra una realización de una antorcha de plasma de microondas que puede usarse en la producción de polvos esferoidales, según realizaciones de la presente descripción.

Las **Figuras 3A-B** ilustran realizaciones de una antorcha de plasma de microondas que se puede usar en la producción de polvos esferoidales, según una realización de tolva de alimentación lateral de la presente descripción.

Descripción detallada

[0017] La invención se define en las reivindicaciones. En la presente memoria se describen realizaciones de métodos, dispositivos y conjuntos para la esferoidización de materiales de materia prima usando el procesamiento por plasma de microondas. Las materias primas que se describen en la presente memoria son varios tipos de metales y cerámicas, cada uno de los cuales tiene sus propios requisitos críticos, especializados y únicos para la materia prima inicial, así como el procesamiento en una antorcha de plasma de microondas para lograr una esferoidización deseada.

[0018] Según la presente invención, el procesamiento en una antorcha de plasma de microondas comprende alimentar la materia prima a un penacho de plasma de la antorcha de plasma de microondas, y/o un escape de la

antorcha de plasma de microondas. La ubicación puede variar dependiendo del tipo de materia prima utilizada. Además, la materia prima puede seleccionarse según diferentes requisitos. Ejemplos de requisitos son la relación dimensional, distribución de tamaño de partículas (PSD), química, densidad, diámetro, esfericidad, oxigenación, dureza y ductilidad.

[0019] La materia prima puede usarse como materia prima para un proceso de plasma de microondas para formar un polvo esferoidizado final, que a continuación puede usarse en diferentes procesos, tales como procesos de fabricación de aditivos. Sin embargo, los materiales de materia prima particulares descritos en la presente memoria son extremadamente difíciles de procesar a una materia prima adecuada para el procesamiento por plasma de microondas.

[0020] En algunas realizaciones, el material en polvo puede preprocesarse antes de introducirse en el proceso de plasma. Por ejemplo, el material en polvo puede tamizarse para eliminar grandes aglomerados y seleccionar el tamaño deseado para procesarse en el plasma. En algunas realizaciones, el material en polvo puede limpiarse con agua, tensioactivo, detergente, disolvente o cualquier otro producto químico tal como ácidos para eliminar la contaminación. En algunas realizaciones, el material en polvo puede limpiarse magnéticamente si está contaminado con cualquier material magnético. En algunas realizaciones, el polvo se puede tratar previamente para desoxidarlo. En algunas realizaciones, se pueden añadir otros elementos o compuestos para compensar o modificar la química del polvo. En algunas realizaciones, el polvo se puede desempolvar para eliminar las partículas finas. En algunas realizaciones, no se puede realizar ningún procesamiento previo.

[0021] En algunas realizaciones, la distribución de tamaño de partícula (PSD) tiene un diámetro mínimo de 15 (o aproximadamente 15) μm y un máximo de 45 (o aproximadamente 45) μm o un mínimo de 22 (o aproximadamente 22) μm y un máximo de 44 (o aproximadamente 44) μm , o un mínimo de 20 (o aproximadamente 20) μm a un máximo de 63 (o aproximadamente 63) μm , o un mínimo de 44 (o aproximadamente 44) μm y un máximo de 70 (o aproximadamente 70) μm , o un mínimo de 70 (o aproximadamente 70) μm y un máximo de 106 (o aproximadamente 106) μm , o un mínimo de 105 (o aproximadamente 105) μm a un máximo de 150 (o aproximadamente 150) μm . En algunas realizaciones, la PSD puede expresarse como D50 de las partículas en la materia prima. Como se apreciará, estos valores superior e inferior se proporcionan solo con fines ilustrativos, y se pueden usar valores de PSD alternativos en otras realizaciones.

[0022] Según la invención, la relación dimensional promedio de la materia prima en polvo está entre 5:1 (o aproximadamente 5:1) a 20:1 (o aproximadamente 20:1). En algunas realizaciones, la relación dimensional promedio de la materia prima en polvo es superior a 1:1 (o aproximadamente 1:1), 3:1 (o aproximadamente 3:1), 5:1 (o aproximadamente 5:1), mayor de 10:1 (o aproximadamente 10:1), mayor de 20:1 (o aproximadamente 20:1).

Materia prima de tántalo (Ta)

[0023] El polvo de tántalo (Ta) o de aleación de Ta se puede usar en diversas aplicaciones. Las aplicaciones del polvo de Ta o aleación de Ta pueden beneficiarse de una distribución estrecha de tamaño de partículas y una alta esfericidad. Se ha observado que el procesamiento en plasma de microondas de materia prima del polvo de Ta o aleación de Ta puede producir una distribución estrecha de tamaño de partículas y una elevada esfericidad del polvo de Ta o aleación de Ta. Antes del procesamiento con plasma, la materia prima puede tamizarse para eliminar grandes aglomerados y seleccionar el tamaño deseado para procesarse en el plasma. Ta7300 es polvo esférico de tántalo de alta pureza que puede sintetizarse según las realizaciones de la presente memoria para su uso en diversas aplicaciones que incluyen la fabricación de aditivos. El Ta tiene una alta conductividad eléctrica y térmica, biocompatibilidad y alta resistencia a la corrosión. En algunas realizaciones, como ejemplo, un polvo de Ta o aleación de Ta puede comprender una densidad aparente de aproximadamente 9 g/cc, un flujo de aproximadamente 7s/50 g, un D10 de aproximadamente 15 μm , un D50 de aproximadamente 30 μm y D90 de aproximadamente 55 μm .

Materia prima de circonio estabilizado con itrio (YSZ)

[0024] Se puede usar polvo de circonio estabilizado con itrio (YSZ) en diversas aplicaciones. Las aplicaciones del YSZ en polvo pueden beneficiarse de una distribución estrecha de tamaño de partículas y una alta esfericidad. Se ha observado que el procesamiento en plasma de microondas de materia prima del YSZ en polvo puede producir una distribución estrecha de tamaño de partículas y una elevada esfericidad. Antes del procesamiento con plasma, la materia prima puede tamizarse para eliminar grandes aglomerados y seleccionar el tamaño deseado para procesarse en el plasma. En algunas realizaciones, puede sintetizarse un 8 % de YSZ, que es un polvo esférico de circonio estabilizado con itrio de alta pureza. En algunas realizaciones, un tratamiento con plasma de microondas produce polvo altamente esférico sin sustancialmente satélites. En algunas realizaciones, el YSZ en polvo sintetizado según las realizaciones de la presente memoria puede comprender una composición de aproximadamente 8 % en moles de Y_2O_3 y aproximadamente 92 % en moles de ZrO_2 , con tamaños de partícula que varían de aproximadamente 15 μm hasta aproximadamente 45 μm . En algunas realizaciones, como ejemplo, la densidad aparente puede ser de aproximadamente 3,12 g/cc y el flujo puede ser de aproximadamente 23 s/50 g.

Materia prima de nitruro de titanio (TiN)

[0025] El polvo de nitruro de titanio (TiN) se puede usar en diversas aplicaciones. Las aplicaciones del TiN en polvo pueden beneficiarse de una distribución estrecha de tamaño de partículas y una alta esfericidad. Se ha observado que el procesamiento en plasma de microondas de materia prima del TiN en polvo puede producir una distribución estrecha de tamaño de partículas y una elevada esfericidad. Antes del procesamiento con plasma, la materia prima puede tamizarse para eliminar grandes aglomerados y seleccionar el tamaño deseado para procesarse en el plasma. En algunas realizaciones, el polvo de TiN puede sintetizarse sustancialmente sin satélite con alta esfericidad, alta fluidez, alta densidad aparente y bajos intersticios. En algunas realizaciones, como un ejemplo, el polvo de TiN sintetizado según las realizaciones de la presente memoria puede comprender una densidad aparente de aproximadamente 2,7 g/cc, un flujo de aproximadamente 31 s/50 s, un D10 de aproximadamente 18 µm, un D50 de aproximadamente 35 µm y un D90 de aproximadamente µm.

