



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105705319 B

(45)授权公告日 2018.06.12

(21)申请号 201480060654.1

(22)申请日 2014.09.19

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105705319 A

(43)申请公布日 2016.06.22

(30)优先权数据

- 61/880,129 2013.09.19 US
- 61/881,946 2013.09.24 US
- 61/883,440 2013.09.27 US
- 61/902,256 2013.11.10 US
- 61/907,431 2013.11.22 US
- 14/222,318 2014.03.21 US
- 14/297,437 2014.06.05 US
- 14/333,881 2014.07.17 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2016.05.05

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2014/056590 2014.09.19

(87)PCT国际申请的公布数据
W02015/042422 EN 2015.03.26

(73)专利权人 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
戴维·贝纳姆 亚伯拉罕·帕安吉
本杰明·斯克拉奥夫

(74)专利代理机构 北京信慧永光知识产权代理
有限责任公司 11290

代理人 陈桂香 曹正建

(51)Int.Cl.

- B29C 70/16(2006.01)
- B29C 64/106(2017.01)
- B29C 64/386(2017.01)
- B33Y 10/00(2015.01)
- B33Y 50/00(2015.01)

(56)对比文件

- US 6934600 B2,2005.08.23,
- CN 101689229 A,2010.03.31,
- US 5936861 A,1999.08.10,
- US 2013205920 A1,2013.08.15,

审查员 李基

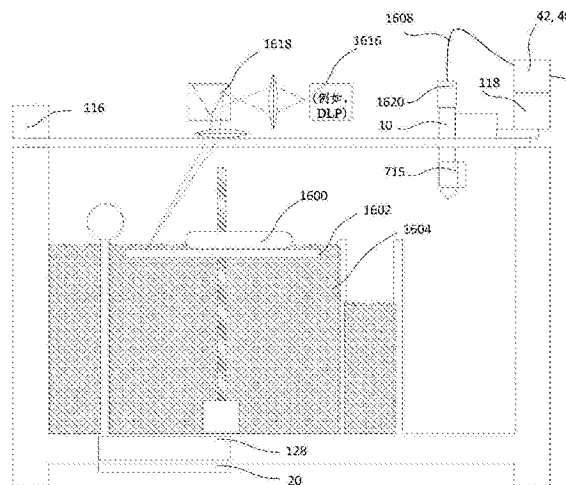
权利要求书3页 说明书23页 附图33页

(54)发明名称

纤维增强增材制造的方法

(57)摘要

接收三维几何结构,且将其切分为多层。产生用于控制三维打印机沉积基本上各向异性的填充材料的第一各向异性填充工具路径,该路径限定第一层的内部的至少一部分。用于控制三维打印机沉积基本上各向异性的填充材料的第二各向异性填充工具路径限定第二层的内部的至少一部分。产生的各向同性填充材料工具路径限定介于第一与第二层之间的第三层的内部的至少一部分和周界的至少一部分。



