



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110049838 A

(43)申请公布日 2019.07.23

(21)申请号 201780075672.0

(22)申请日 2017.12.05

(30)优先权数据

62/430,902 2016.12.06 US

62/442,395 2017.01.04 US

62/480,331 2017.03.31 US

62/489,410 2017.04.24 US

62/505,081 2017.05.11 US

62/519,138 2017.06.13 US

62/545,966 2017.08.15 US

62/575,219 2017.10.20 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2019.06.06

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2017/064779 2017.12.05

(87)PCT国际申请的公布数据

W02018/106733 EN 2018.06.14

(71)申请人 马克弗巨德有限公司

地址 美国马萨诸塞州

(72)发明人 格雷戈里·托马斯·马克

(74)专利代理机构 北京信慧永光知识产权代理有限公司 11290

代理人 王新春 曹正建

(51)Int.Cl.

B22F 3/105(2006.01)

B33Y 10/00(2006.01)

B33Y 70/00(2006.01)

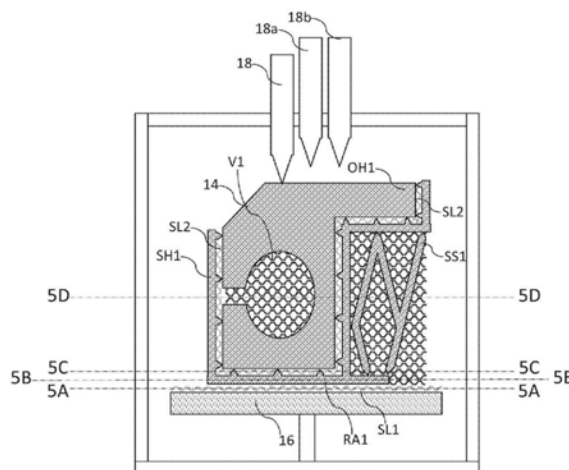
权利要求书2页 说明书51页 附图51页

(54)发明名称

具有热弯曲材料供给的增材制造

(57)摘要

在增材制造中,复合的建筑材料丝和脱模材料丝(均是金属/陶瓷粉末加上粘合剂的复合材料)从各自的丝轴投落至打印头。在丝轴上以及整个落差高度上,丝被加热至使所述丝弯曲但不会使所述丝软化至断裂点的温度,例如,被加热但温度低于粘合剂的软化剂(例如,蜡)的玻璃化温度。所述落差高度具有与打印床相似的线性比例。材料被脱粘并被烧结。



1. 一种增材制造的方法,其包括:

在从第一丝轴到打印头组件的落差高度上投下建造材料丝,所述建造材料丝包括第一粘合剂和大于50%体积分数的可烧结粉末化金属;

在从第二丝轴到所述打印头组件的落差高度上投下脱模材料丝,所述脱模材料丝包括第二粘合剂和粉末化陶瓷;

在所述第一丝轴上并沿着所述落差高度将所述建造材料丝加热到比所述第一粘合剂的软化成分的玻璃化温度还低的温度,以使所述建造材料丝弯曲;

在打印床上方沉积所述建造材料丝的层和所述脱模材料丝的层,所述落差高度基本上等于或长于所述打印床的对角线;

使用相同的溶剂脱粘所述第一粘合剂和所述第二粘合剂,以形成包括所述建造材料丝和所述脱模材料丝的褐色零件组件;和

在将所述脱模材料分解成脱模粉末的时候烧结所述褐色零件组件。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,

沿着所述落差高度投下的所述建造材料丝具有大于10cm的弯曲半径。

3. 根据权利要求2所述的方法,还包括:

通过打印床加热器将所述打印床加热到50至120摄氏度。

4. 根据权利要求2所述的方法,还包括:

将所述打印床定位在所述落差高度下方;和

在从被加热的所述打印床升起的对流热的辅助下沿着所述落差高度加热所述建造材料丝。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中,

所述第一粘合剂包括除了所述软化成分之外的聚合物,并且所述软化成分包括从蜡、脂肪酸、脂肪酸酯、脂肪醇、烷烃、凡士林、萘、乙二醇和甘油选取的溶剂可萃取的非聚合物成分。

6. 根据权利要求1所述的方法,还包括:

横向地运输所述打印头组件以穿过大于所述打印床的表面积的50%的打印面积,使得通过所述打印头组件的横向运输将所述建造材料丝从所述第一丝轴解绕。

7. 根据权利要求6所述的方法,还包括:

使用通向所述打印头组件的柔性鲍登管引导所述建造材料丝,所述柔性鲍登管小于所述落差高度的1/3。

8. 根据权利要求1所述的方法,其中,

所述建造材料丝的横截面直径大于0.5mm但小于2mm。

9. 根据权利要求8所述的方法,其中,

所述建造材料丝的横截面直径大体上等于或小于1mm,并且所述温度高于40摄氏度。

10. 根据权利要求8所述的方法,其中,

所述建造材料丝的横截面直径大体上等于或小于2mm,并且所述温度高于50摄氏度并大体上低于55摄氏度。

11. 一种增材制造的方法,所述方法包括:

将建造材料丝缠绕在第一丝轴上,所述建造材料丝包括第一粘合剂和大于50%体积分

数的可烧结粉末化金属,缠绕被控制在处于比所述第一粘合剂的可软化成分的玻璃化温度更低的第一温度下,并且以大于2cm的弯曲半径进行缠绕;

在不受控制的环境温度下运输所述第一丝轴;

使用第一进料机构将所述建筑材料丝从所述第一丝轴解绕;

在加热室中将所述第一丝轴和被抽出的所述建筑材料丝保持在处于第二温度下,所述第二温度高于室温但是低于所述第一粘合剂的可软化成分的玻璃化温度;

沉积脱模材料的层;

在所述脱模材料的在先沉积之上沉积所述建筑材料丝的层;

脱粘所述第一粘合剂的至少一部分以形成包括所述建筑材料丝的褐色零件组件;以及烧结所述褐色零件组件。

12. 根据权利要求11所述的方法,其中,

所述建筑材料丝的自由悬跨悬挂在所述第一丝轴和所述第一进料机构之间,所述自由悬跨具有大于10cm的弯曲半径。

13. 根据权利要求12所述的方法,还包括:

在被打印床加热器加热至50至120摄氏度的打印床上方沉积所述建筑材料丝的层,其中,所述自由悬跨大体上等于或长于所述打印床的对角线。

14. 根据权利要求13所述的方法,还包括:

将所述打印床定位在所述自由悬跨下方;和

在从被加热的所述打印床升起的热流的辅助下,将所述自由悬跨加热至所述第二温度。

15. 根据权利要求14所述的方法,还包括:

将所述第一丝轴定位在所述自由悬跨和所述构建板的垂直上方;和

在从被加热的所述打印床升起的热流的辅助下,将所述第一丝轴加热至所述第二温度。

16. 根据权利要求13所述的方法,还包括:

将所述第一进料机构与打印头一起横向运输,使得所述建筑材料丝通过所述第一进料机构并通过所述第一进料机构的所述横向运输而从所述第一丝轴解绕,其中,所述打印头穿过大于所述打印床的表面积的50%的打印面积。

17. 根据权利要求16所述的方法,还包括:

使用通向所述第一进料机构的柔性鲍登管引导所述建筑材料丝,所述柔性鲍登管小于所述自由悬跨的1/3。

18. 根据权利要求11所述的方法,其中,

所述建筑材料丝的横截面直径大于0.5mm但小于2mm。

19. 根据权利要求18所述的方法,其中,

所述建筑材料丝的横截面直径大体上等于或小于1mm,并且所述第二温度高于40摄氏度。

20. 根据权利要求18所述的方法,其中,

所述建筑材料丝的横截面直径大体上等于或小于2mm,并且所述第二温度高于50摄氏度并且大体上低于55摄氏度。

具有热弯曲材料供给的增材制造

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本发明要求根据35U.S.C.§119(e)的如下美国临时申请的权益:2016年12月6日提交的标题为“WARM SPOOL FEEDING FOR SINTERING ADDITIVELY MANUFACTURED PARTS”的第62/430,902号临时申请;2017年1月4日提交的标题为“INTEGRATED DEPOSITION AND DEBINDING OF ADDITIVE LAYERS OF SINTER-READY PARTS”的第62/442,395号临时申请;2017年3月31日提交的标题为“SINTERING ADDITIVELY MANUFACTURED PARTS IN A FLUIDIZED BED”的第62/480,331号临时申请;2017年4月24日提交的标题为“SINTERING ADDITIVELY MANUFACTURED PARTS IN MICROWAVE OVEN”的第62/489,410号临时申请;2017年5月11日提交的标题为“RAPID DEBINDING VIA INTERNAL FLUID CHANNELS”的第62/505,081号临时申请;2017年6月13日提交的标题为“COMPENSATING FOR BINDER-INTERNAL STRESSES IN SINTERABLE 3D PRINTED PARTS”的第62/519,138号临时申请;2017年8月15日提交的标题为“BUBBLE REMEDIATION IN 3D PRINTING OF METAL POWDER IN SOLUBLE BINDER FEEDSTOCK”的第62/545,966号临时申请;和2017年10月20日提交的标题为“3D PRINTING INTERNAL FREE SPACE WITH A SINTERABLE POWDER FEEDSTOCK”的第62/575,219号临时申请,通过引用将这些申请的全部公开内容并入本文。

技术领域

[0003] 本发明与复合金属或陶瓷材料的三维打印有关。

背景技术

[0004] “三维打印”作为一种工艺,其包括用于制造金属零件的多种方法。

[0005] 在三维打印中,通常,零件的无支撑跨距以及悬垂或悬臂部分可能需要下方的可移除的和/或可溶的和/或分散的支架,以在后处理期间提供用于沉积的接触面或抵抗变形。

发明内容

[0006] 根据本发明的实施例的第一方面,增材制造的方法可以包括在从第一丝轴到打印头组件的落差高度投下建造材料丝,所述建造材料丝包括第一粘合剂和大于50%体积分数的可烧结粉末化金属。也可以在从第二丝轴到打印头组件的落差高度投下脱模材料丝,所述脱模材料丝包括第二粘合剂和粉末化陶瓷。所述建造材料丝在所述第一丝轴上沿着所述落差高度被加热到比第一粘合剂的软化成分的玻璃化温度低的温度,以使建造材料丝弯曲。将所述建造材料的层和所述脱模材料的层沉积在打印床之上,所述落差高度基本上等于或长于所述打印床的对角线。使用相同的溶剂脱粘第一粘合剂和第二粘合剂,以形成包括所述建造材料和所述脱模材料的褐色零件组件。在将所述脱模材料分解为脱模粉末的时候所述褐色零件组件被烧结。

[0007] 可选择地,沿着所述落差高度投下的所述建造材料丝在所述落差高度上具有大于

10cm的弯曲半径。打印床可以通过打印床加热器而被加热到50至120摄氏度。可替代地或额外地,所述打印床可以被定位在所述落差高度下方,并且所述建筑材料可以沿着所述落差高度而被加热,以受到从被加热的所述打印床升起的热流的辅助。

[0008] 可选择地,所述第一粘合剂除了所述软化成分之外还包括聚合物,并且所述软化成分包括从蜡、脂肪酸、脂肪酸酯、脂肪醇、烷烃、凡士林、萘、乙二醇和甘油选取的溶剂可萃取的非聚合物成分。

[0009] 进一步可选择地,所述打印头组件可以横向地运输至穿过大于所述打印床的表面积的50%的打印面积,使得所述建筑材料丝通过所述打印头组件的横向运输而从所述第一丝轴解绕。所述建筑材料丝可以使用通向所述打印头组件的柔性鲍登管(Bowden tube)引导,所述柔性鲍登管小于所述落差高度的1/3。

[0010] 根据本发明的实施例的另一方面,增材制造的方法可以包括在第一丝轴上缠绕建筑材料丝,所述建筑材料包括第一粘合剂和大于50%体积分数的可烧结粉末化金属,缠绕被控制在处于比所述第一粘合剂的可软化成分的玻璃化温度低的温度,并且以大于2cm的弯曲半径进行缠绕。所述第一丝轴可以在未受控制的环境温度下运输。可以使用第一进料机构将所述建筑材料丝从所述第一丝轴解绕。所述第一丝轴和被抽出的所述建筑材料丝可以被保持在处于比室温高但比所述第一粘合剂的可软化成分的玻璃化温度低的第二温度下的加热室中。脱模材料的层可以被沉积,并且在先沉积的所述脱模材料之上沉积所述建筑材料。所述第一粘合剂的至少一部分可以被脱粘以形成包括所述建筑材料的褐色零件组件。所述褐色零件组件可以被烧结。

[0011] 可选择地,所述建筑材料丝的自由悬跨(free span)悬挂在丝轴和第一进料机构之间,所述自由悬跨具有大于10cm的弯曲半径。

[0012] 可选择地,可以在被打印床加热器加热到50-120摄氏度的打印床上方沉积所述建筑材料的层,其中,所述自由悬跨大体上等于或长于所述打印床的对角线。可替代地或额外地,所述打印床可以位于所述自由悬跨下方,并且所述自由悬跨在从被加热的所述打印床升起的热流的辅助下被加热到所述第二温度。

[0013] 进一步可选择地,所述第一丝轴可以在所述自由悬跨和所述打印床的垂直上方定位,并且所述第一丝轴在从被加热的所述打印床升起的热流的辅助下被加热到所述第二温度。

[0014] 可替代地或额外地,所述第一进料机构可以与所述打印头一起运输,使得所述建筑材料丝通过所述第一进料机构并通过所述第一进料机构的横向运输而从所述第一丝轴解绕,其中,所述打印头穿过大于所述打印床的表面积的50%的打印面积。

[0015] 可选择地,可以使用通向所述第一进料机构的柔性鲍登管引导所述建筑材料丝,所述柔性鲍登管小于所述自由悬跨的1/3。

[0016] 所述建筑材料丝可以具有大于0.5mm但小于2mm的横截面直径,两个示例是大体上等于或小于1mm(具有高于40摄氏度的弯曲温度)并且大体上等于或小于2mm,并且具有高于50摄氏度并大体上低于55摄氏度的弯曲温度。

[0017] 相应地,复合建筑材料丝和脱模材料丝(均是金属/陶瓷粉末加上粘合剂的复合材料)可以从各自的丝轴投落至打印头。在丝轴上以及在整个落差高度上,丝可以被加热到使丝弯曲但不会被软化至断裂点的温度,例如,被加热但低于所述粘合剂的软化剂(例如,蜡)

的玻璃化温度的温度。所述落差高度可以具有与所述打印床相似的线性比例。材料可以被脱粘和烧结。

[0018] 根据本发明的实施例的另一方面,减少增材制造零件中的变形的的方法可以包括形成复合材料连续层的收缩或致密化连接平台,复合材料包括基于聚合物的粘合剂基体中的金属颗粒填料。可脱粘基体可以包括不同组分,以使得成为单阶段粘合剂或双阶段粘合剂。收缩或致密化连接支架在收缩平台的上方由相同的复合材料形成。相同复合材料的期望的零件在收缩平台和收缩支架上形成,期望的零件的基本上水平的部分(例如,悬垂、桥、大半径的拱)通过收缩平台(例如,直接地、经由收缩支架或经由脱模层)垂直地支撑。滑动脱模层可以在收缩平台下方被形成为具有等于或大于收缩平台底部的表面积(例如,如图4所示),以此减少在收缩平台与下层表面(例如,构建平台或用于烧结的托盘)之间的横向阻力。基体被脱粘至足以形成包括收缩平台、收缩支架和期望的零件的保形褐色零件组件(例如,包括剩余粘合剂的稀疏栅格以保持形状)。由相同复合材料形成的保形褐色零件组件被加热,以便当整个保形褐色零件组件的相邻金属颗粒进行原子扩散时使所有的收缩平台、收缩支架和期望的零件一起以相同的速率收缩。相应地,均匀收缩和滑动脱模层减少变形。

[0019] 相似优点的装置可以包括:打印头,其沉积收缩平台、收缩支架、和期望的零件;第二打印头,其形成滑动脱模层;脱粘清洗装置,其脱粘保形褐色零件组件;和烧结炉,其以相同速率一起加热并收缩收缩平台、收缩支架和所需部件。可选择地,包括单元腔室之间互连的开放单元结构被沉积在收缩平台、收缩支架和期望的零件中的至少一者中;并且流体脱粘剂贯通至开放单元结构中,以从开放单元结构内脱粘基体。额外地或可替代地,收缩平台、收缩支架和期望的零件可以形成为使得组合的收缩平台和连接的收缩支架的质心基本上与零件的质心对准。此外,额外地或可替代地,通过在收缩支架和期望的零件的一侧之间形成相同复合材料的可分离的附接突起,收缩支架可以互连至期望的零件的所述一侧。此外,额外地或可替代地,横向支撑壳体可以遵循期望的零件的横向轮廓由相同复合材料形成,并且通过在横向支撑壳体与期望的零件之间形成相同复合材料的可分离的附接突起,横向支撑壳体可以连接到期望的零件的横向轮廓。

[0020] 此外,可选择地,可脱粘基体的可溶支撑结构可以在没有金属颗粒填料的情况下形成,以抵抗形成期望的零件期间向下的力,并且基体被脱粘至足以在加热保形褐色零件组件之前溶解可溶支撑结构。可替代地或额外地,可以形成脱模复合材料的可溶支撑结构,脱模复合材料包括陶瓷颗粒填料和可脱粘基体,可溶支撑结构在形成期望的零件期间抵抗向下的力。在加热保形褐色零件组件之前,基体可以被脱粘至足以形成包括收缩平台、收缩支架和期望的零件的保形褐色零件组件且溶解可溶支撑结构的基体。

[0021] 额外地或可替代地,下层表面可以包括便携式打印床。在这种情况下,收缩平台可以形成在便携式打印床上方,并且滑动脱模层由包括陶瓷颗粒填料和可脱粘基体的脱模复合材料形成在收缩平台之下并在便携式打印床之上。保形褐色零件组件可以在加热期间被烧结。打印床、滑动脱模层和保形褐色零件组件可以在脱粘期间和烧结期间保持为一体。在烧结之后,打印床、滑动脱模层、收缩平台和收缩支架可以与期望的零件分离。

[0022] 可选择地,零件脱模层可以由包括陶瓷颗粒填料和可脱粘基体的脱模复合材料形成在收缩支架与期望的零件之间,并且保形褐色零件组件在加热期间被烧结。零件脱模层和保形褐色零件组件在脱粘期间和烧结期间可以一起保持为一体。在烧结之后,零件脱模

层、收缩平台和收缩支架可以与期望的零件分离。在这种情况下,可以沉积收缩支架中的包括单元腔室之中互连的开放单元结构,并且流体脱粘剂可以贯通至开放单元结构中以便从开放单元结构内脱粘基体。

[0023] 根据本发明的实施例的另一方面,减少增材制造零件中的变形的的方法包括在连续层中沉积由复合材料形成的收缩平台,并且在收缩平台之上沉积相同复合材料的收缩支架,所述复合材料包括可脱粘基体中的金属颗粒填料。包含互连的开放单元结构沉积在收缩支架中的单元腔室之间。在收缩平台和收缩支架上由相同的复合材料沉积期望的零件。收缩平台、收缩支架和期望的零件暴露于流体脱粘剂,以形成保形褐色零件组件。流体脱粘剂渗透入开放单元结构中以便从开放单元结构内脱粘基体。保形褐色零件组件被烧结以使整个保形褐色零件组件按照相同的速率收缩。

[0024] 可选择地,在收缩平台下方沉积等于或大于收缩平台的底部的表面积的滑动脱模层,其减少了收缩平台与下层表面之间的横向阻力。额外地或可替代地,零件脱模层由包括陶瓷颗粒填料和可脱粘基体的脱模复合材料在收缩支架与期望的零件之间沉积,并且零件脱模层和保形褐色零件组件在暴露期间和烧结期间一起保持为一个整体。在烧结之后,零件脱模层、收缩平台和收缩支架与期望的零件分离。此外可选择地,例如如图8到10所示,在收缩支架的垂直表面与期望的零件的相邻壁相对的位置处,在收缩支架和期望的零件之间形成没有脱模复合材料的垂直间隙。

[0025] 可替代地或额外地,例如,如图8到10所示,横向支撑壳体块被沉积为具有大单元内部,具有包括比横向支撑壳体块内最厚的壁更宽的单元腔的单元,以协助脱粘流体扩散和渗透入支架中。此外,可替代地或额外地,通过在收缩支架和期望的零件的一侧之间形成相同复合材料的可分离附接突起,收缩支架可以互连到期望的零件的所述一侧。

[0026] 此外,可选择地,例如,如图8到10所示,与收缩支架相同复合材料的横向支撑壳体可以被沉积为遵循期望的零件的横向轮廓。在这种情况下,通过在横向支撑壳体与期望的零件之间形成相同复合材料的可分离的附接突起,横向支撑壳体可以连接到期望的零件的横向轮廓。可替代地或额外地,收缩平台、横向支撑壳体和期望的零件中的至少一者可以沉积有内部腔室之间的互连,并且流体脱粘剂可以经由所述互连渗透进内部腔室中,以从开放单元结构内脱粘基体。收缩平台、收缩支架和期望的零件可以被沉积为使得组合的收缩平台和连接的收缩支架的质心与零件的质心基本对准。

[0027] 根据本发明的实施例的另一方面,减少增材制造的零件中的变形的的方法包括在连续层中沉积由复合材料形成的收缩平台,复合材料包括可脱粘基体内的金属颗粒填料。相同复合材料的收缩支架可以沉积在收缩平台上方。例如,如图8到10所示,在收缩支架之中,可以形成作为分离间隙的分模线,分模线将收缩支架划分成能够沿着分离间隙分离的多个区段(fragment)。期望的零件可以由相同的复合材料在收缩平台和收缩支架上成形。基体可以被脱粘为足以形成包括收缩平台、收缩支撑柱和期望的零件的保形褐色零件组件。保形褐色零件组件可以被烧结从而以整个保形褐色零件组件均匀的速率收缩。收缩支架可以沿着分离间隙被分离为多个区段,并且各所述区段可以与期望的零件分离。

[0028] 可选择地,一个或多个分离间隙被形成为分离相邻支撑柱并延伸大致所述相邻的支撑柱的高度的垂直间隙,并且还包含,并且相邻支撑柱沿着垂直间隙被相互分离。可替代地或额外地,在期望的零件的空腔内,内部收缩支架由相同复合材料形成。在内部收缩支架

之中,分模线可以被形成为将内部收缩支架划分成能够沿着分离间隙分离的多个分段。所述分段可以沿着分离间隙而被彼此分离。

[0029] 可替代地或额外地,区段被形成为能够沿着在与收缩支架相交的平面内连续的分离间隙而被彼此可分离的块。与收缩支架相同复合材料的横向支撑壳体可以形成为遵循期望的零件的横向轮廓。可选择地,通过在横向支撑壳体和期望的零件之间形成相同复合材料的可分离的附接突起,横向支撑壳体可以连接到期望的零件的横向轮廓。进一步可选择地,在横向支撑壳体中,分模线可以被形成为将横向支撑壳体划分为能够沿着分模线分离的壳体区段。基体可以被脱粘至足以形成包括收缩平台、收缩支撑柱、水平支撑壳体和期望的零件的保形褐色零件组件。横向支撑壳体可以沿着分模线而被分离为壳体区段。壳体区段可以与期望的零件分离。

[0030] 进一步可选择地,收缩平台、收缩支架和期望的零件中的至少一者可以沉积有内部腔室之间的互连,并且流体脱粘剂经由所述互连渗透进入内部腔室,以便从开放单元结构内脱粘基体。可替代地或额外地,可以形成不含金属颗粒填料的可脱粘基体的可溶支撑结构,以在期望的零件的形成期间抵抗向下的力,并且基体被脱粘至足以在烧结保形褐色零件组件之前溶解可溶支撑结构。

[0031] 仍然进一步可选择地,滑动脱模层可以在收缩平台下方形成为具有等于或大于收缩平台的底部的表面积,以此减少收缩平台与打印床之间的横向阻力,并且收缩平台可以形成在便携式打印床上方。滑动脱模层可以由包括陶瓷颗粒和可脱粘基体的脱模复合材料形成在收缩平台之下并且在便携式打印床之上,打印床、滑动脱模层和保形褐色零件组件可以在脱粘期间和烧结期间一起保持为整体。

[0032] 进一步可替代地或额外地,可以在收缩支架与所需部件之间由包括陶瓷颗粒填料和可脱粘基体的脱模复合材料形成零件脱模层,并且零件脱模层和保形褐色零件组件可以在脱粘期间和烧结期间保持为一个整体。在烧结之后,零件脱模层、收缩平台和收缩支架可以与期望的零件分离。

[0033] 根据本发明的实施例的另一方面,在使用基于沉积的增材制造系统制造零件的方法中,沿着第一轮廓工具路径沉积含聚合物材料,以形成绿色零件的层的周界路径并限定周界路径内的内部区域。在与第一方向逆行的第二方向上,基于第二轮廓工具路径沉积材料,以在与周界路径相邻的内部区域中形成相邻路径,第二方向上的相邻路径的沉积使材料中聚合物链的应力方向与周界路径中的材料中聚合物链的应力方向相反,并减少由零件中的聚合物链的松弛而产生的零件扭曲。

[0034] 可选择地,沉积的起始或沉积的停止中的一者被调整为位于层的内部区域内。进一步可选择地,起始点和停止点的位置限定了从包含开口式正方形排列、封闭式正方形排列、重叠封闭式正方形排列、开口式三角形排列、封闭式三角形排列、交汇点排列、交叉重叠排列、卷曲式正方形排列以及它们的组合的组中选择的排列。可替代地或额外地,在起始点和停止点之间的轮廓工具路径进一步限定了至少部分地填充内部区域的栅格路径。

[0035] 根据本发明的实施例的另一方面,在使用基于沉积的增材制造系统制造零件的方法中,由控制器接收零件的层的第一工具路径,其中,被接收的第一工具路径包括周界轮廓片段。用于零件的层的第二工具路径被控制器接收,其中,被接收的第二工具路径包括与周界轮廓片段相邻的内部区域段。沉积头以遵循被接收的第一工具路径的周界轮廓片段的模

式移动,以制造包括可烧结粉粉末的可脱粘复合材料的周界路径;并且以遵循被接收的第二工具路径的内部区域段的方式移动沉积头,以制造可脱粘的复合材料的内部相邻路径,其中,周界路径和相邻路径在使得可脱粘的复合材料的粘合剂内的残余应力的方向在周界路径和相邻路径中相反的方向沉积。

[0036] 根据本发明的实施例的仍然另一方面,在使用基于沉积的增材制造系统制造零件的方法中,接收零件的数字实体模型(例如3D网格或3D实体),并且将数字实体模型切片成多层。周界轮廓工具路径基于多层中的一层的周界生成,其中,生成的周界轮廓工具路径限定了该层的内部区域。内部相邻路径基于周界轮廓工具路径在内部区域内生成。包括可烧结粉粉末的可脱粘的复合材料在第一方向上基于周界轮廓工具路径被挤出以形成用于所述层的可脱粘复合材料的周界。可烧结复合材料在第二方向上基于周界轮廓工具路径被挤出形成用于所述层的可脱粘复合材料的内部相邻路径,其中,周界轮廓工具路径和内部相邻路径的沉积在反方向上彼此跟踪,使得可脱粘复合材料的粘合剂内的残余应力的方向在周界轮廓工具路径和内部相邻路径中相反。可选择地,周界轮廓工具路径的起始点和周界轮廓工具路径的停止点被调整到内部区域内的位置。

[0037] 根据本发明的实施例的另一方面,在使用包括沉积头和控制器的增材制造系统制造零件的方法中,零件的层的第一工具路径由控制器接收,其中,被接收的第一工具路径包括轮廓片段。用于零件的层的第二工具路径由控制器接收,并且被接收的第二工具路径可以与第一工具路径重叠第二工具路径的连续沉积长度的至少90%。沉积头能够以遵循第一工具路径的模式移动,以制造用于所述层的可脱粘复合材料的周界路径。沉积头以在与第一工具路径逆行的方向上遵循第二工具路径的模式移动,以制造与可脱粘复合材料的周界路径相邻的应力补偿路径,使得可脱粘复合材料的粘合剂内的残余应力的方向在周界路径中和在应力补偿路径中是相反的。可选择地,第二工具路径与相同层内的第一工具路径的至少90%连续相邻,并且包括内部区域路径。进一步可选择地,第二工具路径与相邻层内的第一工具路径的至少90%连续相邻,并且包括相邻层的周界路径。

[0038] 根据本发明的实施例的另一方面,在使用包括沉积头和控制器的基于沉积的增材制造系统制造零件的方法中,工具路径由计算机生成。用于生成的工具路径的指令被传输到控制器,并且在沿着生成的工具路径移动沉积头的同时从沉积头沉积可脱粘复合材料,以形成零件的层的周界路径。周界路径可以包括第一轮廓道路部和第二轮廓道路部,第一轮廓道路部和第二轮廓道路部中的每一者以偶数个X图案彼此交叉,形成针对该层的偶数个隐蔽接缝。

[0039] 根据本发明的实施例的另一方面,在使用包括沉积头和控制器的基于沉积的增材制造系统的制造零件的方法中,沉积头沿着第一工具路径段移动以形成针对零件的层的周界道路部,并且沿着方向改变工具路径段移动。沉积头可以沿着第二工具路径段移动以形成与周向道路部相邻的应力平衡道路部。可选择地,方向改变工具路径段是相同层内位于第一工具路径段与第二工具路径段之间的优角延续。进一步可选择地,包括粘合剂和可烧结粉粉末的可脱粘的复合材料在第一方向上围绕周界沉积。内部路径在与第一方向逆行的方向上沿着所述周界沉积。相邻路径的沉积在粘合剂中的长链分子中产生应力的方向与周界路径中的应力的方向相反,并且减少了在烧结期间由零件中的长链分子的松弛导致的零件扭曲。

[0040] 根据本发明的实施例的另一面,在沉积用于增材制造的材料的方法中,供给包括粘合剂基体和可脱粘粉末的复合材料。零件的壁连续层被沉积以形成从零件的外部延伸到零件的内部的第一进入通道。在零件的内部的蜂窝状填料的连续层被沉积以形成将蜂窝状填料的内部体积连接到第一进入通道的分配通道。通过使脱粘流体流经第一进入通道和蜂窝状填料的内部体积内的分配通道,粘合剂基体被脱粘(例如溶解)。

[0041] 可选择地,零件的壁连续层被沉积以形成从零件外部延伸到零件内部的第二进入通道,并且通过使脱粘流体通过第一进入通道流入、流经分配通道并且从第二进入通道流出,粘合剂基体被脱粘。进一步可选择地,第一进入通道连接至脱粘流体的加压供应,以促使脱粘流体流过第一进入通道、分配通道和第二进入通道。可替代地或额外地,蜂窝状填料的连续层沉积在零件的内部,以形成将蜂窝状填料的内部体积连接到第一进入通道的多个分配通道,多个分配通道的至少一部分的长度与所述多个分配通道的另一部分长度不同。

[0042] 根据本发明的实施例的另一面,在沉积用于增材制造的材料的方法中,供给包括粘合剂基体和具有低于8微米的平均粒径的可烧结粉末化金属的金属材料,所述金属材料具有第一烧结温度。提供包括相同粘合剂基体和可烧结粉末化陶瓷的陶瓷材料,所述陶瓷材料包括具有比所述金属材料更高烧结温度的第一陶瓷和具有比所述金属材料更低烧结温度的第二陶瓷的混合物,所述陶瓷材料基本上匹配所述金属材料的收缩特性,并且具有基本上处于与所述第一烧结温度相同范围内的第二烧结温度。在金属材料层的在先沉积上通过沉积形成金属材料层,并且在陶瓷材料层的在先沉积上通过沉积形成金属材料层。粘合剂基体的至少一部分从金属材料层和陶瓷材料层中的各者脱粘。这样由金属材料层和陶瓷材料层形成的零件被加热到第一烧结温度,由此烧结第一材料和第二材料。零件的壁连续层被沉积以形成从零件外部延伸到零件内部的第一进入通道,也形成将蜂窝状填料的内部体积连接到第一进入通道的分配通道。通过使脱粘流体流经第一进入通道和蜂窝状填料的内部体积内的分配通道,保留可烧结粉末的粘合剂基体被脱粘。

[0043] 根据本发明的实施例的另一面,在通过增材制造沉积材料以形成可烧结褐色零件的方法中,沿着进料路径供应第一丝,第一丝包括粘合剂基体和具有第一烧结温度的可烧结的球化和/或粉末化第一材料。第一材料的绿色层通过在第一材料的褐色层之上沉积形成。粘合剂基体的至少一部分从第一材料的各绿色层脱粘,以将各绿色层脱粘成为相应的褐色层。在基本上形成部件的所有褐色层之后,可以在第一烧结温度下烧结零件。

[0044] 可替代地或额外地,在通过增材制造沉积材料以形成可烧结的褐色零件的方法中,提供包括粘合剂基体和具有第一烧结温度的可烧结的球化和/或粉末化第一材料的第一丝。提供包括第二材料的第二丝,第二材料具有比第一烧结温度高了超过300摄氏度的第二烧结温度。通过在打印床或者第一材料或第二材料的在先沉积之上的沉积来形成第二材料的层。通过在褐色层或第二材料的在先沉积之上的沉积来形成第一材料的绿色层,并且粘合剂基体的至少一部分从第一材料的各绿色层中脱粘,以将各绿色层脱粘成为相应的褐色层。在形成零件的基本上所有褐色层之后,零件可以在第一烧结温度但低于第二烧结温度下烧结,从而在没有烧结第二材料的情况下烧结第一材料。

[0045] 根据本发明的实施例的另一面,在烧结由粉末化的可烧结材料形成的褐色零件物品的方法中,在粉末床中由具有第一烧结温度的第一粉末一体形成的褐色零件放置在坩

坩中,粉末床包含具有比第一烧结温度高了超过300摄氏度的第二烧结温度的第二粉末。搅拌第二粉末以填充褐色零件的内部腔。用第二粉末持续地抵抗褐色零件的未支撑部的重量。褐色零件在不烧结第二粉末的情况下在第一温度下烧结以形成已烧结的零件。烧结的零件从粉末床中移除。

[0046] 可选择地,搅拌包括:通过使加压气体流动至坩的底部将第二粉末流化。可替代地或额外地,至少部分地通过在流化的第二粉末中保持具有向上分量的浮力,褐色零件的未支撑部的重量被第二粉末持续地抵抗。

[0047] 根据本发明的实施例的另一方面,在由粉末化的可烧结材料制造3D打印的方法中,提供包括粘合剂基体和具有第一烧结温度的可烧结的球化和/或粉末化的第一丝。提供包括第二材料的第二丝,第二材料具有比第一烧结温度高了超过300摄氏度的第二烧结温度。通过在打印床或者第一或第二材料的在先沉积上的沉积来形成第二材料层,并且通过在褐色层或第二材料的在先沉积上的沉积来形成第一材料的绿色层。从第一材料的各绿色层中脱粘粘合剂基体的至少一部分,以将各绿色层脱粘成为相应的褐色层。零件被整体地放置在坩内的粉末床中,粉末床包括具有比第一烧结温度高了超过300摄氏度的第三烧结温度的第三粉末。第三粉末被搅拌以填充褐色层之中的内部空腔,并且褐色层的未支撑部分的重量由第三粉末持续地抵抗。在不烧结第三粉末的情况下在第一温度下烧结零件,并且将已烧结的部件从粉末床中移除。

[0048] 根据本发明的实施例的另一方面,在增材制造的方法中,提供包含可移除的粘合剂和大于50%体积分数的具有超过1200摄氏度熔点的粉末化金属,其中,超过50%的粉末化金属的粉末颗粒具有小于10微米的直径。材料被增材沉积在连续层中以形成坯体,并且随后移除粘合剂以形成褐色坯体。褐色零件或褐色坯体被装载到由如下材料形成的熔管中,所述材料具有基本上小于1200摄氏度的运行温度,小于 $1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 的热膨胀系数和10m以上的微波场穿透深度。熔管被密封并且内部空气被替换为烧结气氛。在密封的熔管外将微波能施加至褐色零件。褐色零件在低于1200摄氏度的温度下烧结。

[0049] 根据本发明的实施例的另一方面,在增材制造的方法中,提供包含可移除的粘合剂和大于50%体积的具有超过1200摄氏度的熔点的粉末化金属的材料,其中,超过50%的粉末颗粒具有小于10微米的直径。所述材料由具有小于300微米的内直径的喷嘴增材沉积。粘合剂被移除以形成褐色坯体或褐色零件。褐色零件或褐色坯体被装载由具有小于 $1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 的热膨胀系数的材料形成的熔管。熔管被密封,并且内部空气被替换为烧结气氛。从被密封的熔管外部将辐射能施加至褐色零件。褐色零件或褐色坯体在高于500摄氏度但低于1200摄氏度的温度下烧结。

[0050] 根据本发明的另一方面,在增材制造方法中,可以提供由包含第一粉末化金属的第一脱粘材料形成的第一褐色零件,其中,第一粉末化金属的超过50%的粉末化颗粒具有小于10微米的直径。可以提供由包含第二粉末化金属的第二脱粘材料形成的第二褐色零件,其中,第二粉末化金属的超过50%的粉末化颗粒具有小于10微米的直径。在第一模式下,第一褐色零件可以被装载到由具有小于 $1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 的热膨胀系数的材料形成的熔管中,并且熔管内部的温度能够以大于10摄氏度每分钟但小于40摄氏度每分钟的速率升高至高于500摄氏度并低于700摄氏度的第一烧结温度。在第二模式下,第二褐色零件可以被装载到相同的熔管中,并且熔管内部的温度能够以大于10摄氏度每分钟但小于40摄氏度每分钟

的速率升高至高于1000摄氏度但低于1200摄氏度的第二烧结回火温度。

[0051] 可选择地,在第一模式下,将含有99.999%以上的惰性氮气且不含氧的第一烧结气氛引入到熔管中。进一步可选择地,在第二模式下,可以将含有至少2%-5% (例如3%) 氢气的第二烧结气氛引入到熔管中。可选择地,熔管由具有10m以上的微波场穿透深度的熔融二氧化硅形成,并且微波能被施加至熔管内的第一材料褐色零件和/或第二材料褐色零件,升高零件的温度。可替代地或额外地,可以对所述零件施加微波能以提高零件的温度,在熔合管外以及熔合管内的任何烧结气氛外放置承受器 (susceptor) 材料元件。

[0052] 在这些方面中,可选择地,所述材料以高度基本上是喷嘴宽度的2/3以上的层增量地沉积。可选择地,提供如下材料:其中,粉末化金属的超过90%粉末颗粒具有小于8微米的直径。进一步可选择地,将微波能从密封的熔管外部施加至布置在密封的熔管外部的承受器材料构件。微波能可以是密封的熔管外部施加至褐色零件的辐射能。布置在密封的熔管外部的承受器材料构件可以被电阻地加热。可选择地,熔管内部的温度能够以大于10摄氏度每分钟但小于40摄氏度每分钟的速率上升。熔管的材料可以是非晶态熔融二氧化硅,并且烧结气氛可以包括至少2%且不超过5%的氢(例如3%的氢)。粉末化金属可以是不锈钢或工具钢。承受器材料可以是SiC或MoSi₂。

[0053] 根据本发明的实施例的另一方面,多用途烧结炉包括由具有小于 $1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 的热膨胀系数的熔融二氧化硅形成的熔管和将熔管相对于环境气氛密封的密封件。内部气氛调节器可操作地连接到熔管内部,以便施加真空来移除熔管内的空气并将多种烧结气氛引入到熔管,并且加热元件布置在熔管外部和熔管内的任何烧结气氛的外部。控制器可操作地连接到加热元件和内部气氛调节器,控制器在第一模式下在第一烧结气氛内在高于500摄氏度并低于700摄氏度的第一烧结温度下烧结第一材料褐色零件,并且在第二模式下在第二烧结气氛内在高于1000摄氏度但低于1200摄氏度的第二烧结温度下烧结第二材料褐色零件。

[0054] 可选择地,内部气氛调节器可操作地连接到熔管内部以引入含有99.999%以上的氮并且不含氧的第一烧结气氛。进一步可选择地,在第一模式下的控制器在第一烧结气氛内在高于500摄氏度并低于700摄氏度的第一烧结温度下烧结主要由铝粉形成的褐色零件,铝粉中超过50%的粉末颗粒具有小于10微米的直径,并且第一烧结气氛含有99.999%以上的氮并且不含氧。可替代地或额外地,在第二模式下的控制器在含有至少3%的氮的第二烧结气氛内在高于1000摄氏度并低于1200摄氏度的第二烧结温度下烧结主要由钢粉形成的褐色部件,钢粉中超过50%的粉末颗粒具有小于10微米的直径。

[0055] 控制器能够以大于10摄氏度每分钟但小于40摄氏度每分钟的速率升高熔管内部的温度。内部气氛调节器能够可操作地连接到熔管内部以引入含有至少3%的氮的第二烧结气氛。控制器能够以大于10摄氏度每分钟但小于40摄氏度每分钟的速率升高熔管内部的温度。熔融二氧化硅管可以由具有小于 $1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 的热膨胀系数和10m以上的微波场穿透深度的熔融二氧化硅形成,并且其中,加热元件还包括微波发生器,微波发生器将能量施加至熔管内的第一材料褐色零件和/或第二材料褐色零件,并且提高所述零件的温度。承受器材料加热元件可以放置在熔管外部和熔管内任意烧结气氛的外部,其中,微波发生器将能量施加至 (i) 熔管内的第一材料褐色零件和/或第二材料褐色零件,和/或 (ii) 承受器材料加热元件,并且升高 (i) 和/或 (ii) 的温度。加热元件还包括放置在熔管外部和熔管内任意烧结

气氛的外部的承受器材料加热元件。嵌入增材沉积材料中的小粉末颗粒尺寸的金属粉末(例如90%的颗粒小于8微米)可以将不锈钢的烧结温度以降低至低于熔融二氧化硅管炉的1200摄氏度的工作温度上限,从而使得同一二氧化硅熔管炉能够被用于烧结铝和不锈钢(在合适的气氛下),也能够使用微波加热、电阻加热或者被动或主动承受器加热以烧结两种金属。

[0056] 根据本发明的实施例的另一方面,在含有超过50%金属或陶瓷球并且可选择地具有两级粘合剂的复合材料中,一轴丝材料在高于室温但低于粘合剂材料的玻璃化温度的温度(例如50-55摄氏度)下缠绕和解绕。所述丝材料可以在室温下运输。在模型材料室中的上部丝轴可以包括模型材料和脱模材料。丝轴可以保持在联合加热室中,联合加热室将丝轴保持在该示例中预期的50-55摄氏度。在打印期间,打印床可以通过打印床加热器加热至类似或更高的温度(例如50-120摄氏度)。加热打印床可以帮助将打印室内的温度保持在高于室温的水平。

[0057] 可选择地,各材料轴可以被保持在它自己的独立腔室内。用于保持丝轴温度的加热器可以是被动的,例如辐射和对流加热器,或者可以包括鼓风机。被加热的空气可以通过鲍登管(Bowden tube)或其它传输管而被驱动,丝材料通过所述鲍登管或所述其它传输管驱动。丝轴可以在水平轴上垂直地布置,并且丝基本上向下直落至移动的打印头,以此使得丝的所有弯曲具有大的弯曲半径。材料可以保持为没有小于10cm弯曲半径的弯曲,并且/或者没有基本上小于丝轴半径的弯曲半径。

[0058] 根据本发明的实施例的另一方面,在3D打印绿色零件的方法中,粘合剂被喷射到粉末原料的连续层上以形成每层结合粉末(bound powder)的2D层形状。期望的3D绿色零件的3D形状由结合粉末的互连2D层形状增材地沉积(例如构建)。烧结支架的3D形状由结合粉末的互连2D层形状增材地沉积(例如构建),并且收缩平台的3D形状由结合粉末的互连2D层形状增量地沉积(例如构建)。脱模材料在结合粉末的形状之上增材地沉积(例如构建)以形成脱模材料的2D层形状,并且脱模表面的3D形状由脱模材料的互连2D层形状增材地沉积(例如构建)。占位材料在结合粉末的形状之上增材地沉积(例如构建)以形成占位材料的2D层形状,并且占位体积的3D形状由占位材料的互连2D层形状增材地沉积(例如构建)。结合粉末、脱模材料和占位材料被脱粘以形成包括期望的3D绿色零件、烧结支架、脱模表面和对应于脱粘之前的占位材料的3D形状的内部空腔的绿色零件组件。

[0059] 根据这方面,针对要被脱粘和烧结的3D打印绿色零件,粘合剂可以喷射至可烧结的粉末原料的连续层中以构建期望的3D绿色零件、相关的烧结支架和相关的收缩平台的3D形状。脱模材料可以被沉积为介于3D绿色零件与烧结支架之间。占位材料可以沉积在结合粉末之上,以形成占位材料的2D层形状,并且可烧结粉末原料关于占位材料而被重新填充并平整。在脱粘时,形成对应于占位材料的3D形状的内部空腔。

[0060] 根据本发明的实施例的另一方面,用于通过在可溶粘合剂中沉积可烧结的粉末化金属进行增材制造的装置包括喷嘴组件,喷嘴组件包括喷嘴主体,喷嘴主体内形成有基本上恒定直径的第一中心圆柱形空腔和连接到所述圆柱形空腔的0.1至0.4mm直径的喷嘴出口。热截断构件邻接喷嘴组件,热截断构件包括具有窄腰部的热截断体、基本上恒定直径的第二中心圆柱形空腔通过热截断体和窄腰部形成。熔化室被形成为由第一和第二中心圆柱形空腔共享,熔化室具有15-25mm³的体积和1mm以下的直径。

[0061] 根据本发明的实施例的另一面,3D打印机可以从本文描述的粉末化金属(或陶瓷)和粘合剂的复合材料沉积致密化连接平台,致密化连接平台等于或大于期望的零件的横向或水平范围(例如对应于零件的包络的最小尺寸),通过陶瓷脱模层至少部分地与零件分离。致密化连接平台的厚度应该至少是1/2mm至10mm厚,使得在收缩过程期间由于筏形件中的原子扩散而产生的力基本上抵消在褐色坯体组件与在其上进行烧结的平板或载体之间的摩擦力。期望的零件可以由垂直地贯穿陶瓷脱模层的金属复合材料的小横截面积(例如,小于1/3mm直径)的连接件选择性地钉至致密化连接平台,以确保零件以与搁置该零件的致密化连接平台相同的几何方式收缩。致密化连接平台被选择性地形成为具有凸形(无凹面的多边形或弯曲形状)的形状和/或具有与上述零件的质心对准的质心的对称形状的横截面积。致密化连接平台倾向于由于其简单的形状而以规则的或可预测的方式致密化并收缩,并且如果期望的零件连接至筏形件时,它减少由期望的零件与致密化连接平台之间的摩擦力引起的几何特定零件变形,尤其是在非对称零件、具有高纵横比横截面的零件和具有可变厚度的零件的情况下。在零件与筏形件之间的钉点的数量和布置可以被选择为使得能够在烧结过程之后将筏形件适当地移除。可选择地,零件的周界外部的坚固地附接至致密化连接的零件的垂直壁可以至少部分地延伸到期望的零件的各侧之上,以进一步减少变形。这些垂直支架也可以通过陶瓷脱模层与期望的零件分离。

