



# (12)实用新型专利

(10)授权公告号 CN 210453777 U

(45)授权公告日 2020.05.05

(21)申请号 201690001746.7

(22)申请日 2016.09.12

(30)优先权数据

62/378,489 2016.08.23 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2019.02.25

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2016/051303 2016.09.12

(87)PCT国际申请的公布数据

WO2018/038750 EN 2018.03.01

(73)专利权人 斯特塔思有限公司

地址 美国明尼苏达州

(72)发明人 迈克尔·D·波斯维德

(74)专利代理机构 深圳中一专利商标事务所  
44237

代理人 高星

(51)Int.Cl.

B29C 64/106(2017.01)

B29C 64/386(2017.01)

B33Y 30/00(2015.01)

B33Y 50/00(2015.01)

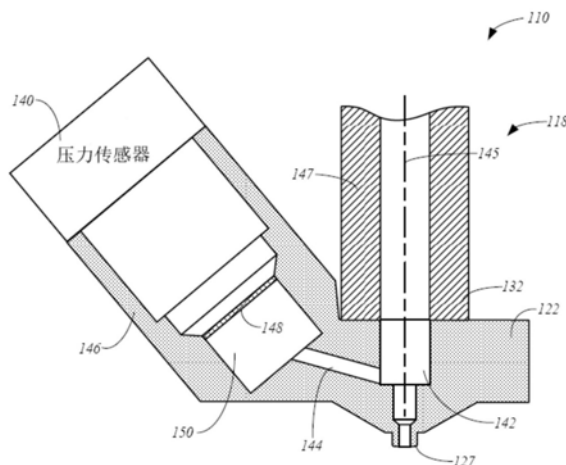
权利要求书1页 说明书7页 附图4页

## (54)实用新型名称

一种用于以逐层方式打印3D部件的增材制造系统

## (57)摘要

一种用于以逐层方式打印3D部件的增材制造系统(100),包括挤出机(118),其包括驱动机构(124),喷嘴(122)和压力传感器(140)。所述驱动结构被配置来供应熔融的消耗性材料。所述喷嘴附接在所述挤出机的远端(132)并包括喷嘴尖端(127),所述熔融的消耗性材料通过所述喷嘴尖端(127)作为挤出物被排出。压力接口(146)流体地联接到所述喷嘴的内腔(142)。所述压力传感器被配置为通过所述压力接口可操作地测量所述喷嘴的所述内腔内的压力。



1. 一种用于以逐层方式打印3D部件的增材制造系统,其特征在于:所述系统包括:  
挤出机,其包括:  
驱动机构,配置成用于供给熔融的消耗性材料;  
喷嘴,其包括:  
喷嘴尖端,所述熔融的消耗性材料通过所述喷嘴尖端作为挤出物排出;  
端口,其将所述压力接口流体地联接到所述喷嘴的内腔;和  
压力接口,其与所述喷嘴一体并流体地联接到所述端口,使得所述压力接口包括通过所述端口流体地联接到所述喷嘴的所述内腔的接口腔;以及  
压力传感器,其配置成通过所述压力接口可操作地测量所述喷嘴的所述内腔内的压力,以及对所述驱动机构提供反馈以校正体积流量误差。
2. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述压力接口径向地偏离所述喷嘴尖端的轴线。
3. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述接口腔具有16.39立方毫米至32.77立方毫米的体积,使得所述压力接口的整个区域被所述消耗性材料润湿。
4. 根据权利要求3所述的系统,其中,所述端口具有直径和长度,并且所述长度与所述直径之比小于3。
5. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述压力接口包括隔膜,所述隔膜被配置为响应于所述喷嘴的所述内腔内的所述压力的变化而变形。
6. 根据权利要求5所述的系统,其中,所述系统还包括:  
压板,其配置成支撑通过所述喷嘴尖端排出的所述挤出物;  
打印头,其包括所述喷嘴;以及  
头架,其配置成相对于所述压板移动所述打印头。
7. 根据权利要求6所述的系统,其特征在于:还包括控制器,所述控制器配置成基于所述测量的压力来调节所述消耗性材料通过所述挤出机的进料速率,从而以闭环方式来控制所述挤出物通过所述喷嘴尖端的材料流率。

## 一种用于以逐层方式打印3D部件的增材制造系统

### 背景技术

[0001] 在基于挤出的增材制造中,部件都是通过每层挤出到先前沉积的层上被逐层打印。挤出层通过挤出机被挤出打印头中的喷嘴,该挤出机可以采用液化泵,齿轮泵,螺杆泵或这些泵的组合的形式。

[0002] 在齿轮泵挤出机中,通过两个啮合的齿轮的作用将熔融材料泵出喷嘴。齿轮由致动器驱动,该致动器使所述啮合的齿轮的齿旋转,从而将熔融材料从齿轮的一侧输送到另一侧。致动器转动齿轮的速率控制熔融材料挤出的速率。