1. 一种三维打印机的三维工具路径指令的生成方法,所述方法包括:
接收三维几何结构;
将所述三维几何结构切分为多层;
产生用于控制三维打印机沉积基本上各向同性的填充材料的各向同性填充材料工具路径,其中,产生的各向同性的工具路径限定第一层的周界的至少一部分;
产生用于控制三维打印机沉积基本上各向异性的填充材料的各向异性填充工具路径,其中,相对于所述各向异性填充工具路径的轨迹对所述基本上各向异性的填充材料的各向异性特征进行导向,且其中,产生的各向异性的工具路径限定所述第一层的内部的至少一部分。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中,产生各向异性填充工具路径还包括:
产生用于控制三维打印机将基本上各向异性的填充材料沉积在相邻于所述第一层的内部内的负轮廓并增强所述负轮廓的位置处的所述各向异性填充工具路径。
3. 根据权利要求1所述的方法,其中,产生各向异性填充工具路径还包括:
产生用于限定所述第一层的内部的至少一部分的第一各向异性填充工具路径;以及
产生用于控制三维打印机沉积基本上各向异性的填充材料的第二各向异性填充工具路径,所述第二各向异性填充工具路径根据第一各向异性填充工具路径而被计算出,使得所述第二各向异性填充工具路径位于相邻于所述第一层的所述第一各向异性填充工具路径的位置处并且增强所述第一各向异性填充工具路径。
4. 根据权利要求3所述的方法,其中,所述第二各向异性填充工具路径位于所述第一层内。
5. 根据权利要求3所述的方法,其中,所述第二各向异性填充工具路径位于与所述第一层相邻的第二层内。
6. 根据权利要求5所述的方法,其中,产生的所述第一各向异性填充工具路径包括第一起点,且其中,产生的所述第二各向异性填充工具路径限定第二层的内部的至少一部分且包括从所述第一起点偏移的第二起点。
7. 根据权利要求5所述的方法,其中,产生的所述第一各向异性填充工具路径包括与所述第一各向异性填充工具路径的相邻部分交叉的第一交叉部,且其中,产生的所述第二各向异性填充工具路径限定第二层的内部的至少一部分且包括与所述第二各向异性填充工具路径的相邻部分交叉的第二交叉部,所述第二交叉部偏离所述第一交叉部。
8. 根据权利要求1所述的方法,其中,产生各向异性填充工具路径还包括:
产生用于限定所述第一层的内部的至少一部分的第一各向异性填充工具路径;以及
产生用于控制三维打印机沉积基本上各向异性的填充材料的第二各向异性填充工具路径,所述第二各向异性填充工具路径根据第一各向异性填充工具路径而被计算出,使得所述第一各向异性填充工具路径与所述第二各向异性填充工具路径在它们之间建立形心,其中,所述第二各向异性填充工具路径位于接近所述第一层的第二层中;
产生用于控制三维打印机沉积基本上各向同性的填充材料的各向同性填充工具路径,其中,产生的各向同性填充工具路径接近于所述形心且限定介于所述第一层与所述第二层之间的第三层的内部的至少一部分和周界的至少一部分。
9. 根据权利要求1所述的方法,其中,产生各向异性填充工具路径还包括:

产生跟随不规则的轨迹的所述各向异性填充工具路径,所述不规则轨迹含有偏离于复合子轮廓边界的偏移。

10. 根据权利要求9所述的方法,其中,产生各向异性填充工具路径还包括:

产生所述各向异性填充工具路径的相邻各所述偏移之间的交叉部,其中,所述交叉部布置在所述各向异性填充工具路径的弯曲部。

11. 一种三维打印机的三维工具路径指令的生成方法,所述方法包括:

接收三维几何结构;

将所述三维几何结构切分为多层;

产生用于控制三维打印机沉积基本上各向异性的填充材料的第一各向异性填充工具路径,其中,产生的所述第一各向异性填充工具路径限定第一层的内部的至少一部分;

产生用于控制三维打印机沉积基本上各向异性的填充材料的第二各向异性填充工具路径,其中,产生的所述第二各向异性填充工具路径限定第二层的内部的至少一部分,

产生用于控制三维打印机沉积基本上各向同性的填充材料的各向同性填充材料工具路径,其中,产生的各向同性工具路径限定介于所述第一层与所述第二层之间的第三层的内部的至少一部分和周界的至少一部分。

12. 根据权利要求11所述的方法,还包括:

根据所述第一各向异性填充工具路径产生所述第二各向异性填充工具路径,使得所述第一各向异性填充工具路径和所述第二各向异性填充工具路径在它们之间建立形心,其中,所述第二各向异性填充工具路径位于接近所述第一层的第二层中;

产生用于控制三维打印机沉积基本上各向同性的填充材料的所述各向同性填充材料工具路径,其中,产生的各向同性填充工具路径接近于所述形心。

13. 根据权利要求11所述的方法,其中,产生第一各向异性填充工具路径还包括:

产生用于控制三维打印机将基本上各向异性的填充材料沉积在相邻于所述第一层的内部内的负轮廓并增强所述负轮廓的位置处的所述第一各向异性填充工具路径。

14. 根据权利要求11所述的方法,其中,产生第一各向异性填充工具路径还包括:

产生用于控制三维打印机沉积基本上各向异性的填充材料的第三各向异性填充工具路径,所述第三各向异性填充工具路径根据所述第一各向异性填充工具路径而被计算出,使得所述第三各向异性填充工具路径位于相邻于所述第一层的所述第一各向异性填充工具路径并增强所述第一层的所述第一各向异性填充工具路径的位置处。

15. 根据权利要求14所述的方法,其中,所述第三各向异性填充工具路径位于所述第一层内。

16. 根据权利要求14所述的方法,其中,所述第三各向异性填充工具路径位于与所述第一层相邻的第二层内。

17. 根据权利要求11所述的方法,其中,产生的所述第一各向异性填充工具路径限定第一层的内部的至少一部分且包括第一起点,且其中,产生的所述第二各向异性填充工具路径限定第二层的内部的至少一部分且包括从所述第一起点偏移的第二起点。

