

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 779 448**

51 Int. Cl.:

B29C 64/106 (2007.01)

B29C 64/209 (2007.01)

B33Y 50/02 (2015.01)

B33Y 30/00 (2015.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.07.2015** **E 15177165 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.12.2019** **EP 3117982**

54 Título: **Sistema y procedimiento de impresión 3D**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.08.2020

73 Titular/es:

SCULPMAN NV (100.0%)
Kwakenbeekstraat 5B
1755 Gooik, BE

72 Inventor/es:

VANACKER, GEROLF

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 779 448 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

Sistema y procedimiento de impresión 3D

Campo técnico de la invención

5 La presente invención se refiere a un sistema de impresión 3D capaz de imprimir con gránulos y a un procedimiento de impresión 3D con el mismo.

Antecedentes de la invención

10 Los sistemas de fabricación aditiva se usan para «imprimir» representaciones digitales en 3D procesando secciones transversales horizontales de la pieza (capas). Estas capas se cortan mediante un algoritmo informático y para cada una de estas capas se calcula una trayectoria de la herramienta y los parámetros de procedimiento apropiados. El programa resultante permite que el aparato de fabricación aditiva construya la pieza capa a capa usando una o más técnicas de fabricación aditiva (por ejemplo, sinterización selectiva por láser, inyección de polvo/aglutinante, procedimientos estereolitográficos o técnicas basadas en extrusión).

15 El método de extrusión implementado en las máquinas actuales (patentado y de código abierto) se conoce como modelado por deposición fundida (FDM, por sus siglas en inglés). El FDM se describe, por ejemplo, en la Patente Estadounidense US 5,121,329 y se usan hebras o filamentos de material de construcción en bruto que se conducen a través de una boquilla calentada que licúa este material para depositarlo en la plataforma de construcción. El filamento se conduce a través del cabezal de extrusión aplicando una fuerza (generalmente con un motor eléctrico) sobre la parte sólida del material. Este filamento todavía sólido ejerce una presión de empuje sobre la porción ya licuada más profunda dentro de la boquilla calentada y, como tal, controla el flujo del material de construcción sobre el área de construcción. Si el filamento se conduce hacia adelante (hacia la boquilla), el material fluye fuera de la boquilla, si se retrae, el flujo se detiene (aunque una porción del material ya fundido puede fugarse debido a la gravedad). La velocidad a la que se empuja el material de construcción a través de la boquilla define el flujo al que se deposita el material licuado.

25 En la Patente Estadounidense US 5,121,329 se describe un aparato para hacer objetos físicos tridimensionales de una forma predeterminada depositando secuencialmente múltiples capas de material solidificante en un miembro base en un patrón deseado, que comprende: un cabezal móvil que tiene medios de paso de flujo conectados a una salida de distribución en un extremo del mismo, comprendiendo dicha salida una punta con un orificio de descarga de tamaño predeterminado en el mismo; un suministro de material que solidifica a una temperatura predeterminada y medios para introducir dicho material en un estado fluido en dichos medios de paso de flujo; un miembro base dispuesto en las inmediaciones funcionales de dicha salida dispensadora de dicho cabezal dispensador y medios mecánicos para mover dicho cabezal dispensador y dicho miembro base uno con respecto al otro en las tres dimensiones a lo largo de los ejes «X», «Y» y «Z» en un sistema de coordenadas rectangulares en una secuencia y con un patrón predeterminados y para desplazar dicho cabezal dispensador una distancia incremental predeterminada en relación con el miembro base y, por lo tanto, en relación con cada capa sucesiva depositada antes del comienzo de la formación de cada capa sucesiva para formar múltiples capas de dicho material de espesor predeterminado que se acumulan una sobre otra secuencialmente a medida que solidifican después de la descarga de dicho orificio; y medios para medir la descarga de dicho material en una corriente de fluido desde dicho orificio de descarga a una velocidad predeterminada sobre dicho miembro base para formar un objeto tridimensional a medida que dicho cabezal dispensador y el miembro base se mueven uno respecto al otro.

40 En la Patente Estadounidense US 2015-130101A1 se describe un método de impresión tridimensional, comprendiendo el método los pasos: entregar una pluralidad de gránulos a un conjunto de impresora; formar un gránulo de la pluralidad de gránulos en un material fundido y expulsar el material fundido del conjunto de impresora para facilitar la impresión de un objeto tridimensional.

45 En la Patente Estadounidense US 6,251,340 se describe un sistema de deposición de filamentos para fabricar objetos tridimensionales depositando selectivamente filamentos de material en un sustrato controlable en posición, incluyendo el sistema de deposición de filamentos preferiblemente un crisol para contener un depósito de material formador de filamentos, un orificio dispuesto en el fondo del crisol a través del cual pasa el material de formación para formar un flujo de filamentos de material y un aparato de control de flujo para controlar y depositar selectivamente el flujo de filamentos de material sobre el sustrato exclusivamente cuando sea necesario para formar el objeto tridimensional.

50 En la Patente Estadounidense US 2015-0035209A1 se describe un método para formar un objeto metálico tridimensional que comprende extruir una pasta de óxido metálico que comprende partículas de óxido metálico, un aglutinante polimérico y un disolvente orgánico, a través de una punta para depositar capas secuenciales de la pasta de óxido metálico en un sustrato, por lo que se forma un objeto de óxido metálico tridimensional sobre el sustrato y exponer el objeto de óxido metálico tridimensional a un gas reductor a una temperatura y durante un período de tiempo suficientes para reducir y sinterizar las partículas de óxido metálico, por lo que se forma el objeto metálico tridimensional.

Los gránulos que comprenden al menos un 50% en volumen de partículas metálicas o cerámicas de tamaño micrométrico en al menos un polímero como aglutinante, como las materias primas de moldeo por inyección de metal (MIM, por sus siglas en inglés) y moldeo por inyección de cerámica (CIM, por sus siglas en inglés), son muy frágiles en forma de filamento (debido a la alta carga de partículas rígidas en una cantidad relativamente pequeña de polímero), no se pueden formar fácilmente los filamentos como se describe en la Patente Estadounidense US 5,121,329 y, por lo tanto, no pueden extruirse con las técnicas presentadas allí y en las máquinas de fabricación aditiva basadas en extrusión de la técnica anterior.

En la Patente Estadounidense US 6,505,089 se describe un método para fabricar un modelo 3D, comprendiendo el modelo pasos para diseñar el modelo 3D y recopilar datos de la forma del modelo 3D cortando el modelo 3D en varias capas con un grosor en altura, dividiendo cada una de las capas en varias subcapas para que se forme una subcapa depositando un material de una vez, depositando un material usando una boquilla variable según los datos de la forma en relación con una subcapa dividida a partir de una capa del modelo 3D y decidiendo si la capa del modelo 3D se ha completado. Sin embargo, en la Patente Estadounidense US 6,505,089 B1 no se deja claro cómo las barreras y las guardas protectoras (y otros subsistemas que operan activamente) podrían accionarse de manera realista.

En la Patente Estadounidense US 6,030,199 se describe, en un sistema para formar un objeto tridimensional depositando capas sucesivas de un material de formación fundido sobre un sustrato móvil, un aparato para proporcionar dichas capas que comprende: un recipiente para contener dicho material de formación fundido; un puerto de entrada para suministrar material de formación a dicho recipiente; un miembro móvil para presurizar dicho material de formación fundido dentro de dicho recipiente; un puerto de salida y un mecanismo de boquilla plano y ajustable que coopera con dicho puerto de salida para formar chorros planos de tamaño variable de dicho material de formación fundido y presurizado, depositándose dichos chorros planos en capas sobre dicho sustrato para formar dicho objeto tridimensional y en una realización preferida se describe que dicho mecanismo de la boquilla plano y ajustable comprende placas controlables en posición cooperantes, que son móviles entre sí, para formar una abertura de boquilla plana de ancho variable.

Sumario de la invención

La invención se define por un sistema de impresión según la reivindicación 1, el uso del sistema de impresión según la reivindicación 8 y por un procedimiento según la reivindicación 10.

La presente invención se refiere a la fabricación de piezas metálicas y cerámicas usando una propuesta de fabricación aditiva basada en extrusión. La impresora 3D basada en extrusión deposita una mezcla de partículas que comprende al menos un polímero, preferiblemente partículas metálicas, precursoras de metal o cerámicas de tamaño micrométrico dispersadas en al menos dicho polímero como aglutinante, sobre una plataforma de construcción, capa por capa. Según la invención, el material de construcción se suministra en forma de gránulos que comprenden al menos un polímero, que puede ser un polímero termoplástico o una cera. La invención proporciona además la extrusión directamente de tales gránulos. El material en forma de gránulos se puede extruir mediante propulsión mecánica (tipo émbolo o sinfín (tornillo de alimentación)) o mediante presión hidráulica o de aire a través de una cámara calentada, en la que se funden, en una boquilla que deposita el material inicialmente sobre la plataforma de construcción y, finalmente, en la capa precedente. Una pieza impresa en 3D así creada a partir de estos gránulos tiene una estructura que comprende al menos un polímero, prefiriéndose una estructura compuesta de partículas metálicas o cerámicas dispersadas en al menos un polímero. Si la estructura creada a partir de estos gránulos es una estructura compuesta de partículas metálicas o cerámicas dispersadas en al menos un polímero como aglutinante, antes de que la pieza se pueda sinterizar para formar un metal sólido o un objeto cerámico, la mayoría de al menos un polímero debe eliminarse (desaglomerado, que puede realizarse aplicando calor o disolventes).

La presente invención proporciona extrusión directamente a partir de los gránulos. El material en forma de gránulos se puede extruir mediante propulsión mecánica (tipo émbolo o sinfín (tornillo de alimentación)) o mediante presión hidráulica o de aire de los gránulos a través de una cámara calentada, en la que se funden, en una boquilla que deposita el material sobre la capa. Usando un procedimiento de extrusión (émbolo, sinfín, neumático...) hay menos control sobre el flujo de material líquido en comparación con el enfoque basado en filamentos del FDM, ya que en el FDM basado en filamentos el material fundido se adhiere al filamento sólido controlado activamente, eso lo empuja a través de la boquilla calentada. Además, estos filamentos tienen un diámetro y una masa muy pequeños, de modo que la cantidad de material líquido en cualquier momento en la cámara calentada es pequeña. Estas características permiten un control de retracción adecuado (para detener la extrusión) y la prevención de fugas.

La extrusión de los gránulos da como resultado una fuga más incontrolada de material, así como una menor influencia de la retracción cuando se crea «presión negativa» (por ejemplo, levantando el émbolo o invirtiendo el sinfín) incluso para gránulos que solo comprenden polímeros, particularmente en el caso de cámaras relativamente más grandes llenas de polímero fundido. Esta fuga es aún más sustancial en el caso de gránulos que comprenden al menos el 50% en volumen de partículas metálicas o cerámicas en al menos un polímero como aglutinante. Por lo tanto, es necesario un sistema adicional para controlar adecuadamente el flujo de material fuera de la boquilla para evitar la pérdida de precisión de dosificación debido a dicha fuga.