[0062] 明确设想的是,当单独结合或以多种组合结合时,本发明实施例的各个方面的上述示例形成本发明实施例的各方面的附加示例。

附图说明

[0063] 图1A是三维金属打印机的示意图。

[0064] 图1B是表示粘合剂喷射/粉末床打印方法的三维金属打印机的示意图。

[0065] 图2是三维打印机系统的框图和示意图。

[0066] 图3是说明图2的3D打印机的整体操作的流程图。

[0067] 图4是设置有烧结支架(例如收缩连接支架或致密化连接支架)的3D打印系统、部件和过程的示意图。

[0068] 图5A到5D是图4的示意图中的示意性截面。

[0069] 图6是替代图4和图5A-5D的打印系统、部件和过程的示意图。

[0070] 图7是打印、脱粘、烧结以及分离和/或脱模层、胚体(green body)支架和/或烧结或收缩或致密化连接支架的支架去除的一个示例性过程的示意图。

[0071] 图8是额外的替代图4所示的3D打印系统、部件和过程的3D打印系统、部件和过程的示意图。

[0072] 图9是额外的替代图4所示的3D打印系统、部件和过程的3D打印系统、部件和过程的示意图。

[0073] 图10是示出用于移除支撑壳体或者烧结或收缩支架的分模线的图4的3D打印系统、部件和过程的已烧结装配件的俯视图。

[0074] 图11是示出用于移除支撑壳体或烧结或收缩支架的分模线的图4的可选的3D打印系统、部件和过程的已烧结装配件的俯视图。

[0075] 图12和图13分别是图8和9示意性地示出的零件的正交和三维/正交视图。

- [0076] 图14到16是在适合打印的环境条件下构造丝状材料的3D打印机的示意图。
- [0077] 图17是示出用于在丝中保持可烧结增材制造原料以允许绕轴 (spooling) 和运输的弹性模量与温度的关系图。
- [0078] 图18到21是可以在打印每层时或者在每层或一系列层之后进行脱粘的3D打印机的示意图。
- [0079] 图22是示出通过增材制造沉积材料以形成可烧结褐色零件 (brown part) 的方法的流程图。
- [0080] 图23A和图23B是替代图4和/或图6所示的3D打印系统、部件和过程的3D打印系统、部件和过程的替代示意图。
- [0081] 图24是打印、脱粘、烧结和可选的具有分离和/或脱模层、胚体支架和/或烧结流化床的支架去除的一个示例性过程的示意图。
- [0082] 图25是选择性地由材料和烧结炉的特定结构烧结的额外示例性过程的示意图。
- [0083] 图26A和图26B分别对应于图5B和图5D,并且为了讨论打印和其他处理步骤而示出了通过图4的替代选择截面。
- [0084] 图26C和图26D分别是以横截面示出的并应用为填料的六角形和三角形蜂窝结构的示例。
- [0085] 图27和图28示出基本上类似于图4、6、8和9的说明的侧剖视图,其中蜂窝腔室/填料形成为垂直的柱状棱柱形状。
- [0086] 图29示出基本上类似于图4、6、8、9、27和28的说明的侧剖视图,其中分配通道空腔/填料以对齐和/或成角度的方式在垂直的柱状棱柱内形成。
- [0087] 图30和图31示出基本上类似于图4、6、8、9、27、28和29说明的侧剖视图,其中设置有入口通道。
- [0088] 图32示出了如下图表,其中,陶瓷烧结支撑材料的收缩量应该小于零件模型材料的收缩量直到达到最终收缩量。
- [0089] 图33A-33D以放大尺寸示出了包括凸形形状和/或凹形形状(突出、空腔或轮廓)中的一者或两者的部件形状。
- [0090] 图34A和图34B分别示出以如本文所述的部件使用的重力辅助脱粘过程的流程图和原理图。
- [0091] 图35示出用于从可固化或可脱粘的光敏树脂形成原型件 (green part) 的3D打印机。
- [0092] 图36A和图36B示出示意性地表示逆向模式下的沉积路径的沉积方向。
- [0093] 图37A-37H和图37J是表示在沉积壁和蜂窝结构中接缝和接头相互作用的示意图。
- [0094] 图38A和图38B以剖视图的方式示出FDM/FFF喷嘴装配件。
- [0095] 图39A和图39B以剖视图的方式示出MIM材料挤出喷嘴装配件。
- [0096] 图40以剖视图的方式示出MIM材料挤出喷嘴装配件。

具体实施方式

[0097] 本发明申请以参考全文的方式包含下述公开:美国专利申请第61/804,235号、第61/815,531号、第61/831,600号、第61/847,113号、第61/878,029号、第61/880,129号、第

61/881,946号、第61/883,440号、第61/902,256号、第61/907,431号和第62/080,890号;第14/222,318号、14/297,437号和14/333,881号,可以被称为“复合丝(filament)制造专利申请”或“CFF专利申请”。尽管本发明说明多种金属或陶瓷3D打印系统,但至少CFF专利申请的机械和电气运动、控制、和传感器系统可以按本文所述地使用。此外,以参考全文的方式将美国专利第6,202,734号、第5,337,961号、第5,257,657号、第5,598,200号、第8,523,331号、第8,721,032号以及美国专利申请公开第20150273577号并入本文。此外,美国专利申请:于2016年12月2日提交的第62/429,711号、于2016年12月6日提交的第62/430,902号、于2017年1月4日提交的第62/442,395号、于2017年3月31日提交的第62/480,331号、于2017年4月24日提交的第62/489,410号、于2017年5月11日提交的第62/505,081号、于2017年6月13日提交的第62/519,138号、于2017年8月15日提交的第62/545,966号、于2017年10月20日提交的第62/575,219号和于2017年10月2日提交的第15/722,445号包括相关主题并以参考全文的方式将它们并入本文中。

[0098] 在3D打印中,部件的悬垂部或突出部可能需要下方的可移除和/或可溶和/或分散的支架,以设置用于沉积的接触面。在金属打印中,部分因为金属特别致密(例如重),可移除和/或可溶和/或分散的支架也可以有助于例如在中间处理和后处理期间避免变形、下凹,从而避免在高温等潜在变形环境中形状下垂或下凹。

[0099] 能够抵抗例如挤压的向下应力并且在空间中定位沉积珠或其它沉积的支撑结构有助于使用包括粘合剂和陶瓷或金属烧结材料的3D打印材料打印可烧结部件。介于支撑结构和零件之间的脱模层(release layer)包括具有更高熔化温度的材料(陶瓷或高温金属),例如,选择性地由类似的(初级)基体或粘合剂成分沉积到模型材料。脱模层不烧结,并且使零件能够从支架中“脱出”。在脱模层之下,与零件相同的模型材料用作支撑结构,促进烧结期间的相同的压实/致密化。这通常意味着零件和支架将均匀地收缩,保持零件的尺寸精度。在支架底部,也可以打印脱模层。此外,支撑结构可以以多个部分打印并且在各部分之间有脱模层,使得最终被烧结的支撑结构在选择地存在机械或其他振荡的情况下将易于破裂为小的子部分以容易移除。这样,大支撑结构能够通过小得多的孔从内部空腔中移除。额外地或替代地,支架的另一种方法是打印在脱粘过程中移除的可溶支撑材料。针对催化脱粘,这可以是缩醛树脂(POM)材料。

[0100] 促进均匀收缩或致密化的一种方法是打印陶瓷脱模层作为零件中的最底层。在滑动脱模层(类似于微型滚珠轴承)顶部,可以打印将与零件均匀地收缩的薄金属片(例如“筏形件(raft)”),并且设置“收缩平台”或“致密化连接”平台,以在收缩或致密化处理期间保持零件和相关支撑材料处于相对位置。选择地,U形钉或钉子(例如附接点)连接并互连(或如同致密化联结一样联结)被打印的模型材料部分。

[0101] 图1A、1B的打印机以及直到图40的剩余的图中示出的其它打印机,具有至少两个打印头18、10和/或打印技术,通过一个头沉积包括粘合剂和分散球体或粉末18的复合材料(例如在热塑塑料或固化粘合剂内)以用于打印部件和支撑结构,并且通过第二个头18a(图4-9所示)沉积脱模或分离材料。可选的第三个头和/或第四个头包括坯体支架头18b和/或连续纤维沉积头10。纤维增强复合丝2(本文中也被称为连续芯增强丝)可以基本上无空隙并且包括覆盖、渗透或浸透内部连续单芯或多股芯的聚合物或树脂。应当注意,尽管打印头18、18a、18b示出为挤出打印头,但只要满足本文描述的其他功能要求,本文使用的“填充材

料打印头”18、18a、18b可以包括用于沉积填充材料的光学或紫外线固化、热熔或烧结或“聚合物喷射 (poly jet)”、流体、胶体、悬浮或粉末喷射装置 (未示出)。功能性要求包括以下一个或多个:采用坯体材料支撑抵抗重力或打印力的打印;烧结或收缩 (致密化连接) 抵抗重力支撑零件并且通过烧结期间的原子扩散促进均匀收缩;以及,脱模或分离材料通过脱粘剂基本上保持形状,但在烧结之后变得易于移除、分散化或粉末化等。

[0102] 尽管图1A、1B到图40通常地示出用于在3个正交位移方向上相对移动每个打印头的笛卡尔布置,其它布置被认为在如下的驱动系统或者驱动或机动化驱动的范围并被如下的驱动系统或者驱动或机动化驱动明确地描述,所述驱动系统或者驱动或机动化驱动可以在至少3个自由度中 (即,同样地,四个以上的自由度) 相对移动打印头和支撑3D打印零件的打印床。例如,针对三个自由度,三角并联机器人 (delta parallel robot) 结构可以使用连接至底座处的万向节的三个平行四边形臂,选择性地保持打印头的定向 (例如在打印头和打印床之内三个机动自由度) 或改变打印头的定向 (例如在打印头和打印床之内四个以上的自由度)。作为另一个示例,打印头可以安装在具有三、四、五、六个或更多自由度的机器人手臂上;并且/或者构建平台可以自转、三维平移或被转动。打印床或打印平台或用于保持零件任何其它床,可以由1、2或3个电机以1、2或3个自由度移动。

[0103] 长或连续纤维增强复合丝是完全地可选的,并且当被使用时,通过选择地加热到受控温度的管道喷嘴提供、拖动和/或拉动所述丝,受控温度是针对基体材料选择的以保持预定粘度、被粘结层 (bonded ranks) 的粘附力、熔化特性和/或表面光洁度。在纤维增强丝的基体材料或聚合物基本上熔化后,连续芯增强丝被施加至构建滚筒 (build platen) 16以构建零件14的连续层,从而形成三维结构。构建滚筒16和打印头18、18a、18b和/或10的相对位置和/或定向由控制器20控制,以在所需位置和方向上沉积本文所述的每种材料。从动辊组42、40可以沿着避免丝弯曲的间隙配合区驱动连续丝。在穿线或缝合过程中,已熔基体材料和丝的轴向纤维股有时可以通过轴向压缩而被压入零件和/或下方的幅面。当构建滚筒16和打印头相对于彼此平移时,丝的端部接触熨烫唇并随后在横向压力区内被连续地熨烫,以在零件14中形成被粘结层或复合幅面 (composite swatches)。

[0104] 参照图1A、图1B到图40,每个打印头18、18a、18b、10可以安装在相同的直线导轨或不同的直线导轨或致动器上,使得打印头的X、Y机动机构使这些打印头一起移动。如图所示,每个挤出型打印头18、18a、18b可以包括具有熔化区或熔化存储器的挤出喷嘴、加热器、由热电阻或垫片 (例如不锈钢、玻璃、陶瓷、可选的空气间隙) 形成的高热梯度区和/或特氟隆或PTEE管。通过例如直接驱动或鲍登管驱动来驱动1.75mm-1.85mm、3mm或更大或更小的热敏塑料 (和/或粘合剂基体) 丝,并且在熔化存储器中设置挤出背压。

[0105] 图1B以示意性的形式示出具有大致类似于图1A的挤出型打印机的一些组件的粘合剂喷射粉末床打印机。打印机1000J包括由供应线142供应的两个以上的打印头18 (将粘合剂喷射或施加至粘结粉末132以形成模型材料或粘结复合材料)、18a (喷射或挤出脱模或分离材料) 和/或18b (喷射或挤出占位材料)。打印机1000J可以通过打印头18在粉末床134上沉积粘结剂132,以形成包括脱粘剂和分散球或粉末 (金属或陶瓷粉末) 的用于打印零件、支撑结构和收缩或致密化连接平台的复合材料。可烧结粉末原料存储、供应或再填充器136向粉末床134供应新的未粘合粉末层,该粉末层通过调平辊或刮刀辊138调平。调平后过剩的粉末被捕获在进料溢出存储器140中。打印机1000J可以由第二打印头18a沉积脱模或分

离材料。可选地,第三头和/或第四头包括如本文所述的占位材料头18b和/或连续纤维沉积头10。本文所述的粘结剂喷射打印机1000J满足本文所述的功能要求(例如坯体和/或占位材料支撑打印以抵抗重力或打印力,烧结支架支撑零件以抵抗重力并且通过烧结期间原子的扩散促进均匀收缩,以及脱模或分离材料通过脱粘步骤基本上保持形状但在烧结之后变得易移除、分散化、粉末化等)。

[0106] 图2示出例如图1A和图1B中的三维打印机的框图 and 控制系统,控制系统控制本文的机械装置、传感器和致动器并执行指令以执行本文所述的控制配置文件和处理。以示意性的形式描绘打印机以图示出例如三个指令电机116、118和120的可能结构。应当注意,该打印机可以包括打印头18、18a、18b和/或10的复合组装。

[0107] 如图2所示,三维打印机3001(也代表打印机1000和1000J)包括控制器20、纤维丝驱动器42和多个致动器116、118和120,控制器20操作地连接到任意纤维头加热器715或类似的尖端加热器,并且其中,控制器20执行致使丝驱动器42将纤维沉积至和/或压入零件中的指令。指令保存在闪存中并在RAM(未示出,可以嵌入控制器20)中被执行。如本文所述,用于涂覆喷涂层的(包括喷涂脱模粉末)致动器114也可以连接到控制器20。除了纤维驱动器42之外,(例如对于头18、18a和/或18b的各者至多一个)各自的丝供给1830也可以被控制器20控制,以供应一个以上的挤出型打印头18、18a、18b、1800。选择性地安装在复合打印头上并与其一起移动并且通过带状电缆连接到主控制器20的打印头电路板110出现某些输入和输出。熨烫唇726的温度可以由控制器20通过热敏电阻或热电偶102监控;任意配套挤出型打印头1800的加热块保持喷嘴的温度可以被相应的热敏电阻或热电偶1832测量。用于加热熨烫唇726的加热器715和用于加热相应的挤出喷嘴18、18a、18b、1802的各相应加热器1806被控制器20控制。分别用于冷却的散热风扇106和零件风扇108可以被各打印头共用,或者针对每个打印头单独设置,并且被控制器20控制。用于测量打印头组件到零件(并且因此零件的表面轮廓)的距离的测距仪15也可以被控制器20监控。可以是伺服电机、电磁阀或等同装置的切割机8致动器也可操作地连接到控制器20。用于抬起一个或任意打印头远离零件(例如为了控制滴落、刮擦或摩擦)的升降机电机也可以被控制器20控制。用于检测致动器116、118、120何时到达它们适当的行程范围的终点的限位开关112也被控制器20监控。

[0108] 如图2所示,可以包括单独的微控制器的额外接线板(additional breakout board)122给用户 提供通向控制器20的接口和连通性。802.11Wi-Fi收发器将控制器连接到局域无线网和大型互联网,并且发出和接收远程输入、命令和控制参数。触摸屏显示面板128提供用户反馈并接收来自用户的输入、命令和控制参数。闪存126和RAM130储存用于用户界面微控制器以及控制器20的程序和有效指令。

[0109] 图3说明示出通过图40的图1中打印机1000的打印操作的流程图。作为耦合功能,图3描述了如在CFF专利申请中的可以交替执行并组合使用共装型FFF挤出头18、18a和/或18b和/或纤维增强丝打印头的控制例行程序。

[0110] 在图3中,打印开始时,控制器20在步骤S10中判定要打印的下一个分段是否是纤维段,并且如果是要打印的纤维丝段则处理前进至S12,并且如果是包括例如基底(例如筏形或收缩/致密化连接平台)、填料(例如挤出或喷射粘合的模型材料、脱模材料或占位材料)或涂层(例如被喷雾或喷射的脱模材料)的其它段则处理前进至S14。在步骤S12和S14中的一个或两个已经完成分段之后,图3的步骤在S16中检查切片完成情况,并且如果分段仍

保持在切片内,则在步骤S18中自增至下一个计划的分段并继续纤维分段和/或非纤维分段的判定和打印。类似地,在步骤S16切片完成之后,如果在步骤S20中剩有切片,则在步骤S22中程序自增至下一个计划的切片并继续纤维分段和/或非纤维分段的判定和打印。本文所用的“分段(segment)”对应于“工具路径(toolpath)”和“轨迹(trajjectory)”,并且表示具有起点和终点的可以是开放的或闭合的线性行、路径或排、线、环线、曲线、直线等。在打印头开始材料的连续沉积时分段开始,在打印头停止沉积时分段结束。“切片(slice)”是在3D打印机中要打印的单层、单壳体或单板,并且切片可以包括一个分段、多个分段、单元的网格填料、不同材料和/或嵌入纤维的丝分段与纯聚合物分段的组合物。“零件(part)”包括用于构建零件的多个切片。支撑结构和平台也包括多个切片。图3的控制程序允许由包括复合打印头18、18a、18b和/或10的一个、两个或多个(例如四个)不同打印头进行双模式打印。例如,在步骤S10中的判定可以是继续进行除了步骤S12、S14之外的不同材料打印程序的“范例(case)”结构。

[0111] 上述的所有打印结构可以如本文所述地在打印过程期间嵌入打印物品内,所述打印结构明确地包括任何类型(稀疏、致密、同心、准各向同性或其他)的增强纤维结构以及填充材料(例如,包括模型材料和脱模材料)或普通树脂结构。此外,在讨论的与零件中嵌入有关的所有情况中,由填料材料头18、18a、18b使用热敏塑料挤出沉积打印的结构在各情况下可以被可溶材料(例如可溶热敏塑料或盐)代替以形成可溶预制件,所述预制件可以形成用于零件打印并随后移除的打印基材。本文所讨论的所有连续纤维结构,例如夹层板、壳体、壁、孔或特征周围的加固等,可以是连续纤维增强零件的一部分。因此,参照图1到图40的本文所述的3D打印机可以沉积填料材料(例如含有金属、陶瓷和/或纤维的可脱粘基体的复合材料)、可溶(例如,“可溶”在一些情况下也包括通过加热、热解或催化过程可脱粘)材料或连续纤维。

[0112] 适合打印的有商业价值的金属包括铝、钛和/或不锈钢以及在高温和低温下均抵抗氧化的其他金属(例如非晶态金属、玻璃状金属或金属玻璃)。后处理的一种形式是烧结。通过浇铸或如本文所述3D打印模型材料,可以由包括一种或多种粘合剂以及(均匀或优选地分散的颗粒或球体尺寸的)粉末化或球化金属或陶瓷的合适的材料形成坯体(green body)。褐色坯体(brown body)可以通过移除一个或多个粘合剂(例如使用溶剂、催化、热解)由坯体形成。褐色坯体可以保持它的形状并且由于剩余粘合剂的重熔而比坯体更抗冲击。在其他情况下,褐色坯体可以保持它的形状但相对比较脆弱。当褐色坯体在高温和/或高压下烧结时,剩余的或第二级粘合剂可以被热解掉,并且褐色坯体在其烧结时大致均匀地收缩。烧结可以在惰性气体、还原气体、反应气体或真空中进行。热(以及可选的)压力的施加通过至少扩散接合和/或原子扩散消除了金属或陶瓷珠之间的以及内部的内部孔隙、空隙和微孔。与模型材料相同或不同的支撑材料支撑被打印的、被后处理的或被烧结的零件抵抗打印自身的沉积力(例如坯体支架)和/或抵抗重力(例如坯体支架或烧结支架),尤其是对于无支撑的直线或小角度跨距或悬臂。

[0113] 能够抵抗例如挤出的向下应力并且在空间内定位沉积珠或沉积的支撑结构有助于打印零件。如本文所述,脱模层包括例如陶瓷等更高熔点或烧结温度的粉末化材料,选择性地沉积在模型材料中或隔着类似的(主要的)基体成分沉积至模型材料。在脱模层之下,使用相同(金属)材料用作零件,以促进相同的压实/致密化。这通常意味着零件和支架将均

匀的收缩,保持零件的总尺寸精度。在烧结支架的底部,也可以打印脱模层。此外,烧结支撑结构可以是具有脱模层的多个被打印部,使得最终的烧结支撑结构在可选择的存在机械或其它振荡的情况下易于碎成小的子部分以易于移除。这样,能够通过小很多的孔从内部空腔移除大的支撑结构。额外地或替代地,支撑的另一方法是打印在脱粘处理中被移除的可溶支撑材料。针对催化脱粘,这可以是缩醛树脂(POM)材料。促进均匀收缩的一种方法是打印陶瓷脱模层作为零件中的最底层。在滑动脱模层(类同于微型滚珠轴承)顶部,可以打印例如筏形体等金属薄片,所述金属薄片将与零件均匀地收缩,并且提供“收缩平台”或“致密化连接平台”以在收缩或致密化过程期间将零件和相关支架保持在相对位置。可选择地,例如附接点等U形钉或钉子连接和互连被打印的模型材料部分。

[0114] 如一个示例所述,坯体支架可以由热塑的(thermal)、可溶的、热解或催化反应的材料(例如聚合物或聚合物混合物)打印,并且在移除坯体支架时只留下可移除的副产品(气体或溶解物)。在另一实施例中,坯体支架可以选择地由热塑的、可溶的、热解或催化可脱粘的复合材料(例如包括聚甲醛——POM/缩醛)的催化剂)和高熔点金属(例如钼)或陶瓷球打印,并且脱粘时留下粉末。坯体支架可以形成为在脱粘之前或之后机械地或化学地或热可移除的,但是优选地,也由热塑的、可溶的、热解或催化反应的材料制造,并且可以在脱粘阶段被完全移除(或之后立即进行例如随后的粉末清洗,以去除剩余粉末)。在一些情况下,坯体支架被不同的化学处理/热处理由脱粘、在脱粘之前或在脱粘之后移除。

[0115] 包括POM或缩醛的示例性催化可脱粘复合材料是两阶段脱粘材料的一个示例。在一些情况下,在两阶段脱粘材料中,在第一阶段移除第一材料,留下在脱粘期间用作空气通道的互连空隙。第一材料可以被熔出(例如蜡)、被催化移除(例如在催化剂表面反应中直接转化为气体)或被溶解(在溶剂中)。不响应于第一材料处理的例如聚乙烯的第二阶段粘剂以网格状和多孔形式保留,还保持待烧结的3D打印对象的形状(例如,在金属或陶瓷球已经加热到足够的温度以开始烧结原子扩散之前)。这产生包括或附接至烧结支架的褐色零件。当零件在高热下烧结时,第二阶段粘剂可以被热解并以气体形式逐步地移除。

[0116] 图4到图7以示意性的形式示出相关过程、结构、材料和系统的额外解释。如图4到7所示,适合于处理的沉积阶段的3D打印机可以包括一个、两个、三个或更多的用于沉积模型材料和支架的沉积头18、18a、18b(以及例如未在图4到图7示出的连续复合材料沉积头10)。如图4所示,模型材料沉积头18沉积包括金属或陶瓷球化粉末的复合材料,以及可熔粘合聚合物或粘合聚合物基体、蜡和/或其他实用成分。在模型材料沉积头18中,处理可以使用低直径丝(例如1-4mm)作为材料供应并提供挤出背压。在这种情况下,提供给头18的模型材料挤出丝可以是不易弯曲的,但是在供应时相当柔韧的(例如0.1-3.0GPa的弯曲模量),并且在流态化时相当粘稠的(例如100-10,000Pa.s的熔融或动态粘度,优选地300-1000Pa.s的熔融或动态粘度),以便在跨间隙或跨距打印时,甚至在下方缺少坯体支架或烧结(即收缩或致密化连接)支架时支撑桥接。

[0117] 在图4所示的3D打印机1000和示例性零件14中,分离或脱模材料沉积头18-S(或18a)和坯体支撑材料沉积头18-G(或18b,坯体支撑材料也是或者替代地是占位材料)可以被额外地支撑,以相对于包含参照图1到图3所讨论的被打印零件P1在至少三个相对自由度上移动。如本文所述,分离材料在一些情况下可以用作坯体支架,因此可替代地,如图6所示,只有一个头18-SG可以既沉积坯体支撑材料又沉积分离材料。如图4所示,从底部到顶部

(在这种情况下,3D打印从底部往上执行),在这些示例性过程中,被打印的第一层是由例如分离材料沉积头18-S(或18-G)打印的筏形分离层或滑动脱模层SL1。如本文所述,分离材料可以是类似于模型材料的粘结材料,但是例如具有不会在模型材料的烧结温度下烧结、熔化或以其他方式一起硬化的陶瓷或其他球形粉末填料(例如颗粒)。因此,可以由溶剂、催化、热解使分离材料的粘合材料完全移除,留下可分散和/或可移除的粉末(例如,在烧结之后,分离材料的粉末甚至在烧结处理之后仍保持未被烧结)。本文中“分离”和“脱模”通常可互换地使用。

[0118] 图5A到5D示出为了讨论打印和其它处理步骤而从图4选择的截面。应当注意,图不一定按比例缩放。特别地,为清楚地解释,非常小的间隙或材料填充间隙(例如分离或脱模层)或组件(例如,为了卡扣移除的突起)可以按夸张的比例显示。此外,也应当注意,在一些情况下,图示了实心体以简化解释,但是本文中实心体的内部结构可以3D打印有多孔的、网状的或中空填充的图案(例如,蜂窝),并且/或者可以包括如CFF专利申请所述的切断的、短的、长的或连续的纤维增强。

[0119] 如图4和图5A所示,在一些情况下在脱粘之前,或者在一些情况下在(例如,便携式)打印床16自身仍然通过脱粘处理附接的情况下(图7所示的示例中),在选择性地可移除和可运输的、选择性地陶瓷打印床16之上,通过分离材料头18-S打印筏形分离层SL1,以允许在其上打印的筏形或收缩平台或致密化连接平台RA1与打印床16轻易地分离。

[0120] 如图4和图5B所示,在打印筏形分离层SL1之后,打印模型材料(例如金属轴承复合材料)的筏形或收缩平台或致密化连接平台RA1。例如为了提供在零件和它的支架之间的连续模型材料基础或材料互连,打印筏形或收缩平台RA1,使得烧结期间的物质运输和收缩/致密化过程例如围绕一个公共的质心或质量中心均匀地进行,例如“致密化连接”。筏形件RA1可以用于其他目的,例如提高早期粘结、清除挤出路径或供应路径中的环境危害的(例如,潮湿的、氧化的)材料或将打印喷嘴或其他路径元件(例如辊筒)调节到打印状态等。注意,可以使用两大类支架:坯体支架GS1、GS2(在打印过程中支撑被打印的零件,但是在烧结之前或烧结期间被移除)和烧结(例如收缩或致密化连接)支架SS1、SH1、RA1(在烧结处理期间支撑被烧结的零件)。坯体支架GS2也可以用于“占位”内部体积,零件自身的形状的孔或空腔或者内部蜂窝状空腔。一些支架可以用于两种角色。如图4和图5B所示,整个打印的上部将会受益于坯体支架,坯体支架GS1的下层可以被打印在打印床16上,或者如图4和图5B所示,被打印在分离层SL1和/或筏形或收缩平台RA1上。

[0121] 如图4和图5C所示,随后,筏形或收缩平台RA1可以连续地直到或连接到周围或侧壳体支撑结构SH1(邻接地或隔着分模线PL和/或物理分离结构,例如被挤捏的和/或细腰的和/或穿孔的或其它的可以弯曲以脱离出的被弱化的横截面)。此外,可以在筏形件RA1和壳体SH1之间打印分离结构(在这种情况下,模型材料突起P1以及可选的干预分离层SL2),以使能够在烧结之后移除筏形件RA1和壳体SH1。本文所述的面朝垂直、水平或其它方向的突起P1可以被形成为被急剧或脉冲冲击折断,例如具有小于1/2mm的接触表面横截面。坯体支架GS1的打印持续向上,在这种情况下设置打印支架以被打印为选择性地成角度(例如偏离垂直方向10-45度)的、稀疏的和/或分叉的烧结(例如收缩或致密化连接)支架SS1,从而随后提供用于悬垂或悬臂的部分OH1的烧结支架,以及构建用于打印支撑相同的悬垂或悬臂部分OH1的坯体支架GS1。本文中所用的“打印支架”可以表示在打印期间抵抗打印背压或重

力的支架,而“烧结支架”可以表示在烧结期间抵抗重力的支架、抵抗其它外部/内部应力的支架,以及或可替代地,表示提供促进均匀地分布的物质传输和/或原子扩散的互连。尽管图4示出悬挂或悬臂部分OH1,但是位于两个相对侧的与部件P1相连的无支撑跨度也可受益于上述支架。

[0122] 如图4和图5D所示,周围壳体支撑结构SH1连续地向上按层打印,并且选择性地通过例如连接到壳体支撑结构SH1的模型材料的突起P1和/或分离分离层材料SL2的材料垂直地或斜地互连到零件14。分模线和分离结构类似地垂直延续,保持如下平面:它们将沿着所述平面被移除。在零件P1中的内部体积V1(在这种情况下是圆柱形体积V1)打印有坯体支架GB2,如果模型材料在打印期间足够粘稠或保形,则3D打印过程可以桥接间隙或斜堆叠,并且具有斜墙和拱形墙的内部体积可以不需要烧结支架。可替代地,内部体积V1打印有烧结支架,或者坯体支架GB#和烧结支架SS#(例如,如同悬垂部OH1之下打印有支架SS1)的组合。内部体积V1打印有通到零件外部的通道,以使支撑材料能够被热传递或者用作溶剂或催化剂的流体或气体移除、清除或更容易地接近。坯体支架GS1和分支烧结支架SS1类似地连续,从而随后提供用于悬垂或悬臂部分OH1的烧结支架,以及构建用于相同的悬垂和悬臂部分OH1的打印支架的坯体支架GS1。

[0123] 如图4和图5D所示,悬垂或悬臂部分OH1可以被烧结支架SS1以一定角度支撑,只要烧结支架SS1在打印过程中例如当其以轻微的偏移(产生角度)堆叠起来的各层的形式而被打印时被模型材料的固有刚度、粘度或其它特性自我支撑,或者可替代地或额外地,凭借由例如坯体支架GS1提供的横向和垂直支架支撑。烧结支架SS1也必须坚固以在烧结处理中与零件14保持为一个整体或支撑零件14。可替代地,图5C和图5D所示的烧结支架SS1中的任何一个可以是垂直柱或被由模型材料沉积的柱状烧结支撑包裹结构包裹。

[0124] 最后,如图4所示,打印完成零件14、支撑壳体结构SH1、烧结(例如收缩或致密化连接)支架SS1和坯体支架GS1、GS2的剩余部分。在打印时,零件14的需要打印或烧结支架的基本上所有的部分在垂直方向上通过坯体支架GS1、GS2、烧结(例如收缩或致密化连接)支架SS1、筏形件RA1、分离层SL1和/或SL2而被支撑。自支撑的零件14的部分或零件14内的结构(由于例如,模型复合材料的材料特效,或提供支撑的外部体和/或在移除支架、脱粘和/或烧结期间足够坚硬的那些物体)不需要被支撑以抵抗重力。此外,支撑结构SS1、筏形件RA1和/或壳体结构SH1以倾向于在烧结期间关于相同的质心或质量中心收缩或者至少保持相对于零件14的邻近部分的相对局部尺寸的方式与模型材料互连至零件14。相应地,在烧结过程的大约12-24%(例如20%)均匀收缩或致密化期间,这些支撑结构与零件14一起收缩或致密化,并且持续地提供抵抗重力的支撑。

[0125] 图6示出图4的3D打印机、打印方法、部件结构和材料的变形例。在图6中,没有设置单独的坯体支架沉积头18c(或18-G)。相应地,坯体支架GS1、GS2和分离层SL1、SL2由相同材料形成,例如用作分离层的复合材料,其中,陶瓷或高温金属颗粒或球分布在例如一阶或两阶可脱粘基体内。在这种情况下,坯体支架GS1、GS2不需要在脱粘期间或脱粘之前或在单独的处理中移除,而是在脱粘期间被简单地弱化,如同分离层一样,使它们的剩余聚合物材料在烧结期间被热解。剩余的陶瓷粉末能够在烧结之后与分离层同时地被清除和/或被移除。

[0126] 图7示出处理的总示意图。图7中的组件对应于图4中标有相同标记的组件,但是在图7中不标出以便可以示出不同步骤。起始地,在3D打印阶段,如前所述地,零件14与它的坯

体支架GS、烧结支架SS和分离层SL(如图4描述并示出)一起在3D打印机中被打印。包括所有这些支撑结构(例如坯体组装体GBA)并且选择性地仍然与陶瓷的或其它材料打印床16粘接或连接的坯体被运输到脱粘室(可选择地,脱粘室集成在3D打印机1000内,或反之)。注意,如果坯体支架由除了第一阶段脱粘材料之外的不同聚合物、粘结剂或物质制造,则单独的处理可以在脱粘之前移除坯体支架。如果坯体支架由与第一阶段脱粘剂材料相同或类似的物质制造,或者由通过分解或分散响应于相同的脱粘过程的物质制造,则坯体支架可以在脱粘过程期间被移除。因而,如图7所示,脱粘包括使用热过程、溶剂过程、催化过程或这些的结合从模型材料中移除第一粘结剂成分,剩下多孔的褐色坯体结构(“脱粘”),并且可以选择性地包括溶解、熔化和/或催化掉坯体支架(“支架移除1”)。

[0127] 继续图7,如图所示,褐色坯体(例如具有附接的烧结支架和/或周围壳体的褐色坯体组合件BBA)被传输到烧结室或烧结炉(可选择地与打印机和/或脱粘室结合)。例如如同褐色坯体组合件BBA的褐色坯体包括零件、选择性的周围壳体结构和选择性的烧结支架。注意,周围壳体结构和烧结(例如收缩或致密化连接)支架是烧结支撑结构的不同方面。选择性地,介于壳体结构和/或烧结支架之间的是由例如分离材料形成的分离层。选择性地,介于壳体结构和/或烧结支架之间的是将这些与零件互连的由模型材料形成的突起或隆起。选择性地,相同或类似的分离材料介于褐色坯体(例如,如同褐色坯体组合件)与打印床之间。在烧结期间,褐色坯体(例如,如同褐色坯体组合件)均匀地收缩大约12-24%(例如20%),通过原子扩散封闭褐色坯体(例如,如同褐色坯体组合件)内的内部多孔结构。模型材料的第二阶段脱粘成分可以在烧结期间热解(例如,包括借助于气体或其它可流动形式的催化或其它反应剂)。

[0128] 如图7所示,烧结后坯体(例如,烧结后坯体组合件)能够从烧结炉中移除。沿着分模线和/或沿着分离层和/或通过折断或弯曲或对突出的连接点、钉或其他特定地机械脆弱的结构施加冲击,能够使支撑壳体结构和烧结支架分离或破裂。分离层被粉末化并易于移除。如果坯体支架由分离材料形成,则坯体支架被类似地粉末化并可以易于移除。

[0129] 图8示出如图4或图6打印的零件的变型例。图8所示的零件包括四个悬垂或悬臂部分0H2-0H5。悬垂部0H2是在悬臂式的、更薄的悬垂部0H3之下的更低、更厚的悬垂部。虽然更低的悬垂部0H2在一些情况下可有在没有烧结支架或者甚至没有坯体支架的情况下被打印为自支撑悬臂时,但是悬垂部0H2位于长的悬臂式悬垂部0H3之下且悬垂部0H3足够的长、薄并且重,既需要坯体支架也需要烧结支架。悬垂部0H4是向下倾斜的悬垂部,其通常必须至少打印有坯体支架(因为否则它的最低部分在打印期间将不受支撑,即在自由空间内),并且其以在没有绘制线或分模线的情况下难以移除在下方打印的烧结支架(因为刚性烧结支架将被锁定)的形式打印。悬垂部0H5是包括模型材料的重块的悬臂,它既需要坯体支架也需要烧结支架。此外,图8所示的零件包括内部(例如圆柱形)体积V2,任何必需的烧结支架都必须经由小通道从该内部体积中移除。为了参考,图8的零件14的3D形状在图12和图13中示出。

[0130] 如图8所示,与图4和图6的烧结支架SS1相反,支撑悬垂部0H2和0H3的烧结(例如,收缩或致密化连接)支架SS2可以形成为包括薄壁状的垂直构件。这些垂直构件形成垂直通道,这些垂直通道如本文所述地可以允许用于脱粘的流体流动。烧结支架SS2的垂直构件可以是独立的(例如,垂直杆或垂直板)或互锁的(例如,手风琴或网状结构)。如图8所示,烧结

支架SS2(或者其实是图4和图6的烧结支架SS1,或者图8的烧结支架SS3、SS4和SS5)可以被直接钉缝至(例如,“钉缝”可以是在模型材料中连续打印,但具有相对小的横截面积)筏形件RA2、零件14a和/或被钉缝至彼此。反之,烧结支架SS2可以未被钉缝地在分离层之上、分离层之下或分离层旁边打印。如图所示,烧结支架SS2可从零件14a的正交凹表面移除。

[0131] 此外,如图8所示,在向下倾斜的悬垂部OH4之下以及更重的悬垂部OH5之下打印有类似的烧结(例如,收缩或致密化连接)支架SS3。为了可以容易地移除这些支架SS3,它们中的一些或全部被打印有分模线PL,分模线PL是由分离材料形成的和/或由机械脆弱分离结构(例如,如本文所述地打印有几乎或几乎不相邻的间隙,或打印有细腰的、被夹捏的或穿孔的横截面等等)形成的,或者是这些的组合(或者,选择性地,如果单独打印,则是这些的一者或两者与具有少量或没有陶瓷或金属含量的坯体支撑材料的组合)。促进烧结支架的移除的这些材料或机械分离结构可以类似地打印成图4到图7、图9以及之后的所有图中所示的各种烧结支架。

[0132] 此外,如图8所示,烧结(例如,收缩或致密化连接)支架SS5在内部体积V2内打印。烧结支架SS5分别设置有多条分模线,例如,打印成多个可分离区段,使得烧结支架在这种情况下能够破碎或分离成足够小的能够容易地经由连接内部体积V2的通道移除的部分。如图所示,作为在打印和烧结期间刚度足以保持其形状的小直径孔的示例,通道CH2自身未打印有内部支架。当然,可以在通道CH2中打印一种或两种类型支架,以确保保持形状。

[0133] 图9基本上类似于图8,但是示出结构上的一些变体。示出了具有增强或没有增强情况的打印的变化,例如,虽然图9示出本文的增强结构CSP1,图9的实心体、支架和分离层中剩余的变体结构选择性地用于图8以及之后的非增强结构。例如,在悬垂部OH3之下,整体式的形状配合的壳体SH3由模型材料打印,通过脱模或分离层SL2和/或突起P1中的一者与零件14分离。整体式壳体SH3各处具有小的开放单元孔以减小重量、节约材料并提高用于脱粘的气体或液体的渗透或扩散。如本文所述,开放单元孔可以选择性地连接到例如用于脱粘流体渗透和排空的入口通道和/或分配通道,图25到图31的任何结构可以形成开放单元孔、由开放单元孔形成,或者与开放单元孔结合。如果足够的分模线或脱模层打印至壳体SH3中,则该壳体SH3可以环绕零件14(例如,代替布置在图纸左侧的结构SH4和SH5,将布置类似的结构),并且如果在接下来足以形成,则作为工件夹持件。

[0134] 在图9的另一个示例中,整体式(例如,横向)支撑(例如,收缩或致密化连接)壳体SH4与筏形件RA2打印为一体,但是具有与筏形件成一定角度的分模线并且允许移除支撑壳体SH4。在图9所示的另一个示例中,支撑壳体SH4向上成角度地打印(以节约材料)并且具有大壳体或蜂窝内部以减轻重量、节约材料和/或提高用于脱粘的气体或液体的渗透或扩散。图9还示出例如通过连续纤维头10沉积的连续纤维层的示例。夹层板增强层CSP1被定位在多个层处,例如,在悬垂部OH2、OH3和OH5的上限与下限之内。

[0135] 如图4到图9所示,烧结支架SS1、SS2、SS3可以形成为至少具有一些介入脱模层材料的块或区段,使得在移除期间分离。在这些图以及后续图中的任意一者中,支架可以被钉缝或不被钉缝。“未钉缝的”烧结支架可以由模型材料,即,与零件相同的复合材料形成,但是通过例如具有相同或类似的粘合材料的高温复合材料的脱模层与要打印的零件分离。例如,针对大多数金属打印,脱模层可以由具有相同的粘合蜡、聚合物或其他材料的高温陶瓷复合材料形成。脱模层可以非常薄,例如一层3D打印层那么薄。当烧结金属时,由于温度不

足以烧结或扩散键合陶瓷材料,已经移除第一阶段粘合剂的脱模层基本上粉末化。这使得未钉缝的烧结支架能够在烧结之后轻易地被移除。

[0136] 相反,“钉缝的”烧结支架可以类似地由模型材料形成,即,与零件相同的复合材料形成,但是可以通过渗透脱模层或不设置脱模层而连接到零件。钉缝的烧结支架通过薄连接与零件连续地打印,即,至少“钉缝”至零件。替代地或额外地,钉缝的烧结支架可以被打印为与在零件下方的筏形件连续,该筏形件用模型材料将零件与支架互连。筏形件可以通过一层或多层脱模层材料与3D打印机的打印床分离。

[0137] 钉缝和未钉缝的烧结支架的作用是提供足以抵抗重力的支撑点,以避免或在一些情况下修复由于重力而导致的桥接、跨越或悬垂部件材料的下陷或弯曲。未钉缝和钉缝的烧结支架都是有用的。褐色坯体在烧结过程中可以通过原子扩散而收缩,例如,关于质量中心或零件质心均匀地收缩。在金属烧结和一些陶瓷中,这通常至少部分地是固态原子扩散。虽然可能在一些情况中在许多互连的金属/陶瓷球中基于扩散的物质传递没有传递足够的材料从而例如保持用于连接大物体的非常薄的桥,但是这并不适用于可以连续地形成只在一端被连接而作为一端桥(或在两端被连接而作为两端桥;或在整个长度上被互连)的支架。

[0138] 在钉缝住的烧结支架被钉缝到或连接到或联结到其上打印零件的模型材料筏形件或收缩平台或致密化连接平台的情况下,在钉缝住的烧结支架和筏形件之中的模型材料的互连能够布置为使筏形支架相连体的质心在空间中处于或靠近零件的质心,使得零件和与零件相连的筏形支架均在烧结期间均匀收缩并且没有使支架相对零件过度移动的相对移动。在其他情况下,零件自身也可以被钉缝到模型材料筏形件,使得整个相连体关于公共质心收缩。在其他变型例中,零件通过在两端被钉缝(例如,钉缝到筏形件并且钉缝至零件)的被钉缝的烧结支架并且/或者沿着它们的(例如,到零件和/或到彼此)长度而互连至筏形件。

[0139] 在其他情况下,未钉缝的烧结支架可以限制在由模型材料形成的体积内并且与筏形件和/或零件连续,使得它们可以关于它们自己的质心(或互连的质心)收缩但是在空间中不断移动并且通过周围的模型材料保持位于支撑零件的位置。例如,在图8或图9的内部体积V2的情况下,这可以是有效的。

[0140] 可替代地或额外地,例如,如图4到图9的某些情况中所示,支架或支撑结构或壳体可以由模型材料在相对于重力的横向方向上在形成零件之后形成。模型材料壳体可以被打印为钉缝至基底筏形件(该平台可以被钉缝到零件)。它们可以与基底筏形件一体地打印,但是能够与基底筏形件分离。基底筏形件能够与模型材料壳体一起分离。这些支撑结构可以偏离或基本上符合零件的横向外轮廓,或者可以由原始形状(直壁或曲壁)形成但是接近零件。在一个变型例中,支撑结构可以在所有侧上包裹零件(在许多情况下,包括分模线和/或分离结构以允许移除壳体)。这些偏离的支撑结构可以由分离层或多层分离材料(可选地,将会传输机械支撑但是不难于分离的陶瓷或其他材料)打印。

[0141] 本文所述的任何支撑结构,例如,钉缝或未钉缝的烧结支架和/或支撑壳体,可以在零件和支撑结构(均由模型材料形成)之间打印有分离间隙或间隔(例如,5至100微米),以作为干预分离材料的替代或补充。以这种方式,支撑结构的单独的颗粒或球体可以在烧结期间间歇性地接触零件,但是由于大多数位置都保留了分离间隙或间隔,所以支撑结构

没有打印有与零件紧凑紧密的支架。如果接合扩散发生在间歇接触的颗粒处,在烧结之后移除分离间隙支撑结构所需的分离力可以“突然消失”或“快速消失”,并且在任何情况下均远低于零件的整体或连续延伸。更大的分离间隙或间隔(例如,200至300微米)可以允许渗透和/或排出脱粘流体。

[0142] 可替代地,位于零件与支撑结构之间的分离间隔或间隙可以放置在遵循轮廓的局部区段中,支撑结构的一些剩余部分更紧密地或更远离地或两者兼有地跟随零件的侧向轮廓。例如,支撑结构可以针对大多数支撑结构打印有小的分离间隔(5至100微米),但是可以具有为了在烧结期间提供增大的刚性和支撑而更靠近零件(例如,1至20微米)地局部大致跟随上述轮廓打印的其它部分,为了能够移除,所述其它部分通常位于一组有限的接触区域(例如,小于5%的接触区域)内。这也可以以大间隙和中等间隙(例如,用于更大的间隙支撑结构的100至300微米分离,选择性地具有分离材料介入,以及用于更紧密跟随支撑结构的5至100微米)实现。此外,这也可以以三个或更多等级(例如,在跟随零件的轮廓的支撑结构的不同部分中的100至300微米间距、5至100微米间距和1至20微米间距)实现。

[0143] 可选择地,烧结支撑结构可以包括具有通常与例如横向零件轮廓偏离较大(例如,5至300微米)间隙或间隔的内表面的跟随壳体,但是将具有延伸入所述间隔或间隙中并被小间隙(例如,1至20微米)分离的或者延伸穿过间隔或间隔的突起或凸起脊,以能够实现由相同(或相似)的模型材料形成的零件与支架之间的小的点接触。点接触相比于例如跟随轮廓壳体的紧凑紧密接触在烧结之后更易于破碎。可选择地,简洁基体(例如,由一种或多种粘合剂成分形成的坯体支架)支撑结构可以被打印在模型材料(例如,金属)零件与模型材料(例如,金属)支撑结构之间,以在坯体状态和褐色状态期间保持零件的形状和结构完整性,减少处理过程中破裂或破坏的几率。

