



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114799214 A

(43) 申请公布日 2022. 07. 29

(21) 申请号 202210317266.3

(22) 申请日 2017.10.02

(30) 优先权数据

- 62/429,711 2016.12.02 US
- 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) 分案原申请数据

201780074207.5 2017.10.02

(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
专利代理师 陈皖 姚鹏

(51) Int.Cl.

- B22F 10/43 (2021.01)
- B22F 10/10 (2021.01)
- B28B 1/00 (2006.01)
- B33Y 10/00 (2015.01)
- B33Y 40/00 (2020.01)

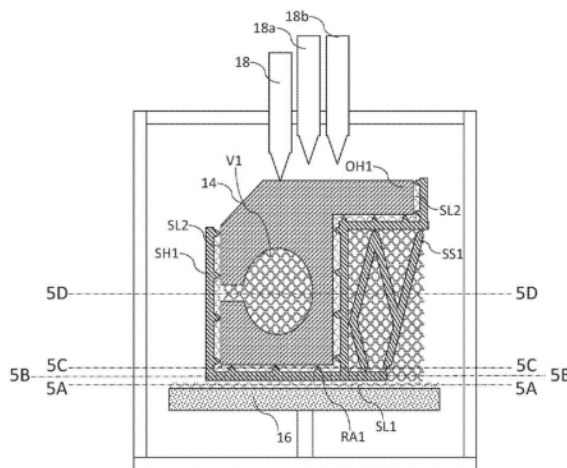
权利要求书9页 说明书17页 附图14页

(54) 发明名称

减少增材制造的零件中的变形的的方法

(57) 摘要

本发明涉及减少增材制造的零件中的变形的的方法,包括:形成复合物的连续层的收缩平台,复合物包括可脱粘的基质中的金属颗粒填料;在收缩平台上方形成复合物的收缩支撑件;在收缩平台和收缩支撑件上形成复合物的所需零件,所需零件的所有部分被收缩平台垂直地且直接地支撑;在收缩平台下方形成表面积等于或大于收缩平台的底部的滑动脱离层,滑动脱离层减少收缩平台和下方表面之间的横向阻力;将基质充分脱粘以形成包括收缩平台、收缩支撑件和所需零件的保形半生部组件;以及加热由复合物形成的保形半生部组件,以便所有的收缩平台、收缩支撑件和所需零件在遍及保形半生部组件的相邻金属颗粒进行质量扩散的时候以相同速率一起收缩。



1. 一种减少增材制造的零件中的变形的的方法,所述方法包括:
形成复合物的连续层的收缩平台,所述复合物包括可脱粘的基质中的金属颗粒填料;
在所述收缩平台上方形成所述复合物的收缩支撑件;
在所述收缩平台和收缩支撑件上形成所述复合物的所需零件,所述所需零件的所有部分被所述收缩平台垂直地且直接地支撑;
在所述收缩平台下方形成表面积等于或大于所述收缩平台的底部的滑动脱离层,所述滑动脱离层减少所述收缩平台和下方表面之间的横向阻力;
将所述基质充分脱粘以形成包括所述收缩平台、所述收缩支撑件和所述所需零件的保形半生部组件;以及
加热由所述复合物形成的所述保形半生部组件,以便所有的所述收缩平台、所述收缩支撑件和所述所需零件在遍及所述保形半生部组件的相邻金属颗粒进行质量扩散的时候以相同速率一起收缩。
2. 根据权利要求1所述的方法,其还包括:
在所述收缩平台、所述收缩支撑件和所述所需零件中的至少一者中沉积包括单元室之间的互连的开放式单元结构;以及
将流体脱粘剂渗入到所述开放式单元结构中,以使所述基质从所述开放式单元结构内脱粘。
3. 根据权利要求1所述的方法,其还包括:
将所述收缩平台、所述收缩支撑件和所述所需零件形成为使组合的所述收缩平台和连接的收缩支撑件的形心与所述零件的所述形心基本对齐。
4. 根据权利要求1所述的方法,其还包括:
通过在所述收缩支撑件和所述所需零件的一侧之间形成所述复合物的可分离的附接突起,将所述收缩支撑件互连到所述所需零件的所述一侧。
5. 根据权利要求1所述的方法,其还包括:
按照所述所需零件的侧面轮廓形成所述复合物的横向支撑壳体;以及
通过在所述横向支撑壳体和所述所需零件之间形成所述复合物的可分离的附接突起,将所述横向支撑壳体连接到所述所需零件的所述侧面轮廓。
6. 根据权利要求1所述的方法,其还包括:
形成没有所述金属颗粒填料的所述可脱粘的基质的可溶解支撑结构,所述可溶解支撑结构在形成所述所需零件期间抵抗向下的力;以及
在加热所述保形半生部组件之前,将所述基质充分脱粘以溶解所述可溶解支撑结构。
7. 根据权利要求1所述的方法,其还包括:
形成脱离复合物的可溶解支撑结构,所述脱离复合物包括陶瓷颗粒填料、所述可脱粘的基质以及低于可烧结量的所述金属颗粒填料,所述可溶解支撑结构用于在形成所述所需零件期间抵抗向下的力;以及
在加热所述保形半生部组件之前,将所述基质充分脱粘以形成包括所述收缩平台、收缩支撑件和所需零件的保形半生部组件,并且溶解所述可溶解支撑结构的所述基质。
8. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述下方表面包括可移动的构建板,并且其中,所述方法还包括:

在可移动的所述构建板上方形形成所述收缩平台；

利用包括陶瓷颗粒和所述可脱粘的基质的脱离复合物在所述收缩平台下方和可移动的所述构建板上方形形成所述滑动脱离层；

在所述加热期间烧结所述保形半生部组件；

在所述脱粘期间并且在所述烧结期间将所述构建板、滑动脱离层和保形半生部组件整体保持为一个单元；

在烧结之后，将所述构建板、滑动脱离层、收缩平台和收缩支撑件与所述所需零件分离开。

9. 根据权利要求1所述的方法，其还包括：

利用包括陶瓷颗粒填料和所述可脱粘的基质的脱离复合物在所述收缩支撑件和所述所需零件之间形成零件脱离层；

在所述加热期间烧结所述保形半生部组件；

在所述脱粘期间并且在所述烧结期间将所述零件脱离层和保形半生部组件整体保持为一个单元；

在烧结之后，将所述零件脱离层、收缩平台和收缩支撑件与所述所需零件分离开。

10. 根据权利要求9所述的方法，其还包括：

在所述收缩支撑件中沉积包括单元室之间的互连的开放式单元结构；以及

将流体脱粘剂渗入到所述开放式单元结构中，以使所述基质从所述开放式单元结构内脱粘。

11. 一种减少增材制造的零件中的变形的的方法，所述方法包括：

在连续层中沉积由复合物形成的收缩平台，所述复合物包括可脱粘的基质中的金属颗粒填料；

在所述收缩平台上方沉积所述复合物的收缩支撑件；

在所述收缩支撑件中沉积包括单元室之间的互连的开放式单元结构；

将来自所述复合物的所需零件沉积在所述收缩平台和收缩支撑件上；

将所述收缩平台、收缩支撑件和所需零件暴露于流体脱粘剂，以形成保形半生部组件；

将所述流体脱粘剂渗入到所述开放式单元结构中，以使所述基质从所述开放式单元结构内脱粘；以及

烧结所述保形半生部组件以使整个所述保形半生部组件以相同的速率收缩。

12. 根据权利要求11所述的方法，其还包括：

在所述收缩平台下方沉积表面积等于或大于所述收缩平台的底部的滑动脱离层，所述滑动脱离层减少所述收缩平台和下方表面之间的横向阻力。

13. 根据权利要求11所述的方法，其还包括：

利用包括陶瓷颗粒填料和所述可脱粘的基质的脱离复合物在所述收缩支撑件和所述所需零件之间沉积零件脱离层；

在所述暴露期间并且在所述烧结期间将所述零件脱离层和保形半生部组件整体保持为一个单元；

在烧结之后，将所述零件脱离层、收缩平台和收缩支撑件与所述所需零件分离开。

14. 根据权利要求13所述的方法，其还包括：

在收缩支撑件的垂直表面与所述所需零件的相邻壁相对的位置处,在收缩支撑件和所述所需零件之间形成没有脱离复合物的垂直间隔。

15. 根据权利要求11所述的方法,其还包括:

沉积具有大的单元内部的横向支撑壳体块,使得单元具有比所述横向支撑壳体块内的最厚壁更宽的单元腔,从而辅助脱粘流体扩散并且渗入到所述支撑件中。

16. 根据权利要求11所述的方法,其还包括:

通过在所述收缩支撑件和所述所需零件的一侧之间形成所述复合物的可分离的附接突起,将所述收缩支撑件互连到所述所需零件的所述一侧。

17. 根据权利要求11所述的方法,其还包括:

按照所述所需零件的侧面轮廓,形成所述复合物的横向支撑壳体作为所述收缩支撑件。

18. 根据权利要求17所述的方法,其还包括:

通过在所述横向支撑壳体和所述所需零件之间形成所述复合物的可分离的附接突起,将所述横向支撑壳体连接到所述所需零件的所述侧面轮廓。

19. 根据权利要求17所述的方法,其还包括:

将所述收缩平台、所述横向支撑壳体和所述所需零件中的至少一者沉积成具有内部室之间的互连;以及

经由所述互连将流体脱粘剂渗入到所述内部室中,以使所述基质从所述开放式单元结构内脱粘。

20. 根据权利要求11所述的方法,其还包括:

将所述收缩平台、收缩支撑件和所需零件形成为使组合的所述收缩平台和连接的收缩支撑件的形心与所述零件的所述形心基本对齐。

21. 一种减少增材制造的零件中的变形的的方法,所述方法包括:

在连续层中沉积由复合物形成的收缩平台,所述复合物包括可脱粘的基质中的金属颗粒填料;

在所述收缩平台上方沉积所述复合物的收缩支撑件;

在所述收缩支撑件之间形成作为分离间隙的分型线,以将所述收缩支撑件划分成能够沿所述分离间隙分离的分割块;

将来自所述复合物的所需零件成型在所述收缩平台和收缩支撑件上,

将所述基质充分脱粘以形成包括所述收缩平台、收缩支撑件和所需零件的保形半生部组件;

烧结所述保形半生部组件以使整个所述保形半生部组件以均匀的速率收缩;

沿着所述分离间隙将所述收缩支撑件分离成分割块;以及

将所述分割块与所述所需零件分离。

22. 根据权利要求21所述的方法,其中,一个或多个所述分离间隙形成为用于分离相邻的收缩支撑件的垂直间隙,并且延伸成基本上所述相邻的收缩支撑件的高度,并且所述方法还包括:

沿着所述垂直间隙将所述相邻的收缩支撑件彼此分离。

23. 根据权利要求21所述的方法,其还包括:

在所述所需零件的腔内由所述复合物形成内部收缩支撑件；

在所述内部收缩支撑件之间形成作为分离间隙的分型线，以将所述内部收缩支撑件划分为能够沿着所述分离间隙分离的分段分割块；以及

沿着所述分离间隙将所述分段分割块彼此分离。

24. 根据权利要求21所述的方法，其还包括：

将所述分段分割块形成为能够沿着分离间隙彼此分离的块，所述分离间隙在与所述收缩支撑件相交的平面内连续。

25. 根据权利要求21所述的方法，其还包括：

按照所述所需零件的侧面轮廓，形成所述复合物的横向支撑壳体作为所述收缩支撑件；以及

通过在所述横向支撑壳体和所述所需零件之间形成所述复合物的可分离的附接突起，将所述横向支撑壳体连接到所述所需零件的所述侧面轮廓。

26. 根据权利要求25所述的方法，其还包括：

在所述横向支撑壳体中形成分型线，以将所述横向支撑壳体划分为能够沿着所述分型线分离的壳体分割块；

将所述基质充分脱粘以形成包括所述收缩平台、收缩支撑柱、横向支撑壳体和所需零件的保形半生部组件；

将所述横向支撑壳体沿着所述分型线分离成所述壳体分割块；以及

将所述壳体分割块与所述所需零件分离。

27. 根据权利要求21所述的方法，其还包括：

将所述收缩平台、所述收缩支撑件和所述所需零件中的至少一者沉积成具有内部室之间的互连；以及

经由所述互连将流体脱粘剂渗入到所述内部室中，以使所述基质从所述开放式单元结构内脱粘。

28. 根据权利要求21所述的方法，其还包括：

形成没有所述金属颗粒填料的所述可脱粘的基质的可溶解支撑结构，所述可溶解支撑结构在形成所述所需零件期间抵抗向下的力；以及

在烧结所述保形半生部组件之前，将所述基质充分脱粘以溶解所述可溶解支撑结构。

29. 根据权利要求21所述的方法，其还包括：

在所述收缩平台下方形成表面积等于或大于所述收缩平台的底部的滑动脱离层，所述滑动脱离层减少所述收缩平台和构建板之间的横向阻力；

在可移动的所述构建板上方形形成所述收缩平台；

利用包括陶瓷颗粒和所述可脱粘的基质的脱离复合物在所述收缩平台下方和可移动的所述构建板上方形形成所述滑动脱离层；以及

在所述脱粘期间并且在所述烧结期间将所述构建板、滑动脱离层和保形半生部组件整体保持为一个单元。

30. 根据权利要求21所述的方法，其还包括：

利用包括陶瓷颗粒填料和所述可脱粘的基质的脱离复合物在所述收缩支撑件和所述所需零件之间形成零件脱离层；

在所述脱粘期间并且在所述烧结期间将所述零件脱离层和保形半生部组件整体保持为一个单元；

在烧结之后,将所述零件脱离层、收缩平台和收缩支撑件与所述所需零件分离开。

31. 一种减少增材制造的零件中的变形的的方法,所述方法包括:

在连续层中沉积由复合物形成的收缩平台,所述复合物包括嵌入在第一基质中的金属颗粒;

将来自所述复合物的零件沉积在所述收缩平台上;

在所述收缩平台下方沉积表面积等于或大于所述收缩平台的底部的滑动层,所述滑动层被构造成在烧结期间减少所述收缩平台和下方表面之间的横向阻力;以及

由所述收缩平台、滑动层和零件形成生坯状态的可移动组件。

32. 根据权利要求31所述的方法,其还包括:

在所述收缩平台上沉积所述复合物的收缩支撑件;

沉积分离材料,以介入在所述零件和所述收缩支撑件之间,所述分离材料包括陶瓷粉末和第二基质;以及

由所述收缩平台、滑动层、收缩支撑件、分离材料和零件形成生坯状态的所述可移动组件,其中,所述收缩支撑件被构造成在半生坯状态的所述可移动组件的所述金属颗粒的烧结期间防止所述可移动组件因重力而变形,并且其中,所述分离材料的所述陶瓷粉末被构造成在烧结之后将所述收缩支撑件与所述零件分离开。

33. 根据权利要求32所述的方法,其中,所述收缩平台与所述收缩支撑件彼此互连,并且其中,所述方法还包括:

利用所述第一基质和第二基质,在沉积期间保持所述可移动组件的形状;

在第一公共室中,将所述可移动组件中的所述第一基质从所述生坯状态脱粘至所述半生坯状态;

将所述半生坯状态的所述可移动组件传递到用于烧结的第二公共室;

烧结所述半生坯状态的所述可移动组件,以在遍及所述保形半生部组件的相邻金属颗粒进行质量扩散的时候以整体均匀的速率收缩,并且在烧结期间,在所述第二公共室中,通过所述烧结的热量分解所述第二基质,从而留下松散的所述陶瓷粉末;

利用所述第一基质,在所述烧结的至少一部分期间保持所述可移动组件的形状;以及

利用所述陶瓷粉末,使所述收缩支撑件与所述零件保持分离。

34. 根据权利要求33所述的方法,其中,所述第一基质和所述第二基质通过共同的脱粘剂能够至少部分地脱粘。

35. 根据权利要求32所述的方法,其中,沉积收缩支撑件包括按照所述零件的侧面轮廓,形成所述复合物的横向支撑壳体作为所述收缩支撑件。

36. 根据权利要求35所述的方法,其还包括:

通过在所述横向支撑壳体和所述零件之间形成所述复合物的可分离的附接突起,将所述横向支撑壳体连接到所述零件的所述侧面轮廓。

37. 根据权利要求32所述的方法,其还包括:

沉积所述分离材料,以介入在与所述收缩支撑件的表面相对的所述零件的非水平表面处,所述零件的所述非水平表面包括垂直表面、弯曲表面和相对于水平成角度的表面中的

至少一者。

38. 一种减少增材制造的零件中的变形的的方法,所述方法包括:

在连续层中沉积由复合物形成的收缩平台,所述复合物包括金属颗粒、第一粘合剂组分和第二粘合剂组分;

沉积由所述收缩平台支撑的来自所述复合物的零件,所述收缩平台形成保持所述零件并且被构造成在所述复合物的收缩期间防止所述收缩平台相对于所述零件的移动的基础,;

