



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110621476 B

(45) 授权公告日 2022. 04. 12

(21) 申请号 201880013621.X

(22) 申请日 2018.02.19

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110621476 A

(43) 申请公布日 2019.12.27

(30) 优先权数据
62/463,368 2017.02.24 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2019.08.23

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2018/018629 2018.02.19

(87) PCT国际申请的公布数据
W02018/156458 EN 2018.08.30

(73) 专利权人 埃森提姆公司
地址 美国得克萨斯州

(72) 发明人 C·B·斯威尼 B·泰佩
T·尤班克斯 J·斯托克顿
A·斯托克顿

(74) 专利代理机构 广州嘉权专利商标事务所有
限公司 44205

代理人 郑勇

(51) Int.Cl.

B29C 64/10 (2006.01)

B29C 64/106 (2006.01)

B29C 64/112 (2006.01)

B29C 64/118 (2006.01)

B29C 64/129 (2006.01)

B29C 64/20 (2006.01)

B29C 64/205 (2006.01)

B29C 64/209 (2006.01)

B29C 64/295 (2006.01)

(56) 对比文件

US 2016325491 A1, 2016.11.10

CN 104395032 A, 2015.03.04

CN 106029333 A, 2016.10.12

CN 106029333 A, 2016.10.12

WO 2013152805 A1, 2013.10.17

US 2016271874 A1, 2016.09.22

CN 105921745 A, 2016.09.07

CN 105834428 A, 2016.08.10

审查员 柯文轩

权利要求书2页 说明书6页 附图4页

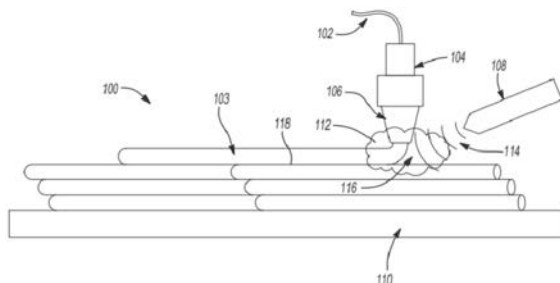
(54) 发明名称

将电磁能施加于3D打印部件的大气等离子体传导通路

(57) 摘要

本发明公开了一种三维(3D)打印方法,其利用大气等离子体传导电磁能熔合具有导电材料的热塑性材料的挤出连续层。本发明还提供了一种针对所述3D打印方法的3D打印系统。所述3D打印系统包括3D打印机、挤出喷嘴、等离子体发射器和电磁能源。所述3D打印方法包括以下步骤:通过挤出喷嘴在连续层中挤出热塑性复合材料以形成3D部件;将大体上均匀分布的等离子体导向3D部件上的预定位置;并且通过等所述离子体发射电磁能。所述等离子体将电磁能传导到3D部

件上的预定位置。所述热塑性复合材料包括与电磁能反应产生热量的导电材料。



1. 一种三维(3D)打印方法,包括以下步骤:

在连续层中挤出热塑性复合材料以形成3D部件,其中所述热塑性复合材料包括导电材料,所述导电材料与电流反应以生成热量;

将等离子体导向所述3D部件上的预定位置;以及

通过围绕喷嘴设置的第一电极,和第二电极,将所述电流发射到所述等离子体中,所述第一电极和所述第二电极中的每一个均包括环形环;

其中,所述等离子体将所述电流传导至所述3D部件上的预定位置;并且

其中,所述导电材料与由所述等离子体传导的所述电流反应,以产生足以熔合位于所述3D部件上的预定位置处的至少两层相邻的连续层的热量。

2. 根据权利要求1所述的方法,还包括电磁能源,所述电磁能源被配置成发射电磁能,其中所述等离子体大体上均匀地分布在所述电磁能源和3D部件之间。

3. 根据权利要求2所述的方法,其中所述3D部件上的预定位置邻近所述热塑性复合材料的新挤出层沉积到所述热塑性复合材料的先前挤出层上的位置。

4. 根据权利要求3所述的方法,其中所述电磁能量包括具有足够功率的电流,使得所述导电材料产生足够的热量,以使所述热塑性复合材料的新挤出层与所述热塑性复合材料的先前挤出层熔合。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中所述导电材料包括至少一种选自由碳纳米管、炭黑、布基球、石墨烯和磁性纳米粒子以及铁电材料组成的组的纳米材料。

6. 根据权利要求1所述的方法,其中所述导电材料包括选自由单壁碳纳米管(SWNT)和多壁碳纳米管(MWNT)组成的组的碳纳米管。

7. 根据权利要求1所述的方法,其中所述热塑性复合材料包括至少一种选自由丙烯腈丁二烯苯乙烯(ABS)、聚碳酸酯(PC)、聚乳酸(PLA)、聚酰胺(PA)、聚醚醚酮(PEEK)和高密度聚乙烯(HDPE)组成的组的热塑性塑料。

8. 一种用于包括地面参考的三维(3D)打印机的挤出喷嘴,所述挤出喷嘴包括:

喷嘴主体,其限定了具有挤出端的细丝挤出通道;