[0003] 在螺杆泵中,熔融材料通过由致动器驱动的螺杆的旋转而被输送。当螺杆旋转时,螺杆的螺纹向熔融材料施加轴向力,使得熔融材料沿着螺纹朝向喷嘴向下移动。致动器转动螺杆的速率控制熔融材料的挤出速率。

[0004] 在液化器或粘度泵中,固体消耗性材料被驱动到熔融的消耗性材料的液化管中。熔融的消耗性材料池在固体消耗性材料下游的液化器管中形成。固体消耗性材料作为活塞操作,以在将熔融的消耗性材料送入液化器管并熔融时通过喷嘴排出熔融的消耗性材料。

### 实用新型内容

[0005] 本公开的各方面涉及用于以逐层方式打印3D部件的增材制造系统和方法。增材制造系统的一些实施例包括挤出机,该挤出机包括驱动机构,喷嘴和压力传感器。所述驱动机构配置成供给熔融的消耗性材料。所述喷嘴附接在所述挤出机的远端并且包括喷嘴尖端和端口,所述熔融的消耗性材料通过所述喷嘴尖端作为挤出物排出,所述端口将所述压力接口流体地联接到所述喷嘴的内腔。压力接口,其与所述喷嘴一体并流体地联接到所述端口,使得所述压力接口包括通过所述端口流体地联接到所述喷嘴的所述内腔的接口腔。以及所述压力传感器,其配置成通过所述压力接口可操作地测量所述喷嘴的所述内腔内的压力,以及对所述驱动机构提供反馈以校正体积流量误差。

[0006] 在用增材制造系统打印3D部件的方法的一些方面中,将消耗性材料加热至熔融状态并通过挤出机进料。挤出机喷嘴的内腔填充有熔融的消耗性材料,其响应于供给熔融的消耗性材料而作为挤出物通过喷嘴的喷嘴尖端排出。所述喷嘴的所述内腔通过端口流体地连接到所述压力接口。使用压力传感器通过所述压力接口可操作地测量所述喷嘴的所述内腔内的压力。

[0007] 除非另有说明,否则本文使用的下列术语具有以下含义:

[0008] 术语“优选的”和“优选地”是指在某些情况下可以提供某些益处的本发明的实施方案。然而,在相同或其他情况下,其他实施例也可以是优选的。此外,对一个或多个优选实施例的描述并不意味着其他实施例是无用的,并且不旨在将其他实施例排除在本公开的范围之外。

[0009] 术语“可操作地测量”等指的是可以是直接测量和/或间接测量的测量。例如,可以通过直接测量液化器组件内的压力来可操作地测量液化器组件内的压力,例如在喷嘴或液化器管内。

[0010] 诸如“上方”，“下方”，“顶部”，“底部”等的方向取向是参考3D部件的层打印方向进行的。在下面所示的实施例中，层打印方向是沿垂直z轴的向上方向。在这些实施例中，术语“上方”，“下方”，“顶部”，“底部”等基于垂直z轴。然而，在沿着不同的轴(例如沿着水平的x轴或y轴)打印3D部件的层的实施例中，术语“上方”，“下方”，“顶部”，“底部”和类似的是相对于给定的轴。

[0011] 由于本领域技术人员已知的预期变化(例如，测量中的限制和可变性)，本文使用术语“约”和“基本上”关于可测量的值和范围。

### 附图说明

[0012] 图1是根据本公开的实施例的增材制造系统的框图。

[0013] 图2是包括根据本公开的实施例形成的示例性打印头的增材制造系统的部分的简化图。

[0014] 图3是根据本公开的实施方案的示例性螺杆挤出机的横截面图。

[0015] 图4是根据本公开的示例性实施例形成的打印头的端部的简化剖视图。

### 具体实施方式

[0016] 本公开的实施例涉及感测增材制造系统的挤出模具或打印头的喷嘴内的熔融的消耗性材料的压力。感测到的压力可用于增强系统的可靠性和性能，或部件构建的准确性。

[0017] 本公开的实施方案可以与挤出材料的任何合适的基于层的增材制造系统一起使用。与塑料或非塑料挤出工业中的传统熔融挤出机相比，增材制造系统的总体尺寸通常小得多。当涉及测量系统压力的期望时，小尺寸带来独特的挑战。

[0018] 图1示出了一个这样的系统100，其是使用基于层的增材制造技术来打印或以其他方式构建3D部件及其支撑结构的示例性制造系统。示例性系统100 是基于挤出的增材制造系统，其中打印轴或Z轴是基本水平的轴。在水平打印中，3D部件和支撑件的移动沿着打印轴，该打印轴基本上垂直于打印平面，其中打印轴处于基本水平的方向，并且打印平面基本上是垂直的。