Los autores han descubierto sorprendentemente que esta pérdida de precisión en dosificación en relación con una propuesta basada en filamentos puede compensarse mediante el uso de una boquilla con geometría variable. La boquilla incorpora una «compuerta» controlada activamente que controla la abertura de la boquilla en una dimensión, mientras que la otra dimensión permanece fija. Por lo tanto, la boquilla ya no es circular (como es el caso con el estado actual de la técnica) sino más bien rectangular y produce una cinta en lugar de un filamento. En la Patente Estadounidense US 6,505,089B1 se describe una boquilla que tiene un orificio definido por un plano vertical y se explica que la boquilla opera sobre un elemento en un plato giratorio para imprimir «camino» que forman capas de manera horizontal, pero no proporciona rotación axial de la boquilla, mientras que en la presente invención se proporciona que el orificio de la compuerta controlada activamente esté en un plano horizontal con la cinta fundida extruida proporcionada verticalmente por encima de la plataforma de construcción. Esto tiene la desventaja de que una trayectoria en línea recta descentrada requiere un movimiento angular concertado del plato giratorio y un movimiento x-y de la boquilla, lo que significa que si la trayectoria no es paralela al eje y, la boquilla siempre realizará la deposición en un ángulo, lo que resulta en una trayectoria de deposición sesgada. Además, cuando la trayectoria de deposición cambia de orientación lejos del centro del plato giratorio, tanto la posición x-y de la boquilla como la orientación angular del plato giratorio deben cambiar considerablemente para adaptarse al nuevo recorrido de la trayectoria, que no solo plantea problemas con la precisión en la deposición del material (dado que, en el mejor de los casos, la boquilla se desplaza sobre el último punto anterior durante la reorientación), sino que también puede aumentar significativamente el tiempo de impresión.

Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de impresión tridimensional, comprendiendo el sistema de impresión tridimensional un cabezal de impresión dispuesto verticalmente sobre una plataforma de construcción, teniendo dicho cabezal de impresión una boquilla de ancho variable con una abertura rectangular que tiene un tamaño, un medio para mover dicho cabezal de impresión y un medio para extruir gránulos a través de dicha boquilla de ancho variable para proporcionar una cinta fundida verticalmente por encima de dicha plataforma de construcción, comprendiendo dichos gránulos al menos un polímero, incorporando dichos medios de extrusión una cámara calentada antes de dicha boquilla e incorporando dicha boquilla de ancho variable una compuerta controlada activamente.

Según un segundo aspecto de la presente invención, un procedimiento de impresión tridimensional, comprendiendo dicho procedimiento los pasos: extrusión de gránulos a través de una boquilla rectangular de ancho variable que incorpora una compuerta controlada activamente para proporcionar una cinta fundida verticalmente sobre una plataforma de construcción para proporcionar un cuerpo.

Los aspectos particulares y preferidos de la invención se exponen en las reivindicaciones independientes y dependientes adjuntas. Las particularidades de las reivindicaciones dependientes pueden combinarse con las particularidades de las reivindicaciones independientes y con las particularidades de otras reivindicaciones dependientes, según corresponda, y no simplemente como se establece explícitamente en las reivindicaciones.

Las características, particularidades y ventajas anteriores y otras de la presente invención se harán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada, tomada junto con los dibujos adjuntos, que ilustran, a modo de ejemplo, los principios de la invención. Esta descripción se da solo a modo de ejemplo, sin limitar el alcance de la invención. Las cifras de referencia citadas a continuación se refieren a los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1A muestra una realización de la presente invención en la que el material de alimentación se transporta bajo presión a la boquilla mediante el movimiento de un sinfín 23 giratorio.

La figura 1B muestra una realización de la presente invención en la que un pistón 23b recíproco asegura la presurización y el transporte del material de construcción a la boquilla.

La figura 1C muestra una realización de la presente invención en la que el relleno de material se realiza por recarga por gravedad con un presurizador de material de tipo pistón.

La figura 2A muestra una realización de la presente invención en la que el transporte del material granular se realiza por soplado con una estructura de recogida.

La figura 2B muestra una realización de la presente invención en la que el contenedor de gránulos está invertido y el ingreso de los gránulos en la corriente de aire 62 es ayudado por la gravedad.

La figura 2C muestra una realización de la presente invención en la que se usa un sistema de recarga basado en la gravedad en el que el material de construcción se puede cambiar sobre la marcha simplemente navegando a otro recipiente lleno de otro tipo de gránulos.

La figura 3A muestra una realización de la presente invención con una boquilla con geometría variable en una dirección.

Las figuras 3B y 3C muestran cómo el cierre gradual de la ranura modifica el ancho de extrusión con las barreras 43 de la figura 3C tocándose entre sí, cerrando de ese modo por completo la abertura de extrusión.

La figura 3D muestra una vista desde abajo del sistema con boquillas con geometría variable en una dirección.

5 Las figuras 4A y 4B muestran realizaciones de la presente invención con geometría variable en la que la boquilla gira libremente.

Las figuras 5A, 5B y 5C muestran realizaciones de la presente invención con boquillas que giran libremente, un cojinete y un bloque térmico.

La figura 6A muestra una realización de la presente invención con una configuración de dos motores 96 rotativos adheridos rígidamente a una estructura 95 aislante que a su vez se fija al tubo 92 y al bloque 93 térmico.

10 La figura 6B muestra una vista invertida de la figura 6A.

La figura 7 muestra un conjunto sustractivo montado en el efector 100 final de la impresora.

En las diferentes figuras, los mismos signos de referencia se refieren a elementos iguales o análogos.

Descripción de realizaciones ilustrativas

15 La presente invención se describirá con respecto a realizaciones particulares y con referencia a ciertos dibujos, pero la invención no está limitada a los mismos sino solo por las reivindicaciones. Los dibujos descritos son solo esquemáticos y no limitativos. En los dibujos, el tamaño de algunos de los elementos puede ser exagerado y no dibujado a escala con fines ilustrativos. Las dimensiones y las dimensiones relativas no corresponden a reducciones reales para la práctica de la invención.

20 Además, los términos primero, segundo, tercero y similares en la descripción y en las reivindicaciones, se usan para distinguir entre elementos similares y no necesariamente para describir una secuencia, ya sea temporal, espacial, en clasificación o de cualquier otra manera. Debe entenderse que los términos así usados son intercambiables en las circunstancias apropiadas y que las realizaciones de la invención descritas en la presente memoria pueden funcionar en otras secuencias distintas a las descritas o ilustradas en la presente memoria.

25 Además, los términos arriba, abajo, sobre, debajo y similares en la descripción y en las reivindicaciones se usan con fines descriptivos y no necesariamente para describir posiciones relativas. Debe entenderse que los términos así usados son intercambiables en las circunstancias apropiadas y que las realizaciones de la invención descritas en la presente memoria pueden funcionar en otras orientaciones que las descritas o ilustradas en la presente memoria.

30 Cabe destacar que el término «que comprende», usado en las reivindicaciones, no debe interpretarse como restringido a los medios enumerados a continuación; no excluye otros elementos o pasos. Por lo tanto, debe interpretarse como que especifica la presencia de las particularidades, números enteros, pasos o componentes establecidos como se mencionan, pero no excluye la presencia o adición de una o más particularidades, números enteros, pasos o componentes o grupos de los mismos. Por lo tanto, el alcance de la expresión «un dispositivo que comprende los medios A y B» no debe limitarse a los dispositivos que consisten solo en los componentes A y B. Significa que con respecto a la presente invención, los únicos componentes relevantes del dispositivo son A y B.

35 La referencia a lo largo de esta memoria descriptiva a «una realización» significa que una particularidad, estructura o característica particular descrita en relación con la realización está incluida en al menos una realización de la presente invención. Por lo tanto, las presentaciones de la expresión «en una realización» en varios lugares en esta memoria descriptiva no se refieren todas necesariamente a la misma realización, pero pueden hacerlo. Por otra parte, las particularidades, estructuras o características particulares pueden combinarse de cualquier manera adecuada, como sería evidente para un experto en la materia a partir de esta descripción, en una o más realizaciones.

40 De manera similar, debe apreciarse que en la descripción de realizaciones ejemplares de la invención, algunas particularidades de la invención a veces se agrupan en una sola realización, figura o descripción de las mismas con el fin de racionalizar la descripción y ayudar a comprender uno o más de los diversos aspectos inventivos. Sin embargo, este método de descripción no debe interpretarse como que refleja una intención de que la invención reivindicada requiera más particularidades de las que se mencionan expresamente en cada reivindicación. Más bien, como reflejan las siguientes reivindicaciones, los aspectos inventivos se encuentran en menos de todas las particularidades de una sola realización descrita anteriormente.

45 Los siguientes términos se proporcionan únicamente para ayudar a comprender la invención.

Definiciones

50 El término «partícula metálica», como se usa en la descripción de la presente invención, significa una partícula que comprende sustancialmente uno o más metales.

El término «partícula cerámica», como se usa en la descripción de la presente invención, significa una partícula inorgánica, no metálica y procesada o usada a altas temperaturas, incluyendo óxidos, nitruros, boruros, carburos, siliciuros, sulfuros, aluminuros, beriluros, fosfuros, antimoniueros, arseniueros y mezclas de los mismos.

5 El término «impresión 3D», también conocido como fabricación aditiva, AM (siglas en inglés), como se usa para describir la presente invención, significa un procedimiento aditivo en el que se hacen objetos tridimensionales colocando capas sucesivas de material bajo control computarizado.

El término «cuerpo verde», como se usa para describir la presente invención, significa un objeto cuyo constituyente principal es un material cerámico o metálico débilmente unido, generalmente en forma de polvo unido, por ejemplo, con un aglutinante.

10 El término «desaglomerado», como se usa en la descripción de la presente invención, significa la eliminación del aglutinante, que puede ser por disolución, por ejemplo, con disolvente, ácido o agua; eliminación catalítica o eliminación térmica.

El término «cuerpo marrón», como se usa en la descripción de la presente invención, significa el objeto producido por «desaglomerado» de un «cuerpo verde».

15 Sistema de impresión tridimensional

Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de impresión tridimensional según la reivindicación 1. El sistema de impresión tridimensional que comprende un cabezal de impresión dispuesto verticalmente sobre una plataforma de construcción, teniendo dicho cabezal de impresión una boquilla de ancho variable con una abertura rectangular que tiene un tamaño, un medio para mover dicho cabezal de impresión y un medio para extruir gránulos a través de dicha boquilla de ancho variable para proporcionar una cinta fundida verticalmente por encima de dicha plataforma de construcción, comprendiendo dichos gránulos al menos un polímero, incorporando dichos medios de extrusión una cámara calentada antes de dicha boquilla e incorporando dicha boquilla de ancho variable una compuerta controlada activamente.

20 Según la presente invención, dicha boquilla de ancho variable es giratoria axialmente, preferiblemente giratoria infinitamente, es decir, sin ninguna restricción, por ejemplo, mediante cables.

Esta compuerta activamente cerrada puede usarse para cerrar la boquilla por completo para evitar fugas de material. La naturaleza rectangular de la boquilla permite que se hagan «caminos» de extrusión más amplios donde corresponda, lo que puede acortar significativamente el tiempo de impresión. Por otro lado, la abertura se puede cerrar a un valor menor para imprimir detalles más finos. También, el hecho de que la abertura de la boquilla se vuelva rectangular puede mejorar la calidad de la superficie del objeto, ya que el apilamiento de «caminos en forma de cilindro» mediante una boquilla circular produce una superficie acanalada, mientras que una abertura rectangular apilaría secciones rectas que darían una superficie exterior más lisa.

30 Según la presente invención, dicha compuerta controlada activamente controla la abertura de la boquilla en una dimensión, mientras que la otra dimensión permanece fija, por ejemplo, a 0,5 mm. Por lo tanto, la boquilla ya no es circular, sino que se vuelve más bien rectangular.