[0144] 一些附图以侧视图、剖视图示出,而图10示出了图4的烧结体结构的俯视图,图11示出为了说明的变型例。如图所示,支撑壳体或其他结构可以打印有位于支撑结构的各部分之间的分离线或分模线或分离层。分离或分模线或层可以是本文所述的任意分离结构,包括在零件和支撑结构之间说明的那些结构。例如,允许支撑壳体分裂为两部分或更多部分(可选择地,许多部分)的分离线或分离层可以由分离材料(例如,陶瓷和粘结剂)、粘结材料、具有分离间隙(例如1至20微米、5至100微米或50至300微米)和/或允许脱离结构的突起或突脊的模型材料(例如金属)形成。例如,支撑结构或壳体可以形成为分成两半(例如,如图10所示),在支撑结构或壳体中形成分模线。分模线可选择地打印为在与支撑壳体结构相交(例如,平分支撑壳体结构)的平面内相连,使得允许准备好分离。分模线的多个平面可以与支撑壳体结构相交。在本文中,“分模线”、“分模表面”和“分模平面”的使用类似于注塑成型的背景——通常由于类似的原因,一个结构沿着所述平面与另一个结构分离——允许在不干扰零件或在零件中无滞留的情况下移除环绕零件的结构。当注塑成型的背景中这些术语指的是沿其将模具对半分开的平面的情况下,在本发明中术语“分模”线、表面或结构指的是如下的平面:支撑或包围零件的支撑结构可以沿着该平面彼此断裂或分隔或分离。

[0145] 在如上所述的复杂几何形状的情况下,如图11所示,支撑结构可以打印有分模线,被分成多个小的子部分(例如,如图11的PL-1,类似橙色切片,或者在正交轴中进一步地切片使得他们能够易于移除)。例如,如果支撑结构被打印为填充在零件的燕尾榫中,则支撑结构能够形成三部分,例如,能够被设计为三部分,使得中心部分具有拔模斜度(draft)或

是矩形的,并且能够易于移除,因此释放两个侧部分以向内滑动并且随后被移除。相反地,分模线可以被打印为是互锁的(例如,图11中PL-3)、锯齿状的或被形成为箱型接合(例如,类似于图11中PL-3),以此在除了横向方向之外的一些情况下抵抗分离。分模线可以打印为几乎完全切穿支撑壳体(例如,图11中PL-2)。注意,图11示出没有突起P1,只具有在垂直方向上的分离层SL2和大型整体环绕支撑壳体SH。

[0146] 在一些情况下,特别是在少量的分模线(例如,二等分、三等分、四等分)的情况下,支撑结构至少因为它们形状跟随结构而可以被保留以在后续用作例如软卡爪等工件夹具,以用于在二次操作(诸如机加工)中保持烧结的零件。例如,如果支撑结构将支撑大体上球形的零件,则支撑结构适合稍后用作工件夹爪或软卡爪,该结构应该从所有侧保持零件,并且因此延伸超过球体的中心或中间点。为了烧结并且抵抗重力地进行支撑,支撑结构不需要延伸超过中间点(或延伸至中间点前方一点),但是为了随后用于检查和后处理的工件夹持,支撑结构要继续越过中间点(例如,直到零件高度的2/3,并且在一些情况下超出零件),从而能够实现例如虎钳中的正夹持。

[0147] 此外,在虎钳(或其他夹持器)中保持工件夹具或软卡爪的附接特征可以为了后处理而被添加至支撑结构,例如通过用于附接到虎钳的孔或燕尾榫等。可替代地或额外地,陶瓷支架可以被打印并烧结以用作用于许多3D打印零件的烧结步骤的可重复使用的支架。在这种情况下,可重复使用支架的向上接触表面可以打印为收缩至与被支撑的零件的配合表面或接触表面相同的高度。

[0148] 如本文所述,用于形成零件和/或烧结支架的原材料可以包括大约50%-70%(优选地大约60%-65%)体积分数的二级基体材料(例如,10-50微米直径大小的(陶瓷或金属的)基本上呈球形的珠子或粉末)、大约20%-30%(优选地大约25%)体积分数的可溶或可催化粘合剂(优选地在室温下呈固态),大约5%-10%(优选地大约7%-9%)体积分数的可热解粘合剂或初级基体材料(优选地在室温下呈固态),以及大约0.1%-15%(优选地大约5%-10%)体积分数的碳纤维束,涂有金属的各纤维束在烧结温度下或低于烧结温度下不与碳反应(例如,镍、钛硼化物)。如本文所述,“初级基体”是聚合物粘合剂并且通过3D打印机沉积,保持“二级基体”珠或球以及纤维填料;并且在烧结之后,珠或球的(陶瓷或金属)材料变成保持纤维填料的基体。

[0149] 可替代地,用于形成零件和/或烧结支架的原材料可以包括大约50%-70%(优选地大约60%-65%)体积分数的二级基体材料(例如,10-50微米直径大小的(陶瓷或金属的)基本呈球形的珠子或粉末)、大约20%-30%(优选地大约25%)体积分数的可溶或可催化粘合剂(优选地在室温下呈固态),大约5%-10%(优选地大约7%-9%)体积分数的所述(陶瓷或金属的)二级基体材料的大约1/10-1/200弹性模量的可热解粘合剂或二级基体材料,以及大约0.1%-15%(优选地大约5%-10%)体积分数的具有大约2至10倍的二级(金属或陶瓷的)基体材料的弹性模量的材料的颗粒或纤维填料。如本文所述,“初级基体”是聚合物粘合剂并且通过3D打印机沉积,保持“二级基体”珠或球以及纤维填料;并且在烧结之后,珠或球的(陶瓷或金属的)材料成为保持纤维填料的基体。

[0150] 与1-5GPa弹性模量的聚合物/粘合剂初级基体的弹性模量的比较可以在下表中找到。

[0151]

二级 基体	弹性模量 (10^9 N/m ² , GPa)	填料	弹性模量 (10^9 N/m ² , GPa)
----------	---	----	---

[0152]

钢	180-200	碳纤维	200-600
铝	69	石墨纤维	200-600
铜	117	氮化硼	100-400
钛	110	碳化硼	450
氧化铝	215	碳化硅	450
钴	209	氧化铝	215
青铜	96-120	钻石	1220
		碳化钨	450-650
		石墨烯	1000
		碳纳米管	1000+

[0153] 球、珠或粉末(例如,颗粒)可以是一系列尺寸。粘合剂可以包括分散剂、稳定剂、增塑剂和/或分子间润滑剂添加剂。在粘合剂或聚合物初级基体内可以被3D打印机沉积的一些候选的二级基体填料组合包括:具有碳化钨涂覆的石墨(碳)纤维的的钴珠或青铜珠;具有石墨(碳)纤维的铝珠;具有氮化硼纤维的钢珠;具有碳化硼纤维的铝珠;具有镀镍碳纤维的铝珠;具有碳纤维的氧化铝珠;具有碳化硅纤维的钛珠;具有铝氧化物颗粒(和碳纤维)的铜珠;具有钻石颗粒的铜银合金珠。那些可以通过CFP专利申请的技术打印的纤维也可以嵌入作为连续纤维。用于颗粒或纤维的碳形式包括碳纳米管、炭黑、短/中/长碳纤维、石墨片、片晶、石墨烯、碳洋葱、阿斯特雷涤纶弹力丝(astralene)等。

[0154] 一些可溶可热解粘合剂组合包括:聚乙二醇(PEG)和聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)(硬脂酸可选,乳液形式的PMMA可选):与滑石和/或聚乙烯(PE)混合的蜡(巴西棕榈、蜂蜡、石蜡);PEG、聚乙烯丁醛(PVB)和硬脂酸。一些可热解第二阶段粘结剂包括:聚烯烃树脂聚丙烯(PP)、高密度聚丙烯(HDPE);线性低密度聚丙烯(LLDPE)和聚甲醛共聚物(POM)。注意,在热脱粘中,含有粘合剂的零件以给定的速率在受控气氛下被加热。粘合剂通过热裂解分解成被离开炉子的气体带走的小分子。在溶剂脱粘中,含有粘结剂的零件在合适的溶剂(例如丙酮或庚烷)中溶解粘合剂。在催化脱粘中,零件与含有加速粘结剂的裂解并能够被带走的气

态催化剂的气氛接触。

[0155] 图14是在适于打印的环境条件下构造丝材料的3D打印机的示意图。当粘合剂材料包括至少聚合物材料和/或蜡时,甚至在室温(例如,20摄氏度)下和轻微升高的工作温度(例如大于20摄氏度但低于80摄氏度)下,由于打印期间的进料和背压,聚合物和/或蜡的性能可以与温度相关。随着温度的升高,刚度降低并且延展性提高。当温度升高到接近软化或玻璃化温度时,弹性模量以更高的速率变化。对于非晶态聚合物来说,弹性模量和承载能力在玻璃化温度TG-A(如图17所示)之上变得可忽略不计。对于半结晶材料来说,在玻璃化温度TG-SC(如图17所示)之上可以温和地保持少量(例如,在T_g以下弹性模量的1/3-1/10)刚度或弹性模量,继续下降至熔点。粘结剂材料(聚合物或蜡或两者)可以具有超过一种的成分以及一个以上的玻璃化温度或熔化温度,并且玻璃化温度T_g是显著软化的标志。图17示出一种可能的聚合物或蜡成分(诸如本文讨论的软化材料)的一种可能的丝轴温度范围。然而,应当注意,该曲线上的相对于一种成分的所标记的玻璃化温度TG的特定位置没有作为整体的丝的进料行为重要,丝应该从任何易碎状态被软化至足以在不断裂的情况下被从丝轴拉出或拉下,但硬得足以被挤出机进料,并且足够柔韧以在鲍登管BT1和例如线缆托架EC1内被反复地弯曲。

[0156] 在含有大于50%的金属或陶瓷球以及两阶段粘合剂的复合材料中,针对3D打印、脱粘和烧结有利的机械特性(包括熔融粘度、催化特性等)可以产生如下打印材料:具有适合或有利于处理的其他部分的特性,在室温下可以是黏土状和/或易碎的,即使在处于打印温度时(高于材料的一个或多个玻璃化温度或熔化温度)材料变得适于流化,但也适于用于3D打印的粘稠和自支撑。

[0157] 图14到图16示出用于处理在室温下易碎的材料合适结构的3D打印机被示意性地示出并且未图示的部分类似于图1到图9构造。图14和图15接收模型材料和/或脱模材料(如本文所述,可以在脱粘之后烧结的复合材料,或者,针对脱模材料,其包含在粘合剂部分在烧结期间被热解时抵抗粉末化的高温颗粒或球体)的丝轴,模型材料和/或脱模材料在高于室温但低于粘合剂材料的玻璃化温度下(例如50-55摄氏度)被缠绕为例如具有大约1.75mm直径的丝。可选择地,温度与模型材料的蜡组分的玻璃化温度或软化温度相当,但是低于聚合物组分的玻璃化温度或软化温度。如图14和图16所示,两个上丝轴包括模型材料和脱模材料,并且它们均通过加热器HT1在联合加热室(HC1)中被加热。在本示例中考虑使加热器HT1将丝轴保持在50-55摄氏度以例如具有大约1.75mm直径的丝。打印床16可以通过打印床加热器16a加热,打印床加热器16a在打印期间大致保持相似的温度(例如,50-55摄氏度),并且也帮助将打印隔层内的温度保持在高于室温的水平。小直径的丝可以被软化至足以在低温(例如,对于1mm丝,可采用40-45摄氏度)下弯曲和进料。

[0158] 每个丝轴/材料可以保持在其自身独立的室内而不是在联合室HC1内,并且每个丝轴/材料可以通过其自身的加热器而不是联合加热器HT1加热。加热器HT1可以是被动式加热器(例如辐射和对流加热器)或包括鼓风机。如图14-16所示,如果返回通道RC1允许将空气从打印隔室吸入加热室HC1,则风机式加热器可以保持加热室HC1处于相对的正压。如果除了作为入口的返回通道RC1以及驱动“挤出机”EXT1(例如,橡胶轮丝驱动系统)下游的丝出口和鲍登管BT1之外加热室HC1被充分密封,则加热室HC1内已加热的空气可以通过包绕被驱动的丝的鲍登管BT被驱动,从而当在打印期间已加热的丝通过鲍登管移动并且在一些

情况弯曲的时候保持温度处于提高的水平。至少被驱动的空气和加热打印床的加热器16a可以保持打印隔室和通过通道RC1回流的空气处于高于室温的水平(并且减少能耗)。为了保持对制鲍登管且因此其内部的丝的弯曲半径的控制,保持最低弯曲半径EC1的分段式电缆托架(例如,能量链)可以容纳鲍登管。

[0159] 图14到图16的不同之处在于丝轴的定向和丝的驱动系统。在图14中,丝轴在允许旋转的懒苏珊式支架上横向地布置,并且丝驱动装置(包括它们的例如弹性体驱动轮)布置在丝轴和鲍登管中间的方便位置处。在丝没有在加热室HC1中被软化到弹性体范围的情况下,这种中间驱动布置是合适的。在图15中,丝轴垂直地布置在旋转丝轴支架中(例如,在辊上),并且丝驱动装置或“挤出器”(包括它们的驱动轮,例如弹性体的驱动轮)直接布置在各自喷嘴18、18a中熔融室的上游。这种直接驱动布置适合于更柔软和更硬的丝。在图16中,丝轴垂直地布置在轴上,并且丝和丝驱动装置或“挤出器”(包括它们的驱动轮,例如弹性体的驱动轮)直接布置在各自喷嘴18、18a中熔融室的上游。此外,在图16中,加热室具有大体积,并且丝基本上直接下垂至移动的打印头18、18a,使得在丝的所有弯曲中具有大弯曲半径(例如,如图所示,不再有小于10cm弯曲半径的弯曲,或者例如,没有弯曲半径基本上小于丝轴半径)。鲍登管针对引至丝轴的部分高度对丝进行引导。

[0160] 在一个替代实施例中,不是在打印之后脱粘整个零件,而是在打印零件和/或支架的各层的期间或之后执行部分脱粘。如本文所述,脱粘可以通过溶剂、加热和/或施加真空蒸发或升华、催化作用或者移除或分解粘合剂的其他方法执行,在每种情况下,针对诸如烧结等后续处理移除基体材料的至少一部分。可以更有利的是,一次脱粘少于一层(例如,通过选择性地与打印头一起移动的定向的脱粘头),或者一次脱粘一层、几层或一些层(例如,通过全封闭脱粘系统或者区域即时或可扫描脱粘系统)。

[0161] 与增材或3D打印技术相反,使用脱粘的全零件成型技术必须将脱粘过程应用于完全塑形的零件。如本文所述,全零件脱粘对于增材或3D打印零件也同样有用,并且可以在增材或3D打印零件的情况下提供对于塑形零件的优点(例如,可以减轻重量和/或在打印内部蜂窝、接近通道、开放式单元和其他脱粘加速结构时加速脱粘)。

[0162] 相反,在3D打印或增材技术的情况下逐层脱粘(例如,不限制为一次一层,在打印时持续脱粘,或一次脱粘一层的一部分,或脱粘多层都有可能)可以具有独特优势。与塑造成型一样,在挤出3D打印(例如,使用轴绕或盘绕的丝、轴绕或可折叠的带或可进料的棒)的情况下,第一阶段粘合剂的目的是将可烧结粉末输送为所需形状,而第二阶段粘合剂的目的是在褐色坯体中的抵抗重力和系统力/加工力的粘接和保形。在输送之后,第一阶段粘合剂只需要被保持到对于抵抗这些力的粘接和形状保持所需或有用的时候即可。在塑造成型的情况下,这至少要保持到形成坯体零件之后,并且大多数情况下需要保持到坯体零件与模具分离之后。在3D打印的情况中,取决于脱粘系统和粘合剂材料特性,粘合剂能够在沉积之后立即被大体上移除(例如,如果剩余一些第一阶段粘合剂,和/或第二阶段粘合剂或其他组分保持结构完整性以抵抗重力和打印力/加工力)。如果保留足够的结构完整性,则脱粘头可以持续地在已经固化(或者甚至在还没有固化或冷却凝固)的沉积路径“后面”脱粘。作为另一示例,脱粘头可以独立地跟踪或扫描层的一部分、完整的一层或多层;或者打印室中的体积或块处理(例如加热、真空)可以持续地脱粘或以工作循环脱粘。在基本上逐层脱粘的所有情况下,具有一些优势。明显地,由于内部表面直接用于脱粘,所以脱粘过程加速。

类似地,在全零件处理中(例如,致密或大零件)不适于脱粘的结构也可以被脱粘。脱粘之后不需要额外的时间或运输,这是因为打印机将零件的坯体层连续地转变(连续地、逐区域地、逐层地或逐层组地)为褐色层,并且被打印的零件是褐色零件。甚至部分脱粘可以通过增加对于整个零件脱粘可用的表面面积而加速整个处理。例如,可以在打印层或层组之上进行部分脱粘清扫,暂时地将一些表面暴露给脱粘流体(气体或液体)。

[0163] 图18至图21是可以在打印每一层时或者在每一层或一组层之后进行脱粘的3D打印机的示意图。图18至图21的打印机接收模型材料和/或脱模材料的丝轴,模型材料和/或脱模材料被温度控制为当被加热至室温以上时易弯曲或者在室温下易弯曲;或者可替代地,由例如活塞式给料机等提供离散棒料。打印床16可以由打印床加热器16a加热,打印床加热器16a可以在打印期间保持有助于脱粘的温度(例如,升高,但低于模型材料的液化温度或软化温度)并且可以将打印隔间内的温度保持在高于室温的水平(为此,打印隔间也额外地或可替代地使用未图示的单独的加热器)。如图18至图21所示,在可选的腔室加热器HT2的帮助下,至少加热打印床的加热器16a可以保持打印隔间处于高于室温的水平,并且保持最小弯曲半径EC1的分段式线缆托架(例如,能量链)可以容纳鲍登管以及空气、气体、流体和/或用于排烟的真空管线。

[0164] 在一个实施例中,如图18所示,每个打印头180、180a包含至少一个打印头(用于挤出或喷涂模型材料、坯体支撑材料或烧结支撑材料)和一个烧结头DBH1(用于从打印模型材料中脱粘第一阶段粘合剂)。脱粘头DBH1的类型取决于针对第一阶段粘结剂材料的脱粘过程。例如,用于热可脱粘第一材料的脱粘头DBH1可以包括强制热风枪或辐射或红外热元件或投射仪中的一者或两者。在真空中脱粘的材料的情况下(增加粘合剂的蒸气压),整个室也可以处于真空之下(例如,借助于由真空管道VC1连接的真空泵或高真空装置);并且在特定气体(惰性或活泼)中被脱粘的材料的情况下,整个室可以通过惰性气氛端口ATM1填充这种气体。用于溶剂或催化可脱粘的第一材料的脱粘头DBH1可以包括(选择性地被保温的、加热的或回收的)溶剂或催化剂流体、气溶胶或气体的喷雾、液滴或喷射。无论哪种情况,脱粘头DBH1可以包括或增加废气或烟气收集真空泵或抽出器FE1。额外的头部或全室处理可以加速(例如,通过气流、真空或热)在脱粘步骤之后移除脱粘溶剂。

[0165] 在热枪或辐射元件的情况下,沉积的第一材料的层或路径可以被加热到200至220摄氏度以使材料脱粘。可选择地,排烟装置FE1或真空泵可以与热源同心或部分地同心,使得烟气在不依赖脱粘头DBH1的行动方向的情况下类似地被抽出。类似地,在有或没有排烟装置FE1的情况下,脱粘头DBH1可以与打印头180或180a同心,也使得脱粘可以在任何方向上“追随”或跟随打印头180或180a,并且/或者可以类似地执行在任意笛卡尔方向上的移动。可替代地,脱粘头DBH1或排烟装置FE1可以安装到打印头180或180a的一侧(在有或没有针对方向的独立铰接的情况下)并且可以安装在分离的或独立的可移动滑架上。在本文所述的每种情况下,(同心的、邻近的或主扫描的)排烟装置FE1优选地邻近脱粘头DBH1的输出(例如,喷嘴、热辐射器等),例如,与脱粘头DBH1的距离不超过0.1mm至10mm。

[0166] 替代地,如图19所示,脱粘头DBH1是安装在单独地滑架上的全宽主扫描脱粘头并且具有可选的拖曳式和/或导向式排烟装置FE1,所述滑架在子扫描中移动打印机的宽度。该主扫描脱粘头DBH1可以在一次或多次移动中脱粘一整层。主扫描脱粘头DBH1可以布置为距每层预定的和/或可调整的间隙,例如,使得它的输出(例如,热辐射器)以例如0.1至10mm

的间隙面对零件,并且可以避免可能干扰精细打印特征的吹风。

[0167] 进一步可替代地,如图20所示,脱粘头DBH1包括在脱粘头DBH1中可定向、相干或高度准直的辐射束发射器(例如,激光器),所述发射器被固定地安装在有用打印床16的视线,或固定地安装在移动至少部分地允许视线或定位在适当的焦距处的单独的滑架上;或者安装在打印头DBH1上以类似于图18地随着打印头移动。束发射器脱粘头DBH1可以在一次或多次移动中持续地、一个路径一个路径地或者整层地脱粘。束或激光器的优选的功率水平可以类似于用于塑料的SLS激光器(例如,100mW至100W)。在本文所述的图18到图21的各执行中,打印床16和/或室可以通过加热器16a和/或HT2被加热到接近脱粘温度的温度(例如,在脱粘温度以下1至10摄氏度),使得基于热或使用热的脱粘头DBH1(例如束发射器)仅需要将零件层的温度升高几度以便执行脱粘过程;或者可以通过加热器16a和/或HT2被加热到使所述层部分脱粘或连续地使当前层之下的各层脱粘的温度(例如,90至150摄氏度)。在本文所述的图18到图21的各执行中,热空气喷射、环境空气喷射或冷却空气喷射可以跟随或跟踪脱粘头DBH1以便在脱粘之后冷却层,和/或使该层返回到环境的工作温度(可能完全地或部分地升高)。

[0168] 仍然进一步可替代地,如图21所示,在完成一层后,零件可以被(例如,轻微或完全)降低至溶剂浴中(例如,可循环的、再循环的、搅拌的和/或加热的)。在这种情况下,脱粘头DBH1可以考虑溶剂浴结构;并且由于上升/下降时间,一次脱粘1-5层可能是更有效的方法。在图18到图21的每个示例中,排烟装置FE1可以移除溶解的、挥发的、雾化的、流化的、气雾化的或以其他方法被移除的粘合剂。排烟装置FE1可以连接到将收集的材料引导至冷阱CT1(例如,将挥发性的、升华的或气体状态的材料凝结成液体或固体材料)的泵并且选择性地随后在排放到适当的出口之前通过碳纤维或其他气体净化器CF1。与脱粘头DBH1分离的排烟装置FE2可以单独地从整个室中排出或移除烟雾。

[0169] 如图22所示,本发明说明了一种通过用于增材制造的装置沉积材料以形成可烧结褐色零件的方法,所述方法可以包括在步骤S40中制造筏形件RA1。随后,如本文所述,在步骤S42中,打印一层、一层的一部分或一组层,并且在步骤S44中如参照图18到图21以及本说明书中所述地对层进行脱粘。重复该过程,注意致密打印可能导致更频繁的脱粘步骤。如步骤S46中那样,当所有层均被打印和脱粘时,处理完成。方法可以包括沿着进料路径给料。装置供给第一丝,所述第一丝包括粘结剂基体和具有第一烧结温度的可烧结球化和/或粉末化的第一材料,例如模型材料。第一材料的绿色层(green layer)沉积或部分沉积,至少在一些情况下在已经脱粘的第一材料的褐色层(brown layer)之上。在其他情况下,第一材料的绿色层可以沉积在烧结支架或坯体支撑材料的层之上。随后至少一部分粘结剂基体从第一材料的绿色层或绿色层的一部分中移除,以将每层绿色层脱粘为相应的褐色层。当所有绿色层都被打印并且转变为褐色层时,零件是褐色零件并且可以在第一烧结温度下烧结零件。

[0170] 当使用烧结支架时,装置(和/或过程)可以包括沿着进料路径的第二打印头,并且装置能够供给第二丝,所述第二丝包括粘结剂基体和具有高于第一烧结温度的第二烧结温度(选择地,例如高于超过300摄氏度或超过500摄氏度)的可烧结球化和/或粉末化第二材料。装置形成可以具有比第一烧结温度高了超过300摄氏度或超过500摄氏度的第二烧结温度的第二材料(分离层材料)的层。模型材料的绿色层通过在打印床上的沉积或者(如本文

所述地预先逐层脱粘地)褐色层或分离材料的在先沉积而沉积,并且来自每层绿色层的粘合剂基体的至少一部分被脱粘从而将那一层或多层转变为相应的褐色层。分离材料的各层沉积在打印床或者第一或第二材料之上,并且第一材料的各层通过在合适的模型材料或分离材料的在先沉积之上沉积,以使得烧结支架能够随后被移除或构建分离材料。当零件的所有褐色层已经转变时,零件可以在第一烧结温度但低于第二材料烧结。装置(包括装置的额外站)使粘合剂基体的至少一部分从第一材料和第二材料的各者脱粘。装置(包括装置的额外站)随后加热由第一材料和第二材料形成的零件至第一烧结温度,因此在没有烧结和分解第二材料(分离材料)的情况下烧结第一材料,然而分离材料中的第二阶段粘合剂被热解,留下未烧结的粉末。

[0171] 在本发明中,使用经历了升华的高蒸气压第一阶段粘合剂(例如,萘)的借助真空的脱粘处理在打印互连通道的情况下是特别有效的。3D打印模型材料可以包括粘合剂和陶瓷或金属烧结材料,并且脱模层介于在零件内部的连接到支撑结构的填料单元或蜂窝结构或开放式单元与零件外部之间。如本文所述,开放式单元孔可以选择性地形成用于脱粘流体渗透和排出的接近和/或分配通道,或由用于脱粘流体渗透和排出的接近和/或分配通道形成、或被连接至用于脱粘流体渗透和排出的接近和/或分配通道。“借助真空”可以意味着在低于环境的气压下(可选地,低于0.1-5mmHg)脱粘,任意剩余气体可以是空气或惰性气体,存在或不通过脱粘头、加热打印床和/或加热打印/脱粘室而增加热量。每个通道/孔可以被确定尺寸以在真空下的脱粘期间保持打开,但全部或部分在大约20%尺寸(大约20%,可以是12-24%)减少或致密化的烧结期间关闭。在这种情况下,在使用提取溶剂之前或不使用提取溶剂的情况下,第一阶段粘合剂可以包括化学相容的固体、液体和/或膏状的高级碳氢化合物和酯粘合剂组分,所述组分特别是在减少的应力和升高的温度条件下在脱粘温度的低端具有可测量蒸汽应力(支撑结构和因此易于移除)。优选地,在粘合剂部分中这种完全的或部分的蜡替代组分的特征在于使得通过升华即,直接由固态转变气态,移除组分变得容易的低三相点,并且因此保留聚烯烃粘合剂相的开口结构。

[0172] 在本发明中,适合于室温下丝缠绕、商业范围运输和室温下储存和退绕的粘合剂组合物可以通过将低熔点的蜡和其他相容材料结合成第一阶段粘合剂而形成。需要克服的问题是脆性,在不折断的情况下避免相对高长径比的丝(例如,1-3mm)的弯曲或缠绕。

[0173] 溶剂脱粘MIM原料经常包括三种不同组分。一种组分是溶剂可萃取的部分互溶的低分子量组分,例如石油蜡(PW)、微晶蜡(MW)、结晶蜡(CW)、蜂蜡、C15-C65石蜡等。第一阶段粘合剂组分可以用作造孔剂,该造孔剂能够在不改变绿色零件的尺寸和整体性的情况下快速并方便地从绿色零件移除,但是也有助于在不使褐色零件变形的情况下将气态热分解产物从褐色零件受控且均匀地去除。第二组分可以是不可萃取的、随后被热解的第二阶段粘合剂,第二阶段粘合剂可以从不同等级的聚乙烯(PE)(如LDPE、HDPE、LLMWPE等)、聚丙烯、聚(甲基戊烯)或其他非极性烃类聚合物中选择的热塑性聚合物。第三组分可以是粉末沉积组分的小部分,例如用作无机或金属粉末的分解表面活性剂的长链饱和脂肪酸(例如,硬脂酸(SA)或棕榈酸(PA)),可替代地,代替脂肪酸的极性和粘性共聚合物(乙烯-醋酸乙烯酯)(PEVA)作为粉末分散组分。

[0174] 在这些示例中,粘合剂组分可以包含50%-70%体积分数的碳氢化合物溶剂可溶的蜡或脂肪酸组分的第一阶段粘合剂。为了在室温或运输条件下更柔软或更柔韧,第一阶

段粘合剂可以包括低熔点的粘合剂组分(例如高烷烃、矿脂、石蜡和脂肪酸脂)和其他相容的液态增塑剂以增加聚合物粘合剂系统的灵活性。这些组分可以提升小直径丝轴上的丝轴缠绕并且抵抗在过程和运输期间(包括在更低的环境温度下,例如冰点以下)的冲击,并且也可以提高溶剂脱粘步骤期间的提取速率。

[0175] 在一个特别的示例中,作为主要聚烯烃粘合剂的组分,或作为第一级粘合剂的多数组分或整个组分,可测量地挥发性增塑粘合剂组分可以具有在环境储存下的相对挥发性,例如,具有在室温附近的三相温度的萘、2-甲基萘或其他碳氢化合物。由于它的芳香性和低极性,萘与熔化的聚乙烯(聚烯烃)相容,并且萘具有相对非常低温度的三相点并且因此在高达80摄氏度的熔点的整个固相上具有非常高的蒸气压。在其他示例中,聚烯烃粘合剂在有萘成分或者没有萘成分的情况下与直链或支链高级($10 < n < 26$)烷烃或此类烷烃的混合物混合,其中烷烃或它们的混合物从如下混合物中选出,所述混合物在低于聚烯烃的熔点或低于所述聚烯烃在烷烃或它们的混合物中的溶解温度的温度下具有可测量蒸气压。“可测量蒸气压”意味着在20摄氏度下高于0.1Pa (1 μ m Hg)的饱和蒸气压。

[0176] 烷烃或它的混合物可以整体地或部分地被在从环境温度到聚烯烃粘合剂在酯或其混合物中的溶解温度的范围内也具有可测量的蒸气压的脂肪酸、脂肪醇、二醇或甘油的单酯、二酯或三酯替代。如果烷烃、酯或它的混合物或混合有中等尺寸脂肪酸的混合物在环境或更高温度但低于聚合物粘合剂的熔点或溶解点处具有可测量的蒸气压,则它们能够通过简单地将绿色零件暴露至低压环境下(优选地,在升高的温度下,但至少初始地处于低于聚烯烃粘合剂的熔点或溶解温度的温度下)从混合物中移除。粘合剂组分的升华或蒸发将会在绿色零件的粘合剂相中产生微孔,因此有利于绿色零件的后续热脱粘并且避免由于捕获的气体分解产物膨胀而导致绿色零件的尺寸变形。

[0177] 挥发性粘合剂组分应该具有在室温下足够低的蒸汽压以使得在开放环境中的材料的正常处理和使用期间不会大程度地蒸发。通过将颗粒、挤出丝等储存在密封的气体和有机蒸气不可渗透的多层包装内可以有效地防止长期储存期间的挥发性粘合剂损失。聚烯烃粘合剂包括聚乙烯、聚丙烯或它们的共聚物,如所述含一定比例的萘、2-甲基萘的蜡组分。通过使用例如铝聚合物层压板等合适的蒸汽不可渗透包装材料能够防止储存期间萘的升华,然而萘能够相对快速地通过在低压之下适度加热(例如,在真空炉中在低于萘熔点的温度下)从绿色零件中移除,并且因此在不融化粘合剂相的情况下移除萘。

[0178] 注意,在图4-40所包含的情况下,坯体支架主要用于支撑坯体抵抗打印过程期间的打印力和重力,并且可以在脱粘和/或烧结之前移除,同时烧结支架主要用于支撑褐色坯体抵抗重力和用于将支架互连至褐色坯体以均匀收缩,并且烧结支架通过脱粘过程以及在烧结过程期间被保留。分离材料可以脱粘,并且可以有助于在烧结之后移除烧结支架。在图6所示的情况下,坯体支架和分离材料可以结合,并且分离材料和坯体支架在脱粘期间移除(在分离材料中的一些粉末可以保留),同时烧结支架再次保留以用于支撑褐色坯体抵抗重力。如果不需要支撑褐色坯体抵抗重力(例如由于完全淹没烧结期间在流化床中的浮力效应,或者由于本文所述的由下方的粉末提供的阻力),那么烧结支架可以更小,不那么强力,或者甚至不需要。在这种最后的情况下,这可以由图23A和图23B的打印阶段表示,其中只打印有坯体支架/分离材料以支撑零件,但是没有烧结支架。

[0179] 如图23A和图23B所示,粉末床或流化床褐色零件烧结炉和处理可以与本文所述的

3D打印机一起使用。图23A所示的烧结炉可以与本文所述的3D打印机和烧结站一起使用,其中,坯体支架和分离层由不同材料形成,坯体支架和分离层由相同材料形成,以及没有形成烧结支架。

[0180] 如图23A所示,烧结炉和方法可以支持模型材料或复合材料的流化床烧结。脱模层包括在烧结期间的球化或粉末金属部件(最初为褐色部件)以避免烧结过程期间的扭曲和变形。例如,零件23-3可以布置在如图23A和图23B所示的坩埚23-1中。坩埚23-1可以部分地由具有从0.001到200微米尺寸,优选地具有1-20微米尺寸的精细粉末23-4填充。替代地或额外地,如果粉末床选择地是流化床,坩埚23-1可以部分地由Geldart分组的A组粉末填充。Geldart分组中A组粉末通常基本上在20至100 μm 之间,可以是球形或不规则形状,并且颗粒密度选择性地低于1.4g/cm³。然而,Geldart分组的A组粉末通过冒泡行为(bubbling behavior)而不是粉末尺寸限定,并且任意Geldart分组的A组粉末是合适的。在Geldart分组的A组粉末中,在冒泡床相开始之前,床可以由于降低的堆积密度而膨胀到起始流化态。替代地,Geldart分组的C组粉末或Geldart分组的B组粉末在一些情况下可以适合于机械或其他搅拌。

[0181] 如果粉末床将被流化,那么适于烧结的加压气体(例如,通常是惰性气体或还原气体)可以经由分配器板23-9或喷洒分配器通过大量的孔进入流化床,获得的气体颗粒流体比空气还轻并且向上流动通过床,使得固体颗粒悬浮。热量被施加到包含粉末床(选择地流化床)和零件23-3的坩埚23-1中。系统的任意部分可以被适当地预加热,例如,加压气体23-2可以被预加热到处于烧结温度之下、在烧结温度的范围内或高于烧结温度。当零件23-3被加热到烧结温度时,倾向于在重力下,即,在零件23-3自身的重量下向下变形。在图23A和图23B的系统内,精细粉末(优选地氧化铝等)提供抵抗坍塌和下垂的阻力,或者在其他情况下,精细粉末的流化床提供阻力或浮力的一种或两种。系统可以在流化态和非流化态之间交替,并且/或者流体(气体)的流速能够进一步地被调整以实现不同程度的粉末流动性。如所示地,床中的粉末持续地抵抗褐色零件的不被支撑的部分的重量(例如,不受支撑的部分23-12)。

[0182] 可选择地,为了促进流动,并且避免在零件的孔和隔室中截留粉末,粉末可以基本上是球形。此外,粉末床能够被流化以减少通过流体入口和/或分配器板23-9的粘度。进一步可选择地,坩埚23-1位于基本上气密的腔室23-7内,该腔室23-7密封炉子以避免通常在烧结过程中对金属粉末的物理性能有害的氧气进入。示出了耐火衬里23-5,其将高温坩埚23-1与炉的(优选为不锈钢的)壁隔离。

[0183] 进一步选择地,坩埚盖23-6可以位于坩埚23-1的顶部进一步限制氧气流入零件23-3。当气体流入坩埚23-1时,压力可以轻微地升高23-1的盖,以使气体逸出。获得的正压流动气体密封可以减少氧气进入,导致环绕零件23-3的更纯的气氛。进一步可选择地,在实施例中,流化气体可以在初始温度斜坡期间被保持在粉末的流动点以下的流速,并且通过烧结过程中金属粉末球之间的缩颈开始——烧结过程的初始阶段。在实现足够的缩颈以连接许多球体并且因此保持零件的结构时,气流能够增大到使粉末流化的点。初始斜坡(缩颈前)期间的流化(例如,制造流化床)可能对零件有失稳效应,并且可能增加破裂或损坏的可能性。然而,一旦烧结或预烧结已经实现了足够的零件强度(例如,0.1%至10%零件收缩率),并且在零件收缩到完全烧结(例如,12%至24%,或大约20%收缩率)之前流体流动可

以在不损坏零件的情况下增大将支架粉末流化的程度。随后在处理中增大流体流动可能需要低粘度粉末以确保粉末从孔和空洞等中离开。

[0184] 进一步可选择地,粉末、流体流和打印(包括零件、支架和辅助结构)的特性可以被构造为产生零件的浮力(在流态化浴中从低浮力到中性浮力的程度)。这种有效地零重力烧结过程可以允许在没有下凹或下垂的情况下烧结具有内部跨度和桥的复杂形状。轻微量的浮力将减少零件或零件一部分的有效重量。然而浮力可以达到中性(零件倾向于在流化床内漂浮)或中性以上(零件倾向于在流化床顶部漂浮)。支撑吊架23-10可以抵消负向、中性和正向的浮力并且保持零件浸泡在流化床中。额外地,被成形为排除在零件的轮廓正上方直的粉末的护罩23-11可以减少或消除可以留在零件之上的非流化粉末的罩或滞留盖的重量。这个罩或滞留盖可以减少总浮力或在特定位置的浮力(参见,例如,<https://rucore.libraries.rutgers.edu/rutgers-lib/26379/>)。护罩23-11可以沿着零件3D打印,例如,护罩23-11可以根据零件的代表性或最大水平截面的横截面形状确定,针对在流化床中淹没的预期深度而向上投影。因此,护罩23-11可以由模型材料(或烧结支撑材料)3D打印为空心或基本空心的棱柱或壳体,例如,在具有分离层的零件之上,或单独地的打印作业(在要被烧结的零件之后或旁边)。护罩23-11也可以用作支撑吊架23-10的角色,并且零件可以通过护罩23-11悬浮。护罩23-11可以被“牺牲”,例如,在打印期间生成但是在烧结之后被处置或回收。

[0185] 进一步可选择地,气体出口8可以允许烧结过程的废气从炉子中移除。替代地或额外地,出口8可以用于在炉中抽真空(例如,使用真空泵去降低气氛压力接近真空),以便在流过用于烧结和/或流化床的惰性气体或还原气体之前移除来自环境的大部分的氧气。除了流化粉末之外,经过粉末的流动气体还搅拌粉末。进一步可选择地,流化床可以允许零件在没有施加任意阻力的粉末的情况下缩小或收缩。当经验性地或者经过建模能够很好地将流化特定粒径和类型中进入颗粒状态和鼓泡状态的必需的气流特征化,包括通过搅拌构件、振动构件或腔室、超声波、磁性或感应等的机械搅拌可以减少所需的气流速度并且在零件的更不易进入的部分提供流化。

[0186] 图23B示出过程的总示意图。初始地,在3D打印阶段,STG-1A零件14A,与至少它的坯体支架一起在3D打印机中如所述地打印。包括所有这些的选择性地仍然粘结至更高的熔化温度的材料(陶瓷或其他材料的打印床16)的坯体可以传输到脱粘室(可选择地,脱粘室集成在3D打印机内,或者,反之亦然)。注意,坯体支架可以在脱粘期间移除。相应地,如图24所示,脱粘STG-2A脱粘模型材料,留下多孔的褐色坯体结构(“脱粘”),并且可以选择性地包括溶解、熔化和/或催化清除坯体支架(“支架移除”),如所述,烧结支架甚至可以保留粉末床或流化粉末床技术,但是可以例如放置在更少的位置或只支撑更长的跨度。

[0187] 如图23B继续所示,褐色坯体运输到烧结室或烧结炉(选择性地与打印机和/或脱粘室结合)。烧结室或烧结炉由如所述地不会在褐色坯体的烧结温度下烧结的粉末(例如,包围要被烧结的铝或钢褐色坯体的氧化铝粉末)填充。在烧结STG-3A期间,褐色坯体均匀地收缩大约20%,通过原子扩散关闭褐色坯体中的多孔内部结构。氧化铝粉末床不烧结,但是要么抵抗跨度和悬挑的下陷和坍塌,要么/并且为跨度和悬挑提供浮力。如果粉末床被流化,粉末和零件可以通过流化气体的循环被更均匀地加热。如图24所示,烧结坯体可能从烧结炉中移除。一些氧化铝粉末可以保持在内部空腔中,并且能够被洗掉STG-4A和/或恢复。

[0188] 关于烧结炉,与固体金属(可以在低温下对微波不透明或反射微波)不同地,粉末化金属可以有利地吸收微波。此外,获得的加热处理可以是体积式的或部分体积式的,并且始终均匀地加热整个粉末化材料的坯体,包括至烧结温度(如果实际上能够提供兼容的腔室和气氛)。此外,如本文所述,更小的粉末尺寸(例如,平均或大于90%计数小于10微米)可以降低烧结温度,以便能够使用更低温度的熔炉和耐火材料。也可使用合成气体或还原气体(例如氢混合物)中的浸泡。

[0189] 用于烧结(结合微波或其他方式)的熔凝硅管(fused silica tube)可以由非常纯的二氧化硅(例如,99.9%SiO₂)形成,并且用于保持工件或零件的坩埚可以由类似的材料制造。在一些情况下,熔融二氧化硅的光学透明性可以与它的微波频率和/或它的热膨胀系数有关。更光学透明的熔融二氧化硅可以具有更低程度的结晶,并且晶体结构可以散射光和RF。

[0190] 典型的热膨胀系数和微波穿透深度:

[0191]

材料	热膨胀系数 ×10 ⁻⁶ /°C	微波功率 穿透深度* (针对 2.45 GHz) D, 厘米	微波场穿透深 度* (针对 2.45 GHz) d, 厘米
熔 融 二 氧 化 硅 (非晶态、 合成的)	0.55	3900	7800
堇青石	0.1		

[0192]

碳化硅	3.7	1	2
莫来石 (能够 被 H ₂ 损 害)	5.0	500	1000
氧化铝	7.2	625	1250
氧化锆	10.5		
石英矿 物(天然、 结晶的)	7-14		
块状固 体铝			(1.67 x 10 ⁻⁶ 微 米)

[0193] *穿透深度(d)是从材料表面到场强度减少到其在表面处的值的1/e(大约0.368)的位置处的距离。该表中的测量是在20摄氏度或大约20摄氏度进行的。当温度升高时,穿透深度倾向于下降(例如,在1200摄氏度时,穿透深度可能是20摄氏度时穿透深度的50%-75%)。

[0194] 关于气体处理,不同烧结气氛适合于不同金属(例如,氢气、氮气、氩气、一氧化碳、真空、含少量氢的还原气体)和烧结过程的不同阶段。烧结气氛可以有助于不同阶段,例如有助于完全脱粘,有助于清除脱粘残留材料以避免烧结炉污染,有助于减少表面氧化,有助于避免内部氧化和/或避免脱碳。气氛控制炉也可以在烧结之前使用,或在设置在马弗分级连续炉内的不同阶段使用。

[0195] 在初始脱粘之后用于清除润滑剂或残余粘合剂但是在烧结之前的氛围可以通过水氧化(水或添加的空气饱和的氮气)高温金属(例如,选择性地沉积有与模型材料类似的(主要)基体或粘合剂组分)。在烧结之后,脱模层可以变得高度饱和,或者通过使用空气添加。温度可以是200-750摄氏度,具有0-25摄氏度的露点。烧结中的气氛,特别是针对不锈钢或一些工具钢,可以被大程度地还原,例如,具有-20到-40摄氏度的露点的纯氢气。氮气/氢气混合物(3%-40%)或氮气/氩气可以被使用,并且碳氢化合物可以增加后表面碳或避免它的损失。后烧结的气氛可以按例如1-2摄氏度每秒的速率被冷却(在非常低的氧水平下,例如10至50ppm),并且/或者可以由含碳氢的气氛(形成一些CO)在例如针对钢的700-1000摄氏度的范围内再碳化。

[0196] 关于微波辅助烧结炉113,如图25所示,用于辅助或执行烧结的一个候选微波发生器113-1可以在1至10kW电源输出下产生2.45GHz频率的微波。发生器、振荡器或磁控管113-

1可以连接至具有开放式出口的波导113-2。循环器113-3和伪负载113-4(例如水)可以吸收反射波以避免将这些反射波返回到磁控管113-1并使传输中的波转向至炉113(被合适的传感器监控)并调节。调谐器装置(除了循环器之外或作为循环器的替代)113-3可以改变微波反射的相位和振幅以例如取消或抵消反射波。

[0197] 如图25所示,一种技术和材料的变型例方法可以包括:提供含有如本文所述的可移除粘合剂(两阶段或一阶段)和超过50%体积分数的具有高于1200摄氏度熔点的粉末化金属(包括多种钢,例如不锈钢和工具钢)的材料(颗粒挤出、长丝挤出、喷射或固化)。粉末化金属可以具有50%以上直径小于10微米的粉末颗粒,并且有利地90%以上直径小于8微米的粉末颗粒。平均颗粒尺寸可以是3-6微米的直径和6-10微米直径的实质最大值(例如,超过 ± 3 标准差的跨度或99.7%)。颗粒尺寸分布可以是双峰的,具有处于大约8微米直径(例如6-10微米)的一个模式和处于亚微米直径(例如,0.5微米)的第二模式。第二模式中的更小的颗粒有助于在早缩颈或低温缩颈以保持结构完整性。

[0198] 由于包括增加的表面积和颗粒之间的表面接触在内的各种效应,更小的颗粒尺寸(例如90%以上小于8微米)可以降低烧结温度。在一些情况下,特别对于不锈钢和工具钢来说,这可以导致烧结温度处于使用无定形二氧化硅管的熔管炉的操作范围内(例如,小于1200摄氏度)。相应地,在过程变化中,如本文所述,这种更小直径的粉末材料可以在连续层中增材沉积以形成如本文所述的坯体,并且移除粘合剂以形成褐色坯体(在本文所述的沉积和/或脱粘的任意示例中)。

[0199] 如图24和图25所述,褐色零件可以被装载到具有熔管113-5的熔管炉(炉113是一个示例)中,熔管113-5由具有大体上低于1200摄氏度的工作温度和低于 $1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 的热膨胀系数以及10m以上的微波场穿透深度的材料形成(例如,非晶态熔融二氧化硅具有实际上限制到大约1200摄氏度的工作温度、大约 $0.55 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 的热膨胀系数和超过20m的微波场穿透深度)。低热膨胀系数与抗热震的能力有关,并且因此与操作中以及在炉构造中的快速升高温度和处理高热梯度的能力有关。例如,使用抗热震材料可以允许在高于10摄氏度每分钟但低于40摄氏度每分钟的速率下升高熔管内的温度。微波场穿透深度与微波透明度有关,更高的穿透深度与更高的透明度有关。

[0200] 如图24和图25所示,在该过程中熔管113-5可以被熔融二氧化硅塞或板113-6(和/或耐火或隔热塞或板)密封。内部空气可以被排出,并且可以被进一步地用烧结气氛(包括真空、惰性气体、还原气体、惰性气体和还原气体的混合物)替换内部空气。微波能可以从密封的熔管外部的微波发生器11301施加至褐色零件。在这种情况下,因为小颗粒可以降低烧结温度,钢的褐色零件可以在这个炉中在低于1200摄氏度的温度下被烧结。在一个有利的实施例中,90%以上的打印材料的粉末颗粒具有小于8微米的直径。一些这种颗粒,或剩余10%中的颗粒可以具有小于1微米的直径(例如,90%以上的这些颗粒具有小于0.5微米的直径)。