在所述收缩平台下方沉积表面积等于或大于所述收缩平台的底部的滑动层,所述滑动层被构造成在烧结期间减少所述收缩平台和下方表面之间的横向阻力;以及

将所述收缩平台、滑动层和零件形成为生坯状态的可移动组件,其中,所述第一粘合剂组分被构造成在所述可移动组件的沉积期间保持所述可移动组件的形状。

39. 根据权利要求38所述的方法,其还包括:

在所述零件的第一部分上沉积所述复合物的第一收缩支撑件,以支撑所述零件的第二部分;

沉积分离材料,以介入在所述零件和所述第一收缩支撑件之间,所述分离材料包括陶瓷粉末和第三粘合剂组分,其中,所述第三粘合剂组分响应于与所述第一粘合剂组分相同的脱粘剂;以及

由所述收缩平台、滑动层、第一收缩支撑件、分离材料和零件形成生坯状态的所述可移动组件,其中,所述第一粘合剂组分和第三粘合剂组分被构造成在所述可移动组件的沉积期间保持所述可移动组件的形状,其中,所述第一收缩支撑件被构造成在半生坯状态的所述可移动组件的所述金属材料的烧结期间防止所述可移动组件因重力而变形,并且其中,所述分离材料被构造成在烧结期间将所述第一收缩支撑件与所述零件分离开,并且粉末化以允许所述第一收缩支撑件在烧结之后从所述零件移除。

40. 根据权利要求39所述的方法,其还包括:

在所述收缩平台上沉积所述复合物的第二收缩支撑件,其中,所述收缩平台与所述收缩支撑件彼此互连;以及

沉积所述分离材料,以介入在所述零件和所述第二收缩支撑件之间,其中,所述第二收缩支撑件包括在所述生坯状态的所述可移动组件中,并且所述分离材料的所述陶瓷粉末被构造成在烧结之后将所述第二收缩支撑件与所述零件分离开。

41. 根据权利要求39所述的方法,其还包括:

沉积所述分离材料,以直接地介入在所述零件和所述收缩平台之间,其中,所述分离材料的所述陶瓷粉末被构造成在烧结之后将所述零件与所述收缩平台分离开。

42. 根据权利要求39所述的方法,其还包括:

利用所述第一粘合剂组分和第二粘合剂组分,在沉积期间保持所述可移动组件的形状;

在第一公共室中,将所述平台组件中的所述第一粘合剂组分从生坯状态脱粘至半生坯状态;

将所述半生坯状态的所述可移动组件传递到第二公共室;

在所述第二公共室中,烧结所述半生坯状态的所述可移动组件,以在遍及所述保形半

生部组件的相邻金属颗粒进行质量扩散并且所述第二粘合剂在烧结的热量中分解的时候以整体均匀的速率收缩;以及

在所述第二公共室中,分解所述第三粘合剂组分,从而留下松散的所述陶瓷粉末。

43. 根据权利要求39所述的方法,其中,沉积所述第一收缩支撑件包括按照所述零件的侧面轮廓,形成同一复合物的横向支撑壳体作为所述第一收缩支撑件。

44. 根据权利要求39所述的方法,其中,沉积所述分离材料包括沉积所述分离材料以介入在与所述第一收缩支撑件的表面相对的所述零件的非水平表面处,所述零件的所述非水平表面包括垂直表面、弯曲表面和相对于水平成角度的表面中的至少一者。

45. 一种减少增材制造的零件中的变形的的方法,所述方法包括:

供给包括金属颗粒、第一粘合剂和第二粘合剂的复合物;

供给包括陶瓷粉末和第三粘合剂的分离材料;

沉积由所述复合物形成的生坯状态的可移动组件,所述可移动组件包括收缩平台、滑动层、第一收缩支撑件、第二收缩支撑件、分离材料和零件,所述收缩平台与所述第一收缩支撑件彼此互连,所述零件沉积在所述第一收缩支撑件上,所述第二收缩支撑件在所述零件的下部上支撑所述零件的上部,所述分离材料将所述零件与所述第一收缩支撑件和所述第二收缩支撑件分离开,所述滑动层沉积在所述收缩平台下方,并且被构造成表面积等于或大于所述收缩平台的底部,并且被构造成在烧结期间减少所述收缩平台和下方表面之间的横向阻力;

在沉积期间利用所述第一粘合剂、第二粘合剂和第三粘合剂保持所述可移动组件的形状;

脱粘所述第一粘合剂以使所述平台组件从生坯状态脱粘至半生坯状态;以及

烧结所述半生坯状态的所述可移动组件,以使通过所述收缩平台互连的整个所述可移动组件以均匀的速率收缩,并且分解所述第二粘合剂和所述第三粘合剂,其中,所述平台组件的相对形状通过所述第一收缩支撑件和所述第二收缩支撑件相对于重力被保持,并且其中,所述第三粘合剂在烧结期间分解以粉末化所述分离材料,留下将所述零件与所述第一收缩支撑件和所述第二收缩支撑件分离开的松散的陶瓷粉末。

46. 根据权利要求45所述的方法,其还包括:

沉积所述可移动组件中的所述分离材料,以直接介入在所述零件和所述收缩平台之间,其中,在烧结之后,松散的所述陶瓷粉末将所述零件与所述收缩平台分离开。

47. 根据权利要求45所述的方法,其还包括:

按照所述零件的侧面轮廓,形成同一复合物的横向支撑壳体作为所述第一收缩支撑件。

48. 根据权利要求45所述的方法,其还包括:

沉积所述分离材料,以介入在与所述第一收缩支撑件的表面相对的所述零件的非水平表面处,所述零件的所述非水平表面包括垂直表面、弯曲表面和相对于水平成角度的表面中的至少一者。

49. 根据权利要求45所述的方法,其中,所述下方表面包括可移动的构建板,并且其中,所述方法还包括:

在可移动的所述构建板上方形形成所述收缩平台;

利用所述脱离材料在所述收缩平台下方和可移动的所述构建板上方形形成所述滑动层；以及

在沉积、脱粘和烧结期间将所述可移动组件和可移动的所述构建板整体保持为一个单元。

50. 根据权利要求45所述的方法，其中，所述复合物中的所述金属颗粒以至少两个尺寸分布。

51. 一种增材制造三维结构的方法，所述方法包括以下步骤：

形成零件和收缩平台，所述零件和所述收缩平台中的各者包括金属颗粒和一种或多种粘合剂组分；以及

在所述零件和所述收缩平台之间形成脱离层，所述脱离层包括在烧结所述零件和所述收缩平台时会粉末化的材料，

其中，在烧结期间，所述零件和所述收缩平台被构造成均匀地烧结。

52. 根据权利要求51所述的方法，其中，形成所述零件和所述收缩平台的所述步骤包括形成穿透所述零件和所述收缩平台之间的所述脱离层的钉。

53. 根据权利要求51所述的方法，其中，所述零件和所述收缩平台中的各者被构造成在烧结时以相同的速率收缩。

54. 根据权利要求51所述的方法，还包括在所述收缩平台的表面和与所述表面相对的构建板之间形成滑动脱离层的步骤，所述滑动脱离层包括在烧结时会粉末化的材料。

55. 根据权利要求54所述的方法，其中，形成所述滑动脱离层的所述步骤包括形成穿透所述收缩平台和所述构建板之间的所述滑动脱离层的钉。

56. 一种增材制造三维结构的方法，所述方法包括以下步骤：

烧结零件和收缩平台，所述零件和所述收缩平台中的各者包括金属颗粒和一种或多种粘合剂组分，至少位于所述零件和所述收缩平台之间的部分具有脱离层，所述脱离层包括在烧结所述零件和所述收缩平台时会粉末化的材料；并且

其中，在所述烧结期间，所述零件和所述收缩平台相对于彼此保持相对位置。

57. 根据权利要求56所述的方法，其中，所述零件和所述收缩平台中的各者被构造成在所述烧结期间以相同的速率收缩。

58. 一种增材制造三维结构的方法，所述方法包括以下步骤：

形成零件、支撑结构和收缩平台，所述零件、所述支撑结构和所述收缩平台中的各者包括金属颗粒和一种或多种粘合剂组分；

在所述支撑结构和所述收缩平台之间形成脱离层，所述脱离层包括在烧结所述零件、所述支撑结构和所述收缩平台时会粉末化的材料；并且

其中，在烧结期间，所述零件和所述支撑结构相对于彼此保持相对位置，并且所述零件和所述支撑结构总体上相对于所述收缩平台保持相对位置。

59. 根据权利要求58所述的方法，其中，形成所述零件、所述支撑结构和所述收缩平台的所述步骤包括形成穿透所述支撑结构和所述收缩平台之间的所述脱离层的钉。

60. 根据权利要求58所述的方法，其中，所述零件、所述支撑结构和所述收缩平台中的各者被构造成在烧结时以相同的速率收缩。

61. 根据权利要求58所述的方法，还包括在所述收缩平台的表面和与所述表面相对的

构建板之间形成滑动脱离层的步骤,所述滑动脱离层包括在烧结时会粉末化的材料。

62. 根据权利要求61所述的方法,其中,形成所述滑动脱离层的所述步骤包括形成穿透所述收缩平台和所述构建板之间的所述滑动脱离层的钉。

63. 一种增材制造三维结构的方法,所述方法包括以下步骤:

烧结零件、支撑结构和收缩平台,所述零件、所述支撑结构和所述收缩平台中的各者包括金属颗粒和一种或多种粘合剂组分,至少位于所述支撑结构和所述收缩平台之间的部分具有脱离层,所述脱离层包括在烧结所述零件、所述支撑结构和所述收缩平台时会粉末化的材料;并且

其中,在所述烧结期间,所述零件、所述支撑结构和所述收缩平台相对于彼此保持相对位置。

64. 根据权利要求63所述的方法,其中,所述零件、所述支撑结构和所述收缩平台中的各者被构造成在所述烧结期间以相同的速率收缩。

65. 一种增材制造三维结构的方法,所述方法包括以下步骤:

烧结模型材料的第一主体和模型材料的第二主体,所述模型材料的第二主体被构造为收缩平台,所述模型材料的第一主体和所述模型材料的第二主体中的各者包括金属颗粒和一种或多种粘合剂组分,至少位于所述模型材料的第一主体和所述模型材料的第二主体之间的部分为脱离层,所述脱离层包含在烧结所述模型材料的第一主体和所述模型材料的第二主体时会粉末化的材料;并且

其中,在烧结所述模型材料的第一主体和所述模型材料的第二主体期间,所述模型材料的第一主体和所述模型材料的第二主体被构造成相对于彼此保持相对位置。

66. 根据权利要求65所述的方法,其中,所述第一主体材料包括一个或多个零件。

67. 根据权利要求66所述的方法,还包括在所述模型材料的第一主体的层之间形成脱离层的步骤。

68. 根据权利要求67所述的方法,其中,在所述模型材料的第一主体的层之间形成所述脱离层的所述步骤包括形成穿透所述模型材料的第一主体的所述层之间的所述脱离层的钉。

69. 根据权利要求65所述的方法,其中,所述相对位置为共同的形心。

70. 根据权利要求65所述的方法,其中,所述脱离层包括陶瓷。

71. 根据权利要求65所述的方法,其中,所述第一主体材料包括一个或多个支撑结构。

72. 根据权利要求71所述的方法,还包括在所述模型材料的第一主体的层之间形成脱离层的步骤。

73. 根据权利要求72所述的方法,其中,在所述模型材料的第一主体的层之间形成所述脱离层的所述步骤包括形成穿透所述模型材料的第一主体的所述层之间的所述脱离层的钉。

减少增材制造的零件中的变形的的方法

[0001] 本申请是申请日为2017年10月2日、发明名称为“用于烧结增材制造的零件的支撑件”的申请号为201780074207.5的专利申请的分案申请。

技术领域

[0002] 本发明各方面涉及复合金属或陶瓷材料的三维打印。

背景技术

[0003] 作为现有技术的“三维打印”包括用于生产金属件的各种方法。

[0004] 在3D打印中,通常,零件的无支撑的跨度件以及悬垂或悬臂式零件可能需要位于下方的可移除的和/或可溶解的和/或分散式的支撑件,以提供用于沉积的面对表面或者以抵抗后处理期间的变形。

发明内容

[0005] 根据本发明的实施例的第一方面,减少增材制造的零件中的变形的的方法包括形成连续复合层的收缩平台,复合物包括可脱粘(debindable)的基质中的金属颗粒填料。可脱粘的基质可以包括不同的组分,从而成为一级或二级粘合剂。收缩支撑件在收缩平台上由相同的复合物形成。在收缩平台和收缩支撑件上形成有相同复合物的所需零件(desired part),所需零件的基本上水平的部分(例如,悬垂部、桥、大半径弧形部)被收缩平台(例如,直接地、经由收缩支撑件或者经由脱离(release)层)垂直地支撑。在收缩平台下方形成有表面积等于或大于收缩平台的底部(如图4所示)的滑动脱离层,滑动脱离层减小收缩平台和下方表面(例如,诸如用于烧结的构建平台或者托盘等)之间的横向阻力。基质被充分脱粘以形成(例如,包括用于保持形状的剩余粘合剂的稀疏网格的)保形半生部组件(shape-retaining brown part assembly),半生部组件包括收缩平台、收缩支撑件和所需零件。加热由相同复合物形成的保形半生部组件,以便所有的收缩平台、收缩支撑件和所需零件在遍及保形半生部组件的相邻金属颗粒进行质量扩散的时候以相同速率一起收缩。结果,均匀收缩和滑动脱离层减少了变形。

[0006] 具有类似优点的装置可以包括用于沉积收缩平台、收缩支撑件和所需零件的打印头、用于形成滑动脱离层的第二打印头、用于使保形半生部组件脱粘的脱粘清洗剂(debinding wash)和用于以相同速率加热和收缩收缩平台、收缩支撑件和所需零件的烧结炉。

[0007] 可选地,在收缩平台、收缩支撑件和所需零件的至少一者中沉积包括单元室(cell chamber)之间的互连的开放式单元结构(open cell structure);并且流体脱粘剂渗入到开放式单元结构中,以使基质从开放式单元结构内脱粘。附加地或者替代地,收缩平台、收缩支撑件和所需零件可以形成为使组合的收缩平台和连接的收缩支撑件的形心与该零件的形心基本对齐。另外,附加地或替代地,通过在收缩支撑件和所需零件的一侧之间形成相同复合物的可分离的附接突起,收缩支撑件能够与所需零件的这一侧相互连接。此外,附加

地或者替代地,横向支撑壳体(lateral support shell)可以按照所需零件的侧面轮廓(lateral contour)由相同的复合物形成,并且通过在横向支撑壳体和所需零件之间形成相同复合物的可分离的附接突起,横向支撑壳体可以连接到所需零件的侧面轮廓。

[0008] 另外,可选地,可以形成没有金属颗粒填料的可脱粘的基质的可溶解支撑结构,该可溶解支撑结构在形成所需零件期间抵抗向下的力,并且在加热保形半生部组件之前,基质被充分脱粘,以溶解可溶解支撑结构。替代地或者附加地,可以形成脱离复合物(release composite)的可溶解支撑结构,脱离复合物包括陶瓷颗粒填料和可脱粘的基质,可溶解支撑结构在形成所需零件期间抵抗向下的力。在加热保形半生部组件之前,基质可以被充分脱粘,以形成包括收缩平台、收缩支撑件和所需零件的保形半生部组件并溶解可溶解支撑结构的基质。

[0009] 附加地或者替代地,下方表面可以包括可移动的构建板。在这种情况下,收缩平台可以形成在可移动的构建板上方,并且利用包括陶瓷颗粒和可脱粘的基质的脱离复合物将滑动脱离层形成在收缩平台下方和可移动的构建板上方。保形半生部组件可以在加热期间被烧结。构建板、滑动脱离层和保形半生部组件可以在脱粘期间并且在烧结期间整体保持为一个单元。在烧结之后,构建板、滑动脱离层、收缩平台和收缩支撑件可以与所需零件分离。

[0010] 可选地,利用包括陶瓷颗粒填料和可脱粘的基质的脱离复合物可以在收缩支撑件和所需零件之间形成零件脱离层,并且在加热期间烧结保形半生部组件。零件脱离层和保形半生部组件能够在脱粘期间和烧结期间整体保持为一个单元。在烧结之后,零件脱离层、收缩平台和收缩支撑件可以与所需零件分离。在这种情况下,可以在收缩支撑件中沉积包括单元室之间的互连的开放式单元结构,并且流体脱粘剂可以渗入到开放式单元结构中,以便使基质从开放式单元结构内脱粘。

[0011] 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包括可脱粘的基质中的金属颗粒填料的复合物形成的收缩平台以及在收缩平台上方沉积相同复合物的收缩支撑件。在收缩支撑件的单元室之间沉积包括互连的开放式单元结构。所需零件以相同的复合物沉积在收缩平台和收缩支撑件上。收缩平台、收缩支撑件和所需零件被暴露于流体脱粘剂,以形成保形半生部组件。流体脱粘剂渗入到开放式单元结构中,以便使基质从开放式单元结构内脱粘。烧结保形半生部组件以使整个保形半生部组件以相同的速率收缩。

