

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 627 566**

51 Int. Cl.:

B29C 67/00 (2007.01)

B29D 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.09.2010 PCT/US2010/049607**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.04.2011 WO11041166**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.09.2010 E 10757920 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.03.2017 EP 2483060**

54 Título: **Sistema de fabricación digital basado en extrusión con un filamento de cinta**

30 Prioridad:

30.09.2009 US 247067 P
04.11.2009 US 612333

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.07.2017

73 Titular/es:

STRATASYS, INC. (100.0%)
7665 Commerce Way
Eden Prairie, MN 55344, US

72 Inventor/es:

BATCHELDER, J., SAMUEL;
SWANSON, WILLIAM, J. y
CRUMP, S., SCOTT

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 627 566 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 de fabricación digital basado en extrusión con un filamento de cinta

Antecedentes

5 La presente divulgación se refiere a sistemas de fabricación digital directa para la construcción de modelos tridimensionales (3D). En particular, la presente invención se refiere a materiales consumibles, tales como materiales de modelado y soporte, para su uso en sistemas de fabricación digital basados en extrusión.

10 Se usa un sistema de fabricación digital basado en extrusión (por ejemplo, sistemas de modelado por deposición fundida desarrollado por Stratasys, Inc., Eden Prairie, MN) para construir un modelo 3D a partir de una representación digital del modelo 3D en un modo capa a capa mediante la extrusión de un material de modelado consumible fluido. El material de modelado se extrude a través de una punta de extrusión transportada por un cabezal de extrusión, y se deposita en una secuencia de rutas sobre un sustrato en un plano x-y. El material de modelado extrudido se funde con un material de modelado previamente depositado, y se solidifica tras una caída en la temperatura. Se incrementa entonces la posición del cabezal de extrusión con relación al sustrato a lo largo de un eje z (perpendicular al plano x-y), y el procedimiento se repite a continuación para formar un modelo 3D que se asemeja a la representación digital.

15 El movimiento del cabezal de extrusión con respecto al sustrato se realizaba bajo control por ordenador, de acuerdo con los datos de construcción que representan el modelo 3D. Los datos de construcción se obtienen inicialmente mediante el rebanado de la representación digital del modelo 3D en múltiples capas horizontalmente cortadas. A continuación, para cada capa cortada, el ordenador central genera un recorrido de construcción para la deposición de rutas del material de modelado para formar el modelo 3D.

20 En la fabricación de modelos 3D mediante la deposición de capas de material de modelado, las capas o estructuras de soporte se construyen típicamente por debajo de partes colgantes o en cavidades de objetos bajo construcción, que no están soportadas por el material de modelado en sí. Puede construirse una estructura de soporte utilizando las mismas técnicas de deposición mediante las que se deposita el material de modelado. El ordenador central genera una geometría adicional que actúa como una estructura de soporte para los segmentos colgantes o en el espacio libre del modelo 3D que se está formando. Se deposita entonces material de soporte consumible desde una segunda boquilla siguiendo la geometría generada durante el procedimiento de construcción. El material de soporte se adhiere al material de modelado durante la fabricación, y es extraíble a partir del modelo en 3D completado cuando se finaliza el procedimiento de construcción.

25 El documento WO 97/19798 A2 desvela un sistema de fabricación basado en extrusión que usa obleas como material consumible.

Sumario

30 La presente invención se dirige a un sistema de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende un sistema de fabricación digital basado en extrusión y un filamento de cinta consumible y se dirige también a un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7 para la construcción de un modelo tridimensional en un sistema de fabricación digital basado en extrusión.

35 Un primer aspecto de la presente divulgación se dirige a un material consumible para su uso en un sistema de fabricación digital basado en la extrusión. El material consumible incluye una longitud y un perfil de sección transversal de al menos una parte de la longitud que es axialmente asimétrica. El perfil de sección transversal se configura para proporcionar un tiempo de respuesta con un licuefactor cilíndrico del sistema de fabricación digital basado en la extrusión que es más rápido (por ejemplo, al menos 50 % más rápido) que un tiempo de respuesta que puede conseguirse con un filamento cilíndrico en un licuefactor cilíndrico para el mismo caudal volumétrico máximo, térmicamente limitado.

40 Otro aspecto de la presente divulgación se dirige a un material consumible para su uso en un sistema de fabricación digital basado en extrusión, en el que el material consumible incluye una composición que comprende al menos un material que tiene propiedades amorfas. El material consumible incluye también una geometría no cilíndrica que comprende una longitud y un perfil de sección transversal de al menos una parte de la longitud. El perfil de sección transversal se configura para coincidir con un licuefactor no cilíndrico del sistema de fabricación digital basado en extrusión que tiene un área A_e de sección transversal de entrada y un diámetro hidráulico D_h , en el que

45 $D_h < 0,95 \sqrt{A_e}$.

50 Otro aspecto de la presente divulgación se dirige a un procedimiento para la fabricación de materiales consumibles para su uso en sistemas de fabricación digital basados en extrusión. El procedimiento incluye proporcionar una lámina que tiene un espesor de lámina y una composición que comprende al menos un material termoplástico. El procedimiento incluye también el corte de la lámina en una pluralidad de filamentos no cilíndricos, en los que al menos uno de la pluralidad de filamentos no cilíndricos tiene una longitud y perfil de sección transversal de al menos

una parte de la longitud. El perfil de sección transversal se configura para coincidir con un licuefactor no cilíndrico del sistema de fabricación digital basado en extrusión que tiene un área A_e de sección transversal de entrada y un diámetro hidráulico D_h , en el que $D_h < 0,95 \sqrt{A_e}$. El procedimiento incluye adicionalmente la carga de al menos una parte de la pluralidad de filamentos no cilíndricos sobre conjuntos de suministro en una forma sustancialmente paralela.

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 es una vista frontal del sistema de fabricación digital basado en extrusión para la construcción de modelos 3D y estructuras de soporte a partir de filamentos no cilíndricos de modelado y materiales de soporte.

La FIG. 2 es una vista en perspectiva de un filamento de cinta, que es un filamento no cilíndrico que tiene un perfil de sección transversal rectangular.

La FIG. 3 es una vista en sección de la sección 3-3 tomada en la FIG. 2, que ilustra el perfil de sección transversal del filamento de cinta.

La FIG. 4 es una vista en perspectiva en despiece de un subconjunto de cabezal de extrusión del sistema de fabricación digital basado en extrusión en uso con un filamento de cinta, en el que el subconjunto de cabezal de extrusión incluye un licuefactor rectangular.

La FIG. 5A es una vista en sección de la sección 5A-5A tomada en la FIG. 4, que ilustra el filamento de cinta siendo extrudido a través del licuefactor rectangular.

La FIG. 5B es una vista en sección de la sección 5B-5B tomada en la FIG. 4, que ilustra adicionalmente el filamento de cinta siendo extrudido a través del licuefactor rectangular.

La FIG. 5C es una vista en sección de la sección 5C-5C tomada en la FIG. 4, que ilustra un perfil de sección transversal de entrada del licuefactor rectangular.

La FIG. 6 es una ilustración esquemática de una pluralidad de licuefactores cilíndricos superpuestos sobre un licuefactor rectangular.

La FIG. 7 es un diagrama de flujo de un procedimiento para la formación de filamentos de cinta.

La FIG. 8 es una vista en perspectiva de una lámina extrudida usada para formar filamentos de cinta.

La FIG. 9 es una ilustración esquemática de un sistema de extrusión de láminas para la formación de la lámina extrudida.

La FIG. 10 es una ilustración esquemática de un sistema de producción de filamentos para la formación de filamentos de cinta a partir de láminas extrudidas.

La FIG. 11 es una vista en sección alternativa de la sección 3-3 tomada en la FIG. 2, que ilustra un primer filamento de cinta alternativo que tiene una única superficie laminada.

La FIG. 12 es una vista en sección alternativa de la sección 3-3 tomada en la FIG. 2, que ilustra un segundo filamento de cinta alternativo que tiene dos superficies laminadas.

La FIG. 13 es una vista en sección alternativa de la sección 3-3 tomada en la FIG. 2, que ilustra un tercer filamento de cinta alternativo que tiene dos superficies laminadas con múltiples capas.

Descripción detallada

La presente divulgación se dirige a filamentos no cilíndricos de modelado y materiales de soporte para su uso en sistemas de fabricación digital basados en extrusión, y procedimientos y sistemas para la fabricación de filamentos no cilíndricos. Como se explica a continuación, los filamentos no cilíndricos son materiales consumibles capaces de ser fundidos y extrudidos desde licuefactores no cilíndricos con tiempos de respuesta reducidos en comparación con filamentos cilíndricos fundidos y extrudidos desde licuefactores cilíndricos con los mismos caudales volumétricos. Es beneficioso para la mejora de las precisiones de deposición y reducción de los tiempos de construcción, incrementando de ese modo las eficiencias del procedimiento para la construcción de modelos 3D y estructuras de soporte correspondientes.

Tal como se usa en el presente documento, la expresión “filamento no cilíndrico” se refiere a un filamento de un material de modelado o soporte que tiene un perfil de sección transversal que es no circular (por ejemplo, un perfil de sección transversal rectangular). Esto es en comparación con un “filamento cilíndrico”, que tiene un perfil de sección transversal que es circular. Correspondientemente, tal como se usa en el presente documento, la expresión “licuefactor no cilíndrico” se refiere a un licuefactor que tiene un canal con un perfil de sección transversal que no es circular (por ejemplo, un perfil de sección transversal rectangular o en arco) para la recepción de un filamento no cilíndrico. Esto es en comparación con un “licuefactor cilíndrico”, que tiene un canal con un perfil de sección transversal que es circular para la recepción de un filamento cilíndrico.

La FIG. 1 es una vista frontal del sistema 10, que es un sistema de fabricación digital basado en extrusión que incluye una cámara 12 de construcción, una bandeja 14, pórtico 16, cabezal 18 de extrusión, y fuentes 20 y 22 de suministro, en el que el cabezal 18 de extrusión se configura para recibir y fundir partes sucesivas de filamentos no cilíndricos (no mostrados en la FIG. 1) durante una operación de construcción. Los sistemas de fabricación digital basados en extrusión adecuados para el sistema 10 incluyen sistemas de modelado por deposición fundida desarrollados por Stratasys, Inc., Eden Prairie, MN.

La cámara 12 de construcción es un entorno cerrado que contiene la bandeja 14, el pórtico 16, y el cabezal 18 de

extrusión para la construcción de un modelo 3D (al que se hace referencia como el modelo 3D 24) y una estructura de soporte correspondiente (a la que se hace referencia como estructura 26 de soporte). La bandeja 14 es una plataforma sobre la que se construye el modelo 3D 24 y la estructura 26 de soporte, y se mueve a lo largo de un eje vertical z basándose en señales proporcionadas desde un controlador accionado por ordenador (al que se hace referencia como el controlador 28). El pórtico 16 es un sistema de carriles de guía configurados para mover el cabezal 18 de extrusión en un plano horizontal x-y dentro de la cámara 12 de construcción basándose en señales proporcionadas desde el controlador 28. El plano horizontal x-y es un plano definido por un eje x un eje y (no mostrados en la FIG. 1), en el que el eje x, el eje y, y el eje z son ortogonales entre sí. En una realización alternativa, la bandeja 14 puede configurarse para moverse en el plano horizontal x-y dentro de la cámara 12 de construcción, y el cabezal 18 de extrusión puede configurarse para moverse a lo largo del eje z. Pueden usarse también otras disposiciones similares tales como que uno o ambos de entre la bandeja 14 y el cabezal 18 de extrusión sean móviles relativamente entre sí.

El cabezal 18 de extrusión está soportado por el pórtico 16 para la construcción del modelo 3D 24 y la estructura 26 de soporte sobre la bandeja 14 en una forma capa a capa, basándose en señales proporcionadas desde el controlador 28. El cabezal 18 de extrusión incluye un par de licuefactores no cilíndricos (no mostrados en la FIG. 1), en el que el primer licuefactor no cilíndrico se configura para recibir y fundir partes sucesivas de un filamento no cilíndrico, de material de modelado, y un segundo licuefactor no cilíndrico se configura para recibir y fundir partes sucesivas de un filamento no cilíndrico, de material de soporte.

El filamento no cilíndrico, de material de modelado puede proporcionarse al cabezal 18 de extrusión desde la fuente 20 de suministro a través de un recorrido 30, de modo similar, el filamento no cilíndrico, de material de soporte puede proporcionarse al cabezal 18 de extrusión desde la fuente 22 de suministro a través de un recorrido 32. El sistema 10 puede incluir también mecanismos de accionamiento adicionales (no mostrados) configurados para ayudar en la alimentación de los filamentos no cilíndricos desde las fuentes 20 y 22 de suministro al cabezal 18 de extrusión. Las fuentes 20 y 22 de suministro son fuentes (por ejemplo, contenedores de carretes) para filamentos no cilíndricos, y se retienen convenientemente en una localización remota respecto a la cámara 12 de construcción. Conjuntos adecuados para fuentes 20 y 22 de suministro incluyen los desvelados en Swanson et ál., Patente de Estados Unidos N.º 6.923.634; Comb et ál., Patente de Estados Unidos N.º 7.122.246; y Taatjes et ál., publicaciones de Solicitud de Patente de Estados Unidos N.º 2010/0096485 y 2010/0096489.

Durante una operación de construcción, el pórtico 16 mueve el cabezal 18 de extrusión alrededor del plano horizontal x-y dentro de la cámara 12 de construcción, y los filamentos no cilíndricos se alimentan al cabezal 18 de extrusión. El cabezal 18 de extrusión funde térmicamente las partes sucesivas del filamento de material de modelado recibido, proporcionando de ese modo el material fundido a ser extrudido para construir el modelo 3D 24. De modo similar, el cabezal 18 de extrusión funde térmicamente las partes sucesivas del filamento de material de soporte, permitiendo de ese modo que el material fundido sea extrudido para construir la estructura 26 de soporte. Las partes aguas arriba, no fundidas de filamentos no cilíndricos pueden funcionar cada una como un pistón con una acción de bomba de viscosidad para extrudir el material fundido fuera de los licuefactores respectivos del cabezal 18 de extrusión.

Los materiales de modelado y soporte extrudidos se depositan sobre la bandeja 14 para construir el modelo 3D 24 y la estructura 26 de soporte usando la técnica aditiva basada en capas. La estructura 26 de soporte se deposita convenientemente para proporcionar un soporte vertical a lo largo del eje z para zonas colgantes de las capas del modelo 3D 24. Después de que se complete la operación de construcción, el modelo 24 3D/estructura 26 de soporte resultante puede retirarse de la cámara 12 de construcción, y la estructura 26 de soporte puede retirarse del modelo 3D 24.

Como se explica a continuación, los perfiles de sección transversal de los filamentos y licuefactores no cilíndricos permiten que los filamentos no cilíndricos se fundan y extrudan desde el cabezal 18 de extrusión con tiempos de respuesta reducidos en comparación con filamentos y licuefactores cilíndricos. Esto incrementa las eficiencias del procedimiento en el sistema 10 para la construcción del modelo 3D 24 y estructura 26 de soporte. Por ejemplo, los tiempos de respuesta reducidos pueden incrementar la precisión de las localizaciones de inicio y final para las rutas depositadas de materiales de modelado y soporte. Durante una operación de construcción para formar una capa de modelo 3D (por ejemplo, el modelo 3D 24), un cabezal de extrusión (por ejemplo el cabezal 18 de extrusión) se mueve en un plano horizontal x-y y deposita un material de modelado fundido. Después de que se complete un patrón de deposición dado, el cabezal de extrusión para la deposición del material de modelado. Esto se lleva a cabo mediante la detención de la alimentación del filamento al interior de licuefactor del cabezal de extrusión, deteniendo de ese modo la acción de bomba de viscosidad del filamento.

