

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 974 608**

51 Int. Cl.:

B29C 64/295 (2007.01)

B29C 64/118 (2007.01)

B29C 64/209 (2007.01)

B29C 48/02 (2009.01)

B29C 48/05 (2009.01)

B29C 48/25 (2009.01)

B29C 48/80 (2009.01)

B29C 48/86 (2009.01)

B33Y 10/00 (2015.01)

B33Y 30/00 (2015.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.04.2021** **E 21171243 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.11.2023** **EP 4082756**

54 Título: **Extrusión para impresión 3D**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.06.2024

73 Titular/es:

VALCUN BV (100.0%)
Langerbruggestraat 33
9041 Oostakker, BE

72 Inventor/es:

GALLE, JONAS y
DE PAUW, JAN

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 974 608 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

Extrusión para impresión 3D

Campo de la invención

La invención se refiere al campo de la impresión 3D. Más específicamente se refiere a métodos de extrusión y extrusores para extrusión continua.

Antecedentes de la invención

La impresión 3D y otras técnicas de fabricación aditiva permiten una gran libertad de diseño y creación de prototipos. El salto entre el proceso de diseño y la fabricación se puede reducir, porque un producto se puede producir y probar, inmediatamente después del diseño, a un menor coste que si se tuviera que configurar todo un proceso de fabricación industrial solo para la fase de prueba.

Las técnicas bien establecidas incluyen la impresión 3D basada en alambre, como la fabricación con filamentos fundidos (FFF). Estas técnicas incluyen proporcionar, normalmente mediante extrusión, un alambre continuo que se deposita y se une a una placa o a otros alambres ya depositados, formando un objeto 3D. Los materiales suelen ser polímeros y metales o una mezcla de ellos, y la unión se puede realizar con polímeros o cerámica que actúan como adhesivo, a veces seguido de sinterización o curado, o mediante fusión térmica entre los alambres.

Sin embargo, la extrusión generalmente requiere calentar el material para que pueda fusionarse tras la deposición. La extrusión del polímero es lenta debido a su viscosidad, conductividad térmica, etc. El intervalo de temperaturas disponibles para compensar estos efectos es limitado debido a la descomposición química. Por otro lado, la extrusión de metal requiere fundirlo y el metal líquido es difícil de extruir de forma controlada. La viscosidad del metal fundido es comparable a la del agua, por lo que la introducción del material alimentado en un charco de líquido, como se hace en FFF, desplaza un volumen de líquido en contra de la dirección del material alimentado, lo que provoca obstrucción. El metal fundido que gotea y rezuma del extrusor también se convierte en un problema debido a las propiedades del material; no se puede abordar de la misma manera que con los polímeros (por ejemplo, retrayendo el material alimentado o reduciendo la velocidad de alimentación). Para evitar estos problemas, se puede proporcionar un alambre metálico mezclando polvo metálico con un aglutinante como resina y extruyendo esta mezcla. Sin embargo, la técnica requiere un tratamiento posterior para eliminar el aglutinante y garantizar la integridad y adhesión de las capas de material depositado, lo que crea una etapa más en el proceso y trae problemas como tensiones, contracción o incluso grietas, lo que limita la complejidad y flexibilidad del diseño.

Además de controlar las temperaturas de fusión, es necesario controlar y posiblemente evitar reacciones químicas como la oxidación y los enlaces intermetálicos con el entorno en el caso de los metales. La conducción térmica también se convierte en un problema con los metales, por lo que es difícil controlar la fusión ya que el calor se propaga sobre el material alimentado, calentándose a veces incluso fuera del extrusor, lo que puede alterar el proceso ya que puede ocurrir pandeo fácilmente o incluso ser peligroso.

La fuerza de extrusión está muy influenciada por el caudal, que es muy sensible a la fricción, la oxidación, etc. Es difícil obtener una extrusión fiable y consistente, incluso mediante una extrusión impulsada por presión. El documento US2018345573A1 divulga un sistema de fabricación aditiva que requiere una fuente de gas presurizado para superar la resistencia del tubo de extrusión al paso del metal a extruir. El documento US2016354977A1 divulga otro sistema de fabricación aditiva, que proporciona las características del preámbulo de la reivindicación 1.

Sería deseable obtener una extrusión fiable, evitando rezume, con una velocidad de extrusión controlable y un alto intervalo de velocidades de extrusión independientemente del tipo de material.

Compendio de la invención

Un objeto de las realizaciones de la presente invención es proporcionar un dispositivo y un método para la impresión 3D mediante fabricación de filamentos fundidos (FFF) donde se puede proporcionar una extrusión fiable de metales o polímeros a velocidades controlables, incluidas altas velocidades, en una configuración de sistema de alimentación simple sin necesidad de sistemas de presión adicionales.

En un primer aspecto, la presente invención proporciona un extrusor para impresión 3D, que comprende una salida para proporcionar material extruido y una pieza de entrada de materia prima para recibir material en el extrusor.

La pieza de entrada de materia prima es una parte o pieza de extrusor que incluye medios de enfriamiento para enfriar dicho material que entra al extrusor. La pieza de entrada de materia prima incluye la entrada para permitir el acceso de material al extrusor.

Se incluye un depósito para fundir material y para mantener material fundido, que tiene un ancho de depósito. El depósito se conecta a la salida.

Se dispone un canal con un ancho de canal para conectar la pieza de entrada de materia prima con el depósito y para

introducir el material en el depósito. El ancho de canal es menor que el ancho del depósito.

El extrusor comprende además al menos un calentador para fundir el material en el depósito y un controlador para controlar el gradiente de temperatura del material a través del canal. El controlador se configura para mantener el nivel de material fundido al menos en la unión entre el depósito y el canal o a lo largo del canal durante la extrusión, para proporcionar la extrusión mediante el material introducido a través de la pieza de entrada de materia prima y empujar el material fundido en el depósito. En particular, en el canal hay presente una región pastosa de material que está en transición entre el estado líquido y el estado sólido, más cerca del depósito que de la pieza de entrada de materia prima. Esto se controla mediante el gradiente de temperatura, que a su vez se controla controlando los parámetros de calentamiento/enfriamiento y/o alimentación con un controlador, p. ej. conectado a una CPU. La región pastosa y el material de alimentación actúan como émbolo.

Una ventaja de las realizaciones de la presente invención es que se puede proporcionar un extrusor con una velocidad de extrusión controlable que depende de la velocidad de avance, ya que una zona pastosa presente en el canal fuera del depósito, o el material fundido que llena el depósito, sella el depósito. El sellado también reduce la cantidad de líquido que sube. La presencia de un depósito más ancho reduce la fricción entre el alambre y las paredes del extrusor, por lo que se puede reducir la fuerza de alimentación, reduciendo así las posibilidades de doblarse o pandearse en caso de alimentación de alambre. Otra ventaja es que gracias al sellado se puede reducir o eliminar el rezume y el goteo, incluso en la extrusión de metal.

En algunas realizaciones de la presente invención, el controlador se configura para controlar el calentador. En algunas realizaciones, además, los medios de enfriamiento incluyen un enfriador activo que permite el control de la velocidad de enfriamiento. El controlador se configura para controlar el enfriador activo para controlar la velocidad de enfriamiento del material al acceder al extrusor.

Una ventaja de las realizaciones de la presente invención es que se puede obtener una extrusión estable y controlable mejorando el control del gradiente de temperatura, mejorando así la localización de la formación de la zona pastosa con menos necesidad o ninguna necesidad de reducir la temperatura del material en el depósito. En la alimentación de alambre, las posibilidades de flexión se reducen aún más gracias a la presencia de un depósito más ancho que el canal y gracias al control del gradiente de temperatura que limita la parte donde el alambre se debilita debido a la alta temperatura. Preferiblemente, la posición de la región pastosa es fija. Como el depósito tiene una gran masa térmica y reacciona lentamente a los cambios, la posición de la región pastosa se puede calibrar encontrando la temperatura a la que no se nota goteo. Sin embargo, según los experimentos, el calentamiento óptimo a veces depende (ligeramente) de la federación. Para optimizar el rendimiento, la temperatura del punto de consigna se puede cambiar en función de la velocidad de avance.

Alternativa o adicionalmente, el extrusor comprende además un alimentador de material para alimentar material en la pieza de entrada de materia prima que puede ser controlado por el controlador, y el controlador se configura además para controlar el alimentador de material para controlar la velocidad de avance.

Una ventaja de las realizaciones de la presente invención es que se puede obtener una extrusión estable y controlable a diferentes velocidades de avance. Es una ventaja adicional que, para enfriamiento pasivo y/o una velocidad de calentamiento fija, se puede controlar el gradiente de temperatura y la posición de la zona o región pastosa.

En realizaciones particulares, el alimentador de material es un alimentador de alambre para alimentar alambre. El extrusor comprende además una celda de carga entre el alimentador de alambre y la pieza de entrada de materia prima para medir la fuerza de extrusión sobre el alambre.

Una ventaja es que se puede apreciar y prevenir a tiempo el doblez o deslizamiento de alambre.

El calentador incluye un primer calentador para fundir material en una primera parte del depósito cerca del canal. El calentador comprende además un segundo calentador cerca de la conexión del depósito a la salida, para mantener el material fundido en una segunda parte del depósito cerca de la salida a la misma temperatura que el material en la primera parte del depósito o a una temperatura más alta.

Una ventaja de las realizaciones de la presente invención es que se puede obtener una extrusión estable y controlable para diferentes materiales, donde el primer depósito se puede usar para proporcionar un sellado del pistón y el segundo depósito se puede usar para proporcionar un alto control de la temperatura de extrusión.

En particular, el primer calentador se distancia del segundo calentador mediante una rotura térmica que separa el depósito en una primera parte del depósito cerca del canal y una segunda parte del depósito cerca de la salida. Una ventaja es que la temperatura en ambas partes se puede controlar con precisión de forma independiente, ya que hay menos pérdida de calor de una parte a la otra, especialmente cuando se mantienen a diferentes temperaturas. En realizaciones particulares, la rotura térmica proporciona un canal adicional que se adapta para aislar térmicamente la primera parte de la segunda parte del depósito. Una ventaja de las realizaciones de la presente invención es que se proporciona y garantiza un control de alta temperatura del material extruido.

En realizaciones de la presente invención, la salida comprende un calentador adicional para controlar la temperatura

del material extruido en la salida.

Una ventaja de las realizaciones de la presente invención es que se puede compensar la pérdida de calor, por ejemplo la extracción de calor mediante una boquilla el extrusor en la salida. Otra ventaja es que se puede mejorar el control del proceso ya que la respuesta de calentamiento es rápida y la masa térmica del material extruido es pequeña.

- 5 En realizaciones de la presente invención, se incluye una pieza aislante que incluye al menos una parte del canal, para aislar térmicamente la pieza de entrada de materia prima del depósito. Una ventaja de las realizaciones es que permite que se forme una zona pastosa a lo largo del canal pero cerca del depósito para evitar obstrucciones, fuera del depósito y entre el calentador y los medios de enfriamiento. Una ventaja adicional es que se puede proporcionar una temperatura más controlable y un gradiente pronunciado entre los medios de enfriamiento de la pieza de entrada
- 10 de materia prima y los calentadores, maximizando la eficiencia (porque para crear un gradiente de temperatura pronunciado se requiere enfriar intensamente un lado y calentar el otro lado).

En realizaciones de la presente invención, los electrodos están presentes y configurados para aplicar una tensión entre el extrusor y una placa de construcción de una impresora 3D. Una ventaja de las realizaciones es que la adhesión se puede mejorar calentando localmente la placa de construcción.

- 15 En algunas realizaciones de la presente invención, la salida comprende una boquilla de extrusión, opcionalmente una boquilla reemplazable.