第一电极,其包括围绕所述喷嘴主体设置的第一环形环;

邻近于所述挤出端的等离子体产生部;

其中所述等离子体产生部被配置为产生和释放能够在所述第一电极和所述3D打印机之间传导电流的大气等离子体。

9. 根据权利要求8所述的挤出喷嘴,还包括同心地围绕所述挤出喷嘴主体设置的喷嘴壳体,以限定环形的等离子体产生通道,所述环形的等离子体产生通道被配置为供气流从中流过。

10. 根据权利要求9所述的挤出喷嘴,还包括第二电极,所述第二电极包络第二环形环,所述第一电极和所述第二电极设置在所述环形的等离子体产生通道中,其中,所述第一电极和第二电极被配置为激发通过其中的所述气流以产生所述大气等离子体。

11. 根据权利要求9所述的挤出喷嘴,其中所述环形的等离子体产生通道包括邻近于所述细丝挤出通道的挤出端的等离子体出口,其中所述等离子体出口被配置为在预定方向上引导大气等离子体。

12. 根据权利要求9所述的挤出喷嘴,还包括诱导所述气流通过所述等离子体产生通道

的装置。

13. 根据权利要求8所述的挤出喷嘴,其中,所述第一电极被定位在所述喷嘴主体邻近细丝挤出通道的挤出端的环状物中,其中,所述环状物是形成在所述喷嘴主体中的环形凹部。

14. 根据权利要求8所述的挤出喷嘴,还包括第二电极,所述第二电极包括第二环形环,所述第一电极和所述第二电极沿细丝挤压通道的轴线彼此隔开,并相互配合以激发其中的气体以形成大气等离子体。

15. 根据权利要求8所述的挤出喷嘴,还包括第二电极,所述第二电极包括第二环形环,所述第二电极同心地围绕所述第一电极,并且所述第一电极和所述第二电极相互配合以激发其中的气体以形成大气等离子体。

16. 一种三维(3D)打印系统,包括:

3D打印机,其被配置为通过挤出热塑性复合材料的连续层来打印3D部件,所述热塑性复合材料包括与电流反应产生热量的导电材料;

等离子体发射器,其被配置为产生等离子体并将所述等离子体导向正被打印的3D部件;以及

电磁能源,其被配置为产生电流并将所述电流引导到所述等离子体中,使得所述等离子体将所述电流传导到正被打印的3D部件;以及

挤出喷嘴,所述挤出喷嘴被配置为挤出所述热塑性复合材料的连续层,其中所述等离子体发射器和电磁能源邻近于所述挤出喷嘴布置;

其中,所述等离子体发射器包括第一电极和第二电极,所述第一电极包括第一环形环,所述第一环形环围绕所述挤出喷嘴设置。

17. 根据权利要求16所述的三维(3D)打印系统,其中所述第一电极位于所述挤出喷嘴上,并且所述第二电极与所述挤出喷嘴间隔开。

18. 根据权利要求16所述的三维(3D)打印系统,其中所述第一电极和第二电极两者均位于所述挤出喷嘴上。

19. 根据权利要求18所述的三维(3D)打印系统,还包括:

第一电压源,其被配置为向所述等离子体发射器供电;以及

第二电压源,其被配置为向所述电磁能源供电;

其中所述第一电压源独立于所述第二电压源。

将电磁能施加于3D打印部件的大气等离子体传导通路

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本国际申请基于2017年2月24日提交的美国临时申请62/463,368并要求其优先权,该申请的内容通过引用并入本文。

技术领域

[0003] 本发明总体上涉及一种用于加热聚合物复合材料以增强3D打印部件黏合的装置和系统。

背景技术

[0004] 本节中的陈述仅提供与本公开相关的背景信息,并且可以构成也可以不构成现有技术。

[0005] 三维(3D)打印是用于直接从数字模型生产3D模型的加性制造过程,3D模型可以包括原型或生产零件。加性制造是一种从计算机辅助设计(CAD)或动画建模软件中获取虚拟蓝图并将其切割成用于3D打印装置的数字横截面以用作打印3D模型的指南的过程。复合材料层以液滴或连续珠粒的形式连续沉积,直到打印出最终的3D模型被。这些层被联合焊接,也称为熔合,以创建和保持打印的3D模型的形状。

[0006] 对于使用挤出沉积过程例如熔丝制造(FFF)和熔融沉积成型(FDM)的3D打印装置,热塑性复合细丝通过加热的挤出喷嘴施加。热塑性复合细丝可以包括各种聚合物,例如丙烯腈丁二烯苯乙烯(ABS)、聚碳酸酯(PC)、聚乳酸(PLA)和高密度聚乙烯(HDPE)。挤出喷嘴加热细丝以使复合材料可流动,并通过控制细丝进料速度来调节复合材料的流动。挤出喷嘴可以通过计算机控制的机构在水平和垂直方向上移动。替代地,打印机平台床可以相对于挤出喷嘴移动,或者可以使喷嘴和平台协调移动以在x、y和z方向上实现期望的挤出路径。