[0012] 可选地,表面积等于或大于收缩平台的底部的滑动脱离层沉积在收缩平台下方,以便减小收缩平台和下方表面之间的横向阻力。附加地或者替代地,利用包括陶瓷颗粒填料和可脱粘的基质的脱离复合物将零件脱离层沉积在收缩支撑件和所需零件之间,并且零件脱离层和保形半生部组件在暴露期间并且在烧结期间整体保持为一个单元。在烧结之后,零件脱离层、收缩平台和收缩支撑件与所需零件分离。另外,可选地,例如如图8-10所示,在收缩支撑件的垂直表面与所需零件的相邻壁相对的位置处,在收缩支撑件和所需零件之间形成有没有脱离复合物的垂直间隔。

[0013] 替代地或者附加地,例如如图8-10所示,横向支撑壳体块被沉积成具有大的单元内部,使得单元具有比横向支撑壳体块内的最厚壁更宽的单元腔(cavity),从而辅助脱粘流体扩散并且渗入到支撑件中。另外,替代地或者附加地,通过在收缩支撑件和所需零件的

一侧之间形成相同复合物的可分离的附接突起,收缩支撑件可以与所需零件的这一侧互连。

[0014] 另外,可选地,例如如图8-10所示,可以按照所需零件的侧面轮廓沉积作为收缩支撑件的相同的复合物的横向支撑壳体。在这种情况下,通过在横向支撑壳体和所需零件之间形成相同复合物的可分离的附接突起,横向支撑壳体可以连接到所需零件的侧面轮廓。替代地或者附加地,收缩平台、横向支撑壳体和所需零件中的至少一者可以沉积有内部室之间的互连,并且流体脱粘剂可以经由互连渗入到内部室中,以便使基质从开放式单元结构内分离。收缩平台、收缩支撑件和所需零件可以沉积成使得组合的收缩平台和连接的收缩支撑件的形心与该零件的形心基本上对齐。

[0015] 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物形成的收缩平台,复合物包括可脱粘的基质中的金属颗粒填料。相同复合物的收缩支撑件可以沉积在收缩平台上方。例如如图8-10所示,在收缩支撑件之间,可以形成作为分离间隙的分型线,以将收缩支撑件划分成能够沿分离间隙分离的分割块(fragment)。由相同的复合物形成的所需零件可以成型在收缩平台和收缩支撑件上。基质能够被充分脱粘以形成包括收缩平台、收缩支撑柱和所需零件的保形半生部组件。烧结保形半生部组件以使整个保形半生部组件以均匀的速率收缩。收缩支撑件可以沿着分离间隙被分离成分割块,并且分割块可以与所需零件分离。

[0016] 可选地,一个或多个分离间隙形成为用于分离相邻的支撑柱的并且延伸成基本上相邻的支撑柱的高度的垂直间隙,并且还包含,并且相邻的支撑柱沿着垂直间隙彼此分离。替代地或者附加地,在所需零件的腔内由相同的复合物形成内部收缩支撑件。在内部收缩支撑件中,可以形成作为分离间隙的分型线,以将内部收缩支撑件划分成能够沿着分离间隙分离的分段分割块。分段分割块可以沿着分离间隙彼此分离。

[0017] 替代地或者附加地,分割块形成为能够沿着分离间隙彼此分离的块,分离间隙在与收缩支撑件相交的平面内连续。作为收缩支撑件的相同复合物的横向支撑壳体可以根据所需零件的侧面轮廓形成。可选地,通过在横向支撑壳体和所需零件之间形成相同复合物的可分离的附接突起,横向支撑壳体可以连接到所需零件的侧面轮廓。另外,可选地,在横向支撑壳体中,可以形成分型线,以将横向支撑壳体划分成能够沿着分型线分离的壳体分割块。基质可以被充分脱粘,以形成包括收缩平台、收缩支撑柱、横向支撑壳体和所需零件的保形半生部组件。横向支撑壳体可以沿着分型线被分离成壳体分割块。壳体分割块能够与所需零件分离。

[0018] 另外,可选地,收缩平台、收缩支撑件和所需零件中的至少一者可以沉积有内部室之间的互连,并且流体脱粘剂经由互连结构渗入到内部室中,以便使基质从开放式单元结构内分离。替代地或者附加地,可以形成没有金属颗粒填料的可脱粘的基质的可溶解支撑结构,以在形成所需零件期间抵抗向下的力,并且在烧结保形半生部组件之前,基质被充分脱粘以溶解可溶解支撑结构。

[0019] 另外,可选地,表面积等于或大于收缩平台底部的滑动脱离层可以形成在收缩平台下方,以便减少收缩平台和构建板之间的横向阻力,并且收缩平台可以形成在可移动的构建板上方。利用包括陶瓷颗粒和可脱粘的基质的脱离复合物可以将滑动脱离层形成在收缩平台下方以及可移动的构建板上方,构建板、滑动脱离层和保形半生部组件能够在脱粘

期间并且在烧结期间整体保持为一个单元。

[0020] 另外,替代地或者附加地,利用包括陶瓷颗粒填料和可脱粘的基质的脱离复合物可以将零件脱离层形成在收缩支撑件和所需零件之间,并且零件脱离层和保形半生部组件可以在脱粘期间并且在烧结期间整体保持为一个整体。在烧结之后,零件脱离层、收缩平台和收缩支撑件可以与所需零件分离开。

附图说明

[0021] 图1是三维金属打印机的示意图。

[0022] 图2是三维打印机系统的框图和示意图。

[0023] 图3是描述图2的3D打印机的整体操作的流程图。

[0024] 图4是设置有烧结支撑件(例如,收缩支撑件)的3D打印系统、零件和处理的示意图。

[0025] 图5A-5D是穿过图4的视图的示意性截面图。

[0026] 图6是针对图4的可替代的3D打印系统、零件和处理的示意图。

[0027] 图7是对分离和/或脱离层、生坯支撑件和/或烧结或收缩支撑件进行打印、脱粘、烧结和支撑件移除的一个示例性处理的示意图。

[0028] 图8是针对图4的另外其他的3D打印系统、零件和处理的示意图。

[0029] 图9是针对图4的另外其他的3D打印系统、零件和处理的示意图。

[0030] 图10是图4的3D打印系统的烧结组件、零件和处理的俯视图,并示出了用于移除支撑壳体或者烧结或收缩支撑件的分型线。

[0031] 图11是针对图4的可替代的3D打印系统的烧结组件、零件和处理的俯视图,并示出了用于移除支撑壳体或者烧结或收缩支撑件的分型线。

[0032] 图12和13是图8和图9中示意性示出的零件的3D视图。

具体实施方式

[0033] 本专利申请通过整体引用并入如下公开内容:美国专利申请序列号61/804,235、61/815,531、61/831,600、61/847,113、61/878,029、61/880,129号、61/881,946、61/883,440、61/902,256、61/907,431以及62/080,890、14/222,318、14/297,437和14/333,881,它们在本文中可称为“Composite Filament Fabrication patent applications(复合材料丝制造专利申请)”或者“CFF专利申请”。尽管本公开讨论了各种金属或陶瓷3D打印系统,但CFF专利申请的至少机械和电学运动、控制和传感器系统能够如本文所讨论的那样使用。另外,通过引用将美国专利第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号和美国专利公开第20150273577号整体并入本文。

[0034] 在3D打印中,通常,零件的悬垂或突出部分可能需要位于下方的可移除的和/或可溶解的和/或分散式的支撑件,以提供用于沉积的面对表面。在金属打印中,部分地由于金属特别致密(例如,重),因此可移除的和/或可溶解的和/或分散式的支撑件也可以有助于防止在处理中期或者处理后期期间的变形、下垂,例如,以便在像高温等潜在变形环境中防止下弯或者下垂,从而保持形状。

[0035] 支撑结构可以辅助使用包括粘合剂和陶瓷或金属烧结材料的3D打印材料来打印

可烧结零件,从而能够抵抗例如挤压的向下压力,并且在空间中定位沉积珠 (deposited bead) 或者沉积物。介于支撑结构和该零件之间的脱离层包括较高熔化温度的材料 (例如,陶瓷或者高温金属),并选择性地用与模型材料类似的 (初级) 基质或粘合剂组分沉积。在脱离层下方,作为零件的模型材料用于支撑结构,以促进相同的压实/致密化。这往往意味着该零件和支撑件将均匀地收缩,以保持零件的尺寸精度。在支撑件的底部也可以打印有脱离层。另外,支撑结构可以是具有脱离层的打印段,使得最后烧结的支撑结构选择性地存在机械搅动或其它搅动的情况下容易地碎裂成易于移除的较小的分段。通过这种方式,大支撑结构能够通过实质上较小的孔从内部腔移除。附加地或者替代地,另一种支撑方法是打印可溶解支撑材料,可溶解支撑材料在脱粘处理中被去除。对于催化脱粘,可溶解支撑材料可以是Delrin (POM) 材料。促进均匀收缩的一种方法是将陶瓷脱离层打印为零件的最底层。在滑动脱离层的顶部 (类似于微观滚珠轴承) 能够打印将与零件一起均匀收缩的金属薄片 (例如,筏片 (raft)), 并且设置“收缩平台”以在收缩过程期间将零件和相关的支撑材料保持在相对位置处。可选地,U型钉 (staple) 或定位钉 (tack) (例如,附接点) 连接并且互连被打印的模型材料部分。

[0036] 图1-9的具有至少两个打印头18、10和/或打印技术的打印机用一个打印头来沉积用于打印零件和支撑结构的包括脱粘剂和 (热塑性的或者固化性的) 分散的球体或粉剂18的复合物,并且打印机用 (图4-9所示的) 第二打印头18a来沉积脱离材料或分离材料。可选地,第三打印头和/或第四打印头包括生坯 (green body) 支撑件头18b或者连续纤维沉积头10。纤维强化复合丝2 (在本文中也称为连续芯子强化丝) 可以基本上没有空隙并且包括涂覆、渗透或者浸渍内部连续单芯子或者多线式芯子的聚合物或者树脂。应当注意的是,尽管打印头18、18a、18b被示出为挤出打印头,但本文所使用的“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UV固化、热熔或烧结、或者“多喷流”、液体、胶体、悬浮液或者粉末喷流装置 (未示出),只要满足本文描述的其它功能要求 (例如,相对于重力或打印力的生坯材料支撑件打印、相对于重力烧结或收缩支撑件、零件,并且在烧结期间通过原子扩散来促进均匀收缩以及通过脱粘柄 (debinding stem) 使脱离或分离材料基本上保持形状,但是在烧结之后变得易于移除、分散、粉末化等) 即可。

[0037] 尽管图1-9总体上示出了用于在3个正交平移方向上相对地移动每个打印头的笛卡尔布置 (Cartesian arrangement),但在能够以至少3个自由度 (即,也在4个以上的自由度的情况下) 相对地移动打印头或者用于支撑3D打印零件的构建板的驱动系统或者驱动器或者机动驱动器的范围内也考虑其它布置,并且通过驱动系统或者驱动器或者机动驱动器清楚地说明其它布置。例如,对于三个自由度,三角平行机器人结构可以使用连接到基座上的万向接头的三个平行四边形臂,以便选择性地保持打印头的取向 (例如,打印头和构建板之间的三个机动自由度) 或者改变打印头的取向 (例如,打印头和构建板之间的四个以上的自由度)。作为另一示例,打印头能够构建在具有三个、四个、五个、六个或以上自由度的机械臂上;和/或构建平台能够三维地旋转、平移,或者能够被转动。

[0038] 在使用纤维强化复合丝时,通过被可选地加热到针对基质材料而选择的可控温度的导管喷嘴来供应、拖曳和/或牵拉纤维强化复合丝,以便保持预定的粘度、粘结队列 (bonded rank) 的粘合力、熔化性质和/或表面光洁度。在纤维强化丝的基质材料或聚合物基本上熔化之后,连续芯子强化丝被施加在构建压盘16上,以用于构建零件14的连续层,从

而形成三维结构。通过控制器20来控制构建压盘16和打印头18、18a、18b和/或10的相对位置和/或取向,从而将本文所述的每一种材料沉积在所需位置和方向上。驱动辊组42、40能够沿着间隙配合区域驱动连续的丝,以防止丝弯曲。在螺接或者缝合处理中,丝的熔化基质材料和轴向纤维束能够在轴向压缩时被压入到零件和/或下方的条带中。当构建压盘16和打印头彼此相对地平移时,丝的端部接触熨烫唇(ironing lip)并且随后在横向压力区域中被连续地熨烫,从而在零件14中形成粘结队列或复合条带。

[0039] 参照图1,打印头18、18a、18b、10中的每一者可以安装在相同的线性引导件或不同的线性引导件或者执行器上,使得打印机的X、Y机动机构一致地移动它们。如图所示,每个挤出打印头18、18a、18b可以包括具有熔化区域(melt zone)和熔化储室的挤压喷嘴、加热器、由热阻或间隔物(可选地,空气间隙)形成的高热梯度区,和/或Teflon或PTFE管。通过例如直接驱动或鲍登(Bowden)管驱动的1.75-1.8mm、3mm或者更大或更小的热塑性丝提供熔化储室内的挤出背压。

[0040] 图2示出了三维打印机的框图和控制系統,控制系統用于控制三维打印机中的机构、传感器和执行器,并且执行指令,以执行本文所示的控制配置(profile)以及本文所述的处理。打印机以示意形式呈现,以示出例如三个受控发动机116、118和120的可能构造。应当注意的是,该打印机可以包括打印头18、18a、18b和/或10的复合组件。

[0041] 如图2所示,三维打印机3001包括控制器20,控制器20可操作地连接到纤维头加热器715、纤维丝驱动器42以及多个执行器116、118、120,其中,控制器20执行使丝驱动器将纤维沉积和/或压缩成零件的指令。该指令被保存在闪存中并且在RAM(未示出;可以嵌入在控制器20中)中执行。如本文所讨论的,用于进行喷涂的执行器114也能够连接到控制器20。除了纤维驱动器42以外,各个丝进给装置1830(例如,每个打印头18、18a和/或18b具有一个丝进给装置)可以被控制器20控制,以供给挤出打印头1800。打印头板110选择性地安装在复合打印头上并且与其一起移动,并且经由带状电缆连接到主控制器20,打开(break out)某些输入和输出。熨烫尖端726的温度可以通过控制器20由热敏电阻或热电偶102来监控;并且通过各个热敏电阻和热电偶1832可以测量对任何相伴的挤出打印头1800的喷嘴1802进行保持的加热块的温度。用于加热熨烫尖端726的加热器715和用于加热相应挤压喷嘴1802的相应加热器1806通过控制器20来控制。均用于冷却的(多个)散热片风扇106和(多个)零件风扇108可以在打印头之间共用,或者被独立地设置,并且通过控制器20来控制。测距仪15也通过控制器20来监控。可以是伺服电机、螺线管或等同物的刀具8执行器也被可操作地连接。用于将一个或任何打印头从零件提起(例如,以便控制滴落、刮擦或摩擦)的升降机发动机也可以被控制。用于检测执行器116、118、120何时已经到达它们适当行程范围的端部的限位开关112也通过控制器20来监控。

[0042] 如图2所示,额外分接板(additional breakout board)122提供到控制器20的用户接口和连接,额外分接板122可以包括单独的微控制器。802.11Wi-Fi收发器将控制器连接到本地无线网络并且连接到整个因特网,并且发送和接收远程输入、指令和控制参数。触摸屏显示板128提供用户反馈并且接收来自用户的输入、指令和控制参数。闪存126和RAM130存储用于用户接口微控制器和控制器20的程序和活动指令。

[0043] 图3示出了描述图1-9中的打印机1000的打印操作的流程图。图3描述了作为配合功能的控制例程,如在CFF专利申请中那样,控制例程可以被执行为交替地并且组合式地使

用共同安装的(多个)FFF挤出头18、18a和/或18b和纤维强化丝打印头。

[0044] 在图3中,在开始打印时,控制器20在步骤S10中确定下一个被打印的部段是否是纤维部段,并且在要打印纤维丝部段的情况下使处理进入S12,并且在其它部段(例如,包括基底、填充物或者涂层)的情况下使处理进入步骤S14。在例程S12和S14中的每一者或任一者已经完成了一个部段之后,图3的例程在步骤16中检查切片完成度,并且如果部段保持在切片内,则在步骤S18中递增至下一个计划部段并且继续判定和打印纤维部段和/或非纤维部段。类似地,在步骤16处切片完成之后,如果在步骤S20处切片剩余,则在步骤S22处例程递增至下一计划切片并且继续判定和打印纤维部段和/或非纤维部段。本文所用的“部段(segment)”对应于“工具路径”和“轨迹”,并且表示具有起点和终点的线性的行、路径或者队列,它们可以是打开的或者闭合的、线、环、弯曲的或者直的等。部段在打印头开始材料的连续沉积时开始,并且在打印头停止沉积时终止。“切片(slice)”是待被3D打印机打印的单层或薄层,并且切片可以包括一个部段、多个部段、单元的网格填充、不同材料和/或纤维嵌入丝部段与纯聚合物部段的组合。“零件”包括用于构成该零件的多个切片。图3的控制例程允许用一个、两个或者多个(四个)不同的打印头进行双模式打印,打印头包括复合打印头18、18a、18b和/或10。