Según otra realización preferida del primer aspecto de la presente invención, teniendo dicha boquilla de ancho variable una abertura de boquilla no asimétrica orientada en la dirección de movimiento de dicho cabezal de impresión.

Según otra realización preferida del primer aspecto de la presente invención, dichos medios de movimiento comprenden un servo, motor paso a paso o piezoeléctrico.

40 Según otra realización preferida del primer aspecto de la presente invención, dicha extrusión de dichos gránulos se controla mediante un algoritmo de control de extrusión, teniendo en cuenta preferiblemente el tamaño instantáneo de dicha abertura en dicho algoritmo de control de extrusión con dicho algoritmo usando preferiblemente un circuito de retroalimentación de fluido a presión con un sensor de presión en dicha cámara calentada.

45 Los medios de extrusión pueden incorporar diferentes medios de transporte para transportar los gránulos directamente al cabezal de impresión o en forma fundida al cabezal de impresión. El material se puede suministrar en forma sólida (como gránulos) «soplándolo» a través de un tubo flexible desde un recipiente de suministro hasta el cabezal de extrusión móvil. Alternativamente, el cabezal de impresión móvil puede tener una pequeña tolva desde la cual se alimentan gránulos sólidos al sistema de extrusión por gravedad. Esta tolva se puede rellenar periódicamente moviendo el cabezal de impresión a una ubicación adecuada donde se puedan alimentar los gránulos de un recipiente de almacenamiento fijo.

50 El material también se puede suministrar en forma líquida al cabezal de extrusión móvil. En este caso, los gránulos sólidos se alimentan a un depósito de fusión fijo, de donde la masa fundida se alimenta a un tubo flexible resistente al calor provisto de un manguito calentado flexible, que conduce al cabezal de extrusión móvil, donde el material se

empuja hacia la boquilla. El caudal se puede controlar más arriba del cabezal de extrusión, lo que permite un cabezal de extrusión más ligero (más rápido y más preciso).

5 Según otra realización preferida del primer aspecto de la presente invención, dichos medios de extrusión incorporan el transporte de gránulos soplando a través de un tubo flexible desde un recipiente de suministro al cabezal de impresión móvil, a través de una pequeña tolva que alimenta los gránulos por gravedad o dicha cámara calentada está alejada de dicho cabezal de impresión móvil y dichos gránulos se funden en el mismo y la masa fundida resultante se alimenta a dicho cabezal de impresión móvil a través de un tubo flexible resistente al calor provisto de un manguito calentado flexible.

10 Según otra realización preferida del primer aspecto de la presente invención, dichos medios de extrusión comprenden un medio de propulsión mecánica para propulsar dichos gránulos a dicha cámara calentada y desde allí a dicha boquilla.

Según otra realización preferida del primer aspecto de la presente invención, dicho sistema tiene un sensor de retroalimentación de presión.

15 Según otra realización preferida del primer aspecto de la presente invención, dicho sistema tiene un circuito de retroalimentación de *software*.

20 La figura 1A muestra una realización del primer aspecto de la presente invención en la que el material de construcción se transporta bajo presión a la boquilla por el movimiento de un sinfín 23 giratorio. El sinfín gira dentro del tubo 22 y transporta los gránulos 28 de MIM y/o CIM entrantes (aún sólidos) a la zona calentada. En esta realización, un calentador 27 rodeando el tubo exterior genera el calor. El calor se controla mediante un circuito de retroalimentación usando un sensor de temperatura (que no se muestra en la imagen). En esta realización, el material de construcción en bruto en forma de gránulos 28 sólidos de MIM y/o CIM se sopla en el conjunto extrusor aplicando presión 29 de aire dentro del tubo 21 flexible. Un extremo de este tubo está adherido a un conjunto rígido (sin movimiento) donde el material de construcción es recogido por la corriente de aire desde un recipiente de almacenamiento (que se muestra en la figura 2A). El otro extremo está sujeto o adherido de otro modo a un conector 25 tubular que está conectado al conjunto extrusor (en movimiento). En la realización representada, el conector se atornilla en una abertura 26 del conjunto extrusor. En el lado opuesto del tubo extrusor, se hacen pequeñas aberturas 24 en la carcasa exterior para que el aire pueda escapar. Los agujeros deben ser más pequeños que el tamaño de gránulo más pequeño posible, pero lo suficientemente grandes como para que la acumulación de presión de aire dentro del extrusor sea mínima.

30 La figura 1B muestra una realización alternativa en la que un pistón 23b recíproco asegura la presurización y el transporte del material de construcción a la boquilla. En esta realización, el pistón debe moverse primero hacia arriba para permitir que el nuevo material sea soplado, después de lo cual puede volverse a aplicar presión y conducir los gránulos a la licuadora 27 y a la boquilla.

35 En la realización mostrada en la figura 1C, el relleno del material de construcción se recarga por gravedad con un presurizador de material de tipo pistón. En esta realización, el conjunto 22, 27, 22b, 23b del cabezal de impresión móvil se mueve a una sección del volumen de la impresora fuera del área de construcción, en la que se coloca debajo de un recipiente de material 31 de construcción. Al mover un pestillo 30a, el recipiente se abre y los gránulos 28 pueden caer en el extrusor. El *software* de control necesita cronometrar el llenado o usar un sensor de nivel de llenado (por ejemplo, óptico) para evitar el llenado excesivo o insuficiente del extrusor.

40 Dado que los extrusores se mueven continuamente en el área de construcción para describir las trayectorias de extrusión, deben ser razonablemente ligeros para garantizar un rendimiento dinámico suficiente para permitir una impresión rápida. Por lo tanto, no pueden llevar una gran cantidad de material de construcción en bruto (gránulo). Dos posibles principios de recarga de material son el aire comprimido para soplar los gránulos desde un recipiente de almacenamiento a través de una manguera flexible hacia el conjunto extrusor y el uso de recipientes de almacenamiento colocados en la parte superior, justo afuera del área de construcción, donde el extrusor puede desplazarse. En el primero, la manguera está adherida permanentemente al extrusor y en el último se puede enganchar un pestillo que permita que los gránulos caigan en el conjunto extrusor. Como se carga una cantidad limitada de material en cualquier momento en el (los) extrusor(es), se pueden mezclar diferentes materiales durante la impresión. En el primer sistema de recarga (por soplado), un mecanismo multiplexor puede cambiar el recipiente fuente desde el cual se inyectan los gránulos por soplado en la manguera flexible. En el sistema de recarga por gravedad, el cambio de materiales se puede hacer navegando a otro recipiente y activando otro pestillo.

50 Los ciclos de recarga de material se pueden programar en el *script* de compilación (mediante el *software* de «corte») o estar entrelazados en la compilación por el propio *software* de la máquina. La última técnica es útil, por ejemplo, cuando el *software* de corte no tiene conocimiento de la capacidad del extrusor. El *software* de control de la máquina puede basar su decisión de recarga en la cantidad de material extruido desde la última recarga o en la retroalimentación del sensor (por ejemplo, indicador de posición de un sistema de émbolo o conteos de rotación de un sistema sinfín).

55 Las figuras 2A y 2B muestran diferentes métodos de recogida de material de construcción y la figura 2C muestra un multiplexor. En la figura 2A, el material del gránulo se transporta por soplado, entrando una corriente de aire 62 a

presión en un tubo grande. Un tubo 63 de sección transversal más pequeña forma una T con el tubo de aire grande. Este tubo 63 más pequeño se coloca dentro de un recipiente 60 de material de construcción. Como resultado del efecto Venturi, los gránulos 61 son succionados del recipiente y arrastrados en la corriente de aire (que va de derecha a izquierda en el tubo principal). La corriente de aire 65 cargada de gránulos luego se alimenta a una manguera flexible que está conectada por el otro al conjunto extrusor (en movimiento) (como se muestra en las figuras 1A y 1B).

En la figura 2B, el recipiente de gránulos está invertido y el ingreso de gránulos en la corriente de aire 62 es ayudado por la gravedad. Opcionalmente, se usan válvulas controladas activamente para limitar o cerrar la entrada de gránulos del contenedor en la corriente de aire, a fin de controlar la velocidad de flujo del material de construcción que se transporta.

La figura 2C representa la multiplexación que se puede usar para cambiar los materiales de construcción sobre la marcha. Si se usa un sistema de recarga basado en la gravedad (véase la figura 1C), simplemente navegar a otro recipiente lleno de otro tipo de gránulo cambia el material de construcción en el extrusor. Sin embargo, cualquier material residual en el extrusor deberá purgarse para que tenga lugar un cambio de material limpio. La purga se puede hacer en un área de «descarga» especificada y se puede usar un material de limpieza especial para limpiar el extrusor entre los cambios de material de construcción. Todos estos pasos se pueden programar en el *script* de compilación individualmente o como una macro, en cuyo caso el *software* del controlador de la máquina ejecutará las acciones individuales. Si se usa el transporte de material por soplado, se puede usar un multiplexor de material arriba de la manguera flexible que conduce el material al montaje extrusor. Tal sistema multiplexor (con 2 materiales) se representa en la figura 2C. La corriente de aire 70 presurizada ingresa en el sistema y se divide en tantas trayectorias como materiales de construcción. En estas trayectorias se sitúan válvulas 71 y 71b controladas electrónicamente. Después de las válvulas, los contenedores 72 y 72b de material se sitúan en la corriente de aire. En la trayectoria en la que la válvula está abierta (71b en este ejemplo) la corriente de aire recoge material 73 de construcción (del contenedor 72b en este ejemplo). Opcionalmente, una válvula 74 pasiva estilo mariposa (girando pasivamente alrededor 75) se sitúa abajo y voltea según la trayectoria en la que fluye la corriente de aire. Este sistema de válvula simple cierra efectivamente la otra vía y evita que el material vuelva a ella. En el caso de tres o más materiales, se necesitará un sistema de válvula más complejo (activo) para evitar el flujo de retorno del material.

Según la presente invención, la pérdida de precisión de dosificación debido al uso de extrusión de gránulos en bruto combinada con la mayor masa de materiales de MIM o CIM altamente cargados se evita mediante el uso de una boquilla con geometría variable. La boquilla incorpora una serie de barreras controladas activamente que controlan la abertura de la boquilla en una dimensión. La otra dimensión permanece fija en algún valor pequeño (por ejemplo, 0,5 mm). Por lo tanto, la boquilla ya no es circular, sino más bien rectangular. Con esto, la boquilla se puede cerrar por completo para evitar fugas de material. También se pueden realizar «camino» de extrusión mucho más amplios, cuando corresponda, lo que puede acortar significativamente el tiempo de impresión. Por otro lado, la abertura se puede cerrar selectivamente a un valor menor para imprimir detalles más finos. También, el hecho de que la abertura de la boquilla se vuelva rectangular puede mejorar la calidad de la superficie del objeto, ya que el apilamiento de «camino» en forma de cilindro» mediante una boquilla circular produce una superficie acanalada, mientras que una abertura rectangular apilaría secciones rectas que darían una superficie exterior más lisa. Dado que el material extruido es rectangular, en contraste con las máquinas de FDM actuales donde las boquillas (fijas) tienen una abertura circular, la boquilla de geometría variable necesariamente debe rotar durante la impresión para asegurarse de que la abertura de extrusión esté siempre orientada perpendicular a la dirección de la trayectoria. La orientación de la boquilla se ajusta continuamente mediante el *software* de control de la máquina, mientras que los ajustes de ancho de la boquilla y sus caudales de extrusión asociados deben ser generados por el *software* de «corte» que genera el *script* de construcción antes de comenzar la impresión.