[0019] 尽管在图1中示出了用于沿着基本水平的打印轴打印的系统，本文描述的实施方案还可以与具有基本垂直的打印轴的基于挤出的增材制造系统一起使用。打印的方向不是限制性的，并且可以在基本水平的打印轴和基本垂直的打印轴之间具有任何合适的角度取向。

[0020] 另外，本公开的实施例可以与具有3D工具路径的增材制造系统一起使用，而不是挤出3D部件的平面层的传统2D工具路径。这种系统利用运动控制系统，包括但不限于用于定位和横穿挤出机和/或基板定位的铰接机器臂。机器人定位系统的使用可以允许挤出机沿着非平面的3D刀具路径沉积挤出的材料，使用更复杂的操作，并且还可以排除对打印支撑结构的需要。

[0021] 如图1所示，系统100可搁置在桌子或其他合适的表面102上，并包括例如腔室104、压板106、压板机架108、打印头110、头架112、工具更换器113 和可消耗组件114中的一个或多个。在一些实施例中，腔室104由腔室壁围绕，并且最初包含压板106。在一些实施例中，腔室104被加热，并且在一些实施例中，腔室104不被加热。在一些实施例中，该系统不包括腔

室,而是在环境条件下打印3D部件,有时称为烤箱外打印机。图2是包括根据本公开的实施例形成的示例性打印头110的增材制造系统100的部分的简化图。

[0022] 在一些实施例中,系统100包括控制器116,其表示包括一个或多个处理器的一个或多个控制电路,所述一个或多个处理器被配置为监视和操作系统 100的组件以执行本文所述的一个或多个功能或方法步骤。例如,由控制器116 执行的一个或多个控制功能可以用硬件,软件,固件等或其组合来实现。例如,控制器116可以与打印头110或其部件,腔室104,加热装置,打印头110的挤出机的致动器或驱动机构,各种传感器,压板机架108,头架112,系统100 的校准设备,显示设备和/或用户输入设备通过合适的通信线路通信。

[0023] 在一些实施例中,系统100(例如控制器116)被配置为与位于系统100,远离系统100或与系统100集成的计算机或基于计算机的系统117通信,例如系统100的内部组件。在一些实施例中,计算机117包括基于计算机的硬件,例如数据存储设备,处理器,存储器模块等,用于生成和存储工具路径和相关的打印指令。计算机117可以将这些指令发送到系统100(例如,发送到控制器116)以执行打印操作。

[0024] 示例性消耗性材料包括细丝,粉末或其他合适的消耗性材料。在一些实施例中,消耗性材料存储在可消耗组件114中并且以批处理方式提供给与打印头 110一体的移动料斗115,例如在美国专利No.8,955,558中所公开的。在一些实施例中,3D部件均由包含在消耗品供应114之一中的一部分消耗性材料形成,例如,所述支撑部件均由包含在消耗品供应114之一中的牺牲性部件材料和/或支撑消耗性材料形成。

[0025] 在一些实施例中,多个打印头110用于接收不同的消耗性材料并将熔融或软化的消耗性材料(例如熔融树脂)排出到压板上以形成3D部件的层和支撑结构。在一些实施例中,使用单个打印头110,其可以与可以存储在例如工具更换器113内的多个附加打印头110互换。不同的打印头110可以互换地用于沉积不同的材料,或者在两个或多个打印头被配置用于同样的消耗性材料时是多余。在一个实施例中,工具更换器113持有三个或更多个单独的打印头110。

[0026] 在图1中所示的示例性增材制造系统100的操作期间,控制器116可以引导打印头110加压和熔融从料斗115提供的连续量的消耗性材料。在其中实施例中,消耗组件114中提供了细丝消耗品,控制器116可以指示打印头110用于拉伸和熔融连续的细丝段。打印头110包括挤出机118。在一些实施例中,挤出机118包括更多的加热元件119,其形成液化器120,或挤出机/熔融螺杆,其热熔融所接收的消耗性材料,使得材料变得熔融和可流动。虽然示出为位于挤出机118的近端,但液化器120可沿挤出机120的长度延伸。

[0027] 打印头110由头架112支撑,头架112在示例性实施例中是机架组件,其配置成沿着X-Y平面中(或基本上在X-Y平面内)的刀具路径移动打印头110, X-Y平面基本上平行于压板106的顶部表面并且基本垂直于构建平面。在替代实施例中,头架可以是机架组件,其配置成以任何合适的空间运动和/或俯仰- 摇摆运动在台板16上方的2D或3D工具路径中移动打印头110,包括将机架定位到工作空间中的任何坐标位置。当头架112移动打印头110以沿着工具路径打印部件结构时,熔融的消耗性材料从打印头110挤出并沉积到当前结构的接收表面(即,物品或部件,支撑结构)上。