[0045] 如本文所讨论的,在打印处理期间前述的所有打印结构可以嵌入到打印物品中,打印结构明确地包括稀疏、致密、同心、准各向同性等的各种强化纤维架构以及填充材料或纯树脂结构。另外,在针对零件中的嵌入所讨论的所有情况下,能够在每种情况下用可溶性材料(例如,可溶性热塑性塑料或者盐)来代替利用热塑性挤压沉积而由填充材料头18、18a、18b打印的结构,从而形成可溶性预制件,可溶性预制件可以形成用于零件打印的打印基板并且然后被移除。本文所讨论的所有连续纤维结构,例如,夹层板、壳体、壁、围绕孔或者特征的加强件等可以是连续纤维强化零件的一部分。

[0046] 使用在本文中参照图1-9讨论的3D打印机,加强纤维可以是增材的[0034],其中,3D打印机可以沉积填充材料(具有包含金属、陶瓷和/或纤维的可脱粘的基质的复合物)、可溶性(例如,在一些情况下,“可溶性”还包括由于热、热解或催化过程而可去除的)材料,或者连续纤维。参照图1和图2,打印头18和10中的每一者能够安装在相同的线性引导件上,使得打印器1000的X、Y机动机构116、118一致地移动它们。例如,可以通过直接驱动或通过鲍登管驱动1.75-1.8mm、3mm或者更大或更小的金属丝10b,以提供熔化储室10a或坩埚中的挤出背压。

[0047] 适用于印刷的有商业价值的金属包括铝、钛和/或不锈钢以及高温和低温下均耐氧化的其它金属(例如,非晶态金属、玻璃态金属或金属玻璃)。

[0048] 后期处理的一种形式是烧结。通过本文所述的模制或3D打印,可以由合适的金属形成生坯,合适的金属包括一种或者多种粘合剂和(均匀的或者优选地分散的颗粒或球形尺寸的)粉末化或球型化的金属或陶瓷。通过(使用溶剂、催化、热解)去除一种或多种粘合剂,可以由生坯形成半生坯(brown body)。半生坯能够保持其形状并且由于剩余粘合剂的再次熔化而比生坯更好地抵抗冲击。当半生坯在高温和/或高压下被烧结时,剩余粘合剂可能会热解,并且半生坯在其烧结时均匀收缩。烧结可以在惰性气体、还原性气体、反应气体或真空中进行。热和压力(可选地)的施加通过至少扩散接合和/或原子扩散而消除金属或陶瓷珠之间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抵抗打

印本身的沉积力且/或抵抗重力来支撑被打印、后期处理或者烧结的零件,尤其是针对无支撑的直的或小角度的跨度件和悬臂。

[0049] 如所指出,通过支撑结构来辅助零件的打印,使得能够抵抗例如挤压的向下的压力,并且在空间中定位沉积珠或沉积物。如本文所述,脱离层包括较高熔化温度材料(例如,陶瓷),其选择性地用与模型材料类似的(初级)基质组分来沉积。在脱离层下方,相同的(金属)材料被用作零件,以促进相同的压实/致密化。这往往意味着零件和支撑件将均匀地收缩,从而保持零件的尺寸精度。在支撑件的底部也可以打印脱离层。另外,支撑结构可以是具有脱离层的被打印段,使得最后烧结的支撑结构选择性地存在机械搅动或其它搅动的情况下容易地碎裂成易于移除的较小的分段。通过这种方式,大支撑结构能够通过实质上较小的孔从内部腔移除。附加地或者替代地,另一种支撑方法是打印可溶解支撑材料,可溶解支撑材料在脱粘处理中被去除。对于催化脱粘,可溶性支撑材料可以是Delrin (POM) 材料。促进均匀收缩的一种方法是将陶瓷脱离层打印为零件的最底层。在滑动脱离层的顶部(类似于微观滚珠轴承)能够印刷与零件一起均匀收缩的金属膜片(例如,筏片)并且提供“收缩平台”以在收缩过程期间将零件和相关的支撑材料保持在相对位置处。可选地,U型钉或定位钉(例如,附接点)连接并且互连被打印的模型材料。

[0050] 图4到图7以示意形式示出了相关处理、结构、材料和系统的附加说明。如图4-7所示,适用于该处理的沉积阶段的3D打印机可以包括一个、两个、三个或多个用于沉积模型材料和支撑件的沉积头(以及例如连续复合物沉积头)。如图4所示,模型材料沉积头18沉积包括金属或陶瓷球形粉末以及可熔化粘合聚合物或者结合聚合物的基质、蜡和/或其它有效组分的复合材料。在模型材料沉积头18中,处理可以将小直径丝(例如,1-4mm)用作双材料供应和和用于挤压的背压。在这种情况下,模型材料挤压丝可以是刚性的,但在供应时是合理地柔韧的(例如,0.1-3.0GPa弯曲模量)并且在流体化时是合理地粘稠的(例如,熔化粘度或动态粘度为100-10000Pa.s,优选300-1000Pa.s),以便甚至在下方不存在生坯支撑件或烧结(即,收缩)支撑件的情况下,在印刷交叉间隙或跨度件时支撑桥接。

[0051] 在图4所示的3D打印机或示例性零件中,分离或脱离材料沉积头18-S和生坯支撑材料沉积头18G能够附加地被支撑为相对于待打印的零件P1在至少三个相对自由度上移动。如本文所讨论的,分离材料可以在一些情况下用作生坯支撑件,因此可替代地,如图7所示,仅一个头18SG可以沉积生坯支撑材料和分离材料。如图4所示,从底部到顶部(在这种情况下,3D打印从底部向上执行),在这些示例性处理中,打印的第一层是例如从分离材料沉积头18SG打印的筏片分离层或者滑动脱离层SL1。如所指出,分离材料可以是类似于模型材料的脱粘材料,然而,脱粘材料例如具有在模型材料的烧结温度下不烧结、熔化或者以其它方式粘合的陶瓷或其它球形粉末填充物(例如,颗粒)。因此,分离材料可以通过溶剂、催化、热解将其脱粘材料完全移除,留下可分散的和/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烧结状态)。在本文中,“分离”和“脱离”一般可以互换使用。

[0052] 图5A-图5D示出了穿过图4的选定截面图,以用于讨论打印和其它的处理步骤。应当注意的是,附图不一定按比例绘制。特别地,为了清楚说明的目的,可以以放大的比例示出非常小的间隙或者填充有材料的间隙(例如,分离层或脱离层)或者组件(例如,用于搭扣(snap)清除的突起)。此外,应当注意的是,在一些情况下,虽然为简化说明而示出固体,然

而,此处的固体的内部结构可以以填充图案(例如,蜂窝)被3D打印且/或包括如CFF专利申请所述的被切碎的、短的、长的或者连续的纤维增强材料(fiber reinforcement)。

[0053] 如图4和图5A所示,在脱粘之前的一些情况下,或者在(例如,可移动式的)构建板16经过脱粘处理后仍然衔接(在图7所示的示例中)的情况下,在可选地可移除的和可运输的可选地陶瓷的构建板16上打印筏片分离层SL1,以允许易于从构建板16中移除被打印在上方的筏片RA1。

[0054] 如图4和5B所示,在打印筏片分离层SL1之后,模型材料筏片或收缩平台RA1(例如,含金属复合物)被打印。例如,为了在零件及其支撑件之间提供连续模型材料基础或者材料互联,筏片或收缩平台RA1被打印,使得烧结期间的质量传递和收缩的处理围绕质量共同的形心或者质心均匀地进行。筏片RA1可以用作其它目的,例如,改善早期粘附,清除供应路径中不利于环境的(例如,湿的、氧化的)材料,或者调节打印喷嘴或其它路径元件(例如,辊子)等。如所指出,可以使用两个一般类型的支撑件:生坯支撑件(虽然生坯支撑件在打印处理期间支撑被打印零件,但在烧结之前或者烧结期间被移除)和烧结(例如,收缩)支撑件(烧结支撑件在烧结处理期间支撑被打印零件)。一些支撑件可以兼任这两种角色。如图4和5B所示,如果整个打印的上部受益于生坯支撑件,则生坯支撑件GS1的下层能够被打印在构建板16上或者(如图4和图5B所示)打印在分离层SL1和/或筏片或者收缩平台RA1上。

[0055] 如图4和图5C所示,接着,筏片RA1能够(连续地或者经由分型线PL和/或物理分离结构,例如,可以被弯曲而破碎的压紧的和/或束紧的和/或多孔的或者以其它方式弱化的横截面)继续进入周向的或者横向的壳体支撑结构SH1。另外,分离结构(在这种情况下,模型材料突起P1以及可选地介入分离层SL2)能够被打印在筏片RA1和壳体SH1之间,以允许在烧结之后移除筏片RA1和壳体SH1。生坯支撑件GS1的打印继续进行,在这种情况下,将打印支撑件设置到成角度(例如,与垂直方向成10-45度)的、稀疏的和/或分岔的被打印的烧结(例如,收缩)支撑件SS1,以便稍后提供用于悬垂或悬臂部分OH1的烧结支撑件,并且构建用于打印相同的悬垂或悬臂部分OH1的打印支撑件。“打印支撑件”可以指在打印期间的相对于打印背压或者重力的支撑件,而“烧结支撑件”可以指相对于重力的支撑件、相对于烧结期间的其它外部/内部压力的支撑件或者指提供有利于均匀分布质量传递和/或原子扩散的互连结构。尽管在图4中示出了悬垂或悬臂部分OH1,但即使在无支撑的跨度件在两个相对侧处连续至零件P1的情况下,跨度件也能够受益于所述的支撑件。

[0056] 如图4和图5D所示,周向壳体支撑结构SH1以层的形式继续打印,并且例如通过连接到壳体支撑结构SH1的模型材料的突起P1和/或分离层材料SL2材料而选择性地与零件14垂直地或对角地互相连接。分型线和分离结构类似地垂直地继续。零件P1中的内部体积V1(在这种情况下,圆柱形体积V1)打印有借助生坯支撑件GB2,如果模型材料在打印期间足够粘稠或者保持形状,则3D打印处理能够桥接间隙或者对角地堆叠,并且具有倾斜壁或拱形壁的内部体积可不需要烧结支撑件。可替代地,例如,内部体积V1打印有烧结支撑件或者生坯支撑件和烧结支撑件的组合(例如,像悬垂物OH1下方的支撑件那样)。内部体积V1打印有通向零件外侧的通道,以允许支撑材料被热传递或者用作溶剂或催化剂的流体或气体移除、清除或者更容易地接入。生坯支撑件GS1和分岔烧结支撑件SS1类似地继续,以稍后提供用于悬垂或悬臂部分OH1的烧结支撑件,以及构建用于相同悬垂或悬臂部分OH1的打印支撑的生坯支撑件GS1。

[0057] 如图4和5D所示,因为模型材料被打印成轻微偏移地(产生角度)堆叠的层,所以只要烧结支撑件在打印处理期间例如通过模型材料的固有刚度、粘度或者其它性质而自支撑,悬垂或悬臂部分0H1就可以通过烧结支撑件SS1或者替代地或附加地通过例如由生坯支撑件GS1提供的横向或垂直的支撑件成角度地支撑。烧结支撑件还必须是坚固的以与零件14保持一体或者必须通过烧结处理来支撑零件14。

[0058] 最后,如图4所示,零件14的剩余部分、支撑壳体结构SH1、烧结(例如,收缩)支撑件SS1和生坯支撑件GS1、GS2被打印完成。在打印时,零件14的基本所有的部分通过生坯支撑件GS1、GS2、烧结支撑件SS1、筏片RA1、分离层SL1和/或SL2而支撑在垂直方向上。能够自支撑的零件14的部分或者零件14内的结构(例如,因为模型材料复合物的材料特性或者提供支撑的外部主体和/或在移除支撑件、脱粘和/或烧结期间具有足够的刚度的那些部分)不需要相对于重力被支撑。另外,支撑结构SS1、筏片RA1和/或壳体结构SH1与模型材料互连到零件14上,使得在烧结期间趋向于围绕相同的形心或者质心收缩,或者相对于零件14的相邻部分至少保持相对局部比例。结果,在烧结处理的大约20%的均匀收缩期间,这些支撑结构与零件14一起收缩,并且继续提供相对于重力的支撑。

[0059] 图6示出了图4的3D打印机、打印方法、零件结构和材料的变型。在图6中,没有提供单独的生坯支撑件沉积头18c。结果,生坯支撑件和分离层由相同的材料(例如,用于分离层的复合物)形成,其中,陶瓷或高温金属颗粒或球体分散在例如二级可脱粘的基质中。在这种情况下,生坯支撑件不需要在脱粘期间或之前或者在分离处理中被移除,而是在脱粘期间进行简单的弱化,并且如分离层那样,在烧结期间使它们的剩余聚合物材料热解。剩余陶瓷粉末能够在烧结之后与分离层同时被清出且/或移除。

[0060] 图7示出了该处理的一个总体示意图。最初,在3D打印阶段,零件14与其生坯支撑件、烧结支撑件和分离层一同在所述3D打印机中被打印。仍然可选地与陶瓷或其它材料构建板16接合的包括所有这些部分的生坯被转移到脱粘室(可选地,脱粘室集成在3D打印机中,反之亦然)。如所指出,如果生坯支撑件由与第一级脱粘材料不同的聚合物或物质制成,则分离处理能够在脱粘之前移除生坯支撑件。如果生坯支撑件由与第一级脱粘材料相同或类似的物质或者由通过分解或分散而响应于脱粘处理的物质制成,则生坯支撑件可以在脱粘期间被移除。相应地,如图7所示,脱粘包括利用热处理、溶剂处理、催化处理或者它们的组合从模型材料中移除第一粘合剂组分,留下多孔的半生坯结构(“脱粘”),并且可以可选地包括通过溶解、熔化和/或催化移除生坯支撑件(“支撑件移除1”)。

[0061] 继续图7,如图所示,半生坯被转移到(可选地与打印机和/或脱粘室组合的)烧结室或者烧结炉。半生坯包括零件,可选地包括周向壳体结构,并且可选地包括烧结支撑件。如所指出,周向壳体结构和烧结(例如,收缩)支撑件是烧结支撑结构的不同方面。可选地,由例如分离材料形成的分离层介于壳体结构和/或烧结支撑件之间。可选地,介于壳体结构和/或烧结支撑件之间的是模型材料的突起或者隆起,从而将它们互连到零件。可选地,相同或类似的分离材料介于半生坯和构建板之间。在烧结期间,半生坯均匀地收缩大约20%,从而通过原子扩散来封闭半生坯内部的多孔结构。模型材料的第二级脱粘组分可以在烧结期间被热解(包括,例如,借助以气体或者其它可流动形式的催化反应剂或其它反应剂)。

[0062] 如图7所示,烧结体能够从烧结炉移除。支撑壳体结构和烧结支撑件能够沿着分型线和/或沿着分离层,或者通过咬合或弯曲突起连接、定位钉或者其它特别在机械上弱的结

构而被分离或者分解开。分离层被粉末化并且易于移除。如果生坯支撑件由分离材料形成,则生坯支撑件被类似地粉末化并且可以容易地移除。

[0063] 图8示出了图4所示的被打印零件的变型。图8所示的零件包括四个悬垂或悬臂部分0H2-0H5。悬垂部分0H2是悬臂式的、较薄的悬垂部分0H3下方的较低的、较厚的悬垂部分。在一些情况下,虽然在较低悬垂部分0H2可以被打印成不具有烧结支撑件或者甚至不包括作为自支撑悬臂的生坯支撑件时,但是其位于足够长的、薄的并且重的长悬臂悬垂部分0H3下方,而悬垂部分0H3可能需要生坯支撑件和烧结支撑件二者。悬垂部分0H4是向下倾斜的悬垂部分,其必须用生坯支撑件打印(这是因为否则它的最下部分在打印期间没有支撑,即,处于自由空间中),并且悬垂部分0H4的形式为在没有牵引(drafting)或分型线的情况下难以移除在下方打印的烧结支撑件(这是因为刚性的烧结支撑件将被锁定)。悬垂部分0H5是包括模型材料的重块的悬臂,其可能需要生坯支撑件和烧结支撑件二者。另外,图8所示的零件包括内部圆柱体积,必须通过小的通道从内部圆柱体积中移除任何所需的烧结支撑件。作为参考,在图12和13中示出了图8的零件14的3D形状。

[0064] 如图8所示,相比于图4和图6中的烧结支撑件SS1,用于支撑悬垂部分0H2和0H3的烧结(例如,收缩)支撑件SS2可以形成为包括薄壁的、垂直的构件。烧结支撑件SS2的垂直构件可以是独立的(例如,垂直杆或板)或互锁的(例如,折叠式或者网状结构)。如图8所示,烧结支撑件SS2(或者实际上图4和图6的烧结支撑件SS1,或者图8的烧结支撑件SS3、SS4和SS5)可以直接钉装(tack)(例如,在模型材料中连续打印,但具有相对小的横截面积)到筏片RA2、零件14a和/或互相钉装。相反,在不进行钉装的情况下,烧结支撑件SS2可以被打印在分离层的上方、下方或旁边。如图所示,烧结支撑件SS2可以从零件14a的正交的、凹形的表面移除。