Las figuras 3A, 3B, 3C y 3D se muestra una boquilla con geometría variable en una dimensión. Esta boquilla incorpora un mecanismo de ranura de ancho variable que tiene una abertura 45 que se define por la posición de dos barreras 43 opuestas. Las barreras (o guardas protectoras) 43 se pueden acercar de manera simétrica, de modo que el centro del material 46 extruido siempre esté en el centro del extrusor. La abertura 45 es muy pequeña (por ejemplo, de 0,2 cm a 0,5 mm) en la dimensión perpendicular al eje en el que las barreras pueden variar el ancho de la extrusión, de modo que cuando las barreras están muy juntas se puede producir una extrusión (rectangular) con dimensiones similares (menores que 0,5 mm de diámetro) a las de extrusores de FDM de boquilla fija actuales. El material de construcción, en forma de gránulos 42 se conduce hacia abajo aplicando presión (ya sea mecánica o neumática). En el camino hacia abajo, los gránulos se funden por el calor de las paredes 40 circundantes del extrusor. El calor es generado por resistencias 41 resistivas envueltas o incrustadas en la estructura del extrusor. A medida que el material de construcción se ablanda (44) la presión aplicada lo conduce hacia la ranura.

Las figuras 3B y 3C muestran cómo el cierre gradual de la ranura modifica el ancho de extrusión. En la realización mostrada en la figura 3C, las barreras 43 de hecho se tocan y cierran completamente la abertura de extrusión. Esta configuración se puede usar para evitar fugas de material.

La figura 3D muestra una vista desde abajo de este sistema, en una realización 47 rectangular. La indicación 49 numérica muestra la ranura y su longitud fija, 50 muestra las barreras y 47 es la abertura de extrusión. La indicación 48 numérica muestra la dirección de desplazamiento del cabezal de extrusión y algunos anchos de las trayectorias de extrusión se muestran detrás del extrusor (51). Es importante destacar que la abertura de extrusión siempre debe

estar orientada perpendicular a la dirección de desplazamiento 48. La rotación del extrusor no se muestra explícitamente en esta imagen, pero está claro que es necesaria una orientación precisa de la abertura de la boquilla rectangular para garantizar una trayectoria de extrusión controlada.

5 Las figuras 4A y 4B muestran realizaciones de la presente invención con geometría variable en la que la boquilla gira libremente. La abertura 86 de la ranura de la boquilla se corta de un componente 81 circular resistente al calor y a la abrasión. En un pase orientado a lo largo de la ranura, dos guardas 85 protectoras pueden deslizarse para abrir y cerrar la boquilla y variar el ancho de extrusión. Las guardas protectoras tienen una patilla 84 en su parte superior, que se desliza en una abertura 83 en forma de espiral cortada de otro componente 82 que gira libremente. El
10 componente 82 de diafragma puede girar independientemente del componente 81 de la boquilla. La abertura de la boquilla se puede cambiar continuamente alterando el ángulo de orientación del componente 82 con respecto al componente 81. Tanto 81 como 82 tienen «dientes» 87 en su superficie exterior para permitir que un actuador controle su rotación desde fuera.

15 Las figuras 5A, 5B y 5C muestran una realización de una boquilla variable de rotación libre con cojinete y bloque térmico, según el primer aspecto de la presente invención, junto con sus componentes de trayectoria superior. La figura 5A muestra sus componentes separados, excluyendo el bloque térmico, la figura 5B muestra estos componentes ensamblados y la figura 5C muestra este conjunto junto con un bloque térmico. El componente 81 de la boquilla está firmemente conectado al componente 88 después de que han sido colocadas las guardas 84 protectoras. Encima de 88 y girando libremente a su alrededor está el componente 82, que controla la abertura de las guardas protectoras. Encima de eso hay un conjunto de cojinete, que asegura que el conjunto 81-88 de la boquilla puede girar libremente
20 con poca fricción con respecto a la posición del efector final de la impresora, mientras se puede manejar la presión del material de construcción líquido entrante. El cojinete está asegurado entre el anillo 89 de retención (el anillo exterior del cojinete, que es estacionario) y el componente 91 de sellado, que se fija firmemente a 88 y gira junto con el conjunto de boquilla.

25 La figura 5C muestra el anillo 89 de retención firmemente fijado al bloque 93 térmico que a su vez está adherido al tubo 92 superior en el que el material de construcción (en forma de gránulos) se alimenta a presión a la boquilla. El calor suministrado por los elementos 94 calefactores dentro del bloque 93 térmico licúa el material en su trayectoria hacia la abertura de la boquilla. Los componentes que se fijan al efector final de la impresora son 89, 92 y 93 (el anillo exterior del cojinete 90 es estacionario también). Los componentes giratorios son 88, 81 y 91. El anillo 91 de sellado se desliza sobre el tubo 92 mientras gira y proporciona un sello para evitar que el material de construcción líquido escape. También téngase en cuenta que el componente 82 todavía puede girar independientemente del conjunto de
30 boquilla para controlar la abertura de extrusión.

35 La figura 6A muestra una configuración de dos motores 96 rotativos adheridos rígidamente a una estructura 95 aislante que a su vez se fija al tubo 92 y al bloque 93 térmico. Ambos motores conducen un engranaje 98 y 99, respectivamente, a través de un eje 97 de extensión. El engranaje 98 impulsa la orientación de la boquilla al interconectarse con los dientes fuera del componente 81 de la boquilla. El engranaje 99 interconecta con el componente 82 de diafragma y desde allí controla la abertura de la boquilla. Cuando ambos motores 96 giran la misma cantidad en la misma dirección angular, la orientación de la boquilla cambia, pero la abertura sigue siendo la misma. Sin embargo, si hay alguna diferencia relativa entre los giros de los motores, la abertura de la boquilla varía. El *software* de control regula el movimiento del motor para lograr las trayectorias de extrusión y los anchos de extrusión deseados durante la
40 construcción.

45 Como la precisión lograda a través de una impresión 3D FDM, así como la calidad de la superficie, no coinciden con las de los métodos sustractivos establecidos, una operación sustractiva secundaria puede seguir a las fases de extrusión o intercalarse con ellas. Esta operación secundaria consistiría en cortar el exceso de material del modelo depositado (parcial) mediante una herramienta giratoria (como en una operación de molienda) y/o cortando con electrodos calentados. Dado que estas operaciones sustractivas tienen lugar en la parte verde, las herramientas de baja potencia son suficientes y los requisitos de rigidez estructural y amortiguación de la máquina permanecen dentro de límites razonables. El movimiento x/y/z de las herramientas se puede lograr con la misma plataforma de movimiento usada para la parte de extrusión del procedimiento o puede realizarse mediante una serie separada de manipuladores. Además de los movimientos cartesianos x/y/z, las herramientas sustractivas pueden orientarse a través de los ejes de
50 rotación alfa y beta de modo que el sistema completo se convierte en una herramienta sustractiva de 5 ejes.

Estos pasos sustractivos entrelazados pueden ser parte del *script* de compilación generado (generado por una computadora antes de comenzar la compilación). También pueden ser generados por el *software* de la máquina y ser entrelazados en un *script* de compilación FDM puro (generado por un programa de computadora que no conoce las capacidades sustractivas de la máquina).

55 En la figura 7 se muestra un conjunto sustractivo que se monta en el efector 100 final de la impresora. Este efector 100 final se posiciona continuamente a lo largo de las coordenadas x, y y z sobre el área de construcción. El (los) extrusor(es) (puede haber varios) también están montados en este efector final (no se muestra en la figura). El conjunto sustractivo se sitúa por encima del área de construcción durante los pasos de deposición (capas de impresión) y se puede bajar para los pasos sustractivos por medio de un corte 101 lineal y maneja 102, 103 para pasos sustractivos.
60 Cuenta con dos ejes rotacionales alfa 104 y beta 105, que junto con las tres dimensiones traslacionales del efector

5 final lo convierten en una unidad sustractiva de cinco ejes. La sustracción puede realizarse mediante un motor 106 de husillo y herramientas 107 de formación, pero alternativamente se puede usar una aguja calentada o un elemento similar a un alambre para eliminar selectivamente algo del material de construcción depositado. Las herramientas en el conjunto sustractivo se pueden cambiar automáticamente (controlado por el *script* de construcción y el *software* de control) durante la operación, moviendo el efector final a una ubicación adecuada fuera del área de construcción donde se puede colocar un cambiador de herramientas.

Procedimiento

10 Según un segundo aspecto de la presente invención se proporciona un procedimiento de impresión tridimensional según la reivindicación 10. El procedimiento comprende los pasos: extrusión de gránulos a través de una boquilla rectangular de ancho variable que incorpora una compuerta controlada activamente para proporcionar una cinta fundida verticalmente por encima de una plataforma de construcción para proporcionar un cuerpo, comprendiendo dichos gránulos al menos un polímero.

Según la presente invención, dicha boquilla de ancho variable es giratoria axialmente, preferiblemente giratoria infinitamente, es decir, sin ninguna restricción, por ejemplo, mediante cables.

15 Según la presente invención, dicha compuerta controlada activamente controla la abertura de la boquilla en una dimensión, mientras que la otra dimensión permanece fija, teniendo la configuración de la boquilla preferiblemente una geometría reconfigurable en una dimensión, que es preferiblemente controlada por *software*.

Según otra realización preferida del segundo aspecto de la presente invención, comprendiendo dicho procedimiento además un gránulo llenado por soplado o gravedad.

20 Según otra realización preferida del segundo aspecto de la presente invención, comprendiendo dicho procedimiento además un cambio de material de construcción durante dicho procedimiento de impresión.

25 La presente invención también se refiere a la fabricación de piezas metálicas y cerámicas mediante el uso de un procedimiento aditivo basado en extrusión, comprendiendo el procedimiento los pasos: proporcionar la materia prima en la que se dispersan partículas metálicas o cerámicas en al menos un polímero como aglutinante; producir una parte impresa en 3D con la materia prima, la llamada parte verde; eliminar sustancialmente todo el aglutinante de la parte verde en una denominada etapa de desaglomerado, produciéndose así la llamada parte marrón; sinterizar la parte marrón en la parte metálica o cerámica y opcionalmente terminar la parte metálica o cerámica en un paso de sinterización posterior.

30 Según otra realización preferida del segundo aspecto de la presente invención, dicho cuerpo es un cuerpo verde y dichos gránulos comprenden al menos el 50% en volumen de partículas metálicas o cerámicas de tamaño micrométrico en al menos dicho polímero como aglutinante y en donde dicho procedimiento comprende además los pasos de desaglomerar dicho cuerpo verde produciendo un cuerpo marrón; sinterizando dicho cuerpo marrón, comprendiendo dicho procedimiento además preferiblemente al menos un paso sustractivo en dicho cuerpo verde que se realiza preferiblemente con los mismos actuadores x-y-z en cuanto al conjunto de extrusión y puede realizar dos rotaciones adicionales para realizar un mecanizado de cinco ejes.

Los pasos para sinterizar para la impresión 3D se pueden resumir de la siguiente manera:

1) Materia prima o mezcla compuesta.

2) Impresión 3D o moldeo por inyección de materia prima o material compuesto para formar un cuerpo verde o una preforma.

40 3) Opcionalmente, al menos un paso sustractivo en el cuerpo verde.

4) Desaglomerado, de manera térmica, de manera química u por otro medio, del cuerpo verde para formar el cuerpo marrón.

5) Sinterización del cuerpo marrón para formar la parte sinterizada.