Materia prima de aluminio

[0026] El material en polvo de aluminio (Al) o aleación de Al puede usarse en diversas aplicaciones. Específicamente, se ha demostrado que la serie Al 6000 y el polvo de aluminio-silicio-magnesio (AlSiMg) son útiles en diversas aplicaciones. Las aplicaciones de la serie Al 6000 o AlSiMg en polvo pueden beneficiarse de una distribución estrecha de tamaño de partículas y una alta esfericidad. Se ha observado que el procesamiento en plasma de microondas de materia prima del AlSiMg en polvo puede producir una distribución estrecha de tamaño de partículas y una elevada esfericidad. Antes del procesamiento con plasma, la materia prima puede tamizarse para eliminar grandes aglomerados y seleccionar el tamaño deseado para procesarse en el plasma. El polvo de AlSiMg puede ser polvo de AlSi10Mg que incluye un contenido de silicio de aproximadamente 9 % a aproximadamente 11 %. AlSi10Mg es una aleación de aluminio ligero diseñada específicamente para su uso en la fabricación de aditivos. Esta aleación tiene una elevada relación entre resistencia y peso y una excelente resistencia a la corrosión. En algunas realizaciones, el material en polvo de Al o aleación de Al sintetizado según las realizaciones de la presente memoria pueden comprender una composición de aproximadamente 9,0-11,0 % de Si, aproximadamente 0,25 -0,45 % de Mg, aproximadamente 0,25 % o menos de Fe, aproximadamente 0,20 % o menos de N, aproximadamente 0,20 % o menos de O, aproximadamente 0,15 % o menos de Ti, aproximadamente 0,10 % o menos de Zn, aproximadamente 0,10 % o menos Mn, y el resto Al. Como ejemplo, un polvo de Al o aleación de Al según las realizaciones de la presente memoria puede comprender un tamaño de partícula de aproximadamente 20-63 µm, una densidad aparente de aproximadamente 1,4 g/cc y un flujo de aproximadamente 40s/50 g.

Materia prima de aleación atomizada con agua

[0027] En diversas aplicaciones se pueden usar material en polvo de aleación atomizada con agua. Específicamente, se ha demostrado que el polvo de acero inoxidable 17-4 moldeado por inyección de metal (MIM) atomizado con agua y el polvo de la aleación Inconel 625 (IN625) atomizada con agua son útiles en diversas aplicaciones. Las aplicaciones de material en polvo de aleación atomizada con agua pueden beneficiarse de una distribución estrecha de tamaño de partícula y una alta esfericidad. Se ha observado que el procesamiento en plasma de microondas de la materia prima de polvo de acero inoxidable 17-4 MIM atomizado con agua y la materia prima de polvo de IN625 atomizado con agua puede producir una distribución estrecha de tamaño de partícula y una alta esfericidad. Antes del procesamiento con plasma, la materia prima puede tamizarse para eliminar grandes aglomerados y seleccionar el tamaño deseado para procesarse en el plasma. Como ejemplo, en algunas realizaciones, un polvo MIM 17-4 puede comprender una densidad aparente de aproximadamente 4,2 g/cc, un flujo de aproximadamente 17 s/50 g, un D10 de aproximadamente 18 µm, un D50 de aproximadamente 32 µm y un D90 de aproximadamente 56 µm. En algunas realizaciones, un polvo MIM 17-4 sintetizado según las realizaciones de la presente memoria puede comprender aproximadamente 17 % de Cr, aproximadamente 4,5 % de Ni, aproximadamente 4 % de Cu, aproximadamente 0,30 % de Nb y Ta combinados, aproximadamente 0,07 % o menos de C, y el resto Fe.

[0028] Como ejemplo, en algunas realizaciones, el polvo IN625 puede comprender aproximadamente 0,10 % o menos de C, aproximadamente 0,015 % o menos de P, aproximadamente 0,50 % o menos de Si, aproximadamente 0,50 % o menos de Cu, aproximadamente 0,40 % de Ti, aproximadamente 0,40 % de Al, aproximadamente 0,03 % o menos de O, aproximadamente 3,15 % -4,15 % de Ni y Ta combinados, aproximadamente 0,50 % o menos de Mn, aproximadamente 20,0 % -23,0 % de Cr, aproximadamente 8,00-10,00 % de Mo, aproximadamente 1,00 % o menos de Co, aproximadamente 0,02 % o menos de Ni, aproximadamente 5,0 % o menos de Fe, y el resto níquel. Como ejemplo, en algunas realizaciones, el polvo IN625 puede comprender una densidad aparente de aproximadamente 4,3 g/cc, una densidad compactada de aproximadamente 5 g/cc, un flujo de aproximadamente 15 s/50 g, un D10 de aproximadamente 16-26 µm, un D50 de aproximadamente 26-37 µm y un D90 de aproximadamente 37-49 µm.

Materia prima de renio

[0029] El polvo de renio (Re) o de aleación de Re se puede usar en diversas aplicaciones. Las aplicaciones de polvo de Re o aleación de Re pueden beneficiarse de una distribución estrecha de tamaño de partícula y una alta esfericidad. Se ha observado que el procesamiento en plasma de microondas de materia prima de polvo de Re o aleación de Re puede producir una distribución estrecha de tamaño de partículas y una elevada esfericidad del polvo de Re o aleación de Re. Antes del procesamiento con plasma, la materia prima puede tamizarse para eliminar grandes aglomerados y seleccionar el tamaño deseado para procesarse en el plasma. En algunas realizaciones, el polvo de Re o aleación de

Re puede comprender Re7500. Como ejemplo, en algunas realizaciones, un polvo de Re o aleación de Re puede comprender más del 99,9 % de Re, tamaños de partícula entre 20-63 µm, una densidad aparente de aproximadamente 11,4 g/cc, un flujo de aproximadamente 4,3 s/50 g, un D10 de aproximadamente 29 µm, un D50 de aproximadamente 39 µm y un D90 de aproximadamente 55 µm.

Materia prima de tungsteno

[0030] El polvo de tungsteno (W) o aleación de W se puede usar en diversas aplicaciones. Las aplicaciones de polvo de W o aleación de W pueden beneficiarse de una distribución estrecha de tamaño de partícula y una alta esfericidad. Se ha observado que el procesamiento en plasma de microondas de materia prima de polvo de W o aleación de W puede producir una distribución estrecha de tamaño de partículas y una elevada esfericidad del polvo de W o aleación de W. Antes del procesamiento con plasma, la materia prima puede tamizarse para eliminar grandes aglomerados y seleccionar el tamaño deseado para procesarse en el plasma. En algunas realizaciones, el polvo de W o aleación de W puede comprender W7400. Como ejemplo, en algunas realizaciones, un polvo de W o aleación de W puede comprender más de 90,9 % de W, o preferiblemente más de 99,9 % de W. Como ejemplo, en algunas realizaciones, un polvo de W o aleación de W puede comprender tamaños de partícula entre 20-63 µm, una densidad aparente de aproximadamente 11,2 g/cc, un flujo de aproximadamente 5,16 s/50 g, un D10 de aproximadamente 29 µm, un D50 de aproximadamente 39 µm y un D90 de aproximadamente 55 µm.

Materia prima de molibdeno

[0031] El polvo de molibdeno (Mo) o de aleación de Mo se puede usar en diversas aplicaciones. Las aplicaciones del polvo de Mo o de aleación de Mo pueden beneficiarse de una distribución estrecha de tamaño de partícula y una alta esfericidad. Se ha observado que el procesamiento en plasma de microondas de materia prima de polvo de Mo o de aleación de Mo puede producir una distribución estrecha de tamaño de partículas y una elevada esfericidad de Mo o de aleación de Mo. Antes del procesamiento con plasma, la materia prima puede tamizarse para eliminar grandes aglomerados y seleccionar el tamaño deseado para procesarse en el plasma. En algunas realizaciones, el polvo de Mo o de aleación de Mo puede comprender Mo4200. Como ejemplo, en algunas realizaciones, el polvo de Mo o de aleación de Mo puede comprender más de 99,9 % de Mo. Como ejemplo, en algunas realizaciones, el polvo de Mo o de aleación de Mo puede comprender tamaños de partícula entre 15-45 µm, una densidad aparente de aproximadamente 5,5 g/cc y un flujo de aproximadamente 11,7 s/50 g.