[0007] 3D模型通过挤出热塑性复合细丝的小珠或线来打印,以在垂直方向(z方向)上形成连续的层。材料从挤出喷嘴挤出后立即变硬。3D打印能力受到z方向上打印的细丝之间较弱的焊接阻碍,这通常导致细丝之间分层。因此,需要一种使用3D打印制作3D模型的装置、系统和/或过程,该装置、系统和/或过程在z方向上改善了打印细丝之间的焊接,从而改善了打印3D模型的结构完整性。

发明内容

[0008] 在一些方面,本文公开了一种三维(3D)打印方法。该方法包括以下步骤:在连续层中挤出热塑性复合材料形成3D部件;将均匀分布的等离子体导向3D部件上的预定位置;并且发射电磁能通过等离子体。等离子体将电磁能传导到3D部件上的预定位置。热塑性复合材料包括导电材料,该导电材料通过对电磁能产生反应而产生热量,该电磁能包括电流。

[0009] 在本公开的另一方面,3D部件上的预定位置邻近热塑性复合材料的新挤出层沉积到热塑性复合材料的先前挤出层上的位置。

[0010] 在本公开的另一方面,电流包括足够的功率来熔融新挤出的热塑性复合材料层和

先前挤出的热塑性复合材料层。

[0011] 在本公开的另一方面,导电材料反应包括至少一种选自由碳纳米管、炭黑、布基球、石墨烯、磁性纳米粒子和铁电材料(例如钛酸钡)组成的组的纳米材料。

[0012] 在本公开的另一方面,导电材料包括选自由单壁碳纳米管(SWNT)和多壁碳纳米管(MWNT)组成的组的碳纳米管。

[0013] 在本公开的另一方面,热塑性复合材料包括至少一种选自由丙烯腈丁二烯苯乙烯(ABS)、聚碳酸酯(PC)、聚乳酸(PLA)、聚酰胺(PA)、聚醚醚酮(PEEK)和高密度聚乙烯(HDPE)组成的组的热塑性塑料。

[0014] 在一些方面,本文还公开了一种用于三维(3D)打印机的挤出喷嘴。挤出喷嘴包括喷嘴主体,该喷嘴主体限定了沿挤出轴A延伸的细丝挤出通道,细丝挤出通道包括挤出端;以及邻近挤出端的等离子体产生部。等离子体产生部配置成产生和释放能够在预定方向传导电流的大气等离子体。

[0015] 在本公开的另一方面,挤出喷嘴还包括同轴设置在挤出喷嘴主体周围的喷嘴壳体。喷嘴壳体与喷嘴主体协作以限定等离子体产生通道,该等离子体产生通道配置成供气从中流过。

[0016] 在本公开的另一方面,挤出喷嘴还包括设置在等离子体产生通道内的一对电极。该对电极配置成激发流经其中的气体以产生大气等离子体。

[0017] 在本公开的另一方面,等离子体产生通道包括邻近细丝挤出通道的挤出端的等离子体出口。等离子体出口配置成在预定方向上引导大气等离子体。

[0018] 在本公开的另一方面,挤出喷嘴还包括诱导加压气流通过等离子体产生通道并离开等离子体出口的装置。

[0019] 在本公开的另一方面,挤出喷嘴还包括第一电极,该第一电极设置在喷嘴主体上邻近细丝挤出通道的挤出端的环状物周围。

[0020] 在本公开的另一方面,第一电极配置成同与第一电极间隔开的第二电极协作,以激发二者之间的气体,从而形成大气等离子体。

[0021] 在本公开的另一方面,第二电极与挤出喷嘴间隔开。

[0022] 在一些方面,本文还公开了三维(3D)打印系统。该3D打印系统包括:3D打印机,配置成通过挤出热塑性复合材料的连续层来打印3D部件,该热塑性复合材料具有通过对电流产生反应而产生热量的导电材料;等离子体发射器,配置成产生等离子体并将等离子体导向正被打印的3D部件;以及电磁能源,配置成产生电流并将电流引导到等离子体中,使得等离子体将电流传导到正被打印的3D部件。

[0023] 在本公开的另一方面,3D打印系统还包括挤出喷嘴,该喷嘴配置成挤出热塑性复合材料的连续层,其中等离子体发射器和电磁能源邻近挤出喷嘴。

[0024] 在本公开的另一方面,等离子体发射器包括位于挤出喷嘴上的第一电极和与挤出喷嘴间隔开的第二电极。

[0025] 在本公开的另一方面,等离子体发射器包括位于挤出喷嘴上的第一电极和位于挤出喷嘴上的第二电极。

[0026] 在本公开的另一方面,3D打印系统还包括配置成向等离子体发射器供电的第一电压源;和配置成给电磁能源供电的第二电压源。第一电压源独立于第二电压源。

[0027] 根据本文的描述,进一步的应用领域将变得显而易见。应该理解的是,描述和具体示例仅仅是为了说明的目的,而不是为了限制本公开的范围。

附图说明

[0028] 通过参考以下详细描述和附图,本公开的示例的特征和优点将变得显而易见,其中相同附图标记对应于相同组件。附图仅用于说明目的,而不是为了以任何方式限制本公开的范围。