6) Acabado opcional posterior a la sinterización.

45 Los pasos de procesamiento adicionales son posibles en el estado «verde», como formar hebras internas y otros elementos pequeños. También son posibles pasos de procesamiento adicionales en la parte final, después de la sinterización, por ejemplo, mayor densificación mediante presión isostática en caliente (HIP, por sus siglas en inglés), tratamientos térmicos, operaciones de mejora de la superficie (pulido), etc.

Materia prima

50 La materia prima usada en la presente invención son gránulos que comprenden al menos un polímero, prefiriéndose los materiales PIM (moldeo por inyección en polvo) altamente cargados en forma de gránulos y siendo particularmente

5 preferidos los gránulos MIM y CIM. Estos gránulos de materiales PIM altamente cargados tienen típicamente unos pocos milímetros de diámetro con aproximadamente del 50% al 70%, en volumen, de partículas metálicas o cerámicas (en volumen) en al menos un polímero como aglutinante, por ejemplo, un aglutinante polimérico o cera. Las partículas metálicas o cerámicas tienen típicamente un tamaño entre 10 y 40 micrómetros (dependiendo del material y el procedimiento de atomización usado).

Como estos materiales son muy frágiles en forma de filamento (debido a la alta carga de partículas rígidas) no pueden formarse fácilmente filamentos como se describe en la Patente Estadounidense US 5,121,329 y, por lo tanto, no se pueden extruir en las máquinas FDM usadas comúnmente.

Desaglomerado

10 Antes de sinterizar los cuerpos verdes, se debe realizar el procedimiento de desaglomerado de los polímeros para formar el cuerpo marrón, como, por ejemplo, la eliminación del material polimérico. La eliminación del aglutinante se realiza por degradación, extracción o evaporación a través de los canales de la superficie en el «cuerpo verde». El desaglomerado puede ser el paso más lento y costoso en la formación de piezas u objetos. El desaglomerado de la pieza puede hacerse por métodos térmicos, catalíticos o por disolventes. El material aglutinante se elige en función de la selección del método de desaglomerado. Las temperaturas para el desaglomerado térmico varían entre 60°C y 15 600°C. Los polímeros orgánicos deben eliminarse sustancialmente del cuerpo verde, ya que el carbono retrasa y puede influir en el procedimiento de sinterización. Además, las cualidades del producto final pueden verse afectadas negativamente por el carbono residual del polímero. El procedimiento de desaglomerado es típicamente un paso que requiere mucho tiempo en el procedimiento de producción completo. La velocidad de descomposición de los polímeros no debe exceder de la velocidad de transporte de los productos de la pirólisis, ya que un exceso de presión de los 20 productos gaseosos de la pirólisis puede provocar rasgaduras y la destrucción del cuerpo marrón.

Los procedimientos físicos definitorios del desaglomerado térmico son 1) el flujo capilar, 2) el procedimiento de difusión a baja presión y 3) el procedimiento de permeación a alta presión. Las fuerzas capilares implican extracción de líquido, mientras que las otras dos requieren que el aglutinante sea un vapor. Las temperaturas ligeramente elevadas influyen en la viscosidad y la tensión superficial del líquido orgánico; las fuerzas capilares comienzan con el transporte de la fase líquida de poros grandes a pequeños. Tan pronto como el aglutinante llega a la superficie se vaporiza, si su presión de vapor es mayor que la presión ambiental. Con el aumento de la temperatura, la cinética de la volatilización también aumenta. Por encima de una cierta temperatura las fuerzas capilares no pueden saturar la demanda de volatilización del líquido en la superficie y la interfaz tanto del vapor como del líquido se retrae hacia el interior del 25 cuerpo.

El aglutinante puede descomponerse térmicamente en especies de bajo peso molecular, como H₂O, CH₄, CO₂, CO, etc. y posteriormente pueden ser eliminadas por difusión y permeación. La diferencia entre difusión y permeación depende de la trayectoria libre media de las especies gaseosas. La trayectoria libre media varía con la presión, el peso molecular del gas y las dimensiones de los poros. Generalmente, la difusión será dominante a bajas presiones y 35 tamaños de poro pequeños; se espera que la permeación controle el desaglomerado con tamaños de poro grandes y altas presiones de vapor, donde el flujo laminar controla la velocidad de salida de gas del compacto. Típicamente, la presión de un procedimiento de desaglomerado varía entre 1 MPa (10 bar) y 7 MPa (70 bar) y los tamaños de grano entre 0,5 mm y 20 mm.

La descomposición térmica de los polímeros tiene lugar mediante la división de radicales de su cadena. Una descomposición homolítica de un enlace C-C conduce a productos con grietas radicales. La transferencia intermolecular de hidrógeno y la descomposición continua de la cadena polimérica crean fracciones saturadas e insaturadas que consisten en monómeros y oligómeros durante el procedimiento de desaglomerado.

Sinterización

45 La sinterización es el procedimiento mediante el cual las partículas se unen típicamente por debajo del punto de fusión mediante eventos de transporte atómico. Una particularidad característica de la sinterización es que la velocidad es muy sensible a la temperatura. La fuerza impulsora para la sinterización es una reducción en la energía libre del sistema, que se manifiesta por la disminución de las curvaturas de la superficie y una eliminación de superficie (*Powder Metallurgy Science*, 1989, pág. 148).

50 Si se requiere para las especificaciones del producto, las atmósferas inertes, reductoras y/u oxidantes, aplicadas durante la fase apropiada del procedimiento de sinterización, pueden proporcionar características útiles al producto final.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de impresión tridimensional que comprende un cabezal de impresión dispuesto verticalmente sobre una plataforma de construcción, teniendo dicho cabezal de impresión una boquilla de ancho variable con una abertura [45] rectangular que tiene un tamaño, un medio para mover dicho cabezal de impresión y un medio para extruir directamente gránulos a través de dicha boquilla de ancho variable para proporcionar una cinta fundida verticalmente sobre dicha plataforma de construcción, comprendiendo dichos gránulos al menos un polímero, incorporando dichos medios de extrusión una cámara calentada antes de dicha boquilla e incorporando dicha boquilla de ancho variable una compuerta controlada activamente, en donde dicha compuerta controlada activamente controla la abertura de la boquilla en una dimensión, mientras que la otra dimensión permanece fija, y en donde dicha boquilla de ancho variable es axialmente giratoria.
2. El sistema de impresión según la reivindicación 1, en donde dicha boquilla de tamaño variable tiene una abertura de boquilla no asimétrica orientada en la dirección de movimiento de dicho cabezal de impresión.
3. El sistema de impresión según la reivindicación 1 o 2, en donde dichos medios de movimiento comprenden un servo, motor paso a paso o piezoeléctrico.
4. El sistema de impresión según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde dicha extrusión de dichos gránulos está controlada por un algoritmo de control de la extrusión.
5. El sistema de impresión según la reivindicación 4, en donde el tamaño instantáneo de dicha abertura se tiene en cuenta en dicho algoritmo de control de la extrusión.
6. El sistema de impresión según la reivindicación 5, en donde dicho algoritmo usa un circuito de retroalimentación de fluido a presión con un sensor de presión en dicha cámara calentada.
7. El sistema de impresión según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde dichos medios de extrusión incorporan el transporte de gránulos soplando a través de un tubo [21] flexible desde un recipiente [31] de suministro al cabezal de impresión móvil a través de una pequeña tolva que alimenta los gránulos por gravedad o dicha cámara calentada está alejada de dicho cabezal de impresión móvil y dichos gránulos se funden en la misma y la masa fundida resultante se alimenta a dicho cabezal de impresión móvil a través de un tubo flexible resistente al calor provisto de un manguito calentado flexible.
8. Uso de un sistema de impresión según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes comprendiendo dichos gránulos al menos un polímero.
9. El uso según la reivindicación 8, en donde dichos gránulos comprenden al menos el 50% en volumen de partículas metálicas o cerámicas de tamaño micrométrico en al menos dicho polímero como aglutinante.
10. Un procedimiento de impresión tridimensional, comprendiendo dicho procedimiento los pasos: extrusión directa de gránulos a través de una boquilla rectangular de ancho variable que incorpora una compuerta controlada activamente para proporcionar una cinta fundida verticalmente sobre una plataforma de construcción para proporcionar un cuerpo, comprendiendo dichos gránulos al menos un polímero, en donde dicha compuerta controlada activamente controla la abertura de la boquilla en una dimensión, mientras que la otra dimensión permanece fija, y en donde dicha boquilla de ancho variable es giratoria axialmente.
11. El procedimiento de impresión tridimensional según la reivindicación 10, en donde dicho cuerpo es un cuerpo verde y dichos gránulos comprenden al menos el 50% en volumen de partículas metálicas o cerámicas de tamaño micrométrico en al menos dicho polímero como aglutinante y en donde dicho procedimiento comprende además los pasos de desaglomerar dicho cuerpo verde produciendo un cuerpo marrón; sinterizar dicho cuerpo marrón.
12. El procedimiento de impresión tridimensional según la reivindicación 11, en donde dicho procedimiento comprende además al menos un paso sustractivo en dicho cuerpo verde.