Esfericidad

[0032] En algunas realizaciones, las partículas finales conseguidas mediante el procesamiento con plasma pueden ser esféricas o esferoidales, términos que se pueden usar indistintamente. Ventajosamente, usando la descripción crítica y específica relevantes para cada una de las diferentes materias primas descritas, todas las materias primas pueden transformarse en un material en polvo esférico.

[0033] Las realizaciones de la presente descripción están dirigidas a producir partículas que son sustancialmente esféricas o esferoidales o han experimentado una esferoidización significativa. En algunas realizaciones, las partículas esféricas, esferoidales o esferoidizadas se refieren a partículas que tienen una esfericidad mayor que un cierto umbral. La esfericidad de una partícula se puede calcular calculando el área superficial de una esfera $A_{s,ideal}$ con un volumen que coincide con el de la partícula, V usando la siguiente ecuación:

$$r_{ideal} = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}}$$

$$A_{s,ideal} = 4\pi r_{ideal}^2$$

[0034] El área de superficie idealizada se puede comparar con el área de superficie medida de la partícula, $A_{s,real}$:

$$Esfericidad = \frac{A_{s,ideal}}{A_{s,real}}$$

[0035] Según la invención, las partículas tienen una esfericidad de 0,91 o mayor (o aproximadamente 0,91 o mayor). En algunas realizaciones, las partículas pueden tener una esfericidad de menos de 0,95 o 0,99 (aproximadamente 0,95 o aproximadamente 0,99). En algunas realizaciones, se considera que una partícula es esférica, esferoidal o esferoidizada, si tiene una esfericidad de o superior a cualquiera de los valores de esfericidad mencionados

anteriormente, y en algunas realizaciones preferidas, una partícula se considera esférica si su esfericidad es de o aproximadamente de 0,91 o mayor.

[0036] En algunas realizaciones, la mediana de esfericidad de todas las partículas dentro de un material pulverulento dado puede ser mayor que 0,91, 0,95 o 0,99 (o mayor que aproximadamente 0,95 o aproximadamente 0,99). En algunas realizaciones, la mediana de esfericidad de todas las partículas dentro de un material pulverulento dado puede ser menor de 0,95 o 0,99 (o menor de aproximadamente 0,95 o aproximadamente 0,99). En algunas realizaciones, se considera que un polvo está esferoidizado si todo o un porcentaje umbral (como se describe por cualquiera de las fracciones siguientes) de las partículas medidas en el polvo dado tienen una mediana de esfericidad mayor o igual a cualquiera de los valores de esfericidad mencionados anteriormente, y en algunas realizaciones preferidas, se considera que un polvo está esferoidizado si todo o un porcentaje umbral de las partículas tienen una mediana de esfericidad de o aproximadamente de 0,91 o superior.

[0037] En algunas realizaciones, la fracción de partículas dentro de un material pulverulento que puede estar por encima de un umbral de esfericidad dado, tal como se ha descrito anteriormente, puede ser superior a 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 %, 95 % o 99 % (o superior a aproximadamente 50 %, aproximadamente 60 %, aproximadamente 70 %, aproximadamente 80 %, aproximadamente 90 %, aproximadamente 95 % o aproximadamente 99 %). En algunas realizaciones, la fracción de partículas dentro de un material pulverulento que puede estar por encima de un umbral de esfericidad dado, tal como se ha descrito anteriormente, puede ser inferior a 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 %, 95 % o 99 % (o inferior a aproximadamente 50 %, aproximadamente 60 %, aproximadamente 70 %, aproximadamente 80 %, aproximadamente 90 %, aproximadamente 95 % o aproximadamente 99 %).

[0038] La distribución de tamaño de partículas y la esfericidad se pueden determinar usando cualquier técnica conocida adecuada tal como mediante SEM, microscopía óptica, dispersión de luz dinámica, difracción láser, medición manual de dimensiones usando un programa informático de análisis de imágenes, por ejemplo, de aproximadamente 15-30 medidas por imagen para al menos tres imágenes de la misma sección o muestra de material, y cualquier otra técnica.

[0039] Las realizaciones del proceso descrito pueden incluir alimentar el material en polvo usando un alimentador de polvo a un plasma generado por microondas donde se controla la densidad de energía, los flujos de gas y el tiempo de residencia. Los parámetros del proceso tales como densidad de energía, caudales y tiempo de residencia del polvo en el plasma pueden depender de las características físicas del material del polvo, tales como el punto de fusión y la conductividad térmica. La densidad de energía puede variar de 20 W/cm³ a 500 W/cm³ (o de aproximadamente 20 W/cm³ a aproximadamente 500 W/cm³). Los flujos de gas totales pueden variar desde 0,000047 metros cúbicos/segundo a 0,0024 metros cúbicos/segundo (0,1 cfm a 50 cfm) (o aproximadamente 0,000047 metros cúbicos/segundo a aproximadamente 0,0024 metros cúbicos/segundo (0,1 cfm a aproximadamente 50 cfm)), y el tiempo de residencia se puede ajustar de 1 ms a 10 s (o aproximadamente 1 ms a aproximadamente 10 s). Este intervalo de parámetros de proceso cubrirá los parámetros de procesamiento requeridos para materiales con un amplio intervalo de punto de fusión y conductividad térmica.

[0040] En algunas realizaciones, la capacidad de controlar el oxígeno puede proporcionar ventajas. En algunas realizaciones donde el material se moltura, la molienda se puede realizar en agua. Se pueden usar diferentes gases ambientales para diferentes aplicaciones. Como ejemplo, se puede usar gas nitrógeno.

[0041] En algunas realizaciones, la materia prima podría tener morfología variada, tal como polvo angular, astillas angulares, polvo irregular y polvos de esponja. La materia prima se puede procesar para satisfacer ciertos criterios de tamaño, contenido de gas, contaminación de la pureza y química mediante el procesamiento, tal como, pero sin limitarse a, trituración, molienda, limpieza, lavado, secado y tamizado. La limpieza incluye eliminar contaminantes orgánicos, cerámicos u otros.

Procesamiento por plasma de microondas

[0042] Los parámetros del proceso se pueden optimizar para obtener la esferoidización máxima dependiendo del estado inicial de la materia prima. Para cada materia prima característica, los parámetros del proceso pueden optimizarse para obtener un resultado particular. Las publicaciones US-2018/0297122, US-8748785 B2 y US-9932673 B2 describen algunas técnicas de procesamiento que se pueden usar en el proceso descrito, específicamente para el procesamiento por plasma de microondas.

[0043] Un aspecto de la presente descripción implica un proceso de esferoidización usando un plasma generado por microondas. La materia prima en polvo se arrastra hacia un entorno de gas inerte y/o reductor y se inyecta en el entorno de plasma de microondas. Tras su inyección en un penacho o escape de plasma, la materia prima se esferoidiza y se libera en una cámara llena de un gas inerte y se dirige a tambores herméticamente sellados donde se almacena. Este proceso se puede llevar a cabo a presión atmosférica, en un vacío parcial o a una presión algo más alta que la presión atmosférica. En realizaciones alternativas, el proceso se puede llevar a cabo en un entorno de vacío bajo, medio o alto. El proceso puede funcionar de manera continua y los tambores se reemplazan a medida que se llenan con partículas esferoidizadas.