[0029] 图1是3D打印过程的示例性实施例的图示,该3D打印过程使用大气等离子体作为传导通路,用于在挤出点施加电磁能以控制挤出材料夹层的焊接;

[0030] 图2是用于产生等离子体的3D打印机喷嘴的实施例的半示意性横截面的图示;

[0031] 图3是用于产生等离子体的3D打印机喷嘴的另一个实施例的半示意性横截面的图示;

[0032] 图4是3D打印系统的实施例的示意图,该3D打印系统使用等离子体作为传导通路,用于施加电磁能来熔合3D打印部件;以及

[0033] 图5是3D打印系统的另一个实施例的示意图,该3D打印系统使用等离子体作为传导通路,用于应用电磁能来熔合3D打印部件。

具体实施方式

[0034] 本公开涉及使用大气等离子体作为施加电磁能(例如交流电流或直流电流)的传导通路,以提高通过材料挤出3D打印生产的3D打印部件的层间结合强度。以下描述本质上仅仅是示例性的,并不旨在限制公开、应用或用途。

[0035] 图1中示出了3D打印过程100,用于通过在多层中以液滴或连续珠103形式挤出沉积热塑性材料102来打印3D部件。3D打印过程100包括挤出喷嘴104,喷嘴104具有等离子体产生部106、电流施加源108和平台床110。虽然电流施加源108示出为与挤出喷嘴104分离,但是电流施加器108可以是挤出喷嘴104的整体部分。

[0036] 3D打印过程100使用大气等离子体112作为传导通路,用于在挤出点116施加电流114,以控制挤出的热塑性材料102的夹层118的焊接。理想的是,大气等离子体112在喷嘴104和正被打印的3D部件之间基本均匀地分布,以在喷嘴104和3D部件之间传导电流114。基本均匀分布的大气等离子体112是指一定数量的具有均匀强度和功率的等离子体,用以提供传导通路,从而使得能够均匀地加热3D部件或3D部件的靠近挤出喷嘴104的至少一部分。

[0037] 挤出喷嘴104可以通过计算机控制的机构(未示出)在水平和垂直方向上移动通过预定的挤出路径,以打印具有预定形状和尺寸的3D部件。替代地,平台床110可以相对于挤出喷嘴104移动,或者可以使喷嘴104和平台110协调移动以在x、y和z方向上实现期望的挤出路径。

[0038] 热塑性材料102以热塑性复合细丝102的形式通过挤出喷嘴104进料。热塑性细丝102可以包括各种聚合物,例如但不限于丙烯腈丁二烯苯乙烯(ABS)、聚碳酸酯(PC)、聚乳酸(PLA)和高密度聚乙烯(HDPE)。整个热塑性细丝102的表面涂覆和/或嵌入具有导电性能的材料,该材料对电流起反应或吸收电流以产生热量。期望产生足够的热量来焊接挤出热塑性材料102的夹层118,从而增加夹层118在整个3D打印部件的主体上的结合强度。在所示的

示例性实施例中,热塑性复合细丝102表面涂覆有碳纳米管(CNT)。CNT可以包括单壁碳纳米管(SWNT)、多壁碳纳米管(MWNT)和/或功能化碳纳米管。也可以使用其他形式的电流吸收纳米材料,例如炭黑、布基球、石墨烯和/或磁性纳米粒子。

[0039] 参考图1和图2,挤出喷嘴104a配置成将热塑性细丝102加热到熔融状态,并将熔融的热塑性材料102以连续的层挤出到平台床110上,直到打印出3D部件。挤出喷嘴104a包括等离子体产生部106,该等离子体产生部106配置成产生大气等离子体112,用于传导电流以焊接挤出复合材料102的夹层118。如图2所示,挤出喷嘴104a包括喷嘴主体120,喷嘴主体120限定了沿着挤出轴A延伸的细丝挤出通道122。细丝挤出通道122包括细丝进料端124和相对的细丝挤出端126。挤出喷嘴104a还包括与挤出通道122热接触的加热元件128。当热塑性细丝102从进料端124通过细丝挤出通道122进料到挤出端126时,加热元件128将热塑性细丝102熔化成熔融状态。热断裂处130设置在细丝进料端124附近,以使挤出喷嘴104a与3D打印机的其余部分(未示出)绝缘。

[0040] 喷嘴壳体132同轴地设置在挤出喷嘴主体120周围。喷嘴壳体132与喷嘴主体120协作,以在其之间限定等离子体产生通道134。等离子体产生通道134包括气体入口136和等离子体出口138,等离子体出口138与气体入口136相对,邻近细丝挤出通道122的挤出端126。一对电极140、142设置在等离子体产生通道134内。加压气流,包括但不限于氩气、氦气、二氧化碳和空气,从入口136被引导通过等离子体产生通道134至出口138。加压气流可以通过风扇、鼓风机、泵或加压气罐产生。当气体流过等离子体产生通道时,该对电极140、142配置成激发气体以产生等离子体流112。等离子体流112离开等离子体出口138,并被导向正在打印的3D部件。