[0065] 另外,如图8所示,类似的烧结(例如,收缩)支撑件SS3被打印在向下倾斜的悬垂部分0H4下方以及较重的悬垂部分0H5下方。为了使这些支撑件SS3可易于移除,一些或全部的支撑件用分型线PL打印,分型线例如由分离材料形成和/或由在机械上弱的分离结构(例如,以如本文所述的基本上或者几乎邻接的间隙打印,或者以束紧的、压紧的或者穿孔的横截面等打印)形成或者由它们的组合(或者,可选地,它们中的一者或两者与具有少许或者不具有陶瓷或者金属成分的生坯支撑材料的组合,但该组合应被单独地打印)形成。这些有利于移除烧结支撑件的材料或机械分离结构可以被类似地打印成图4-7、9中所示的各种烧结支撑件,并且遍及整个支撑件。

[0066] 另外,如图8所示,烧结(例如,收缩)支撑件SS5被打印在内部体积V2中。烧结支撑件SS5均设置有多个分型线,使得烧结支撑件在这种情况下能够破碎或者分解为足够小的、易于通过连接于内部体积V2的通道而被移除的碎片。如图所示,作为在打印以及烧结期间均具有足够刚度以保持其形状的小直径孔的示例,通道CH2本身未被打印成具有内部支撑件。当然,可以打印一种或者两种类型的支撑件,以确保形状保持。

[0067] 图9与图8基本类似,但示出了一些结构上的变型。例如,在悬垂部分0H3下方,整体的形状配合壳体SH3由模型材料打印,形状配合壳体SH3通过脱离或者分离层SL2和/或突起P1与零件14分离开。整体式壳体DH3整体上具有小的开放单元孔,以减小重量、节约材料并且改善用于脱粘的气体或液体的渗透或扩散。如果将足够的分型线或脱离层打印到壳体SH3中(例如,将布置类似结构以代替图中左侧的结构SH4和SH5),则这种壳体SH3可以围绕

零件14,并且如果充分地形成跟随件(following),则用作工件夹持件(workholding piece)。

[0068] 在图9的另一示例中,虽然整体(例如,横向)支撑(例如,收缩)壳体SH4与筏片RA2被一体地打印,但具有成角度的分型线PL,以用于牵引并且允许支撑壳体SH4的移除。在图9所示的其它示例中,支撑壳体SH4被向上成角度地打印(以节省材料)并且具有大的单元或蜂巢形的内部,以减小重量,节约材料,和/或改善用于脱粘的气体或液体的渗透或扩散。

[0069] 图9还示出了通过例如连续纤维头10沉积的连续纤维层的示例。夹层板强化层CSP1定位在例如悬垂部分OH2、OH3和OH5的上边界和下边界内的各个层处。

[0070] 如所指出,在一个示例中,生坯支撑件能够选择性地由导热材料、可溶解材料或者催化可去除的复合材料(例如,包括聚甲醛(POM:Polyoxymethylene)/缩醛(acetal)的催化剂)和高熔点金属(例如,钨)或者陶瓷球体的基质打印,并且在脱粘时留下粉末。在另一示例中,生坯支撑件由导热材料、可溶解材料、热解材料或者催化响应的材料(例如,聚合物或者聚合物混合物)打印,并且在生坯支撑件被移除时仅留下可移除的副产物(气体或者溶解的材料)。虽然生坯支撑件可以形成为在脱粘之前或者之后被机械地或者化学地或者热学地移除,但生坯支撑件也优选地由导热材料、可溶解材料、热解材料或者催化响应材料制成,并且能够在脱粘阶段期间被完全移除(或者,此后紧接着进行例如后续粉末清理,以移除剩余粉末)。在一些情况下,在脱粘之前或者之后,通过与脱粘不同的化学/热学处理来移除生坯支撑件。

[0071] 包括POM或缩醛的示例性可催化可去除的复合物是二级脱粘材料的一个示例。在一些情况下,在二级脱粘材料中,第一级的第一材料被去除,留下用于在脱粘期间使气体通过的互连的空隙。第一材料可以熔化(例如,蜡)、被催化去除(例如,在表面催化反应中直接转换成气体)或者溶解(在溶剂中)。虽然对第一材料处理没有响应的第二级粘合剂(例如,聚乙烯)保持网格状或多孔形式,但维持等待烧结的(例如,在金属或陶瓷球已经加热到足够的温度以开始烧结的原子扩散之前)3D打印物体形状。这得到了半生部分,半生部分包括或者附接于烧结支撑件。当零件在高热下被烧结时,第二级粘合剂能够被热解并且逐渐以气态形式去除。

[0072] 烧结支撑件可以形成为具有至少一些介入的脱离层材料的块或者部分,从而在去除期间被分开。虽然未钉装的烧结支撑件可以由模型材料(即,与零件相同的复合材料)形成,但通过脱离层与待打印的零件分离,脱离层例如是具有相同或相似的粘合材料的较高温度复合物。例如,对于大多数金属打印,脱离层可以由具有相同的粘合蜡的高温陶瓷复合物、聚合物或者其它材料形成。脱离层可以非常薄,例如,一个3D打印层。在金属被烧结时,因为温度不足以烧结或者扩散粘合(diffusion bond)陶瓷材料,所以第一级粘合剂已经被去除的脱离层基本上被粉末化。这使得未钉装烧结支撑件可以在烧结之后被容易地去除。

[0073] 类似地,虽然钉装烧结支撑件可以类似地由模型材料(即,与零件相同的复合材料)形成,但钉装烧结支撑件可以通过穿过脱离层或者在没有脱离层的情况下连接到零件。钉装烧结支撑件被打印成经由薄的连接结构与零件邻接(即,至少“钉装”到零件)。替代地或者附加地,钉装烧结支撑件可以被打印成与零件下方的筏片邻接,筏片与零件互联,并且支撑模型材料。筏片能够通过一层或多层脱离层材料与3D打印机的构建板分离。

[0074] 钉装和未钉装的烧结支撑件的作用是提供相对于重力的充分支撑点,以防止或者在某些情况下修复由于重力导致的桥接、跨度或者悬垂零件材料的下垂或弯曲。未钉装或者钉装的烧结支撑件都是有用的。在烧结处理中,半生坯能够通过原子扩散围绕零件的质心或形心均匀地扩散。在金属烧结和一些陶瓷中,通常这至少部分是固态原子扩散。然而,可能存在一些如下情况:许多互连的金属/陶瓷球之间的基于扩散的质量传递没有传递足够的例如用于保持连接大质量的非常薄的桥接部的材料,这不一定是支撑件的情况,支撑件可以作为单边桥连续地以仅在一端连接(或者作为两端桥连接至两端;或者在整个长度上互连)。

[0075] 在钉装烧结支撑件被钉装或连接到打印有零件的模型材料筏片的情况下,钉装烧结支撑件与筏片之间的模型材料的互连能够布置成使得筏片支撑件连续体的形心在空间中位于与零件的形心相同的点或者附近,从而使零件和筏片支撑件连续体均均匀地在烧结期间收缩并且不存在可使支撑件相对于零件过度移动的相对移动。在其它情况下,零件本身也能够被钉装到模型材料筏片,使得整个连续体围绕共同的形心收缩。在其它变型中,零件经由钉装烧结支撑件互连到筏片,钉装烧结支撑件被钉装在两端(例如,被钉装到筏片且被钉装到零件)处且/或沿着它们的长度钉装(例如,被钉装到零件和/或互相钉装)。

[0076] 在其它情况下,未钉装烧结支撑件可以被限制在由模型材料形成的体积内并且与筏片和/或零件邻接,使得它们可以围绕它们自身的形心(或者互连的形心)收缩,且不断地在空间中移动并通过周围的模型材料保持在用于支撑零件的位置上。例如,这在图8或图9的内部体积V2的情况下会是有效的。

[0077] 替代地或者附加地,例如,如在图4-9中的某些情况所示,支撑件或支撑结构或壳体可以由模型材料形成,并且按照零件的形状在横向方向上针对重力形成。模型材料壳体可以被打印成钉装到基底筏片(其可以钉装到零件)。模型材料壳体可以与基底筏片一体地打印,但也能够与基底筏片分离。基底筏片可以与模型材料壳体一起被分离。这些支撑结构可以偏离于零件的侧面外轮廓或者基本上吻合零件的侧面外轮廓,或者可以由原始但靠近零件的形状(直的或弯曲的壁)形成。在一个变型中,支撑结构可以包围零件的所有侧面(在许多情况下,包括允许壳体被去除的分型线和/或分离结构)。这些偏离支撑结构可以被打印成具有分离层或者分离材料层(可选地,陶瓷或者将转移机械支撑但不难分离的其它材料)

[0078] 本文讨论的支撑结构中的任一者(例如,钉装或未钉装的烧结支撑件,和/或支撑壳体)可以被打印成在(均由模型材料形成的)零件和支撑结构之间具有分离间隙或者间隔(例如,5-100微米)(这对于介入的分离材料来说替代的或者附加的)。通过这种方式,支撑结构的单个颗粒或球体可以在烧结期间间歇地接触该零件,但是因为大多数位置保留了分离间隙或间隔,支撑结构未被打印成对零件的压实且紧密的支撑件。当间歇接触颗粒发生粘合扩散时或者如果间歇接触颗粒发生粘合扩散,则在烧结之后去除分离间隙支撑结构所需要的分离力可以是“快速脱离的(snap-away)”或者“轻敲式的(tap-away)”,并且任何情况下远低于零件的整体性或连续性延伸。

[0079] 在替代方案中,零件与支撑结构之间的分离间隔或间隙可以按照轮廓布置在部分部段中,并且支撑结构的一些剩余部分更接近或者更远离地(或者两者兼具)吻合例如零件的侧面轮廓。例如,对于大部分的支撑结构而言,支撑结构可以被打印成具有小的分离间隔

(5-100微米),但也具有基本上部分地吻合更靠近零件(例如,1-20微米)被打印的轮廓的其它部分,从而提供烧结期间的改善的刚性和支撑(且通常在一组有限的接触区域内),进而允许去除。支撑结构也可以实现为具有大的和中等的间隔(例如,可选地介入有分离材料的用于较大间隙支撑结构的100-300微米的分离,以及更靠近地吻合支撑结构的5-100微米的分离)。另外,支撑结构可以实现为三个以上的层次(例如,按照零件的轮廓的支撑结构的不同部分中的100-300微米的间隔、5-100微米的间隔和1-20微米的间隔)。

[0080] 可选地,烧结支撑结构可以包括吻合壳体,该壳体具有通常以较大的(例如5-300微米的)间隔或间隙与例如横向零件轮廓偏离的内表面,且烧结支撑结构将具有延伸到间隔或间隙中并且通过较小间隔(例如,1-20微米)分离开的或者延伸穿过间隔或间隙的突起或凸脊,以便在由相同的(或类似的)模型材料形成的零件和支撑结构之间实现小的点接触。点接触比例如吻合轮廓壳体的压实的、紧密的接触更容易在烧结之后断开。

[0081] 可选地,纯基质支撑结构(例如,由一个或多个粘合剂组分形成的生坯支撑件)可以被打印在模型材料(例如,金属)零件和模型材料(例如,金属)支撑结构之间,从而在生坯与半生坯状态期间保持零件的形状和结构完整性,从而减少了处理中破裂或损坏的可能性。

[0082] 虽然一些附图以侧视图、截面图的形式示出,但图10以俯视图的形式示出了图4的烧结体结构,而图11示出了用于说明目的变型。如图所示,支撑壳体或其它结构可以被打印成在支撑结构的部分之间具有分离或分型线或者层。分离或分型线或者层可以是本文所述的任一分离结构,包括那些在零件和支撑结构之间的所述分离结构。例如,允许支撑壳体被分成两个或多个部分(可选地,许多部分)的分离线或层可以由分离材料(例如,陶瓷和粘合剂)、粘合剂材料、模型材料(例如,金属)形成并且具有(诸如1-20、5-100或者50-300微米的)分离间隔和/或允许快速脱离结构的突起或者凸脊。例如,支撑结构或壳体可以形成为被分成两半(例如,如图10所示),从而在支撑结构或壳体中形成分型线。可选地,分型线被打印成在与支撑壳体相交(例如,二等分)的平面内邻接,从而能够准备进行分离。多个分型线平面可以与支撑壳体结构相交。

[0083] 如上所述,在复杂几何结构的情况下,如图11所示,支撑结构可以被打印成具有分型线,从而被划分成较小的分段(例如,图11中的如橙子切片那样的PL-1,或者进一步在正交轴线上划分,使得它们能够被容易地去除)。例如,如果支撑结构被打印成填充在零件的燕尾(dovetail)中,则支撑结构能够形成为三部分,例如,能够被设计成三部分,使得中心部分或者具有牵引件(draft)或者是矩形的并且能够被容易地去除,从而脱离两侧部分以向内部滑动,并且然后被去除。相反,在除了横向方向之外的一些情况下,分型线可以被打印成互锁的(例如,图11中的PL-3)、圆齿状的或者形成为盒式接头(例如,类似于图11中的PL-3),从而抵抗分离。分型线能够被打印成几乎切穿支撑壳体(例如,图11中的PL-2)。注意,图11没有示出突起P1,即,仅示出垂直方向上的分离层SL2,并且分离层SL2很大程度上整体地围绕着支撑壳体SH。

[0084] 在一些情况下,特别是在少量分型线(例如,一半、三分之一、四分之一量)的情况下,至少由于支撑结构是形状吻合结构,所以支撑结构可以被保留,以稍后用作工件夹持夹具(例如,软爪),以在二次操作(例如,机械加工)中保持被烧结零件。例如,如果支撑结构支撑大致球型的零件,则稍后适用的支撑结构为工件夹持爪或者软爪,该结构应当从所有侧

保持零件,并且因此延伸经过球体的中心或中间点。虽然出于烧结以及相对于重力进行支撑的目的,支撑结构不需要延伸经过中间点(或者中间点稍微之前),但是出于用于检查的后续工件夹持以及后期处理的目的,支撑结构将继续经过中间点(例如,直到零件高度的2/3处,并且在某些情况下使零件悬垂),使得能够在例如虎钳中进行正向抓握。

[0085] 另外,用于将(多个)工件夹持夹具或(多个)软爪保持在虎钳(或者其它保持件)中的附接特征可以例如通过用于附接到虎钳的通孔或燕尾而被添加到出于后期处理的目的支撑结构。

[0086] 替代地或附加地,可以打印并烧结陶瓷支撑件,以用作许多3D打印零件的烧结步骤的可重复使用的支撑件。在这种情况下,可以将可重复使用的支撑件的朝上的表面打印成收缩到与被支撑零件的匹配表面或者面对表面相同的高度。

[0087] 如本文讨论的,用于形成零件和/或烧结支撑件的原料可以包括大约50-70%(优选大约60-65%)体积分数的二级基质材料(例如,直径10-50微米大小的(陶瓷的或金属的)基本上球形珠粒或粉末)、大约20-30%(优选大约25%)体积分数的可溶性或可催化粘合剂(优选地,在室温下为固体)、大约5-10%(优选大约7-9%)体积分数的可热解粘合剂或初级基质材料(优选地,在室温下为固体)以及大约0.1-15%(优选大约5-10%)体积分数的碳纤维束,每个纤维束均涂覆有在烧结温度以下不与碳反应的金属(例如,镍、硼化钛)。如本文所示,“初级基质”是聚合物粘合剂并且通过3D打印机来沉积,从而保持“二级基质”珠粒或球体和纤维填充物;并且在烧结之后,珠粒或球体的材料(陶瓷或金属)变为基质,以便保持纤维填充物。

[0088] 可替代地,用于形成零件和/或烧结支撑件的原料可以包括大约50-70%(优选大约60-65%)体积分数的二级基质材料(例如,直径为10-50微米大小的(陶瓷的或金属的)基本上球形珠粒或粉末)、大约20-30%(优选大约25%)体积分数的可溶性或可催化粘合剂(优选地,在室温下为固体)、约5-10%(优选约7-9%)体积分数的可热解粘合剂或二级基质材料(弹性模量大约为(陶瓷的或金属的)二级基质材料的1/10至1/200)、以及大约0.1-15%(优选大约5-10%)体积分数的弹性模量大约为二级(金属的或陶瓷的)基质材料的2-10倍的材料颗粒或纤维填充物。如本文所讨论,“初级基质”是聚合物粘合剂并且通过3D打印机来沉积,从而保持“二级基质”珠粒或球体和纤维填充物;并且在烧结之后,珠粒或球体的材料(陶瓷或金属)变为基质,以便保持纤维填充物。

[0089] 在下表中可以找到弹性模量的比较,其中,聚合物/粘合剂初级基质的弹性模量为1-5GPa。

二级基质	弹性模量 (10^9 N/m ² , GPa)	填充物	弹性模量 (10^9 N/m ² , GPa)
钢	180-200	碳纤维	200-600
铝	69	石墨纤维	200-600

[0090]

[0091]	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	金刚石	1220
			碳化钨	450-650
			石墨烯	1000
			碳纳米管	1000+