En un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un método para extruir material. El método comprende

- introducir material en dicha extrusor a través de una pieza de entrada de materia prima,
- 20 - calentar material en un depósito para obtener un nivel de material fundido, evitando al mismo tiempo el calentamiento del material a través de la pieza de entrada de materia prima,
- alimentar material al depósito a través de un canal, teniendo el canal un ancho de canal y teniendo el depósito un ancho de depósito, donde el ancho de canal es menor que el ancho de depósito,
- 25 - controlar el gradiente de temperatura a lo largo del canal para mantener el nivel de material fundido en la unión entre el depósito y el canal o a lo largo del canal durante la extrusión,

de modo que la introducción de más material sólido en el depósito empuja el material fundido en el depósito a través de una salida conectada al depósito, formando así material extruido.

- 30 Una ventaja de las realizaciones de la presente invención es que la velocidad de extrusión se puede controlar controlando la velocidad de avance, porque la zona o región pastosa presente en el canal, fuera del depósito, sella el extrusor permitiendo así velocidades de avance más altas sin que el líquido suba. Otra ventaja es que gracias al sellado se puede reducir o eliminar el rezume y el goteo en la extrusión de metal, incluso en el caso de materiales fundidos con baja viscosidad. Es una ventaja adicional que la fricción reducida a lo largo del extrusor reduce la flexión o pandeo en el caso de la alimentación de alambre, porque la fricción se produce principalmente a lo largo del canal y se alivia porque el depósito es más ancho que el canal.

- 35 En algunas realizaciones de la presente invención, el método comprende controlar la velocidad de avance del material. Adicional o alternativamente, enfriar el material comprende controlar la velocidad de enfriamiento. Una ventaja de las realizaciones de la presente invención es que se puede obtener una extrusión estable y controlable mejorando el control del gradiente de temperatura, mejorando así la localización de la formación de la zona pastosa sin necesidad de reducir la temperatura del material en el depósito. En la alimentación de alambre, las posibilidades de que se doble se reducen aún más ya que la presencia del depósito reduce la fricción del alambre con el extrusor. Es una ventaja
- 40 adicional que se puede obtener una extrusión estable y controlable para diferentes velocidades de avance.

En algunas realizaciones, el método es un método para extruir aluminio, una aleación de aluminio o cobre.

- 45 Aspectos particulares y preferidos de la invención se exponen en las reivindicaciones independientes y dependientes adjuntas. Las características de las reivindicaciones dependientes pueden combinarse con características de las reivindicaciones independientes y con características de otras reivindicaciones dependientes según corresponda y no simplemente como se establece explícitamente en las reivindicaciones.

Estos y otros aspectos de la invención serán evidentes y dilucidados con referencia a las realizaciones que se describen a continuación.

Breve descripción de los dibujos

- 50 La FIG. 1 ilustra un ejemplo simple que no forma parte de la invención reivindicada con un calentador controlado para fundir material en el depósito.

La FIG. 2 ilustra una realización con dos calentadores para calentar material en el depósito y un enfriador activo en la entrada, para reducir la conducción de calor al material cerca de la entrada.

La FIG. 3 ilustra una realización que incluye dos calentadores y un cuello o canal que separa zonas en el depósito que se calientan mediante diferentes calentadores.

5 La FIG. 4 ilustra una realización que incluye además un mecanismo de materia prima.

La FIG. 5 ilustra una realización con un mecanismo de alimentador que incluye un tornillo de alimentación.

La FIG. 6 ilustra una realización con un bloque de material que forma el área del extrusor que comprende el depósito, en lugar de diferentes piezas unidas. En este ejemplo particular, se muestra también la opción donde los calentadores se integran en el material.

10 La FIG. 7 ilustra una realización con una configuración alternativa de calentadores.

La FIG. 8 es un gráfico con las etapas del método según la presente invención.

La FIG. 9 ilustra la región pastosa donde el material sufre una transición de fase en el canal antes del depósito, a la denominada velocidad de avance baja.

15 La FIG. 10 ilustra la transición al estado fundido en el depósito, rellenándose la holgura entre el material alimentado y las paredes del canal con material pastoso, en la denominada velocidad de avance alta.

Los dibujos son sólo esquemáticos y no limitativos. En los dibujos, el tamaño de algunos de los elementos podrá estar exagerado y no dibujado a escala con fines ilustrativos.

Cualquier signo de referencia en las reivindicaciones no se interpretará como limitativo del alcance.

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

20 Descripción detallada de realizaciones ilustrativas

La presente invención se describirá con respecto a realizaciones particulares y con referencia a ciertos dibujos, pero la invención no se limita a los mismos sino únicamente a las reivindicaciones. Las dimensiones y las dimensiones relativas no corresponden a reducciones reales para la práctica de la invención.

25 Además, los términos primero, segundo 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, espacialmente, en clasificación o de cualquier otra manera. Debe entenderse que los términos así utilizados son intercambiables en circunstancias apropiadas y que las realizaciones de la invención descritas en esta memoria son capaces de funcionar en otras secuencias que las descritas o ilustradas en esta memoria.

30 Además, los términos superior, inferior y similares en la descripción y las reivindicaciones se utilizan con fines descriptivos y no necesariamente para describir posiciones relativas. Debe entenderse que los términos así utilizados son intercambiables en circunstancias apropiadas y que las realizaciones de la invención descritas en esta memoria son capaces de funcionar en otras orientaciones que las descritas o ilustradas en esta memoria.

35 Cabe señalar que el término "que comprende", utilizado en las reivindicaciones, no debe interpretarse como restringido a los medios enumerados a continuación; no excluye otros elementos o etapas. Por lo tanto, debe interpretarse como que especifica la presencia de las características, números enteros, etapas o componentes indicados a los que se hace referencia, pero no excluye la presencia o adición de una o más características, entidades, etapas o componentes, o grupos de los mismos. Por lo tanto, el término "que comprende" cubre la situación en donde sólo están presentes las características indicadas y la situación en donde estas características y una o más características más están presentes. Por lo tanto, el alcance de la expresión "un dispositivo que comprende los medios A y B" no debe interpretarse como limitado a dispositivos que consisten únicamente en los componentes A y B. Significa que, 40 con respecto a la presente invención, los únicos componentes relevantes del dispositivo son A y B.

45 La referencia a lo largo de esta memoria descriptiva a "una realización" o "una realización" significa que una característica, 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 apariciones de las frases "en una realización" o "en una realización" en diversos lugares a lo largo de esta memoria descriptiva no necesariamente se refieren todas a la misma realización, pero pueden hacerlo. Además, los rasgos, estructuras o características particulares se pueden combinar de cualquier manera adecuada, como sería evidente para un experto en la técnica a partir de esta divulgación, en una o más realizaciones.

50 De manera similar, se debe apreciar que en la descripción de realizaciones ejemplares de la invención, varias características de la invención a veces se agrupan en una sola realización, figura o descripción de la misma con el fin de simplificar la divulgación y ayudar en la comprensión de una o más de los diversos aspectos inventivos. Sin

embargo, este método de divulgación no debe interpretarse como que refleja la intención de que la invención reivindicada requiera más características de las que se enumeran expresamente en cada reivindicación. Más bien, como reflejan las siguientes reivindicaciones, los aspectos inventivos residen en menos de todas las características de una única realización descrita anteriormente. Por lo tanto, las reivindicaciones que siguen a la descripción detallada se incorporan expresamente a esta descripción detallada, siendo cada reivindicación por sí sola una realización separada de esta invención.

En la descripción proporcionada en esta memoria, se exponen numerosos detalles específicos. Sin embargo, se entiende que las realizaciones de la invención se pueden poner en práctica sin estos detalles específicos. En otros casos, no se han mostrado en detalle métodos, estructuras y técnicas bien conocidos para no oscurecer la comprensión de esta descripción.

Cuando en realizaciones de la presente invención se hace referencia a "zona pastosa", se hace referencia a la región de un sólido donde tiene lugar la fusión, entre su fase líquida y su fase sólida. Por "sólido" se entiende un material en su fase sólida, que puede estar en forma de polvo, gránulos, alambre, etc. en una condición (temperatura) que cae dentro de la región sólida de su diagrama de fases. Los materiales adecuados para la extrusión incluyen metales, aleaciones, polímeros, etc. Los materiales poliméricos también requieren calentamiento para ablandarlos hasta un estado viscoso fácilmente extruible, que puede considerarse un estado fundido y que comienza en la temperatura de transición vítrea en el caso de los polímeros, y la región de transición entre estos estados fundido y no fundido también puede denominarse "zona pastosa" por simplicidad.

La presente invención se refiere a métodos de impresión 3D como la fabricación con filamentos fundidos (FFF), en particular a la impresión 3D basada en alambres en donde se forma y deposita un alambre extruido continuamente. El volumen de extrusión y la adhesión del alambre al material subyacente son parámetros críticos. Para una buena adhesión, uno de los requisitos es que el alambre tenga una temperatura suficiente.

El ablandamiento y la fusión del material para la extrusión requieren altas temperaturas (por ejemplo, temperaturas superiores a la temperatura de fusión del material), pero el material fundido es difícil de manejar; tanto los polímeros como los metales se utilizan normalmente en la impresión 3D principalmente debido a la baja viscosidad y la alta conductividad térmica. El material ablandado (fundido) se fuerza a pasar a través de una salida con forma tal que se pueda formar un alambre, generalmente una boquilla. Esta fuerza debe proporcionarse manteniendo al mismo tiempo el material fundido.

Los sistemas de extrusión impulsados por presión dependen de fuerzas como la fricción, el desgaste, la oxidación... Estas fuerzas son inestables y pueden variar fácilmente. El uso de un sistema de alta presión puede permitir una mayor fricción y un mejor control, pero en algunos casos aumenta la complejidad del sistema.

Para resolver este problema, se introdujo la extrusión volumétrica, donde idealmente el volumen de material introducido en el extrusor es el mismo que el volumen de material extruido y es independiente de la fuerza requerida. La extrusión volumétrica se puede lograr por el empuje/desplazamiento el material de alimentación, p. ej. un hilo alimentado o tornillo de extrusión para granulados, muy similar a la impresión de polímeros (tecnología FFF). Sin embargo, cuando se introduce material no fundido en el extrusor y entra en la región con material fundido, un volumen del material fundido se desplaza hacia el espacio que presenta la menor resistencia. Esto suele provocar un flujo ascendente de material fundido hacia la entrada por la que se introduce material no fundido (especialmente en el caso de metal líquido), provocando accidentes, perturbando la alimentación e impidiendo una extrusión continua.

Además, los polímeros y los metales presentan diferentes problemas de extrusión.

La baja conductividad de los polímeros reduce la transferencia de calor del calentador al polímero, en comparación con el caso de los metales. La temperatura máxima utilizable de los polímeros está limitada para evitar la descomposición.

Los polímeros fundidos son muy viscosos. Esto requiere altas fuerzas de extrusión y proporciona una alta fricción durante la extrusión, por lo que la velocidad a la que se extruye el polímero fundido depende de la viscosidad y, junto con la baja conductividad térmica, limita las velocidades de extrusión. Los metales, por otro lado, muestran una alta conducción térmica y calor latente, por lo que requieren altas temperaturas para fundirse y presentan problemas como obstrucción del alimentador y goteo/rezume del extrusor cuando la extrusión se detiene entre diferentes fases de deposición.

La presente invención proporciona un extrusor y un método de extrusión de materiales que entran al dispositivo en estado sólido y salen en estado fundido, para diferentes materiales con un amplio intervalo de viscosidad incluyendo polímeros (>100 mPa.s) y metales (<100 mPa.s), y para una amplia gama de velocidades de deposición.

En algunas realizaciones la presente invención permite, para un orificio de boquilla estándar (hasta ~1 mm), una tasa de deposición cercana a 1 l/h o incluso mayor. Un diámetro de boquilla mayor (p. ej. 5 mm) permite velocidades de deposición más altas, de hasta 15 l/h, dependiendo del grosor de la capa y la potencia de calentamiento.