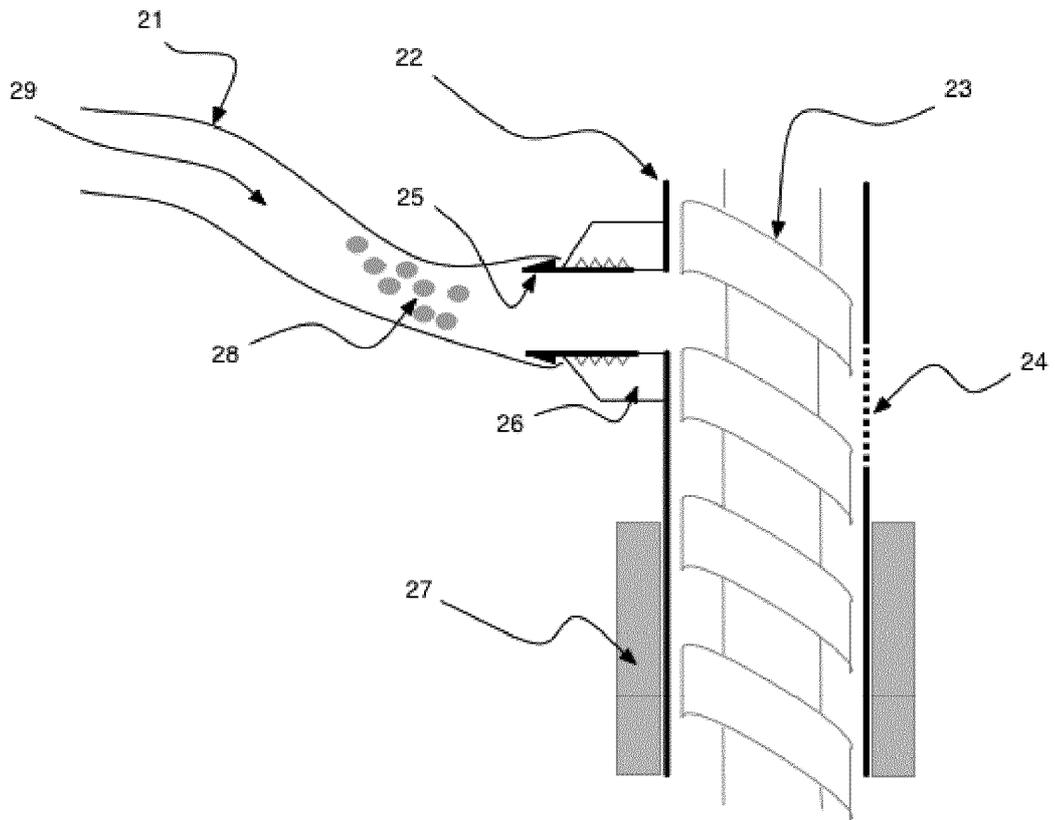


FIG. 1A

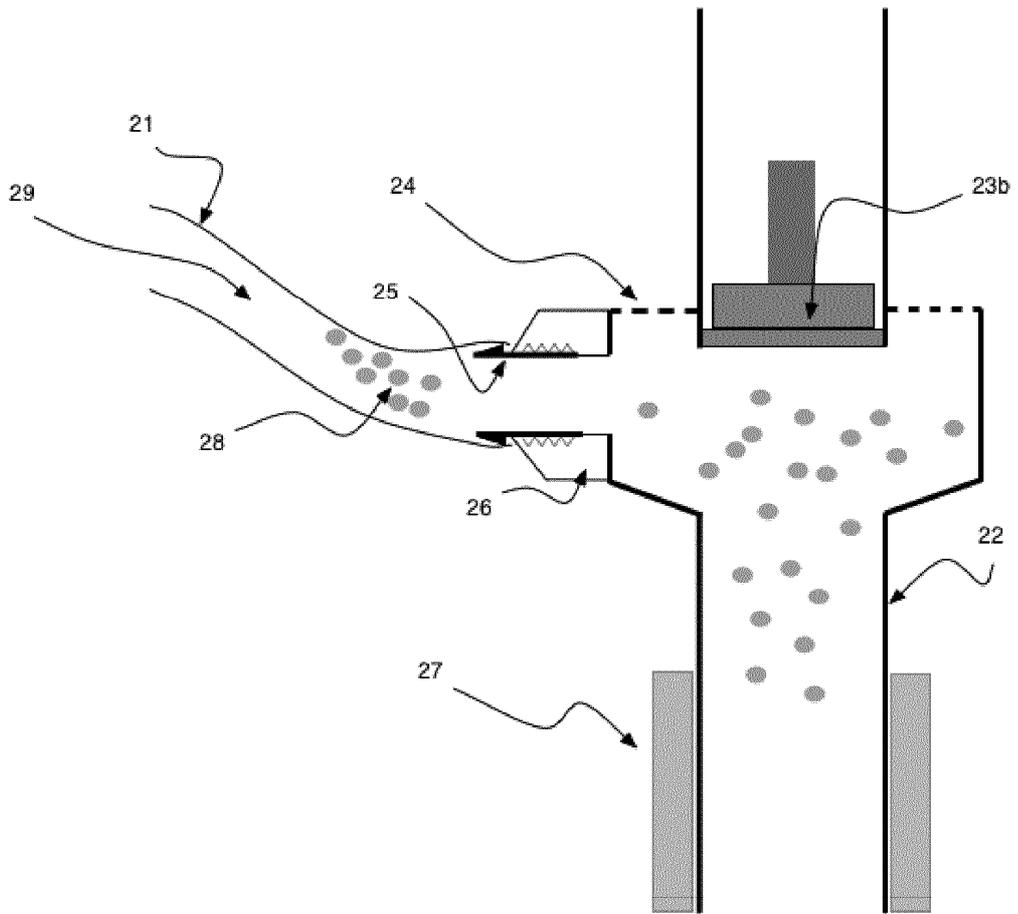


FIG. 1B

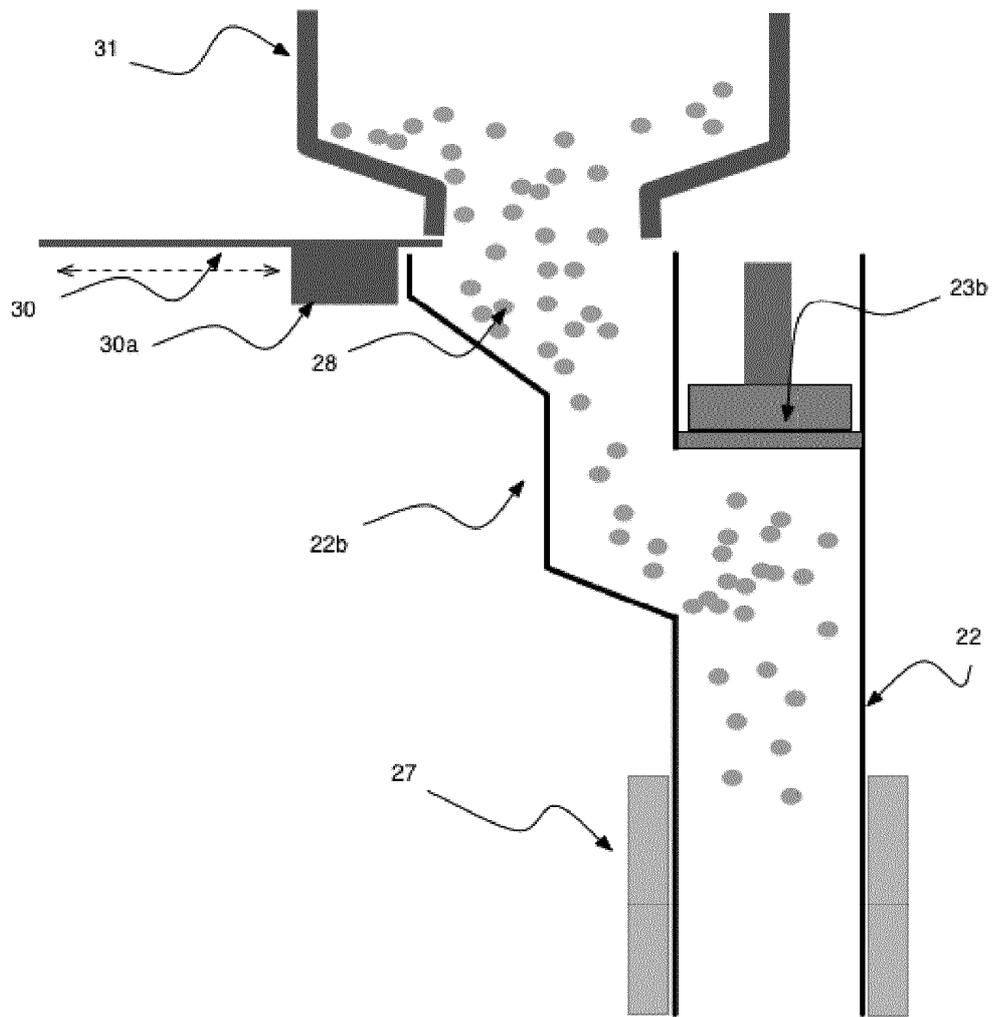


FIG. 1C

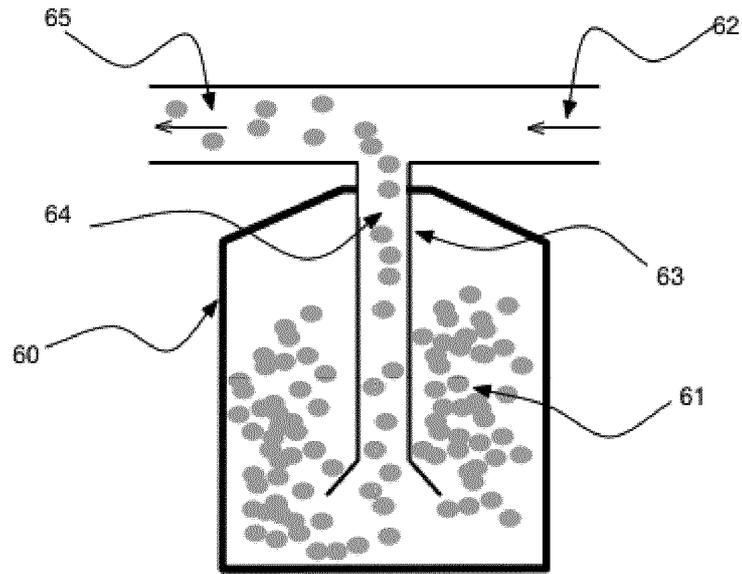


FIG. 2A

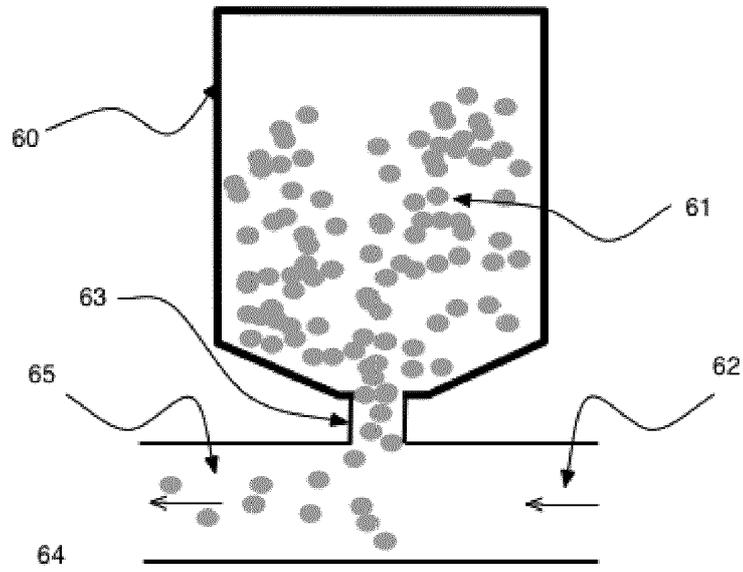


FIG. 2B

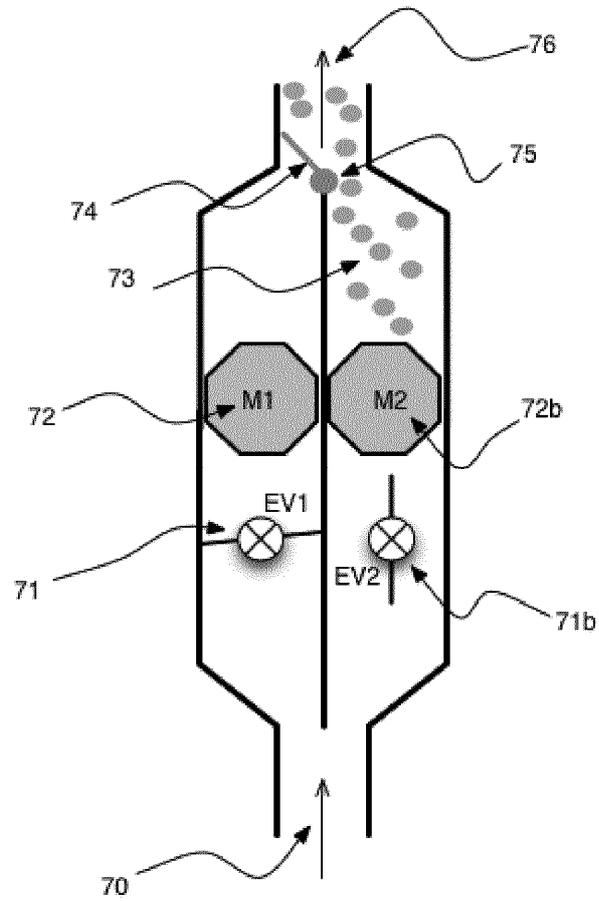


FIG. 2C