Sin embargo, el tiempo de respuesta entre que el cabezal de extrusión para la alimentación del filamento al licuefactor y cuando el material de modelado realmente para de extrudirse desde el cabezal de extrusión no es instantáneo. En su lugar, hay un retardo que se basa en factores tales como las propiedades térmicas del licuefactor, la composición del filamento y, como se explica a continuación, el perfil de sección transversal del filamento y canal del licuefactor. De modo similar, hay también un retardo de tiempo de respuesta asociado con la transición desde un estado de cero flujo a un estado de flujo estable. Los licuefactores y filamentos que requieren largos tiempos de respuesta incrementan estos retardos, disminuyendo potencialmente por ello las precisiones de

deposición. La reducción de los tiempos de respuesta, sin embargo, puede mejorar las calidades estéticas y estructurales del modelo 3D resultante, particularmente cuando se construyen modelos 3D que contienen características finas.

5 Por ejemplo, un tiempo de respuesta reducido para el sistema 10 puede regular la aceleración del pórtico 16 en localizaciones adecuadas cerca de los puntos de inicio y parada de la deposición. Esto puede incrementar la capacidad para ocultar las costuras de cada capa, lo que puede incrementar la calidad parcial. Adicionalmente, el tiempo de respuesta determina cómo puede desviarse el pórtico 16 desde una velocidad tangencial constante cuando el pórtico 16 se traslada alrededor de una curva en el plano x-y. Como resultado, un tiempo de respuesta reducido permite que el cabezal 18 de extrusión alcance aceleraciones y desaceleraciones en curva mayores. Esto puede reducir los tiempos de producción requeridos para construir modelos 3D y estructuras de soporte, en una forma muy similar a cómo las capacidades de giro en curva de un coche de carreras son importantes para reducir un tiempo de carrera global.

15 Por facilidad de la divulgación, la siguiente divulgación se realiza con referencia a un filamento no cilíndrico que tenga un perfil de sección transversal rectangular (al que se hace referencia como filamento de cinta), y un licuefactor no cilíndrico que tenga un canal rectangular correspondiente para la recepción del filamento de cinta. La presente divulgación, sin embargo, es aplicable también a filamentos no cilíndricos que tengan una variedad de perfiles de sección transversal diferentes que reduzcan los tiempos de respuesta en comparación con filamentos cilíndricos.

20 La FIG. 2 es una vista en perspectiva del filamento 34 de cinta, que es un filamento cilíndrico que tiene un perfil de sección transversal rectangular e incluye la longitud 36. La longitud 36 es una longitud continua que puede variar dependiendo de la cantidad de filamento 34 de cinta que permanece en la fuente 20 o 22 de suministro (mostrada en la FIG. 1). El filamento 34 de cinta es convenientemente flexible a lo largo de la longitud 36 para permitir que el filamento 34 de cinta se retenga en las fuentes 20 y 22 de suministro (por ejemplo, bobinado sobre carretes) y que se alimente a través del sistema 10 (por ejemplo, a través de recorridos 30 y 32) sin deformarse plásticamente o fracturar. Por ejemplo, en una realización, el filamento 34 de cinta es convenientemente capaz de soportar tensiones elásticas mayores que t/r , en la que "t" es el espesor de sección transversal del filamento 34 de cinta en el plano de curvatura (por ejemplo, el espesor 42, mostrado en la FIG. 3), y "r" es un radio de doblado (por ejemplo, un radio de un doblado en la fuente 20 o 22 de suministro y/o un radio de doblado a través del recorrido 30 o 32).

30 El filamento 34 de cinta puede fabricarse a partir de una variedad de materiales de modelado y soporte que pueden extrudirse para la construcción respectivamente del modelo 3D 24 y la estructura 26 de soporte (mostrada en la FIG. 1). Los materiales de modelado adecuados para el filamento 34 de cinta incluyen materiales poliméricos y metálicos. En algunas realizaciones, los materiales de modelado adecuados incluyen materiales que tienen propiedades amorfas, tales como materiales termoplásticos, materiales metálicos amorfos, y combinaciones de los mismos. Ejemplos de materiales termoplásticos adecuados para el filamento 34 de cinta incluyen copolímeros de acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), policarbonatos, polisulfonas, poliéter sulfonas, polifenilsulfonas, poliéter imidas, poliamidas amorfas, variaciones modificadas de los mismos (por ejemplo, copolímeros ABS-M30), poliestireno, y mezclas de los mismos. Por ejemplo, materiales metálicos amorfos adecuados incluyen los desvelados en Batchelder, publicación de Solicitud de Patente de Estados Unidos N.º 20090263582.

40 Materiales de soporte adecuados para el filamento 34 de cinta incluyen materiales que tengan propiedades amorfas (por ejemplo, materiales termoplásticos) y que sean convenientemente extraíbles desde los materiales de modelado correspondientes después de que se haya construido el modelo 3D 24 y la estructura 26 de soporte. Ejemplos de materiales de soporte adecuados para el filamento 34 de cinta incluyen materiales de soporte solubles en agua comercialmente disponibles bajo las designaciones comerciales "WATERWORKS" y "SOLUBLE SUPPORTS" de Strataysys, Inc., Eden Prairie, MN; materiales de soporte que pueden soltarse comercialmente disponibles bajo la designación comercial "BASS" de Strataysys, Inc., Eden Prairie, MN, y los desvelados en Crump et ál., Patente de Estados Unidos N.º 5,503,785; Lombardi et ál., Patentes de Estados Unidos N.º 6.070.107 y 6.228.923; Priedeman et ál., Patente de Estados Unidos N.º 6.,790.403; y Hopkins et ál., publicación de Solicitud de Patente de Estados Unidos N.º 2010/0096072.

50 La composición del filamento 34 de cinta puede incluir también aditivos adicionales, tales como plastificantes, modificadores de la reología, aportes inertes, colorantes, estabilizadores y combinaciones de los mismos. Ejemplos de plastificantes adicionales adecuados para su uso en el material de soporte incluyen dialquilo ftalatos, cicloalquilo ftalatos, bencil y aril ftalatos, alcoxi ftalatos, alquil/aril fosfatos, ésteres de poliglicol, ésteres de adipato, ésteres de citrato, ésteres de glicerina, y combinaciones de los mismos. Ejemplos de rellenos inertes incluyen carbonato de calcio, carbonato de magnesio, esferas de vidrio, grafito, negro de carbono, fibra de carbono, fibra de vidrio, tal como, wollastonita, mica, alúmina, sílice, caolín, carburo de silicio, materiales compuestos (por ejemplo, materiales compuestos esféricos y filamentosos), y combinaciones de los mismos. En realizaciones en las que la composición incluye aditivos adicionales, los ejemplos de concentraciones combinadas adecuadas de aditivos adicionales en el intervalo de composición varían desde aproximadamente 1 % en peso a aproximadamente 10 % en peso, con concentraciones particularmente adecuadas que varían desde aproximadamente 1 % en peso a aproximadamente 5 % en peso, basándose en todo el peso de la composición.

El filamento 34 de cinta presenta también convenientemente propiedades físicas que permiten al filamento 34 de cinta ser usado como un material consumible en el sistema 10. En una realización, la composición del filamento 34 de cinta es sustancialmente homogénea a lo largo de su longitud. Adicionalmente, la composición del filamento 34 de cinta presenta convenientemente una temperatura de transición vítrea que es adecuada para su uso en la cámara 12 de construcción. Ejemplos de temperatura de transición vítrea adecuada a presión atmosférica para la composición del filamento 34 de cinta incluyen temperaturas de aproximadamente 80 °C o mayores. En algunas realizaciones, las temperaturas de transición vítrea adecuadas incluyen aproximadamente 100 °C o mayores. En realizaciones adicionales, temperaturas de transición vítrea adecuadas incluyen aproximadamente 120 °C o mayores.

El filamento 34 de cinta presenta también convenientemente una baja compresibilidad de modo que su compresión axial no provoque que el filamento 34 de cinta se agarre dentro de un licuefactor. Ejemplos de valores del módulo de Young adecuados para composiciones poliméricas del filamento 34 de cinta incluyen valores del módulo de aproximadamente 0,2 gigapascales (GPa) (aproximadamente 30.000 libras por pulgada cuadrada (psi)) o mayor, en donde los valores del módulo de Young se miden siguiendo la norma ASTM D638-08. En algunas realizaciones, el módulo de Young adecuado varía desde aproximadamente 1,0 GPa (aproximadamente 145.000 psi) a aproximadamente 5,0 GPa (aproximadamente 725.000 psi). En realizaciones adicionales, los valores del módulo de Young adecuados varían desde aproximadamente 1,5 GPa (aproximadamente 200.000 psi) a aproximadamente 3,0 GPa (aproximadamente 440.000 psi).

En algunas realizaciones, como se explica a continuación, el filamento 34 de cinta puede ser un filamento multicapa. Por ejemplo, el filamento 34 de cinta puede incluir una capa central dispuesta entre capas exteriores de diferentes materiales. Esto permite al filamento 34 de cinta presentar una variedad de calidades físicas y estéticas. En realizaciones adicionales, el filamento 34 de cinta puede presentar patrones superficiales topográficos en varias localizaciones a lo largo de la longitud 36. Por ejemplo, el filamento 34 de cinta puede incluir patrones superficiales topográficos tal como se desvela en Batchelder et ál., Solicitud de Patente Provisional de Estados Unidos N.º 61/247.078; y Batchelder et ál., Solicitud de Patente de Estados Unidos N.º 12/612.342, titulada "Consumable Materials Having Topographical Surface Patterns For Use In Extrusion-Based Digital Manufacturing Systems".

La FIG. 3 es una vista en sección de la sección 3-3 tomada en la FIG. 2, que ilustra el perfil 38 del filamento 34 de cinta. El perfil 38 es un perfil en sección transversal axialmente asimétrico, del filamento 34 de cinta en una localización a lo largo de la longitud 36. En la realización mostrada, el filamento 34 de cinta tiene sustancialmente el mismo perfil 38 a lo largo de la longitud 36, permitiendo de ese modo que se use toda la longitud 36 durante la operación de construcción. Alternativamente, una o más partes de la longitud 36 (por ejemplo, el segmento de salida final) pueden no ser utilizables.

En la realización mostrada, el filamento 34 de cinta tiene un ancho 40 de sección transversal y un espesor 42 de sección transversal. Las dimensiones adecuadas para el ancho 40 y espesor 42 permiten convenientemente al filamento 34 de cinta coincidir con un licuefactor rectangular del cabezal 18 de extrusión, y proporciona también convenientemente una relación de aspecto de la sección transversal que reduce el tiempo de respuesta del material extrudido comparado con un filamento cilíndrico en un licuefactor cilíndrico con el mismo caudal volumétrico.

Ejemplos de dimensiones adecuadas para el ancho 40 varían desde aproximadamente 1,0 milímetros (aproximadamente 0,04 pulgadas) a aproximadamente 10,2 milímetros (aproximadamente 0,40 pulgadas), con anchos particularmente adecuados que varían desde aproximadamente 2,5 milímetros (aproximadamente 0,10 pulgadas) a aproximadamente 7,6 milímetros (aproximadamente 0,30 pulgadas), y con anchos incluso más particularmente adecuados que varían desde aproximadamente 3,0 milímetros (aproximadamente 0,12 pulgadas) a aproximadamente 5,1 milímetros (aproximadamente 0,20 pulgadas).

El espesor 42 es convenientemente suficientemente grueso para proporcionar una integridad estructural adecuada para el filamento 34 de cinta, reduciendo de ese modo el riesgo de fracturas o roturas mientras el filamento 34 de cinta se retiene en la fuente 20 o 22 de suministro y mientras se alimenta a través del sistema 10 (por ejemplo, a través de los recorridos 30 o 32). Ejemplos de dimensiones adecuadas para el espesor 42 varían desde aproximadamente 0,08 milímetros (aproximadamente 0,003 pulgadas) a aproximadamente 1,5 milímetros (aproximadamente 0,06 pulgadas), con espesores particularmente adecuados que varían desde aproximadamente 0,38 milímetros (aproximadamente 0,015 pulgadas) a aproximadamente 1,3 milímetros (aproximadamente 0,05 pulgadas), y con espesores incluso más particularmente adecuados que varían desde aproximadamente 0,51 milímetros (aproximadamente 0,02 pulgadas) a aproximadamente 1,0 milímetros (aproximadamente 0,04 pulgadas).

Como se explica a continuación, la relación de aspecto del ancho 40 al espesor 42, y la relación de aspecto correspondiente del licuefactor rectangular, puede seleccionarse para retirar efectivamente el núcleo que se asocia con el filamento cilíndrico que tiene una sección transversal circular. Esto permite al filamento 34 de cinta ser fundido y extrudido en un licuefactor rectangular con un tiempo de respuesta reducido.

La FIG. 4 es una vista en perspectiva en despiece del subconjunto 44, que es un subconjunto adecuado para el cabezal 18 de extrusión (mostrado en la FIG. 1) para su uso con el filamento 34 de cinta. El subconjunto 44 incluye el mecanismo 46 de accionamiento, licuefactor 48 y bloque 50 térmico. El mecanismo 46 de accionamiento es un