[0201] 如图24和图25所示,因为微波可能难于用于均匀分布加热(例如,甚至在使用转盘和反光搅拌片的情况下),系统可以使用承受器(susceptor)构件113-7(例如,绕外周分布的杆)。承受器构件113-7可以由抵抗高温的微波吸收材料(例如,碳化硅)制造。传感器构造113-7可以是被动式(只被微波辐射激励)、主动式(电阻加热)或二者的混合。本文所述的承受器构件113-7甚至可以在没有微波加热的情况下使用(在无微波系统中,碳化硅和 MoSi_2

这两种常用的传感器材料也经常是良好的高温电阻加热器)。如图24和图25进一步所示,微波能从密封熔管113-5的外部被施加至布置在密封熔管外部(不会污染管内的烧结气氛)的传感器材料构件113-7。注意,烧结气氛适于要烧结的粉末化金属,例如,适于不锈钢的惰性、真空或至少3%氢气(例如,1%-5%氢气但包括更高比例直至纯氢气)的烧结气氛。

[0202] 在用于生产精细零件的变型例方法中,具有可移除粘合剂和50%以上体积分数的粉末化钢(或其他金属)的材料被再次供给有大于50%的粉末颗粒的直径小于10微米,有利地大于90%的粉末颗粒的直径等于或小于8微米。材料可以由具有小于300微米的内径的喷嘴增材沉积,喷嘴提供精细的细节但是10-20倍于粉末的大颗粒(避免堵塞)。然后,移除粘合剂以形成被装载到熔管(例如,非晶态二氧化硅,具有低于 $1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 的热膨胀系数)中的褐色坯体和褐色零件,并且熔管被密封并且其中的气氛被烧结气氛替换。辐射能(例如,来自被动式或主动式承受器杆或其他电阻元件的辐射热和/或微波能)被从密封熔管113-5外部施加到褐色零件,在高于500摄氏度但低于1200摄氏度的温度下(适用于小颗粒铝和小颗粒钢粉末的范围)烧结褐色零件。在这种情况下,喷嘴可以布置用于以喷嘴宽度的大致2/3或以上的层高(例如,对于300微米的喷嘴而言大致超过200微米,或者对于150微米的喷嘴而言大致超过100微米)沉积材料。

[0203] 在适于在一个烧结炉113中烧结铝和不锈钢(除了可能的其他材料之外)的另一种变型例中,由小颗粒粉末形成的零件可以布置在相同的炉和气氛中,并且基本上根据材料控制温度上升。例如,第一褐色零件可以由包括第一粉末化金属(例如,铝)的第一脱粘材料(例如,铝粉末打印材料)形成,其中,第一粉末化金属的超过50%的粉末颗粒具有小于10微米的直径,并且第二褐色零件由包括第二粉末化金属(例如,不锈钢)的第二脱粘材料(例如,不锈钢粉末打印材料)形成,其中,第二粉末化金属的超过50%的粉末颗粒具有小于10微米的直径。在炉的第一模式中,铝褐色零件可以被装载到本文所述的非晶体二氧化硅熔管中,并且温度以高于10摄氏度每分钟但低于40摄氏度每分钟的速率上升到高于500摄氏度但低于700摄氏度的第一烧结温度。在第二模式下,不锈钢褐色零件可以被装载到相同的熔管中,并且熔管内部的温度(例如,通过加热控制HC和/或微波发生器MG)以高于10摄氏度每分钟但低于40摄氏度每分钟的速率上升到高于1000摄氏度但低于1200摄氏度的第二烧结温度。

[0204] 气氛可以通过压力控制器113-8和/或流量控制器113-9,运行真空泵113-10或气源113-11而改变。在针对铝的第一模式下,包含99.999%以上惰性氮气且不含氧气的第一烧结气氛可以被引入到熔管113-5中。在针对不锈钢的第二模式下,包含至少3%氢气的第二烧结气氛可以被引入。

[0205] 如图25所示,在适于在低于1200摄氏度时使用如本文所述的小直径粉末快速烧结铝和不锈钢的多用途烧结炉中,炉可以包括熔管113-5和密封件,其中,熔管113-5由具有低于 $1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 的热膨胀系数的熔融二氧化硅(一种松散的粉末,允许高的上升率,所述管能抵抗热震)形成,密封件相对于环境大气将熔管密封。管内部气氛调节器(例如,包括高真空泵113-10或其他设备,应力控制器113-8、流量控制器113-9和/或气源113-11)可以可操作地连接到熔管113-5的内部以施加真空移除熔管113-5内的气体(包括空气和水蒸气)并将多种烧结气氛(尤其包括真空、惰性气氛和还原气氛)引入到熔管。加热元件(例如,电阻加热器和/或承受器113-7和/或微波发生器113-1)设置在熔管113-5外部和熔管113-5内任意

烧结气氛外部,使得不污染烧结气氛。控制器(例如,113-12)可以可操作地连接到加热元件113-7和/或113-1和内部气氛调节器。在第一模式下,控制器113-12可以在第一烧结气氛内(氮气中<0.001%的氧气)在高于500摄氏度并低于700摄氏度的第一烧结温度下烧结第一材料(铝)褐色零件。在第二模式下,控制器可以在第二烧结气氛内(例如,惰性气氛或还原气氛)在高于1000摄氏度但低于1200摄氏度的第二烧结温度下烧结第二材料(不锈钢)褐色零件。(光学)高温计113-13可以用于通过密封件观察烧结行为。炉113保持在合适的微波反射罩113-14内并且用合适的隔热材料113-15和耐火材料113-16隔绝。

[0206] 如图24和图25所示,内部气氛调节器可以可操作地连接到熔管113-5的内部以引入烧结气氛,并且可以以高于10摄氏度每分钟但低于40摄氏度每分钟的速率升高熔管113-5内的温度。通常不推荐如氧化铝或莫来石等的更高的热膨胀陶瓷。此外,非晶态二氧化硅的20m以上的微波场穿透深度允许更高的微波穿透效率。微波产生器MG给熔管113-5内第一和/或第二材料褐色零件和/或承受器133-7施加能量并且升高它们的温度,承受器133-7随后再辐射热量以加热第一和/或第二材料的褐色零件。

[0207] 相应地,嵌入在增材沉积材料中的小粉末颗粒尺寸的金属粉末(例如90%的颗粒小于8微米,选择性地包括或辅以小于1微米的颗粒)将不锈钢的烧结温度降低到熔融二氧化硅管炉的1200摄氏度的工作温度上限以下,使得同一二氧化硅熔管炉能够用于烧结铝和不锈钢(在合适的气氛下)以及采用微波加热、电阻加热或被动式或主动式承受器加热以烧结这两种材料。

[0208] 如本文所述,在连接到零件外部的零件内部中的填充单元或蜂窝结构或开放式单元之间打印可以打印有互连通道,并且壳体(包括但不限于支撑壳体)内部各处可以具有小的开放式单元孔、大单元或蜂窝结构以降低重量、节约材料并提升用于脱粘的气体或液体(例如,流体)的渗透或扩散。这些入口通道、开放式单元和其他脱粘加速结构可以在零件或支架(包括收缩/致密化支架或收缩/致密化平台)中打印。所有的或部分通道/孔的尺寸可以被确定为在脱粘期间(包括但不限于真空下)保持打开,然而在烧结缩小大约20%的尺寸期间关闭。内部体积可以打印有通向零件外部的通道,以允许移除、清除支撑材料或者更易于用作溶剂或催化剂的热传递或流体或气体进入。

[0209] 用于涉及溶剂或催化流体(液体、其他或其他)的脱粘技术的脱粘时间在一些情况下可以认为取决于零件的“厚度”。例如,4cm厚或2cm厚的零件可以比1cm厚的零件更慢地脱粘,并且在一些情况下这个关系通过例如每毫米厚度几分钟的脱粘时间试探性地界定。用于移除脱粘流体的时间(例如,干燥或清除)也可以基本上与厚度成比例地增加。根据本实施例,为了脱粘时间,零件的有效厚度可以通过使用来自外部的通道设置上述通往零件内部的流体通路来减小,所述通路可以经过烧结保持开放,也可以在烧结后(有效地)关闭。

[0210] 这种通道可以包括至少一个通到零件外部的进入通道,例如从零件外部贯穿通过3D打印形状的壁结构至零件的一个、几个或许多填充空腔;或者可以替代地被零件的壁结构环绕。在一些情况下,互连通道可以包括至少两个类似地贯穿壁的通向零件外部的进入通道,以提供用于流体流动的入口和出口或者简单地允许流体逆着表面张力和/或内部气体进入。这些入口蜂窝出口结构可以倍增或互连。在一些情况下,入口可以连接到加压流体流(例如,通过3D打印或机械插入流动通道结构)。在一些情况下,入口可以连接到真空或冲洗气体。在一些情况下,取决于处理的阶段,“入口”和“出口”是可互换的。

[0211] 例如,根据图1到图40包含的3D打印机可以被使用为供给包括粘合剂基体和可烧结粉末的复合材料。在层或壳体中的“壁”跟随3D模型的正轮廓或负轮廓并且根据网格或模型轮廓或表面定位,并且可以是一个或多个路径或层或壳体厚度(通过与模型轮廓线或表面的偏移形成相邻壁)。也可以形成内部壁(包括作为“顶”或“底板”的水平壁),其通常连接到跟随3D模型形状的外部轮廓或内部轮廓的壁或从跟随3D模型形状的外部轮廓或内部轮廓的壁延伸。“填料”或蜂窝在壁、底板和顶之间和之中延伸。3D打印机可以沉积壁或壁连续层,壁具有从零件外部延伸到零件内部的进入通道。进入通道允许流体进入内部(例如,在零件的横截面的正向轮廓和负向轮廓之间)。例如如图26A到图31所示,不需要将零件的整个内部互连以减少脱粘时间。例如,贯通壁的进入通道和互连蜂窝(例如,经由分配通道)可以被连接为将流体引导至零件最深的内部区域的特定距离内的位置处;或者设置零件的一个或多个壁到最靠近的流体填充室的特定距离。

[0212] 3D打印机可以在内部(例如,在跟随零件的正向轮廓和负向轮廓的壁之间)沉积蜂窝状填料的连续层,并且蜂窝状填料可以具有将蜂窝状填料的内部体积连接到进入通道的一个分配通道(或一些、或许多分配通道)。通过使脱粘流体流经进入通道和/或分配通道并在蜂窝状填料的内部体积内流动,3D打印机或随后的脱粘站或零件清洗机可以脱粘粘合剂基体。

[0213] 图26A和图26B基本上分别对应于图5B和图5D,并且示出通过图4为了所述的打印和其他过程步骤的选择部分。如图4和图26A所示,在筏形分离层SL1的打印之后,打印模型材料(例如,金属轴承复合材料)的筏形件RA1。筏形或收缩平台或致密化连接平台RA1可以包括路径通道CH1,通过路径通道CH1将流体连接到或定向到零件的进入通道。存在一个、几个路径通道CH1或如图所示的路径通道CH1的阵列。路径通道CH1可以在脱粘期间连接到匹配一个、多个或阵列式脱粘流体供应通道(例如,如图25所示)。替代地或额外地,流经路径通道的流体可以通过在脱粘流体浴中的循环、加热或搅动而被促进。搅动可以是强饮式的、机械式的、感应式的或磁式的等。另外,筏形或收缩平台RA1类似于参照图5B所述的筏形或收缩平台。

[0214] 如图4和图26B所示,环绕壳体支撑结构SH1被连续多层地打印,并且内部体积V1以及零件内部可以打印有通向零件外部的通道(例如,通向未示出的进入通道CH2的分配通道CH3)以允许移除、清除支撑材料,或者更容易地被用作溶剂或催化剂的热传递或流体或气体进入。在图4所示的情况下,如26A和26B(和其他附图)所示,为了简化解释而示出了实心体,但是实心体的内部结构可以3D打印有填料图案(例如,蜂窝结构)并且/或者可以包括碎的、短的、长的或连续的纤维增强体。图26C和图26D示出两个示例。

[0215] 分别如图26C和图26D所示,六角形或三角形蜂窝(以横截面形式示出,可以包括形成为垂直棱柱、柱的空腔或填料,或者可以是偏移多面体空腔/填料)被用作填料。两个分配通道CH3在各截面层中示出。分配通道CH3可以分布许多层(例如,可以在一些层之内形成)以互连一些、许多或所有的填料或蜂窝单元。图26C也示出进入通道CH2,进入通道CH2可以通过跨越沉积的不同层的通道和单元空腔路径与分配通道CH3互连。通道CH2和通道CH3倾斜着通过填料和零件的壁,这能够增加通道长度和/或减少流体流动的转弯的数量或度数。在这种方式下,通过改变通道CH2或CH3的长度或平直度,流过通道CH2和CH3的流体流量能够平衡均匀性或特定区域中增加/减少的流量。

[0216] 图27示出侧剖视图,基本上类似于图4、6、8和9的描述,其中蜂窝状空腔/填料形成成为垂直柱状棱柱形状。在沉积零件的许多层之间示出了分配通道CH3(例如,示出大约20个)。分配通道CH3示出为在许多层中分布以互连一些、许多或全部的填料或蜂窝状单元。没有通道延伸至悬垂部OH2或OH4中,悬垂部OH2或OH4可以不够厚到需要额外的脱粘流体流。如图所示,烧结支架或贴合壳体SH3也可以填充有填料单元,并且可以额外地包括或不包括通道、入口或分配单元CH2或CH3(图27未示出)。在分配通道CH3通过自身提高脱粘速率的情况下,图27未示出可选的进入通道CH2。在一个变型例中,20%以下的填料的垂直蜂窝状空腔或具有小于最大横截面面积的5%的面积面积的立体柱空腔用作分配通道。

[0217] 图27和图28示出侧剖视图,基本上类似于对图4、6、8和9的描述(类似地说明共用的附图标记),其中,蜂窝状空腔/填料形成成为垂直柱状棱柱形状。在沉积零件的许多层之中示出了分配通道CH3(例如,示出了大约20个)。分配通道CH3示出为在许多层中分布以互连一些、许多或全部的填料或蜂窝状单元。没有示出通道延伸至悬垂部OH2或OH4中,悬垂部OH2或OH4可以不够厚到需要额外的脱粘流体流。如图所示,烧结支架或贴合壳体SH3也可以填充有填料单元,并且可以额外地包括或不包括通道、入口或分配单元CH2或CH3(图27未示出)。图27未示出可选的进入通道CH2,即,示出了分配通道CH3通过自身增加脱粘速率的情况。然而,在其他附图中示出的和在本文中说明的进入通道CH2可以应用到图27的结构。图28示出提供用于流入与蜂窝状单元互连的分配通道CH3的流体的进出的进入通道CH2。应当注意,通道尺寸可以被放大,并且如图所示的壁上的裂口仅是通孔,但是分配通道CH3可以是小圆孔,并且占据填料的小于1%(例如,小于1%-3%)的表面积,并且类似地,进入通道CH2可以是占据零件壁的小于1%(例如,小于1%-3%)的表面积的小圆通孔。

[0218] 图29示出侧剖视图,基本上类似于对于图4、6、8、9、27和28的说明(类似地说明共用的附图标记),其中,分配通道空腔/填料以对齐和/或成角度的方式始终形成为柱状棱柱形状。如本文所述,改变通道CH3的直径、长度和/或平直度或在它们之中放置障碍物或挡板,可以增加或减少流动阻力。与图28相反,烧结支架或壳体结构SH3和SH4也包括进入通道CH2以允许流体流过(入口和出口)。此外,路径通道CH1打印在中介层(例如,筏形件RA2、壳体结构SH3、SH4,脱模或分离层SL3)中,并且在这种情况下可以匹配设置在打印床或构建板上的匹配路径通道(例如,在打印床或构建板可以与绿色零件和/或褐色零件一起运输通过脱粘和/或烧结处理的那些情况下,为了提供流体流动进出口)。

[0219] 图30示出侧剖视图,基本上类似于对图4、6、8、9、27、28和29的说明(类似地说明共用的附图标记),其中,遍及空腔/填料的分配通道CH3以对齐和/或成角度的方式形成为蜂窝状(八面体作为一个示例)多面体堆叠形状,并且其中,进入通道CH2在该截面中设置在三个位置处。应当注意,壁厚可以始终保持基本上恒定(例如,在厚度的5%内),例如,零件的外壁或壳体厚度与填料的内壁厚度相同,和/或与形成分配或进入通道的壁相同,和/或其中任一者与形成烧结支撑结构或收缩平台的壁的厚度相同。

[0220] 图31示出了侧剖视图,图25的过程图的示例性零件的更近的视图,基本上类似于对图4、6、8、9、27、28、29和30的描述(类似地说明共用的附图标记),其中,遍及空腔/填料的分配通道CH3以对齐和/或成角度的方式形成为蜂窝棱柱形状,并且其中,进入通道CH2在该截面中设置在两个位置处。分配通道靠近、接近或邻近零件内部的距离零件的负或正轮廓或壁最远的、在零件的负或正轮廓或壁中最深的或相对于零件的负或正轮廓或壁最厚TH的

部分。如参照图25所述,在图31中所示的零件的最上区域不包括通道,因为零件内部足够靠近脱粘剂流体流,使得可以期望零件的最上区域可以在可接受的时间内脱粘。

[0221] 相应地,如图25到图31所示,形成经得起基于快速流体的脱粘的“厚”零件的过程可以包括零件壁连续层的沉积,以形成不只一个进入通道CH2,而是也形成从零件外部延伸到零件内部的第二个入口通道CH2。通过使脱粘流体通过第一进入通道流入,流经分配通道并经过第二进入通道流出,这可以有助于脱粘粘合剂基体。在这种情况下,第一进入通道CH2可以连接到脱粘流体的加压供应以强制脱粘流体经过和/或通过第一进入通道、分配通道和第二进入通道。额外地或替代地,在此过程中,蜂窝状填料的连续层可以在零件内部沉积以形成将蜂窝状填料的内部体积连接到第一进入通道CH2的多个分配通道CH3,多个分配通道CH3的至少一部分与分配通道CH3的其他部分具有不同的长度。

[0222] 如图32和图33A到图33D所示,相伴烧结支架可以使用陶瓷复合材料打印,陶瓷复合材料表现为在尺寸上与金属模型材料类似但是不与之一起烧结。作为零件和它的相伴陶瓷烧结支架CSS可以根据适于烧结零件的模型材料的任意特定温度曲线烧结,陶瓷烧结支架的材料收缩特定量并且在一些情况下根据至少陶瓷烧结支撑材料的组分沿着特定密度曲线(例如,起始密度和结束密度,起始温度和结束温度,起始和结束之间的曲线形状)收缩。为了将陶瓷烧结支架的烧结行为与零件模型材料的烧结行为相匹配,正如指出的那样,最终收缩量应该相同。如图32所示,可选择地,陶瓷烧结支撑材料的收缩量应该小于零件模型材料的收缩量直到达到最终收缩量。进一步可选择地,陶瓷烧结支撑材料可以在更低温度下开始收缩或在相同温度下更早地收缩。

[0223] 通常,假设用于烧结目标金属零件模型材料的实质温度斜坡和环境条件(例如气体)是要使用的温度斜坡,因为零件必须在有或没有支架的情况下充分地烧结。例外是可能的(例如,零件模型烧结温度斜坡的微小改变,以使支架更好地发挥作用)。在这些条件下(例如,考虑到适合于烧结金属零件模型材料的温度斜坡),例如 α 氧化铝或其他氧化铝等烧结温度高于零件模型材料的烧结温度的候选的第一陶瓷材料可以通过如下途径使它的烧结温度降低和/或使它的收缩量改变:(i)减少平均颗粒尺寸(“APS”)或;(ii)混合可相容的第二或第三低温度烧结材料(例如,二氧化硅或氧化钇-二氧化硅-氧化锆)。这些混合材料也将被烧结。额外地或可替代地,在明显更高温度下烧结的非烧结填充物可以被混合(其通常将减少收缩量或致密化程度)。通常,相比于更大APS的材料,具有更小APS的均质材料将在更低温度下开始致密化并且将在更低的温度下达到全密度。

[0224] 额外地或可替代地,烧结温度、收缩量或致密化程度能够通过改变颗粒尺寸分布(“PSD”,例如,对于相同的平均颗粒尺寸来说,更大和更小粒子的不同比例或组成)而被改变。额外地或可替代地,当混合可以反应的材料时,混合物的烧结温度、收缩量或致密化程度能够通过使用可以在比化学反应更低的温度下致密化的组分混合而改变,例如,以在比形成莫来石的温度更低的温度下致密化(烧结)的形式结合氧化铝和二氧化硅。例如,氧化铝-二氧化硅粉末可以生成为分别形成具有二氧化硅壳体的氧化铝核的氧化铝粉末颗粒,该混合物首先在例如1150至1300摄氏度之间致密化/烧结,并且只在更高的温度(例如1300至1600摄氏度)下转变为莫来石。

[0225] 额外地或可替代地,烧结温度、收缩量后致密化程度能够通过改变不相似组分的均质化(分子、纳米尺度、核与壳体结构)程度被改变。在零件形状包括凹形和/或凸形(突

起、空腔或轮廓)的情况下,如图33A到图33D所示,由具有不同收缩速率或收缩量的材料制成的烧结支架可能导致坍塌和/或干扰,而坍塌和/或干扰能够导致形状变形。应当注意,图33A到图33D被放大。

[0226] 如本文所述,合适的烧结支撑材料可以在与模型材料相同的时间温度烧结曲线上具有最终收缩量。然而,完美的匹配速率和最终收缩百分比不是必需的。例如,烧结支撑材料在低于模型材料的速率下不应当收缩,或者零件上的凹形形状可以变形并且不能通过重力恢复。然而,如果烧结支撑材料以比模型材料更快的速率收缩,则打印的烧结支架不会干扰零件的许多凹形形状(例如,如图33B所示)。另外,对于更快的收缩烧结支架,打印支架可以分裂,并且烧结支架打印有间隙,以避免干扰任意凸形形状或某些凹形形状和/或使任意凸形形状或某些凹形形状变形。在这种情况下,即便烧结支撑材料以比模型材料更快的速率收缩,重力和在烧结温度下的一些弹性行为将允许零件和烧结支架能够以最终烧结收缩量“匹配”。

[0227] 如图33C和33D所示,在各陶瓷烧结支架与零件之间(包括在邻近的陶瓷烧结支架之间),间隙可以在垂直方向上或水平方向上与坯体支架和/或分离层一起从一边到另一边打印。间隙可以邻近凸形或凹形零件形状或轮廓打印。此外,间隙可以邻近凸形或凹形零件形状或轮廓在如下位置处打印:在所述位置处,零件的表面和陶瓷支架的表面跟随在没有间隙的情况下在收缩期间将会干扰的相应的路径。在垂直间隙的情况下,零件材料的少量的(例如,几毫米)未支撑跨度是足够坚韧以抵抗烧结期间由重力造成的塌陷。在水平或倾斜间隙的情况下,在包括脱粘之后的残余粉末(球)的间隙中的分离层将允许陶瓷支架在烧结期间发生基本自由的水平或倾斜滑动。

[0228] 然而,如图33A到33D所示,甚至在陶瓷烧结支架早于和/或快于和/或等于金属零件材料收缩/烧结直到目标密度时,大体上不同的收缩速率或体积密度随时间变化的曲线中的其他差异(例如,不同的起始位置或结束位置、不同的曲线形状)可能需要在脱粘之后重新排布一些烧结支架,使得模型材料相对于烧结支撑材料的收缩率曲线在烧结温度斜坡的上升部分和恒温部分期间被匹配至模型材料的体积密度的5%之内。

[0229] 图34A和图34B分别图示了流程图和示意图,所述流程图和示意图示出了可用于如本文所述的打印有通道CH1、CH2和/或CH3(或者,甚至在某些情况下不使用)的零件的重力辅助脱粘处理。使用图29(具有这样的通道)的剖面结构作为示例来描述和示出图34A和图34B。如图34A和图34B所示,进入通道、路径通道和分配通道允许流体进入零件内部以便更快地将绿色零件脱粘为褐色零件。作为基于溶剂(包括热辅助或具有溶剂辅助的热脱粘)或催化剂的脱粘过程可能需要几个小时的足够的时间以能够完成填充-清洗流体循环。在一个示例性处理中,如图34A和图34B所示,在步骤S341中,将具有进入通道、分配通道和/或路径通道的零件放置在脱粘室、容器或设备中。如图34B所示,零件可以悬浮或放置在多孔支架上或以使至少顶部和底部通道入口和出口对于基于重力的流体流而言相对无障碍的方式而被保持。

[0230] 在步骤S342中,腔室可以填充有溶剂或其它脱粘剂(可替代地或额外地,将零件降低至或以其他方式放入预先填充的浴池中)。在步骤S343中,使零件在脱粘剂中保持预定的、模型的、计算的或测量的停留时间(dwell time)。停留时间可以例如足以使脱粘剂渗透通道。停留时间可以额外地或可替代地足以使脱粘剂将第一基体材料脱粘第一有效量(例

如移除基体材料的按体积计的5%-30%或以上)。步骤S343中的停留时间或停留周期可以通过如图34B所示通过搅拌(例如机械构件、整个腔室、泡沫等)、振动和/或循环得到增强。在可选择的步骤S344中,脱粘的状态的特性或特征代表可以被探测和/或测量并选择性地用作启动排出处理的触发器,排出处理用于清除或排出脱粘剂和要移除的材料从而为下一循环做准备(在一些测量情况下可以只存在一个循环)。示例性测量可以是(i)通过光学或电磁传感器测量例如不透明性、颜色、电容电感等代表材料脱粘量的特性;(ii)通过机械或流体响应传感器(可选择地连接到光学或电磁元件)测量例如自然频率、粘度或密度等特性;或者(iii)通过化学传感器(可选择地连接到光学或电磁元件)测量例如pH或氧含量等化学变化。

[0231] 在步骤S345中,如图34B所示,脱粘室可以通过重力而被排干至储存器。如果给予足够的时间,并且选择性地通过搅动、加热、循环或其他热机械过程辅助,零件内的内部脱粘剂流体充满通道(例如分配通道和入口通道)也可以被排干。储存器可以包括用于移除被脱粘材料的过滤器、挡板或其他清洁器,和/或用于以沉淀或其他方式从脱粘剂中收集或去除被脱粘材料的催化的、化学性的、磁性的、电气的或热机械性的试剂。可替代地或额外地,储存器可以包括用于影响脱粘室的排出的阀门,和/或用于将脱粘剂再循环回到脱粘室中的泵。可替代地或额外地,储存器可以集成到脱粘室(例如,在移除材料之后在脱粘室中再循环)。

[0232] 在步骤S346中,并且如图34B所示,在排出或部分排出之后,可以进行测量以判断脱粘的进度,并设置用于下一循环的后续阶段触发器或指令。适用的传感器可以与参照步骤S344所述的传感器类似或相同。额外地或可替代地,可以通过称重传感器等(在脱粘循环之前和之后)测量零件重量。在填充和排空腔室的循环数相对低(例如,2-10个循环)的情况下,改变的零件重量可以被记录(例如,作为曲线图)并且用于确定下一循环的时间、温度和/或搅拌。在循环数是2-10或更多(例如,包括连续的循环和/或填充/排出)的情况下,重量改变的曲线图也可以用来构建与每单位零件重量的最大可移除粘合剂有关的指数衰减常数的模型并基于所述指数衰减常数设定终止循环数或时间(例如,基于指数衰减速率在重量计的90%-95%移除材料的时刻或循环数处终止)。

[0233] 在步骤S347中,并且如图34B所示,循环可以重复直到完成(通过预定次数或时间、通过如上所述的直接或间接测量反馈或者其他模式确定“N个循环”)。当经过基于重力的填充/排出循环的脱粘循环完成时,绿色零件已经变成褐色零件,并且可以主动或被动地干燥或其他后处理以为烧结做准备。如图35所示的以及在本文中提到的,绿色零件可以由包含可烧结粉末的可固化和/或可脱粘的光敏聚合物以及可选择的第二阶段粘合剂(例如可脱粘的热解光聚合物或热塑性塑料)形成。如并入本文的CFF专利申请和其他在前专利申请中所述,不同增材制造过程可以包括液体(例如,SLA)或粉末(例如,SLS)形式的基体以制造包含围绕核心材料(例如,金属粉末)固化的基体(例如,可脱粘塑料)的复合材料。本文所述的许多方法也能够被应用于选择性激光烧结,选择性激光烧结与立体光刻类似但与液体树脂相比使用用于建造介质的粉末化树脂作为基体。增强可以用于结构特性、导电性、光导性和/或流体导电性。如并入本文的CFF专利申请和其它在先的专利申请中所述,并且如图35所示,立体光刻过程用于形成三维零件,树脂覆盖要被打印的层,树脂由UV光或特定波长的激光固化,用于固化树脂的光扫过零件的整个表面以选择性地硬化树脂(基体)并且将其接

合到前一底层。

[0234] 图35示出上述的立体光刻处理的实施例。本领域技术人员将认为本文图1A和图1B的描述与图35一致(尽管附图标记有差异)。如附图所示,在台板1602上使用立体光刻正在构建零件1600。零件1600浸在容纳在托盘1606中的液体树脂材料1604中。液体树脂材料可以是任意合适的光敏聚合物(例如,包括主要可脱粘组分和可选的次要可脱粘组分的可脱粘复合材料以及可烧结粉末)。除了树脂浴之外,在形成零件1600期间,在形成每层之后将台板1602移动至与层厚相对应的连续降低位置处,以保持零件1600淹没在液体树脂材料1604中。在所示的实施例中,激光1612或其他合适类型的电磁辐射被引导以固化树脂。激光可以通过源1616产生并且通过可控制镜1618引导。

[0235] 挤出式或其他沉积式3D打印机采用各种打印方式来完成周界,特别地用于减少由挤出闭合的周界路径导致的接缝。不在周界路径的任意路径点都在内部区域中,因为周界路径包括最外侧路径点(例如,形成外边围的一部分的新路径使得之前的路径成为内部区域)。相应地,打印路径可以通过对接形成接缝或通过对接之外的方式(或者例如,重叠、自交叉、内锁)形成接缝。通常,一个区段和一个接缝是优选的,因为更少的接缝倾向于具有更好的美观性、密封性和尺寸稳定性。此外,壁或壳体轮廓路径(与“栅格(raster)”填充路径相对比)已经在相同的旋转方向上(顺时针或逆时针)沉积。即使周界路径分支到内部,也以相同的顺时针方向或逆时针方向打印路径。这简化并加速了打印,因为能够从当前的头(heading)在没有优角转弯(例如,小于180度的转弯)的情况下连续地打印周界路径。

[0236] 在打印机沉积打算脱粘并随后烧结的复合原料并且烧结期间在适当位置的第二阶段粘合剂包括普通分子长度的保持聚合物的情况下,沉积可以至少在第二阶段粘合剂内产生沿着聚合物分子链(例如,HDPE等)的应力,所述第二阶段粘合剂沿着沉积路径在一定程度上对齐。在绿色状态或褐色状态中,应力对于尺寸稳定性可以不具有任何特殊效果。然而,当零件在烧结过程中被加热时,应力可以在每层中放松或拉出,如果在零件的许多层中累积了许多小的变化,这就会累积地改变零件的形状。

[0237] 在这种情况下,褐色零件可能在尺寸上与沉积的绿色零件一致,但是可能在烧结之后呈现出绕垂直轴的扭曲。在将褐色零件加热到温和程度(例如,150-200摄氏度)导致扭曲的情况下,当加入褐色零件中的沉积应力被放松时,第二阶段聚合物粘合剂可以考虑被加热到导致扭曲的残余应力能够放松的水平。当打印机沉积层时,构成第二阶段粘合剂聚合物(粘合剂在主要脱粘之后剩余的部分)的长链分子可以沿着打印方向被拉紧。当加热到松弛温度时,分子可能回拉,当在许多层之间的拉力累积时,可能导致零件中的肉眼可见的扭曲。

[0238] 针对这样的扭曲的应对措施是在反方向或逆方向上打印路径。三种最常见的路径是:壳体或壁,壳体或壁被打印用来形成切片内部或外部轮廓的周界;“栅格”填充,其被打印用来以固体方式填充内部体积;和填充蜂窝,其被打印用于填充蜂窝结构中的内部体积。此外,可以采用包括使路径交叉和/或与其他路径或轮廓平行或相邻的非栅格填充或非每行换向填充(例如,随机填充、壁跟随填充、螺旋填充或赞博尼图案(Zamboni-pattern)填充等)的任意覆盖模式填充内部体积,并且能够以可变大小的、随机化的、各向异性的、泡沫状的、海绵状的、三维的或其他形式的规则和不规则细胞(单元壁和低密度或气氛单元内部)填充物来进行填充。针对壳体或壁,许多零件或大多数零件不由垂直棱柱形状和通孔形成,

因此对于不同的壁斜坡、凹度和凸度,切片的形状以及外壳的形状或所有这些形状都会逐层地渐进地变化。靠近上表面或下表面,壁或壳体形状的渐进式变化可能会更显著。

[0239] 在具有例如突出物或从上面的层开始的另一形状的最上方的水平或基本水平的平坦层处,壳体或壁的形状可以从一层到下一层地完全改变。因此,可选择地有利的是,在一层内打印第一组和第二组相反方向的壁或壳体,以此避免可能更复杂的逐层比较。一种方法是通过伴行的、平行的、相邻的墙壁或壳体路径打印每个外周界或负轮廓内周界。在这种情况下,伴行或补偿路径的长度不需要精确地相同,尤其对于小的正轮廓和负轮廓而言(例如,针对3mm直径特征,周界路径的长度与伴行路径可以相差25%–30%,而在30mm的情况下伴行路径的长度可以具有5%或更小的差异)。在这种情况下,根据周界长度的差异确定的重叠量可以有效地去除扭曲。

[0240] 针对壳体或壁内的栅格填料,由残余应力的松弛导致的扭曲效果可能没有那么明显,这是因为栅格行可以包括一些逆向路径。然而,当填充的内部面积变得更小时,栅格行和转弯之间路径长度的差异可能会更明显。根据方向长度(例如,包括直行和行尾转弯)的差异确定的重叠可以用于补偿长度差异。此外,类栅格或蜂窝图案可以打印成瓦片图案,各瓦片图案包括主路径和平行的逆向路径以减轻瓦片内部和/或瓦片之间的扭曲应力松弛。

[0241] 在本发明的这种实施例或表述的一个示例中,如图36A所示,沉积方向以沉积路径内的箭头表示,用于由基于沉积的增材制造系统构建零件的方法可以包括:在第一方向(如内部箭头指示)上沿着第一轮廓工具路径沉积含聚合物的材料以形成绿色零件的层的周界路径371并且限定周界路径内的内部区域。材料也在与第一方向相反的第二方向上沉积在第二轮廓工具路径上以在与周界路径371相邻的内部区域中形成相邻路径372。第二方向上的相邻路径372的沉积对材料中的聚合物链施加应力的方向与周界路径371的材料中聚合物链中的应力方向相反,并且减少了由零件中的聚合物链的松弛导致的零件扭曲。

[0242] 图36B可以被认为是与图36A的层不同的版本,或者可以被认为是示出相邻层(图36B示出了比图36A更小的外周界,例如,相邻层倾斜至顶点的情况)。如图所示,相邻层中的相邻周界路径376可以替代地或也在相对于周界路径371的逆方向上沉积,并且例如栅格填料378或蜂窝填料377等其它路径也可以分别在相对于相邻层374、373内的平行路径的逆方向上打印。而且如图36B所示,相邻路径或沉积376可以比周界路径375沉积地更宽或以更快的速率(或更窄)沉积。当奇数壁沉积在周界处时,改变的宽度或沉积速率可以补偿同一层中的(在任一侧的)两个相邻沉积的扭曲倾向。

[0243] 如图37B或37J的对接接头是最简单的接缝的一种(例如,相邻路径或沉积中的对接接头可以对齐、旋转地偏转或在远离的旋转位置),沉积的起始或沉积的停止中的一者位于图37A或37C到37H所示的层的内部区域中。如图37A到37H所示,起始点和停止点的位置可以被构造用于限定各种接头、重叠和互锁。如图37H和图37J所示,在路径的起始点与停止点之间的轮廓工具路径可以限定至少部分填充内部区域的栅格路径。

[0244] 在本发明的这种实施例或表述的另一个示例中,如图36A到图36B、图37A到图37H以及图37J所示,在由具有沉积头和控制器20的基于沉积的增材制造系统制造零件的过程中,用于零件的层的第一工具路径可以被控制器接收,被接收第一工具路径包括周界轮廓片段371。控制器可以为了零件的层接收第二工具路径372,包括与周界轮廓片段相邻的内部区域段。沉积头能够以遵循被接收的第一工具路径的周界轮廓片段的模式而移动(包括

光或电磁能的束或射线的定向移动)以产生包括可烧结粉末的可脱粘复合材料的周界路径371,并且以遵循被接收的第二工具路径的内部区域段的模式移动以产生可脱粘复合材料的内部相邻路径372,其中,周界路径371和相邻路径372在互逆的方向上沉积使得可脱粘复合材料的粘合剂内的残余应力的方向在周界路径和相邻路径中相反。如图37A到图37H以及图37J所示,这也可以应用在相邻层之间,其中相邻路径376在相邻层中。

[0245] 在本发明的这种实施例或表述的另一个示例中,如图36A到图36B、37A到37H和图37J所示,在利用基于沉积的增材制造系统构建零件的过程中,数字实体模型可以被接收用于零件(例如,诸如STL文件的3D网格或诸如NURBS、参数化实体(parasolid)、IGES文件的3D实体)。数字实体模型可以被切片为许多层(通过例如计算机或基于云的计算设备)。周界轮廓工具路径371可以基于多层的一层周界而生成,其中,已生成的周界轮廓工具路径限定该层的内部区域。内部相邻路径372可以基于内部区域内的周界轮廓工具路径生成。包括可烧结粉末的可脱粘复合材料可以基于周界轮廓工具路径在第一方向上沉积以形成所述层的可脱粘复合材料的周界371。可脱粘复合材料可以基于周界轮廓工具路径在第二方向上挤出以形成所述层的可脱粘复合材料的内部相邻路径372。周界轮廓工具路径371和内部相邻路径372的沉积可以在互逆的方向上相互跟随,使得可脱粘复合材料的粘合剂内的残余应力的方向在周界轮廓工具路径371和内部相邻路径372中相反。可选择地,如图37A和图37C到37H所示,周界轮廓工具路径371的起始点和周界轮廓工具路径371的停止点可以被调整至内部区域内的位置。

[0246] 在本发明的这种实施例或表述的另一个示例中,如图36A到图36B、图37A到图37H以及图37J所示,利用具有沉积头和控制器的基于沉积的增材制造系统制造零件可以包括:通过控制器接收用于零件的层的第一工具路径,其中,被接收的第一工具路径包括轮廓片段。控制器可以接收用于零件的层的第二工具路径,并且其中,被接收的第二工具路径与第一工具路径重叠超过第二工具路径的连续沉积长度的70%,优选地90%。沉积头能够以跟随第一工具路径的模式移动以产生用于所述层的可脱粘复合材料的周界路径371,并且也能够以在相对于第一工具路径的逆方向上跟随第二工具路径的模式移动以产生可脱粘复合材料的与周界路径相邻的应力补偿路径372。在可脱粘复合材料的粘合剂内的残余应力的方向在周界路径371和应力补偿路径372中可以是相反的。

[0247] 可选择地,第二工具路径可以在相同层内连续地与第一工具路径相邻或重叠,并且可以包括相同层内的内部区域。可替代地或额外地,第二工具路径连续地与相邻层内的第一工具路径的至少90%相邻,并且可以包括相邻层的周界路径。

[0248] 在本发明的这种实施例或表述的另一个示例中,如图36A到图36B、图37A到图37H和图37J所示,在利用具有沉积头和控制器的基于沉积的增材制造系统制造零件的方法中,所述方法包括由计算机生成工具路径。可以为生成的工具路径向控制器生成指令。可以在沿着生成的工具路径移动沉积头的同时从沉积头沉积可脱粘复合材料,以形成零件的层的周界路径。如图37G所示,周界路径可以包括第一轮廓路径部分378和第二轮廓路径部分379,第一轮廓路径部分和第二轮廓路径部分以具有偶数个X图案的形式彼此交叉,形成该层的偶数个隐蔽接缝。

[0249] 在本发明的这种实施例或表述的另一个示例中,如图36A到图36B、图37A到图37H和图37J所示,具有沉积头和控制器的基于沉积的增材制造系统可以沿着第一工具路径段

380移动沉积头以形成零件的层的周界路径部分371。如图37C所示,沉积头可以沿着方向改变工具路径段381移动;并且沿着第二工具路径段移动以形成与周界路径部分371相邻的应力平衡路径部分372。如图37C所示,方向改变工具路径段381可以包括相同层内的位于第一工具路径段380与第二工具路径段382之间的优角延续(例如,在180和360度之间)。

[0250] 如图38A、38B、39A、39B和40所示,喷嘴结构能够用于提升本文所述的金属粉末复合原料的打印特性。诸如金属注射成型(MIM, Metal Injection Molding)原料的金属粉末复合原料是如本文所述地包括可烧结金属粉末和粘合剂的复合材料,可以被设计为有利于MIM专用处理。如在过去20年中许多学者发现的一样,特定原料能够适合于挤出型3D打印,例如,熔融沉积成型或熔丝制造(“FDM”或“FFF”,通用挤出型3D打印的术语)。传统挤出原料与MIM原料的形成方式不同,并且传统挤出原料包括熔化或软化的热塑性塑料材料。在MIM原料的情况下,用于注塑成型或绿色到褐色零件过程的其他材料经常被包含在原料(通常是蜡)中,但是包括其他低熔点和低粘度材料。FDM/FFF热塑性塑料丝的更高粘度(与含蜡的MIM原料的低粘度相比)和更低热导率(与MIM原料的高金属粉末含量相比)可能需要更大的熔化区以使材料达到合适的温度并且因此达到适合的粘度从而流动。

[0251] 如果熔点足够低或者材料反应足够,则在使用普通的挤出型喷嘴、热截断和加热时,在挤出过程期间在流化原料中能够形成小气泡或其它不连续性。气泡以几种方式产生打印问题——例如,在间隙和液滴中的不均匀打印,或者相邻路径或层或零件的不同部分中的路径的不均匀打印。本发明提供专门用于促进均匀打印的技术方案。气泡可能以许多方式产生——例如气体从固相溶解,即,形成蒸汽的少量湿气。可替代地或额外地,微小气泡可以在喷嘴中合并,从而在原料制造阶段中进入原料丝——例如,在转变为丝的颗粒材料中的在此过程中不被移除的气泡,或者在丝制造期间被引入的气泡。可替代地或额外地,空气可以在稳定打印之后的缩回步骤(retract step)中被拉入系统中(挤出式3D打印机可以被设定为在稳定打印之后或在非打印喷嘴平移以缓解熔化区中的压力期间“缩回”,即,反转少量的(例如,1-5mm)丝驱动方向)。额外地或可替代地,由于丝挤出器滚刀而引起的变形(例如,通过抓取齿、压力或加热中的任一者导致的)可以导致气泡。

[0252] 本系统的额外好处是减少用于实际尺寸的加热器块和喷嘴系统的熔融体积,提供更积极响应的挤出控制。考虑到一些MIM材料的粘度很低,额外的背压也可以提供更好的挤出控制。在一个实施例中,例如,对于在大约130-150摄氏度开始熔化或液化的MIM材料来说,材料可以在打印头中被加热到180-230摄氏度以促进粘合。在这个替代例中,作为使用长而薄的熔化通道减少熔化区的体积(例如针对直径的1:10的宽高比和20mm³的体积)的替代方式,熔化区可以是短的1:2宽高比和20mm³的体积——例如,3mm熔化区高度、1.5mm熔化区直径。然而,更长的薄熔融通道允许暴露于加热元件更长的加热长度(例如,如附图所示,短熔化区不一定能够容纳大而强有力的加热筒)。减小的丝直径(例如,不是传统的3mm或1.75mm,而是1mm直径的丝)可以允许给定温度下的更小的弯曲半径以及对挤出量的更好的控制——对于挤出器上给定的步进尺寸而言,挤出更少的材料。

[0253] 关于建议的或有利的尺寸,10:1以下的喷嘴与颗粒直径比可能导致开始堵塞。更少的球形颗粒(例如,能够在混合或螺旋挤出期间产生的薄片或碎片)加剧堵塞。传统MIM(或CIM)材料可以载有按体积计55%至65%的金属(或陶瓷)粉末,但是在这个装载水平下,小粉末尺寸(例如,小于1μm直径)的氧化铝陶瓷的分离层材料可能倾向于在钢烧结温度下

烧结。当粉末的尺寸轻微增大到2 μm 时,分离层可以变成像粉笔一样。因而,对于MIM粘合剂(例如,如本文所述的蜡质聚乙烯)中载有的氧化铝或类似的陶瓷粉末,按体积计15%-35%的粉末具有5 μm 或以上的粉末直径就可以作为分离层表现良好。可替代地,对于MIM粘合剂中载有的氧化铝或类似的陶瓷粉末,按体积计10%-20%的粉末具有2 μm 或以下(或1 μm 以下)的粉末直径就可以作为分离层表现良好。此外,它们可以结合(例如,一些颗粒小于1 μm 并且一些颗粒大于5 μm)。

[0254] 常规FDM/FFF丝或者熔融室可以大约是1.7-3mm,并且在本发明中,对于0.1-0.4mm的尖端出口直径(对于1.0-2mm的丝直径),熔融室可以是0.6-1mm直径。熔融室的体积(从相邻喷嘴的尖端延伸到熔融界面的恒定直径的被加热的大致圆柱形腔室)可以大约是15-25 mm^3 ,而传统FDM/FFF熔融室的体积大约是70 mm^3 。

[0255] 如图38A和38B所示,FDM/FFF喷嘴组件可以包括喷嘴38-1,喷嘴包含具有更大直径的圆柱形熔融室38-2的一部分以及向喷嘴出口38-3的过渡部。过渡部可以是光滑的(锥形的38-4,如图38A所示)或阶梯式的38-5(如图38B所示)。喷嘴38-1和热截断38-5被紧固(例如,拧入)至加热器38-6块中以便彼此抵靠,热截断38-5包括圆柱形熔融室的剩余部分。热截断38-5包括由低导热系数材料(例如,不锈钢)制成的窄腰部,从而通过热截断38-5的顶部(其被散热器冷却)和热截断38-5的被传导加热的下部之间急剧的温度转变提供熔融界面。在固体丝38-8与熔融室38-2中的液化材料之间的熔融界面通常靠近窄腰部(在上方或下方与窄腰部相邻,或者在窄腰部之内)。如图38A和图38B分别所示,FDM/FFF喷嘴组件可以包括大约1.8mm直径和10mm高度且大约70 mm^3 体积的熔融室以及大约0.25mm-0.4mm的喷嘴出口。如图所示,筒形加热器38-6(在图38A中)或螺旋感应加热器38-6(在图38B中)是合适的。如图所示,在一些情况下PTFE嵌入件38-9可以提供防止丝阻塞的能力。