[0041] 图3中示出了具有等离子体产生部106的挤出喷嘴104b的另一个实施例。类似于挤出喷嘴104a,挤出喷嘴104b包括喷嘴主体120,喷嘴主体120限定细丝挤出通道122、细丝进料端124、细丝挤出端126、加热元件128和热断裂处130。挤出喷嘴104a还包括第一电极140,第一电极140设置在喷嘴主体120上邻近细丝挤出通道122的挤出端126的环状物141周围。第一电极140配置成同与第一电极140间隔开的第二电极142协作,以激发二者之间的气体,从而形成等离子体112。第二电极142可以设置在平台床110上,新打印的3D部件上的导电材料上,或者热塑性细丝102表面的涂层上,或者最近打印的嵌入热塑性材料102层本身的体积内。

[0042] 回到图1,电流施加源108配置成向挤出喷嘴104产生的等离子体112发射电流114。电流114包括预定的频率和功率,足以与挤出的热塑性材料102中的CNT反应,以产生足够的热量来将挤出的热塑性材料102的夹层焊接或熔合成固体整体结构。使用紧邻喷嘴104的电流施加源108,电流114可以聚集在新打印或刚刚打印的位置116上。当打印零件时,邻近喷嘴104施加电流114会产生局部加热116。电流施加源108可以直接附接到打印头,以便与挤出喷嘴104一起移动。这种局部电流加热允许在打印过程中施加电流114,仅暴露刚刚打印的区域,而不是3D部件的整个体积。喷嘴104a、104b和电流施加源108可以与热塑性材料挤出3D打印机结合使用,作为内置特征或者作为连接到现有3D打印机的附加套件。

[0043] 图4是3D打印系统200a的一个实施例的示意图,该3D打印系统200a使用等离子体作为传导通路施加电磁能(例如电流),以熔合3D打印部件的夹层。3D打印系统200a包括用于产生电流的电磁能源202、等离子体发射器204、3D打印机206、高压隔离器208、3D打印机

控制器210和高压电源212,高压电源212可以包括直流(DC)源、脉冲DC源或交流(AC)源。电磁能源202由高压电源212供电。

[0044] 3D打印机206包括3D打印机喷嘴头,例如图2和图3中所示的挤出喷嘴104a、104b,喷嘴头配置成允许将高压电势直接施加至喷嘴主体,至打印头附近的电极,至或喷嘴周围的套环。这种高压电势将激发分布式等离子体云或指向3D打印部件的聚集等离子体流。等离子体发射器204需要高压源212,需要控制单元来管理打印期间的电压和电流,并且需要满足屏蔽要求的某些电路隔离器208,这些屏蔽要求是隔离高压电势以免损坏或干扰电子3D打印机控制器210所必需的。

[0045] 理想的是将最佳等离子体分布和电磁加热结合起来,以最佳地改进3D打印强度。通过等离子体施加的电磁能可以来自产生等离子体的高压电子器件。电磁能直接施加到3D打印机喷嘴104a、104b或者同心地围绕喷嘴主体120施加。好处是能够为电流施加器108与正在打印的3D部件的耦合提供局部传导通路。等离子体在3D打印机喷嘴104a、104b附近产生,并指向需要消耗电流能量的局部区域。等离子体与导电热塑性塑料反应,从而提供通向或来自位于喷嘴104处或附近的电流施加源108的电离电子路径。

[0046] 替代地,电磁能源202可以由外部源216供电,如图5所示。3D打印系统200b包括电磁能源202、等离子体发射器204、3D打印机控制器210、隔离电路214、高压电源212(第一电压源)和外部电压源216(第二电压源)。等离子体发射器204和电磁能源202独立于3D打印机喷嘴104a、104b操作并且与之分开操作。重要的因素是等离子体发射器204和电磁能源202位于同一位置或相邻位置,以实现电流能量的传导通路。在等离子体发射器204独立于电磁能源202操作的3D打印系统200b中,流过等离子体的电能也流过导电3D打印部件,以提高层间结合强度。由于使用了外部源216,该外部源216可能需要信号发生器、信号滤波器、功率放大器、电源、用于保护打印机的隔离电路214以及用于电磁能源202快速释放连接的附加打印喷嘴附件。对于该示例性实施例,电磁能由外部电压源216提供。

[0047] 用于3D打印的等离子体传导通路的早期原型是利用15kHz高压发生器和回扫变压器来产生接近80,000伏的电压开发的,相关电流小于0.5毫安。高压接地连接附接到3D打印机的热端,高压热连接附接到电子发射器。从铝片上切割出环形环式电子发射器,以在3D打印机喷嘴104周围产生均匀分布的等离子体。高压等离子体发生器成功地产生了等离子体和电磁信号,从而在多次3D打印过程中通过等离子体加热导电塑料。额外的实验表明,可以用相同的硬件产生均匀分布的等离子体射流,以潜在地减少电弧放电型等离子体的局部加热效应。理想的是分布式等离子体包括均匀的强度和功率,以便在3D打印机喷嘴104和3D打印部件之间提供传导通路,从而能够均匀加热3D部件。