[0028] 可选地,打印头110可以最初将一层或多层支撑结构打印到压板106的接收表面上或打印到粘附到压板106上的可移除基板上,以为随后打印的层提供基底。这保持了3D部件

的层与固定到压板106的构建板之间的良好粘附,并且减小或消除了对压板106的接收表面和X-Y构建平面之间的任何平坦度的容差。在最初打印支撑结构之后,然后打印头110可以打印3D部件的层和/或支撑结构。在该实施例中,在Z方向上执行打印。

[0029] 在一些实施方案中,如图2所示,挤出机118包括用于挤出熔融的可消耗性材料挤出物的喷嘴122。熔融的消耗性材料由挤出机118的驱动机构或致动器124驱动,该驱动机构或致动器124又由马达126基于由控制器116发送的速度命令通过合适的布置(例如,齿轮,皮带等)驱动。驱动机构124沿如图2所示的箭头128所示的方向驱动熔融的,加压的消耗性材料通过挤出机118和喷嘴122的喷嘴尖端127。熔融的消耗性材料作为挤出物130从喷嘴122排出,挤出物130在压板106上形成3D部件的层和/或支撑结构。在一些实施例中,驱动机构124包括有马达126转动的螺杆或叶轮。在美国专利No.7,891,964中公开了一种示例性的叶轮驱动的粘度泵挤出机。在一些实施例中,驱动机构124包括由马达126驱动的齿轮泵。Hjelsand等人在W02016/014543A1中公开了一种示例性齿轮泵挤出机。在一些实施方案中,驱动机构是细丝驱动器,其接合细丝束并进料到液化器管中,例如美国专利No.6,004,124中所公开的。在这种细丝进料的液化器管实施例中,细丝的熔融部分提供粘度-泵送作用以加压和挤出熔融长丝材料通过挤出机喷嘴。也可以使用挤出机的其他配置。

[0030] 图3是根据本公开的实施方案的美国专利No.7,891,964中公开的细丝进料粘度泵形式的示例性螺杆挤出机118的横截面图。在一些实施例中,螺杆挤出机118包括驱动机构124的实施例,驱动机构124具有驱动部件124a,例如齿轮或皮带轮,其可由马达126(图2)通过合适的布置(例如,皮带,齿轮或其他合适的布置。驱动部件124a附接到螺杆或叶轮124b,螺杆或叶轮124b被支撑以围绕壳体124e的筒体124d内的轴线124c旋转。叶轮124b的外径与筒体124d的直径紧密匹配,至少在壳体124e和液化器120内。叶轮124b具有在其外表面切割的多个螺旋槽,其与筒体124d形成粘性泵。

[0031] 在一些实施例中,液化器120包括液化腔120a,液化腔120a连接到进料通道120b。液化器120熔融通过通道120b进入腔120a的固体消耗性材料的连续部分。图3所示的实施例被配置为接收以柔性细丝形式的消耗性材料。然而,应该理解的是,可以将消耗性材料提供给螺杆挤出机的其他实施方案,如颗粒,块,带或其他形状,其每个都依据本发明。加热元件119将接收的消耗性材料热熔融成所需的可流动粘度。

[0032] 在图3所示的实施例中,螺杆挤出机118包括在液化器120和排气口124f之间的加热元件119'。加热元件119'防止可流动材料在筒体124d内凝固。这是可取的,使得可流动材料的弯液面在筒体124d内上升和下降,从而在固体消耗性材料通过通道120b供给的速率和熔融消耗品的速率的瞬时不平衡期间提供解耦功能,材料的速度由螺杆挤出机118的叶轮124b供给。

[0033] 在操作期间,将固体消耗性材料进料到液化器腔120a中并熔融成所需的可流动粘度。随着固体消耗性材料的连续部分继续进入液化器腔120a,固体消耗性材料在熔融的同时沿周向向内(即,以螺旋方式)行进。熔融的可流动材料最终到达叶轮124b的输送区124g,其中叶轮124b的旋转将可流动材料驱动到叶轮124b的加压区124h中。叶轮124b的部分124h增加可流动材料的压力,并通过喷嘴尖端127处的孔口挤出可流动材料。然后可流动材料的挤出速率可由叶轮124b的旋转速率控制(其对应于驱动电机126的驱动功率)。挤出的材料以所需图案沉积,以在压板106上形成如图2所示的3D部件和/或支撑结构。打印头110还包