[0256] 如图39A和图39B所示,MIM材料挤出型喷嘴组件可以结构类似,例如,具有喷嘴39-1中的光滑或阶梯式的过渡部、包括窄腰部的热截断39-5和如前所述的其它组件(例如,参考标记39-#对应于之前使用的标记38-#)。固态珀尔帖(Peltier)冷却器可以用在热截断39-5上或热截断39-5附近,并且可以通过导热胶泥或其他高热导率界面粘接至热截断39-5。如图39A和39B所示,MIM材料挤出型喷嘴组件可以包括大约0.6mm-1mm直径和10mm高度以及大约20 mm^3 体积的熔融室,并且喷嘴出口39-3的直径大约是0.1mm-0.4mm。如图39B所示,窄插入件39-11可以用于转换FDM喷嘴用于MIM材料挤出(例如,本文所述的熔化室体积与喷嘴出口尺寸或丝的关系与挤出期间MIM材料的尺寸相关,不一定是特定的喷嘴、热截断或插入零件)。如图40所示,MIM材料挤出型喷嘴组件可以包括大约1.7-3mm直径和1-4mm高以及大约20 mm^3 体积的熔融室39-2,并且喷嘴出口的直径大约是0.1mm-0.4mm。

[0257] 关于图1B所示的粘合剂喷射示例,在不需要使用丝的挤出器的所有的前述示例中,可以使用粘合剂喷射示例打印机1000J和相关处理。在用于制造所需3D绿色零件的3D打印机中,粘合剂可以作为一系列的相邻2D层形状而被喷射到粉末原料的连续层中的可烧结金属或陶瓷粉末床上,粉末床被新原料或回收原料再填充并且对每一连续层进行再调平/擦拭。所需3D绿色零件和相关的烧结支架或底部收缩平台(用于在烧结期间抵抗重力而将3D绿色零件的未支撑的跨度保持在适当位置并且保持3D绿色零件的整体形状)的3D形状被构建为包括可烧结粉末和粘合剂的嵌入松散粉末体积中的粘结复合体。3D绿色零件和它的烧结支架随后将被脱粘并接着被烧结,并且移除烧结支架。

[0258] 在一些层中,可以依据被形成的2D层形状段是外壁、内壁还是蜂窝壁、或者内部散装材料(或取决于与这样的周界或区域有关的打印位置)而喷射不同量的粘合剂。这导致粘合剂与粉末的体积分数比例的变化(可选择地,连续的或台阶梯度),例如,从90%的粘合剂比100%的粉末经过50:50直到10%的粘合剂比90%的粉末。例如,更高体积分数的粘合剂可以位于外壳(和/或内壳),朝着例如区域质心向内逐渐减少。

[0259] 在一些层中,例如,脱模材料(包括不在原料粉末的烧结温度下烧结的另一种粉末)也能够以介入在下层中的支架形状和两层之上的层中的零件形状之间的方式应用互补的2D形状(例如,被喷射在粘合剂中、被挤出在粘合剂中)。

[0260] 在一些层中,占位材料(没有绿色零件粉末或脱模材料粉末)也可以应用于绿色零件和/或烧结支架内的所需自由空间的互补2D形状中(例如被喷射或被挤出)。在一些层中,占位材料也可以或可替代地应用于壁或“模具”形状中,例如,占据零件形状的外部自由空间、捕捉模具形状内未结合的可烧结粉末。换句话说,外部壳体(例如,蜡)可以由占位材料形成。外部壳体2D形状沉积在前一粉末(例如,粘合粉末、未粘合粉末和/或脱模材料)层顶部上的每个候选层中,然后涂上未粘合粉末原料的下一层。如图1B所示,刮片138可以用于将2D壳体形状的顶部切片(平整)或者硅辊/刀片138可以用于将2D壳体形状的顶部切片——硅辊/刀片可以接受一定的变形,例如,变形以容纳打印平面之上塑性公差凸起。

[0261] 粘合剂可以被喷射入模具形状内的顶部、底部、栅格、蜂窝或骨架加固形状(例如,开始远离模具形状)以帮助保持未结合的可烧结粉末在诸如平整或站与站之间移动零件等下游处理期间抵抗重力或机械干扰。例如,在一些2D层中,诸如六角形的、三角形的或者如前所述的低密度或高体积分数的粘合剂的内部保持图案可以与以下任一者结合用作支架:由粘接复合材料形成的外壳、由高体积分数粘合剂结合复合材料(例如,70%粘合剂)形成的外壳、和/或由占位材料形成的模具形状。如本文中提及地,这可以有助于防止打印期间或者层再运用期间的零件运动。

[0262] 此外,在一些层中,占位材料可以也或可替代地在例如由粘合粉末形成的收缩平台与底层构建平台之间或在多个相邻或堆叠的3D绿色零件与相关的烧结支架之间应用互补2D形状的粘合剂,以允许每次运作构建多个零件。粘合剂功能又可以帮助保持任意形状对抗在诸如平整或站与站之间移动零件等下游处理期间的机械干扰。应当注意,喷射入可烧结粉末的粘合剂也可以用于在收缩平台和构建平台之间、以及或者可替代地在多个相邻或堆叠的3D绿色零件与相关的烧结支架之间如本文所述地形成粘合钉(ashering tack)。换句话说,零件可以用(例如,去除溶剂的)粘合剂固定到底平面(例如,构建板)的锚定零件和/或固定至彼此的零件(例如,在Z轴上,当在一个零件的顶部上打印另一个零件时)。

[0263] 在每层之后,粉末床被再填充并重新平整/擦涂(使用刮刀138、辊、轮或其他粉末平整机构)为与绿色零件形状、脱模材料的形状和/或自由空间占位材料形状齐平。选择性地,在粉末床被绿色零件形状、脱模材料形状和占位材料形状重新填充之前,表面精加工机构对绿色零件形状、脱模材料形状和/或占位材料形状的最近层或最新层进行平坦化或成形(轧制、刨削、熨烫、研磨、铣削)。

[0264] 绿色零件、烧结支架、介入脱模材料和占位自由空间材料的各者的3D形状以连续层构建,并且在3D空间中,基本上可以采用任何互锁的3D形式。在许多情况下,绿色零件被形成为可识别的3D对象,分离材料形成的平面、拱形、半球或有机形状等将3D对象与下方的

烧结支架的柱体分离,这些柱体如本文所述地向下延伸至收缩平台,收缩平台通过占位材料和/或结合复合材料钉而被粘接至构建平台。可选择地,如图所述,在可识别的3D对象内,期望的自由空间可以用占位材料和/或非结合可烧结粉末填充。在占位材料和/或非结合可烧结粉末之中可以沉积含有或掺加了占位材料和/或非结合可烧结粉末的结合复合材料蜂窝或栅格等。可选择地,如本文所述,关于可识别的3D对象,限定3D对象的外皮肤的模具形状可以由占位材料形成。额外地或可替代地,形成3D对象的外皮肤的皮肤形状可以由结合复合材料形成。

[0265] 随后,3D绿色零件以烧结支架、脱模形状以及占位或粘合形状一起被从粉末中移除,并且清除剩余的未结合粉末。未粘合粉末可以通过形成形成在粘合复合材料内的出口从3D绿色零件和烧结支架的周围被移除,或者被留下夹带在期望的绿色零件内。随后,绿色零件和它的烧结支架可以如本说明书中其它地方所述地处理。结合复合材料的外壁和内壁以及内部蜂窝壁将如所述地脱粘以形成褐色零件组件。脱模材料将如所述地脱粘,变为用于移除烧结支架的分离粉末,并且被保留用于烧结并在烧结之后被移除。占位材料可以被脱粘(包含在溶剂、催化剂或热过程中)或者甚至,如果是与粘合剂不同的材料,则可以在脱粘之前或脱粘之后被移除。在一些情况下,在高温下保持形状但可以通过进一步的振动、机械、辐射或电气过程而被分解的高温占位材料(例如,碳或陶瓷复合材料)可以经过烧结而被保留。

[0266] 可替代地,如果单阶段粘合剂能够在烧结炉中被热解,则对于绿色零件形状和/或烧结支架来说,脱粘步骤可以是不必要的。在这种情况下,绿色零件组件被直接放入炉中。结合复合材料的外壁和内壁以及内部蜂窝壁在一体化的处理中被脱粘和烧结。脱模材料可以在炉中在一体化的脱粘和烧结之前被脱粘,或者也可以在炉中在一体化的脱粘和烧结时被脱粘。占位材料可以在炉中在一体化的脱粘和烧结之前被脱粘,或者也可以在炉中在一体化的脱粘和烧结时被脱粘。

[0267] 可以提供(颗粒挤出、丝挤出、喷射或固化)包含如本文所述的可移除粘合剂和大于50%体积分数的具有高于1200摄氏度的熔点的粉末化金属(包括各种钢,例如不锈钢或工具钢)的材料。粉末化金属的超过50%的粉末颗粒可以具有小于10微米的直径,并且有利地,直径小于8微米的粉末颗粒超过90%。平均颗粒尺寸可以是3-6微米的直径,以及6-10微米直径的实质最大值(例如,超过 ± 3 个标准差跨度或99.7%)。

[0268] 由于多种效应(包括增大的表面积和颗粒之间的表面接触),更小的(例如90%的小于8微米)颗粒尺寸可以而降低烧结温度。在一些情况下,特别是对于不锈钢和工具钢来说,这可以使得烧结温度位于使用非晶态二氧化硅管的熔管炉的工作范围内,例如,低于1200摄氏度。更小直径的粉末材料可以在连续层中增材沉积以形成如本文所述的坯体,并且移除粘合剂以形成褐色坯体(在本文所述的沉积和/或脱粘的任意示例中)。

[0269] 定义

[0270] 材料的“烧结温度”是材料在工业上被烧结的温度范围,并且通常是材料通过烧结到达期望的体积密度(例如在烧结炉中期望达到90%以上峰值体积密度)的最低温度范围。

[0271] “蜂窝”包括用于面积的稀疏填充(并且因此当多层被堆叠时是体积的稀疏填充)的任意规则的或可重复的镶嵌(tessellation),包括三边、六边、四边、互补形状(例如,与三角形结合的六边形)互锁形状或细胞网格。“单元”可以是类似于真正蜂窝(中央空腔和作

为柱状体延伸的周围壁)的几何棱柱形状的垂直的或其它形式的柱状体,或者可以是阿基米德或其他空间填充蜂窝、连锁多面体或在三维的各个方向层叠布置的具有中央空腔和周围壁的各种形状“气泡”。单元可以有相同尺寸、不同但重复的尺寸或可变的尺寸。

[0272] “挤出”可以表示如下过程:在该过程中,挤压原料经过模具以具有比原料更小的横截面积的特定形状。有时被称为熔融沉积制造(“FDM”)的熔丝制造(“FFF”)是挤出工艺。类似地,“挤出式喷嘴”表示被设计为当流体流出(或流入)封闭腔室时,(尤其是为了提高流速和/或限制横截面积)控制挤出流体流的方向或特征的设备。

[0273] “壳体”和“层”在许多情况下可以互换使用,“层”是“壳体”的子集(例如,层是壳体的2.5D限制版本,在3D空间中在任意方向上延伸的薄板)和/或“壳体”的父集(例如,壳体是围绕3D表面包裹的层)。壳体或层以3个自由度(可以是笛卡尔的、极坐标的,也表达为“delta”)沉积为2.5D连续表面;并且在4-6个自由度或更多自由度下沉积为3D连续表面。

[0274] 在本发明中,“3D打印机”包括分立式打印机和/或刀夹附件,以实现执行更大的过程内的增材制造子过程的制造机械装置。3D打印机通过解释专用G代码并且依据G代码驱动3D打印机的各种致动器的运动控制器20控制。“填充材料”包括由可脱粘材料和可烧结材料(例如,在脱粘之前)形成的复合材料。

[0275] “填充材料”包括能够以基本同质的形式沉积为挤出物、流体或粉末材料并且例如通过硬化、催化或固化而凝固的材料。“基本同质”包括粉末、流体、共混物、分散剂、胶体、悬浮液和混合物。

[0276] “3D打印机”含义包括分立式打印机和/或刀夹附件,以实现执行更大的过程内的增材制造子过程的制造机械装置。3D打印机通过解释专用G代码(工具路径指令)并且依据G代码驱动3D打印机的各种致动器的运动控制器20控制。