- 5 mecanismo de accionamiento del filamento que alimenta partes sucesivas del filamento 34 de cinta desde el recorrido 30 (mostrada en la FIG. 1) al licuefactor 48. El mecanismo 46 de accionamiento está convenientemente en comunicación de señal con el controlador 28 (mostrado en la FIG. 1), permitiendo de ese modo al controlador 28 dirigir las velocidades a las que el mecanismo 46 de accionamiento alimenta el filamento 34 de cinta al licuefactor 48. Aunque se muestra como un par de ruedas de accionamiento, el mecanismo 46 de accionamiento puede incluir una variedad de diferentes mecanismos para la alimentación del filamento 34 de cinta al licuefactor 48. Ejemplos de mecanismo de accionamiento del filamento adecuados para el mecanismo 46 de accionamiento incluyen los desvelados en Batchelder et ál., publicaciones de Solicitud de Patente de Estados Unidos N.º 2009/0274540 y 2009/0273122.
- 10 El licuefactor 48 es un licuefactor no cilíndrico que incluye el canal 52 que se extiende entre el extremo 54 superior y el extremo 56 inferior. El extremo 54 superior y el extremo 56 inferior son extremos opuestos de licuefactor 48 a lo largo del eje longitudinal 58. El canal 52 es una ranura rectangular en la que se recibe y funde el filamento 34 de cinta. En consecuencia, la entrada del canal 52 en el extremo 54 superior tiene convenientemente dimensiones que permiten al filamento 34 de cinta coincidir con el canal 52. Esto permite al filamento 34 de cinta deslizarse dentro del canal 52 sin una resistencia de fricción indebida. El canal 52 también presenta convenientemente sustancialmente el mismo perfil de sección transversal a lo largo del eje longitudinal 58 entre el extremo 54 superior y el extremo 56 inferior. En realizaciones alternativas, sin embargo, el perfil de sección transversal del canal 52 puede ahusarse reduciendo a un área de sección transversal menor en el extremo 56 inferior.
- 15 El licuefactor 48 también incluye la punta 60 de extrusión, que es una punta de pequeño diámetro que se localiza en el extremo 56 inferior y se configura para extrudir el material fundido del filamento 34 de cinta con un ancho de ruta deseado. Ejemplos de diámetros de punta interior adecuados para la punta 60 de extrusión varían desde aproximadamente 125 micrómetros (aproximadamente 0,005 pulgadas) a aproximadamente 510 micrómetros (aproximadamente 0,020 pulgadas).
- 20 El bloque 50 térmico es un componente de transferencia de calor que se extiende alrededor de al menos una parte del licuefactor 48 y se configura para conducir calor al licuefactor 48 y al filamento 34 de cinta recibido. Ejemplos de componentes de transferencia de calor adecuados para el bloque 50 térmico incluyen los desvelados en Swanson et ál., Patente de Estados Unidos N.º 6.004.124; Comb, Patente de Estados Unidos N.º 6.547.995; LaBossiere et ál., publicación de Estados Unidos N.º 2007/0228590; y Batchelder et ál., publicación de Solicitud de Patente de Estados Unidos N.º 2009/0273122. En realizaciones alternativas, el bloque 50 térmico puede sustituirse con una variedad de diferentes componentes de transferencia de calor que generan y/o transfieren calor al licuefactor 48, formando de ese modo un gradiente térmico dentro del licuefactor 48 a lo largo del eje 58 longitudinal.
- 25 Durante una operación de construcción en el sistema 10 (mostrado en la FIG. 1), el filamento 34 de cinta se acopla con el mecanismo 46 de accionamiento y se carga dentro del canal 52 del licuefactor 48. El controlador 28 dirige entonces el mecanismo 46 de accionamiento para accionar partes sucesivas del filamento 34 de cinta a través del licuefactor 48. Cuando el filamento 34 de cinta pasa a través del licuefactor 48, el gradiente térmico generado por el bloque 50 térmico funde el material del filamento 34 de cinta dentro del licuefactor 48. La parte aguas arriba, sin fundir del filamento 34 de cinta que es accionada por el mecanismo 46 de accionamiento funciona como un pistón con una bomba de viscosidad que actúa sobre el material fundido entre la parte sin fundir y las paredes del licuefactor 48, extrudiendo de ese modo el material fundido fuera de la punta 60 de extrusión. El material extrudido puede depositarse entonces como rutas para formar el modelo 24 3D en una forma capa a capa.
- 30 Como se ha explicado anteriormente, el filamento 34 de cinta es capaz de ser fundido y extrudido desde el licuefactor 48 con tiempos de respuesta reducidos comparado con filamentos cilíndricos fundidos y extrudidos desde licuefactores cilíndricos con los mismos caudales volumétricos. Para licuefactores cilíndricos, la respuesta es dominada por los parámetros acumulados similares a RC. De ese modo, el tiempo de respuesta para licuefactores cilíndricos se refiere al tiempo $1/e$, que es el tiempo para que el caudal cambie desde 0 % a aproximadamente 63 % de un nuevo valor de estado estable. En comparación, los licuefactores no cilíndricos tales como el licuefactor 48, la respuesta es dominada por los parámetros en la línea de transmisión. De ese modo, el tiempo de respuesta para licuefactores no cilíndricos tales como el licuefactor 48 se refiere al tiempo entre aproximadamente el 10 % y aproximadamente el 90 % de cambio de caudal.
- 35 Por ejemplo, el tiempo de respuesta del subconjunto 44 es el tiempo requerido para que el caudal del material fundido en la punta 60 de extrusión responda a un cambio en la presión de accionamiento que el mecanismo 46 de accionamiento aplica al filamento 34 de cinta (debido a órdenes desde el controlador 28). Bajos tiempos de respuesta son útiles para mejorar las calidades estéticas y estructurales del modelo 3D resultante, particularmente cuando se construyen modelos 3D que contienen características finas. En particular, los bajos tiempos de respuesta son necesarios para la construcción de modelos 3D a altas velocidades, dado que determina el grado en el que un pórtico (por ejemplo el pórtico 16) puede frenar al llegar a una esquina y posteriormente acelerar cuando sale de la esquina.
- 40 El "caudal volumétrico" se refiere al caudal volumétrico máximo, limitado térmicamente a través del licuefactor, que es el caudal volumétrico máximo del material que un licuefactor puede licuar hasta un estado en que pueda extrudirse y a continuación extrudirlo. Para un licuefactor cilíndrico, el caudal volumétrico máximo, térmicamente
- 45
- 50
- 55
- 60

limitado $Q_{m\acute{a}x,c}$ puede determinarse de conformidad con la Ecuación 1:

$$Q_{m\acute{a}x,c} = 2 \pi \kappa L_{p,c}$$

5 en la que κ es la viscosidad térmica del material de un filamento cilíndrico, y $L_{p,c}$ es la longitud del licuefactor cilíndrico que contiene el material fundido. Así, basándose únicamente en esta característica, el caudal volumétrico $Q_{m\acute{a}x,c}$ puede incrementarse meramente mediante el incremento de la longitud del licuefactor cilíndrico que contiene el material fundido.

10 Sin embargo, en un licuefactor cilíndrico que tenga un diámetro particular, el incremento del caudal $Q_{m\acute{a}x,c}$ también incrementa la resistencia al flujo, lo que en correspondencia incrementa el tiempo de respuesta. El tiempo de respuesta puede representarse por un constante de tiempo τ_c , de cambio acumulado, presión que es el producto de la resistencia al flujo y la capacidad del flujo del licuefactor cilíndrico y material de filamento. La resistencia al flujo FR_c para el licuefactor cilíndrico en presión por (volumen por segundo) puede determinarse de conformidad con la Ecuación 2:

$$FR_c = \frac{128\eta L_{p,c}}{\pi d_c^4}$$

15 en la que η es la viscosidad dinámica del material del filamento cilíndrico, y d_c es el diámetro interior del licuefactor cilíndrico. La capacidad de flujo FC_c para el licuefactor cilíndrico puede determinarse de conformidad con la Ecuación 3:

$$FC_c = \frac{\pi d_c^2 L_{p,c}}{4B}$$

en la que B es el módulo volumétrico para el material de filamento (es decir, la resistencia del material a compresión uniforme).

20 Mediante la combinación de la resistencia al flujo y la capacidad del flujo del licuefactor cilíndrico, el tiempo de respuesta para el licuefactor cilíndrico, basándose en una constante de tiempo de cambio de presión, acumulado τ_c , puede determinarse de conformidad con la Ecuación 4:

$$\tau_c = \frac{32\eta L_{p,c}^2}{Bd_c^2}$$

25 Combinando las ecuaciones 1 y 4 se ilustra la relación proporcional entre la constante de tiempo τ_c y el caudal volumétrico $Q_{m\acute{a}x,c}$ para el licuefactor cilíndrico, que se muestra en la Ecuación 5:

$$\tau_c = \frac{8\eta Q_{m\acute{a}x,c}^2}{\pi^2 \kappa^2 B d_c^2}$$

30 Como se muestra en la Ecuación 5, el incremento del caudal volumétrico del material incrementa en correspondencia el tiempo de respuesta, incrementando de ese modo inconvenientemente el tiempo requerido para que la presión del material fundido en una punta de extrusión responda a un cambio en la presión de accionamiento del filamento cilíndrico.

35 Una técnica potencial para la reducción del tiempo de respuesta es incrementar los diámetros del filamento cilíndrico y licuefactor. Sin embargo, los filamentos cilíndricos que tienen diámetros mayores de aproximadamente 2,5 milímetros (aproximadamente 0,1 pulgadas) se convierten en difíciles de manejar y gestionar en un sistema de fabricación digital basado en extrusión. De ese modo, para un volumen dado en un licuefactor cilíndrico, un incremento en el caudal volumétrico del material incrementa inconvenientemente el tiempo de respuesta, y viceversa. Estos factores en competición limitan efectivamente los tiempos de respuesta conseguibles y los caudales volumétricos para licuefactores cilíndricos.

40 Las FIGS. 5A y 5B son vistas en sección de las secciones 5A-5A y 5B-5B tomadas en la FIG. 4, respectivamente, ilustran el filamento 34 de cinta que se funde en el licuefactor 48. Como se muestra en la FIG. 5A, el bloque 50 térmico se configura para extenderse alrededor y calentar una parte de la longitud del licuefactor 48 (a la que se hace referencia como longitud 62 calentada). Ejemplos de longitudes 62 calentadas para el licuefactor 48 varían desde aproximadamente 13 milímetros (aproximadamente 0,5 pulgadas) a aproximadamente 130 milímetros (aproximadamente 5,0 pulgadas), con longitudes 88 particularmente adecuadas que varían desde aproximadamente 25 milímetros (aproximadamente 1,0 pulgadas) a aproximadamente 51 milímetros (aproximadamente 2,0 pulgadas).

45 Cuando el filamento 34 de cinta se impulsa al interior del canal 52 del licuefactor 48, partes sucesivas del filamento 34 de cinta se funden hasta al menos un estado que pueda extrudirse para formar un depósito 64 fundido del

material fundido en el canal 52. Tal como se muestra, el depósito 64 fundido se extiende a lo largo del eje 58 entre el extremo 56 inferior y el menisco 66. En consecuencia, la longitud del licuefactor 48 que contiene el depósito 64 fundido a lo largo del eje 58 (referido como la longitud 68) se extiende entre el extremo 56 inferior y el menisco 66. La localización del menisco 66 dentro del licuefactor 48 puede variar dependiendo de factores tales como el perfil térmico a lo largo del licuefactor 48, las dimensiones del licuefactor 48, el material del filamento 34 de cinta, la tasa de accionamiento del filamento 34 de cinta, y similares. Sin embargo, durante una extrusión en estado estable, el menisco 66 puede mantenerse a un nivel sustancialmente constante de modo que la longitud 68 del depósito 64 fundido es típicamente menor que la longitud 62 calentada.

Como se muestra respectivamente en las FIGS. 5A y 5B, el canal 52 del licuefactor 48 tiene un ancho de sección transversal (referida como el ancho 70) y un espesor de sección transversal (referido como el grueso 72), en el que el ancho 70 es mayor que el grueso 72. Esto se ilustra adicionalmente en la FIG. 5C, que muestra un perfil de sección transversal de entrada del canal 52 (referido como el perfil del canal 74). Las dimensiones adecuadas para el ancho 70 y el grueso 72 permiten convenientemente al filamento 34 de cinta coincidir con el canal 52, como se ha explicado anteriormente. Como también se ha explicado anteriormente, el perfil 74 del canal también presenta convenientemente sustancialmente las mismas dimensiones a lo largo de la longitud 62 calentada del licuefactor 48 (mostrado en las FIGS. 5A y 5B). En realizaciones alternativas, sin embargo, el perfil 74 del canal puede ahusarse para reducirse a un área de sección transversal más pequeña adyacente al extremo 56 inferior del licuefactor 48 (mostrado en las FIGS. 4, 5A y 5B). En realizaciones alternativas adicionales, el perfil 74 del canal puede ahusarse para aumentar hasta un área de sección transversal mayor para proporcionar estabilidad a la posición del menisco.

Las dimensiones adecuadas para el ancho 70 y el grueso 72 de un perfil 74 del canal incluyen anchos que permiten el filamento 34 de cinta coincidir con el canal 52 sin fricción indebida. Ejemplos de dimensiones adecuadas para el ancho 70 varían desde aproximadamente 1,0 milímetros (aproximadamente 0,04 pulgadas) a aproximadamente 12,7 milímetros (aproximadamente 0,50 pulgadas), con anchos particularmente adecuados que varían desde aproximadamente 3,0 milímetros (aproximadamente 0,12 pulgadas) a aproximadamente 10,1 milímetros (aproximadamente 0,40 pulgadas), y con anchos incluso más particularmente adecuados que varían desde aproximadamente 3,8 milímetros (aproximadamente 0,15 pulgadas) a aproximadamente 6,4 milímetros (aproximadamente 0,25 pulgadas).

Ejemplos de dimensiones adecuadas para espesor 72 varían desde aproximadamente 0,25 milímetros (aproximadamente 0,01 pulgadas) a aproximadamente 2,5 milímetros (aproximadamente 0,10 pulgadas), con espesores particularmente adecuados que varían desde aproximadamente 0,51 milímetros (aproximadamente 0,02 pulgadas) a aproximadamente 2,0 milímetros (aproximadamente 0,08 pulgadas), y espesores incluso más particularmente adecuados que varían desde aproximadamente 0,76 milímetros (aproximadamente 0,03 pulgadas) a aproximadamente 1,8 milímetros (aproximadamente 0,07 pulgadas).

Sin desear quedar ligado a teoría alguna, se cree que la relación de aspecto del perfil 74 del canal elimina de modo efectivo el núcleo que se asocia con un filamento cilíndrico que tiene una sección transversal circular. Esto permite al licuefactor 48 conseguir tiempos de respuesta reducidos en comparación con un licuefactor cilíndrico que tenga el mismo volumen de canal humedecido (por ejemplo, el volumen de canal 52, que es el área del perfil 74 del canal tomada a lo largo de la longitud 68, mostrada en las FIGS. 5A y 5B). Ignorando la difusión térmica desde los bordes del filamento 34 de cinta, suponiendo que el ancho 70 es grande en comparación con el espesor 72, el perfil de temperatura dependiente del tiempo del filamento 34 de cinta puede determinarse de conformidad con la Ecuación 6:

$$Temp(x,t) = Temp_a + (Temp_f - Temp_a) \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \left\{ erf\ c \left(\frac{(2n+1)T_f - 2x}{4\sqrt{kt}} \right) + erf\ c \left(\frac{(2n+1)T_f + 2x}{4\sqrt{kt}} \right) \right\}$$

en la que $Temp_a$ es una temperatura inicial del filamento 34 de cinta previamente a ser calentado en el licuefactor 48, $Temp_f$ es la temperatura del licuefactor 48, T_f es el espesor del filamento 34 de cinta (es decir, el espesor 42), en la que $-T_f < 2x < T_f$, y en la que $erf\ c$ es la función de error complementaria tal como se muestra en la Ecuación 7:

$$erf\ c(x) = \frac{2}{\pi} \int_x^{\infty} \exp(-t^2) dt$$

La función de error complementaria tiene una expansión asintótica tal como se muestra en la Ecuación 8:

$$erf\ c(x) = \frac{e^{-x^2}}{x\sqrt{\pi}} \left[1 + \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{1,3,5,\dots,(2n-1)}{(2x^2)^n} \right]$$

De la Ecuación 8, puede extraerse la constante de tiempo característica de orden más bajo, que puede representarse por la Ecuación 9:

$$\tau_f = \frac{T_f^2}{16K}$$

5 Incorporando los primeros cien términos de la expansión asintótica en la Ecuación 8, usando una difusión térmica κ de 8,13 milímetros/segundo² (0,320 pulgadas/segundo²) (un valor adecuado para materiales ABS), un espesor T_f del filamento 34 de cinta (es decir el espesor 42) de 0,76 milímetros (0,03 pulgadas), una temperatura inicial $Temp_a$ de 80 °C, y una temperatura de pared $Temp_r$ del licuefactor 48 de 320 °C, un tiempo razonable para que la temperatura promedio se mueva la mitad de la temperatura asintótica, tal como se representa por la constante de tiempo de orden más bajo τ_f , es de aproximadamente 0,24 segundos. En consecuencia, una estimación razonable para el tiempo requerido para que el filamento 34 de cinta se caliente es de aproximadamente cuatro veces la constante de tiempo de orden más bajo τ_f (es decir, $4\tau_f$). Por ello, este procedimiento produce un volumen del material fundido en 10 $4\tau_f$ segundos tal como se determina de conformidad con la ecuación 10:

$$Q(4\tau_f) = (W_r)(T_r)(L_{p,r})$$

en la que W_r es el ancho del canal 52 (es decir, el ancho 70), T_r es el espesor del canal 52 (es decir, espesor 72), y $L_{p,r}$ es la longitud del canal 52 que contiene el material fundido (es decir, la longitud 68).

15 En consecuencia, para un licuefactor rectangular (por ejemplo, el licuefactor 48), el caudal volumétrico, térmicamente limitado, $Q_{máx,r}$ puede determinarse de conformidad con la Ecuación 11:

$$Q_{máx,r} = 4\kappa L_{p,r} \frac{W_r}{T_r}$$

20 Como se muestra en la Ecuación 11, el caudal volumétrico máximo $Q_{máx,r}$, térmicamente limitado, está controlado por la longitud del licuefactor 48 que contiene el material fundido (es decir, la longitud 68). De ese modo, la longitud operativa es la longitud calentada del filamento 34 de cinta más que la longitud calentada del licuefactor (por ejemplo, la longitud 62 calentada).