[0044] Los parámetros de procesamiento de enfriamiento incluyen, aunque no de forma limitativa, la velocidad de flujo de gas de enfriamiento, el tiempo de residencia de las partículas esferoidizadas en la zona caliente y la composición o fabricación del gas de enfriamiento. Por ejemplo, la velocidad de enfriamiento o la velocidad de inactivación de las partículas se pueden aumentar aumentando la velocidad de flujo del gas de enfriamiento. El tiempo de residencia de las partículas dentro de la zona caliente del plasma también se puede ajustar para proporcionar control. Es decir, el período de tiempo en que las partículas se exponen al plasma determina el grado de fusión de la partícula (es decir, la superficie de partícula fundida en comparación con la parte más interna o el núcleo de la partícula). En consecuencia, el grado de fusión determina el grado de enfriamiento necesario para la solidificación y, por lo tanto, es un parámetro del proceso de enfriamiento. El tiempo de residencia se puede ajustar con variables operativas tales como la velocidad de inyección de las partículas y el caudal (y condiciones, tales como flujo laminar o flujo turbulento) dentro de la zona caliente. Los cambios de equipo también se pueden usar para ajustar el tiempo de residencia. Por ejemplo, el tiempo de residencia se puede ajustar cambiando el área de sección transversal de la zona caliente.

[0045] Otro parámetro de procesamiento del enfriamiento que puede variarse o controlarse es la composición del gas de enfriamiento. Ciertos gases de enfriamiento son mejores conductores térmicos que otros. Por ejemplo, se considera que el helio es un gas conductor térmico de alto rendimiento. Cuanto mayor sea la conductividad térmica del gas de enfriamiento, más rápido se pueden enfriar/inactivar las partículas esferoidizadas. Al controlar la composición del gas refrigerante (por ejemplo, controlando la cantidad o relación entre gases conductores térmicos de alto y bajo rendimiento), la velocidad de enfriamiento puede controlarse.

[0046] En una realización ilustrativa, el gas inerte se purga continuamente rodeando la alimentación en polvo para eliminar el oxígeno dentro de una tolva de alimentación de polvo. A continuación, se arrastra un volumen continuo de alimentación de polvo dentro de un gas inerte y se alimenta al plasma generado por microondas para deshidrogenación o para la composición/mantenimiento de la pureza de las partículas esferoidizadas. En un ejemplo, el plasma generado por microondas puede generarse usando una antorcha de plasma de microondas, como se describe en la publicación número US-2013/0270261 y/o en las patentes US-8.748.785, US-9.023.259, US-9.259.785 y US-9.206.085. En algunas realizaciones, las partículas están expuestas a un perfil de temperatura uniforme entre 4.000 y 8.000 K dentro del plasma generado por microondas. En algunas realizaciones, las partículas están expuestas a un perfil de temperatura uniforme entre 3.000 y 8.000 K dentro del plasma generado por microondas. En algunas realizaciones, el plasma generado por microondas puede generarse usando una mezcla de argón e hidrógeno (H₂). En algunas realizaciones, el plasma generado por microondas puede generarse usando nitrógeno (N₂) gaseoso. En ocasiones, el plasma generado por microondas usando N₂ gaseoso puede ser más grande, más estable y más laminar que el plasma generado por microondas usando una mezcla de argón y H₂, lo que puede permitir lograr una mayor temperatura del plasma. Para ciertas materias primas, un plasma de mayor temperatura puede ser beneficioso debido a su alta temperatura de fusión. Por ejemplo, YSZ, W y Mo tienen temperaturas de fusión altas y, por lo tanto, pueden beneficiarse de un plasma de mayor temperatura. Para estas materias primas, podría ser ventajoso usar un plasma generado por microondas usando N₂ gaseoso.

[0047] Dentro de la antorcha de plasma, las partículas de polvo se calientan y funden rápidamente. Como las partículas dentro del proceso se arrastran dentro de un gas inerte, tal como argón, generalmente el contacto entre las partículas es mínimo, reduciendo en gran medida la aparición de aglomerados de partículas. Por lo tanto, la necesidad de tamizado posterior al proceso se reduce o elimina en gran medida, y la distribución de tamaño de partículas resultante podría ser prácticamente la misma que la distribución de tamaño de partículas de los materiales de alimentación de entrada. En realizaciones ilustrativas, la distribución de tamaño de partículas de los materiales de alimentación se mantiene en los productos finales.

[0048] Dentro del penacho de plasma, o escape, los materiales quedan inherentemente esferoidizados debido a la tensión superficial del líquido. Como el plasma generado por microondas presenta un perfil de temperatura sustancialmente uniforme, se podría lograr más del 90 % de esferoidización de las partículas (por ejemplo, 91 %, 93 %, 95 %, 97 %, 99 %, 100 %). Después de salir del plasma, las partículas se enfrían antes de entrar en los recipientes de recogida. Cuando los recipientes de recogida se llenan, pueden retirarse y reemplazarse por un recipiente vacío según sea necesario sin detener el proceso.

[0049] En una realización ilustrativa, el gas inerte se purga continuamente rodeando la alimentación para eliminar el oxígeno dentro de una tolva de alimentación de polvo. A continuación, se arrastra un volumen continuo de alimentación de polvo dentro de un gas inerte y se alimenta al plasma generado por microondas para la composición/mantenimiento de la pureza de las partículas esferoidizadas. En un ejemplo, el plasma generado por microondas puede generarse usando una antorcha de plasma de microondas, como se describe en la publicación número US-2013/0270261 y/o en la patente US-8.748.785. En algunas realizaciones, las partículas están expuestas a un perfil de temperatura uniforme entre 4.000 y 8.000 K dentro del plasma generado por microondas. Dentro de la antorcha de plasma, las partículas de polvo se calientan y funden rápidamente. Como las partículas dentro del proceso se arrastran dentro de un gas inerte, tal como argón, generalmente el contacto entre las partículas es mínimo, reduciendo en gran medida la aparición de aglomerados de partículas. Por lo tanto, la necesidad de tamizado posterior al proceso se reduce o elimina en gran medida, y la distribución de tamaño de partículas resultante podría ser prácticamente la misma que la distribución de tamaño de partículas de los materiales de alimentación de entrada. En realizaciones ilustrativas, la distribución de tamaño de partículas de los materiales de alimentación se mantiene en los productos finales.

[0050] Dentro del plasma, la materia prima queda inherentemente esferoidizada debido a la tensión superficial del líquido. Como el plasma generado por microondas presenta un perfil de temperatura sustancialmente uniforme, se podría lograr más del 90 % de esferoidización de las partículas (por ejemplo, 91 %, 93 %, 95 %, 97 %, 99 %, 100 %). En las realizaciones, se abordan tanto la esferoidización como la adaptación de la microestructura (por ejemplo, cambio, manipulación, control) o, en algunos casos, se controla parcialmente por el tratamiento con el plasma generado por microondas. Después de salir del plasma, las partículas se enfrían antes de entrar en los recipientes de recogida. Cuando los recipientes de recogida se llenan, pueden retirarse y reemplazarse por un recipiente vacío según sea necesario sin detener el proceso.

[0051] La Figura 1 es un diagrama de flujo de un método ilustrativo (250) para producir material en polvo esférico, según una realización de la presente descripción. En esta realización, el proceso (250) comienza introduciendo un material de alimentación en una antorcha de plasma (255). Según la invención, la antorcha de plasma es una antorcha de plasma generada por microondas. Dentro de la antorcha de plasma, los materiales de alimentación se exponen a un plasma que provoca que los materiales se fundan, como se ha descrito anteriormente (260). Los materiales fundidos se esferoidizan por tensión superficial, según se ha descrito anteriormente (260b). Después de salir del plasma, los productos se enfrían y solidifican, quedando bloqueados en su forma esférica y a continuación se recogen (265).