[0048] 通过使用大气等离子体作为加热导电3D打印部件的电磁能的传导通路,电磁能源可以使用恒定的功率水平均匀地加热3D打印部件,即使在零件变大时也能如此。对于当前的3D打印部件,由于被加热的电阻路径是由所产生的等离子体的形状和电磁能进入3D打印部件的穿透深度所确定的恒定体积和形状,因此消除了几何形状相关的电阻。当打印该零件时,通过导电大气等离子体112在喷嘴104附近产生了局部接地路径,这允许保持恒定的功率耗散和加热速度。

[0049] 以下参考文献全文并入本文作为参考:

[0050] [1]C.B.Sweeney,B.Teipel,T.Eubanks,J.Stockton,and A.Stockton.“Non-

radiating near-field and direct contact application of electrical energy for in-situ and targeted heating of thermoplastic 3D printed parts.”Essentium Materials, patent in process since Oct 11, 2016.

[0051] [2] T.-C. Tsai, et al. “3d printers having plasma applicators and methods of using same.” US20160271874A1, Sept. 22, 2016.

[0052] [3] T.-C. Tsai, et al. “3d printers having plasma applicators and method of using same.” W02016154103A1, Sept. 29, 2016.

[0053] [4] K. Ramaswamy, T. Detrick, S. Nemani, and A. Joshi. “Three-dimensional (3d) processing and printing with plasma sources.” US 20150042017A1, Feb. 12, 2015.