Como se ha explicado anteriormente para el licuefactor cilíndrico, el tiempo de respuesta para un licuefactor rectangular (por ejemplo, el licuefactor 48) es también el producto de la resistencia al flujo y de la capacidad del flujo del licuefactor rectangular y del material del filamento de cinta. La resistencia al flujo FR_r para el licuefactor rectangular puede determinarse de conformidad con la ecuación 12:

$$25 \quad FR_r = \frac{12\eta L_{p,r}}{W_r T_r^3}$$

La capacidad de flujo FC_r para el licuefactor rectangular puede determinarse de conformidad con la Ecuación 13:

$$FC_r = \frac{W_r T_r L_{p,r}}{B}$$

Mediante la combinación de la resistencia al flujo y la capacidad del flujo del licuefactor rectangular, el tiempo de respuesta τ_f para el licuefactor rectangular puede determinarse de conformidad con la Ecuación 14:

$$30 \quad \tau_f = \frac{12\eta L_{p,r}^2}{BT_r^2}$$

Combinando las Ecuaciones 11 y 14 se ilustra la relación proporcional entre el tiempo de respuesta τ_f y el caudal volumétrico $Q_{máx,r}$ para el licuefactor rectangular, que se muestra en la Ecuación 15:

$$\tau_f = \frac{3\eta Q_{máx,r}^2}{4\kappa^2 B W_r^2}$$

35 Una comparación de las Ecuaciones 5 y 15 muestra que, para los mismos caudales volumétricos máximos, térmicamente limitados (es decir $Q_{máx,c} = Q_{máx,r}$), cuando el ancho 40 del filamento 34 de cinta es mayor que el espesor 42 del filamento 34 de cinta, el tiempo de respuesta para el control de la extrusión del filamento 34 de cinta en el licuefactor 48 es menor que el tiempo de respuesta para un filamento cilíndrico en un licuefactor cilíndrico. Para los mismos caudales volumétricos máximos, térmicamente limitados (es decir $Q_{máx,c} = Q_{máx,r}$), la relación de aspecto del perfil 38 del filamento 34 de cinta y el perfil 74 del canal del canal 52 proporciona convenientemente un tiempo de respuesta que es al menos 1,5 más rápido que un tiempo de respuesta que puede conseguirse con un licuefactor cilíndrico que tenga un perfil de sección transversal circular. Más convenientemente, el tiempo de respuesta es al menos dos veces más rápido, e incluso más convenientemente es al menos tres veces más rápido. En consecuencia, ejemplos de relaciones de aspecto adecuadas para el ancho 40 al espesor 42 incluyen relaciones de 40

aspecto de aproximadamente 2:1 o mayores, con relaciones de aspecto particularmente adecuadas que varían desde aproximadamente 2,5:1 a aproximadamente 20:1, con relaciones de aspecto incluso más particularmente adecuadas que varían desde aproximadamente 3:1 a aproximadamente 10:1, y con relaciones de aspecto incluso más particularmente adecuadas que varían desde aproximadamente 3:1 a aproximadamente 8:1.

5 La comparación de las Ecuaciones 5 y 15 puede visualizarse mediante la superposición de múltiples licuefactores cilíndricos en una matriz para formar una ranura comparable al perfil 74 de canal del canal 52, tal como se muestra en la FIG. 6. Esto da como resultado las mismas áreas de sección transversal para los licuefactores cilíndricos (a los que se hace referencia como licuefactores 76 cilíndricos) y para el perfil 74 del canal, ignorando los espacios intersticiales entre licuefactores 76 cilíndricos. En consecuencia, en este ejemplo, el diámetro de cada licuefactor 76 cilíndrico es el mismo que el espesor 72. Se supone también que las longitudes de cada licuefactor 76 cilíndrico que contiene material fundido son las mismas que la longitud 68 del depósito 64 fundido. De ese modo los volúmenes húmedos combinados de los licuefactores 76 cilíndricos son iguales que el volumen húmedo del licuefactor 48.

La relación del tiempo de respuesta del licuefactor cilíndrico al tiempo de respuesta del licuefactor 48 τ_c/τ_r se muestra en la Ecuación 16:

$$15 \quad \frac{\tau_r}{\tau_c} = \frac{3\pi^2 d_c^2}{32W_r^2} = 0,93 \frac{d_c^2}{W_r^2}$$

Así, tal como se muestra en la Ecuación 16, para los mismos caudales volumétricos máximos, térmicamente limitados (es decir $Q_{m\acute{a}x,c} = Q_{m\acute{a}x,r}$), la relación del tiempo de respuesta del licuefactor cilíndrico al tiempo de respuesta del licuefactor 48 es proporcional al diámetro al cuadrado del licuefactor cilíndrico sobre el espesor 72 del canal 52 al cuadrado. Por ejemplo, un licuefactor cilíndrico que tenga un diámetro de 1,78 milímetros (0,070 pulgadas) y licuefactor 48 que tenga un ancho 70 de 3,05 milímetros (0,120 pulgadas) y un espesor 72 de 0,813 milímetros (0,032 pulgadas) (es decir, una relación de aspecto de aproximadamente 4:1) tienen sustancialmente las mismas áreas de sección transversal. Por ello, para estas áreas de sección transversal, y las mismas longitudes de depósito de fundido (por ejemplo, longitud 68), y $Q_{m\acute{a}x,c} = Q_{m\acute{a}x,r}$, de conformidad con la Ecuación 16, la relación del tiempo de respuesta $\tau_c/\tau_r = 0,32$. En otras palabras, el tiempo de respuesta del licuefactor 48 con el filamento 34 de cinta es de aproximadamente tres veces más rápido que el tiempo de respuesta que puede conseguirse con el licuefactor cilíndrico y el filamento cilíndrico.

En otro ejemplo, un licuefactor cilíndrico que tenga un diámetro de 1,78 milímetros (0,070 pulgadas) y licuefactor 48 que tenga un ancho 70 de 4,19 milímetros (0,165 pulgadas) y un espesor 72 de 0,584 milímetros (0,023 pulgadas) (es decir, una relación de aspecto de aproximadamente 7:1) tienen también sustancialmente las mismas áreas de sección transversal. Por ello, para estas áreas de sección transversal, y las mismas longitudes de fundido, y $Q_{m\acute{a}x,c} = Q_{m\acute{a}x,r}$, de conformidad con la Ecuación 16, la relación del tiempo de respuesta $\tau_c/\tau_r = 0,167$. En otras palabras, en este ejemplo, el tiempo de respuesta para el licuefactor 48 y el filamento 34 de cinta es de aproximadamente seis veces más rápido que el tiempo de respuesta que puede conseguirse con el licuefactor cilíndrico y el filamento cilíndrico. Esto ilustra que cuando se incrementa la relación de aspecto del filamento 34 de cinta y el canal 52, los tiempos de respuesta también se incrementan.

De nuevo sin desear quedar ligado a teoría alguna, se cree que esta reducción en el tiempo de respuesta es debido al hecho de que la matriz de los licuefactores cilíndricos contiene secciones de paredes adicionales que forman efectivamente redes en el área de la sección transversal del licuefactor 48 rectangular, incrementando de ese modo la resistencia a la fricción. Esta resistencia a la fricción incrementada no se encuentra en el perfil 74 del canal. De ese modo, para un caudal volumétrico máximo, térmicamente limitado dado, el licuefactor 48 es capaz de recibir, y extrudir el filamento 34 de cinta con un tiempo de respuesta reducido en comparación con un licuefactor cilíndrico y un filamento cilíndrico.

Las realizaciones anteriormente explicadas se han dirigido a un filamento no cilíndrico que tiene un perfil de sección transversal rectangular (es decir, el filamento 34 de cinta), y un licuefactor no cilíndrico que tiene un canal rectangular correspondiente (es decir, el licuefactor 48). Los perfiles de sección transversal de estas realizaciones pueden caracterizarse apropiadamente por las relaciones de aspecto de la sección transversal de ancho a espesor (por ejemplo, del ancho 40 al espesor 42 del filamento 34 de cinta, y de ancho 70 a espesor 72 del canal 52). Sin embargo, muchos filamentos y licuefactores no cilíndricos pueden tener perfiles de sección transversal que no pueden caracterizarse apropiadamente por relaciones de aspecto de sección transversal de ancho a espesor. De ese modo, una forma alternativa de caracterizar apropiadamente los perfiles de sección transversal de filamentos y licuefactores no cilíndricos puede ser con un diámetro hidráulico D_h , tal como se representa por la Ecuación 17:

$$D_h = \frac{4A_e}{U}$$

en la que A_e es el área del perfil de sección transversal a la entrada del canal del licuefactor, y U es el perímetro humedecido del canal del licuefactor.

Para un licuefactor cilíndrico, la Ecuación 17 se reduce a $D_h = D_c$. Para un licuefactor rectangular tal como el licuefactor 48, en el que el canal 52 está sustancialmente lleno con el material fundido, $A_e = W_r \cdot T_r$, y $U = 2(W_r + T_r)$, y el diámetro hidráulico D_h puede representarse por la ecuación 18:

$$D_h = \frac{2W_r T_r}{W_r + T_r}$$

- 5 En consecuencia, perfiles de sección transversal adecuada para filamentos y licuefactores no cilíndricos de la presente divulgación tienen convenientemente diámetros hidráulicos D_h que se representan por la Ecuación 19:

$$D_h < P_1 \sqrt{A_e}$$

- en la que P_1 es un valor en porcentaje de modo que D_h es menor que el porcentaje P_1 de $\sqrt{A_e}$. Ejemplos de valores adecuados para el porcentaje P_1 incluyen aproximadamente 0,95 (es decir, $D_h < 0,95 \sqrt{A_e}$), incluyendo valores del porcentaje P_1 particularmente adecuados aproximadamente 0,90 (es decir, $D_h < 0,90 \sqrt{A_e}$), e incluyendo valores del porcentaje P_1 incluso más particularmente adecuados aproximadamente 0,87 (es decir, $D_h < 0,87 \sqrt{A_e}$).

- La Ecuación 19 ilustra límites superiores adecuados para los diámetros hidráulicos D_h de filamentos y licuefactores no cilíndricos de la presente divulgación. En consecuencia, los perfiles de sección transversal adecuada para filamentos y licuefactores no cilíndricos de la presente divulgación también tienen convenientemente diámetros hidráulicos D_h que se representan por la Ecuación 20:

$$D_h > P_2 \sqrt{A_e}$$

- en la que P_2 es un valor en porcentaje de modo que D_h es mayor que el porcentaje P_2 de $\sqrt{A_e}$. Ejemplos de valores adecuados para el porcentaje P_2 incluyen aproximadamente 0,40 (es decir, $D_h > 0,40 \sqrt{A_e}$), incluyendo valores del porcentaje P_2 particularmente adecuados aproximadamente 0,55 (es decir, $D_h > 0,55 \sqrt{A_e}$), e incluyendo valores del porcentaje P_2 incluso más particularmente adecuados aproximadamente 0,70 (es decir, $D_h > 0,70 \sqrt{A_e}$). De ese modo, los diámetros hidráulicos D_h de los filamentos y licuefactores no cilíndricos de la presente divulgación cumplen convenientemente con los criterios de la Ecuación 19, cumplen convenientemente con los criterios de la Ecuación 20, e incluso más convenientemente cumplen los criterios de la Ecuación 19 y la Ecuación 20. Estos valores corresponden a las relaciones de aspecto de sección transversal adecuada anteriormente explicados para un licuefactor rectangular tal como el licuefactor 48. En comparación, los filamentos y licuefactores cilíndricos requieren que P_1 y P_2 sea cada uno de aproximadamente 2,25.

- Las FIGS. 7-11 ilustran realizaciones adecuadas para la fabricación de filamentos no cilíndricos, tal como un filamento 34 de cinta (mostrado en las FIGS. 2-4), previamente a su uso en sistemas de fabricación digital basados en extrusión (por ejemplo, el sistema 10, mostrado en la FIG. 1). La FIG. 7 es un diagrama de flujo del procedimiento 78, que es un ejemplo de un procedimiento adecuado para la fabricación de filamentos no cilíndricos, tal como el filamento 34 de cinta. Tal como se muestra, el procedimiento 78 incluye las etapas 80-88, e inicialmente implica el suministro de material de alimentación a un sistema de extrusión de láminas (etapa 80). El material alimentado puede suministrarse al sistema de producción en una variedad de medios diferentes, tales como bolitas, barras, polvos, partículas, bloques, lingotes y similares. Composiciones adecuadas para los materiales de alimentación incluyen las explicadas anteriormente para los materiales de modelado y soporte del filamento 34 de cinta.

- Tras ser suministrado al sistema de extrusión de láminas, el material de alimentación puede fundirse y extrudirse para producir una lámina extrudida del material de alimentación (etapa 82). Como se explica a continuación, la lámina extrudida puede usarse posteriormente y separarse en una pluralidad de filamentos de cinta individuales, en los que el espesor de la lámina extrudida en un estado sólido coincide convenientemente con el espesor de cada uno de los filamentos de cinta. Después de ser extrudida, la lámina extrudida convenientemente se enfría hasta solidificar al menos parcialmente la lámina extrudida (etapa 84). En algunas realizaciones, como se explica a continuación, la lámina también puede laminarse con láminas adicionales de diferentes materiales para formar una lámina multicapa.

- En este punto en el procedimiento, la lámina puede almacenarse (por ejemplo, bobinarse en un carrete de recogida) para su separación posterior o alimentar directamente a un cortador de láminas, como en un procedimiento continuo. En el cortador de láminas, la lámina puede cortarse longitudinalmente en una pluralidad de filamentos de cinta, en donde el perfil de sección transversal de al menos uno de los filamentos de cinta se configura convenientemente para coincidir con un licuefactor no cilíndrico (por ejemplo, el licuefactor 48), como se ha explicado anteriormente (etapa 86). Más convenientemente, cada uno de los filamentos de cinta cortados a partir de la lámina extrudida se

configuran para coincidir con un licuefactor no cilíndrico (por ejemplo el licuefactor 48).

Después de ser cortados, los filamentos de cinta pueden cargarse a continuación sobre conjuntos de suministro (etapa 88). En una realización, el procedimiento de carga para la pluralidad de filamentos de cinta puede realizarse en una forma sustancialmente paralela, en el que después de ser cortados a partir de la lámina extrudida, los filamentos de cinta se alimentan sobre múltiples carretes de recogida en una forma sustancialmente continua. Los conjuntos de suministro pueden usarse entonces en uno o más sistemas de fabricación digital basados en extrusión (por ejemplo el sistema 10) para la construcción de modelos 3D y estructuras de soporte.

La FIG. 8 es una vista en perspectiva de la lámina 90, que es un ejemplo de una lámina extrudida que puede producirse de conformidad con las etapas 80, 82 y 84 del procedimiento 78 (mostrado en la FIG. 7). Como se muestra en la FIG. 8, la lámina 90 puede cortarse en una pluralidad de filamentos 92 de cinta, en el que cada filamento 92 de cinta corresponde convenientemente al filamento 34 de cinta (mostrado en las FIGS. 2-4). El número de filamentos 92 de cinta que puede producirse a partir de una única lámina 90 puede variar dependiendo del ancho de la lámina 90 (al que se hace referencia como el ancho 94 de lámina). Ejemplos de números adecuados de filamentos 92 de cinta que pueden extruirse a partir de una única lámina 90 varían desde aproximadamente cinco a aproximadamente cien, variando los números particularmente adecuados desde aproximadamente diez a aproximadamente cincuenta.

El ancho 94 de lámina de la lámina 90 minimiza convenientemente la cantidad de material desperdiciado. De ese modo, los filamentos 92 de cinta cortados se extienden convenientemente a través de todo el ancho 94 de la lámina. En realizaciones alternativas, sin embargo, pueden descartarse o reciclarse una o más partes a lo largo del ancho 94 de lámina de la lámina 90. Por ejemplo, las partes del borde lateral del ancho de lámina 90 pueden descartarse o reciclarse, según se desee. Ejemplos de dimensiones adecuadas para el ancho 94 de lámina varían desde aproximadamente 0,3 metros (aproximadamente 1,0 pies) a aproximadamente 1,2 metros (aproximadamente 4,0 pies) variando los anchos particularmente adecuados desde aproximadamente 0,46 metros (aproximadamente 1,5 pies) a aproximadamente 0,91 metros (aproximadamente 3,0 pies).