[0052] Según se ha descrito anteriormente, la antorcha de plasma es una antorcha de plasma generada por microondas. En una realización ilustrativa, un alimentador de polvo giratorio AT-1200 (comercializado por Thermach Inc.) permite un buen control de la velocidad de alimentación del polvo. En una realización alternativa, el polvo puede alimentarse al plasma usando otros medios adecuados, tales como un alimentador de lecho fluidizado. Los materiales de la alimentación se pueden introducir a una velocidad constante, y la velocidad se puede ajustar de manera que las partículas no se aglomeren durante las etapas de procesamiento posteriores. En otra realización ilustrativa, los materiales de la alimentación a procesar primero se tamizan y se clasifican según sus diámetros, con un diámetro mínimo de 1 micrómetro (μm) y un diámetro máximo de 22 μm , o un mínimo de 5 μm y un máximo de 15 μm , o un mínimo de 15 μm y un máximo de 45 μm o un mínimo de 22 μm y un máximo de 44 μm , o un mínimo de 20 μm a un máximo de 63 μm , o un mínimo de 44 μm y un máximo de 70 μm , o un mínimo de 70 μm y un máximo de 106 μm , o un mínimo de 105 μm a un máximo de 150 μm , o un mínimo de 106 μm y un máximo de 300 μm . Como se apreciará, estos valores superior e inferior se proporcionan solo con fines ilustrativos, y se pueden usar valores de distribución de tamaño alternativos en otras realizaciones. Esto elimina la recirculación de partículas ligeras por encima de la zona caliente del plasma y también asegura que la energía del proceso presente en el plasma sea suficiente para fundir las partículas sin vaporizarlas. El pretamizado permite una asignación eficiente de la energía de microondas necesaria para fundir las partículas sin vaporizar el material.

[0053] En algunas realizaciones, el entorno y/o los requisitos de sellado de los recipientes se controlan cuidadosamente. Es decir, para evitar la contaminación o la posible oxidación del material en polvo, el entorno y/o los sellos de los recipientes se adaptan a la aplicación. En una realización, los recipientes están al vacío. En una realización, los recipientes se sellan herméticamente después de llenarse con el polvo generado según la presente tecnología. En una realización, los recipientes se rellenan de nuevo con un gas inerte, tal como, por ejemplo, argón. Debido a la naturaleza continua del proceso, una vez que se llena un recipiente, puede retirarse y reemplazarse por un recipiente vacío según sea necesario sin detener el proceso de plasma.

[0054] La Figura 2 ilustra una antorcha de plasma de microondas ilustrativa no según la presente invención que se puede usar en la producción de material en polvo esferoidal. Según se ha descrito anteriormente, los materiales de alimentación 9, 10 se pueden introducir en una antorcha 3 de plasma de microondas, que mantiene un plasma 11 generado por microondas. En una realización ilustrativa, se puede inyectar un flujo de gas de arrastre y un flujo de la vaina (flechas descendentes) a través de las entradas 5 para crear condiciones de flujo dentro de la antorcha de plasma antes del encendido del plasma 11 a través de la fuente 1 de radiación de microondas. En algunas realizaciones, el flujo de arrastre y el flujo de la vaina son ambos simétricos respecto al eje y laminares, mientras que en otras realizaciones los flujos de gas son turbulentos. Los materiales de alimentación 9 se introducen axialmente en la antorcha de plasma de microondas, donde son arrastrados por un flujo de gas que dirige los materiales hacia el plasma. Según se ha descrito anteriormente, los flujos de gas pueden consistir en una columna de un gas noble de la tabla periódica, tal como helio, neón, argón, etc. Dentro del plasma generado por microondas, los materiales de alimentación se funden para esferoidizar los materiales. Las entradas 5 se pueden usar para introducir gases de proceso para arrastrar y acelerar las partículas 9, 10 a lo largo del eje 12 hacia el plasma 11. En primer lugar, las partículas 9 se aceleran por arrastre usando un flujo de gas laminar central (conjunto superior de flechas) creado a través de un hueco anular dentro de la antorcha de plasma. Se puede crear un segundo flujo laminar (conjunto inferior de flechas) a través de un segundo hueco anular para proporcionar un revestimiento laminar a la pared interior del antorcha dieléctrica 3 para protegerla de la fusión debido a la radiación térmica del plasma 11. En realizaciones ilustrativas, los flujos laminares dirigen las partículas 9, 10 hacia el plasma 11 a lo largo de una ruta lo más cerca posible del eje 12, exponiéndolas a una temperatura sustancialmente uniforme dentro del plasma. En algunas realizaciones, están presentes condiciones de flujo adecuadas para evitar que las partículas 10 alcancen la pared interna de la antorcha de plasma 3 donde podría tener lugar la unión de plasma. Las partículas 9, 10 son guiadas por los flujos de gas hacia el plasma de microondas 11, donde cada una experimenta un tratamiento térmico homogéneo. Se pueden ajustar diversos parámetros del plasma generado por microondas, así como de las partículas, para lograr los resultados deseados. Estos parámetros pueden incluir energía de microondas, tamaño

de material de alimentación, velocidad de inserción de material de alimentación, velocidades de flujo de gas, temperatura de plasma, tiempo de residencia y velocidades de enfriamiento. En algunas realizaciones, la velocidad de enfriamiento o inactivación no es inferior a 10^{+3} grados C/s tras salir del plasma 11. Según se ha descrito anteriormente, en esta realización particular, los flujos de gas son laminares; sin embargo, en realizaciones alternativas, se pueden usar flujos de remolino o flujos turbulentos para dirigir los materiales de alimentación hacia el plasma.

[0055] Las Figuras 3A-B ilustran una antorcha de plasma de microondas ilustrativa que incluye una tolva de alimentación lateral en lugar de la tolva de alimentación superior que se muestra en la realización de la Figura 2, lo que permite la alimentación corriente abajo. Por lo tanto, en esta implementación según la invención, la materia prima se inyecta después del aplicador de antorcha de plasma de microondas para su procesamiento en el “penacho” o “escape” de la antorcha de plasma de microondas. Por lo tanto, el plasma de la antorcha de plasma de microondas se acopla al extremo de salida de la antorcha de plasma para permitir la alimentación corriente abajo de la materia prima, en lugar de la alimentación superior (o alimentación corriente arriba) analizada con respecto a la Figura 2. Esta alimentación corriente abajo puede extender ventajosamente la vida útil de la antorcha ya que la zona caliente se preserva indefinidamente de cualquier depósito de material en las paredes del revestimiento de la zona caliente. Además, permite acoplar el penacho de plasma corriente abajo a una temperatura adecuada para la fusión óptima de polvos a través de un direccionamiento preciso del nivel de temperatura y el tiempo de residencia. Por ejemplo, existe la capacidad de marcar la longitud del penacho usando polvo de microondas, flujos de gas y presión en el recipiente de enfriamiento que contiene el penacho de plasma.

[0056] En general, el método de esferoidización corriente abajo puede utilizar dos configuraciones de hardware principales para establecer un penacho de plasma estable que son: antorcha anular, tal como se describe en la publicación US-2018/0297122 o las antorchas de remolino descritas en los documentos US 8748785 B2 y US 9932673 B2. Tanto la Figura 3A como la Figura 3B muestran realizaciones de un método que puede implementarse con una antorcha anular o una antorcha de remolino. Se usa un sistema de alimentación acoplado cerca del penacho de plasma a la salida de la antorcha de plasma para alimentar el polvo axisimétricamente para preservar la homogeneidad del proceso. Otras configuraciones de alimentación pueden incluir una o varias boquillas de alimentación individuales que rodean el penacho de plasma. El polvo de materia prima puede entrar en el plasma desde cualquier dirección y puede alimentarse en 360° alrededor del plasma. El polvo de materia prima puede entrar en el plasma en una posición específica a lo largo de la longitud del penacho de plasma donde se ha medido una temperatura específica y un tiempo de residencia estimado para una fusión suficiente de las partículas. Las partículas fundidas salen del plasma hacia una cámara sellada donde se inactivan después.