La invención proporciona un volumen, o "depósito", en el extrusor que se llena con material fundido. Se utiliza un canal

para alimentar material a este depósito, y una salida, conectada al depósito, proporciona material extruido. El extrusor se configura de manera que el material no fluya hacia arriba por el canal. Para esto, el extrusor se diseña para que el material que se alimenta no se caliente hasta las temperaturas de fusión en la entrada del extrusor, mientras que el material en el depósito se calienta para que el material fundido llene el depósito. El depósito es más ancho que el canal, por lo que el flujo ascendente está limitado por el aumento de la resistencia debido al cuello de botella entre el depósito y el canal.

Gracias a esta configuración, el material que entra al depósito a través del canal se comporta como un 'pistón consumible', que sella el depósito y ejerce presión ('empuja') el material fundido hacia el interior del depósito y la salida del extrusor, mientras el material es derritiendo. Por lo tanto, la velocidad de extrusión puede controlarse mediante la alimentación del material, por ejemplo cambiando la velocidad a la que se alimenta el material o la velocidad de avance. La cantidad de material que fluye hacia arriba se reduce o elimina, no sólo por la configuración del canal y el depósito, sino también controlando el gradiente de temperatura, asegurando que la posición de la zona pastosa esté cerca del depósito. Sin embargo, la posición exacta en donde el material es "pastoso" es el resultado del diseño, basado en los materiales utilizados, el consumo de energía, las características del material extruido, la velocidad de avance y las temperaturas de funcionamiento, por ejemplo.

En otras palabras, se requiere un gradiente de temperatura a través del material alimentado que pasa a través del canal antes del depósito para que haya material fundido al menos en el depósito, opcionalmente en el depósito y parte del canal para que haya una zona pastosa a lo largo del canal. La zona pastosa puede ser lo suficientemente corta para que no se obstruya el canal y, junto con la diferencia de ancho entre el depósito y el canal, ayuda a reducir el flujo ascendente. En el caso de material alimentado con alambre, la pendiente permite mantener corta la zona de debilitamiento y, junto con la fricción reducida proporcionada por el depósito, reduce las posibilidades de tronzado. La temperatura del material se reduce aguas arriba del depósito, por lo que el material permanece sólido cuando está cerca de la entrada. Es preferible que el material no se debilite debido a la alta temperatura cerca de la entrada. Por ejemplo, en el caso del aluminio, el debilitamiento comienza alrededor de los 250 °C y puede ocurrir pandeo a temperaturas aún más bajas, por lo que normalmente la temperatura aguas arriba en la entrada no debe exceder los 100 °C, preferiblemente incluso menos, por ejemplo, 100 °C. 50 °C. Cuando se alimenta material a una velocidad de avance alta, cualquier material fundido que fluya hacia arriba se solidifica al menos parcialmente gracias a la configuración del diámetro del depósito/canal y al gradiente de temperatura. Este comportamiento permite la formación de zonas pastosas a altas velocidades de avance, sellando el canal y proporcionando el efecto "pistón". Para reducir o evitar obstrucciones o atascos, se puede ajustar el gradiente de temperatura y/o la aceleración de la velocidad de avance, de modo que el flujo ascendente de material se mantenga en una zona limitada cuyo límite está más cerca del depósito que de la entrada. El gradiente de temperatura se puede mejorar añadiendo, cerca de la entrada, un sistema de enfriamiento controlable, o "enfriamiento activo", aunque la presente invención no se limita a ello y se pueden colocar sistemas de enfriamiento pasivos, tales como disipadores de calor o similares, cerca de la entrada del extrusor, en la denominada pieza de entrada de materia prima. Por ejemplo, el límite de la zona pastosa (por ejemplo, el límite del flujo ascendente en velocidades de avance altas) está preferiblemente más cerca del depósito que de la pieza de entrada de materia prima enfriada. Puede haber aislamiento térmico a lo largo del canal entre la región cercana a la parte superior del canal de entrada y la región de calentamiento en el depósito. El tipo de enfriamiento se puede adaptar según el material que se está extruyendo.

Además, el metal fundido se comporta como un líquido que puede rezumar del extrusor incluso cuando no se está alimentando material al extrusor. En la presente invención, se evita el rezume y el goteo gracias a la acción del pistón consumible que sella el canal y la entrada sin necesidad de válvulas ni sistemas de presión, ya que el gas ambiental (aire o gas inerte, como argón o similares, por ejemplo previenen la oxidación del metal fundido) no puede entrar al extrusor para reemplazar el líquido en el depósito y causar estos problemas. Otros factores que mejoran el comportamiento de evitar que el fluido de menor densidad entre en el extrusor incluyen la alta tensión superficial del material fundido, el pequeño diámetro de la boquilla, la baja difusividad del fluido exterior (en otras palabras, la baja tendencia de, por ejemplo, el gas ambiental/circundante a difundir en el material fundido) en el material fundido con mayor viscosidad. Además, la diferencia de presión a través de la salida, p. ej. a lo largo de la boquilla, ayuda a prevenir el goteo.

Gracias a este comportamiento, cuando el cabezal de impresión se aleja del sustrato o de la pieza impresa mientras se extruye un líquido (metal), el material (por ejemplo, aluminio) de la punta puede romperse o desprenderse ventajosamente. Se pueden incluir otros elementos para mejorar este comportamiento, p. ej. promoviendo un enfriamiento rápido (por ejemplo, encendiendo/apagando un calentador de punta de boquilla de respuesta rápida opcional o un chorro de enfriamiento de evaporación de gas, niebla o fluido). Esto enfriará el material dentro del intervalo de solidificación o incluso cerca o ligeramente por debajo de la temperatura de solidus para que el cabezal de impresión pueda romper fácilmente la conexión sólida entre la boquilla y el sustrato sin dañar la boquilla, el cabezal de impresión o la pieza impresa.

En un primer aspecto, la presente invención se refiere a un dispositivo de extrusión, o pieza de extrusión, o para abreviar extrusor. El extrusor incluye una pieza de entrada de materia prima y una salida, conectadas a través de un canal y un depósito. El extrusor tiene al menos un calentador para fundir el material en el depósito. Un controlador, por ejemplo un procesador, incluso un sistema de control de circuito cerrado implementado en un circuito electrónico, proporciona control del proceso de modo que el depósito esté lleno de material fundido y se mantenga una zona

pastosa a lo largo del canal entre la entrada y el depósito y más cerca del depósito que de la entrada, p. ej. a la pieza de entrada de materia prima. El controlador puede controlar el gradiente de temperatura del material, p. ej. controlando la potencia de los calentadores y/o enfriadores, o manteniéndolos fijos y controlando el avance. Por tanto, el control de gradiente se puede realizar mediante el control de la velocidad de calentamiento, la velocidad de enfriamiento, la velocidad de avance o una combinación de estos parámetros.

La FIG. 1 muestra un ejemplo que no forma parte de la invención reivindicada, donde un extrusor 100 incluye una pieza de entrada de materia prima 1 que es una pieza que incluye la entrada 101 a través de la que se puede introducir material en el extrusor. La pieza de entrada de materia prima 1 incluye un sistema de enfriamiento, que también beneficia el enfriamiento del material, incluso los alambres metálicos, evitando aún más el debilitamiento del material en la entrada. El sistema de enfriamiento mostrado en la FIG. 1 es un sistema de enfriamiento pasivo, por ejemplo un disipador de calor que comprende material adecuado para disipar el calor, incluyendo opcionalmente estructuras de disipación de calor tales como aletas o similares. Un canal 104 se extiende entre la entrada 101 y un depósito 103 de material fundido. El canal es más estrecho que el depósito. Debe dimensionarse de manera que para el material particular (y para diferentes velocidades de avance de diseño), exista una película líquida entre el material sólido alimentado (por ejemplo, alambre) y la pared del depósito. Esto es el resultado de la transferencia de calor desde los calentadores al alambre sólido. Además, en el caso de alambres, la fricción resultante entre ese líquido y el alambre alimentado debe ser tal que la fuerza requerida no sea mayor que la fuerza de pandeo del alambre. El diámetro del canal se puede elegir dependiendo del material de alimentación, p. ej. para un alambre de 1,2 mm, 1,3 mm en la conexión con el depósito, mientras que el depósito puede tener una anchura o un diámetro de unos pocos mm pero mayor que el diámetro del canal en la conexión con él, p. ej. aproximadamente diez, por ejemplo 8 mm. La longitud del depósito puede proporcionarse según las velocidades de avance máximas que se deben alcanzar para una potencia de calentamiento determinada, teniendo en cuenta la transferencia de calor, etc.

El canal 104 atraviesa una pieza aislante 2, por ejemplo una pieza que comprende o se hace de material térmicamente aislante (por ejemplo, cerámica aislante), de modo que el calor en el depósito 103 no debilita el material al nivel de la entrada 101 y el calor extraído por la zona 1 es limitada, para mejorar la eficiencia energética. Cabe señalar que el diámetro del canal 104 puede no ser constante y puede adaptarse para optimizar, por ejemplo, aislamiento, reducir el pandeo o la fricción, facilitar la entrada de material, etc. Por ejemplo, el diámetro del canal 104 a través de la pieza de entrada de materia prima 1 puede ser diferente, p. ej. mayor que a través de la pieza aislante 2, por ejemplo puede ser de 2 mm y 1,3 mm respectivamente.

El depósito 103 se conecta a una salida 102 que proporciona material extruido 202 (por ejemplo, alambre para deposición, por ejemplo, un alambre caliente). La salida 102 puede configurarse para proporcionar fuerzas de extrusión, por ejemplo, una boquilla 3. Se proporciona un calentador 4 en la región del depósito, para fundir el material que entra al depósito. El calentador 4 puede incluir cualquier sistema adecuado conocido tal como calentamiento por inducción o resistencia, calentamiento de líquido/gas, etc. Los calentadores pueden estar en la parte externa del extrusor, o integrados en el material de la cámara, o incluso en contacto con el material fundido.

La presente invención permite velocidades de avance elevadas, con aceleraciones de hasta 100 mm/s², sin pandeo.

El extrusor se configura para evitar el flujo de material fundido hacia la entrada. En particular, el canal 104 es más estrecho que el depósito 103 y también se proporciona un gradiente de temperatura a lo largo del canal, por lo que se forma un volumen de material pastoso a lo largo del canal, que se deforma fácilmente y toma la forma del canal, sellándolo. Por tanto, el material que se introduce en el depósito actúa como un émbolo, empujando el material fundido hacia el extrusor. Para proporcionar un gradiente tal que haya material pastoso a lo largo del canal, y bloquear la entrada para que no entre aire o gas o fluya líquido hacia arriba, el calentador 4 y el sistema de enfriamiento de la pieza de entrada de materia prima 1 se configuran para mantener las respectivas temperaturas altas y más bajas en los extremos opuestos del canal 104, por ejemplo en o cerca del depósito 103 y alrededor del fondo del sistema de enfriamiento respectivamente. La velocidad de avance se puede considerar al proporcionar calentamiento y/o enfriamiento para controlar el gradiente.

- Cuando la conductividad térmica del material es muy alta y/o la velocidad de avance es baja, el calor puede viajar hacia la entrada y causar obstrucción, debilitamiento y comienzo de fusión en la parte de canal 1041, incluida la parte del canal en la pieza de entrada de materia prima 1 y cerca de ella, p. ej. hasta la mitad de la longitud del canal entre el fondo de la pieza de entrada de materia prima y el depósito, p. ej. la mitad superior de la pieza aislante 2. Esto se evita controlando el gradiente de modo que la zona pastosa y la fusión se produzcan cerca del depósito 103, por ejemplo en una parte 1042 del canal que cruza la pieza aislante 2, una longitud, por ejemplo, desde la mitad de la pieza aislante hasta el depósito.