括压力传感器140,其配置成感测挤出机喷嘴122处的压力。传感器140检测到的压力指示挤出物的流率,并随着挤出时的材料因此提供间接测量的体积流率。

[0034] 图4是根据本公开的实施例形成的示例性打印头110的喷嘴端的简化剖视图。未示出驱动机构124以简化图示。喷嘴122附接到挤出机118的远端132,并以期望的小路宽度通过喷嘴122的小直径喷嘴尖端127排出挤出物。喷嘴尖端127可具有任何合适的直径,然而,本公开的实施例对于具有窄进料通道和小直径喷嘴尖端134的挤出机特别有用。喷嘴尖端127的示例性非限制性内尖端直径包括直径高达约760微米(约0.030英寸),更优选约125微米(约0.005英寸)至约510微米(约0.020英寸)。在一些实施例中,如Swanson等人的美国公开专利No.2014/0048969中所公开的,喷嘴尖端127可包括一个或多个凹槽以产生具有不同道路宽度的小路。

[0035] 挤出物130的流率在很大程度上取决于喷嘴122内的压力,这取决于驱动机构124驱动熔融的消耗性材料通过挤出机118并进入喷嘴122的速率。在一些实施例中,控制器116使用压力传感器140控制驱动机构124基于来自喷嘴122内的压力测量值以闭环方式驱动熔融的消耗性材料通过挤出机118的速度,该压力传感器140示意性地示出在图1和2中。这允许控制器116补偿喷嘴122内的压力变化,从而允许更精确地控制通过喷嘴122的挤出物流率。该反馈控制可以帮助减少响应时间延迟,并且改善部件质量和材料流量。

[0036] 在一些实施例中,压力传感器140被配置成在通过喷嘴122排出之前感测熔融的消耗性材料的压力。在一些实施例中,压力传感器140被配置为感测喷嘴122的内腔142中的熔融的消耗性材料的压力。端口144在喷嘴122的内腔142和压力传感器140之间延伸,或者在压力传感器140的接口146之间延伸,以将压力传感器140或接口146流体地联接到喷嘴122的内腔142。喷嘴122的内腔142中的压力由压力传感器140通过接口146检测。

[0037] 例如,如图2所示,端口144可以在内腔142和压力传感器140或接口146之间延伸,以将压力传感器140或接口146流体地联接到内腔142。喷嘴122的内腔142内的压力由压力传感器140通过接口146检测。在典型的挤出应用中,端口144可以将挤出机118的内腔147流体地联接到压力传感器140或接口146,以允许压力传感器140检测所述腔147内的压力;然而,该压力读数将波动,并且仅仅是腔147内某处的压力的反映,并且不必反映模具出口处的压力。根据本公开的实施例,压力传感器140被定位成检测喷嘴122中的压力,以便在3D打印操作期间,例如在净形或近净形部分创建期间,在快速响应时间满足精确控制的熔体流动的需要。虽然端口144被示出为将喷嘴腔142流体地联接到压力传感器140或接口146,但是应当理解,本公开的实施例包括使用端口144将压力传感器140或接口146流体地联接到喷嘴122内其他位置的端口。

[0038] 压力传感器140可包括任何合适的压力传感装置。例如,压力传感器可包括压阻式应变仪压力传感器,电容式压力传感器,电磁压力传感器,压电式压力传感器,光学压力传感器,电位压力传感器或其他合适的压力传感装置。

[0039] 在一些实施例中,接口146与喷嘴122一体形成。在一些实施例中,接口146和喷嘴由金属形成。在一些实施例中,如图4所示,接口146在径向方向上偏离喷嘴122或挤出机118的轴线145(例如,图3中的轴线124c)。

[0040] 在一些实施例中,压力传感器140和/或接口146包括隔膜148,隔膜148密封接口146和端口144的接口腔150。

[0041] 在一些实施例中,腔150具有0.0001立方英寸至0.0002立方英寸的体积。在一个示范性实施例中,端口144具有长度和直径,并且长度与直径的比率约为3。也可以使用其他长度与直径之比。在一些实施例中,端口144的直径小于约0.032英寸。

[0042] 所公开的几何形状在挤出时保持聚合物材料为熔融形式,并且在开始挤出过程时快速加热至熔融状态。

[0043] 在一些实施例中,熔融的消耗性材料从喷嘴122的腔142流过端口144并填充腔150。喷嘴122的腔142内的压力通过熔融的消耗性材料传递到腔150。在一些实施例中,隔膜148响应于腔142和150内的压力而变形。该变形由压力传感器140感测,以使用合适的压力传感装置确定腔142内的压力,例如以上提到的那些之一。

[0044] 在一些实施例中,隔膜148是压力传感器140的组件。因此,压力传感器140与接口146的连接密封端口144。在一些实施例中,接口146包括隔膜。这允许在不破坏端口144的密封的情况下移除或更换压力传感器140。