[0277] “沉积头”可以包括喷射喷嘴、喷雾喷嘴、挤出喷嘴、管道喷嘴和/或混合喷嘴。

[0278] “丝”通常可以涉及(例如缠绕丝轴的)构建材料的整个横截面积。

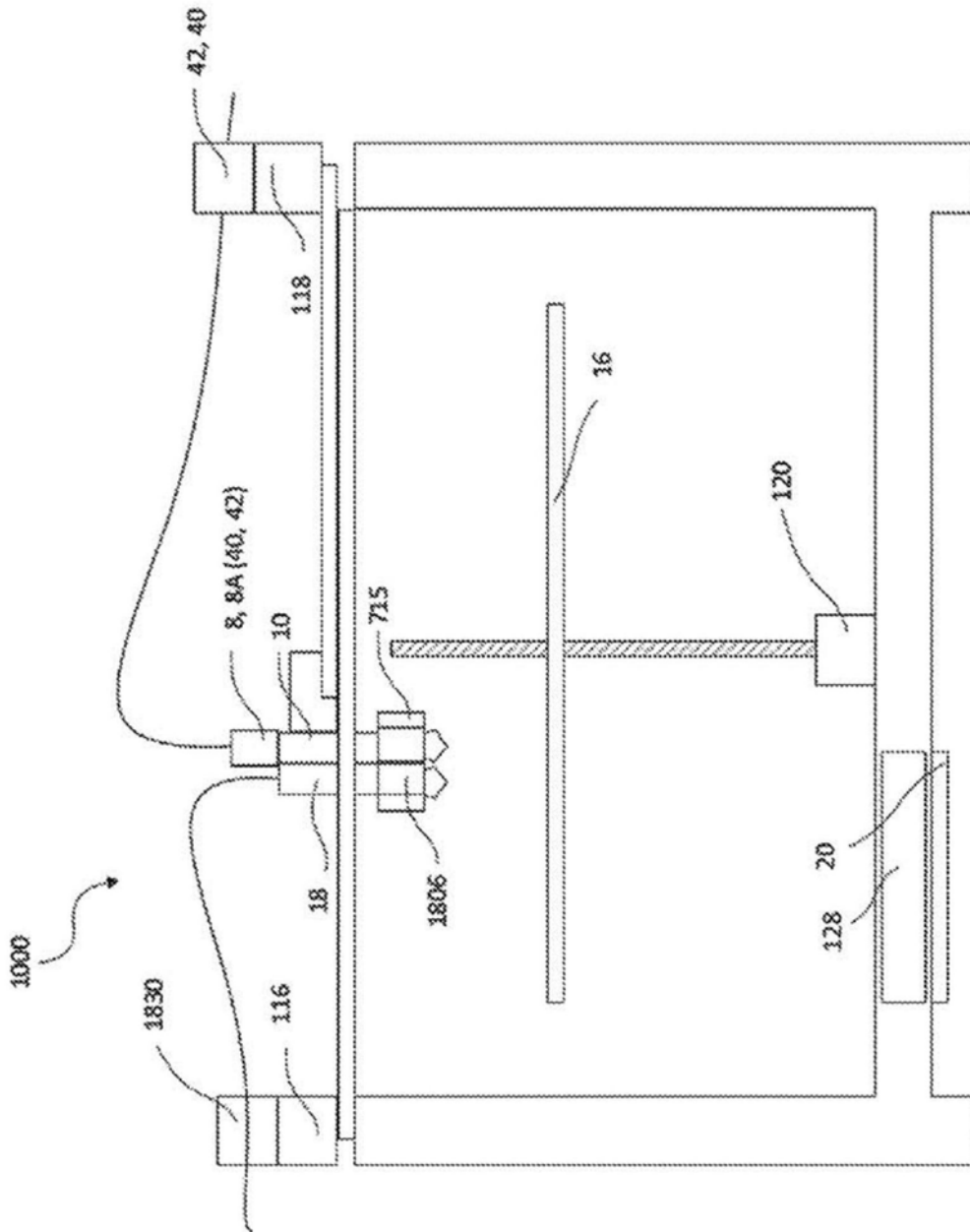


图1A

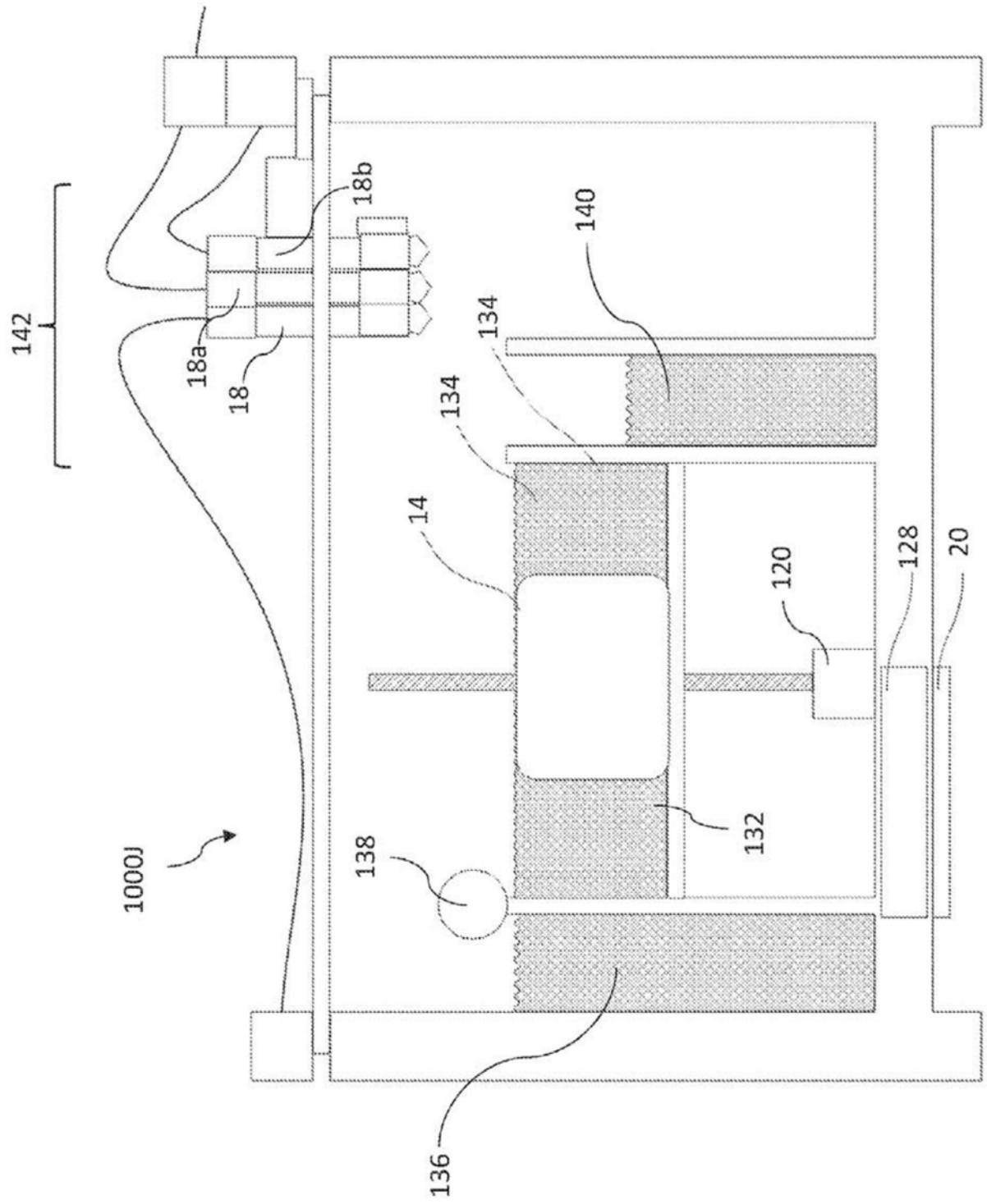


图1B

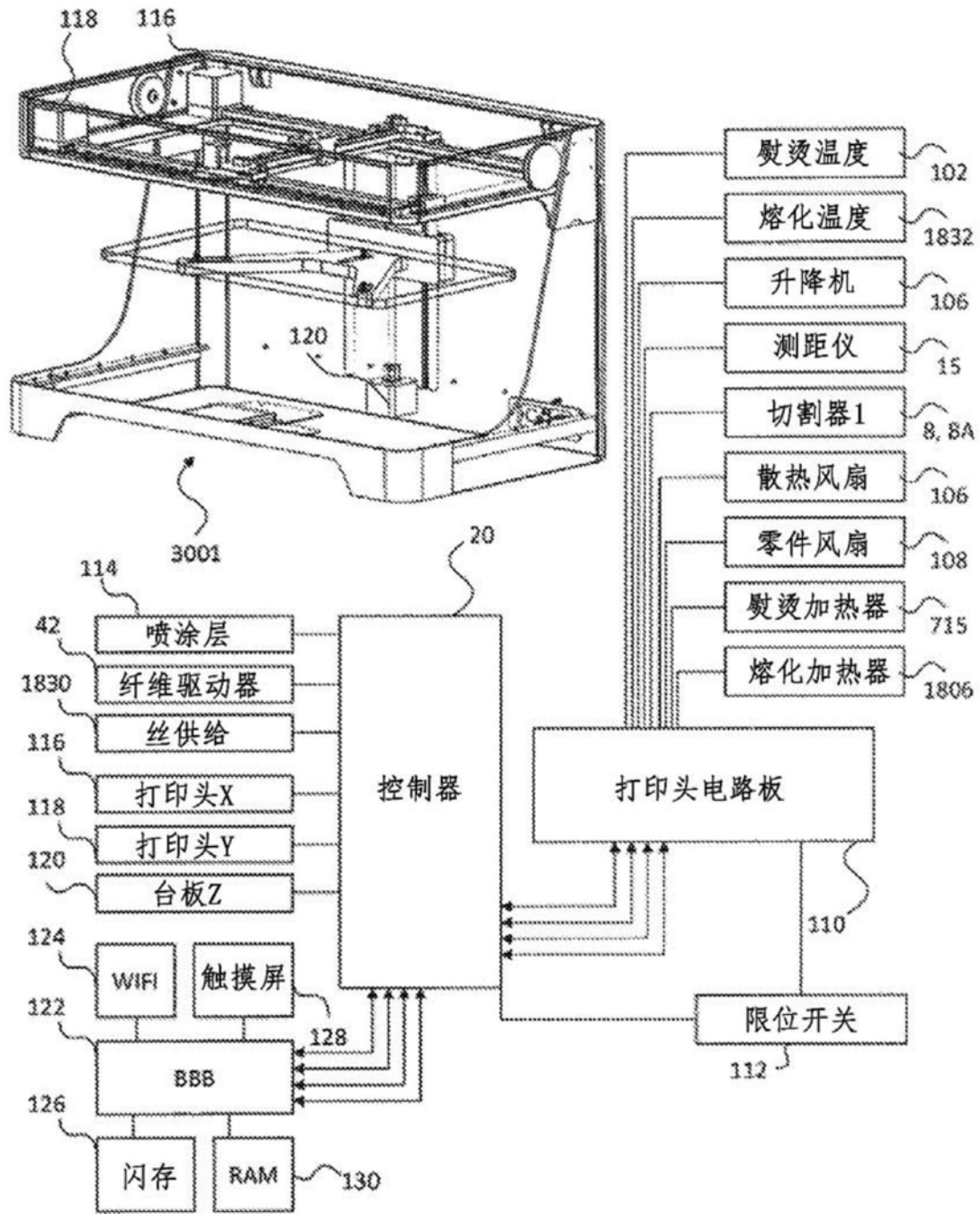


图2

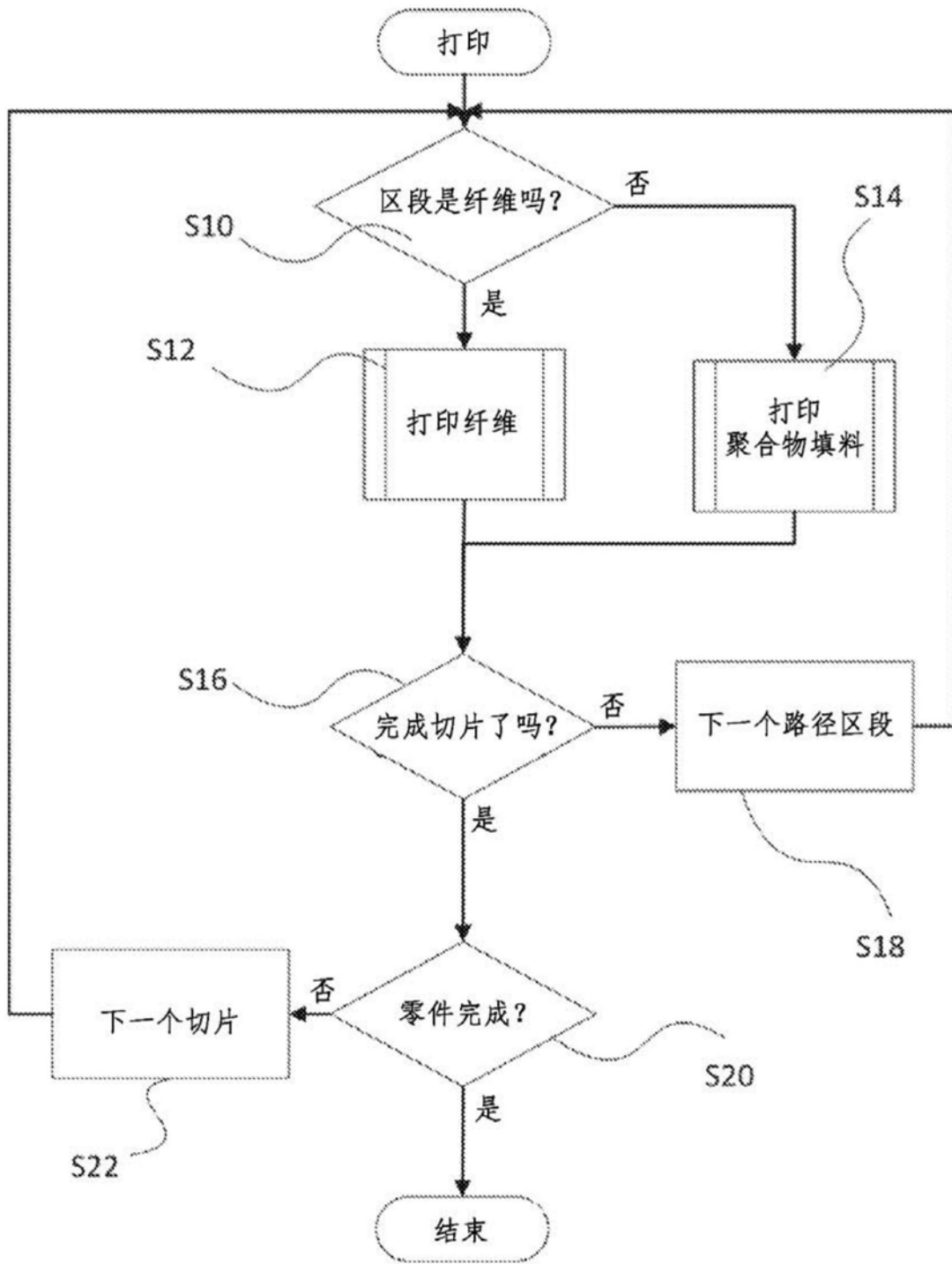


图3

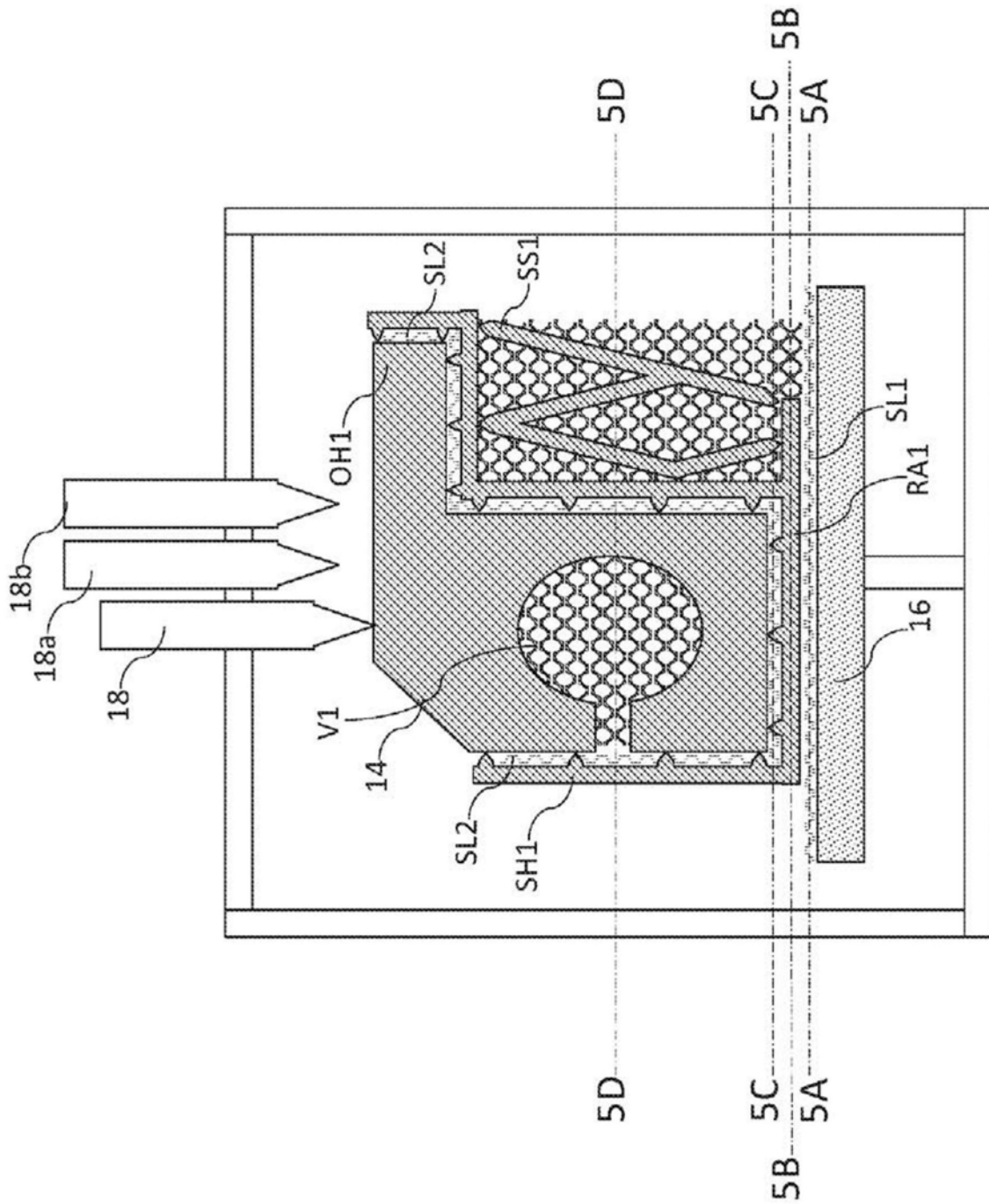


图4

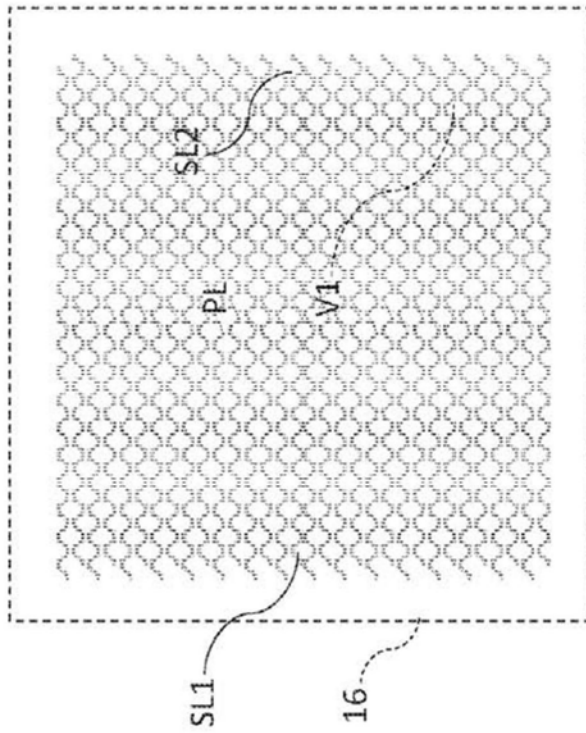


图5A

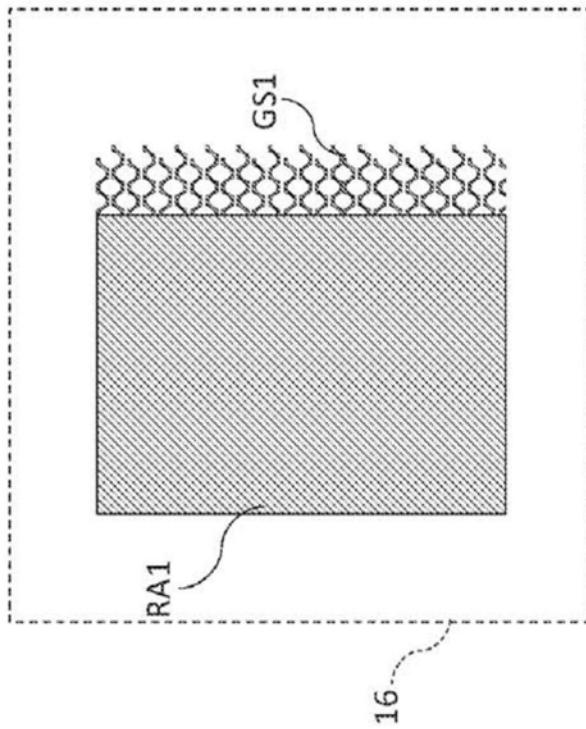


图5B

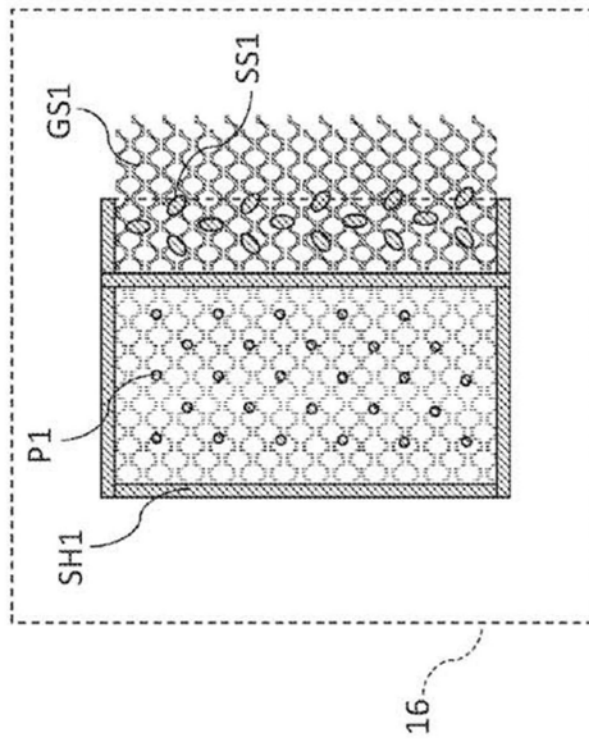


图5C

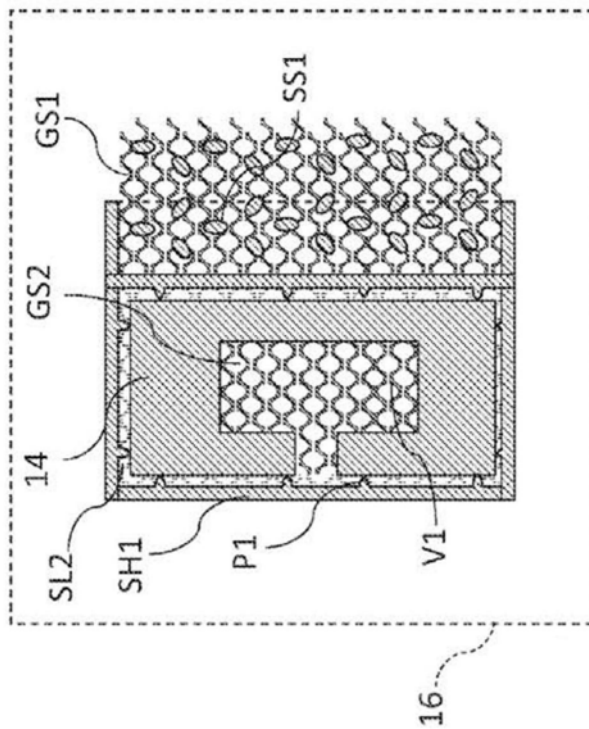


图5D

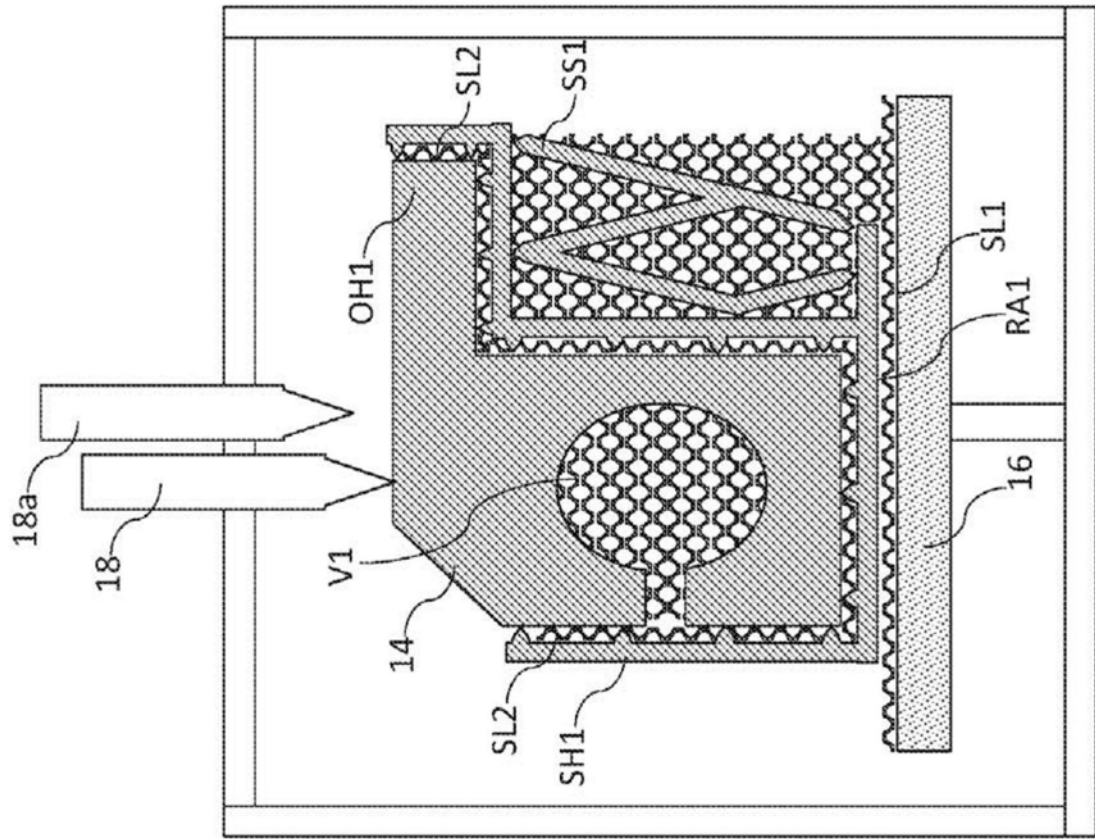


图6

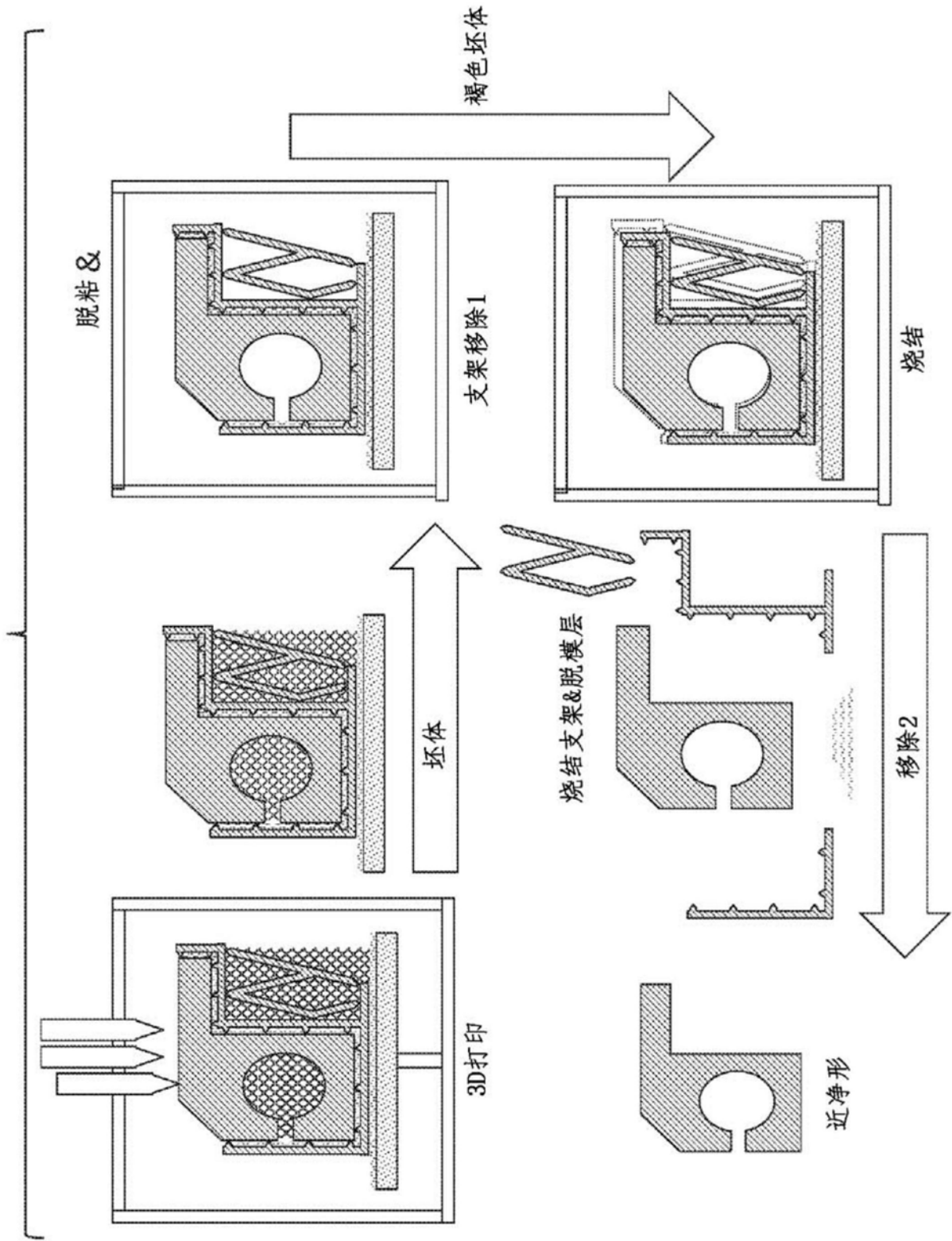


图7

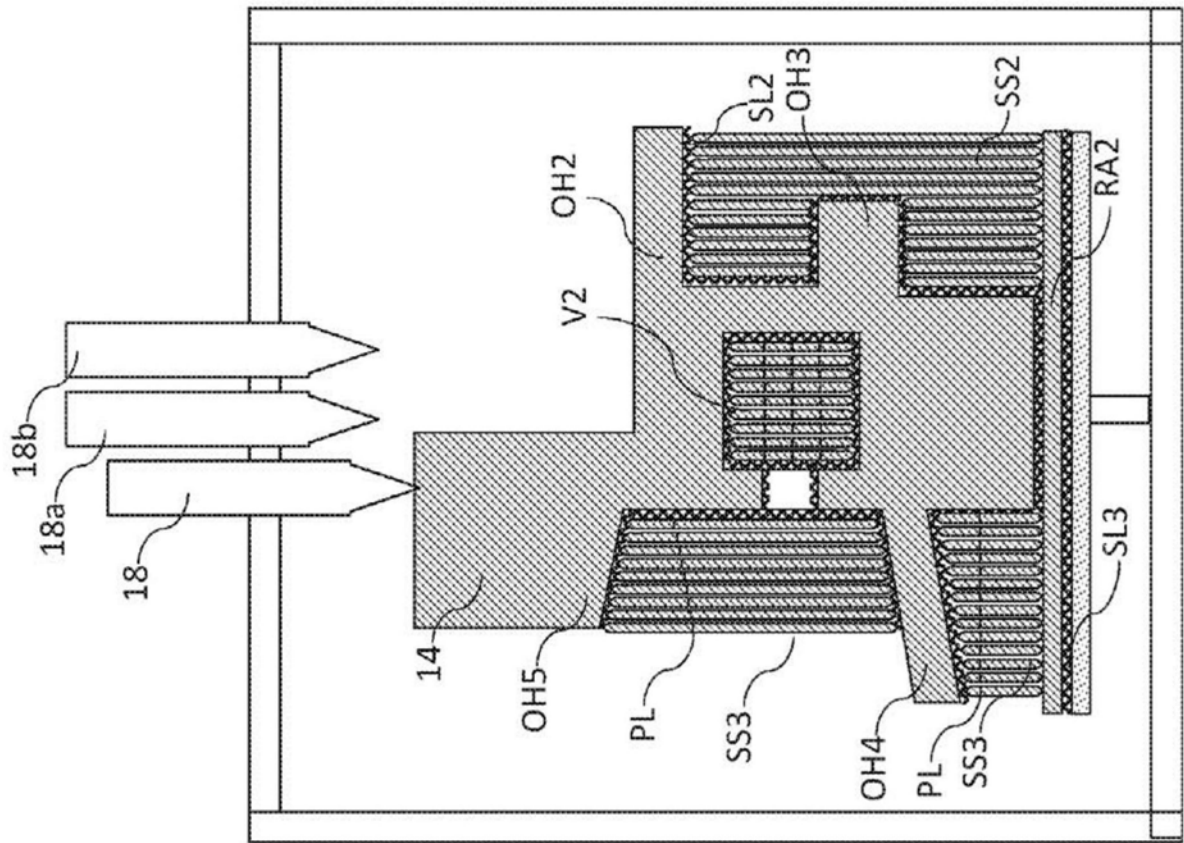


图8

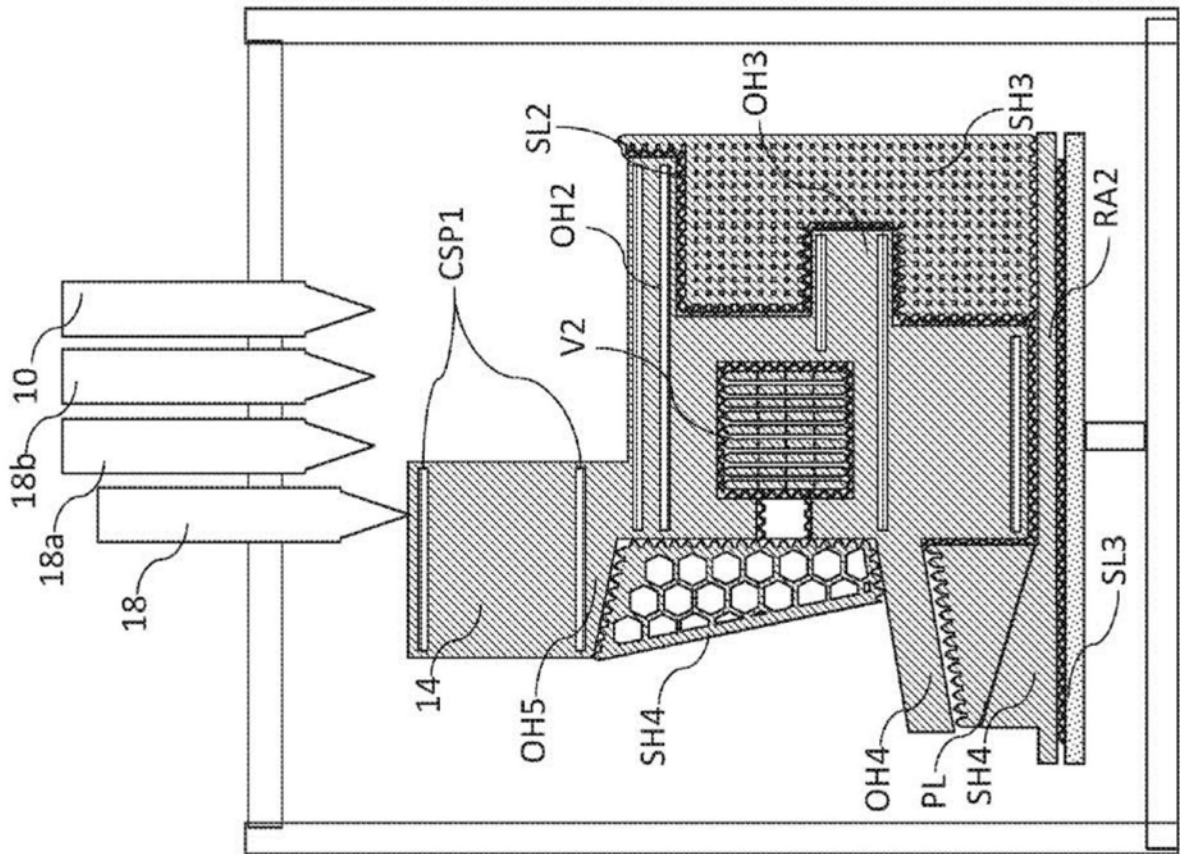


图9

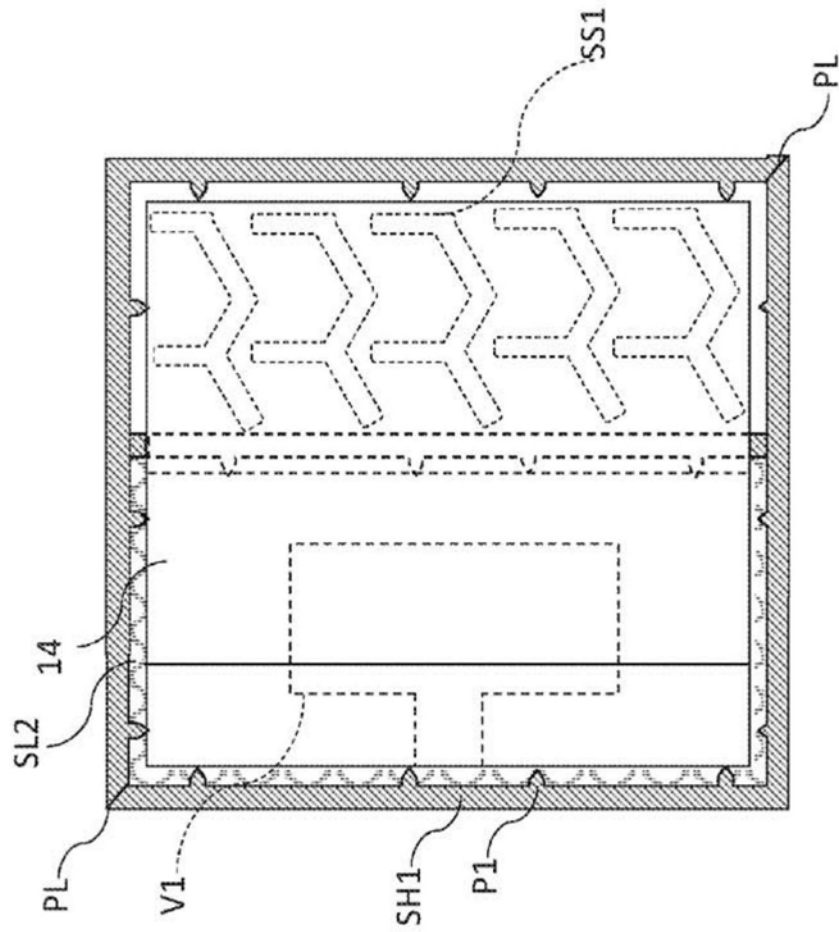


图10

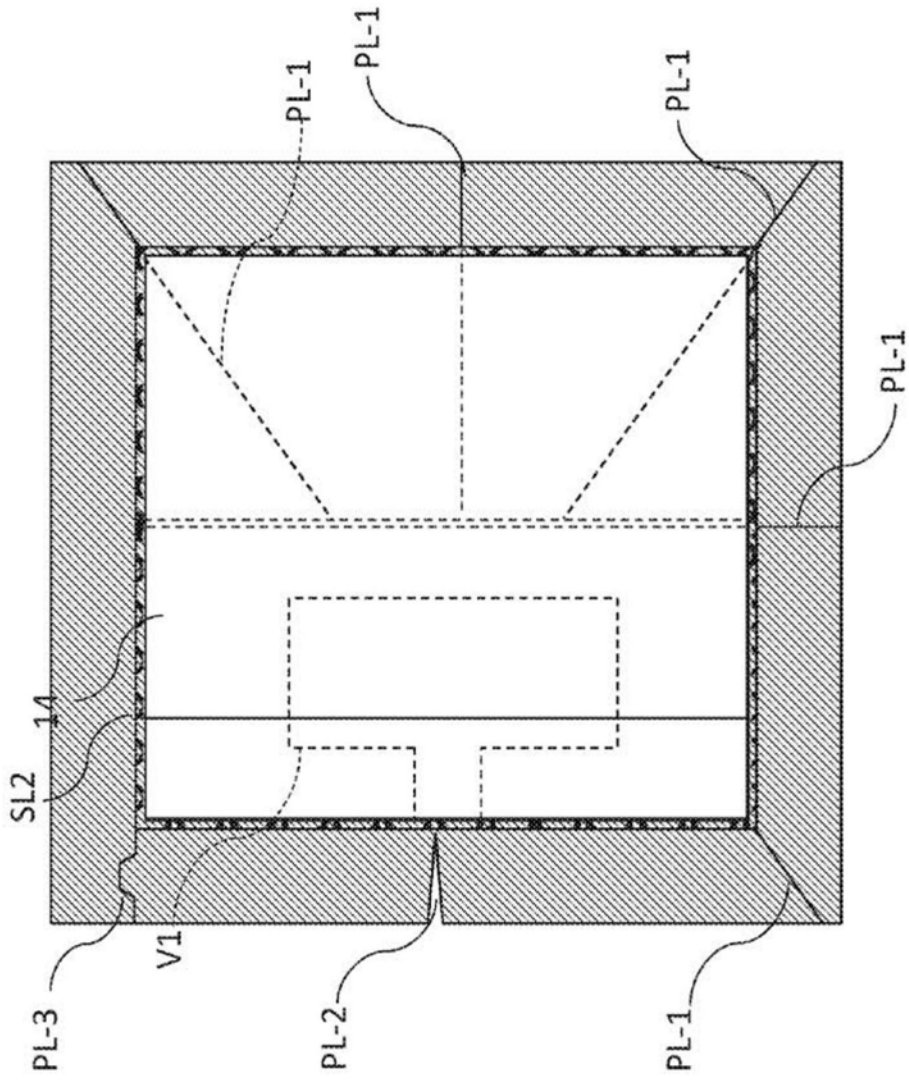


图11

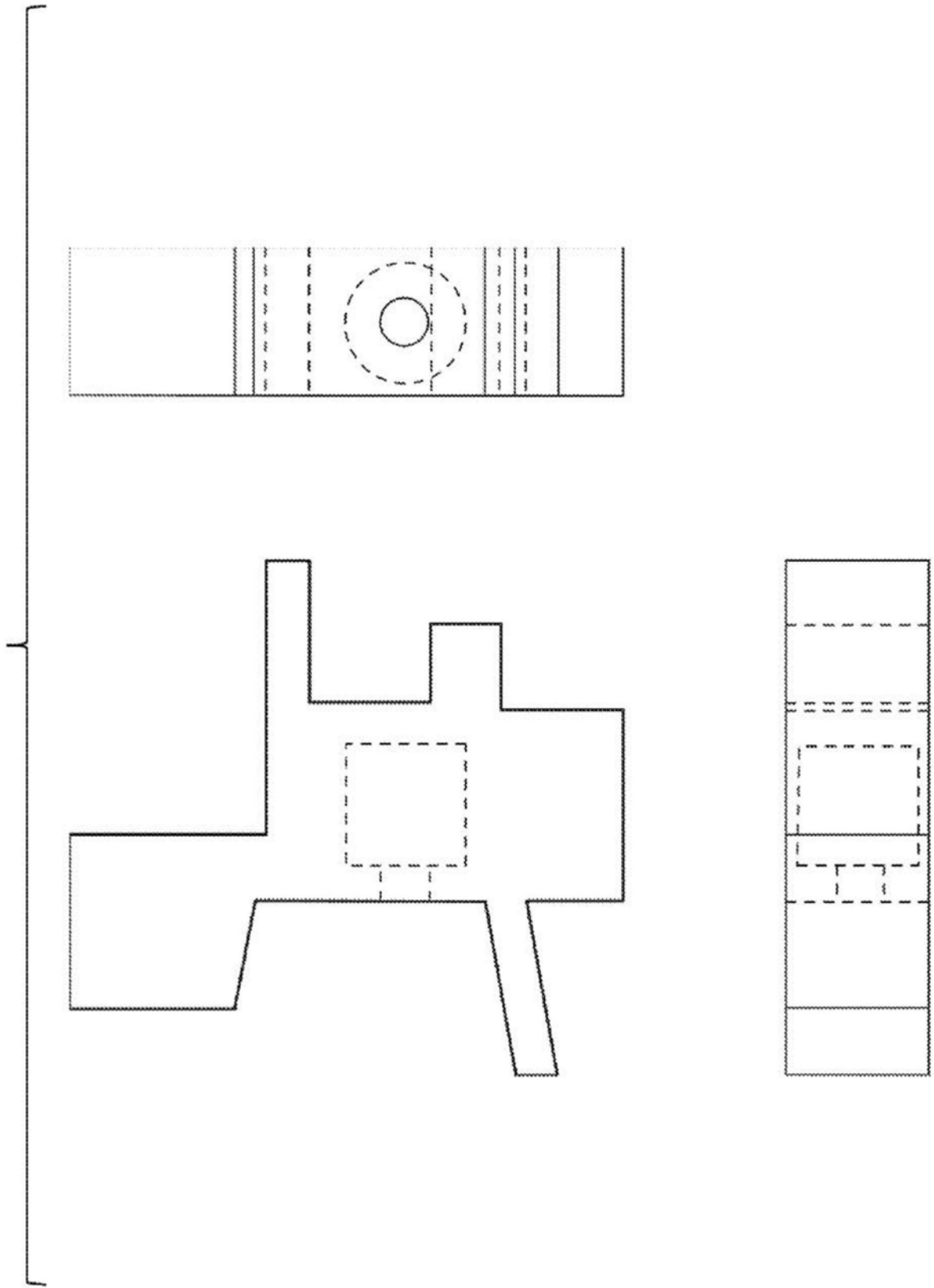


图12

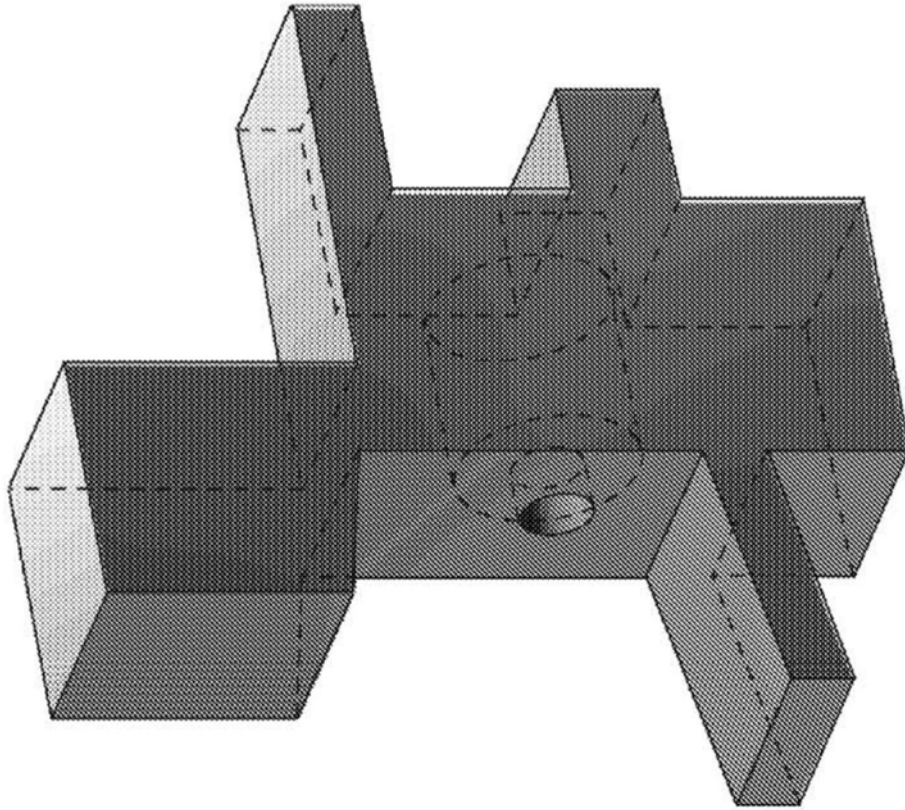


图13

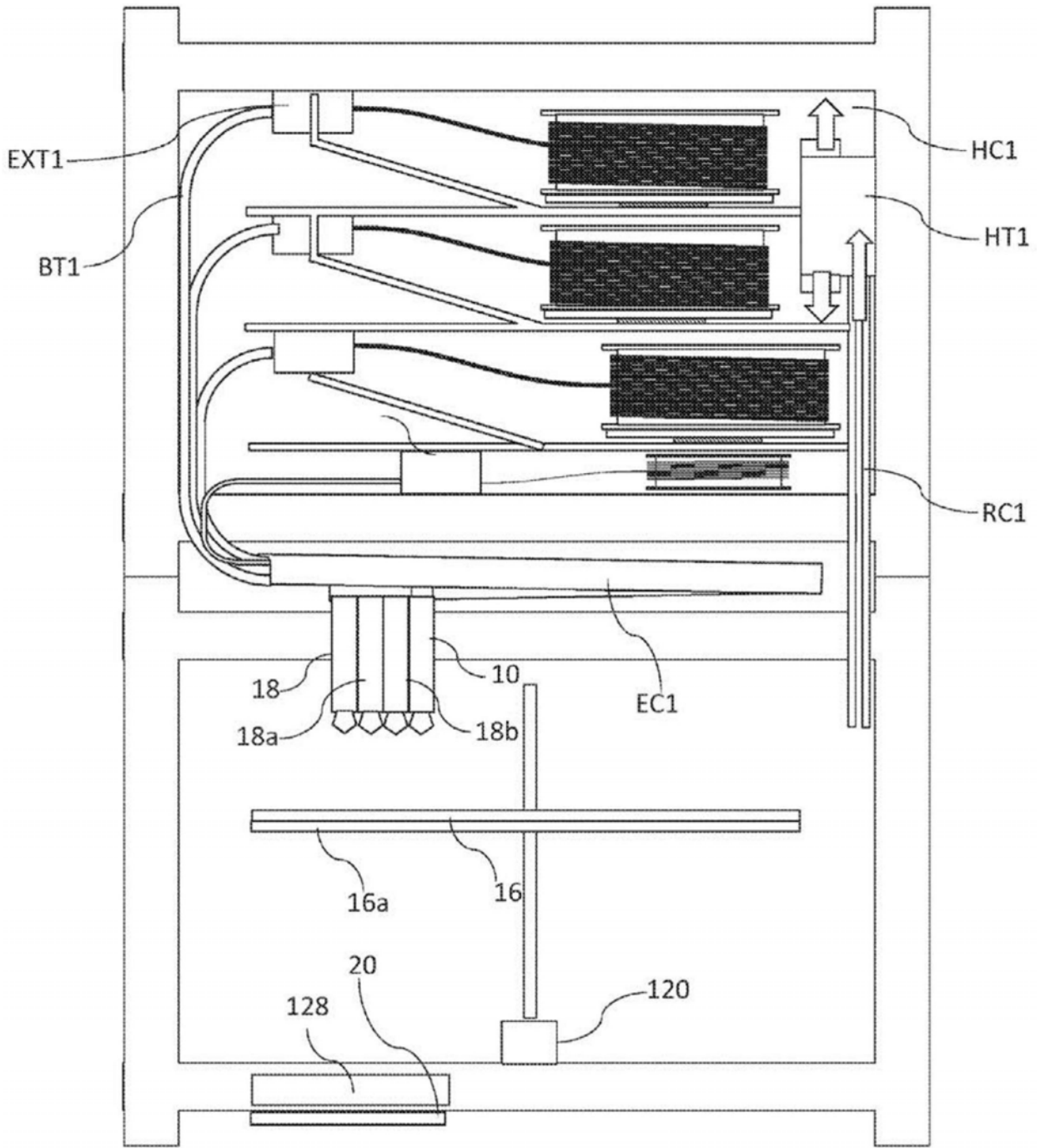


图14

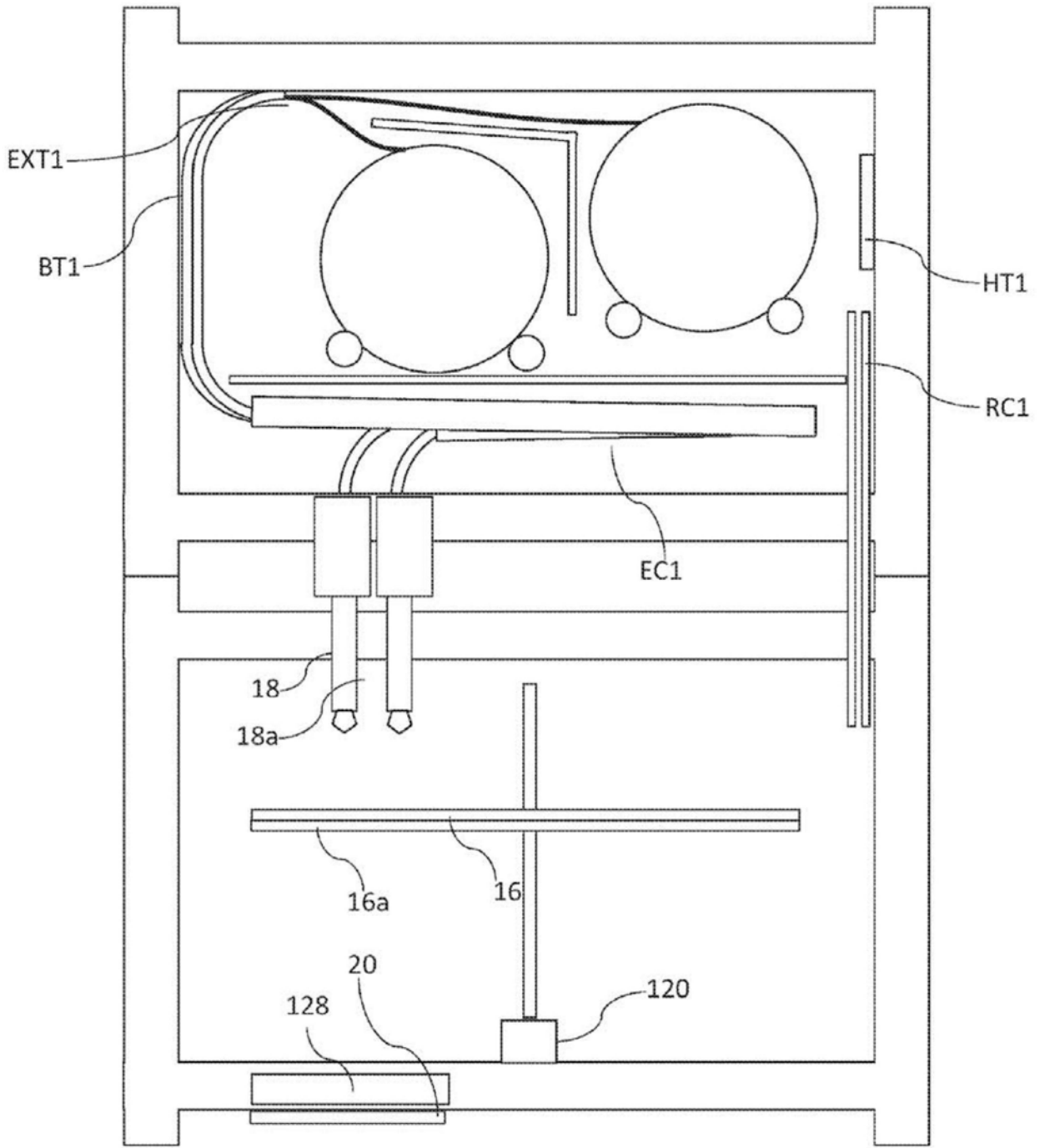


图15

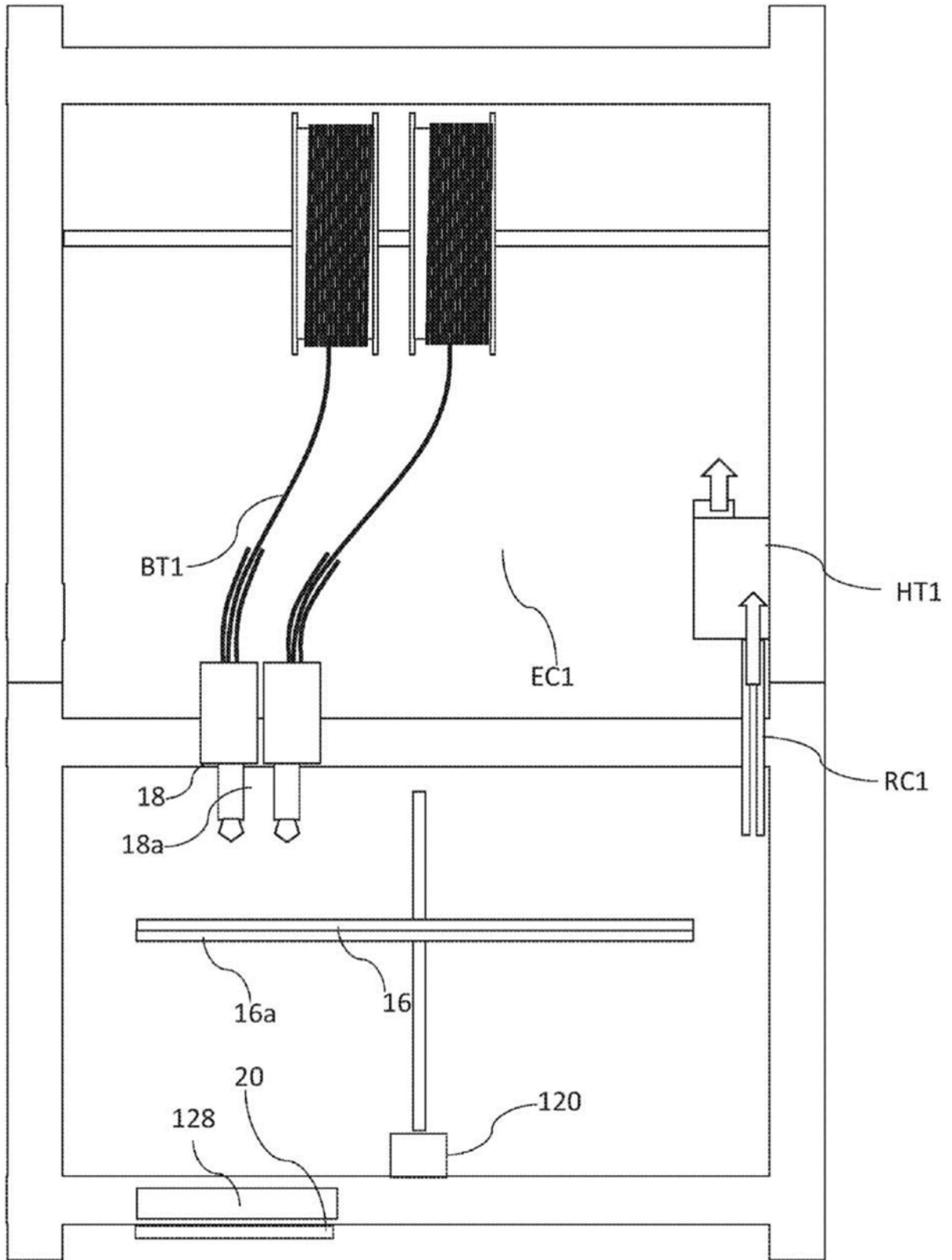