[0092] 球体、珠粒或粉末(例如,颗粒)的尺寸可以为范围。粘合剂可以包括分散剂、稳定剂、增塑剂和/或分子间润滑添加剂。可以通过3D打印机在粘合剂或聚合物初级基质内沉积的一些候选二级基质填充组合物包括:具有被涂覆碳化钨的石墨(碳)纤维的钴或青铜珠粒;具有石墨(碳)纤维的铝珠粒;具有氮化硼纤维的钢珠粒;具有碳化硼纤维的铝珠粒;具有被涂覆镍的碳纤维的铝珠粒;具有碳纤维的氧化铝珠粒;具有碳化硅纤维的钛珠粒;具有氧化铝颗粒(和碳纤维)的铜珠粒;具有金刚石颗粒的铜银合金珠粒。能够通过CFE专利申请的技术打印的那些纤维也可以作为连续纤维被嵌入。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、薄层碳(platelet)、石墨烯、碳洋葱(carbon onion)、星型碳(astralene)等。

[0093] 一些可溶性热解的粘合剂组合包括聚乙二醇(PEG:polyethylene glycol)和聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA:polymethyl methacrylate)(可选地,硬脂酸;可选地,乳液形式的PMMA);混合有滑石和/或聚乙烯(PE:polyethylene)的蜡(巴西棕榈蜡、蜜蜡、石蜡);PEG、聚乙烯醇缩丁醛(PVB:polyvinylbutyral)和硬脂酸。

[0094] 一些可热解的第二级粘合剂包括:聚烯烃树脂、聚丙烯(PP:polypropylene)、高密度聚乙烯(HDPE:high-density polyethylene);线性低密度聚乙烯(LLDPE:linear low-density polyethylene)和聚甲醛共聚物(POM:polyoxymethylene copolymer)。如上所述,在热脱粘中,含有粘合剂的零件在受控环境下以给定的速率被加热。粘合剂通过热裂解而分解成小分子,以便通过离开炉子的气体被清除。在溶剂脱粘中,使含有粘合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,使零件与含有气态催化剂的环境接触,气态催化剂会加速能够被移除的粘合剂的分裂。

[0095] 相应地,本发明描述了一种沉积材料的方法和一种用于增材制造的设备。该设备沿材料供给路径供给第一丝,第一丝包括粘合剂基质和具有第一烧结温度的可烧结的球形和/或粉末化的第一材料,并且该设备供给第二丝,第二丝包括粘合剂基质和具有高于第一烧结温度的第二烧结温度(可选地,例如,高于500摄氏度以上)的可烧结的球形和/或粉末化的第二材料。设备通过在构建板上沉积或预先沉积第一或第二材料来形成第二材料的

层,并且通过在预先沉积的第二材料上进行沉积来形成第一材料的层。设备(包括设备的增材台)使粘合剂基质的至少一部分从第一材料和第二材料的每一者中脱粘。然后,设备(包括设备的增材台)将由第一和第二材料如此形成的零件加热到第一烧结温度,从而烧结第一材料并分解第二材料。在使用包括粘合剂和陶瓷或金属烧结材料的3D打印模型材料打印可烧结零件时,脱离层介于支撑结构和零件之间,支撑结构和零件中的每一者由模型材料或复合物形成。脱离层包括球形或粉末化的较高熔化温度材料(例如,陶瓷或高温金属),可选地脱离层以与模型材料类似的(初级)基质或粘合剂组分来沉积。在烧结之后,脱离层可以变成松散的粉末,从而允许容易地去除支撑件。

[0096] 在本发明中,“3D打印机”包括分立式打印机和/或实施较大工序内的增材制造子工序的用于制造机械的工具头配件。3D打印机由运动控制器20控制,运动控制器20解释专用G代码并根据G代码驱动3D打印机的各种执行器。

[0097] “填充材料”包括可以以基本均质的形式沉积为挤出物的材料、流体或粉末材料,并且例如通过硬化、结晶或固化而固体化。“基本上均质的”包括粉末、流体、共混物、分散体、胶体、悬浮液和混合物。

[0098] “3D打印机”的含义包括分立式打印机和/或实施较大工序内的增材制造子工序的用于制造机械的工具头配件。3D打印机由运动控制器20控制,运动控制器20解释专用G代码(工具路径指令)并根据G代码驱动3D打印机的各种执行器。

[0099] “沉积头”可以包括喷射喷嘴、喷雾喷嘴、挤出喷嘴、导管喷嘴和/或混合喷嘴。

[0100] “丝”通常可以指(例如,卷绕的)构建材料的整个横截面积。

[0101] 相关申请交叉引用

[0102] 本申请根据美国法典35U.S.C.§119(e)主张享有序列号为62/429,711的于2016年12月2日提交的名称为“SUPPORTS FOR SINTERING ADDITIVELY MANUFACTURED PARTS(用于烧结增材制造的零件的支撑件)”、序列号为62/430,902的于2016年12月6日提交的名称为“WARM SPOOL FEEDING FOR SINTERING ADDITIVELY MANUFACTURED PARTS(用于烧结增材制造的零件的暖线轴进给)”、序列号为62/442,395的于2017年1月4日提交的名称为“INTEGRATED DEPOSITION AND DEBINDING OF ADDITIVE LAYERS OF SINTER-READY PARTS(烧结预备件的增材层的整体沉积和脱粘)”、序列号为62/480,331的于2017年3月31日提交的名称为“SINTERING ADDITIVELY MANUFACTURED PARTS IN A FLUIDIZED BED(在流化床中烧结增材制造的零件)”、序列号为62/489,410的于2017年4月24日提交的名称为“SINTERING ADDITIVELY MANUFACTURED PARTS IN MICROWAVE OVEN(在微波炉中烧结增材制造的零件)”、序列号为62/505,081的于2017年5月11日提交的名称为“RAPID DEBINDING VIA INTERNAL FLUID CHANNELS(通过内部流体通道进行的快速脱粘)”以及序列号为62/519,138的于2017年6月13日提交的题为“COMPENSATING FOR BINDER-INTERNAL STRESSES IN SINTERABLE 3D PRINTED PARTS(补偿可烧结3D打印件中的粘合剂内应力)”的美国临时申请的权益,这些美国临时申请的公开内容通过引用整体并入本文。