[0054] 本公开内容的描述本质上仅仅是示例性的, 并且不脱离本公开内容的主旨的变化旨在落入本公开内容的范围内。这种变化不应被视为背离本公开的精神和范围。

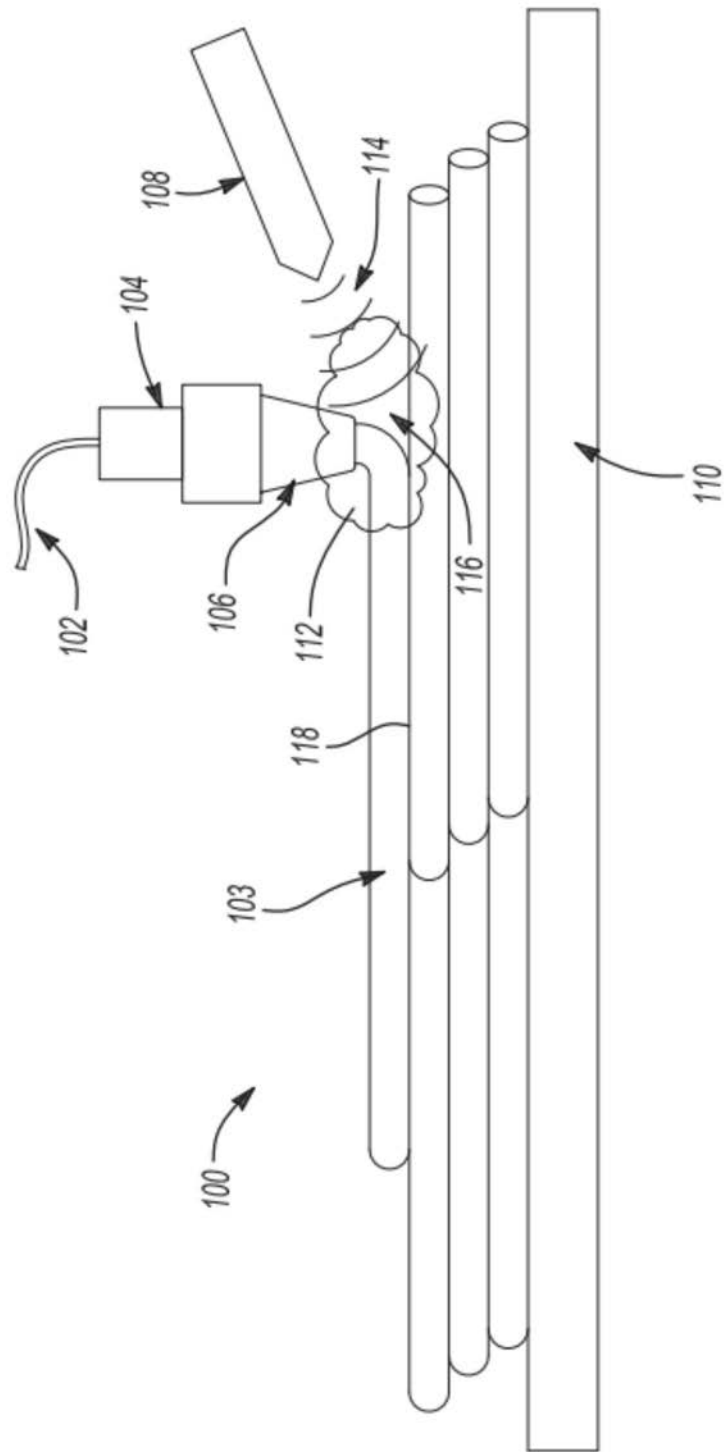


图1

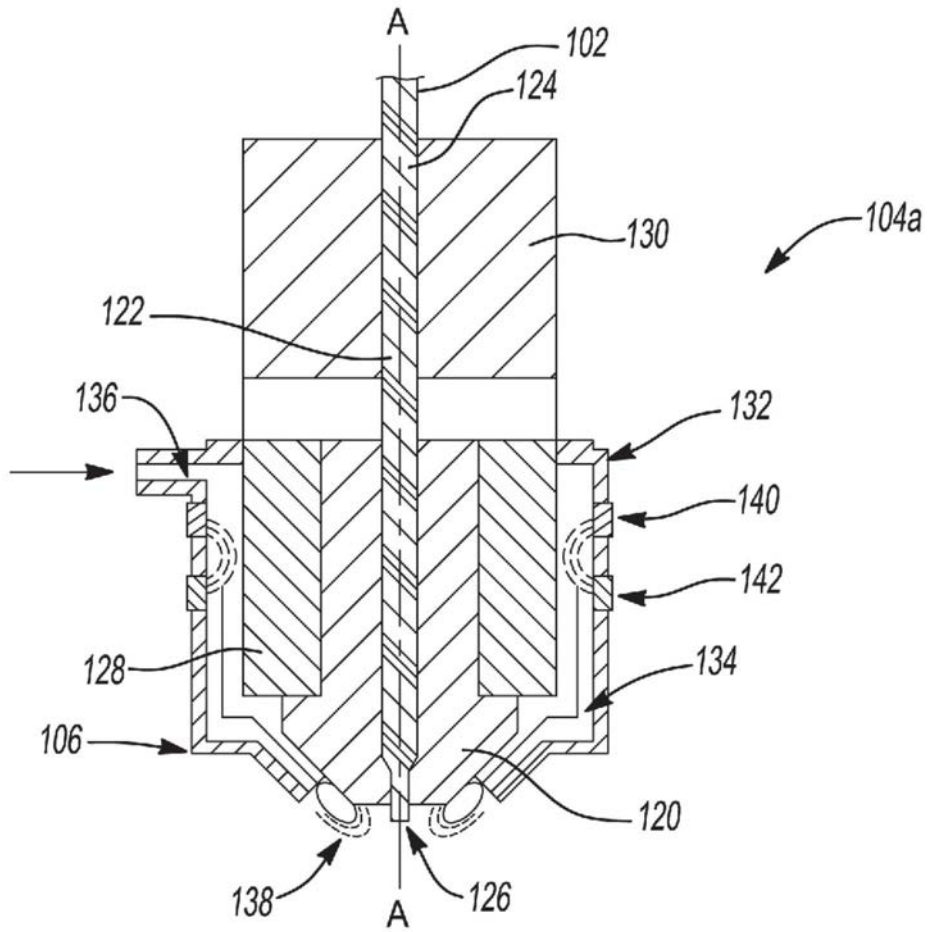