图16

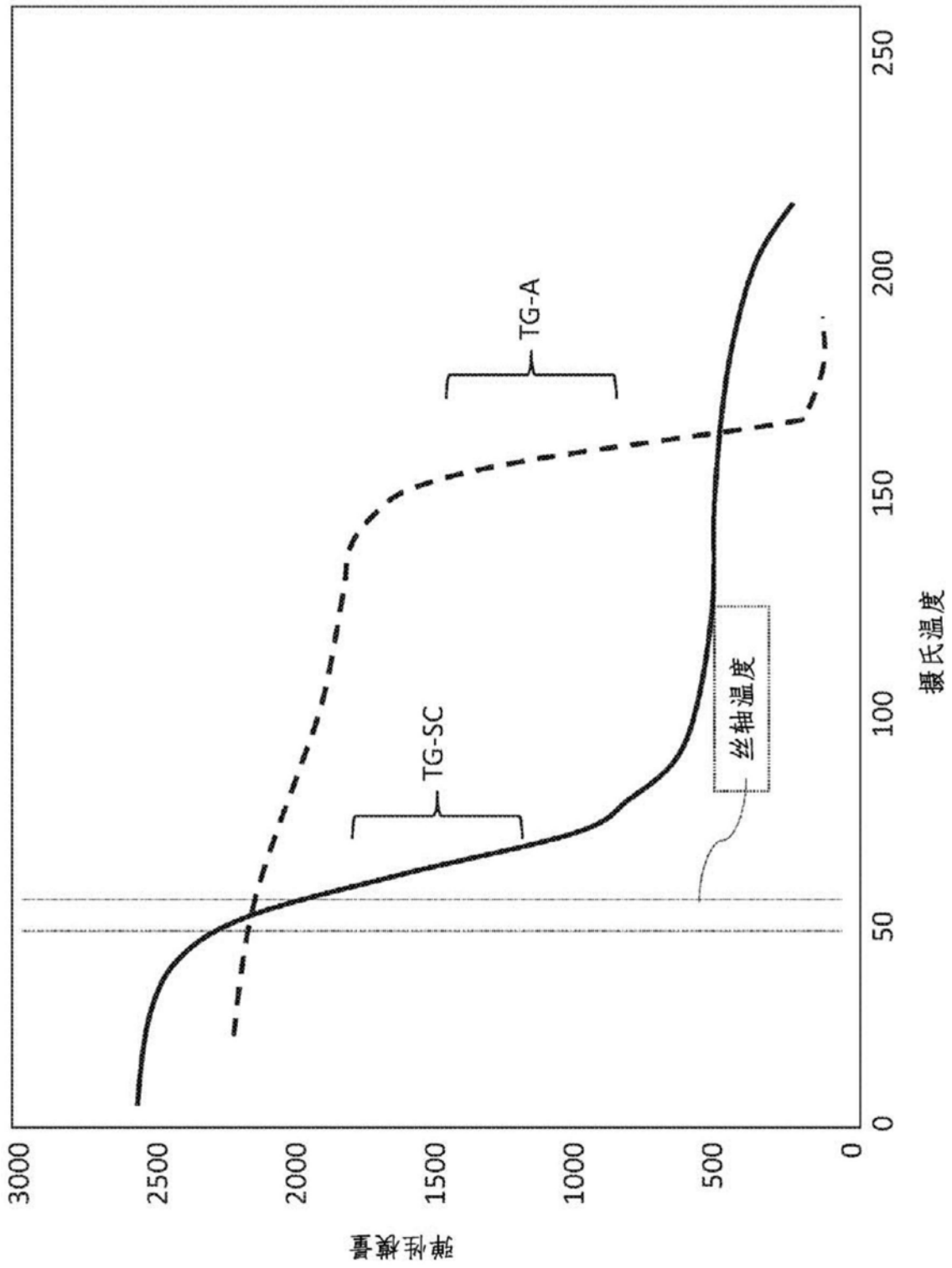


图17

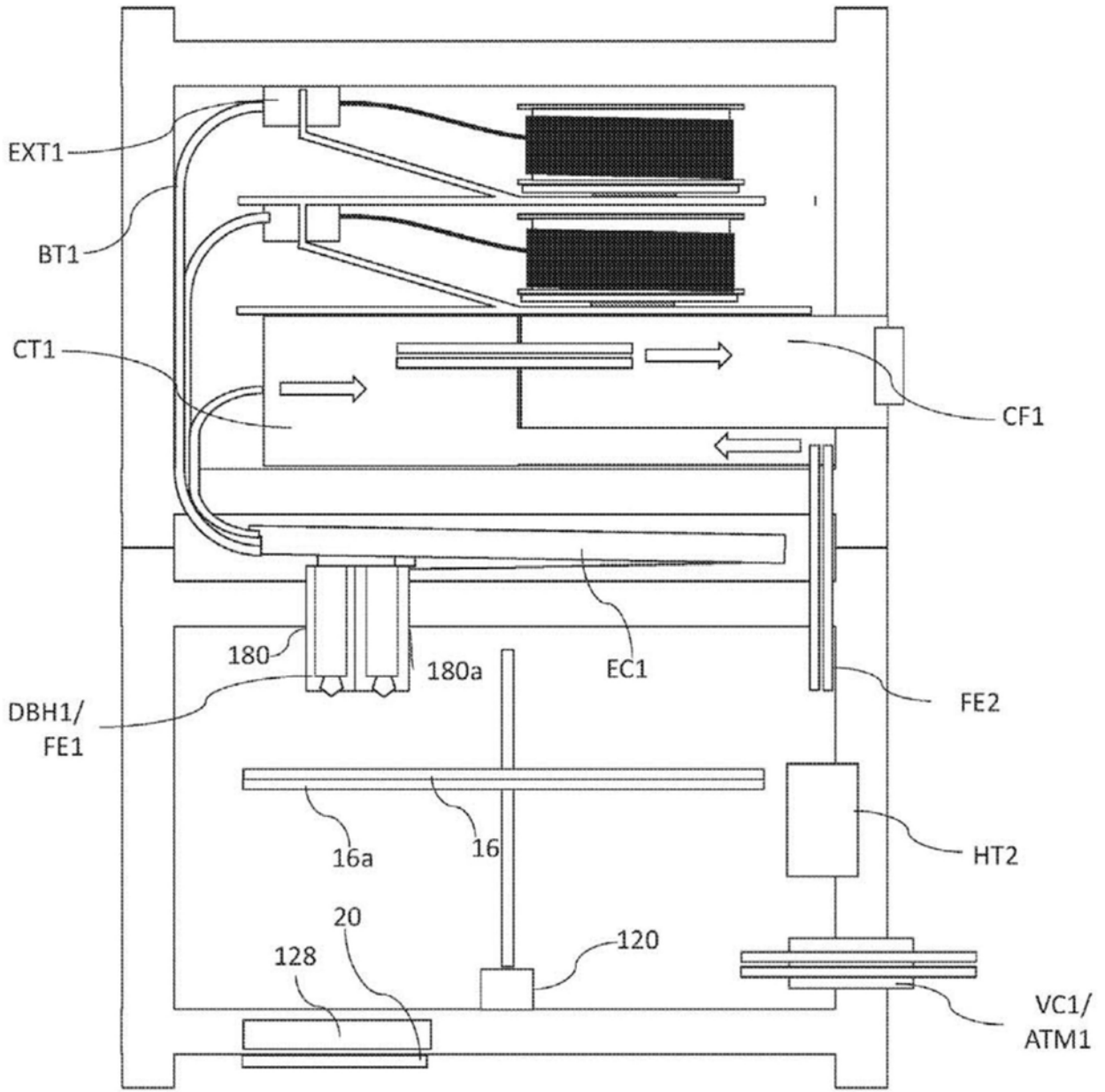


图18

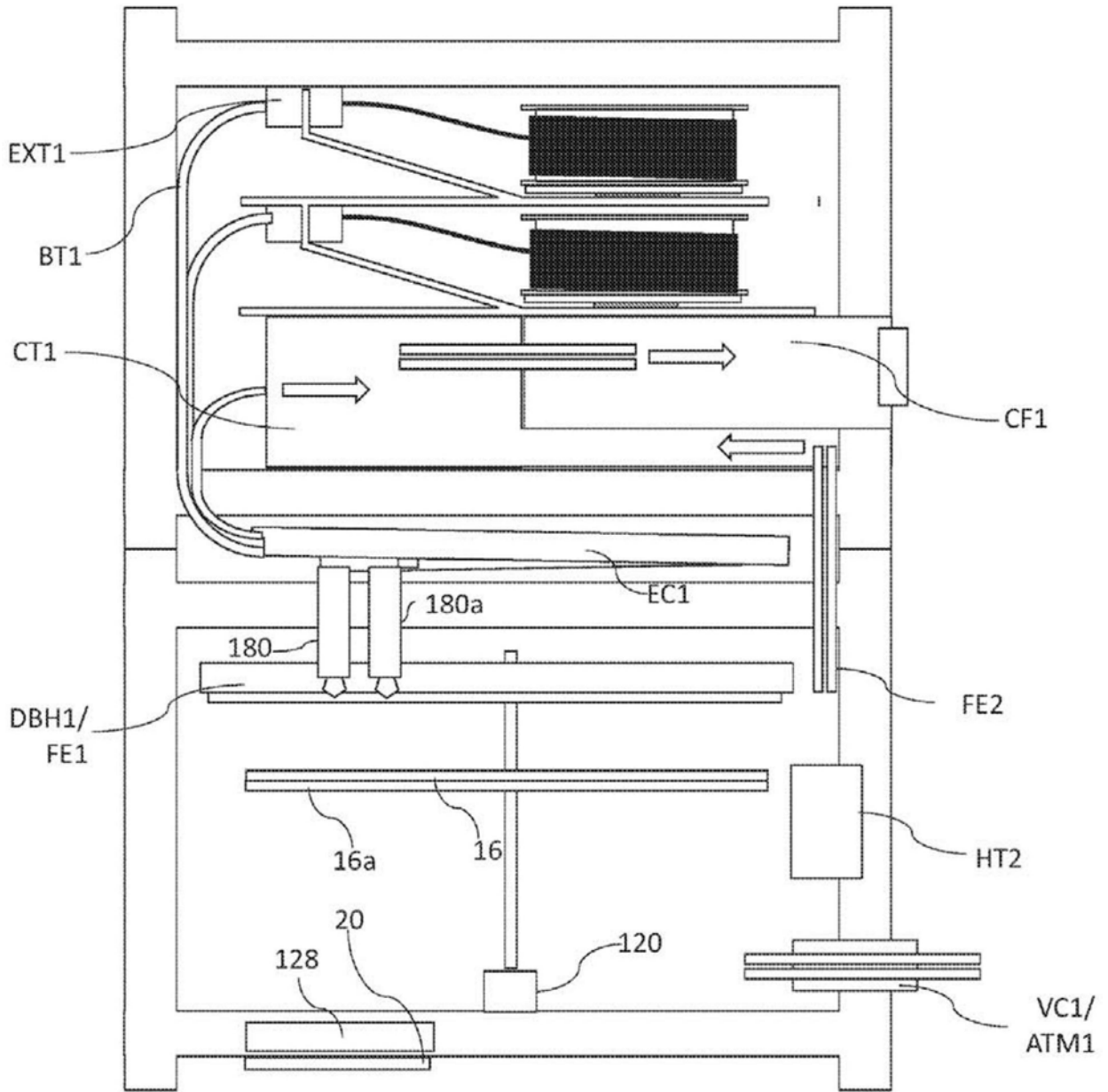


图19

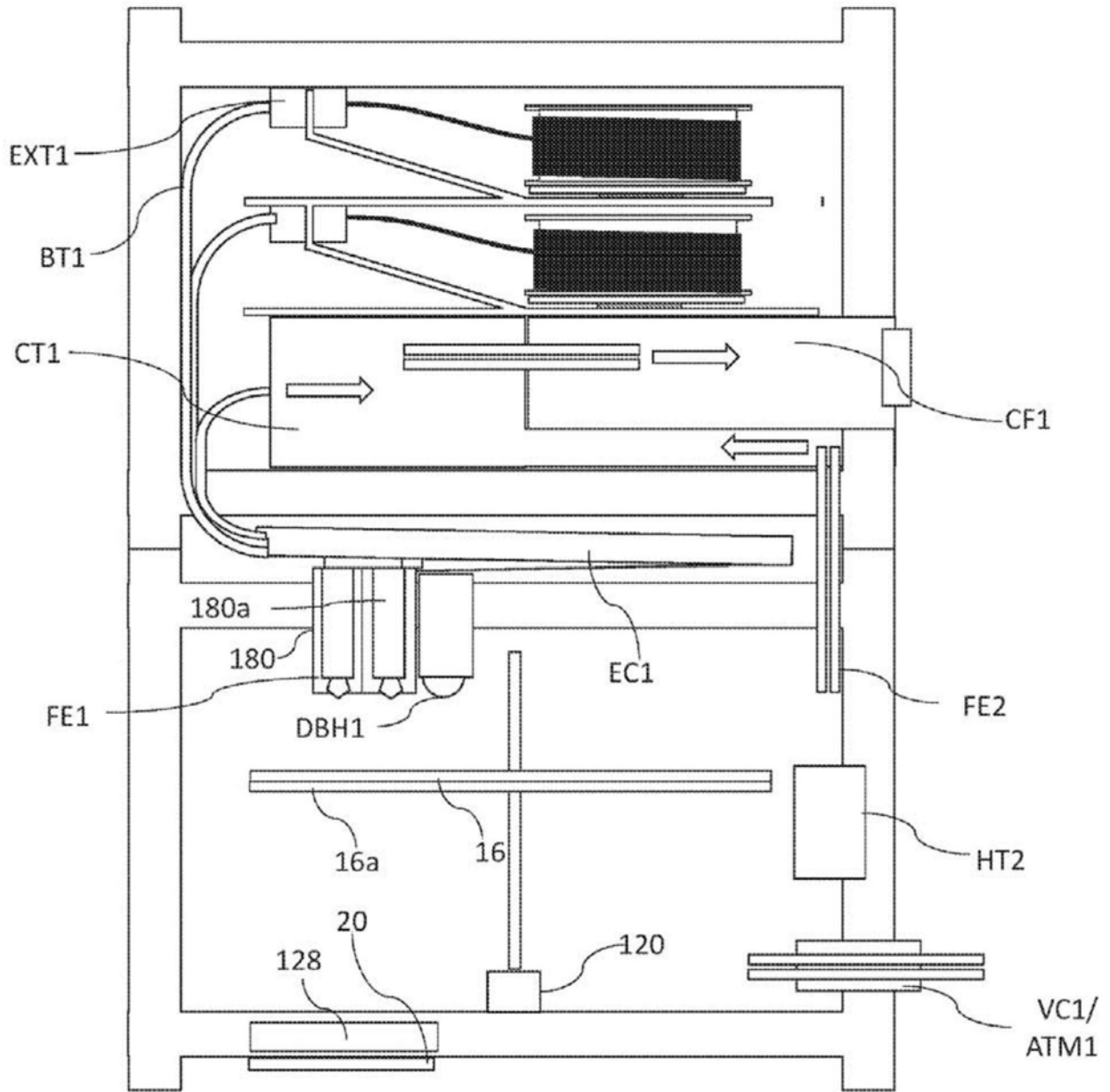


图20

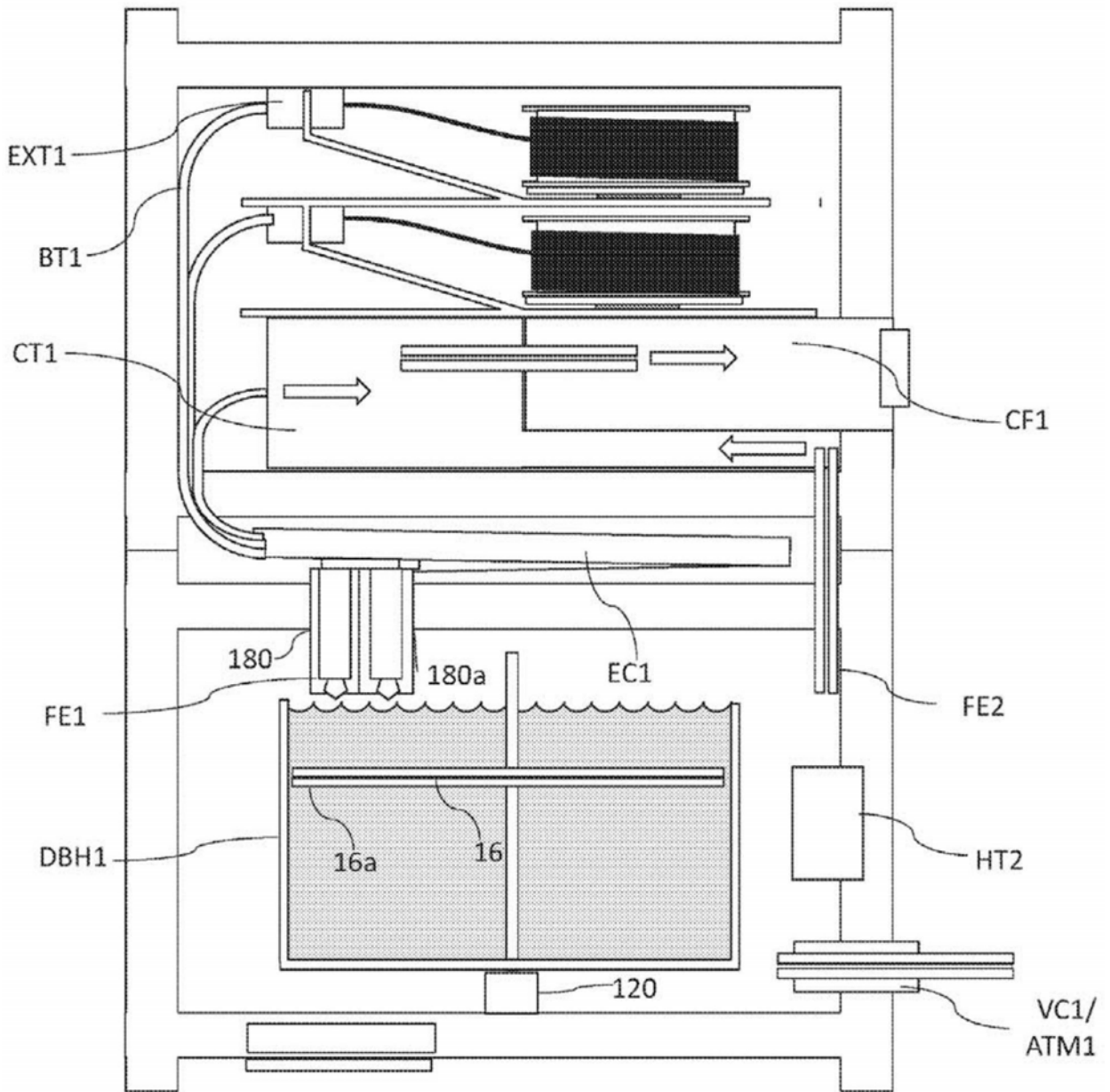


图21

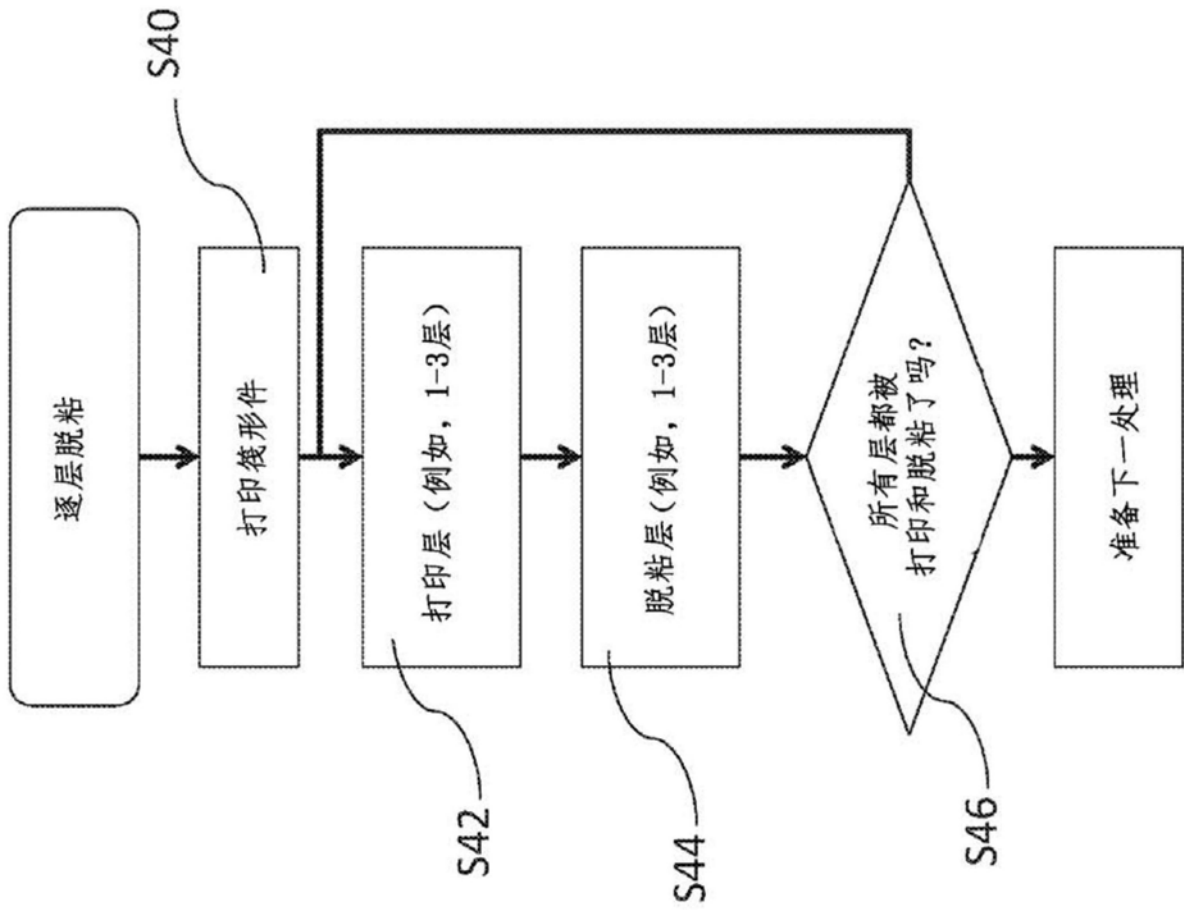


图22

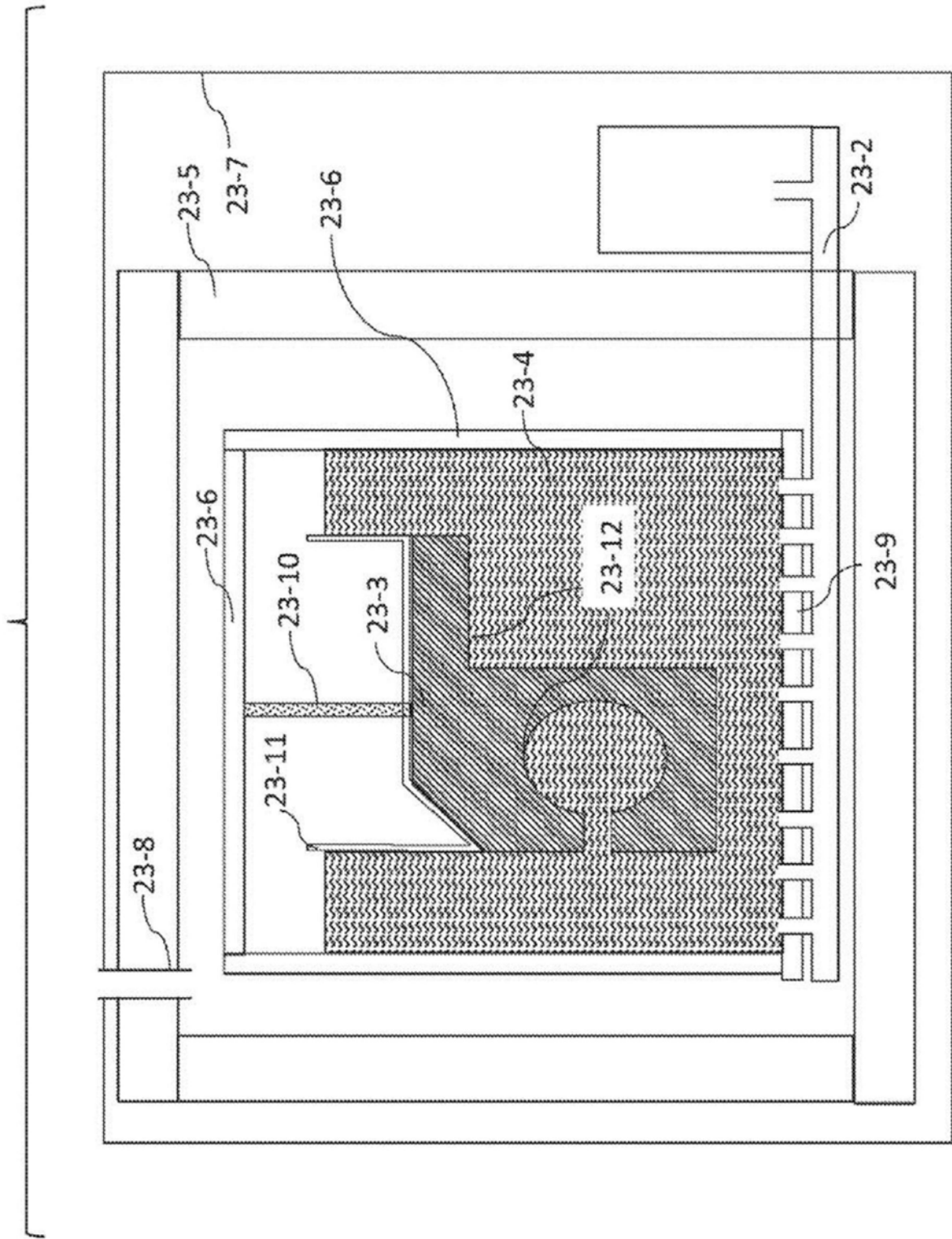


图23A

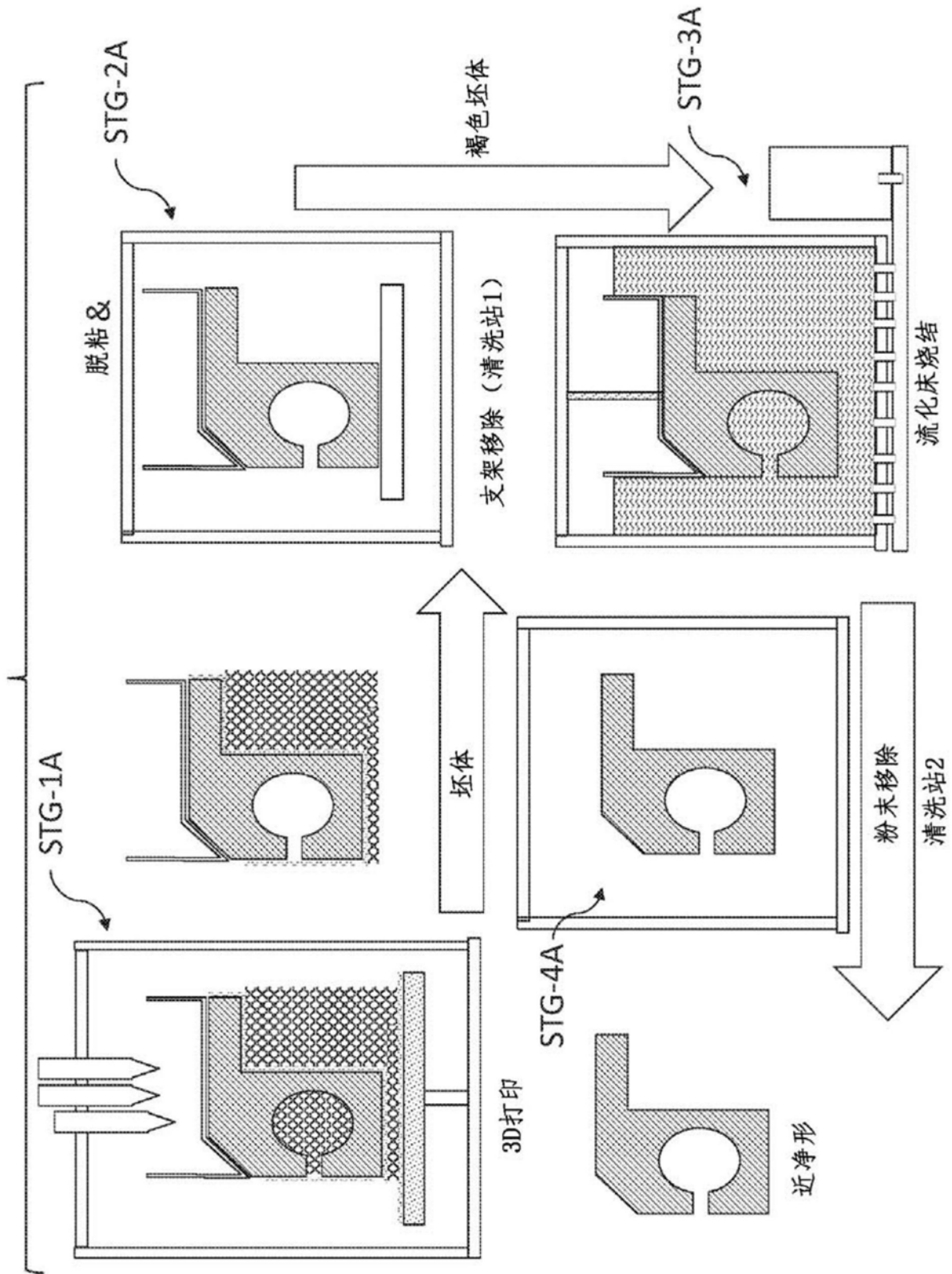


图23B

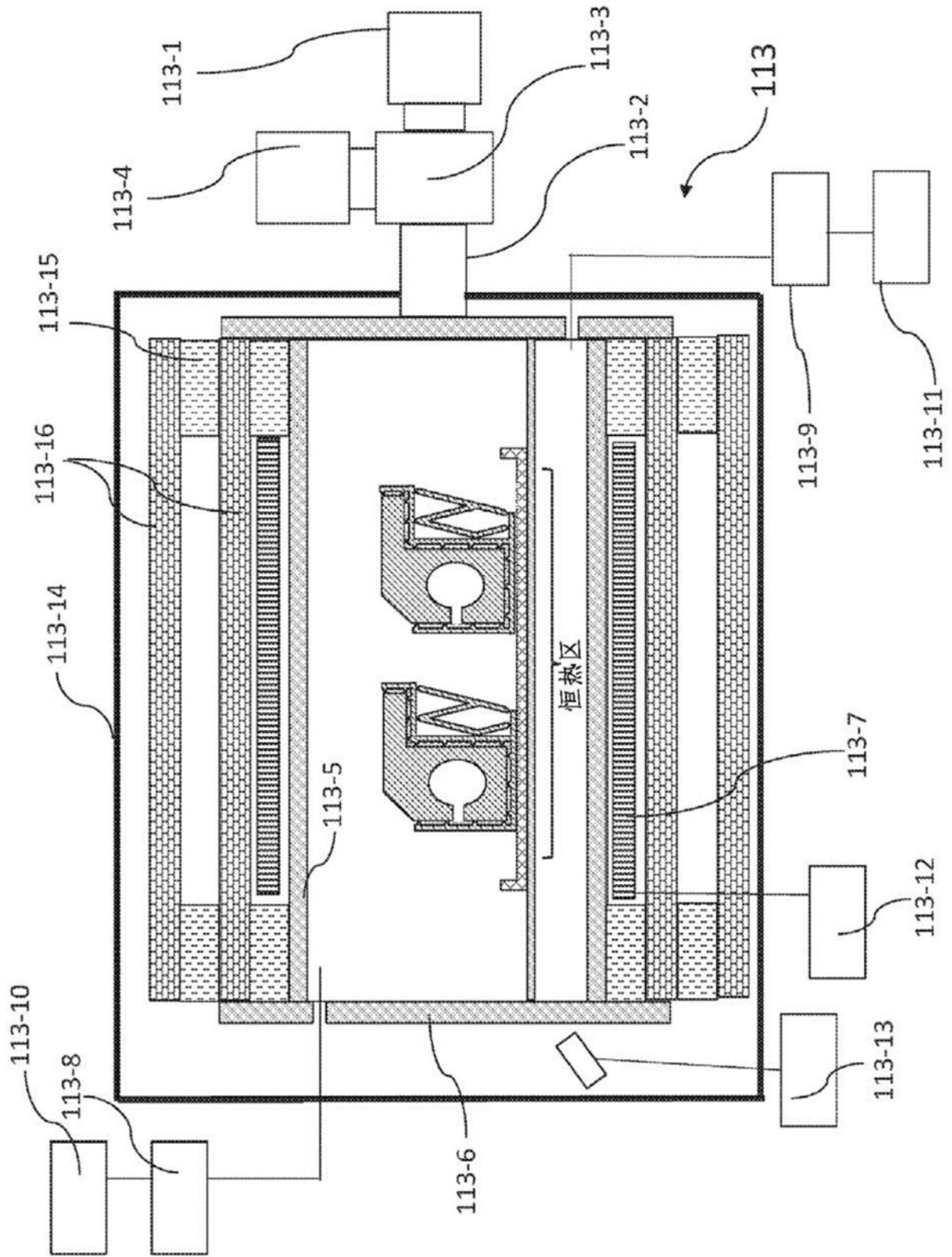


图24

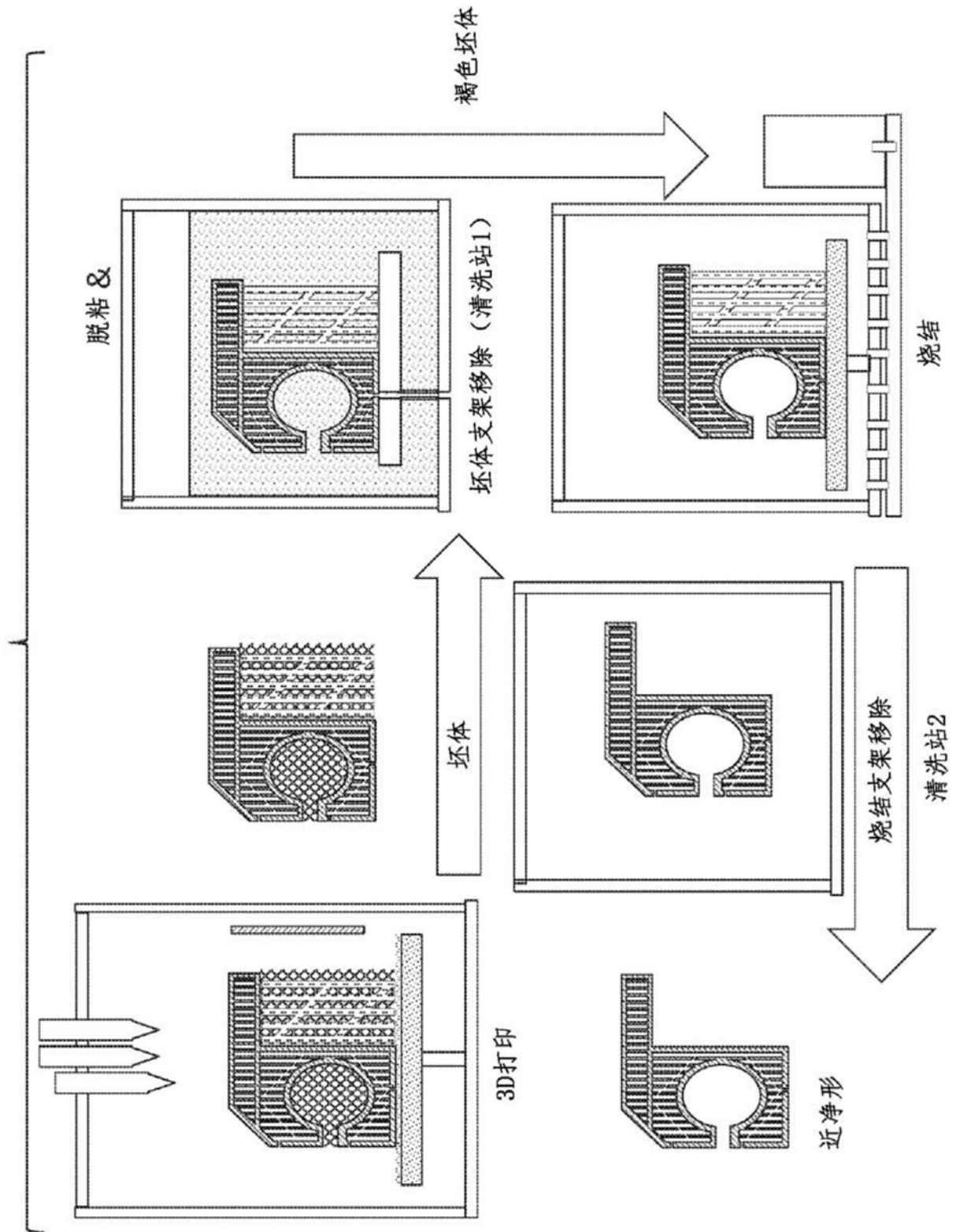


图25

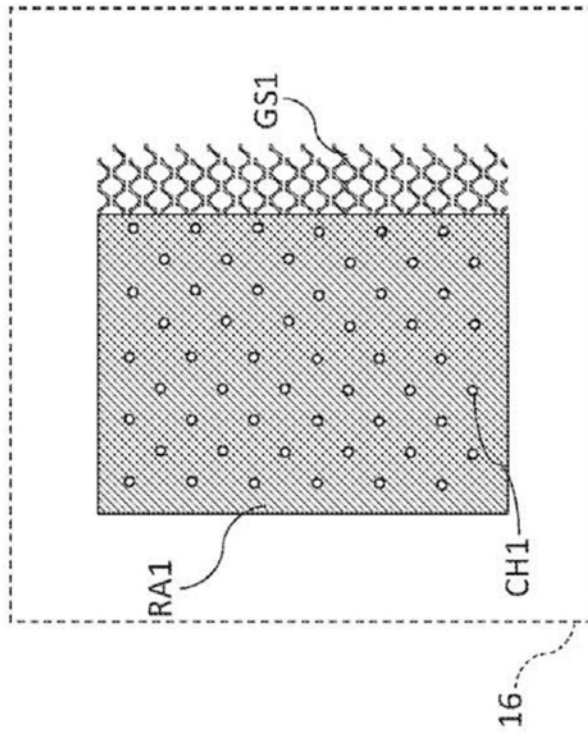


图26A

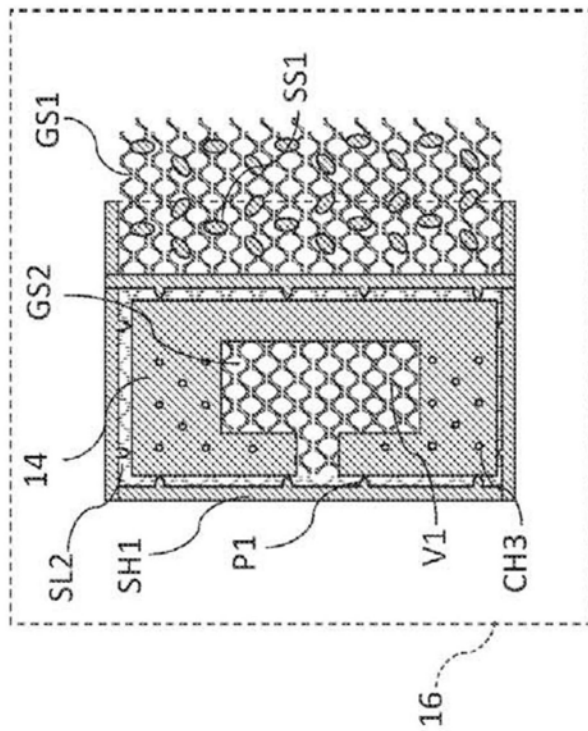


图26B

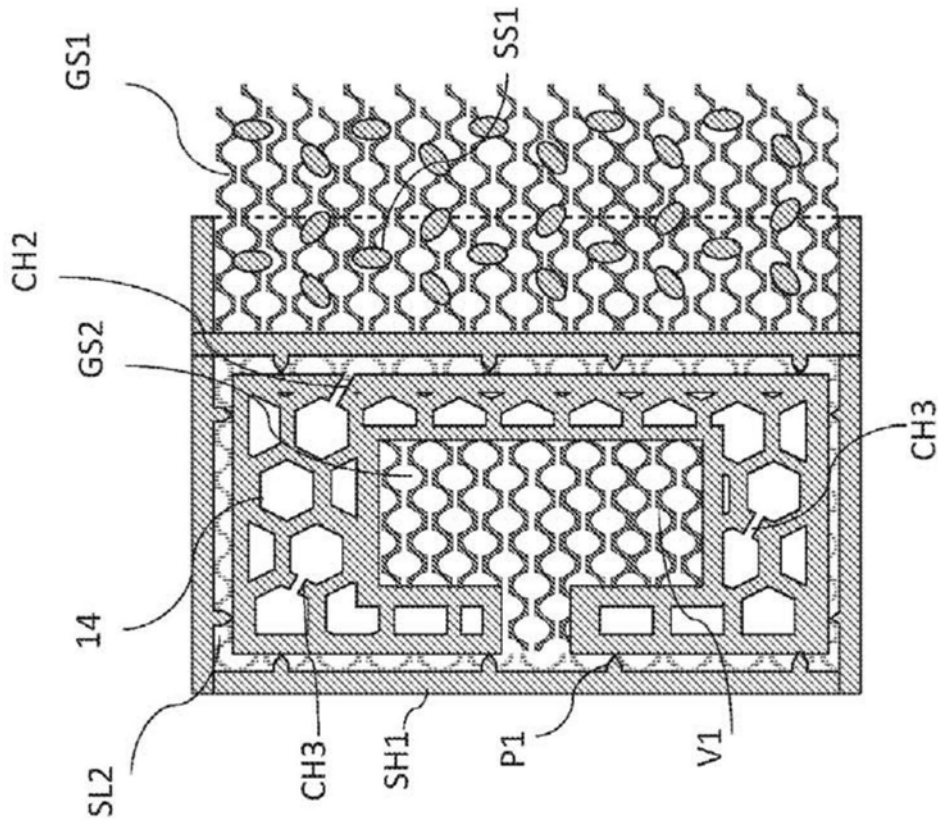


图26C

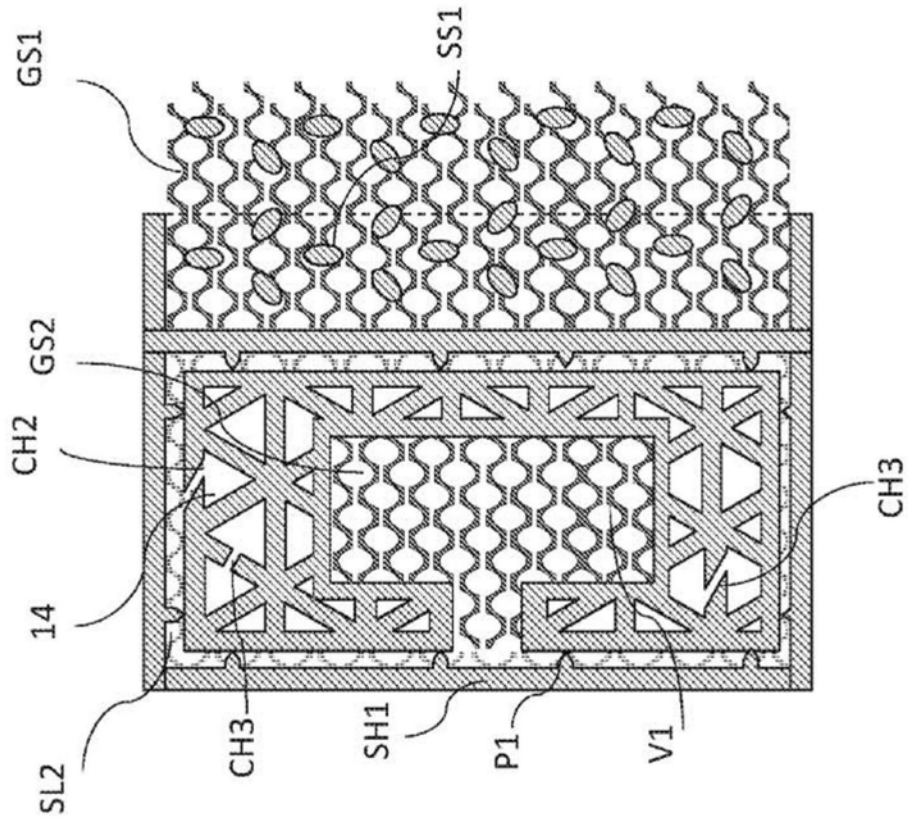


图26D

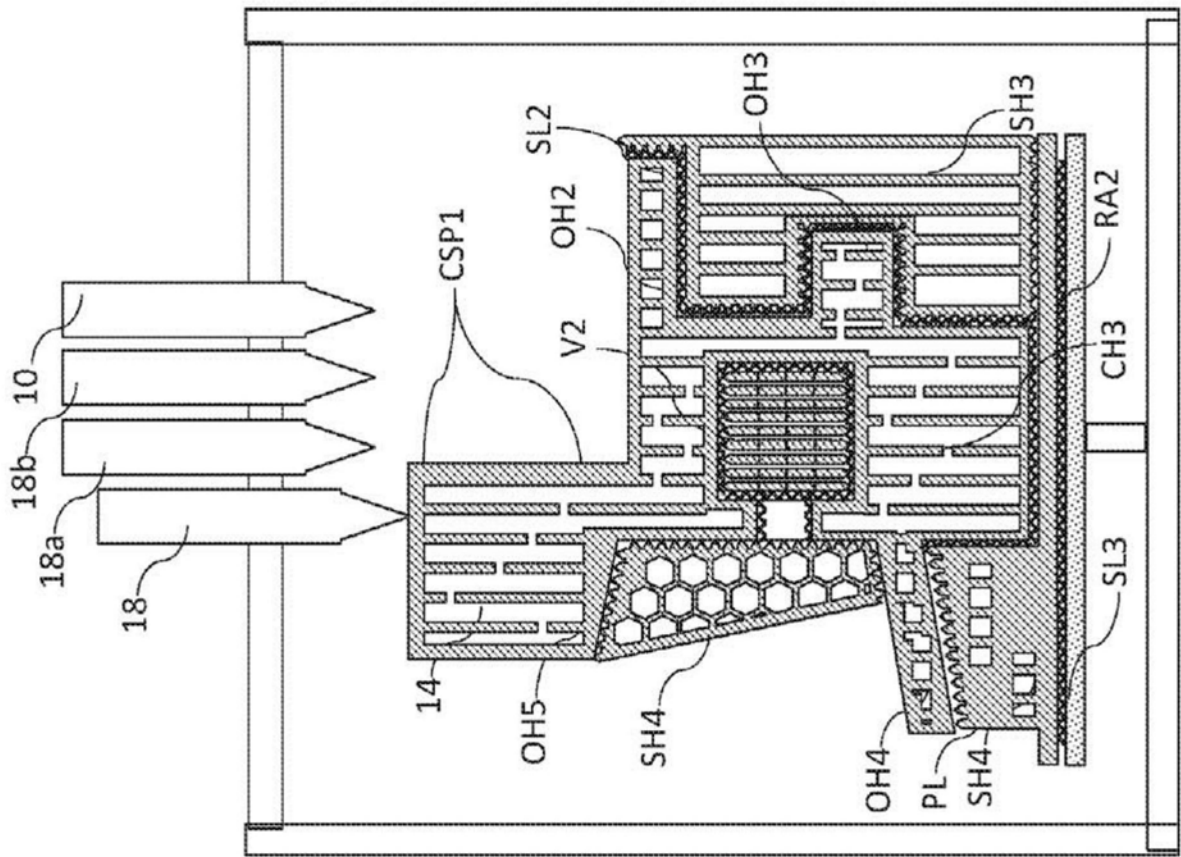


图27

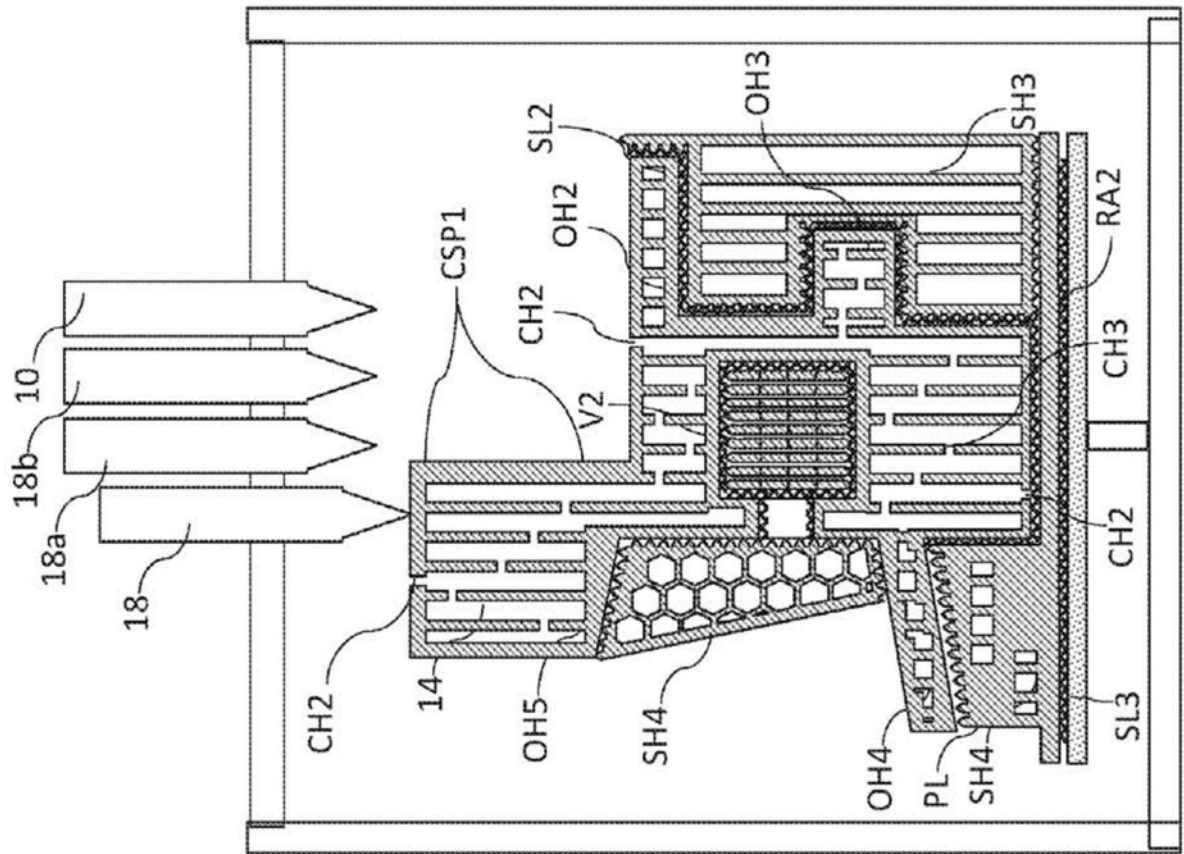


图28

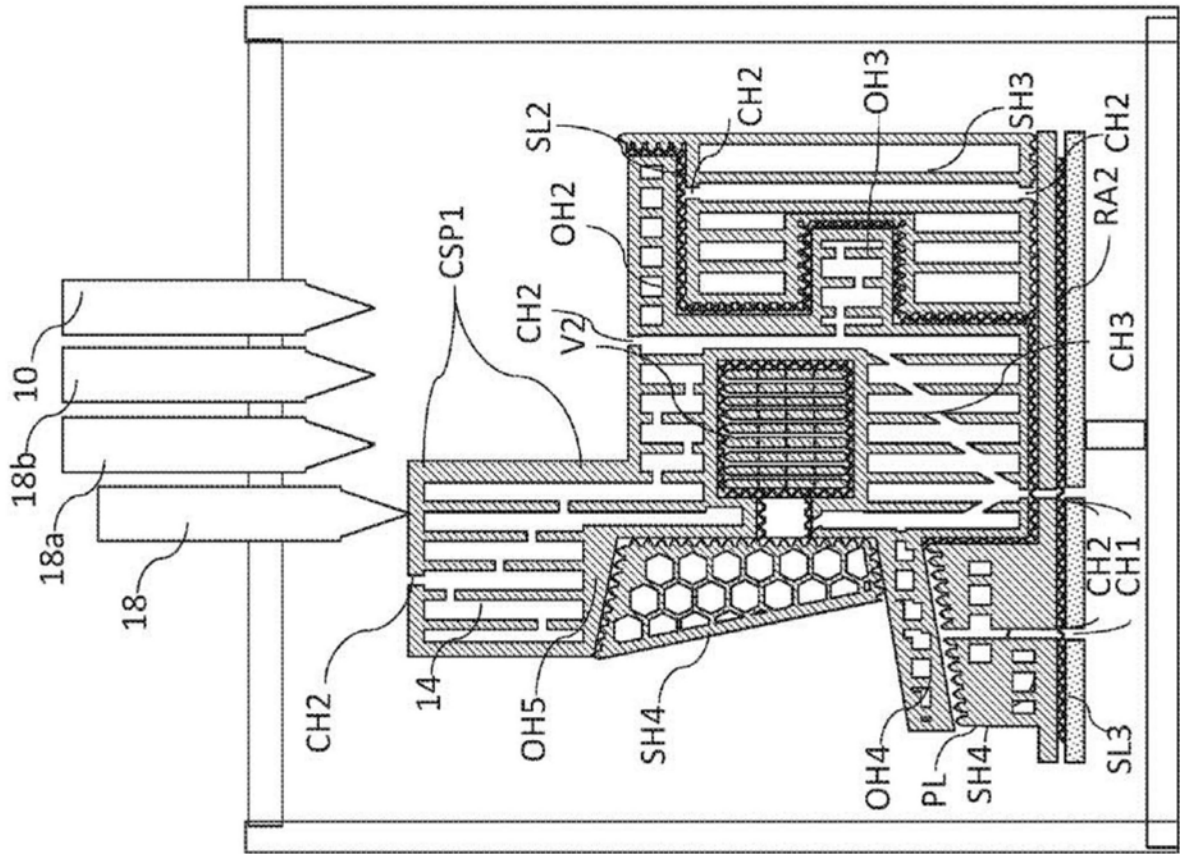


图29

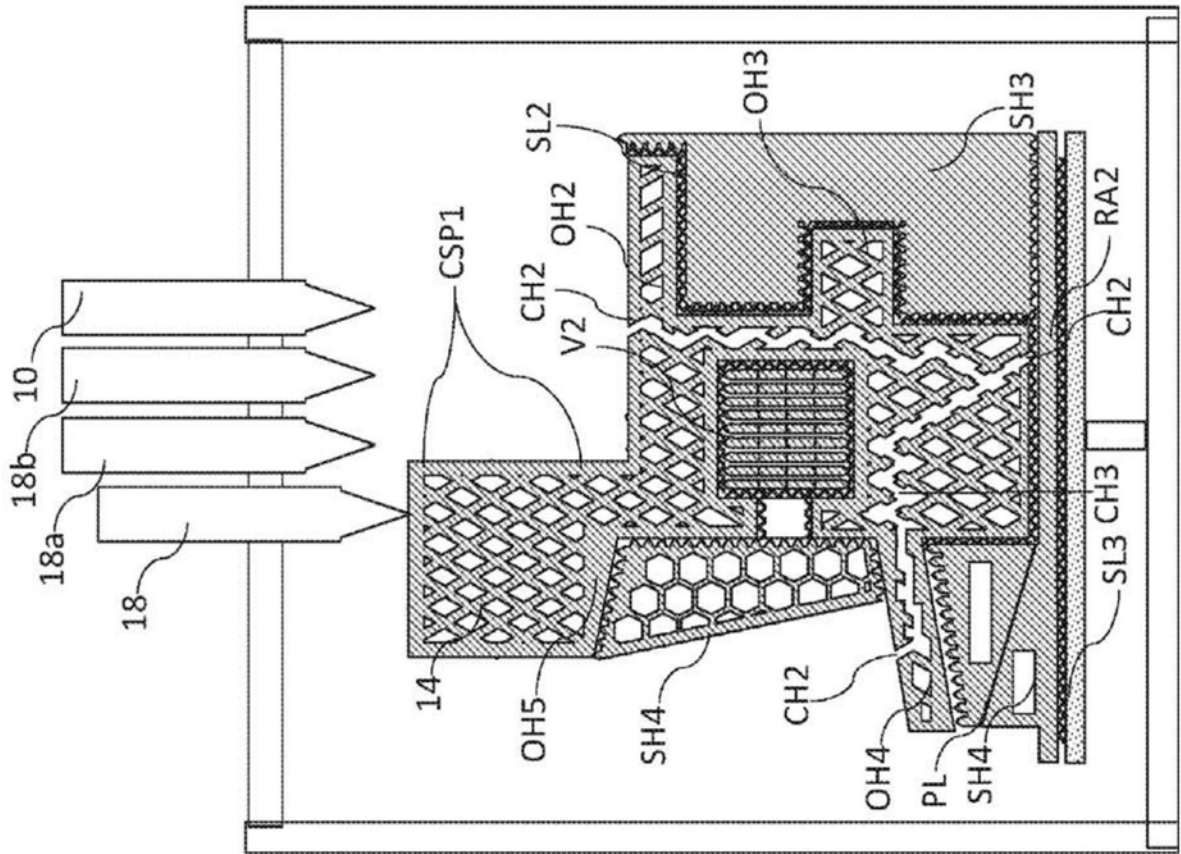


图30

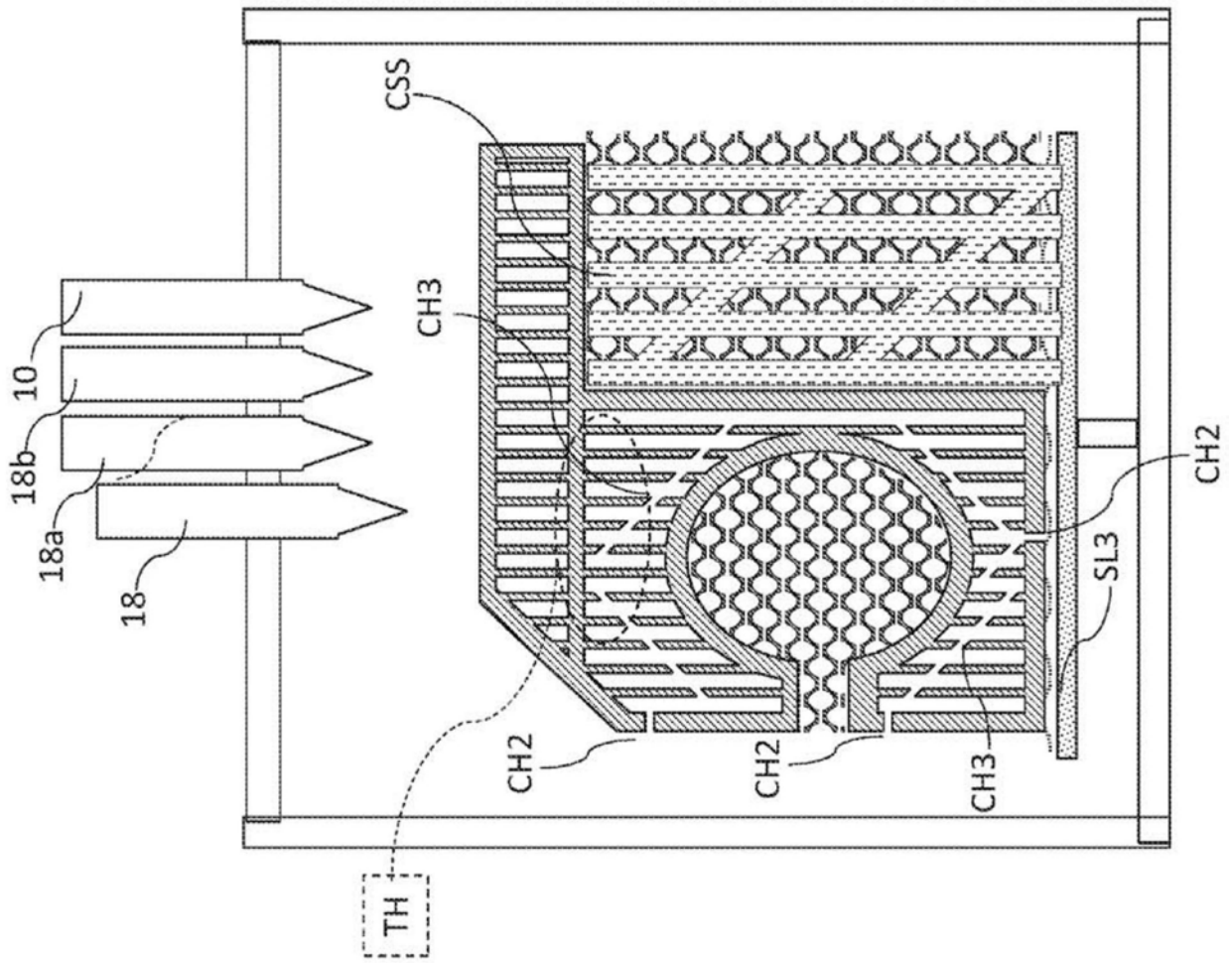


图31

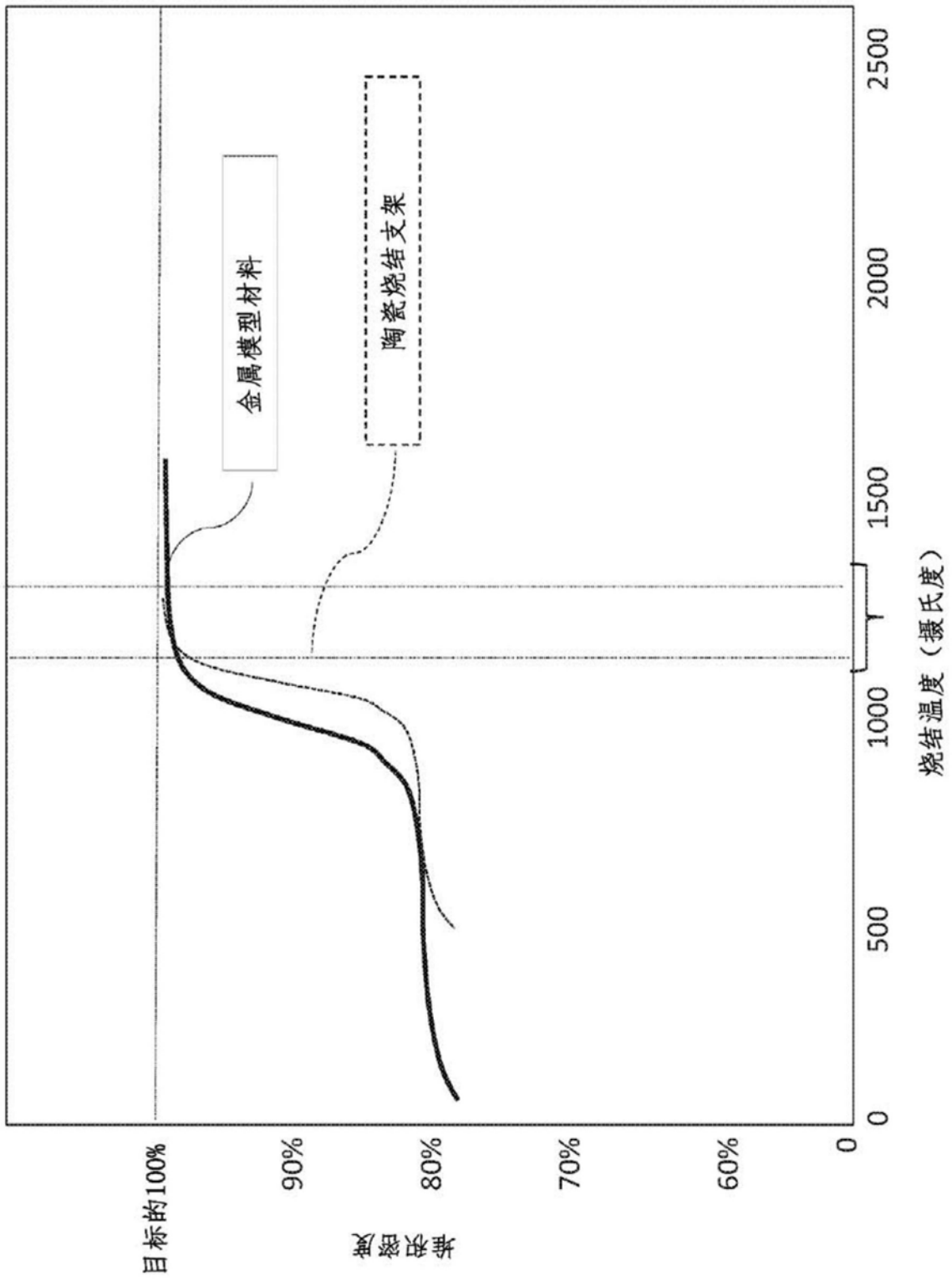
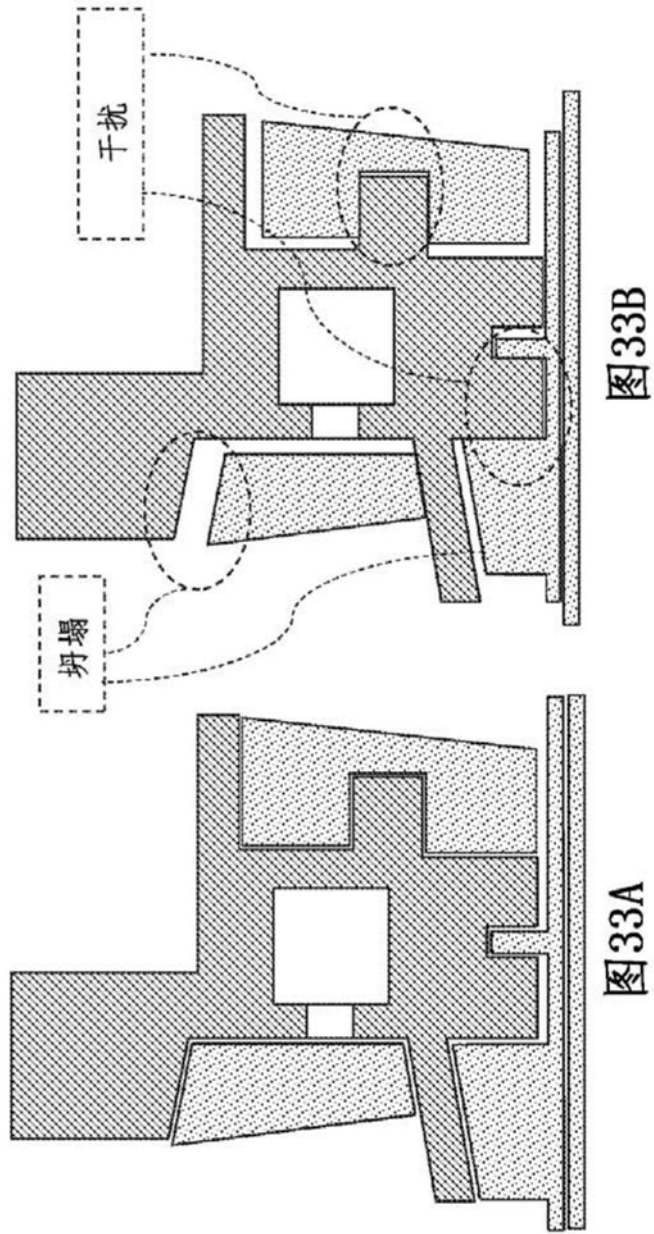