Adicionalmente, la lámina 90, en un estado solidificado, tiene convenientemente un espesor de lámina (al que se hace referencia como el espesor 96 de lámina) que es sustancialmente el mismo que el espesor deseado de los filamentos 92 de cinta (por ejemplo, el espesor 42 del filamento 34 de cinta). Ejemplos de dimensiones adecuadas para el espesor 96 de lámina varían desde aproximadamente 0,08 milímetros (aproximadamente 0,003 pulgadas) a aproximadamente 1,5 milímetros (aproximadamente 0,06 pulgadas), con espesores particularmente adecuados que varían desde aproximadamente 0,38 milímetros (aproximadamente 0,015 pulgadas) a aproximadamente 1,3 milímetros (aproximadamente 0,05 pulgadas), y con espesores incluso más particularmente adecuados que varían desde aproximadamente 0,51 milímetros (aproximadamente 0,02 pulgadas) a aproximadamente 1,0 milímetros (aproximadamente 0,04 pulgadas).

Después de ser extrudida y al menos parcialmente solidificada, la lámina 90 puede cortarse entonces en filamentos 92 de cinta, de conformidad con la etapa 86 del procedimiento 78. Esto se ilustra en la FIG. 8 con una línea 98 de corte localizada entre cada filamento 92 de cinta. Después de ser cortada a partir de la lámina 90 de extrusión, cada filamento 92 de cinta puede cargarse a continuación sobre un conjunto de suministro (por ejemplo, un carrete), de conformidad con la etapa 88 del procedimiento 78. Este procedimiento permite que se fabriquen múltiples filamentos 92 de cinta a partir de una única lámina 90 extrudida sin requerir etapas de redimensionamiento adicionales para alcanzar los espesores deseados para los filamentos 92 de cinta. Esto permite en correspondencia que se consigan altas tasas de producción.

La FIG. 9 es una ilustración esquemática del sistema 100 de extrusión de láminas, que es un ejemplo de sistema adecuado para la producción de láminas extrudidas (por ejemplo, la lámina 90, mostrada en la FIG. 8) de conformidad con el procedimiento 78 (mostrado en la FIG. 7). Tal como se muestra, el sistema 100 incluye un conjunto 102 de extrusión, tambores 104 y 106 de enfriamiento, poleas 108 y 110, y carrete 112 de recogida. El conjunto 102 de extrusión se configura para recibir y extrudir un material de alimentación del material de modelado y/o soporte deseado (mostrado como el medio 114), para producir la lámina 90. El conjunto 102 de extrusión incluye la tolva 116, el casquillo 118 térmico, el tornillo 120 sinfin de accionamiento y la salida 122 extrusión. Aunque se muestra en una orientación vertical, el conjunto 102 de extrusión (y el sistema 100) pueden posicionarse alternativamente en diferentes orientaciones (por ejemplo, una orientación horizontal). Durante la operación, el tornillo 120 sinfin de accionamiento alimenta partes sucesivas del medio 114 desde la tolva 116 a un eje de extrusión definido por el casquillo 118 térmico (al que se hace referencia como eje 124 de extrusión). El casquillo 118 térmico transfiere energía térmica al medio 114 cuando se alimenta un medio 114 dentro del eje 122 de extrusión, fundiendo y extrudiendo de ese modo el medio 114 a partir de la salida 122 de extrusión para producir la lámina 90.

La lámina 90 puede acoplarse entonces a los tambores 104 y 106 de enfriamiento para definir el espesor de la lámina 90 (es decir el espesor 96 de lámina). Los tambores 104 y 106 de enfriamiento son tambores cilíndricos que se mantienen convenientemente a temperaturas reducidas para enfriar la lámina 90 cuando la lámina 90 se acopla con los tambores 104 y 106 de enfriamiento en la tangencia 126. Las temperaturas reducidas para los tambores 104 y 106 de enfriamiento pueden variar dependiendo de factores tales como la velocidad de línea de la lámina 90, la

composición y dimensiones de la lámina 90, y otros similares. Ejemplos de temperaturas adecuadas para los tambores 104 y 106 de enfriamiento varían desde aproximadamente 40 °C a aproximadamente 60 °C. Esto permite a la lámina 90 solidificarse al menos parcialmente hasta un estado sólido mientras mantiene el espesor 96 de lámina después de pasar a través de la tangencia 126.

5 En consecuencia, el tambor 104 de enfriamiento se desplaza convenientemente del tambor 106 de enfriamiento en la tangencia 126 a la distancia que fija el espesor 96 de la lámina para la lámina 90. Como resultado, los espesores de partes sucesivas de la lámina 90 pueden ajustarse al espesor deseado de cada filamento 92 de cinta que se cortará a partir de la lámina 90. Esto permite que cada filamento 92 de cinta coincida posteriormente con un licuefactor no cilíndrico correspondiente (por ejemplo, el licuefactor 48) para alcanzar tiempos de respuesta
10 reducidos, como se ha explicado anteriormente. En una realización, el sistema 100 puede incluir también un conjunto sensor (no mostrado) configurado para detectar y medir el espesor de lámina de la lámina 90 en tiempo real, y para ajustar uno o más parámetros de procesamiento para conseguir el espesor de lámina deseado (por ejemplo, ajustar velocidades de línea, dimensiones de la tangencia y similares).

15 En una realización, pueden formarse en la lámina 90 patrones superficiales topográficos para formar filamentos 92 de cinta que tengan patrones superficiales topográficos como se ha desvelado en Batchelder et ál., Solicitud de Patente Provisional de Estados Unidos N.º 61/247.078; y Batchelder et ál., Solicitud de Patente de Estados Unidos N.º 12/612.342, titulada "Consumable Materials Having Topographical Surface Patterns For Use In Extrusion-Based Digital Manufacturing Systems". En esta realización, uno o ambos de los tambores 104 y 106 de enfriamiento pueden incluir una superficie exterior texturada configurada para formar los patrones superficiales topográficos en la
20 lámina 90 cuando se realiza la lámina 90. Esto es beneficioso para la formación de los patrones superficiales topográficos previamente a que la lámina 90 se solidifique totalmente. Alternativamente, los patrones en la lámina 90 pueden formarse con el uso de rodillos adicionales que tengan superficies exploradas, en el que los rodillos adicionales pueden localizarse aguas arriba o aguas abajo de los tambores 104 y 106 de enfriamiento.

25 En una realización adicional, sistema 100 puede incluir una o más unidades de recubrimiento (no mostradas) para aplicar un recubrimiento a una o ambas de las superficies principales de la lámina 90. Por ejemplo, el sistema 100 puede incluir una unidad de descarga corona (no mostrada) configurada para depositar delgados recubrimientos de material sobre cualquiera o ambas de las superficies principales de la lámina 90. Esto permite que se depositen una variedad de materiales de recubrimiento sobre la lámina 90, tal como materiales de baja energía superficial. Los materiales de baja energía superficial pueden ser beneficiosos para la reducción de la fricción cuando los filamentos 92 de cinta se accionan dentro de los licuefactores rectangulares (por ejemplo, el licuefactor
30 48) de los sistemas de fabricación digital basados en extrusión (por ejemplo, el sistema 10).

La lámina 90 puede bobinarse a continuación alrededor de poleas 108 y 110, y bobinarse sobre el carrete 112 de recogida, en donde uno o más de los tambores 104 y 106 de enfriamiento, poleas 108 y 110, y carrete 112 de recogida pueden accionarse por motor para aplicar una velocidad de línea adecuada para la formación de la lámina
35 90. Ejemplos de velocidades de línea adecuadas para la formación de la lámina 90 varían desde aproximadamente 1 metro/minuto a aproximadamente 20 metros/minuto, variando las velocidades de línea particularmente adecuadas desde aproximadamente 5 metros/minuto a aproximadamente 15 metros/minuto. En realizaciones alternativas, pueden usarse números adicionales de poleas para dirigir la lámina 90 al carrete 112 de recogida. Después de que se haya bobinado una longitud adecuada de lámina 90 sobre el carrete 112 de recogida, la lámina 90 puede separarse y el carrete 112 de recogida puede almacenarse o configurarse para procesamiento posterior para cortar la lámina 90 en filamentos 92 de cinta separados, tal como se explica a continuación. En una realización alternativa, la lámina 90 puede alimentarse directamente a una unidad de corte para cortar la lámina 90 en filamentos 92 de cinta separados. En esta realización, el carrete 112 de recogida puede omitirse y la lámina 90 puede cortarse en filamentos 92 de cinta en un procedimiento continuo con la extrusión y formación de partes sucesivas de lámina 90.

45 La FIG. 10 es una ilustración esquemática del sistema 128 de producción de filamentos, que es un sistema adecuado para la formación de filamentos 92 de cinta a partir de la lámina 90. El sistema 128 incluye un rodillo 130 de corte, rodillo 132 de apoyo, poleas 134 locas, y carretes 136a-136d de recogida. Como se muestra, la lámina 90 puede suministrarse a la tangencia de intersección del rodillo 130 de corte y rodillo 132 de apoyo desde un carrete de recogida (por ejemplo, el carrete 112 de recogida) o como una alimentación directa desde el sistema 100 para un procedimiento continuo.

El rodillo 130 de corte es un primer rodillo que incluye una superficie cilíndrica que tiene una pluralidad de delgadas cuchillas paralelas configuradas para cortar partes sucesivas de la lámina 90 en filamentos de cinta separados (a los que se hace referencia como los filamentos 92a-92d de cinta). En consecuencia, las cuchillas paralelas del rodillo
55 130 de corte se separan convenientemente por espacios que tienen en cuenta los anchos de los filamentos 92 de cinta (por ejemplo, el ancho 40 del filamento 34 de cinta, mostrando en la FIG. 3). El rodillo 130 de corte es también convenientemente accionado por motor para tirar de la lámina 90 entre el rodillo 130 de corte y el rodillo 132 de apoyo durante la operación de corte. El rodillo 132 de apoyo es un segundo rodillo que está separado del rodillo 130 de corte en una distancia adecuada para permitir que la lámina 90 pase entre el rodillo 130 de corte y el rodillo 132 de apoyo y se acople con la superficie de cuchillas del rodillo 130 de corte.

60 Después de ser cortado a partir de la lámina 90, cada filamento 92 de cinta (por ejemplo, los filamentos 92a-92d de

cinta) se alimentan convenientemente a un carrete separado de los carretes 136a-136d de recogida. Los carretes 136a-136d de recogida son ejemplos de conjuntos de suministro adecuados para el carrete 20 de suministro y/o el carrete 22 de suministro (mostrados en la FIG. 1). Los filamentos 92a-92d de cinta pueden dirigirse a los carretes 136a-136d de recogida respectivos con poleas 134 locas. Como se muestra, las poleas 134 locas se sitúan para permitir que los filamentos 92a-92d de cinta salgan del rodillo 132 de apoyo a diferentes localizaciones radiales. Esto reduce el riesgo de que los filamentos 92a-92d de cinta queden enredados mientras se cargan en los carretes 136a-136d de recogida.

Cada uno de los carretes 136a-136d de recogida puede también accionarse por motor para bobinar respectivamente filamentos 92a-92d de cinta según se cortan desde la lámina 90. Aunque el sistema 128 se ilustra con cuatro filamentos 92 de cinta y cuatro carretes 136 de recogida, el rodillo 130 de corte puede cortar la lámina 90 en cualquier número adecuado de filamentos 92 de cinta, basándose en los anchos de la lámina 90 y de los filamentos 92 de cinta. El filamento 92 de cinta cortado puede cargarse entonces sobre los carretes 136 de recogida individuales en una forma sustancialmente paralela.

Aunque se muestra el sistema 128 con un único par rodillo 130 de corte/rodillo 132 de apoyo, en realizaciones alternativas, el sistema 128 puede incluir múltiples pares de rodillos de corte/rodillos de apoyo. Por ejemplo, el sistema 128 puede incluir un par inicial de rodillo 130 de corte y rodillo 132 de apoyo, que puede cortar la lámina 90 en múltiples segmentos, en el que cada segmento tiene un ancho que incluye múltiples filamentos 92 de cinta. Cada segmento cortado puede pasar a continuación a través de un par adicional de rodillo 130 de corte y rodillo 132 de apoyo, que puede cortar el segmento dado en los filamentos 92 de cinta separados. Los filamentos 92 de cinta separados pueden cargarse entonces sobre los carretes 136 de recogida separados, según se ha explicado anteriormente. De ese modo, la lámina 90 puede cortarse en filamentos 92 de cinta durante una única etapa de corte o en múltiples etapas de corte sucesivas.

El sistema 100 de extrusión de láminas y sistema 128 de producción de filamentos están contenidos cada uno convenientemente dentro de un alojamiento (no mostrado) para conseguir un entorno seco. Por ejemplo, los sistemas 100 y 128 pueden incluir cada uno un circulador de aire seco y/o paquetes de desecante para mantener el bajo contenido de humedad. Adicionalmente, los carretes 112 y 136 de recogida pueden incluir cada uno también paquetes de desecantes para mantener la lámina 90/filamento 92 de cinta recibidos secos durante el almacenamiento y posterior uso. Técnicas adecuadas para el mantenimiento de entornos secos en sistemas 100 y 128, y en los carretes 112 y 136 de recogida incluyen los desvelados en Swanson et ál., Patente de Estados Unidos N.º 6.923.634; Comb et ál., Patente de Estados Unidos N.º 7.122.246; y Taatjes et ál., publicaciones de Solicitud de Patente de Estados Unidos N.º 2010/0096485 y 2010/0096489.

Las FIGS. 11-13 son vistas en sección alternativas de la sección 3-3 tomada en la FIG. 2, que ilustran filamentos de cinta multicapa de la presente divulgación. Como se muestra en la FIG. 11, el filamento 200 de cinta tiene un perfil de sección transversal similar al del filamento 34 de cinta (mostrado en la FIG. 2). En esta realización, sin embargo, el filamento 200 de cinta incluye una parte 202 base, y una capa 204. En donde la parte 202 base incluye una superficie 206 superior y una superficie de 208 inferior, y en donde la capa 204 se forma sobre la superficie 206 superior. Dimensiones adecuadas para el filamento 200 de cinta incluyen las explicadas anteriormente para el filamento 34 de cinta. En consecuencia, ejemplos de anchos adecuados para filamento 200 de cinta (referido como ancho 210) incluye los explicados anteriormente para el ancho 40 del filamento 34 de cinta. Ejemplos de espesores combinados adecuados para la parte 202 base y la capa 204 (referido como el espesor 212) incluyen los explicados anteriormente para el espesor 42 del filamento 34 de cinta.

Materiales adecuados para la parte 202 base incluyen materiales de modelado y soporte explicados anteriormente para el filamento 34 de cinta. La capa 204, sin embargo, puede incluir diferentes materiales a la parte 202 base que pueden ayudar en la operación de construcción del sistema 10 (mostrada en la FIG. 1). Por ejemplo, muchas composiciones de materiales de soporte solubles en agua son relativamente quebradizas, lo que puede dar como resultado la fractura del filamento mientras es alimentado a través del sistema de fabricación digital basado en extrusión (por ejemplo, el sistema 10). Para reducir la fragilidad, la capa 204 puede formarse sobre la superficie 206 superior como un delgado recubrimiento de un material no quebradizo que sea al menos parcialmente soluble en agua. Esto permite que el filamento 200 de cinta se alimente a través del sistema 10 sin fracturas o roturas, incrementando de ese modo la fiabilidad del sistema 10. Con relación a la materia prima de la parte 202 base, el delegado recubrimiento de la capa 204 proporciona pequeñas cantidades de material no quebradizo. De ese modo, incluso si el material no quebradizo tiene una baja solubilidad en agua, la composición global de la estructura 26 de soporte tiene una solubilidad en agua que está próxima a la de la materia prima usada para formar la parte 202 base. Permitiendo de ese modo que el material del filamento 200 de cinta aun funcione como un material de soporte soluble en agua adecuado.