图2

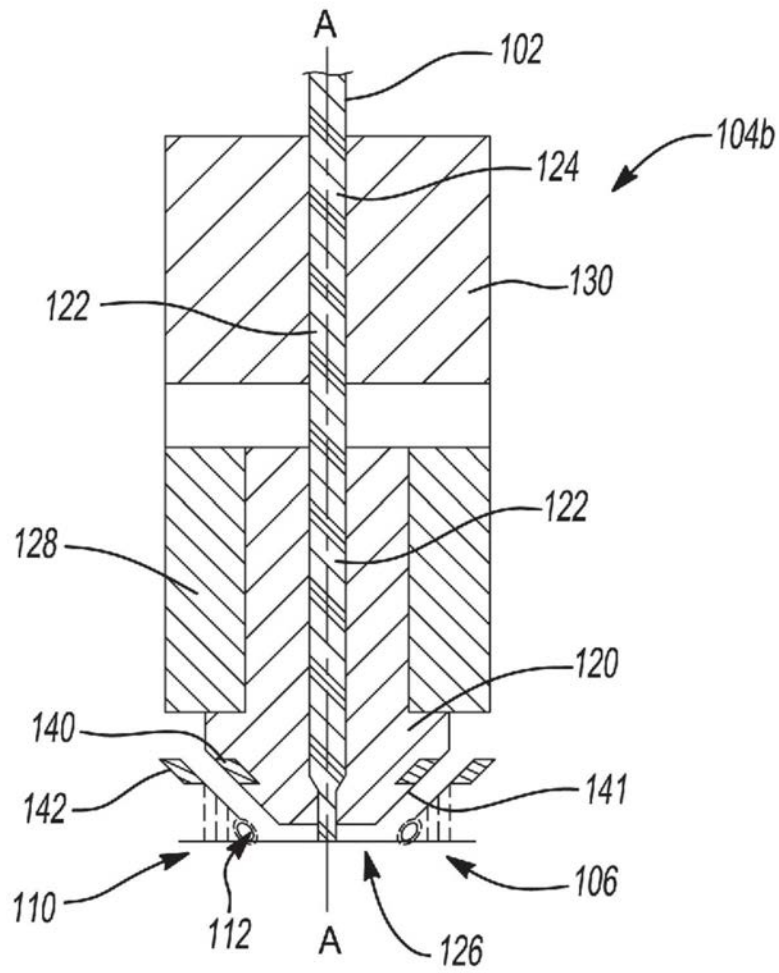


图3

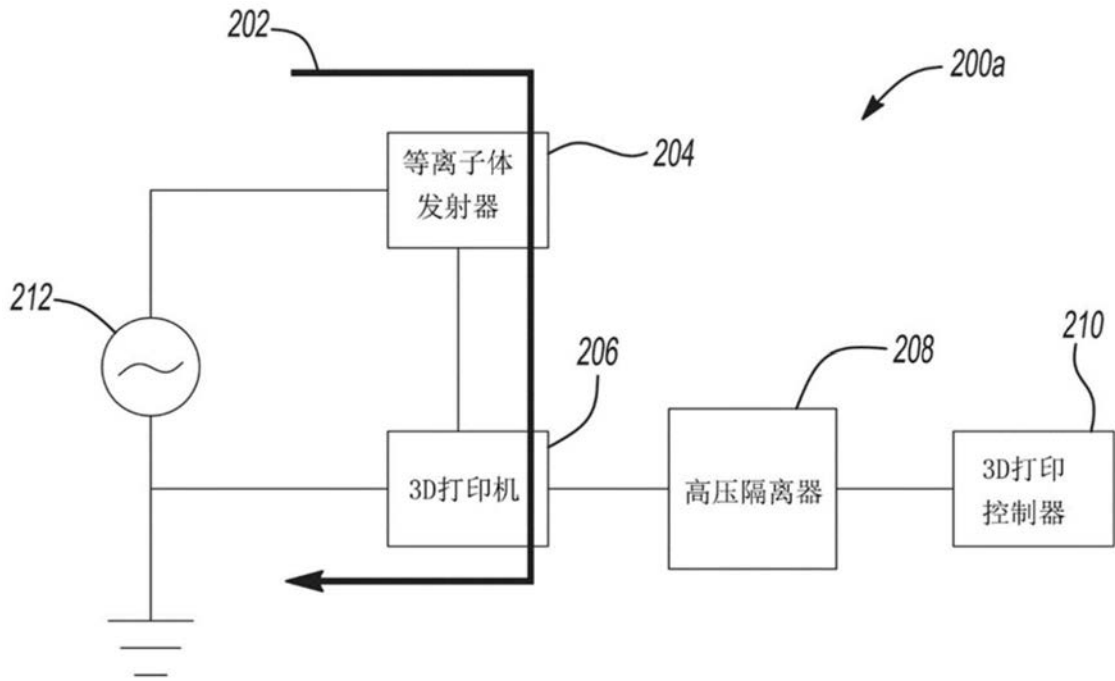


图4

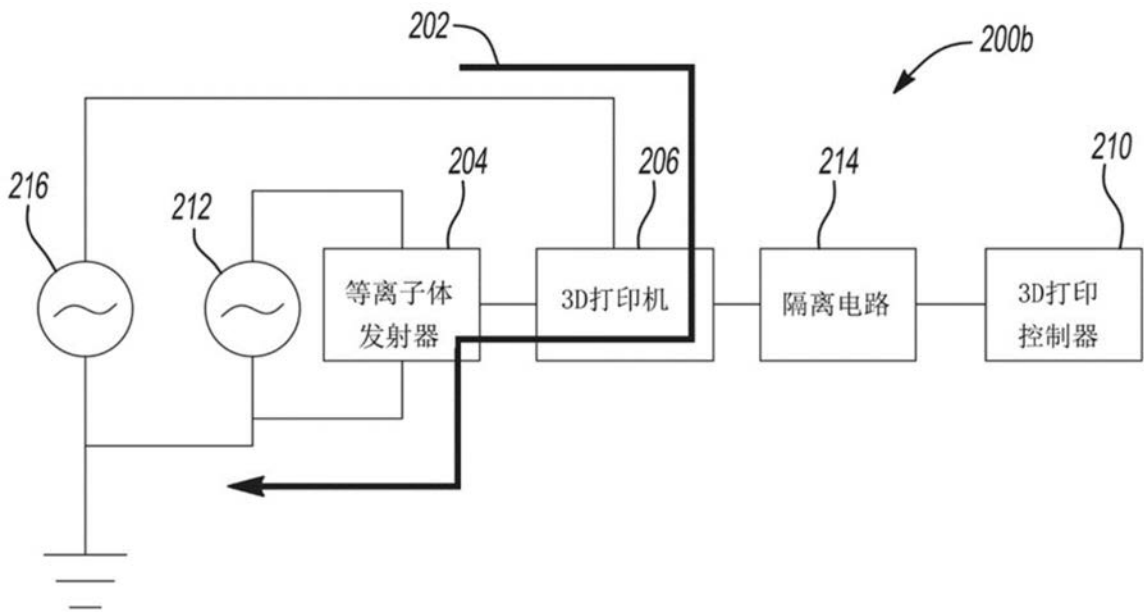


图5