[0057] Los materiales de alimentación 314 se pueden introducir en una antorcha de plasma de microondas 302. Se puede usar una tolva 306 para almacenar el material de alimentación 314 antes de alimentar el material de alimentación 314 al penacho de plasma de microondas 302 o escape. El material de alimentación 314 se puede inyectar en cualquier ángulo con respecto a la dirección longitudinal de la antorcha de plasma 302. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 o 55 grados. En algunas realizaciones, la materia prima se puede inyectar en un ángulo mayor de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 o 55 grados. En algunas realizaciones, la materia prima se puede inyectar en un ángulo menor de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 o 55 grados. En realizaciones alternativas, la materia prima se puede inyectar a lo largo del eje longitudinal de la antorcha de plasma. La radiación de microondas se puede llevar a la antorcha de plasma a través de una guía de ondas 304. El material de alimentación 314 se alimenta a una cámara 310 de plasma y se pone en contacto con el plasma generado por la antorcha de plasma 302. Cuando está en contacto con el penacho de plasma o el escape de plasma, el material de alimentación se funde. Mientras sigue en la cámara 310 de plasma, el material de alimentación 314 se enfría y solidifica antes de recogerlo en un recipiente 312. Alternativamente, el material de alimentación 314 puede salir de la cámara 310 de plasma mientras sigue en fase fundida y se enfría y solidifica fuera de la cámara de plasma. En algunas realizaciones, se puede usar una cámara de enfriamiento, que puede usar o no presión positiva. Aunque se describe por separado de la Figura 2, se entiende que las realizaciones de las Figuras 3A-B usan características y condiciones similares a la realización de la Figura 2.

[0058] En algunas realizaciones, la implementación del método de inyección corriente abajo puede usar un remolino corriente abajo, esferoidización extendida o inactivación. Un remolino corriente abajo se refiere a un componente de remolino adicional que puede introducirse corriente abajo de la antorcha de plasma para mantener el polvo alejado de las paredes del tubo. Una esferoidización extendida se refiere a una cámara de plasma extendida que permite un tiempo de residencia más prolongado del polvo. En algunas implementaciones, es posible que no se use un remolino corriente abajo, la esferoidización extendida o la inactivación. En algunas realizaciones, se puede usar uno de un remolino corriente abajo, esferoidización extendida o inactivación. En algunas realizaciones, se pueden usar dos de un remolino corriente abajo, esferoidización extendida o inactivación.

[0059] La inyección de polvo desde abajo puede dar como resultado la reducción o eliminación del revestimiento del tubo de plasma en la región de microondas. Cuando el revestimiento se vuelve demasiado grande, la energía de microondas no puede entrar en la zona caliente del plasma y el acoplamiento del plasma se reduce. En ocasiones, el plasma puede incluso extinguirse y volverse inestable. La disminución de la intensidad del plasma significa disminuciones en el nivel de esferoidización del polvo. Por lo tanto, al alimentar materia prima por debajo de la región de microondas y acoplar el penacho de plasma a la salida de la antorcha de plasma, se elimina el revestimiento en

esta región y el acoplamiento del polvo de microondas al plasma permanece constante a través del proceso permitiendo una esferoidización adecuada.

[0060] Por lo tanto, ventajosamente, el enfoque corriente abajo puede permitir que el método funcione durante largos períodos a medida que se reduce el problema del revestimiento. Además, el enfoque corriente abajo permite la capacidad de inyectar más polvo ya que no hay necesidad de minimizar el revestimiento.

[0061] A partir de la descripción anterior, se apreciará que se describen métodos de procesamiento de la invención para convertir materias primas únicas en polvo esferoidizado. Si bien varios componentes, técnicas y aspectos se han descrito con un cierto grado de particularidad, se manifiesta que pueden realizarse muchos cambios en los diseños, construcciones y metodología específicos descritos anteriormente en la presente memoria sin apartarse del alcance de esta descripción.

[0062] Ciertas características que se describen en esta descripción en el contexto de implementaciones separadas también pueden implementarse en combinación en una sola implementación. Por el contrario, varias características que se describen en el contexto de una sola implementación también pueden implementarse en múltiples implementaciones por separado o en cualquier subcombinación adecuada. Además, aunque las características se han podido describir anteriormente actuando en ciertas combinaciones, una o más características de una combinación reivindicada pueden, en algunos casos, eliminarse de la combinación, y la combinación puede reivindicarse como cualquier subcombinación o variación de cualquier subcombinación.

[0063] Además, aunque los métodos pueden representarse en los dibujos o describirse en la memoria descriptiva en un orden particular, dichos métodos no tienen que realizarse en el orden particular mostrado o en orden secuencial, y que todos los métodos no necesitan realizarse para lograr resultados deseables. Otros métodos que no se representan o describen pueden incorporarse a los métodos y procesos de ejemplo. Por ejemplo, pueden realizarse uno o más métodos adicionales antes, después, simultáneamente o entre cualquiera de los métodos descritos. Además, los métodos pueden reorganizarse o reordenarse en otras implementaciones. Además, la separación de diversos componentes del sistema en las implementaciones descritas anteriormente no debe entenderse como que dicha separación sea obligatoria en todas las implementaciones, y debe entenderse que los componentes y sistemas descritos generalmente pueden integrarse en un único producto o empaquetarse en múltiples productos. Además, otras implementaciones están dentro del alcance de esta descripción.

[0064] Una redacción condicional, tal como “puede”, “podría”, “podría” o “pueden”, salvo que se indique de cualquier otra manera de forma específica o que se entienda de otro modo dentro del contexto donde se usa, generalmente pretende transmitir que ciertas realizaciones incluyen o no incluyen, ciertas características, elementos y/o etapas. Por lo tanto, dicha redacción condicional no pretende generalmente implicar que las características, elementos y/o etapas se requieren de ninguna manera para una o más realizaciones.

[0065] La redacción conjuntiva tal como la expresión “al menos uno de X, Y y Z”, salvo que se indique de cualquier otra manera de forma específica, se entiende de otro modo con el contexto como se usa en general para transmitir que un artículo, término, etc., puede ser X, Y o Z. Por lo tanto, dicha redacción conjuntiva no pretende generalmente implicar que ciertas realizaciones requieren la presencia de al menos uno de X, al menos uno de Y y al menos uno de Z.

[0066] La redacción de grado usada en la presente descripción, tales como los términos “aproximadamente”, “alrededor de”, “generalmente” y “sustancialmente” como se usa en la presente memoria representan un valor, cantidad o característica cercana al valor, cantidad o característica indicada que sigue realizando una función deseada o logra un resultado deseado. Por ejemplo, los términos “aproximadamente”, “alrededor de”, “generalmente” y “sustancialmente” pueden referirse a una cantidad que está dentro de menos del o igual al 10 % de, dentro de menos del o igual al 5 % de, dentro de menos del o igual al 1 % de, dentro de menos del o igual al 0,1 % de, y dentro de menos del o igual al 0,01 % de la cantidad indicada. Si la cantidad indicada es 0 (por ejemplo, ninguno, que no tiene), los intervalos mencionados anteriormente pueden ser intervalos específicos y no comprendidos en un % específico del valor. Por ejemplo, dentro de menos del o igual al 10 % en p/vol. de, dentro de menos del o igual al 5 % en p/vol. de, dentro de menos del o igual al 1 % en p/vol. de, dentro de menos de o igual al 0,1 % en p/ vol. de, y dentro de menos del o igual al 0,01 % en p/vol. de, la cantidad indicada.

[0067] La descripción en la presente memoria de cualquier rasgo, aspecto, método, propiedad, característica, calidad, atributo, elemento o similar en relación con diversas realizaciones puede usarse en todas las demás realizaciones expuestas en la presente descripción. Además, se reconocerá que cualquier método descrito en la presente memoria puede llevarse a la práctica usando cualquier dispositivo adecuado para realizar las etapas mencionadas.