[0045] 将压力仪表传感器直接安装到喷嘴尖端容积142上是理想的。然而,在增材制造系统中,沿着刀具路径在动态运动中挤出精确的材料道路,挤出机喷嘴/ 液化器尖端通常比要使用的仪器小得多。也就是说,商业上可获得的压力传感器仪器太大而不能将其放置在用于3D打印的精密挤出机的喷嘴中。而且,传感器直接连接到筒体上将导致测量挤出机机筒或螺杆内的压力与挤出机出口处所需的压力读数不同。本公开的实施例通过创建侧端口来解决该问题,通过该侧端口,流动通道中的熔融的消耗性材料可以访问仪器。

[0046] 在这种小型系统中的整个压力端口腔的设计和体积必须小心地制造以避免问题。传感器端口的两个关键体积方面涉及端口144的体积和腔150的体积。压力传感器140的直径具有受压力传感器的市售选项限制的最小尺寸。从体积的角度来看,必须有足够体积的熔融的消耗性材料以提供喷嘴122的腔142内的压力或恰好在熔融的消耗性材料从喷嘴尖端127流出之前的压力的充分表示。然而,在那里消耗性材料的体积不能太大,否则它会在冷却时收缩并对压力传感器施加欠压。此外,消耗性材料的体积不能太小,或者在系统初始加热时会导致端口中的消耗性材料退化。

[0047] 当端口144的长度太长或者直径太窄时,例如当端口144分离并且与腔142不同时,则消耗性材料可能不会保持熔融状态并且可能冷却并且在端口144中固化,这可能会对传感器140的压力读数的准确性产生不利影响。当端口144的直径太大时,可能导致过多的消耗性材料再循环,从而允许停滞的材料与当前的过程的材料大量混合。

[0048] 在打印操作期间,挤出机118的驱动机构124将熔融的消耗性材料驱动到喷嘴122中。熔融的消耗性材料填充空腔142和150,并通过喷嘴尖端127作为挤出物130被挤出在压板106上形成3D部件的横截面层和/或支撑结构。控制器116接收来自压力传感器140的信号,该信号指示腔142内的压力。该信号可以使用电的,光纤的,和/或无线通信线路中的一个传送到控制器116,以实时方式传播压力测量值。控制器116使用来自压力传感器140的信号来控制驱动机构124对熔融的消耗性材料的供给,包括提供流量控制反馈以改善层被打印时的打印精度,和/或提供其他改进或功能。腔150和端口144被配置成通过将接口146结构保持在维持打印操作期间消耗性材料的熔融状态的温度来防止堵塞。

[0049] 从上面的讨论中可以看出,喷嘴122内的压力可以可操作地测量,允许控制器116响应于测量值调节熔融的消耗性材料通过挤出机118和喷嘴122的进给,以闭环方式控制挤