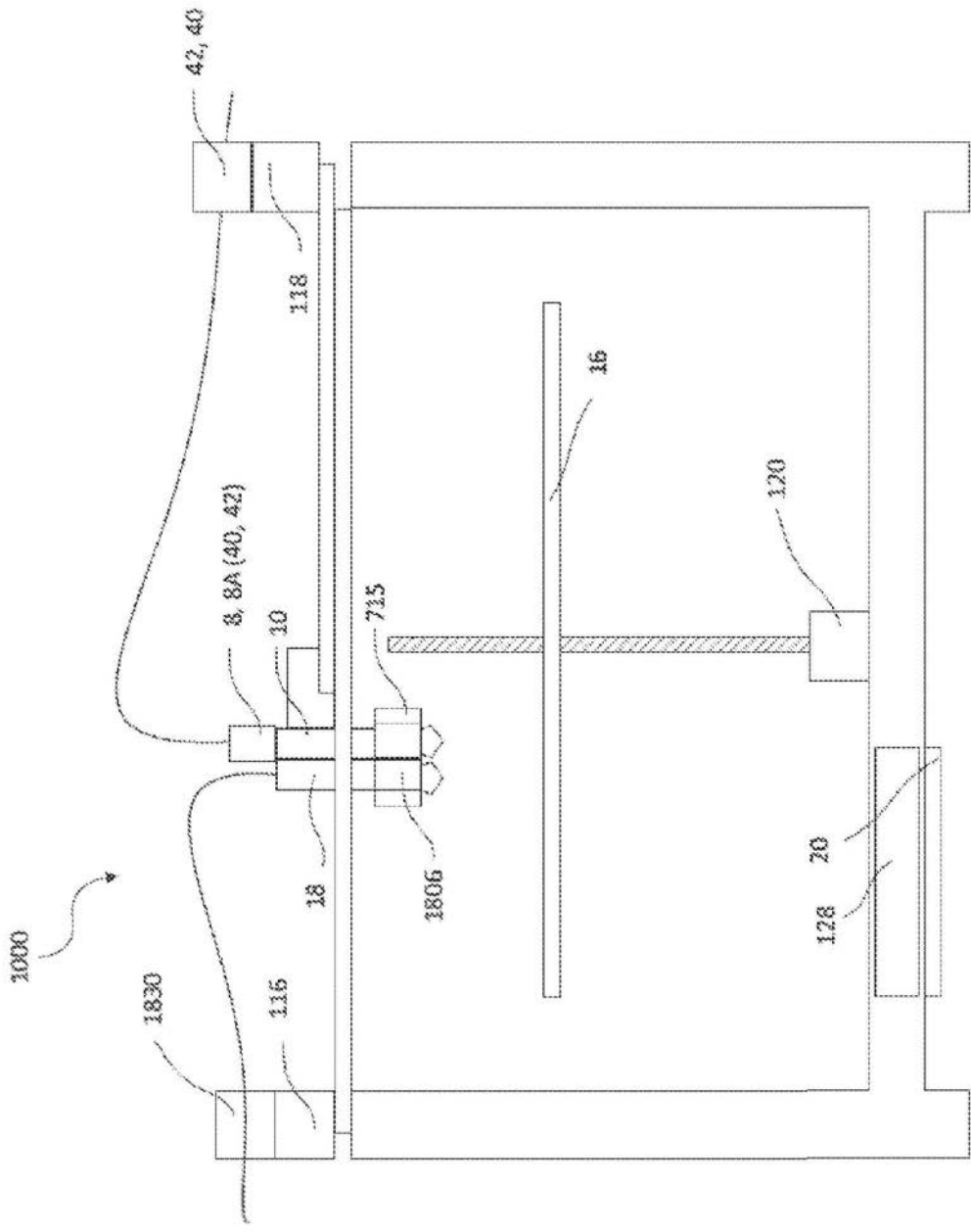


图1

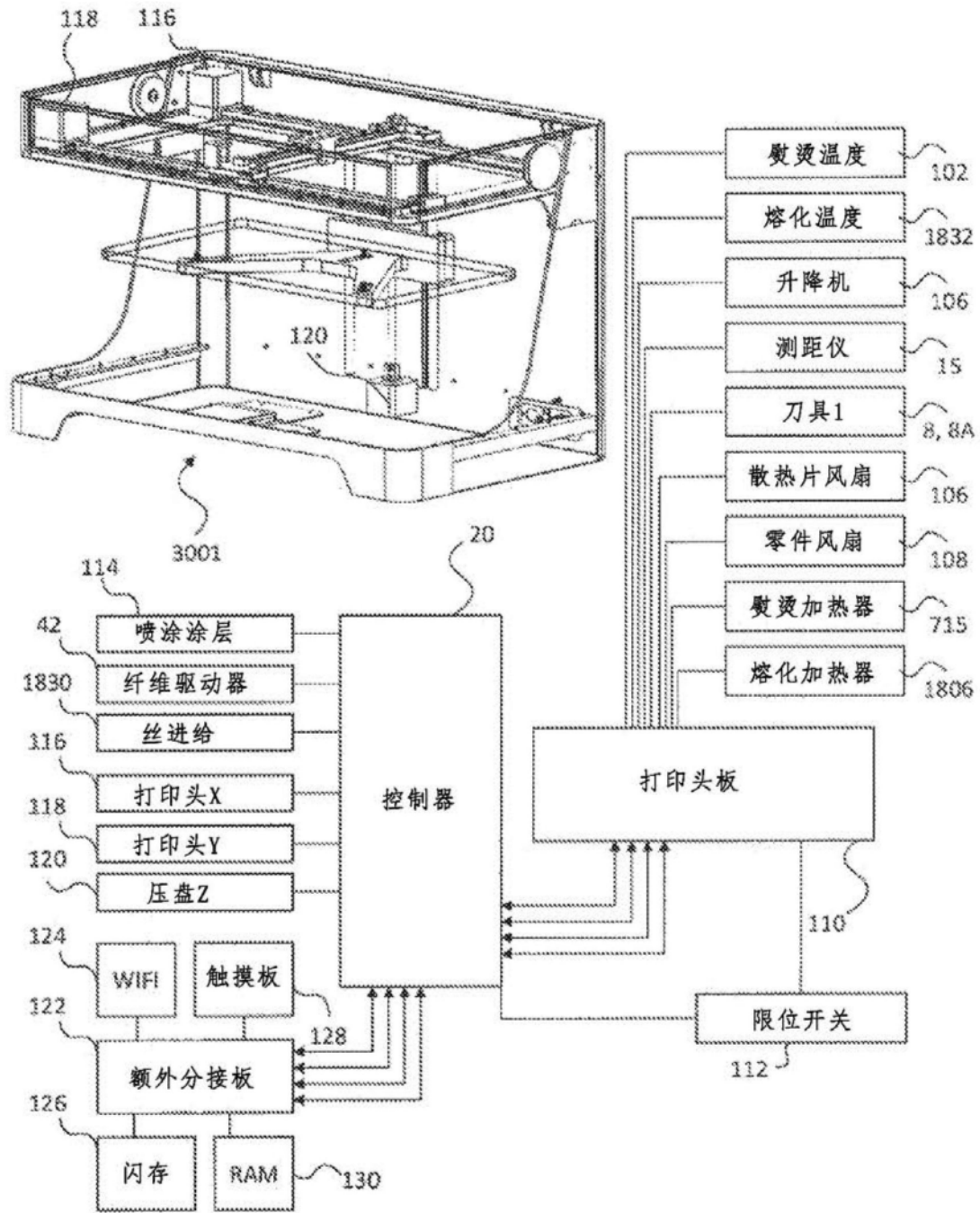


图2

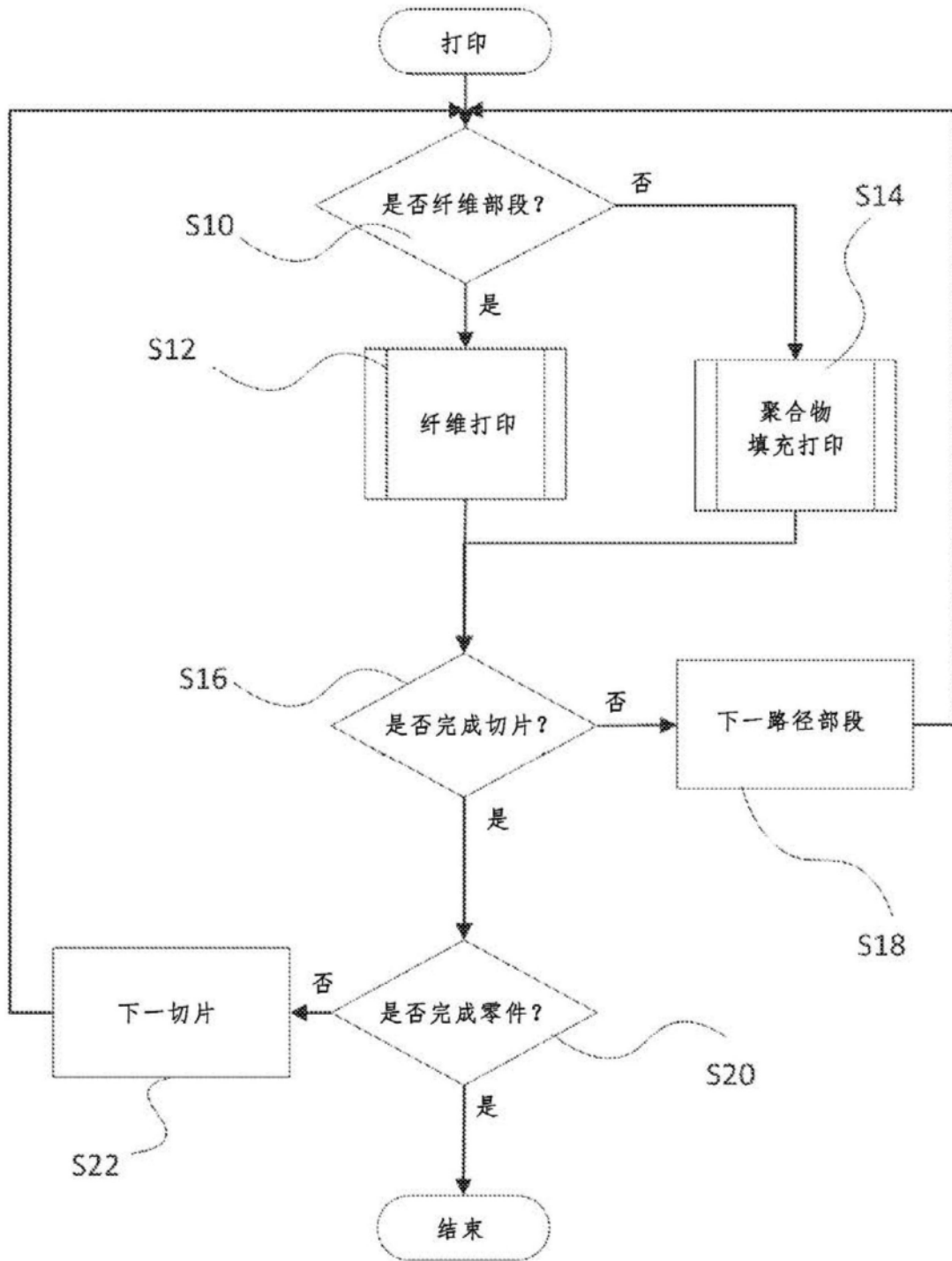


图3

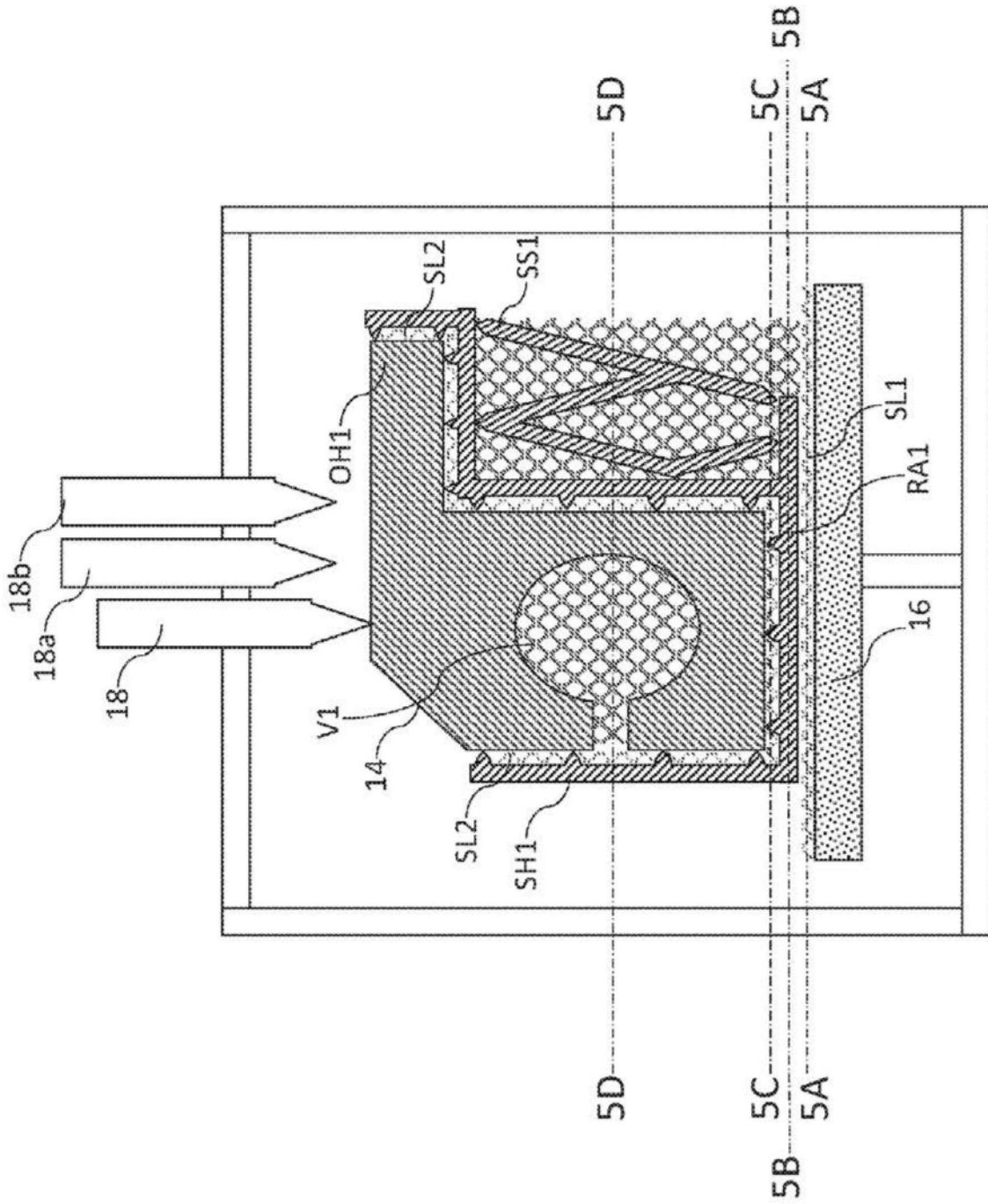


图4

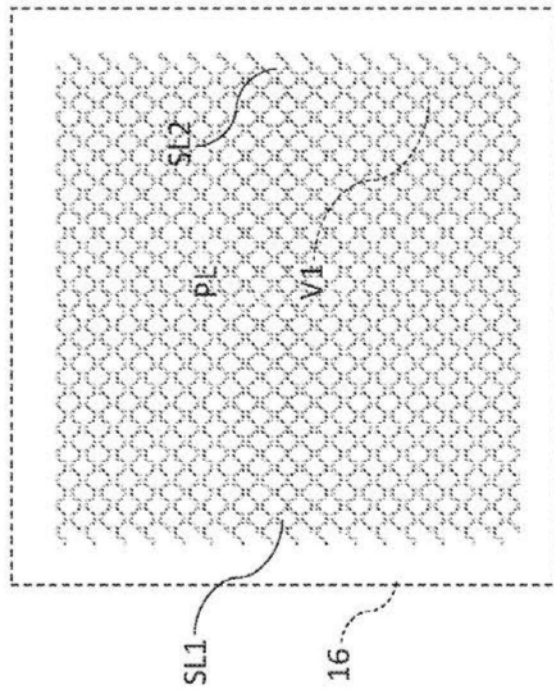


图5A

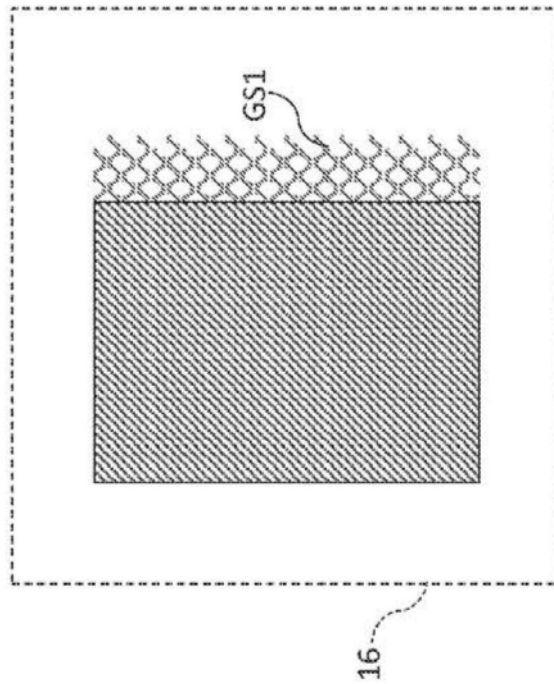


图5B

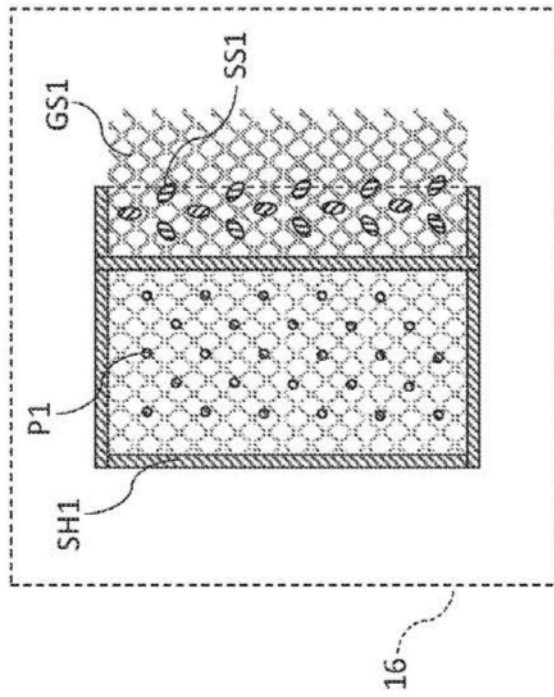


图5C

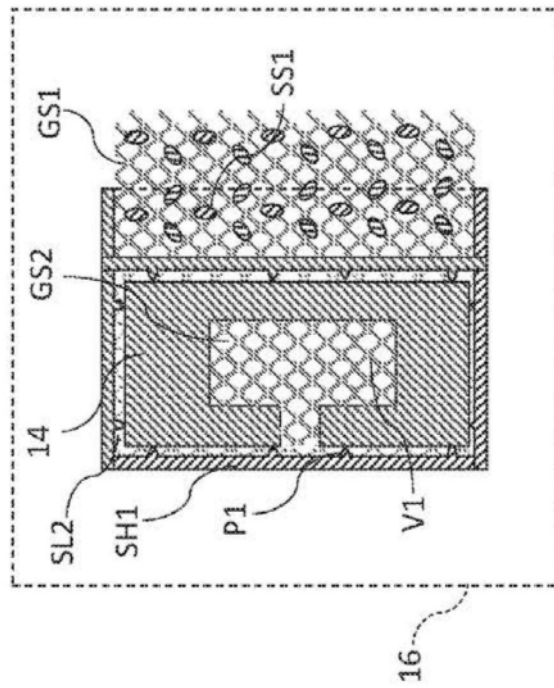


图5D