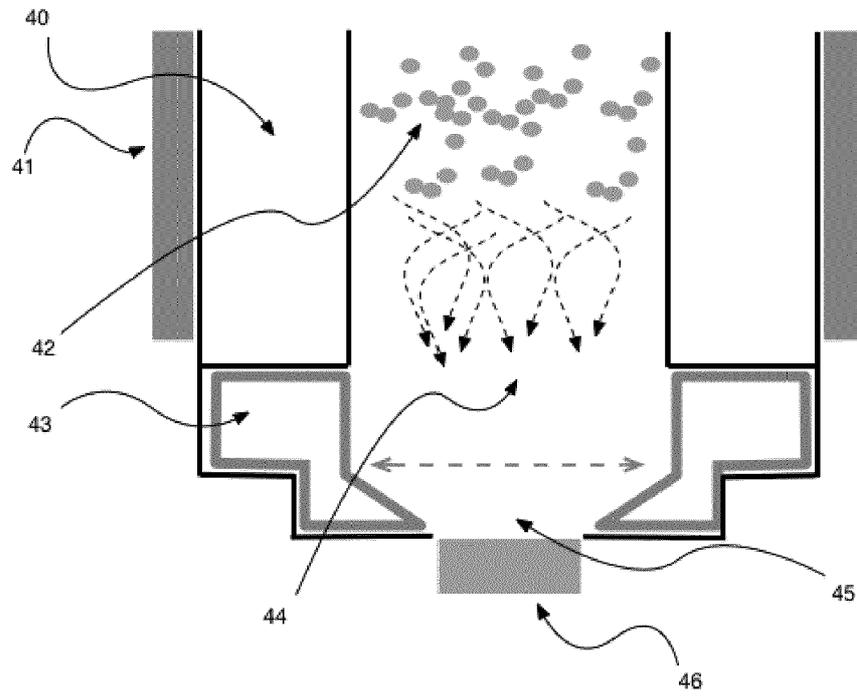


FIG. 3A

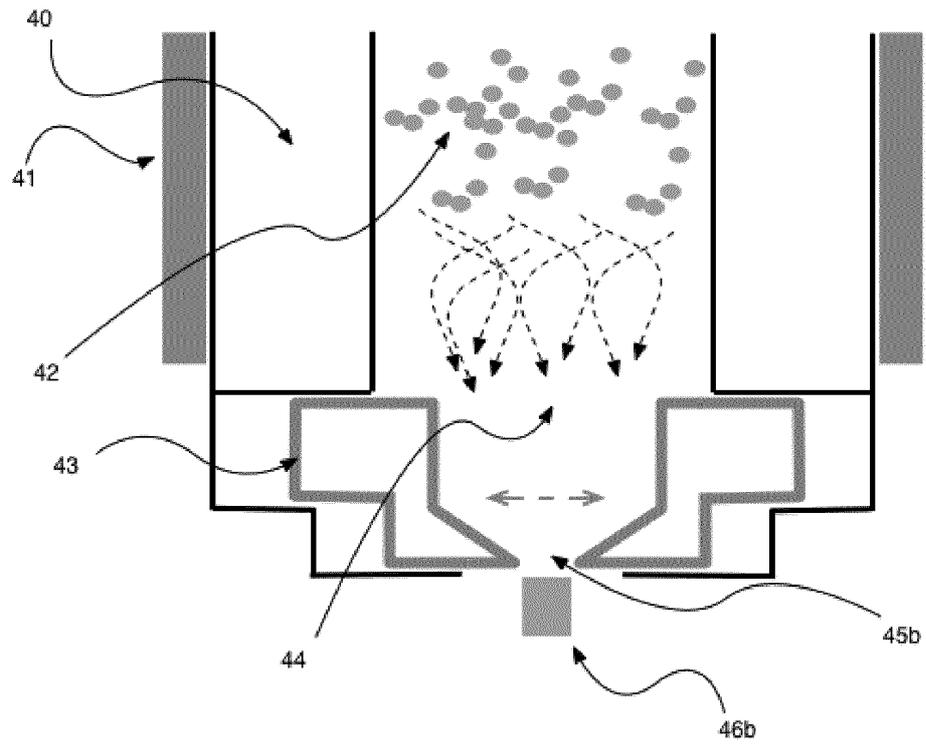


FIG. 3B

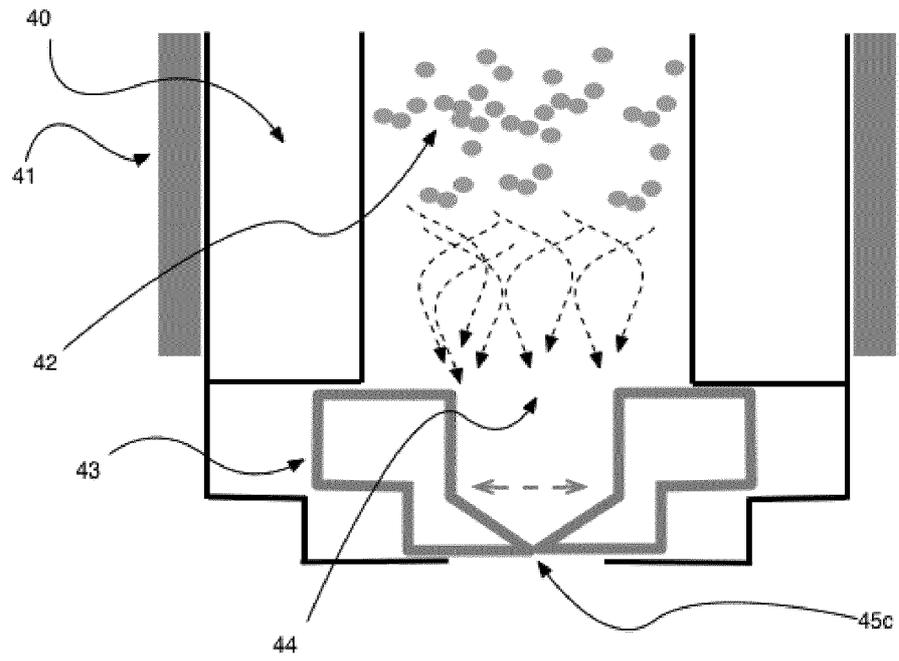


FIG. 3C

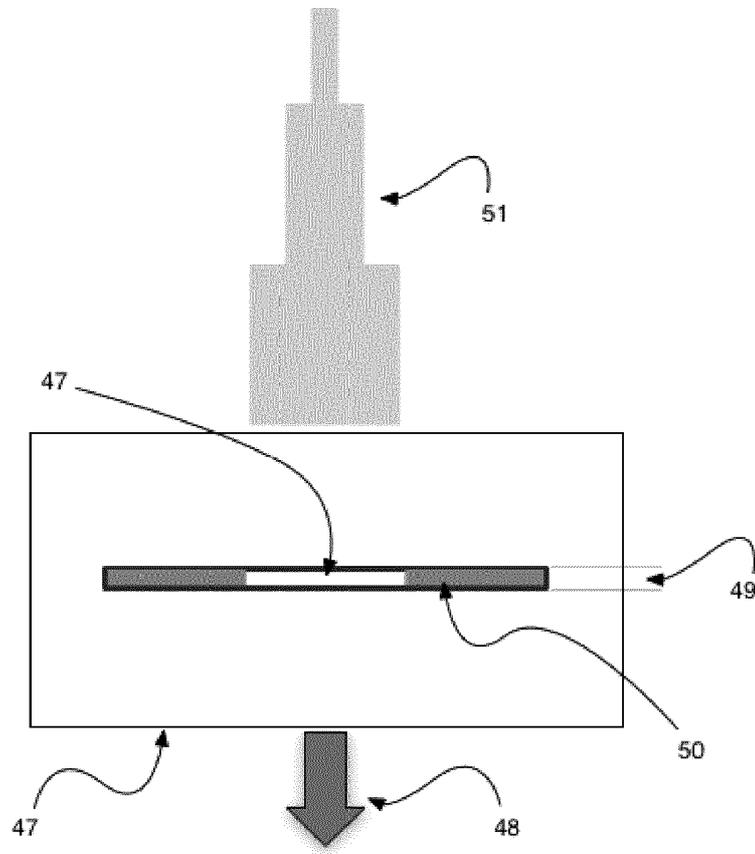


FIG. 3D

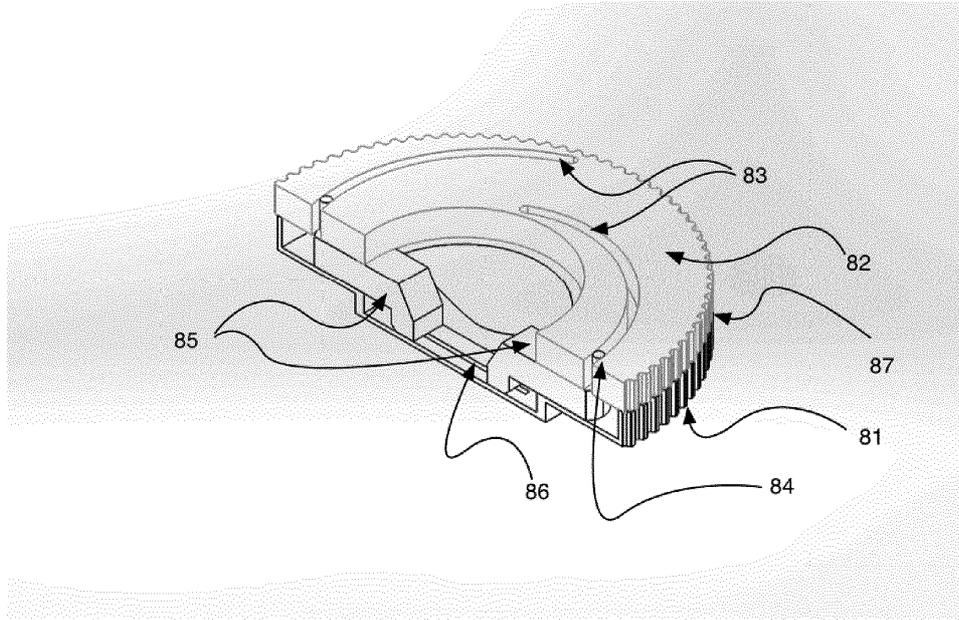


FIG. 4A

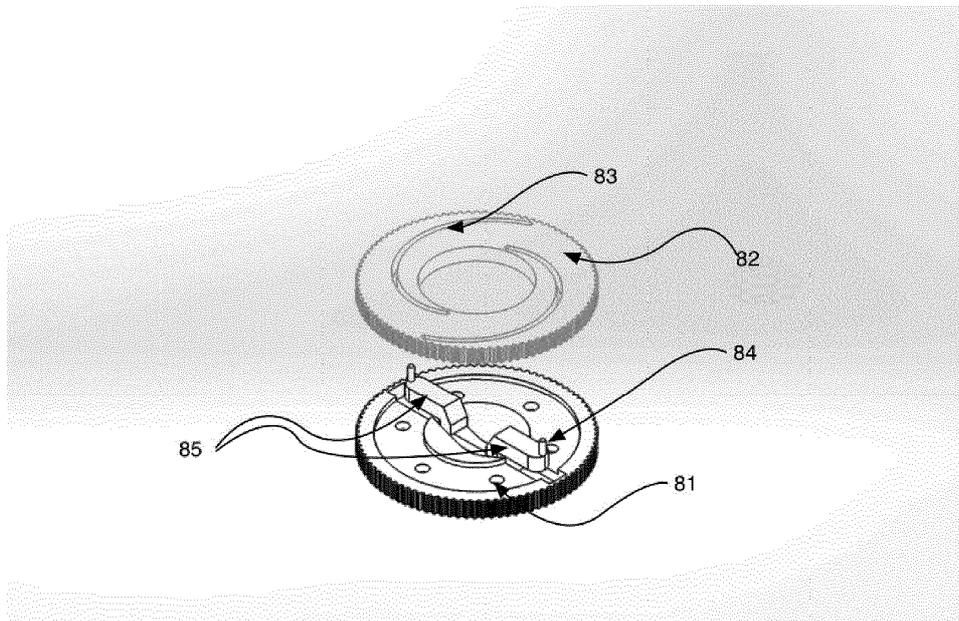


FIG. 4B