[0068] Si bien se han descrito en detalle varias realizaciones y variaciones de las mismas, otras modificaciones y métodos de uso de los mismos serán evidentes para los expertos en la técnica. Por consiguiente, debe entenderse que pueden realizarse diversas aplicaciones, modificaciones, materiales y sustituciones sin apartarse del alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método para producir un polvo esferoidizado a partir de un material de alimentación, comprendiendo el método:
 - i. introducir un material de alimentación que comprende partículas en una antorcha de plasma de microondas, en donde la introducción del material de alimentación en la antorcha de plasma de microondas comprende inyectar el material de alimentación después de un aplicador de plasma de microondas para su procesamiento en el penacho o escape de la antorcha de plasma de microondas y, en donde la relación dimensional promedio colectiva o mediana del material de alimentación está entre 5:1 a 20:1; y
 - fundir y esferoidizar las partículas dentro de un plasma generado por la antorcha de plasma de microondas para formar polvo esferoidizado, en donde el polvo esferoidizado comprende una mediana de esfericidad de al menos 0,91 y una distribución de tamaño de partículas de 15 μm a 105 μm ; y
 - en donde:
 - ii. el material de alimentación comprende circonio estabilizado con itrio (YSZ) y las partículas son partículas de YSZ;
 - iii. el material de alimentación comprende aluminio (Al) o aleación de Al y las partículas son partículas de Al o partículas de aleación de Al;
 - iv. el material de alimentación comprende una aleación atomizada con agua y las partículas son partículas de aleación atomizada con agua;
 - v. el material de alimentación comprende tantalio (Ta) y las partículas son partículas de Ta;
 - vi. el material de alimentación comprende nitrato de titanio (TiN) y las partículas son partículas de TiN;
 - vii. el material de alimentación comprende renio (Re) y las partículas son partículas de Re;
 - viii. el material de alimentación comprende tungsteno (W) y las partículas son partículas de W;
 - ix. el material de alimentación comprende molibdeno (Mo) y las partículas son partículas de Mo.
2. El método de la reivindicación 1 (ii), en donde el Al o aleación de Al comprende una serie de Al 6000 o una aleación de aluminio-sílice-magnesio (AlSiMg), y en donde el AlSiMg comprende AlSi10Mg.
3. El método de la reivindicación 1 (iii), en donde la aleación atomizada con agua comprende acero inoxidable 17-4 moldeado por inyección de metal (MIM) o la aleación Inconel 625 (IN625).
4. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además tamizar el material de alimentación antes de introducir el material de alimentación en la antorcha de plasma de microondas.
5. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el polvo esferoidizado tiene una mediana de esfericidad de al menos 0,99.
6. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el polvo esferoidizado tiene una distribución de tamaño de partículas de 15 μm a 45 μm .
7. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el polvo esferoidizado tiene una distribución de tamaño de partículas de 45 μm a 105 μm .