- Cuando la velocidad de avance es lo suficientemente alta como para evitar que el calor se mueva hacia arriba, el material parcial o totalmente sólido entra al depósito y se funde allí. Esto empuja el material fundido hacia arriba, por lo que el gradiente de temperatura debe ser tal que este material comience a enfriarse y a formar una zona pastosa cerca del depósito, sellando el canal como antes. En general, se prefiere que la zona pastosa sea relativamente pequeña y esté más cerca del depósito que del área más fría cerca de la entrada. Si la zona pastosa está demasiado alta en el canal, cerca de la pieza de entrada de materia prima (enfriada), el material pastoso se solidifica y provoca obstrucciones. También requiere una mayor fuerza de extrusión, lo que aumenta la

probabilidad de pandeo. Por otra parte, el calentamiento y el enfriamiento pueden ser tales que el gradiente sea relativamente alto, pero sólo en el alambre para limitar ventajosamente el consumo de energía. La pieza aislante 2 impide que el sistema de enfriamiento extraiga demasiado calor del depósito. Un pequeño gradiente de temperatura hace que la posición y la longitud de la zona pastosa sean más sensibles a velocidades de avance variables, y su límite tiende a extenderse más cerca de la pieza de entrada de materia prima 1. Una gran longitud del canal antes del depósito reduce aún más el gradiente de temperatura, aumentando la longitud de la zona pastosa. Una gran longitud de esta zona aumenta las fuerzas de fricción, aumentando la posibilidad de pandeo y obstrucción.

Debido a las diferencias de propiedades de los materiales, las velocidades de avance, temperaturas y dimensiones se pueden optimizar para cada material. En el caso de la extrusión de aluminio, para un alambre de 1,2 mm, se pueden utilizar como parámetros a modo de ejemplo estos valores:

Longitud del canal de entrada 104, p. ej. la parte de la pieza aislante 2: 5 mm-12 mm. Diámetro del canal de entrada 104 (pieza aislante 2): 1,3 mm-1,5 mm gradientes de temperatura: hasta 100 °C/mm Longitud de la zona pastosa: 1 mm-4 mm

Longitud entre la zona pastosa del fondo y el depósito: 0-4 mm Longitud de la pieza de entrada de materia prima enfriada 1: 5 mm a 100 mm

El gradiente se controla mediante un controlador 107, de modo que hay una región pastosa que bloquea el flujo ascendente de material fundido desde el depósito hasta el fondo de la pieza de entrada de materia prima 1. En el ejemplo particular de la FIG. 1, la unidad de control o controlador 107 controla la cantidad de calor proporcionada por el calentador 4. Dependiendo de factores como la velocidad de avance, la holgura entre el material que se alimenta y las paredes del canal, la viscosidad del material y la conductancia térmica, la velocidad de enfriamiento del sistema de enfriamiento en la pieza de entrada de la materia prima 1, la longitud del canal 104 y/o la temperatura de fusión del material, el controlador 107 puede proporcionar un calentamiento mayor o menor, calentamiento cercano o superando la temperatura de fusión del material de modo que el canal quede sellado con material parcialmente fundido (o zona pastosa) para evitar el flujo ascendente, de modo que el material que se alimenta a través del canal se comporte como un "émbolo".

En algunas realizaciones como se muestra en la FIG. 1, dependiendo del material extruido y/o el intervalo de velocidad de extrusión, solo se requiere un depósito, elemento de calentamiento y/o ajuste de temperatura para proporcionar la extrusión y el gradiente requerido. Sin embargo, proporcionar enfriamiento activo y múltiples calentadores y/o puntos de consigna de temperatura (FIG. 2) puede aumentar la flexibilidad; por ejemplo, se pueden proporcionar diferentes velocidades de extrusión.

La FIG. 2 muestra una realización de la presente invención en donde se proporciona enfriamiento activo en la pieza de entrada de materia prima 1. El enfriamiento activo puede proporcionarse mediante cualquier forma de líquido o gas controlable (por ejemplo, aire forzado), tubos termoelectrónicos o de calor. Por ejemplo, la pieza de entrada de materia prima 1 puede incluir un enfriador activo 109, que puede incluir un circuito de tuberías para enfriar el fluido (gas, líquido tal como agua, etc.). Este sistema de enfriamiento activo se puede controlar, aumentando o disminuyendo la velocidad de enfriamiento según la aplicación particular. Esto es ventajoso, por ejemplo, para:

- compensación de la conductividad térmica del material alimentado (por ejemplo, alambre metálico) a diferentes velocidades de avance, reduciendo así la gran zona de debilitamiento,
- proporcionar un gradiente de temperaturas para generar una zona pastosa en una zona predeterminada del extrusor, preferiblemente más cerca del depósito que de la entrada,
- control del gradiente de temperatura del material alimentado a través del canal, para diferentes velocidades de avance.

El enfriamiento activo se puede combinar con un solo calentador, pero algunas realizaciones de la presente invención incluyen una pluralidad de calentadores, como se muestra en la FIG. 2, ya que la temperatura del control de la zona pastosa puede ser diferente de la temperatura de extrusión requerida. Este es sólo un ejemplo particular, y también se puede aplicar una pluralidad de calentadores a extrusores con enfriamiento pasivo en la pieza de entrada de materia prima, como el que se muestra en la FIG. 1. Tener varios calentadores permite calentar el material dentro del depósito en diferentes zonas, por ejemplo una zona más cercana al canal que a la salida, y otra zona no superpuesta más cercana a la salida que al canal.

Los calentadores pueden calentar el material a la misma temperatura. Esto se puede hacer con polímeros, permitiendo controlar la temperatura en la zona pastosa y cerca de la salida, p. ej. en la zona de extrusión. La extracción de calor en las dos zonas podría ser diferente, por lo que aunque se requiera el mismo punto de consigna de temperatura, es ventajoso utilizar dos calentadores diferentes que controlen (de forma independiente) la temperatura de las dos zonas. Esto supone una ventaja frente a los diseños FFF actuales, por ejemplo.

En realizaciones alternativas, el calentador o calentadores más cercanos al canal 104 pueden calentar el material a

una temperatura más baja que el calentador o calentadores más alejados del canal. Esto es ventajoso en materiales con gran conductividad térmica (como en los metales), porque permite desacoplar el calentador de la primera parte de depósito 113 del resto de los calentadores, p. ej. desacoplar el calentador para calentar para proporcionar un gradiente de temperatura desde el calentador para calentar para proporcionar una extrusión buena y continua. En otras palabras, la temperatura necesaria para proporcionar el efecto pistón del material alimentado puede ser controlada por el primer calentador, mientras que la temperatura óptima para la extrusión, mucho más alta que la temperatura de transición sólido-líquido, puede ser proporcionada por el segundo calentador que calienta el material a la temperatura óptima de extrusión (por ejemplo, más cerca de la salida que del canal). En algunos ejemplos no limitantes, en el caso de los metales puede estar entre 100 °C y 500 °C más caliente en el segundo depósito, mientras que para los polímeros, debido a su baja conductividad, puede no haber ninguna diferencia, hasta alrededor de 50 °C más caliente. Esto da como resultado dos zonas dentro del depósito 103, una primera parte de depósito 113 donde el material se calienta mediante el primer calentador 4, y una segunda parte de depósito 112 donde el material se calienta mediante el segundo calentador 7. La presencia de una primera parte de depósito 113 dedicada a la generación del gradiente de temperatura y una segunda parte de depósito 112 dedicada a la generación de calor de extrusión óptimo permite un mejor control del proceso de extrusión a diferentes velocidades de calentamiento.

Los calentadores 4, 7 pueden ser del mismo tipo o de diferente tipo, por ejemplo pueden optimizarse para el intervalo de temperaturas previsto. Si el diseño, el proceso y el material de extrusión lo permiten, puede incluso ser el mismo calentador que se muestra en la FIG 1 o uno con distribución de energía predefinida.

En algunas realizaciones, el gradiente de temperatura en el material alimentado, por ejemplo el gradiente en el canal, se puede proporcionar controlando la velocidad de enfriamiento mediante un controlador 117, controlando la velocidad de calentamiento del calentador 4 más cercano al canal, o controlando tanto la velocidad de enfriamiento del enfriador activo 109 como la velocidad de calentamiento del calentador 4 más cercano al canal. Además, el controlador 117 puede proporcionar control del segundo calentador.

En algunas realizaciones, los calentadores primero y segundo se aíslan térmicamente entre sí al menos mediante una rotura térmica 5, de modo que su velocidad de calentamiento se puede establecer o controlar con precisión. Esta rotura térmica 5 puede ser similar a la pieza aislante 2, aunque optimizada para aislar los flujos de calor a una temperatura dentro del intervalo de temperaturas del depósito.

La FIG 3 muestra una realización de la presente invención donde la primera parte de depósito 113 y la segunda parte de depósito 112 se vinculan por una rotura térmica 5 que proporciona un segundo canal 106, o cuello, con un diámetro más pequeño que el resto del depósito 103. Este diámetro puede ser mayor, igual o menor que el diámetro del canal de alimentación. Cuanto menor sea el diámetro, mejor será el aislamiento, ya que menos calor puede viajar a través del líquido, sin embargo se debe tener en cuenta la fricción y se debe encontrar un equilibrio según el material, viscosidad, etc. La presencia de un canal 106 es relevante para Materiales con alta conductividad térmica y baja viscosidad, como metales líquidos. Por lo tanto, para los polímeros, debido a la baja conductividad y la alta viscosidad, el diámetro podría ser preferible ser mayor, p. ej. tan grande como el resto del depósito (en la práctica, quitando el cuello como se muestra en la FIG 2).

En realizaciones de la presente invención, se puede añadir un calentador adicional 9 a la salida. Por ejemplo, una boquilla de extrusión en la salida puede comprender un calentador de punta de boquilla 9, para compensar la extracción de calor por la pieza de trabajo/parte impresa y el ambiente. Como el calentador está en contacto con una pequeña parte de masa térmica del material licuado, la respuesta de calentamiento es alta y permite un control óptimo del proceso. Por ejemplo, apagar el calentador puede permitir un enfriamiento rápido de la punta y la solidificación, mejorando el control del proceso y reduciendo el goteo y similares.

El calentador adicional 9 puede controlarse mediante el mismo controlador que controla el gradiente de temperatura (el controlador 127 que controla, por ejemplo, el calentador, o un sistema de enfriamiento activo, o ambos).

Sin embargo, dicho calentador de boquilla 9 podría no ser necesario para algunos materiales, p. ej. para materiales con bajas temperaturas de fusión y/o baja conductividad térmica.

La FIG 4 muestra una realización que comprende dos partes de depósito y un canal adicional 106 como en la FIG 3. La FIG 4 también muestra que la presente invención puede incluir un controlador 137 configurado para proporcionar el gradiente de temperatura (por ejemplo, controlando al menos un enfriador activo 109, o un calentador 4 para la primera parte de depósito 113, o ambos), y un segundo controlador 147 dedicado a controlar las temperaturas de extrusión, por ejemplo. el calentador de la segunda parte de depósito 112 y el calentador adicional 9, p. ej. calentador de puntas.

En algunas realizaciones de la presente invención, se puede incluir un mecanismo de alimentador 108, por ejemplo una materia prima y/o un sistema impulsor, para proporcionar un desplazamiento volumétrico del material alimentado y proporcionar suficiente presión para realizar la extrusión en estado completamente líquido. Estos sistemas dependen del tipo de material que se utilice. Por ejemplo, en el caso de alambre, la materia prima y el sistema de accionamiento pueden incluir ruedas de alimentación. En caso de que se utilicen granulados o gránulos como material de alimentación, la materia prima puede comprender una tolva y el sistema de accionamiento, por ejemplo, un tornillo de

extrusión.

Este mecanismo de alimentador 108 puede colocarse a una distancia predeterminada del extrusor, por ejemplo en el marco de la impresora, en una configuración conocida como principio de alimentación Bowden. O el mecanismo de alimentador puede instalarse directamente en la parte superior y alinearse con el extrusor, convirtiéndose en parte del cabezal de impresión. Sin embargo, está lo suficientemente lejos como para no verse afectado por las altas temperaturas manejadas en el extrusor, p. ej. se puede colocar en un área a temperaturas de 50 °C o menos, por lo que puede estar frío en comparación con el extrusor, por lo que las piezas móviles, sellos y otras partes del mecanismo tienen un bajo riesgo de daño térmico.