出物130的流率。这特别适用于补偿消耗性材料流动变化的不可预测性,这可以改善打印操作期间的响应时间。

[0050] 尽管已经参考优选实施例描述了本公开,但是本领域技术人员将认识到,在不脱离本公开的精神和范围的情况下,可以在形式和细节上进行改变。

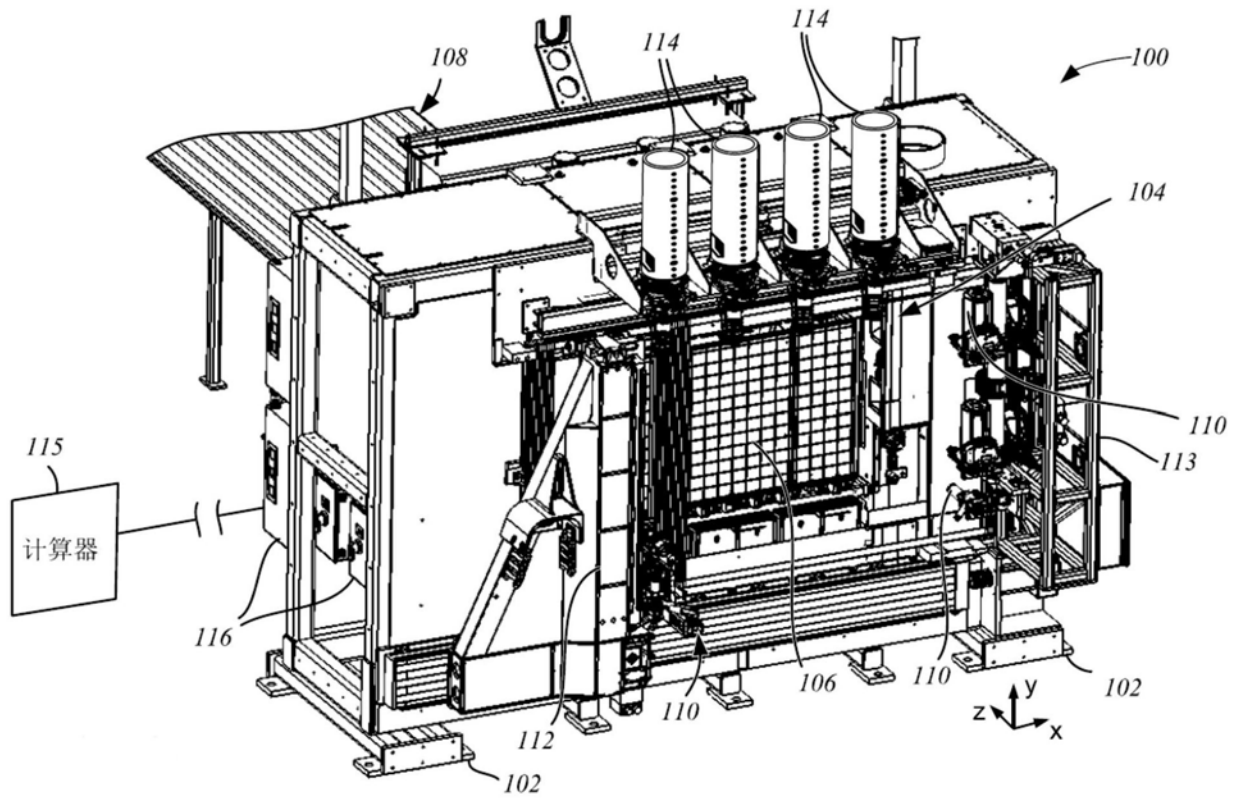