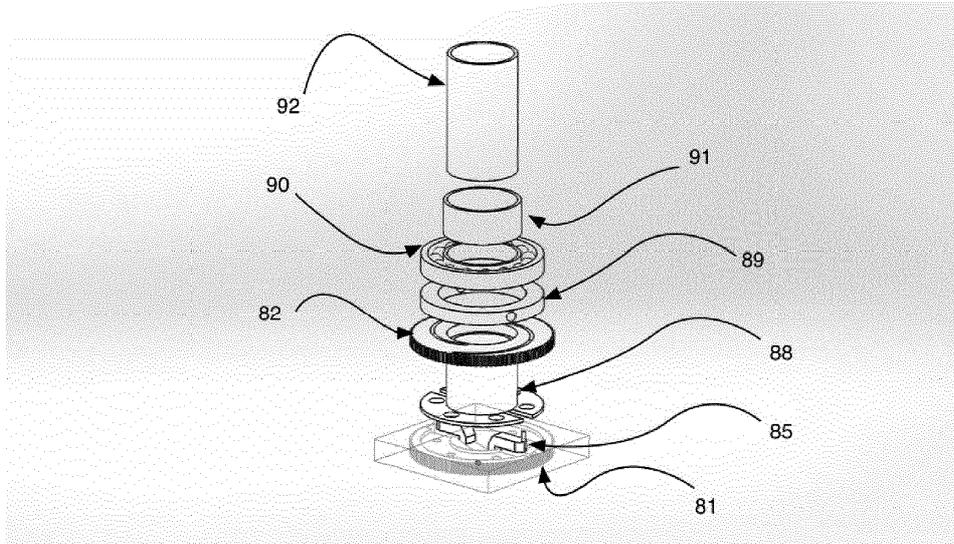


FIG. 5A

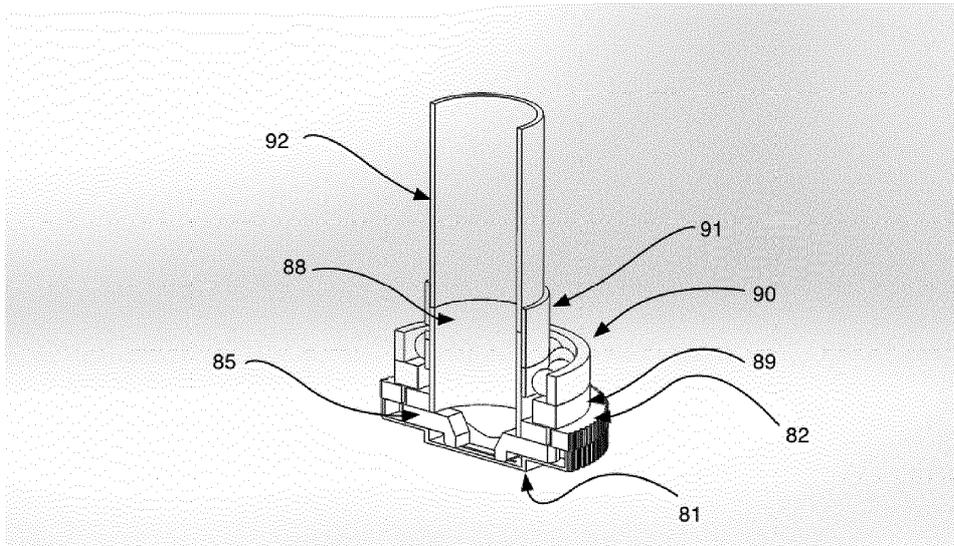


FIG. 5B

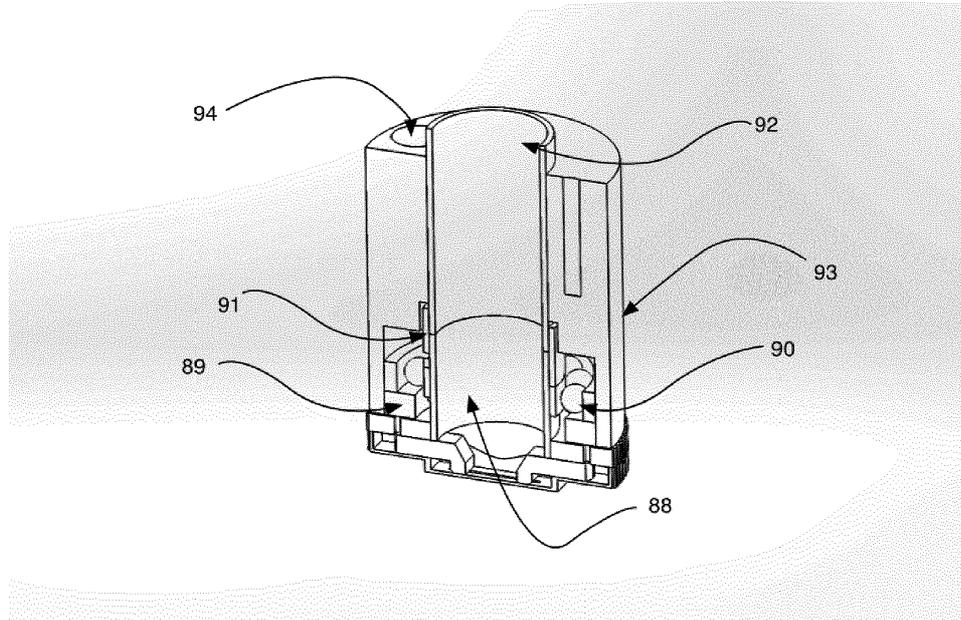


FIG. 5C

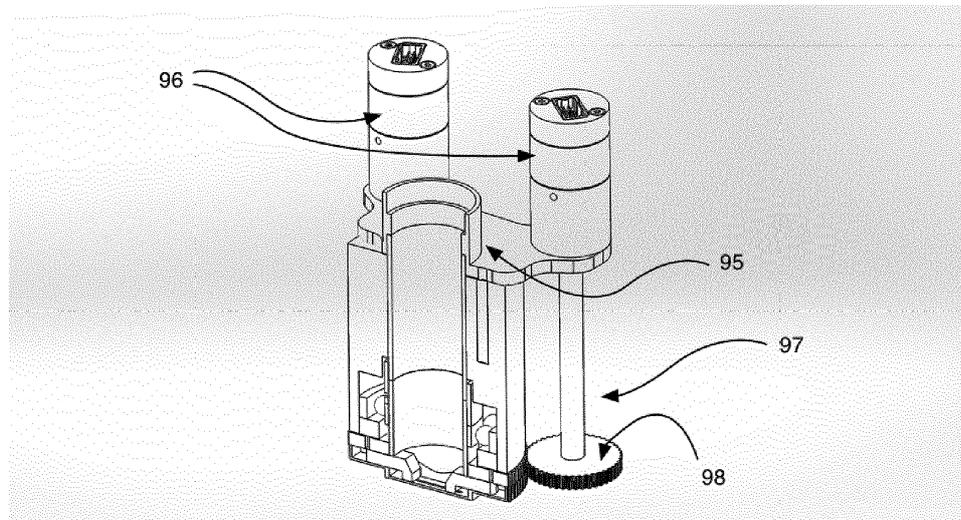


FIG. 6A

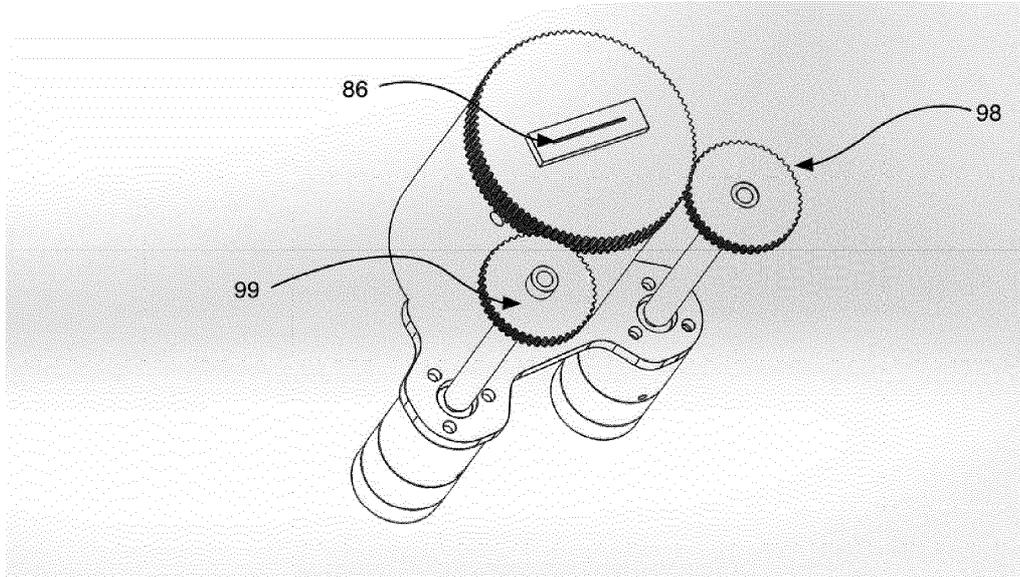


FIG. 6B

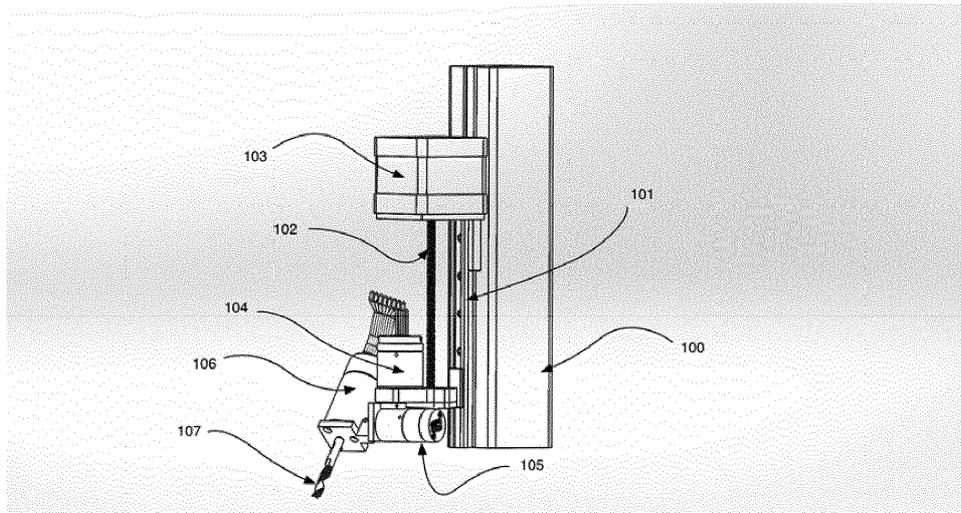


FIG. 7