El mecanismo de alimentador se puede controlar, por ejemplo, para proporcionar diferentes velocidades de avance, lo que da como resultado diferentes velocidades de extrusión en realizaciones de la presente invención. El controlador 137 usado para controlar el gradiente de temperatura también puede usarse, o alternativamente, para controlar la velocidad de avance, la presión, etc. estableciendo algoritmos y conexiones apropiados entre los mecanismos de alimentador 108 y el controlador 137, por ejemplo. incluyendo una unidad central de procesamiento. De este modo, la velocidad de avance se puede considerar y controlar para el control preciso del gradiente de temperatura a lo largo del canal. Por ejemplo, en el caso de que el material de alimentación sea un alambre con muy alta conductividad, para asegurar que la zona pastosa esté en una posición óptima a lo largo del canal, la potencia de calentamiento y el gradiente de temperatura se pueden elegir apropiadamente de modo que el debilitamiento del alambre no cause flexión o algo similar. En realizaciones preferidas, la velocidad de avance está predeterminada y el gradiente de temperatura se controla y ajusta en consecuencia. Sin embargo, la presente invención no se limita a esto y la velocidad de avance también se puede ajustar. Como la conductividad se propaga relativamente rápido a lo largo del alambre, la velocidad puede ser mayor que en el caso de los alambres de polímero. Para esto, el controlador puede tener en cuenta la velocidad de enfriamiento (que también podría controlarse, en caso de que esté presente el enfriamiento activo 109) y/o la velocidad de calentamiento de los calentadores en el depósito, por ejemplo en la parte primera o superior del depósito.

Cabe señalar que el mecanismo de alimentador 108 puede incluirse como parte del extrusor de la presente invención, por ejemplo, pero no exclusivamente, en las realizaciones mostradas de la FIG. 2 a la FIG. 3. Se puede usar cualquier controlador para controlar el mecanismo de alimentador 108, tal como por ejemplo el controlador 107, 117, 127, 137 que controla el gradiente de temperatura, o incluso el controlador 147 que controla los calentadores dedicados a calentar a temperaturas de extrusión.

En algunas realizaciones, los calentadores pueden proporcionar una distribución de energía predeterminada y el enfriador también puede tener enfriamiento fijo o pasivo, por lo que el gradiente de temperatura del material en el canal puede controlarse controlando el tiempo desde el acceso en el extrusor hasta que se funde cerca o en el depósito, p. ej. controlando la velocidad de avance.

En general, aunque cada calentador, mecanismo de retroalimentación y opcionalmente enfriador activo pueden controlarse con un controlador dedicado, todos los controladores pueden conectarse a una unidad central de procesamiento, por ejemplo en un ordenador, que controla todos los procesos.

En algunas realizaciones (por ejemplo, pero sin limitación, la de la FIG 4), se puede proporcionar una celda de carga 400 para medir la fuerza de extrusión en el alambre, para realizaciones que utilizan alambre como material de alimentación. Por ejemplo, la celda de carga se conecta al mecanismo de alimentador 108 y también al cabezal de impresión para medir la fuerza de extrusión. Esto proporciona información de la fuerza de reacción del alambre que empuja la zona pastosa. Si el alimentador empuja el alambre, debido a la fuerza de reacción del alambre sobre la zona pastosa, el alimentador y el cabezal de impresión tienden a separarse, lo cual es detectado por la celda de carga 400. La celda de carga puede conectarse al controlador/CPU, como entrada de sensor, para retroalimentación. Por ejemplo, el controlador puede ajustar el gradiente de temperatura, o la velocidad de avance si se conecta al mecanismo, si el sensor detecta un cambio no deseado en la fuerza aplicada al alambre, que es útil, por ejemplo, para reducir la flexión, el pandeo y el atasco. Además, se puede implementar una rueda codificadora para medir el deslizamiento del mecanismo de alimentación. Cuando se detecta un deslizamiento del alambre, lo más probable es que el alambre se haya atascado y sea necesario detener el proceso de alimentación.

En realizaciones de la presente invención, no se requiere extrusión impulsada por presión, por lo que no son necesarios sistemas de presión complejos. Sin embargo, se puede usar un sistema 300 para aplicar sobrepresión en el extrusor, por ejemplo en el depósito. El sistema de sobrepresión 300 puede configurarse para aplicar una pequeña sobrepresión de, por ejemplo, inferior a 100 mbar de gas inerte (en el caso de aluminio), suficiente para evacuar oxígeno y otros gases reactivos del extrusor o para evitar que entren esos gases. Este sistema no se configura para aplicar una presión lo suficientemente alta como para impulsar la extrusión, pero puede ser suficiente para proteger el material fundido reactivo (por ejemplo, metal fundido) y reducir reacciones no deseadas como la oxidación.

Los mecanismos de alimentador pueden no limitarse a la alimentación de alambre. Se puede utilizar cualquier sistema de alimentación adecuado. En algunas realizaciones, como se muestra en la FIG 5, el mecanismo de alimentador 500 puede comprender un tornillo 501 que se monta completamente en la zona fría, lo que permite usar muchos materiales diferentes como tornillo que no necesitan soportar altas temperaturas. Sin embargo, esto no es limitante, y el tornillo

puede extenderse dentro del extrusor y el canal hacia el depósito. El tornillo de extrusión 501 se configura para impulsar material en forma de granulados o polvo. Permite tanto el desplazamiento volumétrico como opcionalmente (al menos parcial) la fusión de los gránulos debido al cizallamiento y la fricción, lo cual es ventajoso en la fusión de polímeros. Los calentadores 4 aplican calor adicional. En algunas realizaciones de la presente invención, por ejemplo relacionadas con la impresión de polímeros FFF, el mecanismo de accionamiento simplemente proporciona el movimiento y el calentamiento se realiza por separado, p. ej. pueden controlarse por diferentes medios, p. ej. diferentes controladores. En algunas realizaciones, todos los controladores y sensores opcionales se conectan a una CPU para proporcionar calentamiento, velocidad de alimentación y/o enfriamiento precisos, para proporcionar un gradiente de temperatura apropiado. En algunas realizaciones, la boquilla 3 es una boquilla reemplazable. En algunas realizaciones, el extrusor puede incluir una conexión a un suministro de tensión, para proporcionar una tensión entre el material en el extrusor y la placa de construcción de una impresora 3D.

En general, se pueden aplicar diferentes configuraciones para el extrusor. Por ejemplo, la FIG 2, la FIG 3 y la FIG 4 muestran el extrusor que comprende varias piezas unidas a los calentadores 4, 7 y separadas por una pieza aislante que proporciona una rotura térmica 5. Alternativamente, la rotura térmica 5 se puede realizar mediante un diseño geométrico, tal como diámetro de canal pequeño, diámetro exterior más pequeño, presencia de aletas, etc. Por lo tanto, la parte que forma la rotura térmica puede ser una parte conformada del depósito, como se muestra en la FIG. 6. La FIG. 6 muestra un único bloque de material que encierra el depósito. En algunas realizaciones, los calentadores pueden ser una parte integral del extrusor.

Se pueden incluir calentadores adicionales según el intervalo de velocidad de extrusión requerido y las propiedades del material de extrusión.

La FIG. 7 muestra un calentador adicional 71 en la ruptura 5 entre la primera parte de depósito 113 y la segunda parte de depósito 112. Esto permite un mayor intervalo de velocidades de extrusión. A bajas velocidades, es posible que se requiera calentamiento adicional para evitar la solidificación en esa área. A altas velocidades, podría ser necesario calentamiento adicional para ayudar al calentador 7 más cercano a la salida a alcanzar la temperatura de extrusión. Además, el calentador de cada área puede incluir una pluralidad de unidades de calentamiento, por ejemplo una pluralidad de resistencias de calentamiento o una pluralidad de inductores que pueden ser alimentados y/o controlados individualmente.

En otro aspecto, la presente invención proporciona un método de extrusión de material que se puede utilizar durante la impresión 3D. El método permite la extrusión volumétrica de metales o polímeros sin la necesidad de sistemas de alta presión, con goteo/rezume bajo o nulo, y con un intervalo alto y rápido de tasas de deposición.

El método se lleva a cabo utilizando un extrusor con un depósito, tal como el extrusor del primer aspecto de la presente invención. La FIG 8 es un gráfico con las etapas del método. El método incluye llenar el depósito con material fundido, por ejemplo calentando el material fundido S030 en el depósito usando un calentador.

En algunas realizaciones de la presente invención, el procedimiento de llenado inicial incluye las siguientes etapas:

- conociendo el volumen disponible dentro del extrusor, se sabe (aproximadamente) cuánto se necesita llenar antes de la extrusión.
- los calentadores, por ejemplo los calentadores de la primera parte del depósito, se ajustan a una temperatura deseada, p. ej. la temperatura del proceso. El resto de los calentadores se pueden configurar a una temperatura más baja que la temperatura real del proceso hasta que se llene el depósito, para mantener suficiente viscosidad y evitar goteo demasiado pronto.
- se inicia el llenado y se monitoriza la longitud del mismo. Cuando la extrusión se produce antes de la cantidad esperada, en algunas realizaciones el calentador 9 puede reducir la velocidad de calentamiento de modo que la punta se solidifique (parcialmente) para evitar la extrusión temprana.
- la alimentación continúa hasta que se llena el depósito. Esto se puede monitorizar, por ejemplo, con un sensor de fuerza de alimentación en el sistema de alimentación 108 o el deslizamiento del sistema de alimentación si es relevante, o con la célula de carga 400.
- todas las temperaturas del proceso se establecen y la temperatura de la primera parte de depósito 113 (para determinar la posición de la zona pastosa) se establece de manera que se logre una extrusión continua. Esto significa que cuando cae una gota de material fundido, inmediatamente comienza a formarse otra gota cuando se continúa alimentando. Mientras este no sea el caso, la zona pastosa no está en la posición correcta (sino en algún lugar del depósito) y el material es extraído por la gota formada y la gravedad. Esta última calibración es necesaria principalmente cuando se utiliza por primera vez un sistema nuevo o cuando se experimenta con diferentes materiales de extrusión.

El material se introduce S01 o se alimenta a través de una pieza de entrada de materia prima, enviándolo S02 a través de un canal hacia el depósito. Allí se calienta el material con S030. El canal es más estrecho que el depósito y, además, se forma y controla un gradiente de temperatura S03 entre el (fondo de la pieza de entrada de materia prima 1 y el

depósito 103, es decir, a través del canal, de modo que la zona pastosa se mantiene en el área del canal preferiblemente en la pieza aislante, preferiblemente más cerca del depósito que de la entrada 101. En otras palabras, el gradiente permite, en una primera instancia, mantener el material fundido en la unión entre el canal y el depósito, evitando que el flujo ascendente alcance, por ejemplo, el gradiente de temperatura puede disponerse de modo que al menos parcialmente el material fundido esté presente dentro del canal. La introducción de más material a través de la entrada en el canal crea una presión en el depósito, empujando el material fundido en el depósito. Durante la formación de la zona pastosa o pistón consumible, se evita el reflujo y el material se fuerza a través de una salida conectada al depósito, por ejemplo a través de una boquilla de extrusión.

El método de la presente invención permite la extrusión volumétrica mediante empuje/desplazamiento del material alimentado, tanto para materiales poliméricos como metálicos, con una impresión estable, bajo o nulo goteo y rezume. En otras palabras, el método permite extruir material S04 empujando el material alimentado hacia el material fundido del depósito.