Las FIGS. 12 y 13 ilustran filamentos 300 y 400 de cinta, que son alternativas al filamento 200 de cinta, y en donde las etiquetas de referencia se incrementan en "100" y "200" respectivamente. Tal como se muestra en la FIG. 12, el filamento 300 de cinta también incluye la capa 314 formada sobre la superficie 308 inferior, localizando de ese modo la parte 302 base entre las capas 304 y 314. Como se muestra en la FIG. 12, el filamento 400 de cinta incluye la capa 416 dispuesta entre la superficie 406 superior y la capa 404, y la capa 418 dispuesta entre la superficie 408 inferior y la capa 414. En consecuencia, los filamentos de cinta de la presente divulgación pueden incluir múltiples

capas, en donde cada una de las capas puede incluir los mismos o diferentes materiales dependiendo de las propiedades deseadas de la capa y de los procedimientos usados para formar las capas dadas.

5 Los filamentos 200, 300 y 400 de cinta pueden cada uno formarse en general de la misma manera que lo explicado anteriormente para los filamentos 92 de cinta, lo que puede implicar inicialmente la extrusión de una lámina base (por ejemplo, la lámina 90) con el sistema 100, en donde la lámina base tiene convenientemente el mismo espesor de lámina que los espesores respectivos de la parte base (por ejemplo, partes 202, 302 y 402 base) (mostrado en la FIG. 9). Pueden formarse a continuación una o más capas sobre la(s) superficie(s) de la lámina base usando una variedad de técnicas de recubrimiento. El procedimiento de formación de capas se realiza convenientemente previamente al corte de la lámina base en múltiples filamentos de cinta (por ejemplo, con el sistema 128).

10 En una realización, cada capa puede formarse mediante la formación inicialmente de una lámina extrudida adicional que tenga un espesor de lámina que corresponde al espesor de la capa dada. La(s) lámina(s) extrudida(s) adicional(es) pueden laminarse entonces sobre la lámina base y prensarse en caliente entre rodillos para asegurar las capas a la parte base. En esta realización, las capas 416 y 418 del filamento 400 de cinta pueden usarse como capas de unión para asegurar efectivamente las capas 404 y 414 a la parte 402 base. El procedimiento de laminación puede realizarse antes de que la lámina base se bobine sobre el carrete de recogida (por ejemplo, el carrete 112 de recogida), o, alternativamente, la lámina base puede bobinarse sobre un carrete de recogida y desbobinarse posteriormente para el procedimiento de laminación.

15 En una realización alternativa, cada capa puede formarse mediante la deposición o aplicación en otra forma de un recubrimiento sobre la(s) superficie(s) de la lámina base. Por ejemplo, cada recubrimiento puede depositarse con una unidad de descarga corona, como se ha explicado anteriormente. Alternativamente, cada recubrimiento puede formarse con uno o más procedimientos de recubrimiento convencionales, tales como procedimientos de recubrimiento por cuchilla y procedimientos de recubrimiento por rodillo.

20 En una realización alternativa adicional, cada capa puede formarse mediante coextrusión de láminas de cada capa junto con la lámina base. Esto elimina el uso de una etapa de laminación o recubrimiento separada para formar la(s) capa(s) y permite que se definan las dimensiones de la lámina multicapa con el sistema 100 (por ejemplo, en la tangencia 126).

25 Después de que se complete el procedimiento de laminación y/o recubrimiento, la lámina multicapa puede cortarse entonces en filamentos de cinta separados (por ejemplo, los filamentos 200, 300 y 400 de cinta) con el sistema 128. Los espesores resultantes de cada capa pueden variar dependiendo de las características deseadas de la capa dada y del procedimiento de laminación o recubrimiento usado. Ejemplos de espesores combinados adecuados para las capas de filamentos 200, 300 y 400 de cinta incluyen hasta aproximadamente el 50 % del espesor del filamento de cinta (es decir, espesores 212, 312 o 412), variando los espesores combinados particularmente adecuados desde aproximadamente 1 % a aproximadamente 25 % del espesor del filamento de cinta, y variando los espesores combinados incluso más particularmente adecuados desde aproximadamente 5 % a aproximadamente 25 % del espesor del filamento de cinta.

30 Los filamentos 200, 300 y 400 de cinta ilustran ejemplos adecuados de filamentos de cinta multicapa que pueden fabricarse con los sistemas 100 y 128, y usarse con el sistema 10 para construir modelos 3D y/o estructuras de soporte con tiempos de respuesta reducidos. La naturaleza multicapa de los filamentos 200, 300 y 400 de cinta también permite que los filamentos de cinta se formen a partir de láminas extrudidas (por ejemplo, la lámina 90) y alcancen una variedad de diferentes propiedades físicas y estéticas.

35 En realizaciones adicionales de la presente divulgación, los filamentos cilíndricos y no cilíndricos anteriormente explicados pueden ser también huecos. Dado que el área de sección transversal del plástico se reduce por el núcleo faltante, el diámetro hidráulico del filamento hueco puede también ser menor que el diámetro físico. En consecuencia, ejemplos de diámetros hidráulicos adecuados para filamentos huecos de la presente divulgación incluyen los explicados anteriormente. Adicionalmente, el licuefactor puede incluir también un núcleo ajustado al filamento hueco, de modo que el extrudido se caliente desde el interior así como desde el exterior.

40 Una ventaja adicional potencial de un filamento hueco es que cuando el filamento hueco se fabrica mediante extrusión rápida desde un combinador, se enfría convenientemente de modo rápido antes de que se retenga sobre un conjunto de suministro (por ejemplo, en carrete). Este procedimiento de enfriamiento rápido puede inducir por otro lado cambios en el diámetro en un filamento que puede variar a lo largo de su longitud. En comparación, si se enfría rápidamente un filamento hueco, la superficie interior de filamento hueco puede variar en diámetro, dejando la superficie exterior más uniforme.

45 Otra ventaja adicional potencial de un filamento hueco en la forma de una carcasa cilíndrica es la adaptación al mecanismo de accionamiento del filamento. Un filamento sólido puede estar próximo a ser incompresible, de modo que el rodillo de accionamiento o diente de accionamiento puede obtener muy poca o demasiada tracción si el diámetro del filamento es ligeramente pequeño o grande. Un filamento hueco, sin embargo, proporciona una adaptación de modo que pequeñas variaciones en el diámetro del filamento se compensan por variaciones en la cantidad de compresión del filamento hueco.

5 Otra ventaja adicional potencial más de un filamento hueco es la reducida conducción térmica en el interior del licuefactor. Cuando está fijo un filamento sólido, el calor puede conducirse lentamente hacia el centro del filamento a la zona anterior a la parte calentada del licuefactor donde las paredes están relativamente frías. Si el filamento se funde ahí, tiende a solidificar contra la pared fría, provocando potencialmente una gran fuerza axial para reiniciar el movimiento del filamento. La tasa de conducción de calor de un filamento hueco, sin embargo, será más lenta que la tasa de conducción de un filamento sólido debido a la carencia de un núcleo.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema que comprende un sistema (10) de fabricación digital basado en extrusión y un material (34) consumible, comprendiendo el material (34) consumible un filamento de cinta, teniendo el filamento de cinta una longitud (36) y un perfil (38) de sección transversal que es no cilíndrico, en el que el perfil (38) de sección transversal comprende una geometría rectangular que tiene una relación de aspecto de sección transversal de ancho a espesor que es de aproximadamente 2:1 o mayor, en el que el perfil (38) de sección transversal se configura para coincidir con una geometría rectangular correspondiente de un licuefactor (48) no cilíndrico del sistema (10) de fabricación digital basado en extrusión, teniendo el licuefactor (48) un área A_e de sección transversal de entrada y un diámetro D_k hidráulico, en el que $D_k < 0,95 \sqrt{A_e}$, para proporcionar un tiempo de respuesta con el licuefactor (48) no cilíndrico que sea al menos 1,5 veces más rápido que un tiempo de respuesta que pueda conseguirse con un filamento cilíndrico en un licuefactor cilíndrico para al mismo caudal volumétrico máximo, térmicamente limitado.
2. El sistema de la reivindicación 1, en el que el ancho (40) del perfil (38) de sección transversal varía desde aproximadamente 1,0 milímetros a aproximadamente 10,2 milímetros.
3. El sistema de la reivindicación 1, en el que el material (300) consumible comprende adicionalmente una segunda capa (314) dispuesta sobre la segunda superficie (308) de la parte (302) base, y en el que la parte (302) base y la segunda capa (314) se derivan de materiales diferentes.
4. El sistema de la reivindicación 3 y en el que el material de la segunda capa (314) es el mismo que el material de la primera capa (304).
5. El sistema de la reivindicación 1 y en el que el filamento de cinta se configura para soportar una tensión elástica mayor que una relación del espesor del área de sección transversal del filamento dividida por un radio de curvatura del filamento de cinta.
6. La combinación de cualquier reivindicación precedente, en la que $D_k < 0,90 \sqrt{A_e}$.
7. Un procedimiento de construcción de un modelo tridimensional en un sistema de fabricación digital basado en extrusión, comprendiendo el procedimiento:
 - alimentar un filamento (34) de cinta de un material consumible a un licuefactor (48) no cilíndrico retenido por el sistema (10) de fabricación digital basado en extrusión, teniendo el filamento (34) de cinta una longitud (36) y un perfil (38) de sección transversal que es no cilíndrico en el que el perfil (38) de sección transversal comprende una geometría rectangular que tiene una relación de aspecto de sección transversal de ancho a espesor que es de aproximadamente 2:1 o mayor, en el que el perfil (38) de sección transversal se configura para coincidir con una geometría rectangular correspondiente del licuefactor (48) no cilíndrico teniendo un área A_e de sección transversal de entrada y un diámetro D_k hidráulico, en el que $D_k < 0,95 \sqrt{A_e}$;
 - fundir el filamento (34) de cinta en el licuefactor (48) de cinta para proporcionar un material consumible fundido; extrudir el material (34) consumible fundido desde el licuefactor (48) de cinta;
 - depositar el material consumible extrudido en una forma capa a capa para formar al menos una parte del modelo (34) tridimensional;
 - cambiar una presión de actuación para la alimentación del filamento (34) de cinta al licuefactor (48) de cinta, que presenta un tiempo de respuesta para la extrusión del material (34) consumible fundido que es al menos 1,5 veces más rápida que un tiempo de respuesta que pueda conseguirse con un filamento cilíndrico en un licuefactor cilíndrico para al mismo caudal volumétrico máximo, térmicamente limitado;
 - mientras se extrude el material (34) consumible fundido, mover el licuefactor (48) de cinta a una tasa que se basa en parte en el tiempo de respuesta presentado.
8. El procedimiento de la reivindicación 7, en el que el tiempo de respuesta para la extrusión del material (34) consumible fundido desde el licuefactor (48) de cinta es al menos aproximadamente dos veces más rápido que el tiempo de respuesta del filamento cilíndrico en el licuefactor cilíndrico.
9. El procedimiento de las reivindicaciones 7 y 8, en el que el tiempo de respuesta para la extrusión del material (34) consumible fundido desde el licuefactor (48) de cinta es al menos aproximadamente tres veces más rápido que el tiempo de respuesta del filamento cilíndrico en el licuefactor cilíndrico.
10. El procedimiento de la reivindicación 7, en el que el perfil (38) de sección transversal del filamento (34) de cinta tiene una relación de aspecto de sección transversal de ancho (80) a espesor (42) que varía desde aproximadamente 2,5:1 a aproximadamente 20:1.
11. El procedimiento de la reivindicación 7, en el que el ancho (40) del perfil (38) de sección transversal del filamento (34) de cinta varía desde aproximadamente 1,0 milímetros a aproximadamente 10,2 milímetros.

12. El procedimiento de las reivindicaciones 7-11, en el que $D_k < 0,90 \sqrt{A_e}$.

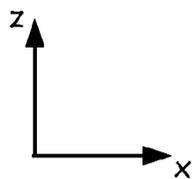
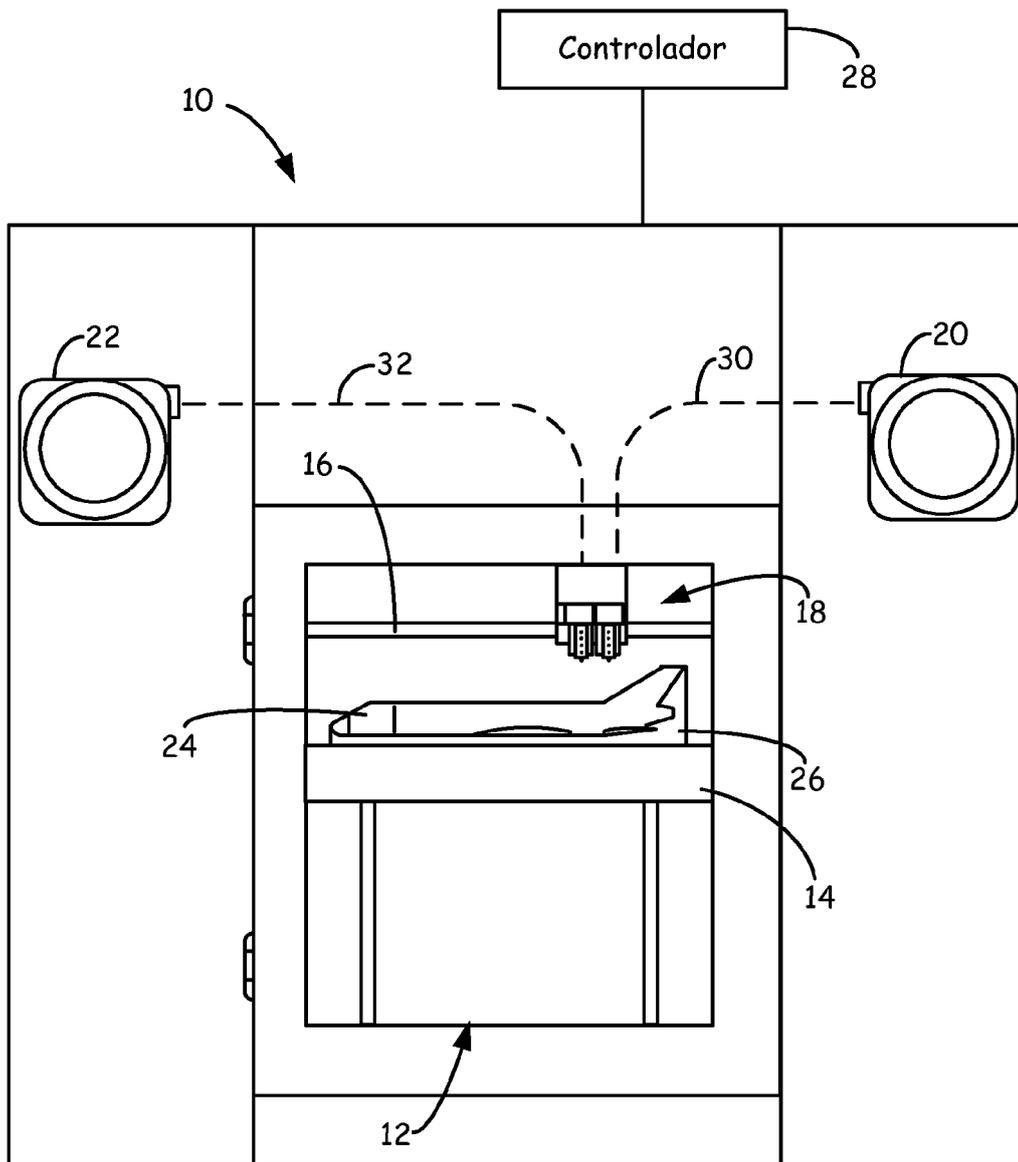
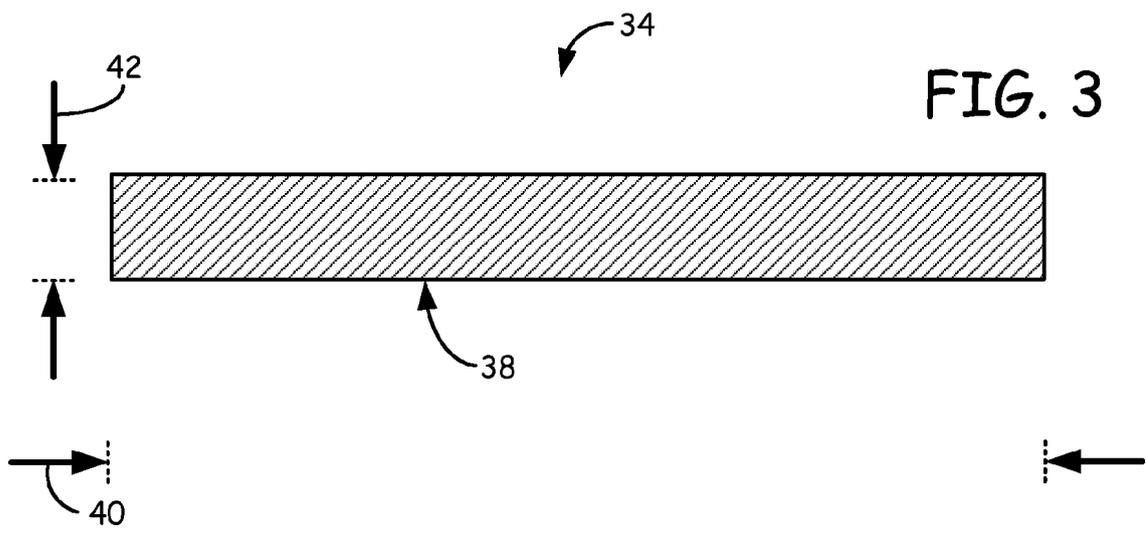
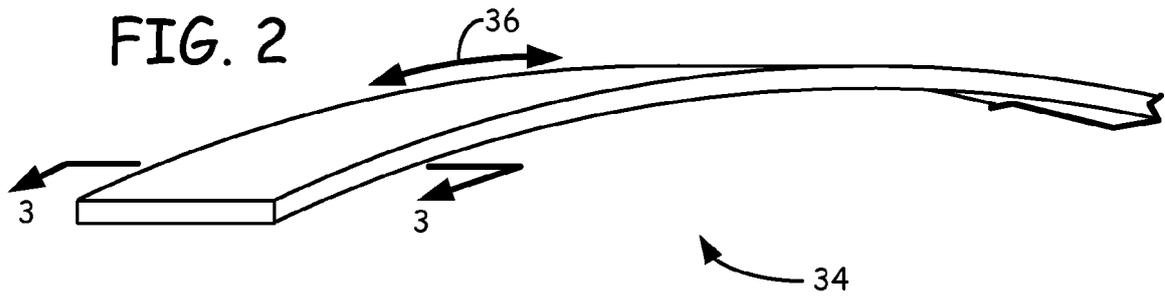