图32



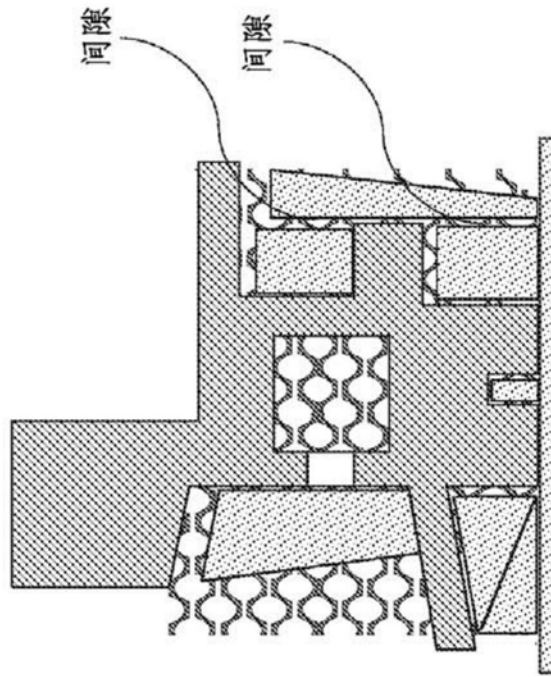


图33C

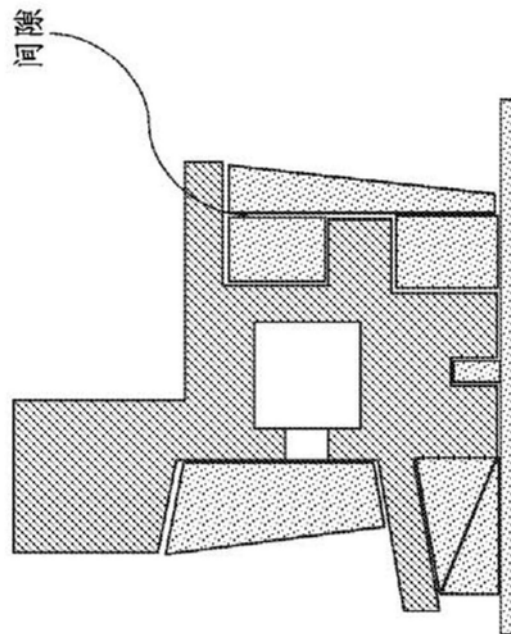


图33D

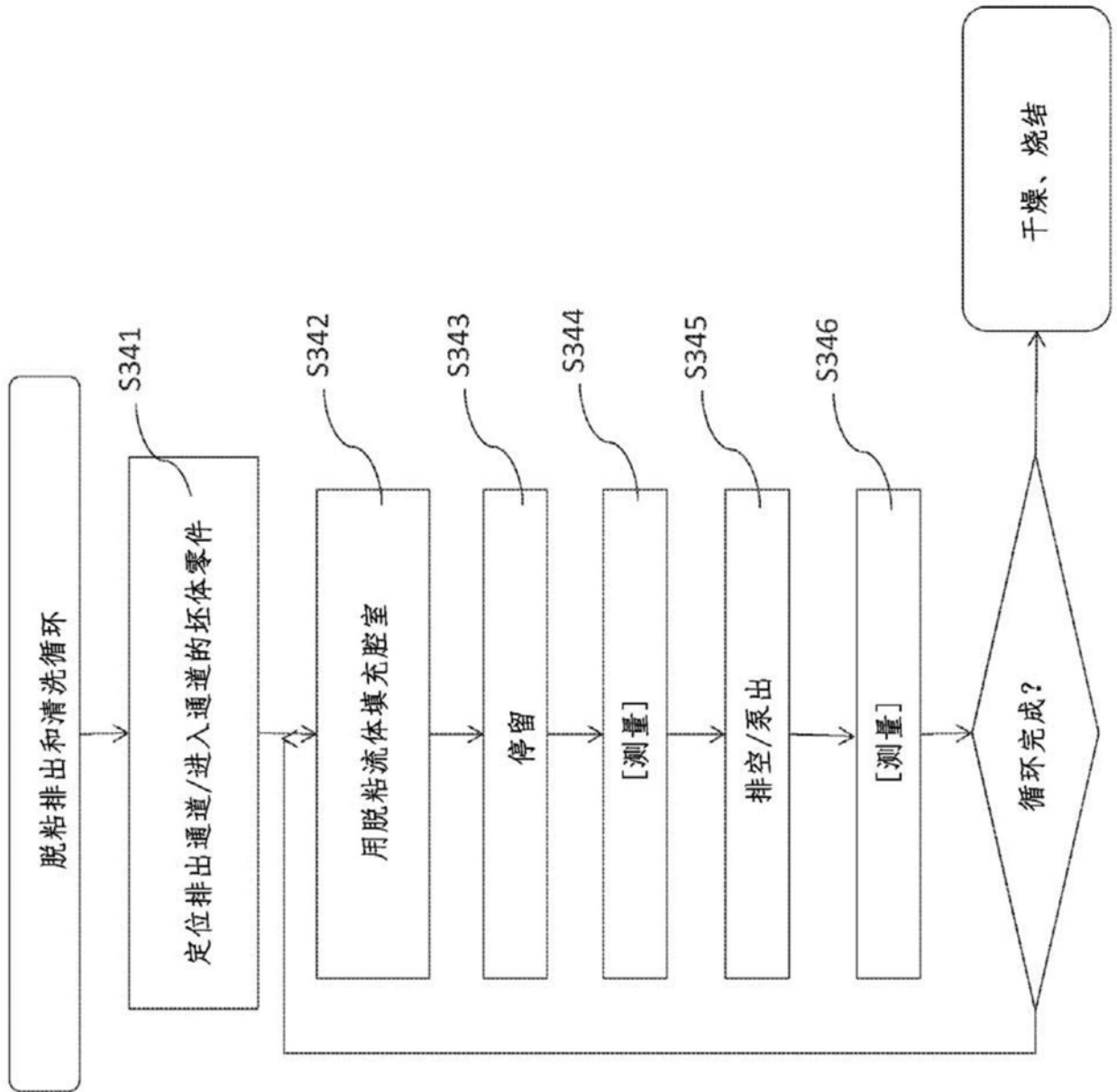


图34A

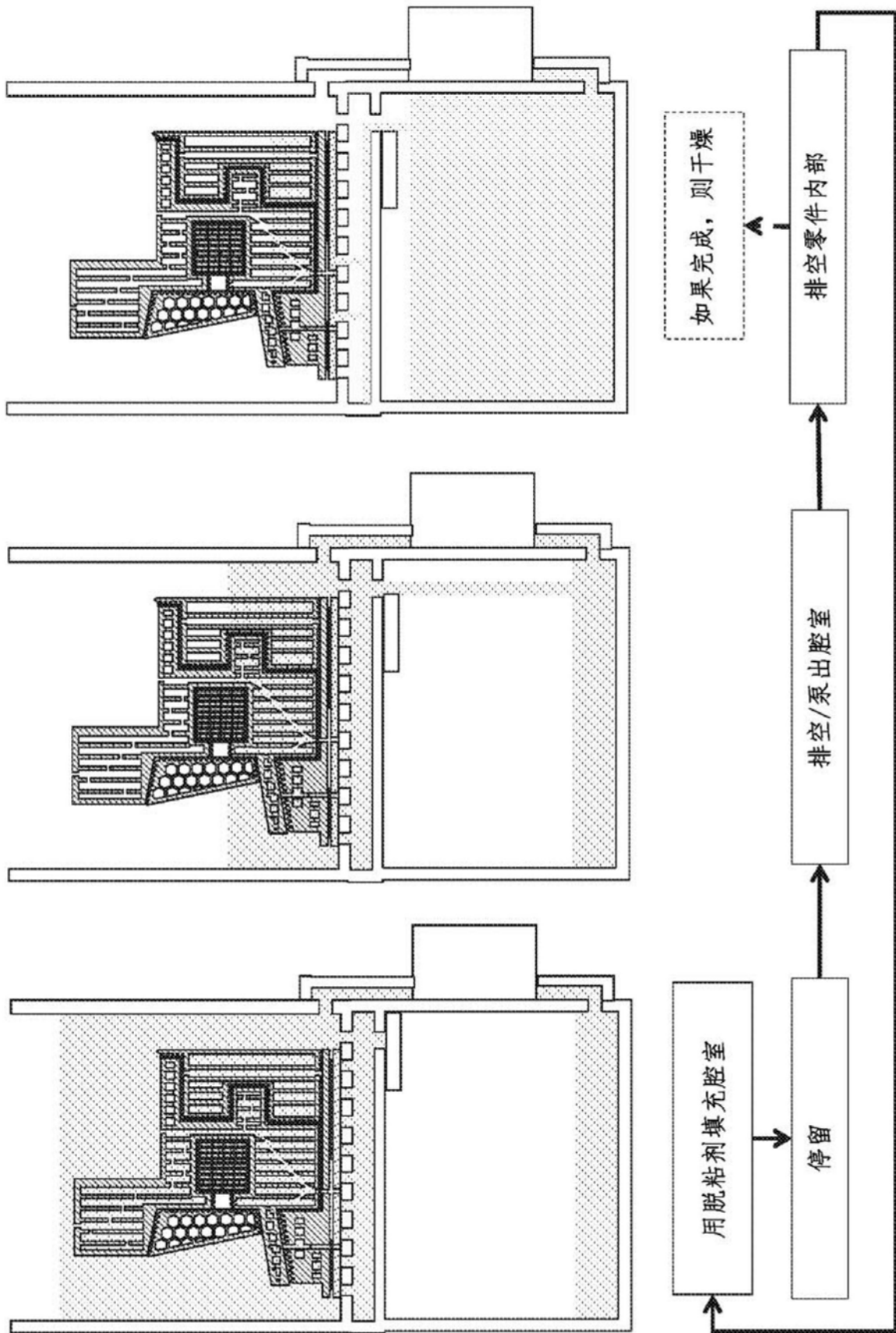


图34B

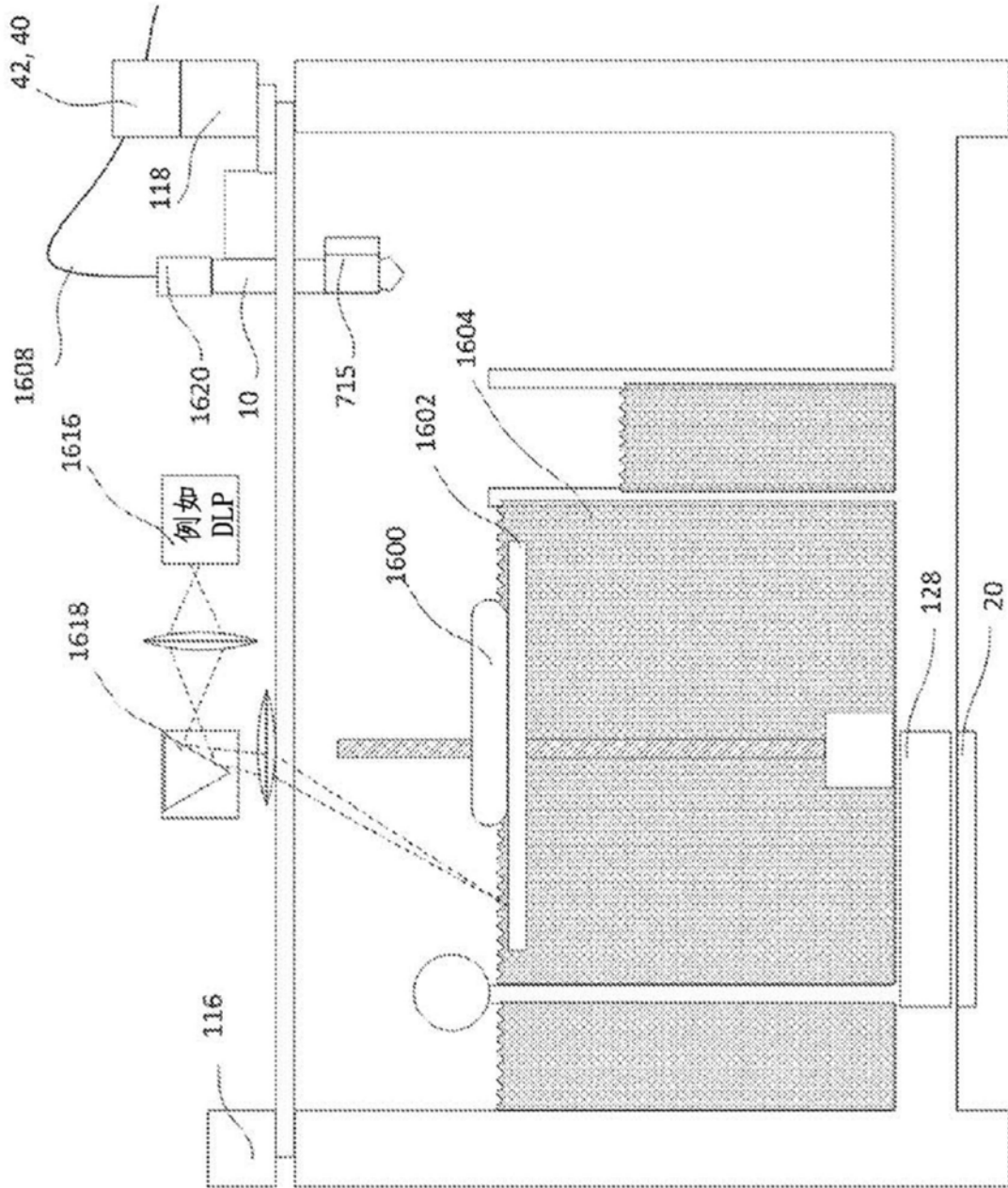


图35

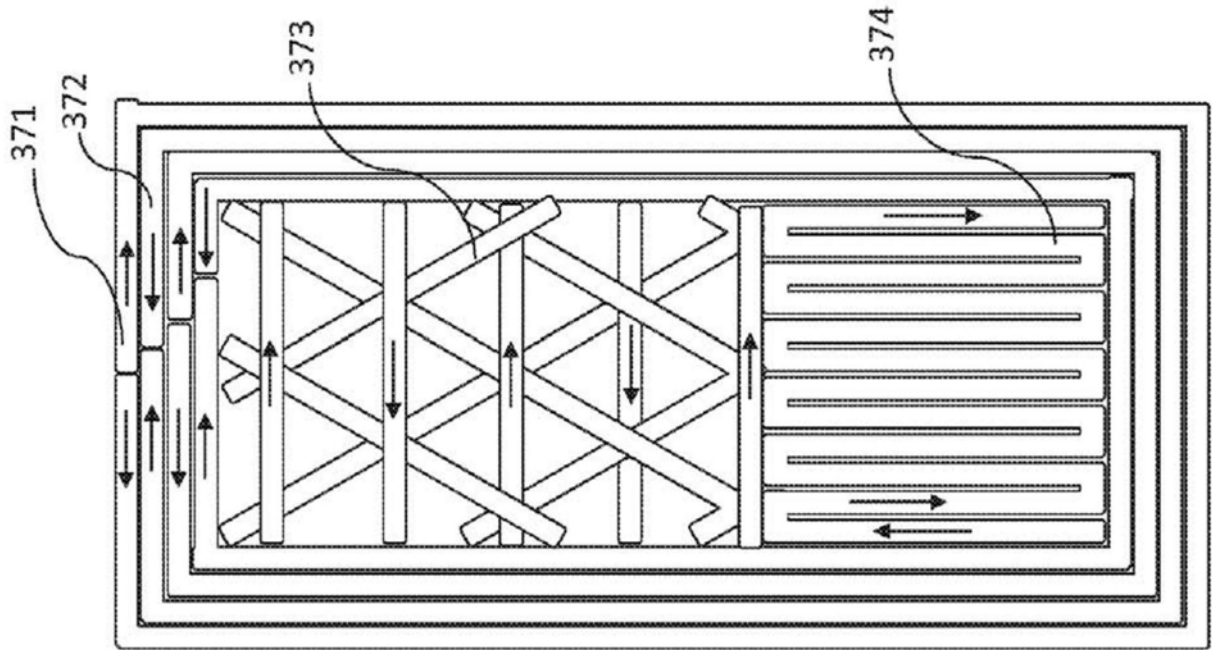


图36A

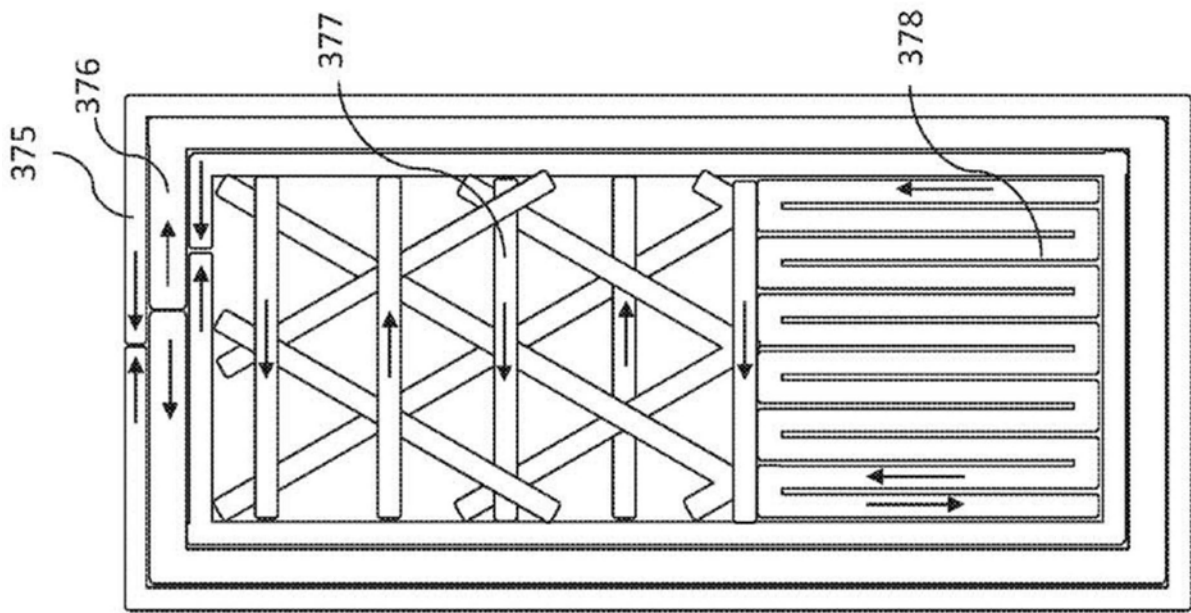


图36B

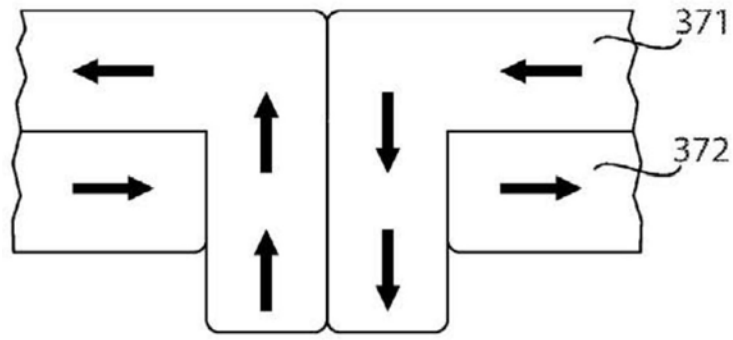


图37A

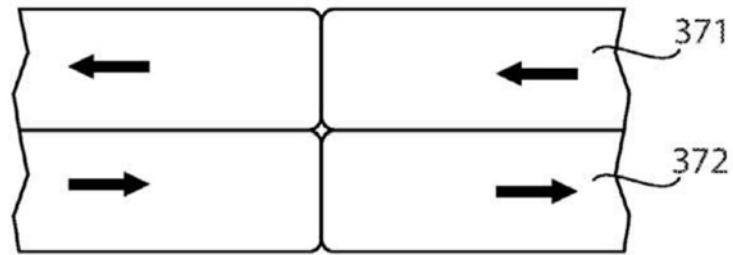


图37B

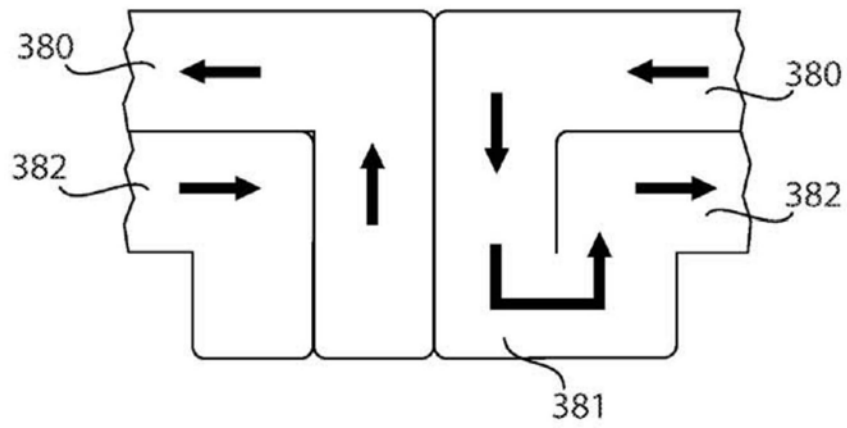


图37C

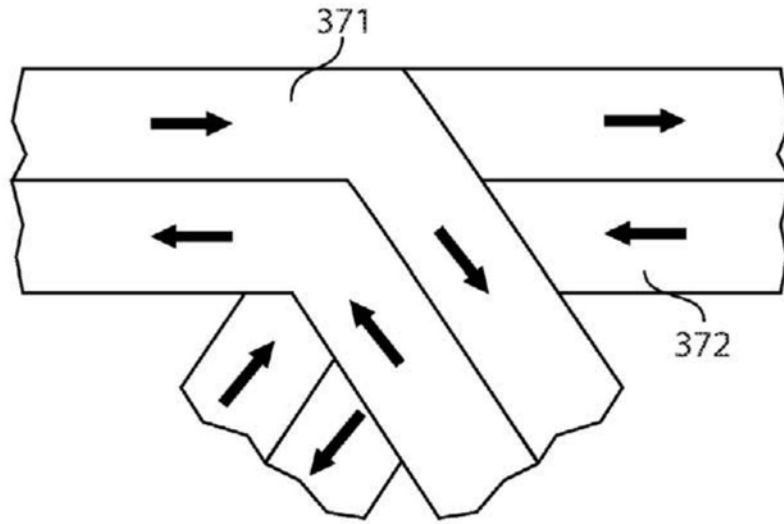


图37D

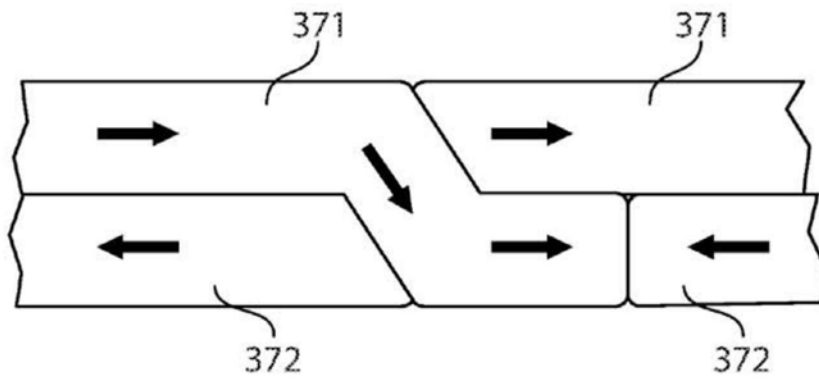


图37E

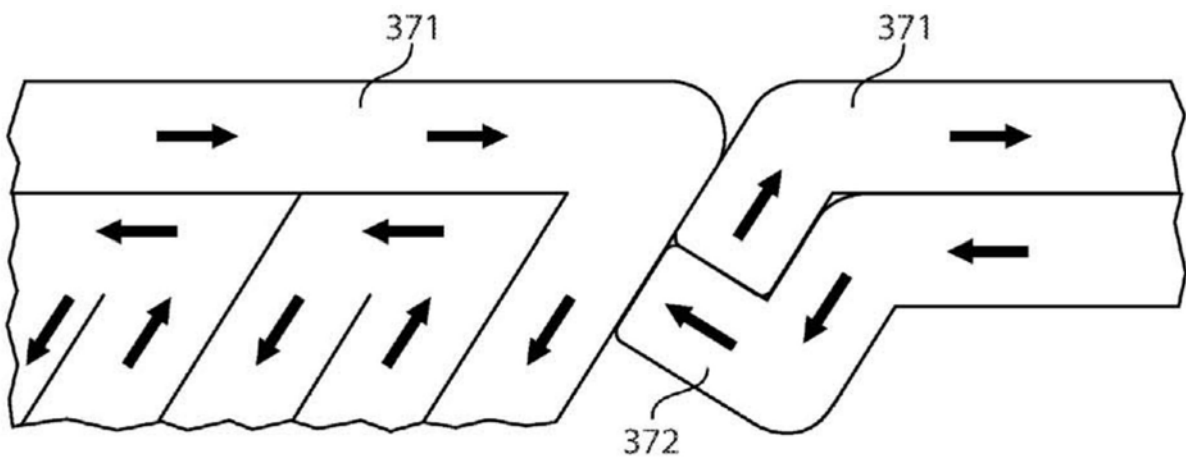


图37F

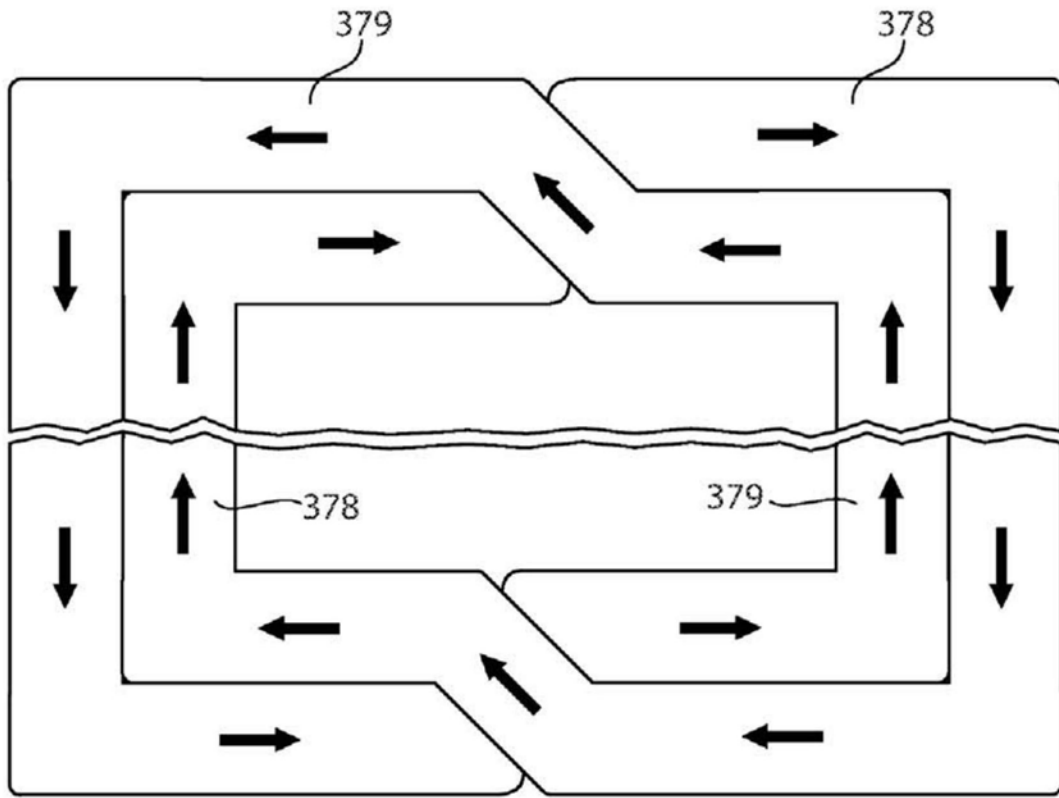


图37G

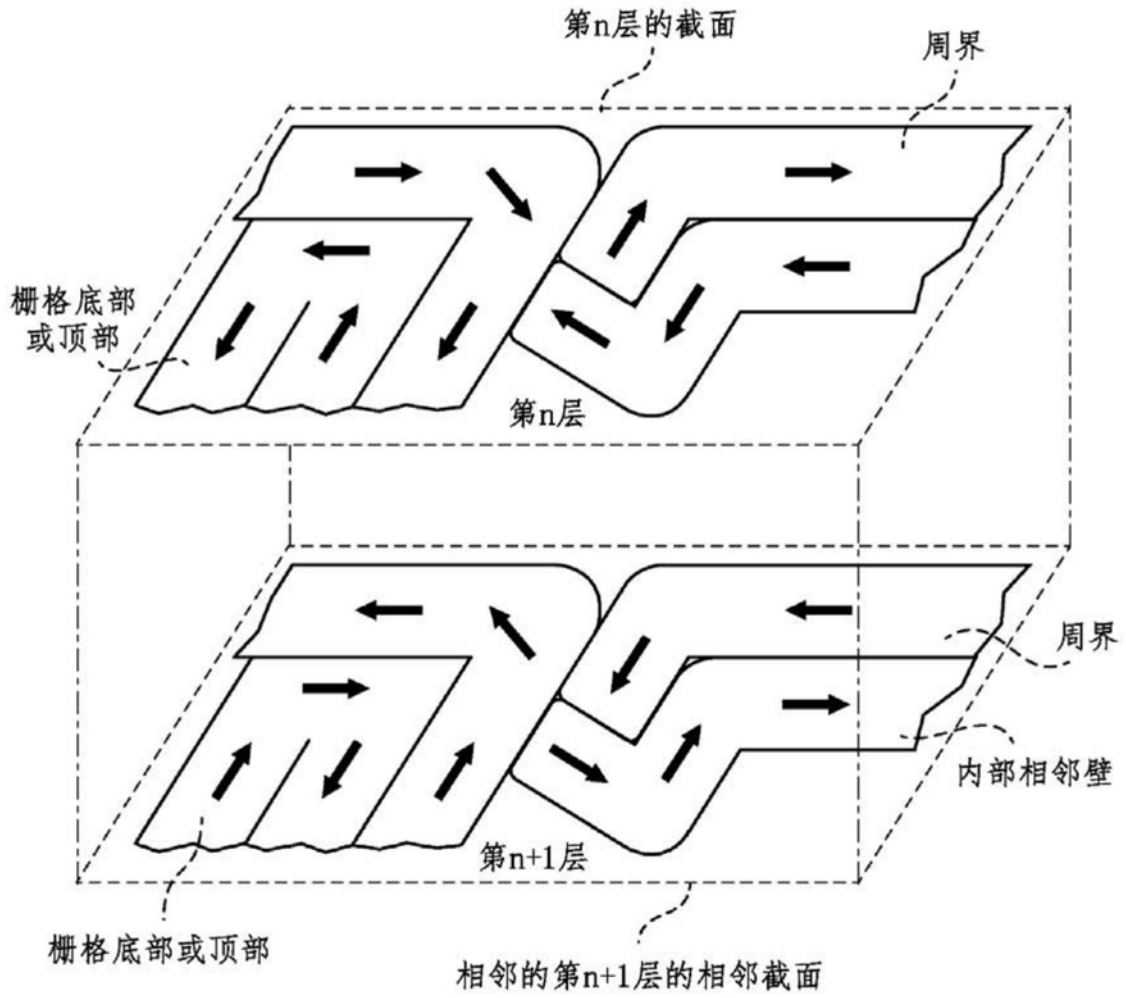


图37H

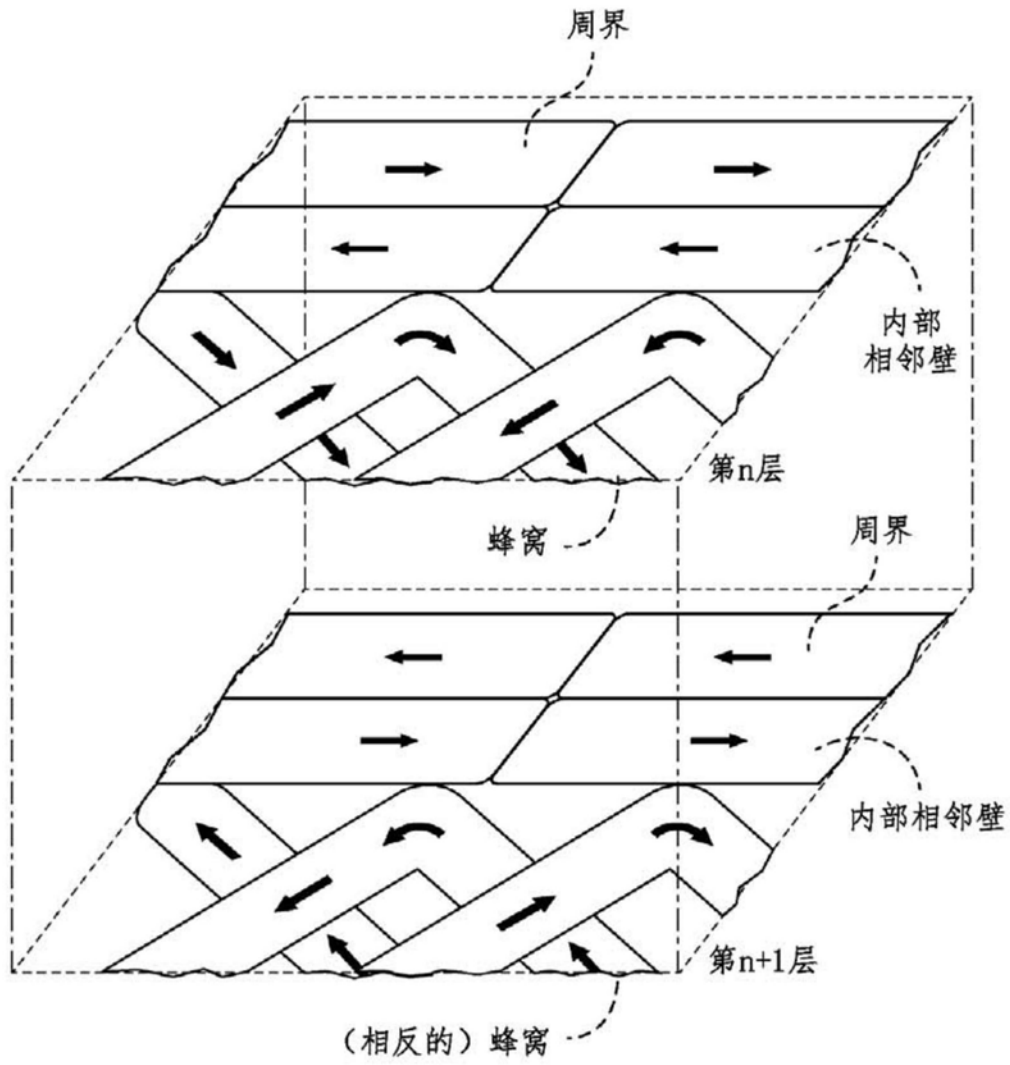


图37J

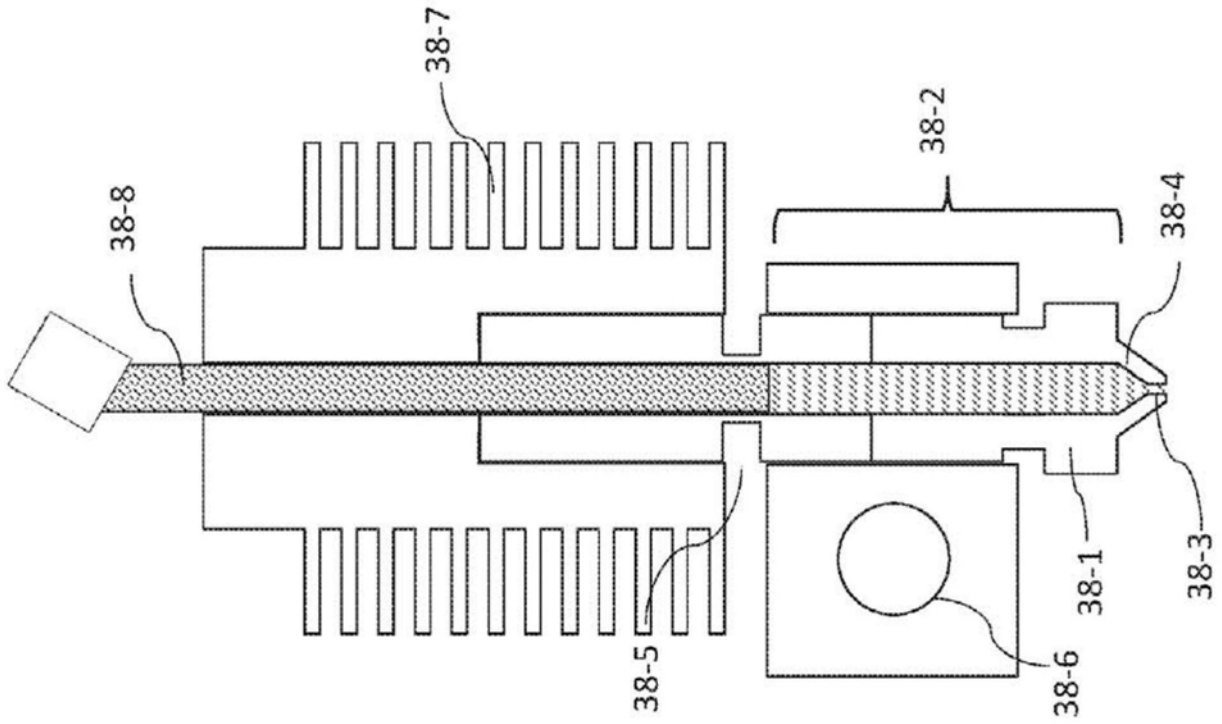


图38A

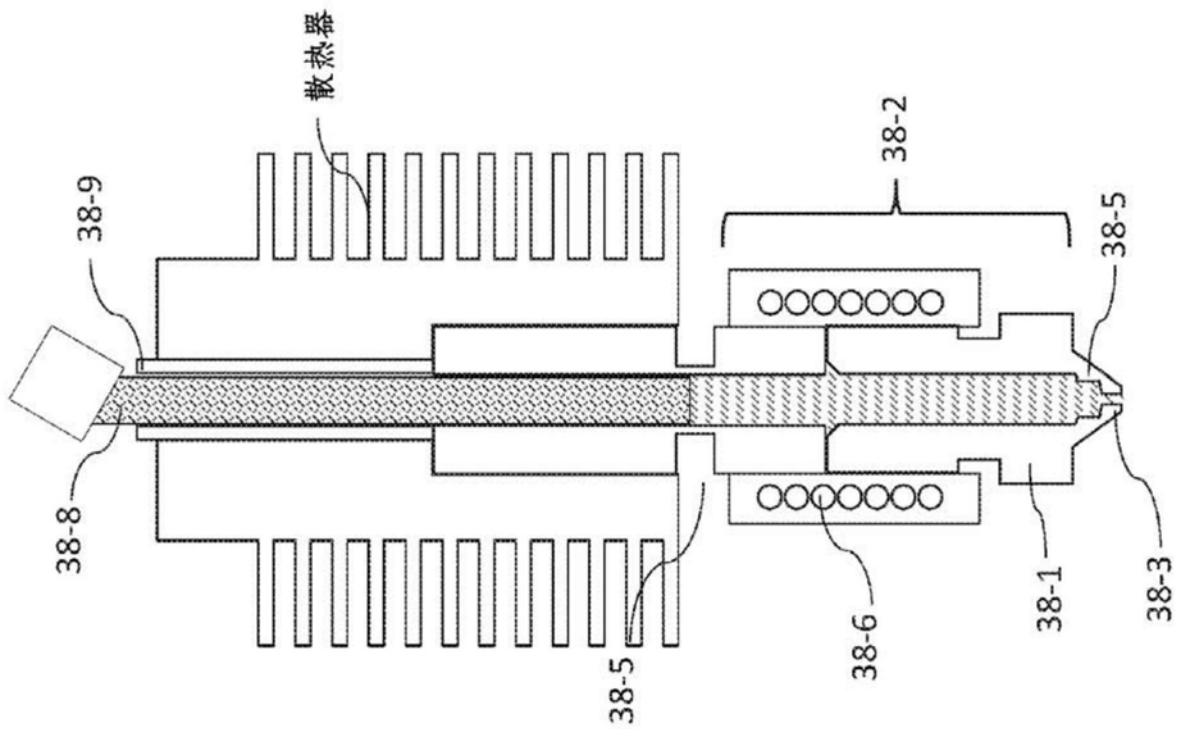


图38B

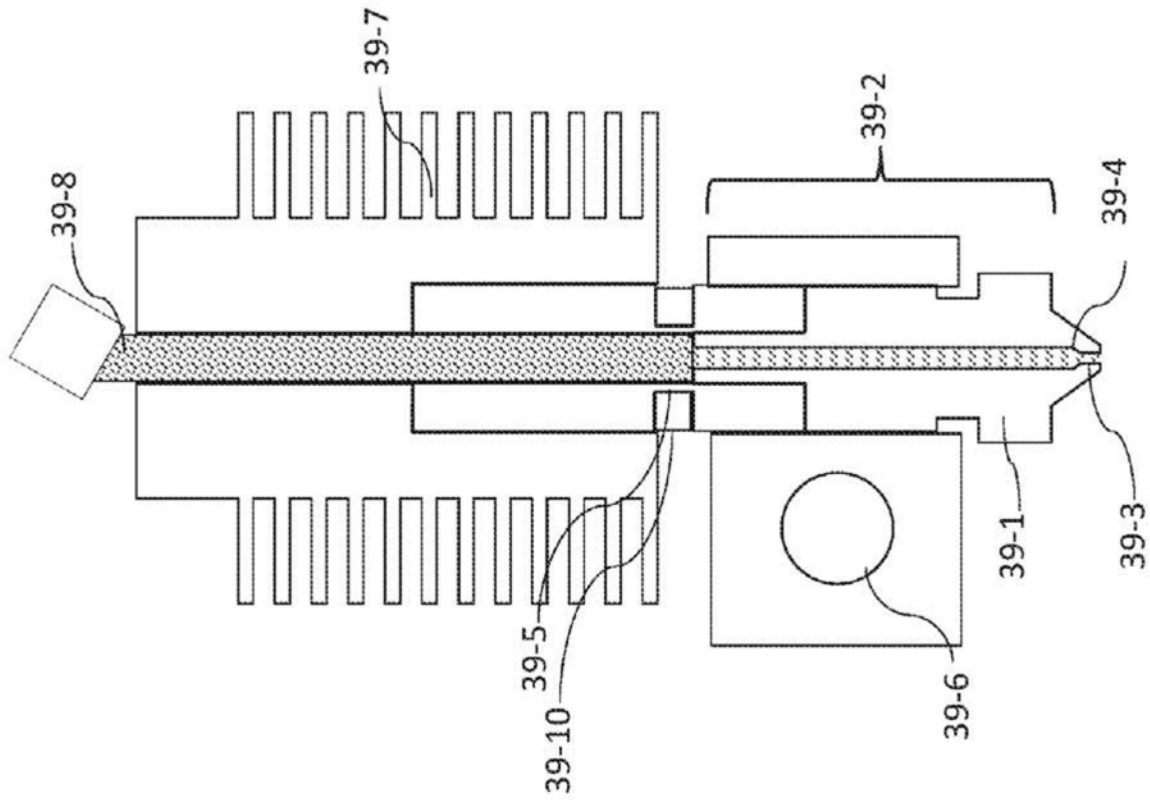


图39A

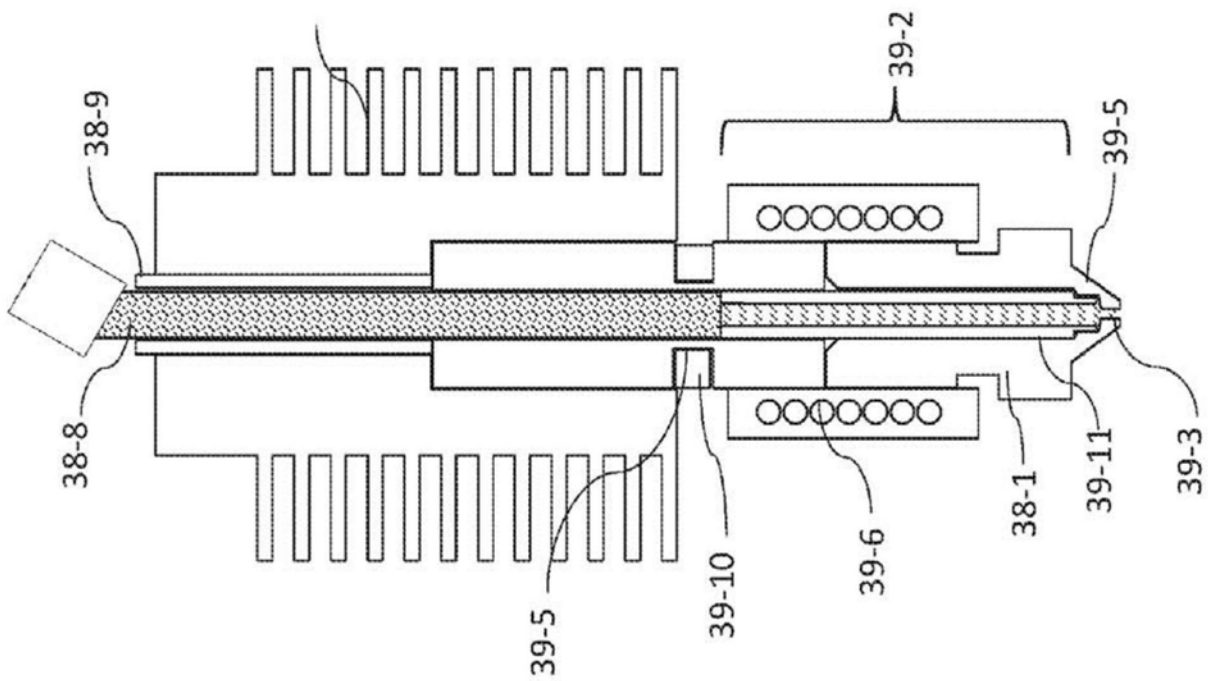


图39B

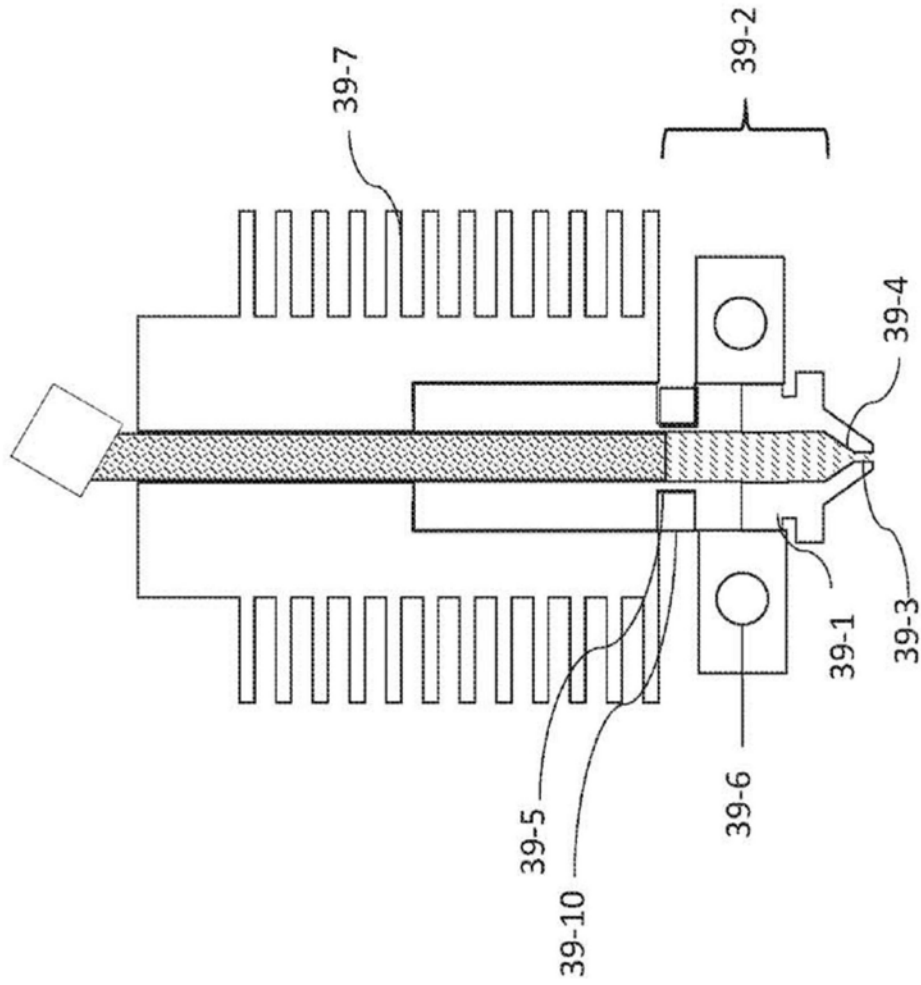


图40