El gradiente de temperatura puede proporcionarse mediante el control del flujo de calor en lados opuestos del canal, p. ej. en la pieza de entrada de materia prima y en el depósito. Esto se puede hacer, por ejemplo, controlando la velocidad de calentamiento de un calentador en el depósito, y/o controlando la velocidad de enfriamiento de un enfriador en la región de la entrada, p. ej. en una pieza de entrada de materia prima. El control puede proporcionarse mediante señales de control, mediante un bucle de retroalimentación, etc. proporcionado por un componente electrónico tal como un controlador, un procesador o similar. El controlador puede proporcionar señales para cambiar el flujo de calor, p. ej. cambiando la potencia de calentamiento en el lado del depósito, o cambiando la potencia de enfriamiento en el lado de entrada, y/o adaptando la velocidad de avance.

La introducción de material S01 puede comprender la introducción de metal. En algunas realizaciones comprende introducir únicamente material metálico o aleaciones, sin mezclarse con resina. Por ejemplo, aluminio o aleación de aluminio, plata, oro, magnesio o se puede proporcionar cobre. El metal puede presentarse, por ejemplo, en forma de alambre metálico.

Alternativamente, el método puede comprender proporcionar polímero tal como PLA, ABS, PP, PEEK, nailon, PC, por ejemplo, en forma de alambre, gránulos o granulados, no limitándose la presente invención a estos ejemplos.

A pesar de las diferencias en las propiedades de los materiales y los niveles de temperatura, no hay mucha diferencia entre la física de extrusión entre metales y polímeros. Cuando se alimenta alambre al extrusor, es ventajoso asegurar que el alambre alimentado proporcione la fuerza de extrusión. Esto es relativamente fácil de conseguir con polímeros a velocidades de avance bajas, debido a su alta viscosidad. La presente invención proporciona una fricción adicional contra el movimiento del polímero fundido hacia arriba en el canal y permite una longitud más larga para la zona de fusión del alambre (a velocidades de avance más altas), gracias a la diferencia de ancho entre el depósito y el canal. Para evitar que el calor suba por el alambre, se podría utilizar una zona de enfriamiento, como un disipador de calor, y opcionalmente también una rotura de calor. Por ejemplo, el material alimentado puede ser conducido S02 a través del canal desde la entrada, opcionalmente una entrada enfriada, a través de la rotura de calor proporcionada por una pieza aislante, hacia el depósito.

La presente invención permite utilizar metales o polímeros con la misma arquitectura (aunque el diseño, el material utilizado y las dimensiones pueden variar dependiendo del material a extruir) a pesar de la diferencia de propiedades como una alta conducción térmica (a menudo 2 o 3 órdenes de magnitud mayor que los polímeros), junto con las altas temperaturas de fusión requeridas de los metales, que pueden causar una zona débil larga (especialmente en materiales con alta conductividad como los metales).

La fusión, en el caso del aluminio, p. ej. aleación de aluminio 4043, comienza a 573 °C (temperatura sólida)-632 °C (temperatura líquida) pero contiene mucha energía para fundirse (calor latente).

La fusión comienza en la zona pastosa (a temperatura sólida). Sin embargo, existe una temperatura de debilitamiento, que en el caso de las aleaciones de aluminio se produce desde 200-250 °C hasta el inicio de la fusión, a 573 °C. Por tanto, el debilitamiento puede extenderse a una longitud de alambre larga. Esta zona larga y débil provoca pandeo del alambre y una gran fricción, lo que puede provocar obstrucciones. Además, la baja viscosidad del metal fundido (comparable a la del agua) puede hacer que el líquido suba a lo largo del alambre al empujar fácilmente un baño líquido. Se puede aplicar un procedimiento análogo a la aleación de aluminio 7075, con una temperatura sólida de 480 °C y una temperatura líquida de 630 °C.

Por otro lado, los metales se pueden extruir relativamente rápido. Los polímeros, debido a su alta viscosidad y su calor máximo aplicable limitado, son difíciles de extruir a una velocidad elevada. Para velocidades o avances elevados, la larga zona débil/de fusión se convierte en un problema tanto para la extrusión de polímeros como de metales. Una gran contrapresión del alambre sobre el extrusor provoca que el alambre se deslice en el sistema de alimentación (extrusión no volumétrica) o se pandee.

La configuración particular del canal y el depósito y el control de gradiente de temperatura permiten reducir o prevenir una zona de debilitamiento larga, proporcionando además un efecto de sellado en el canal o entre el canal y el depósito de modo que ningún material fundido fluya hacia arriba por el canal, y el propio material alimentado crea presión sobre

el material fundido del depósito, proporcionando así la extrusión. Por tanto, el método permite el control del proceso de extrusión controlando la velocidad de avance.

El método comprende proporcionar alimentación de material a la entrada y al canal, donde el material se elige de modo que pueda formarse una holgura entre el material sólido y el canal. Por ejemplo, la anchura del diámetro de un alambre de alimentación se puede elegir según la anchura del canal. Por ejemplo, en el caso del aluminio, para un diámetro de alambre de p. ej. 1,2 mm se ha demostrado que funciona un diámetro de canal de 1,25 mm-1,5 mm. Sin embargo, estos valores son sólo un ejemplo y se pueden aplicar otros valores dependiendo de las propiedades del material utilizado, el tamaño de la holgura y el gradiente de temperatura.

El método permite convertir el material alimentado en un pistón consumible, de modo que el material alimentado empuja el material fundido mientras pasa del estado sólido al estado fundido, gracias al depósito de amortiguación. La temperatura en la entrada se puede mantener constante, por ejemplo gracias a un enfriador. La temperatura en el depósito también puede ser constante gracias al calentador. A velocidades de avance más altas, y/o si el volumen del depósito es relativamente pequeño, la temperatura local del material en el depósito en la conexión con el canal puede ser menor que en el resto del depósito. Esto se puede tener en cuenta y aumentar el punto de consigna de temperatura.

Para velocidades de avance de alambre bajas, la influencia de la conducción térmica es alta y el calor puede viajar hacia la entrada del depósito. Este es un tema importante en el material alimentado con alambre, especialmente en metales. El gradiente a lo largo del material alimentado se controla de modo que la zona pastosa, donde el material sólido se funde, tenga lugar a lo largo del canal, preferiblemente cerca del depósito, p. ej. a lo largo de la pieza aislante 2. Esto se muestra en la FIG 9.

Para velocidades de avance de alambre elevadas, el calor no tiene tiempo de fluir hacia arriba a través del material alimentado hacia la entrada. El material no fundido o parcialmente fundido puede viajar dentro del depósito intermedio. Por ejemplo, la zona pastosa del alambre estará en algún lugar del depósito. Esto se muestra en la FIG. 10. Como el depósito intermedio es más ancho que el canal de alimentación, se genera menos fricción en comparación con el caso en donde no hay depósito, debido a la película de líquido entre la materia prima y la pared del depósito y se reduce o evita la obstrucción. Cuando el material (por ejemplo, alambre) entra al depósito de amortiguación, empujará algo de líquido hacia arriba en el canal de alimentación, ya que este es probablemente el camino de menor resistencia en comparación con la abertura de la boquilla. Sin embargo, debido al gradiente de temperatura, el material fundido se solidifica parcialmente, creando una zona pastosa en la parte superior del depósito a lo largo del canal, pero limitada a una pequeña longitud o parte 1042 del canal 104, por lo que el efecto pistón del material es restaurado. Una cuidada ingeniería de la holgura entre el material y el canal también mejora el efecto del pistón.

A velocidades de avance bajas, el control del gradiente de temperatura es importante para garantizar el control del proceso de fusión (por ejemplo, la posición de la zona pastosa) y, en el caso de material alimentado con alambre, una longitud corta de la zona de debilitamiento para reducir las posibilidades de fricción, pandeo y obstrucción. A velocidades de avance altas, el amortiguador permite longitudes de fusión más largas sin introducir fricción adicional ni controlar diferentes posiciones de la zona pastosa/pistón, siempre que el gradiente permita sellar el depósito mediante material al menos parcialmente fundido. En resumen, una velocidad de avance es alta o baja dependiendo de su conductividad y determina si la fusión se produce en el yacimiento o a lo largo del canal. La presente invención permite controlar y sostener la presencia de una zona pastosa a lo largo del canal, en cualquier sentido.

Cuando el material no se alimenta activamente al extrusor, el material restante en el canal aún se comporta como un pistón, no permitiendo el acceso de aire al depósito, por lo que se reduce o evita el goteo de material fundido a través de la salida.

Opcionalmente, se puede aplicar un segundo calentamiento, que puede ser diferente del primero, al material en el depósito que sale a la salida. De esta manera, el calentamiento del material para proporcionar el gradiente de temperatura se puede realizar independientemente del calentamiento del material para extrusión. Por ejemplo, el primer calentador puede controlarse independientemente del segundo calentador. En caso de que el material a extruir sea un polímero, ambos calentadores pueden calentar el material a la misma temperatura de fusión. Estas temperaturas dependen del material; para PLA, normalmente de 185 °C a aproximadamente 205 °C; para ABS, normalmente entre 200 °C y 250 °C; para PEEK: 340-575 °C. En caso de que el material sea un metal o una aleación, el material puede calentarse a la temperatura de fusión del metal en la primera parte del depósito calentada por el primer calentador cerca del canal, mientras que el material puede calentarse a temperaturas mucho más altas, adecuadas para una extrusión continua y estable y fusión con capas anteriores, en la segunda parte del depósito próxima a la salida. Además, el material extruido se puede calentar aún más durante la extrusión, por ejemplo mediante un calentador adicional en la salida, p. ej. en la boquilla de extrusión. Debido a que la cantidad de material es pequeña a lo largo de la boquilla, el calentamiento y enfriamiento pueden ser muy rápidos, facilitando, por ejemplo, una solidificación rápida al final de un ciclo de deposición o permitiendo una fusión rápida al comienzo de un ciclo.

Controlar el calentador para controlar el gradiente de temperatura, controlar el calentador o calentadores para proporcionar una temperatura de extrusión óptima, controlar el enfriador para controlar el gradiente de temperatura y/o controlar la velocidad de avance (por ejemplo, mediante un mecanismo de alimentador) se puede realizar mediante de uno o más controladores. Preferiblemente, el control del calentamiento y/o enfriamiento para proporcionar el

gradiente de temperatura se realiza independientemente del control de la velocidad de avance. En algunas realizaciones, la velocidad de avance se puede utilizar como datos de entrada para optimizar el control del gradiente de temperatura. El control se puede mejorar aún más en el caso de materiales alimentados con alambre midiendo la fuerza sobre el alambre sólido mientras se alimenta al extruido.

- 5 El método puede comprender aplicar una ligera sobrepresión de un gas inerte para reducir la oxidación, lo cual es especialmente ventajoso en el caso de la impresión de metales. Esta sobrepresión puede no ser lo suficientemente alta como para producir la extrusión, por lo que el sistema de gas puede ser pequeño y no requerir una gran potencia.

El método se puede utilizar tanto para polímeros como para metales, teniendo en cuenta cuestiones como la conductividad térmica (que suele ser de 2 a 3 órdenes de magnitud mayor en los metales que en los polímeros habituales), diferentes temperaturas de fusión e interacciones químicas.

- 10

En la impresión de polímeros, es suficiente controlar sólo la temperatura de extrusión debido a las bajas temperaturas de fusión y la baja conductividad térmica. Para los metales, se pueden controlar ventajosamente al menos dos temperaturas para evitar la obstrucción: transición de sólido a líquido y temperatura de extrusión. Como se ha explicado anteriormente, para la extrusión de metal se pueden usar ventajosamente dos calentadores para calentar diferentes regiones del depósito, que incluyen opcionalmente un calentador en la salida (por ejemplo, el calentador 9 de la punta de la boquilla). El número de calentadores puede ser mayor, por ejemplo, cada parte del depósito puede calentarse mediante más de un calentador, de modo que se puede proporcionar más ancho de banda de control, aumentando ventajosamente el intervalo de velocidades de avance disponibles.