FIG. 1



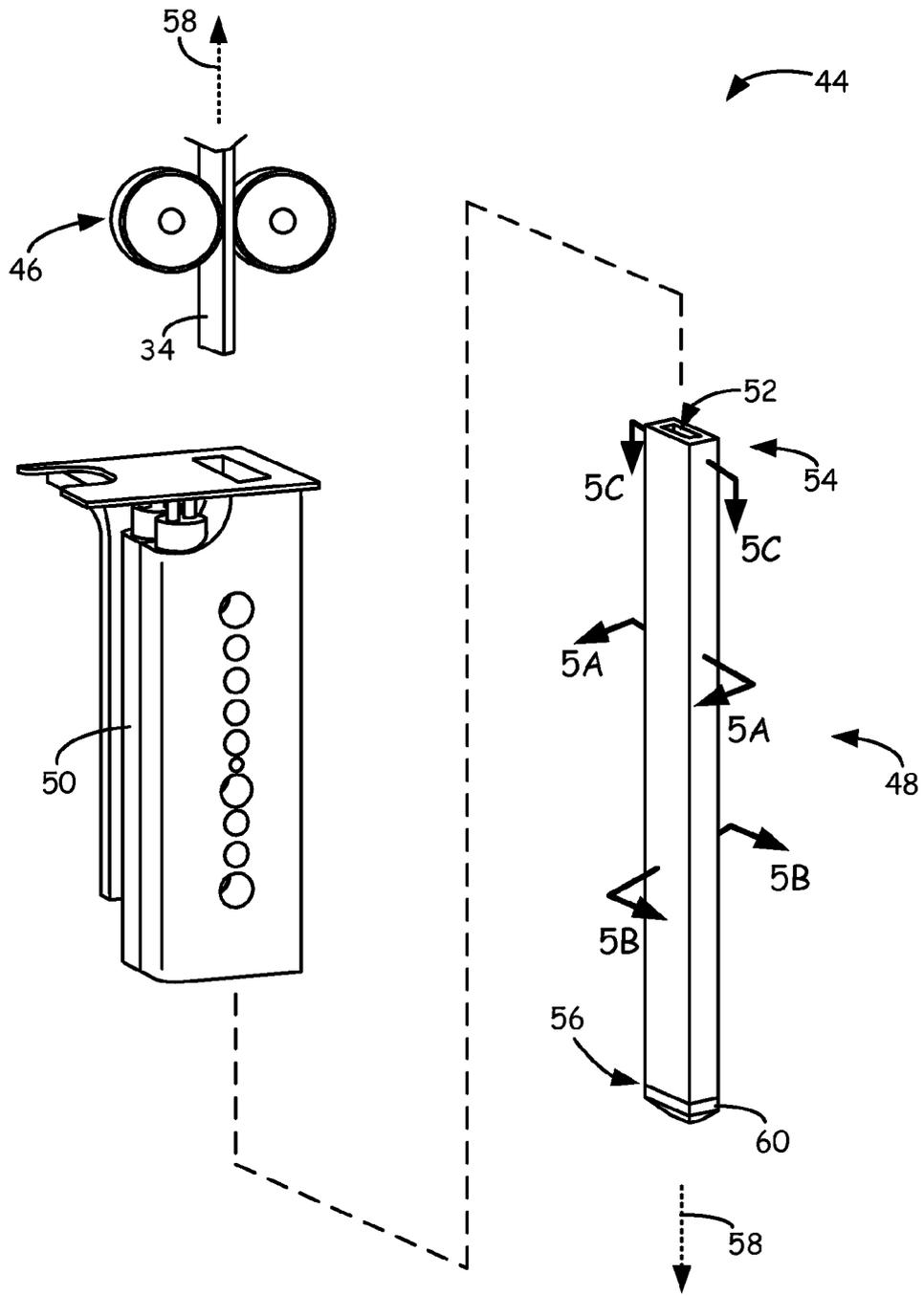


FIG. 4

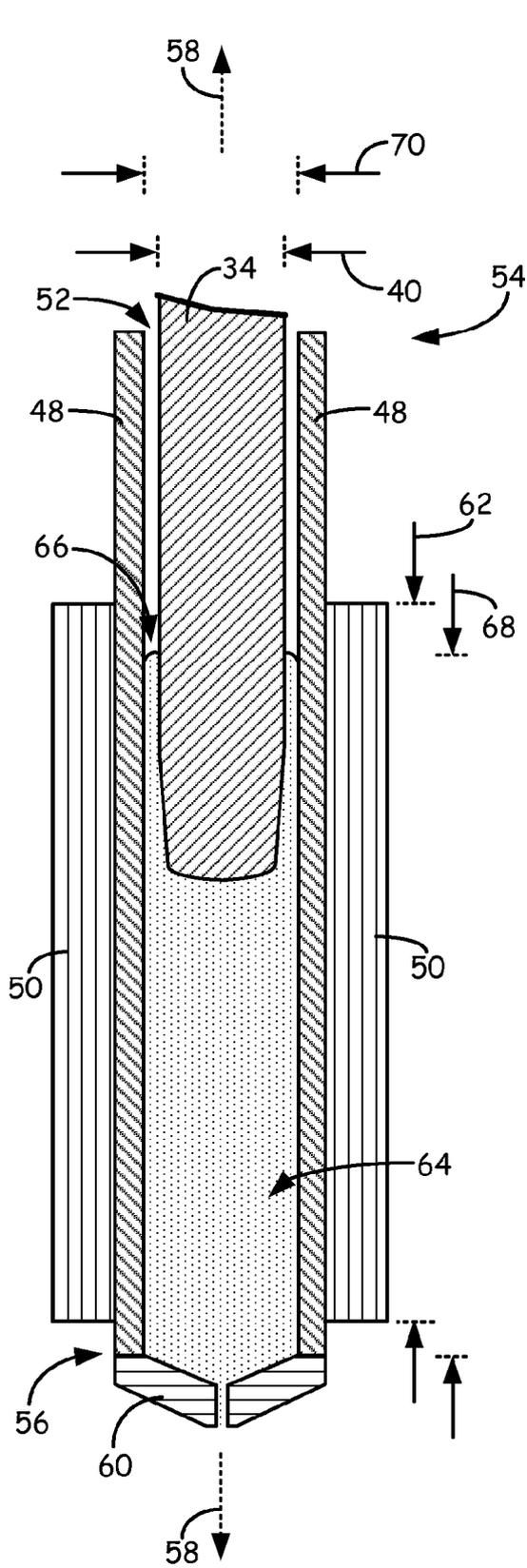


FIG. 5A

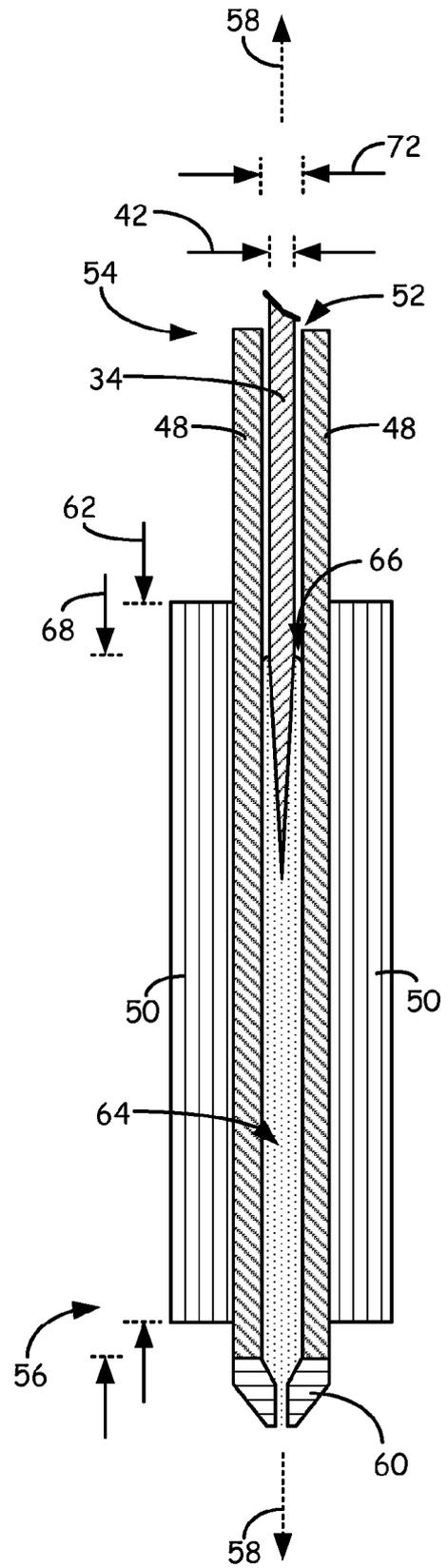


FIG. 5B

FIG. 5C

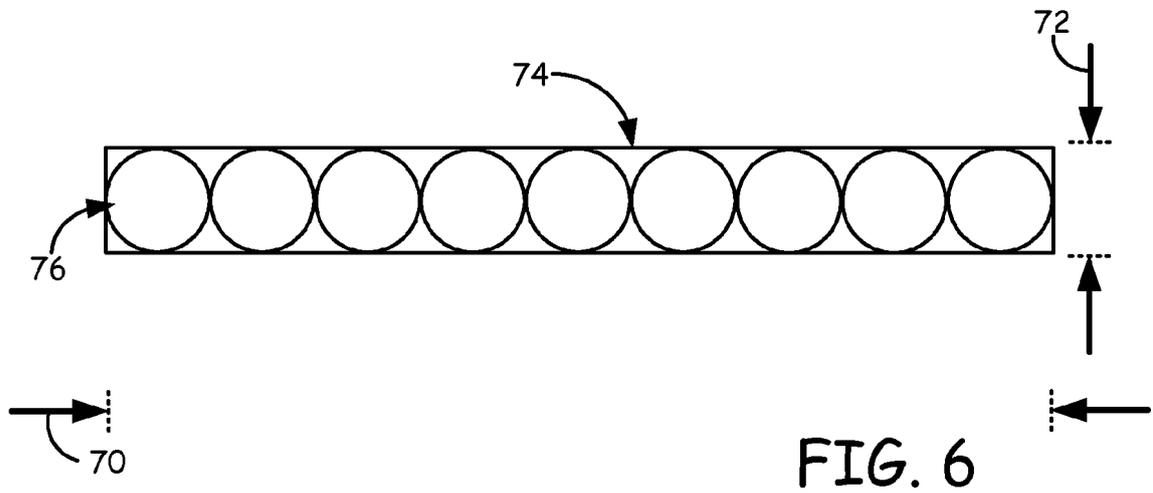
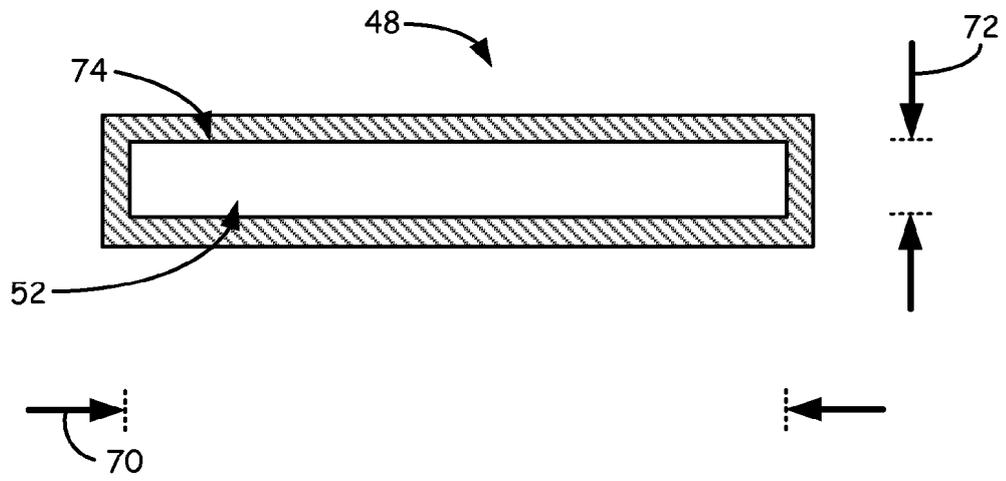