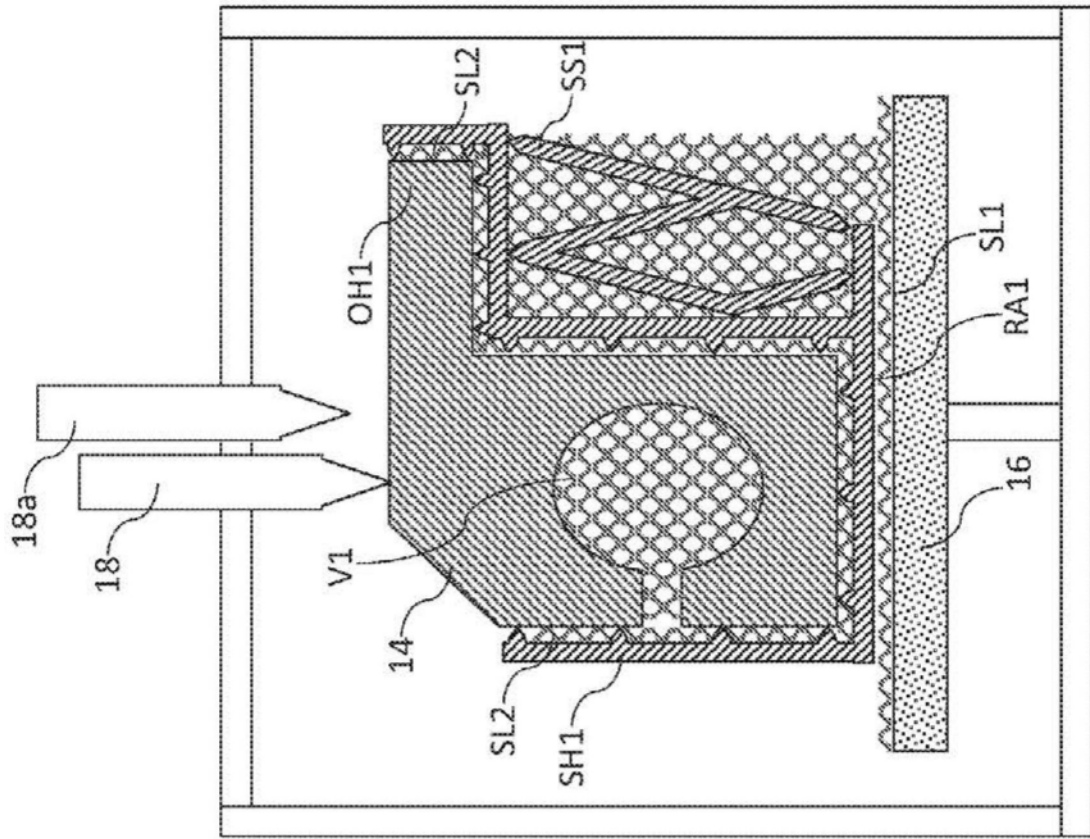


图6

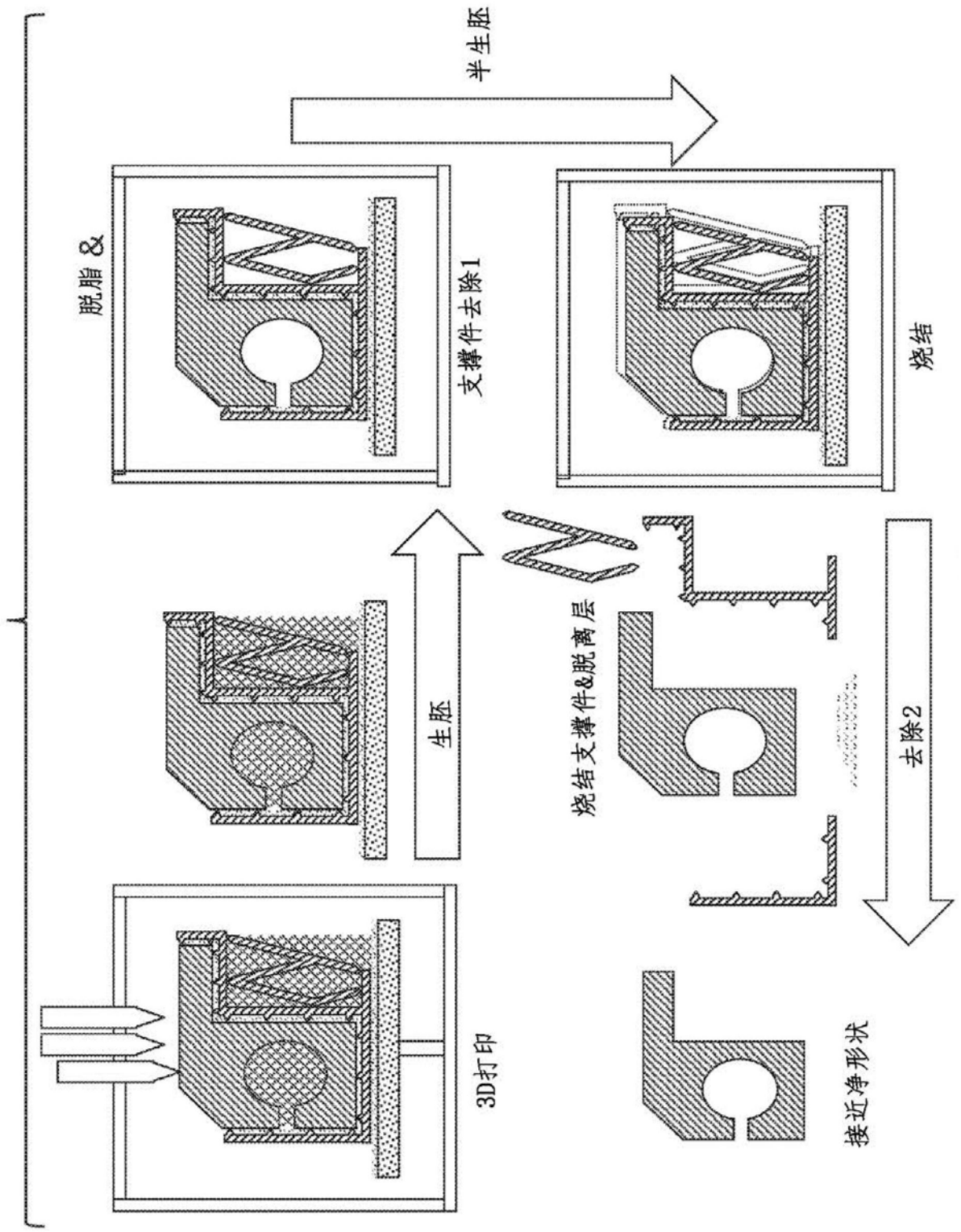


图7

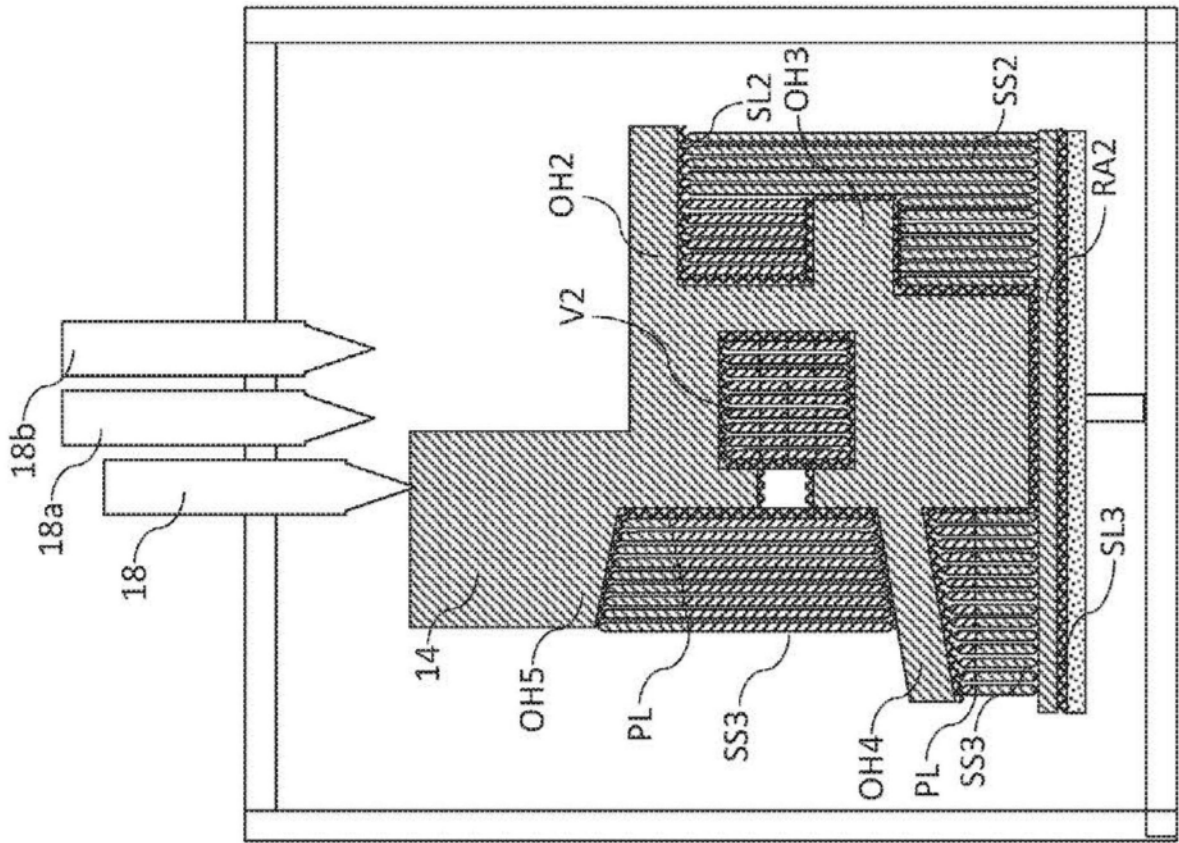


图8

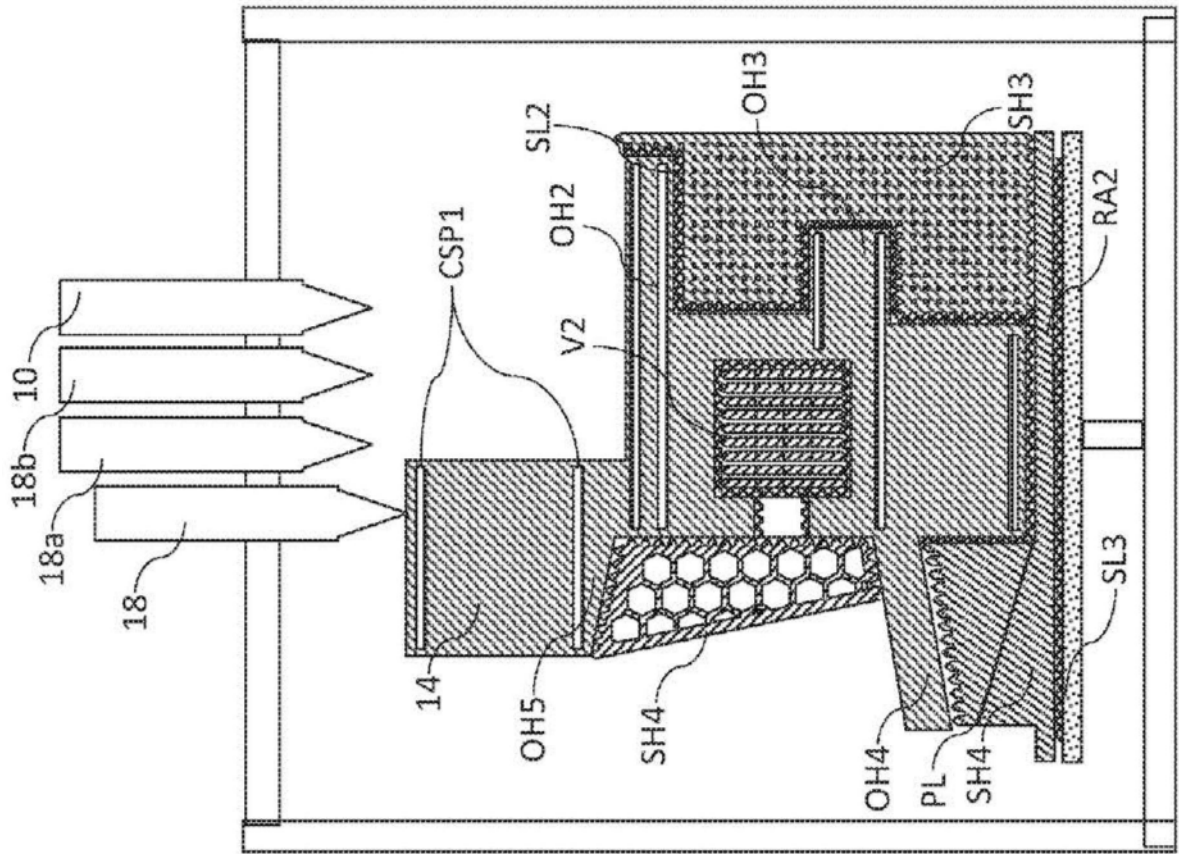


图9

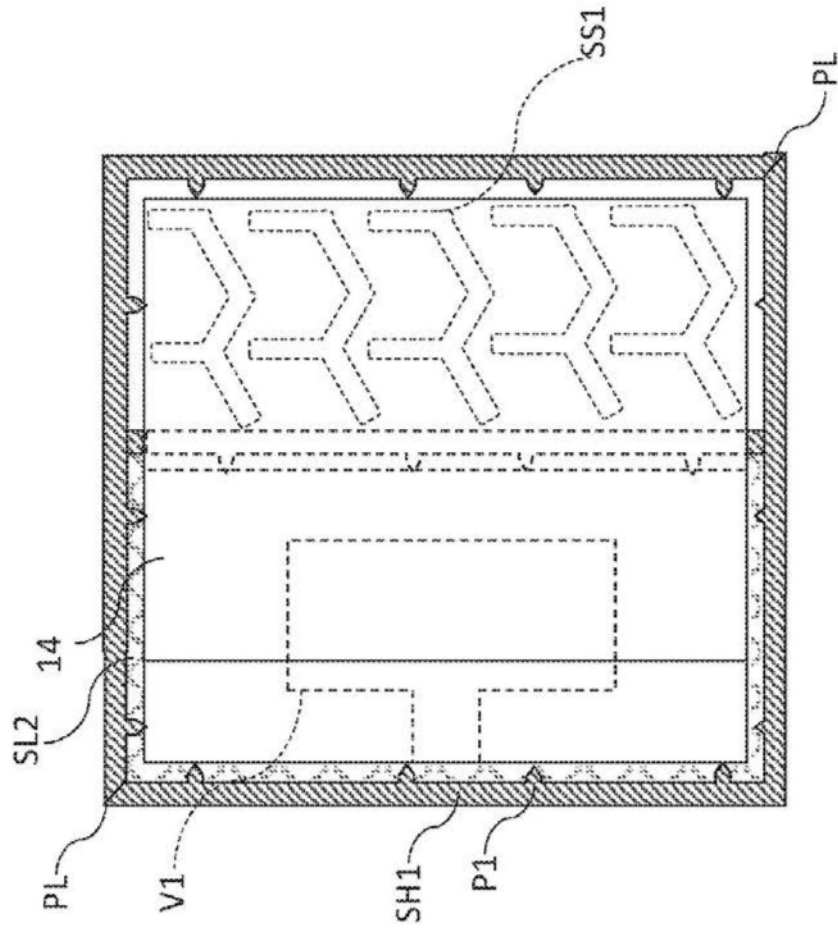


图10

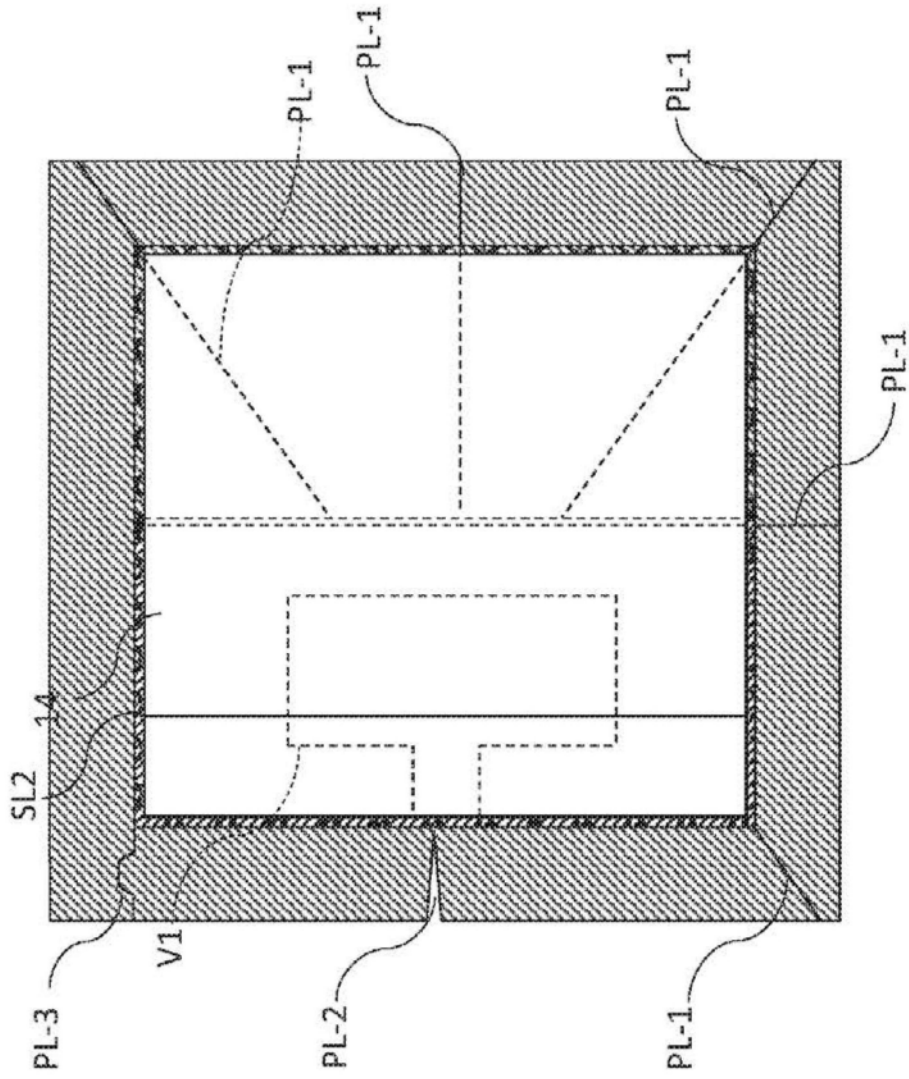


图11

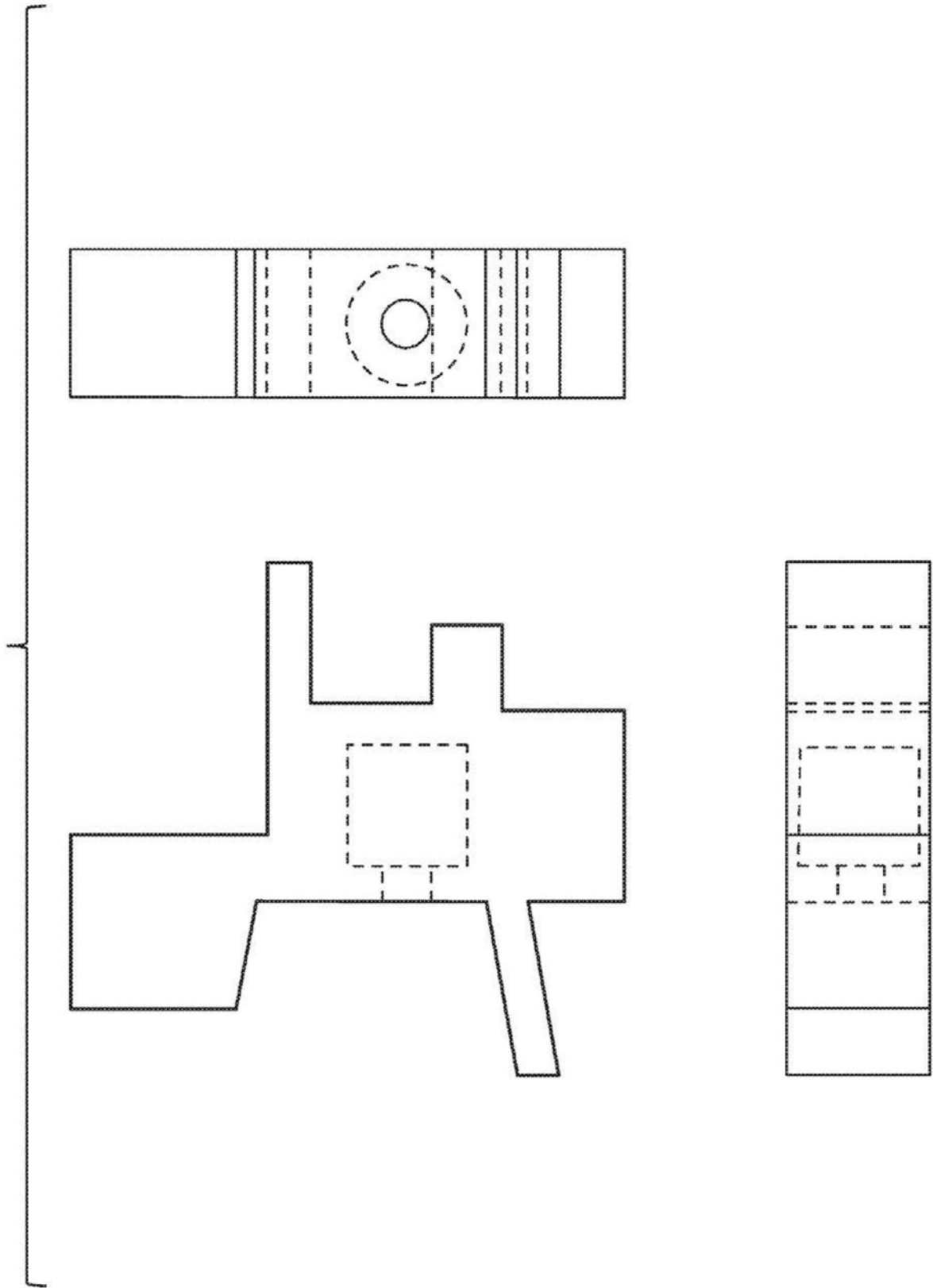


图12

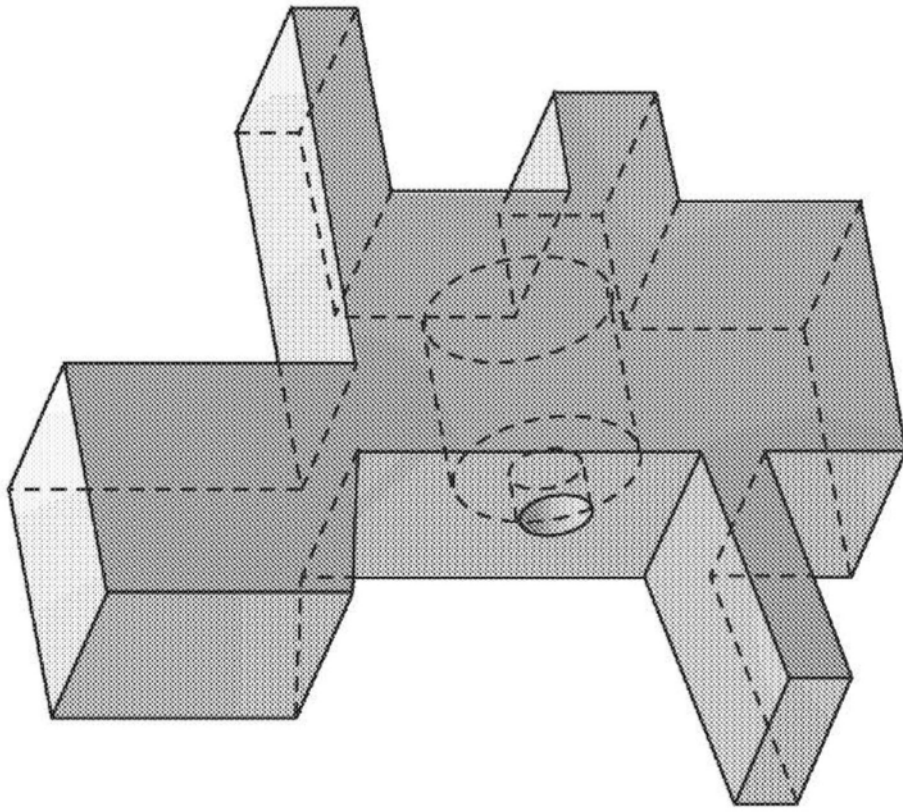


图13