- 15

El método se puede utilizar con materia prima en forma de granulados o gránulos. En algunas realizaciones, la introducción de material incluye introducir granulados de polímero o metal en el extrusor. Un tornillo de extrusión o una bomba para partículas no fundidas alimenta los granulados hasta la entrada del depósito. La fuerza motriz compacta los granulados, pero no es necesaria ninguna deformación plástica y pueden existir bolsas de aire entre los granulados. En comparación con los tornillos de moldeo por inyección, el mecanismo de tornillo/alimentación puede estar completamente en la zona fría, cumpliendo ventajosamente con los requisitos (termo)mecánicos de diseño y elección del material.

- 20

A velocidades de avance bajas, los granulados comienzan a debilitarse y pasan al estado fundido a lo largo del canal 104 donde se forma la zona pastosa.

A velocidades de avance elevadas, los granulados no tienen tiempo de fundirse antes de entrar al depósito. Tanto en el caso del alambre como en este, el volumen desplazado empuja el material fundido a través de la boquilla. Una cantidad de material puede fluir hacia arriba por el canal. Esta cantidad está limitada por el estrechamiento entre el depósito y el canal, y por el gradiente de temperatura a través del canal 104 donde el material se solidifica (al menos parcialmente) y forma una zona pastosa que actúa como un pistón.

- 30

La FIG 9 y la FIG 10 muestran la diferencia en funcionamiento entre velocidades de avance bajas y velocidades de avance altas. Se observa que la conductividad es un factor importante, así como la velocidad de inserción del material, que determina el comportamiento del material. La materia prima sólida es en estos ejemplos alambre, pero lo mismo puede aplicarse a otras formas de material.

- 35

La FIG 9 muestra el comportamiento a velocidades de avance bajas, con la zona pastosa en la parte 1042 de la pieza aislante 2 más cerca del depósito (por ejemplo, la mitad de la pieza más cerca del depósito, o incluso más cerca). El material 201 actúa como un pistón consumible, el proceso de fusión comienza antes del depósito y el material pastoso se deforma y toma la forma del canal, evitando que el flujo ascendente incontrolado llegue a la entrada. El gradiente de temperatura se mantiene alto en esta parte 1042 mediante el control del calentamiento y/o del enfriamiento y sus velocidades.

- 40

La FIG 10 muestra el comportamiento a altas velocidades de avance, con la zona pastosa 203 del alambre 201 dentro del depósito, donde el material se funde. El material alimentado empuja el material fundido dentro del depósito y lo empuja hacia la salida. También hay un movimiento ascendente de material fundido desde el depósito hacia la entrada. El material comienza a pasar del estado fundido al sólido debido al enfriamiento y llena el espacio entre el alambre (aunque lo mismo se aplica si se usa una forma diferente, como polvo) y las paredes internas del canal. Sin embargo, este movimiento y su extensión se controlan controlando el gradiente de temperatura, de modo que el flujo permanece en la parte 1042 del canal 104 a lo largo de la pieza aislante 2.

- 45

Como antes, el gradiente de temperatura se mantiene alto en esta parte 1042 mediante el control del calentamiento (con el calentador 4), enfriamiento opcional o adicional (con el enfriador en la pieza de entrada de materia prima 1), y sus velocidades.

- 50

El proceso es continuo y puede estabilizarse continuamente controlando el gradiente de temperatura, opcionalmente también la temperatura de extrusión y la velocidad de avance.

El presente método y dispositivo permiten la extrusión volumétrica en una amplia variedad de velocidades de avance. También hace posible la extrusión de metal en estado completamente líquido, evitando al mismo tiempo que resuma

- 55

o gotee, y no se limita a la materia prima de alambre. No se limita a los metales, ya que puede utilizarse para extruir materiales con una amplia variedad de viscosidades, incluidos polímeros e incluso alimentos.

REIVINDICACIONES

1. Un extrusor (100) para impresión 3D, que comprende una salida (102) para proporcionar material extruido (202) y una pieza de entrada de materia prima (1) para recibir material en el extrusor,

- la pieza de entrada de materia prima (1) incluye medios de enfriamiento para enfriar dicho material,

5 - un depósito (103) para fundir material, y que tiene un ancho de depósito, que se conecta a la salida (102),

- un canal (104) con un ancho de canal, para conectar la pieza de entrada de materia prima (1) con el depósito (103) e introducir el material en el depósito, donde el ancho del canal es menor que el ancho del depósito, comprendiendo además el extrusor (100)

10 - un primer calentador (4) para fundir material en una primera parte de depósito (113) del depósito (103) cerca del canal, y

- un segundo calentador (7) cerca de la conexión del depósito a la salida (102), para mantener el material fundido en una segunda parte (112) del depósito cerca de la salida a la misma temperatura que el material en la primera parte de depósito (113) o a una temperatura más alta, y

15 - un controlador (107, 117) para controlar el gradiente de temperatura del material a través del canal (104), estando configurado el controlador para mantener el nivel de material fundido al menos en la unión entre el depósito (103) y el canal (104) o a lo largo del canal (104) durante la extrusión, para proporcionar la extrusión mediante el material introducido a través de la pieza de entrada de materia prima y que empuja el material fundido en el depósito (103),

20 caracterizado por que el primer calentador se distancia del segundo calentador (7) mediante una rotura térmica (5) que separa el depósito en una primera parte de depósito (113) cerca del canal (104) y una segunda parte de depósito (112) cerca de la salida (102).

2. El extrusor de la reivindicación anterior, en donde el controlador (107, 117) se configura para controlar el calentador, y/o en donde los medios de enfriamiento incluyen un enfriador activo (109), en donde el controlador (117) se configura para controlar el enfriador activo (109) para controlar la velocidad de enfriamiento del material.

25 3. El extrusor de cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende además un alimentador de material (108, 500) para alimentar material a la pieza de entrada de materia prima (1), en donde el controlador (117) se configura además para controlar el alimentador de material (108, 500) para controlar la velocidad de avance.

30 4. El extrusor de la reivindicación 3, en donde el alimentador de material (108) es un alimentador de alambre (108) para alimentar alambre (201) y que comprende además una celda de carga (400) entre el alimentador de alambre (108) y la pieza de entrada de materia prima (1) para medir la fuerza de extrusión sobre el alambre (201).

5. El extrusor de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la rotura térmica (5) proporciona un canal adicional (106) que se adapta para aislar térmicamente la primera parte (112) de la segunda parte (113) del depósito.

6. El extrusor de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la salida (102) comprende un calentador adicional (9) para controlar la temperatura del material extruido (202) en la salida.

35 7. El extrusor de cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende además una pieza aislante (2) que comprende al menos una parte del canal (104) para aislar térmicamente la pieza de entrada de materia prima (1) del depósito (103).

8. El extrusor de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además electrodos configurados para aplicar una tensión entre el extrusor y una placa de construcción de una impresora 3D.

40 9. Un método para extruir material que comprende

- introducir material (S01) en un extrusor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores a través de una pieza de entrada de materia prima,

- calentar el material (S030) en un depósito para obtener un nivel de material fundido, evitando al mismo tiempo el calentamiento del material a través de la pieza de entrada de materia prima,

45 - alimentar material (S02) al depósito a través de un canal, teniendo el canal un ancho de canal y teniendo el depósito un ancho de depósito, donde el ancho de canal es menor que el ancho de depósito,

- controlar (S03) el gradiente de temperatura a lo largo del canal para mantener el nivel de material fundido en la unión entre el depósito y el canal o a lo largo del canal durante la extrusión,

de modo que la introducción de más material sólido en el depósito empuja el material fundido en el depósito a través

de una salida conectada al depósito, formando así (S04) material extruido.

10. El método de la reivindicación anterior que comprende además controlar la velocidad de avance del material y/o en donde enfriar el material comprende controlar la velocidad de enfriamiento.