FIG. 6

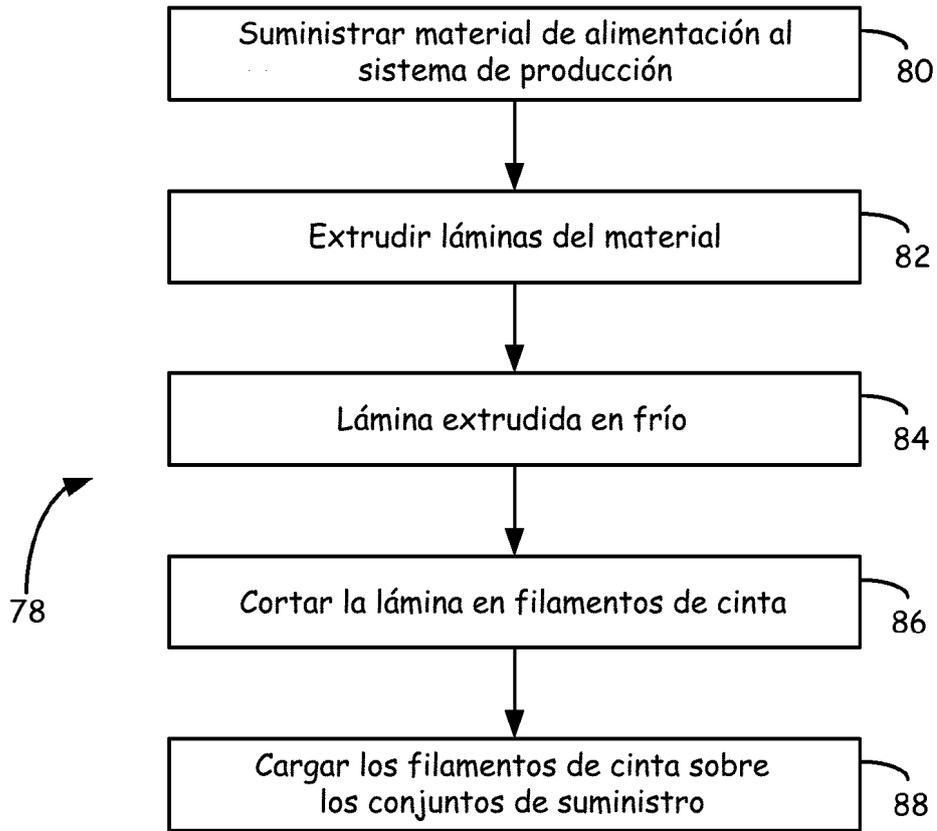


FIG. 7

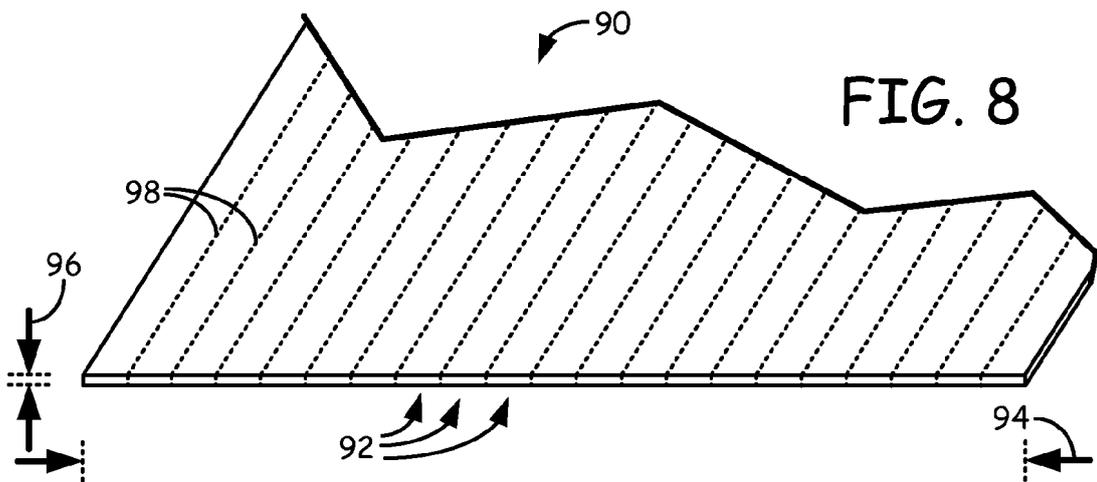


FIG. 8

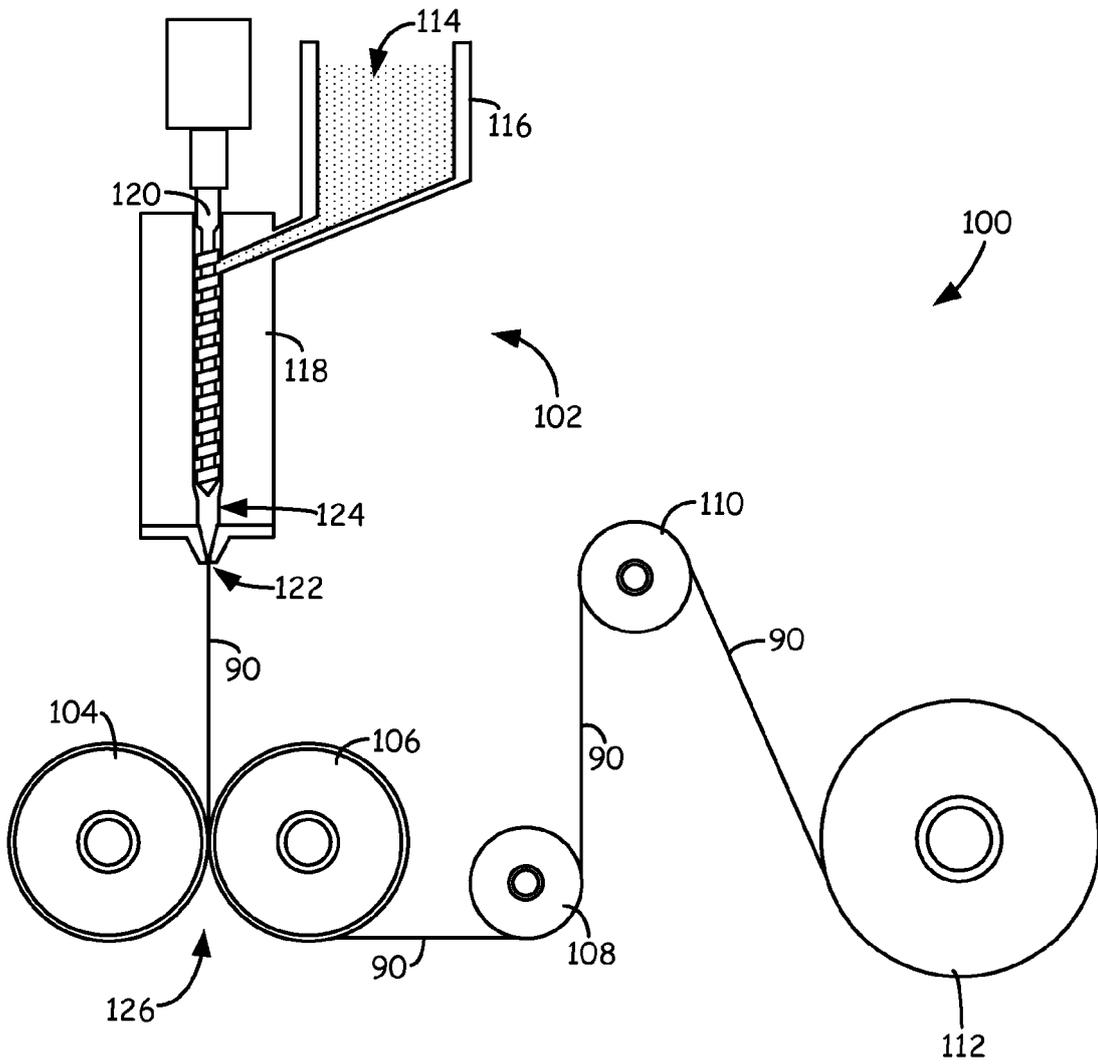
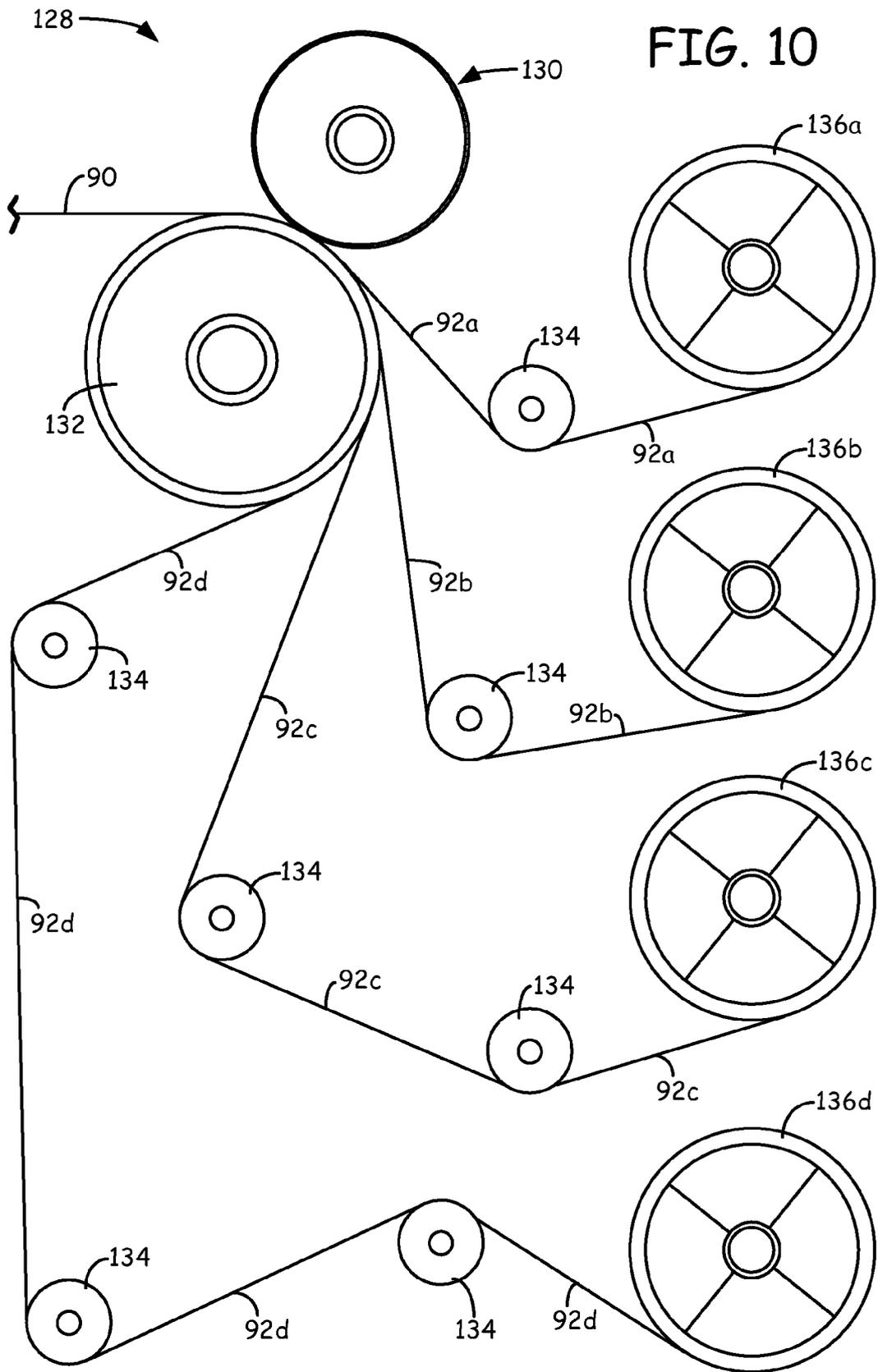


FIG. 9



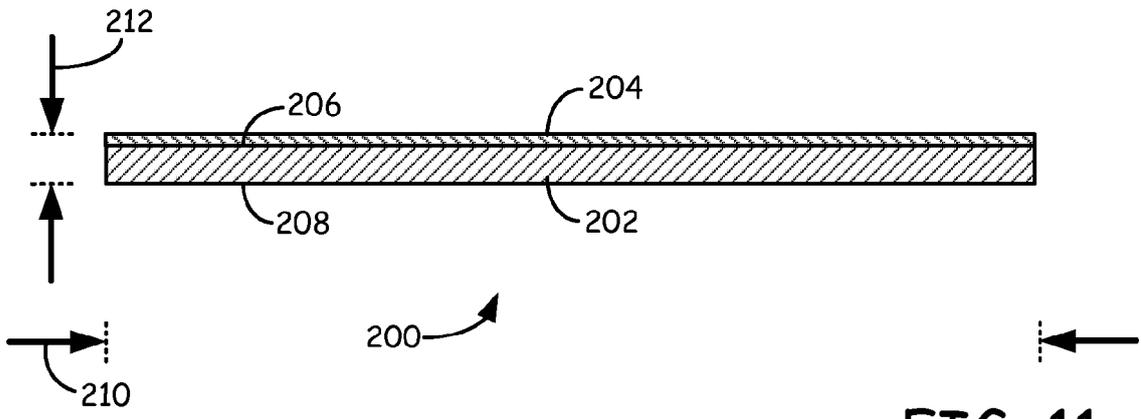


FIG. 11

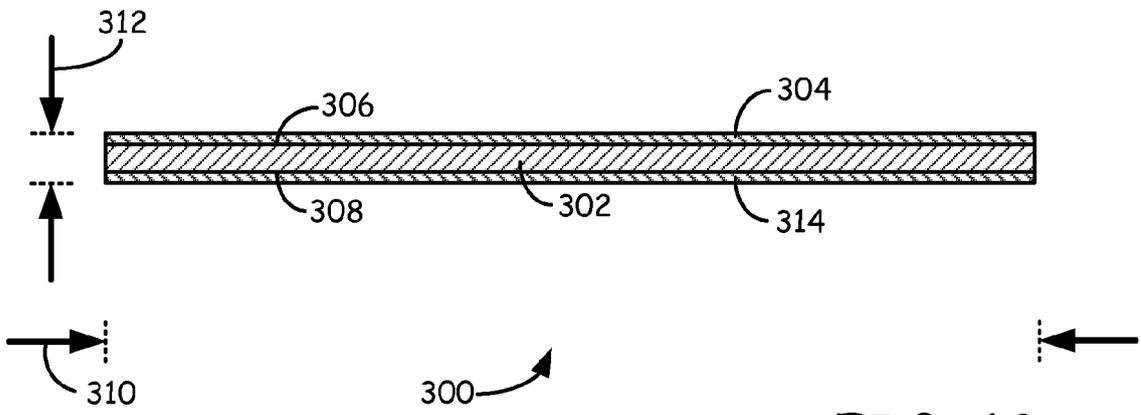


FIG. 12

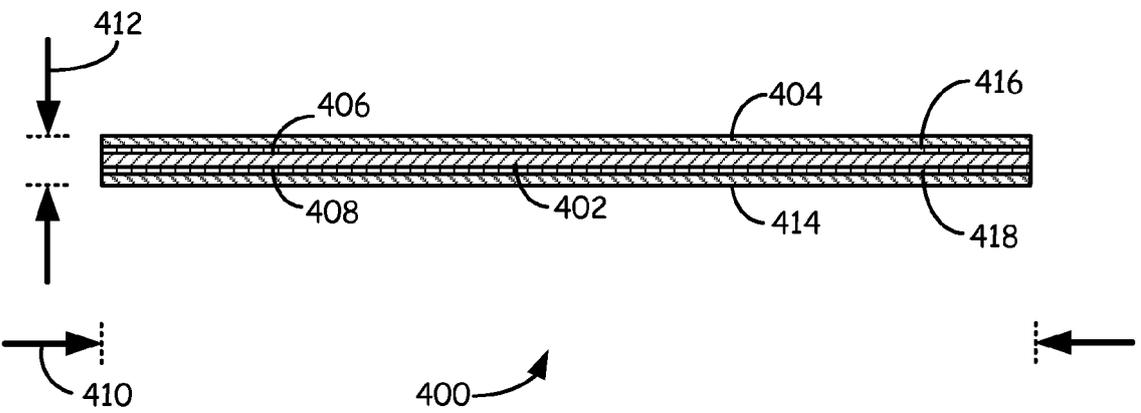


FIG. 13