图1

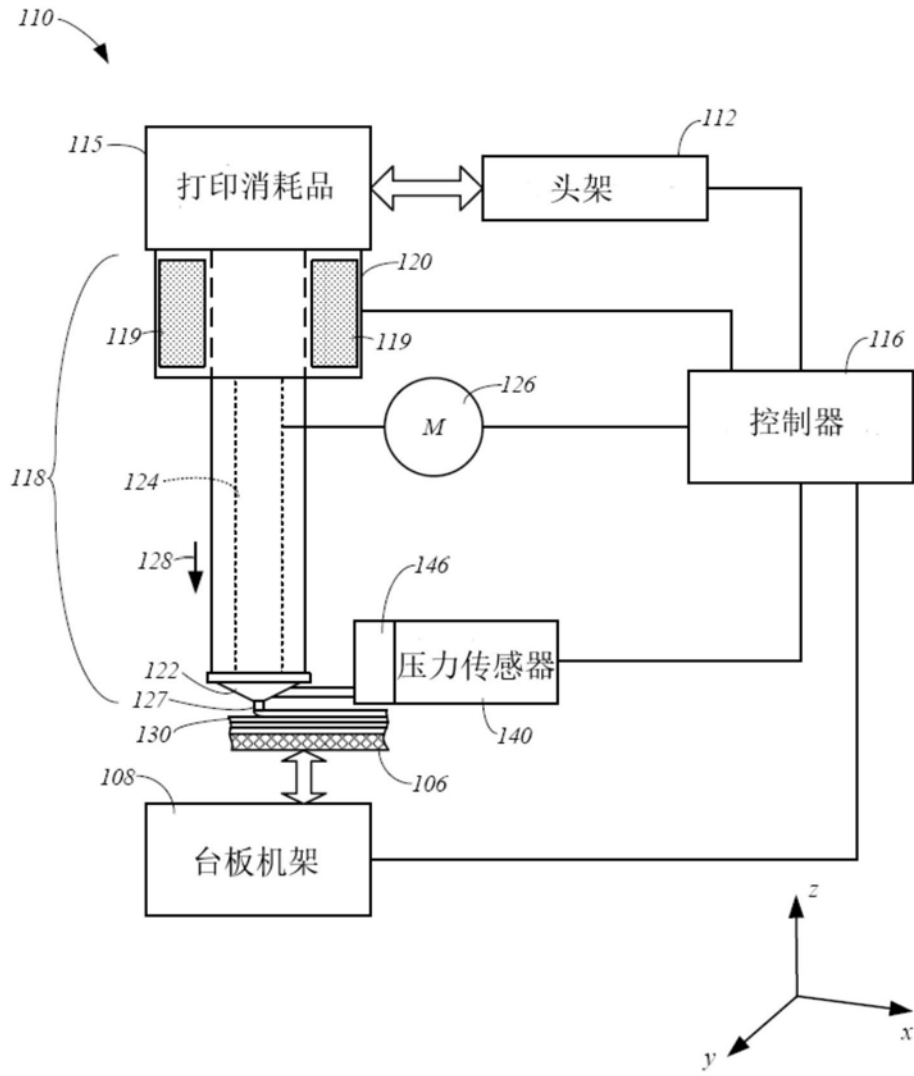


图2

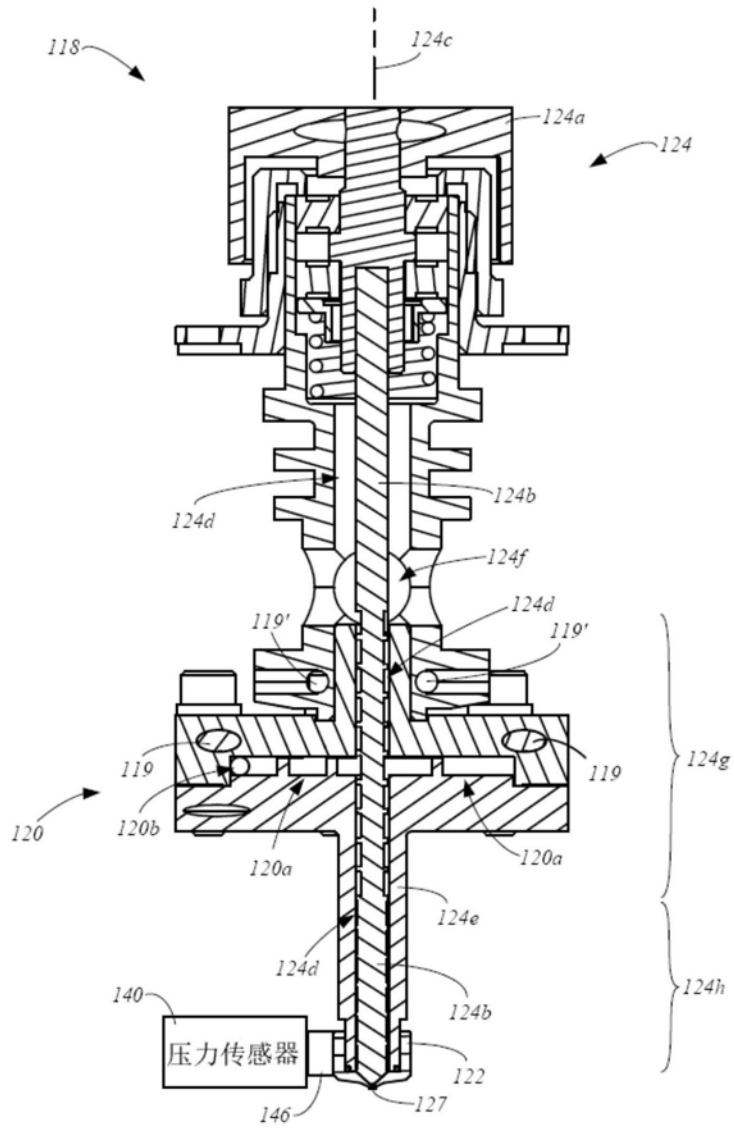


图3

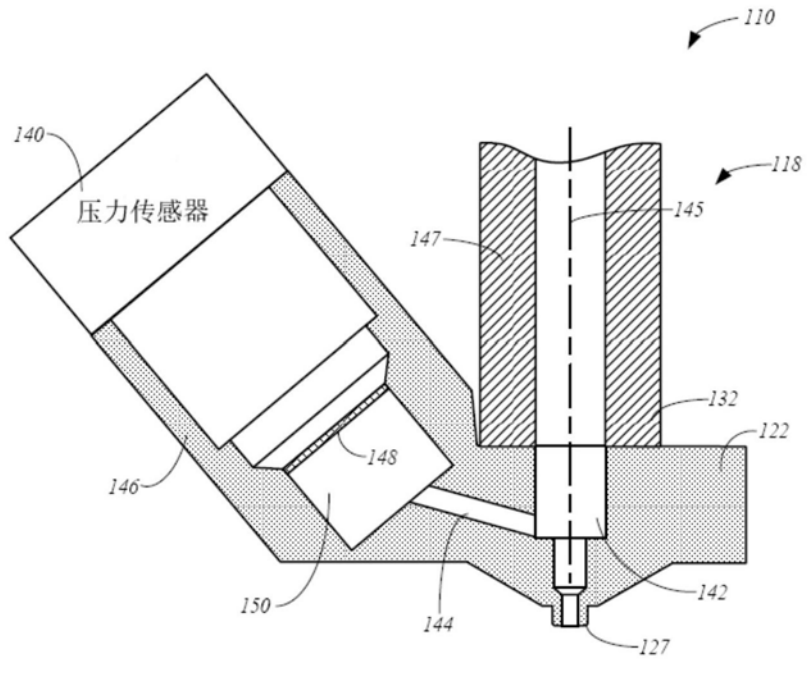


图4