11. El método de cualquiera de las reivindicaciones 9 o 10 para extruir aluminio, una aleación de aluminio o cobre.

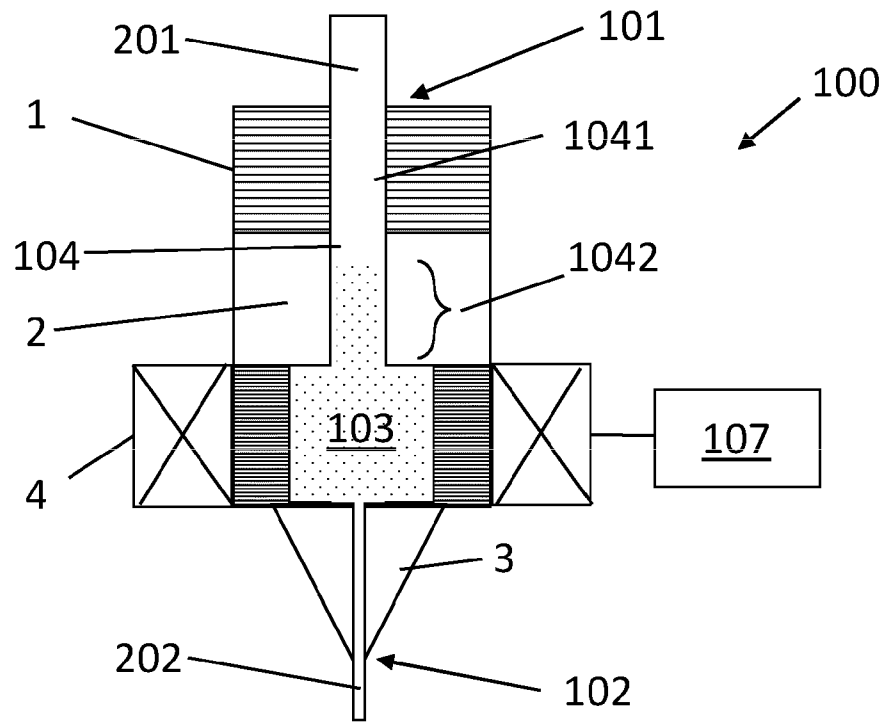


FIG 1

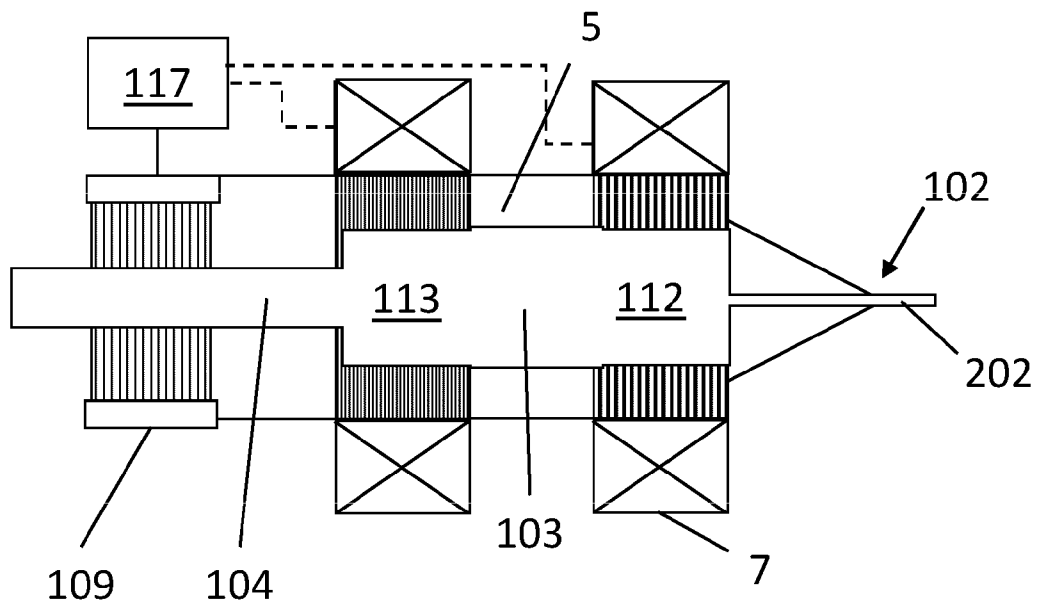


FIG 2

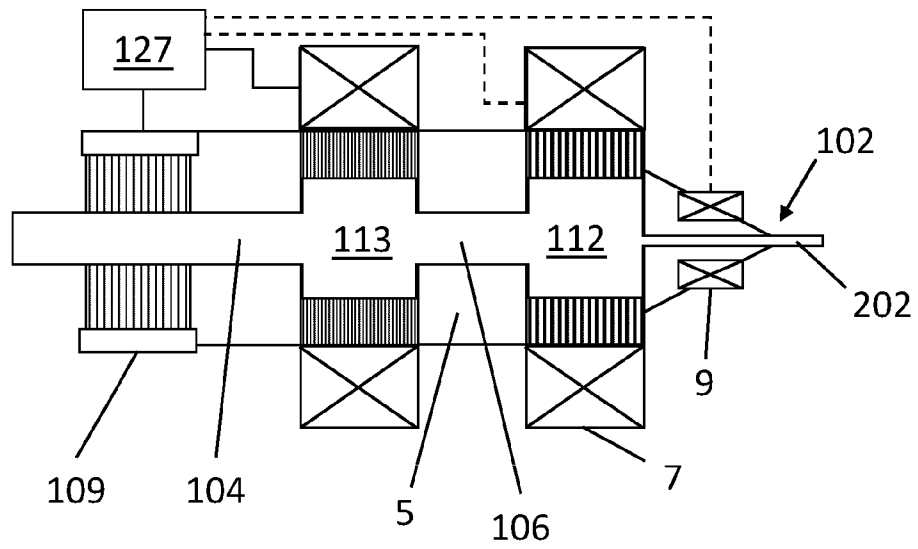


FIG 3

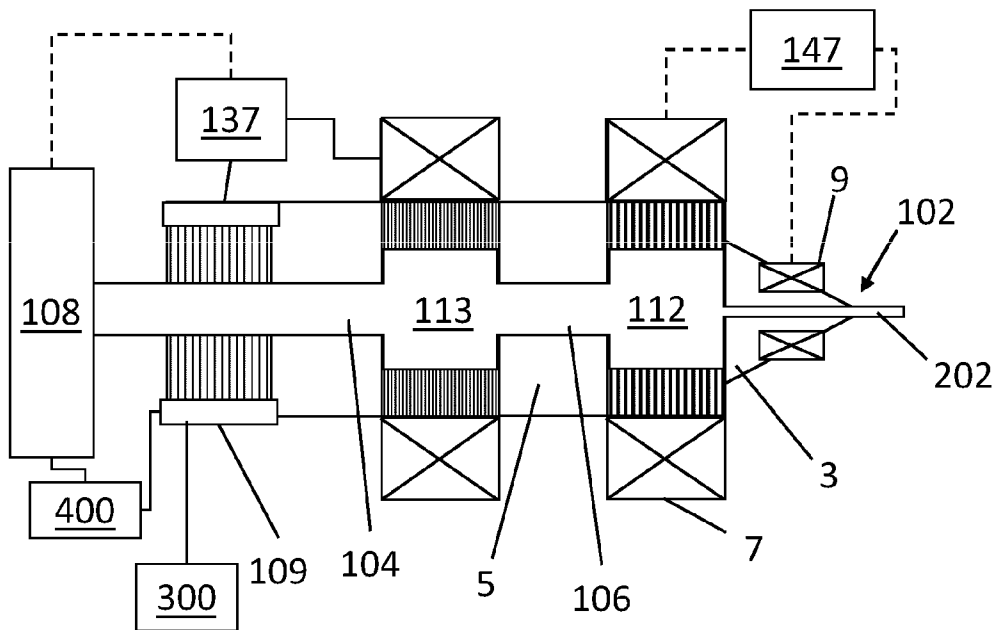


FIG 4

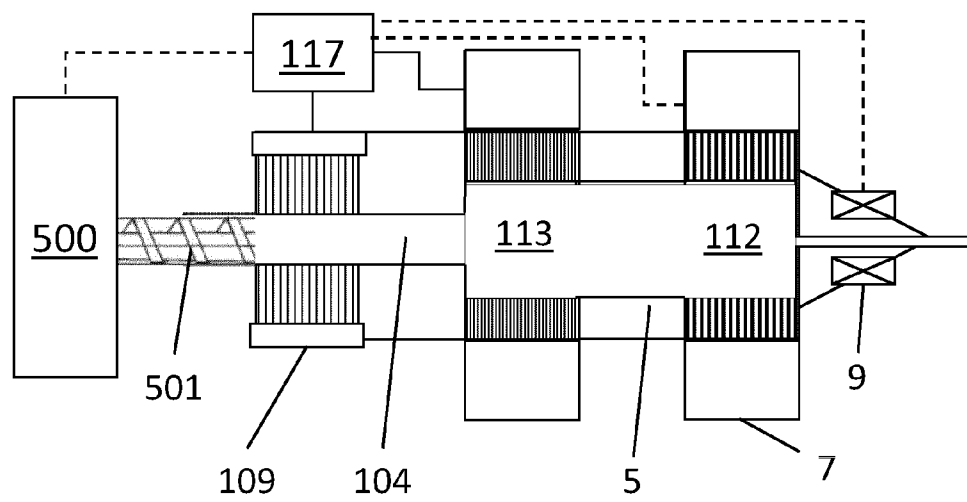


FIG 5

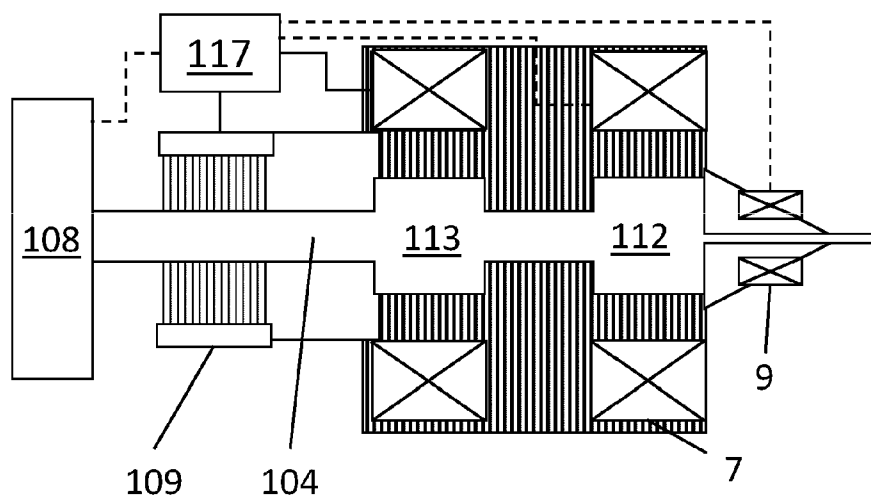


FIG 6

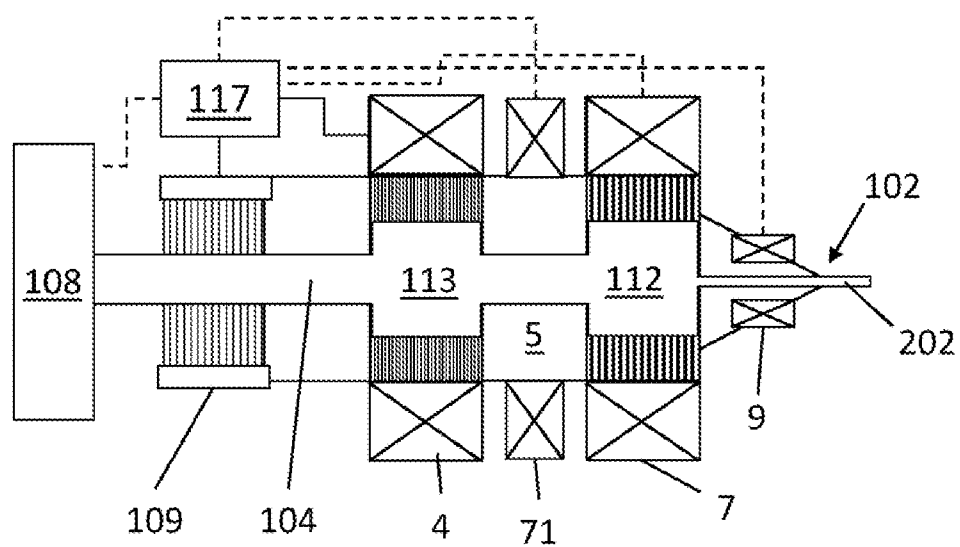


FIG 7

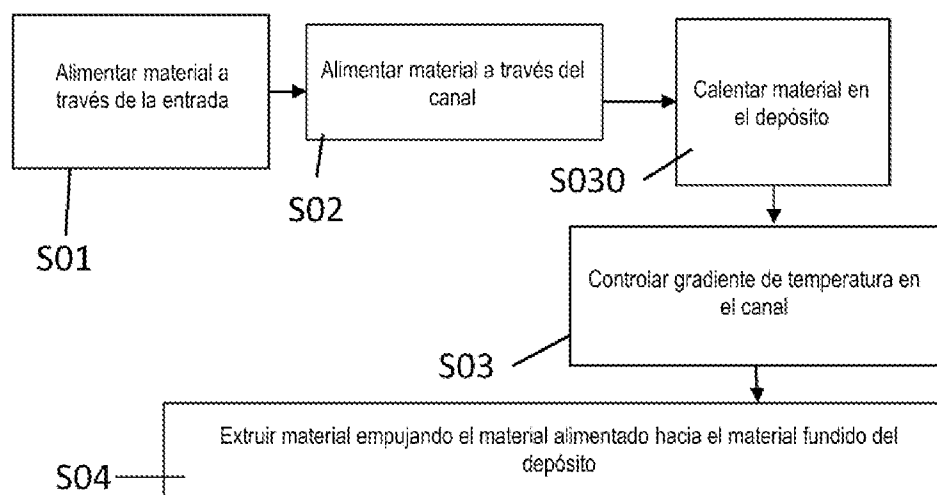


FIG 8

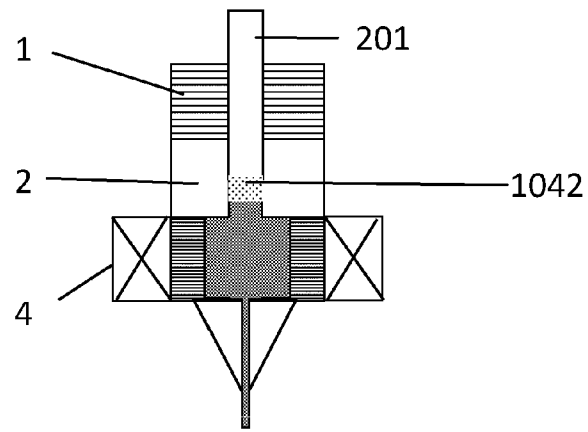


FIG 9

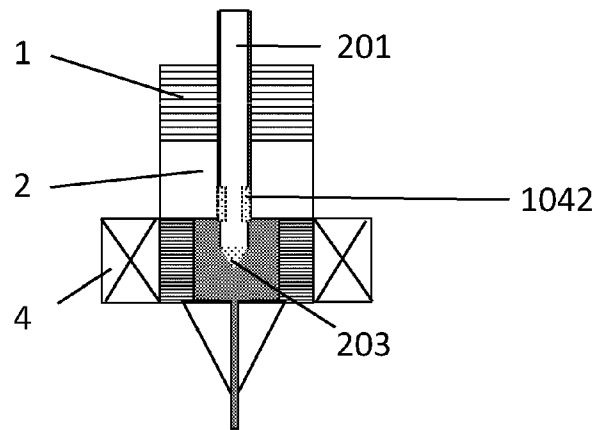


FIG 10