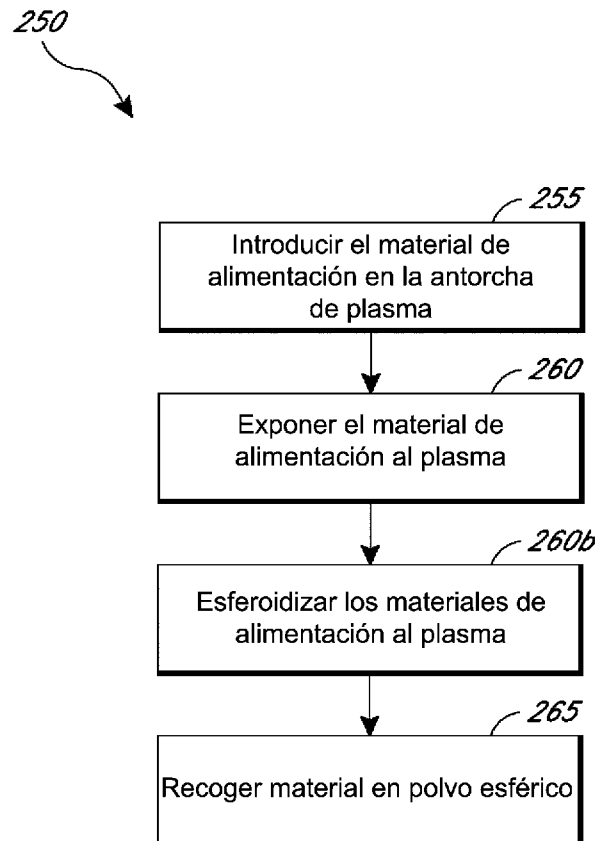


FIGURA 1

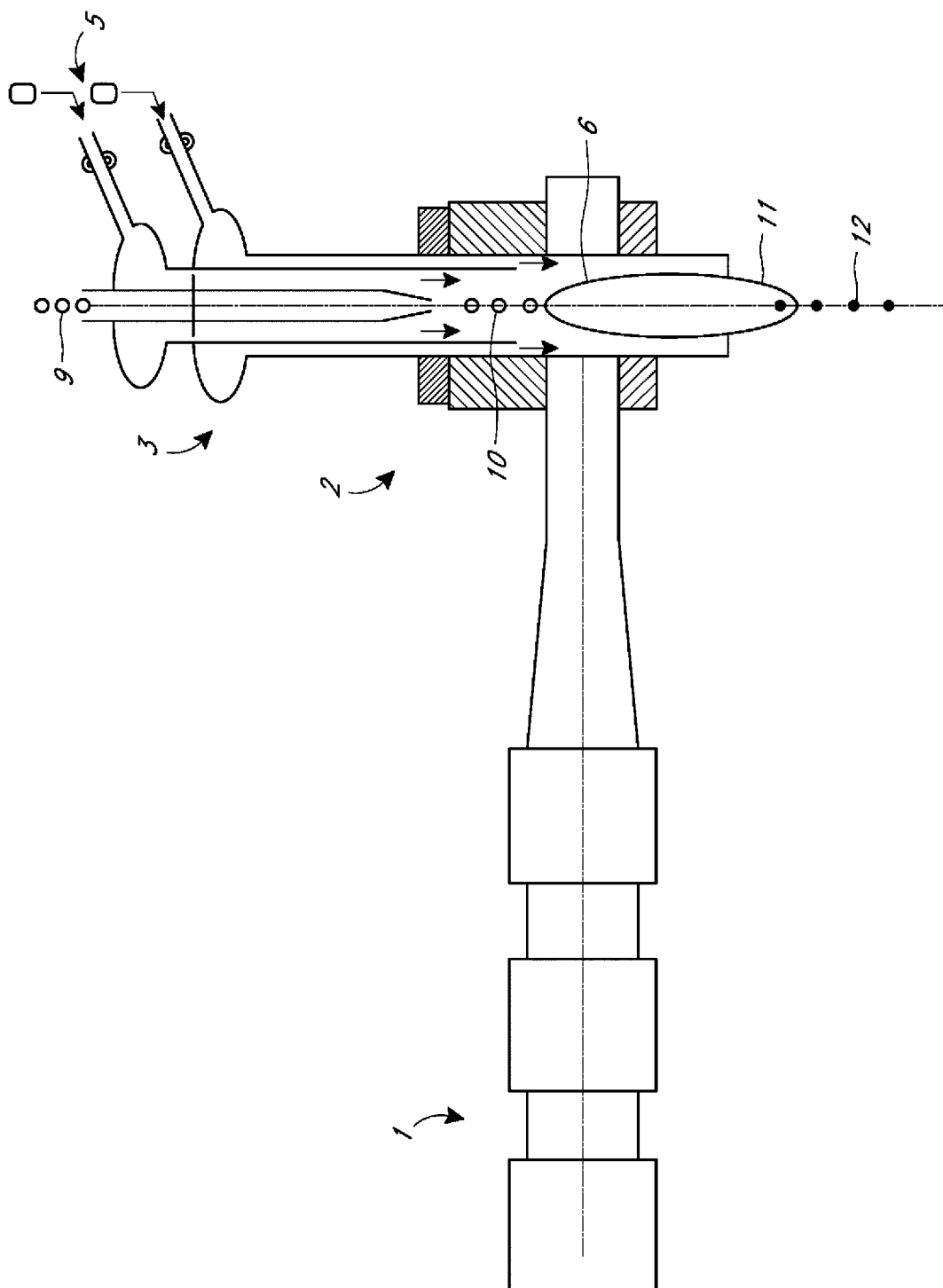


FIGURA 2

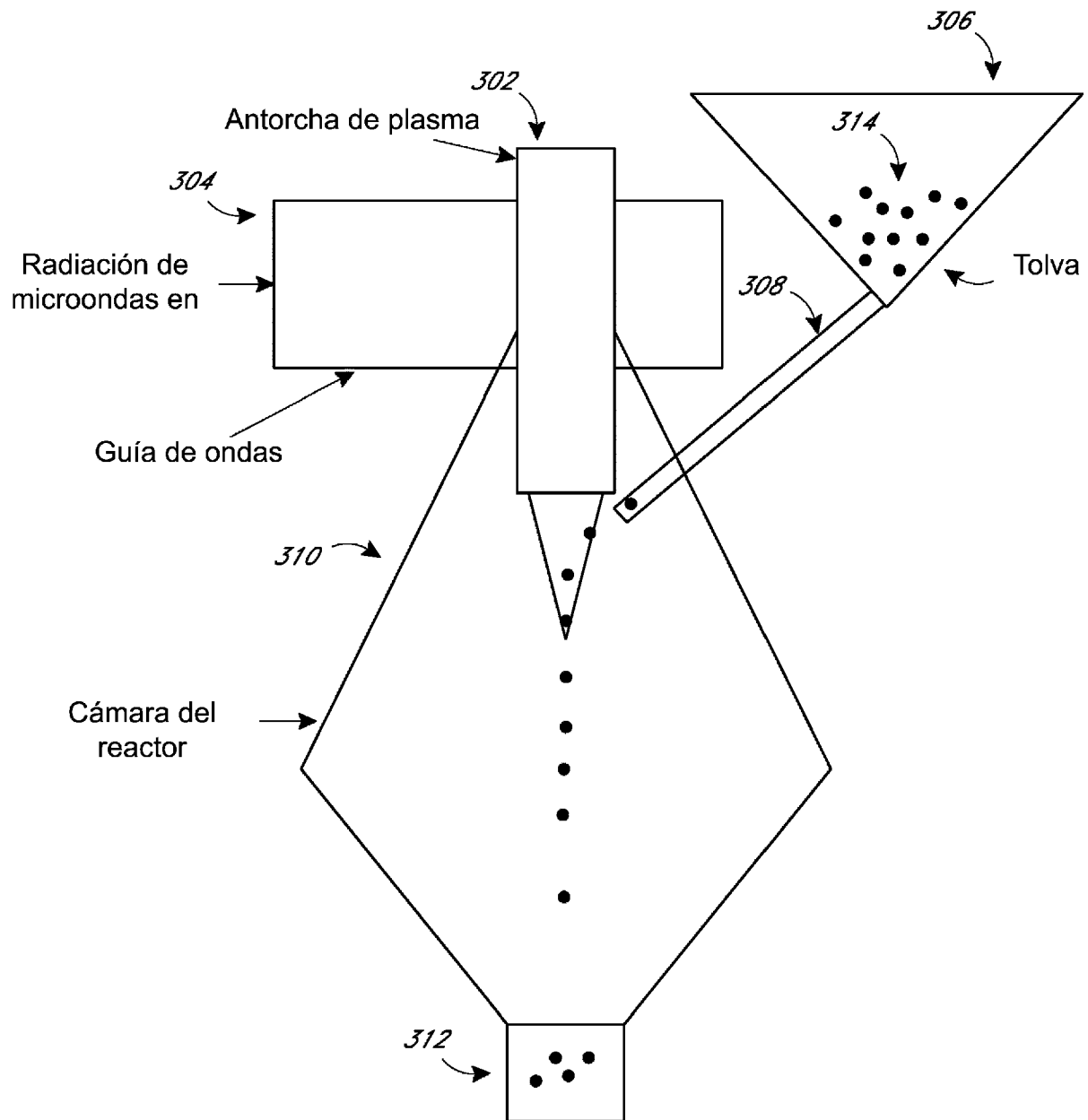


FIGURA 3A

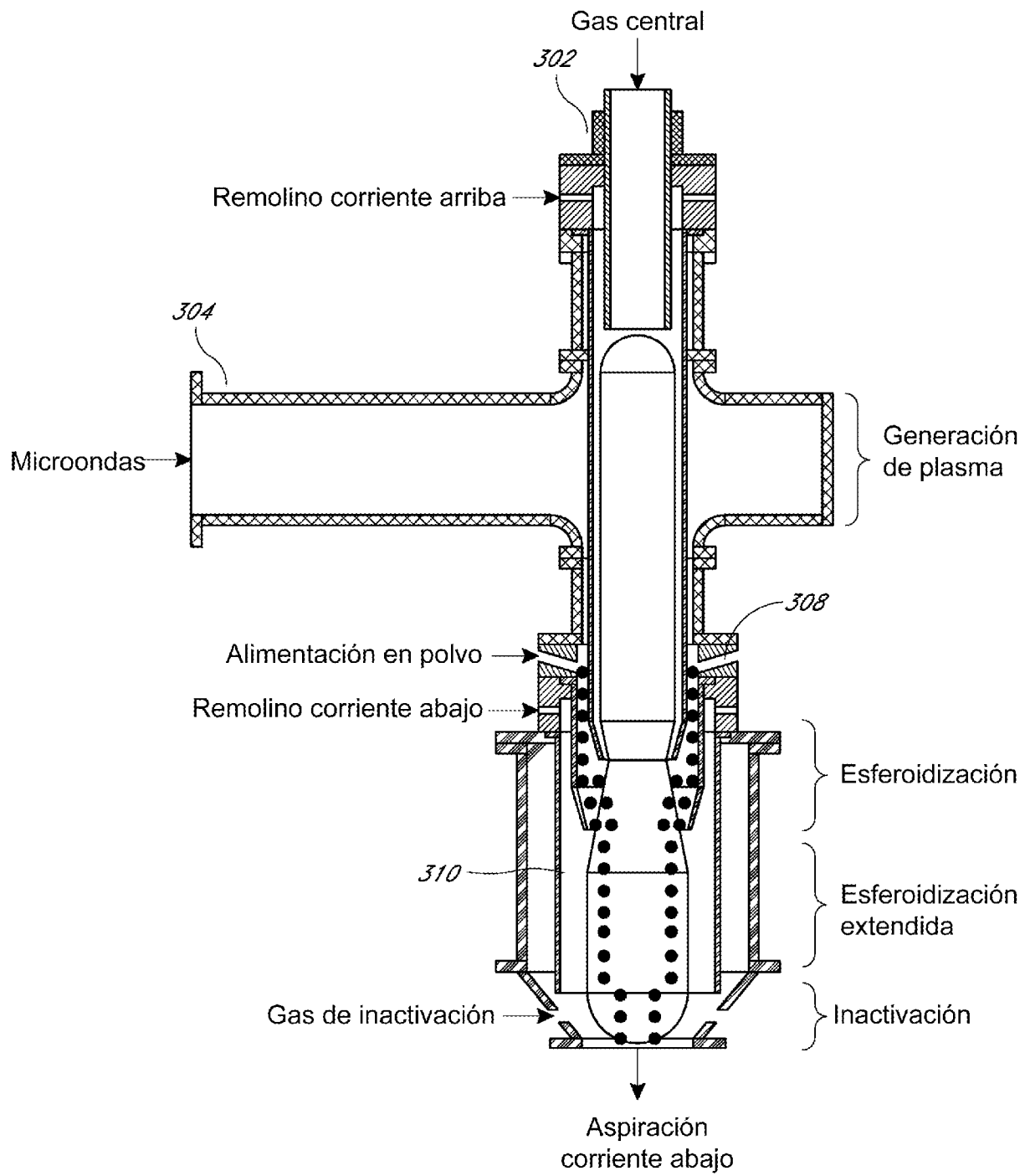


FIGURA 3B