18. 根据权利要求11所述的方法,其中,产生的所述第一各向异性填充工具路径限定第一层的内部的至少一部分且包括与所述第一各向异性填充工具路径的相邻部分交叉的第一交叉部,且其中,产生的所述第二各向异性填充工具路径限定第二层的内部的至少一部

分且包括与所述第二各向异性填充工具路径的相邻部分交叉的第二交叉部,所述第二交叉部偏离于所述第一交叉部。

19. 根据权利要求1所述的方法,其中,产生第一各向异性填充工具路径还包括:

产生跟随不规则轨迹的所述第一各向异性填充工具路径,所述不规则轨迹含有偏离于复合子轮廓边界的偏移。

20. 根据权利要求19所述的方法,其中,产生第一各向异性填充工具路径还包括:

产生所述第一各向异性填充工具路径的相邻各所述偏移之间的交叉部,其中,所述交叉部布置在所述第一各向异性填充工具路径的弯曲部。

纤维增强增材制造的方法

[0001] 相关申请的交叉参考

[0002] 本申请根据美国法典35U.S.C.§119(e)主张享有于2013年9月19日提交的序列号为61/880129、2013年9月24日提交的序列号为61/881946、2013年9月27日提交的序列号为61/883440、2013年11月10日提交的序列号为61/902256和2013年11月22日提交的序列号为61/907431的美国临时申请的权益；并且根据美国法典35U.S.C.§119(e)主张享有于2014年3月21日提交的序列号为14/222318的美国专利申请、2014年6月5日提交的序列号为14/297437的美国专利申请和2014年7月17日提交的序列号为14/333881的美国专利申请各者的权益，并且作为它们各自的部分继续申请案；上述这些申请的全部内容以引用的方式并入本文。将序列号为61/804235、61/815531、61/831600、61/847113和61/878029的美国临时申请的全部内容以引用的方式并入本文。

技术领域

[0003] 本发明各方面涉及三维打印。

背景技术

[0004] “三维打印”领域包括例如光固化立体成型(SLA)和熔丝制造(FFF)等各种方法。SLA生产通常不耐用或不耐紫外线的高精细度零件且用于概念验证工作；而FFF通过喷嘴挤出ABS或类似聚合物的连续丝珠。

[0005] 在“复合铺叠(Composite Lay-up)”领域中，将浸渍有树脂粘结剂的织物的预浸渍(“预浸”)复合片材分层至模具中、加热并固化。在“复合丝缠绕(Composite filament Winding)”中，绕着特制的芯棒缠绕含有数千个单碳束的粘性“丝束(tow)”，以形成旋转对称零件。

[0006] 还没有用于在增材制造(additive manufacturing)期间对纤维定向从而各向异性地改善成品零件的特性的商业性或实验性技术。

发明内容

[0007] 根据本发明的第一实施例和/或方面，一种三维打印机的三维工具路径指令的生成方法，所述方法包括：接收三维几何结构，且将所述三维几何结构切分为多层。用于控制三维打印机沉积材料的各向同性填充材料(例如，聚合物)轮廓工具路径限定第一层的周界的至少一部分。用于控制三维打印机沉积基本上各向异性的填充材料(例如，连续纤维增强聚合物)的各向异性填充工具路径限定所述第一层的内部的至少一部分。相对于所述各向异性填充工具路径的轨迹对基本上各向异性的所述填充材料的各向异性特征进行导向。

[0008] 可替代地或额外地，根据本发明的另一个实施例和/或方面，一种方法生成三维打印机的工具路径指令，该指令用于对第一层的内部的至少一部分进行限定的第一各向异性填充材料工具路径、对第二层的内部的至少一部分进行限定的第二各向异性填充材料工具路径以及对介于所述第一层与所述第二层之间的第三层的内部的至少一部分和周界的至

少一部分进行限定的各向同性填充材料工具路径。

[0009] 可替代地或额外地,根据本发明的另一个实施例和/或方面,用于控制三维打印机沉积基本上各向异性的填充材料的各向异性填充工具路径之一被沉积在相邻于所述第一层的内部内的负子轮廓且增强所述负子轮廓的位置处。

[0010] 可替代地或额外地,根据本发明的另一个实施例和/或方面,所述各向异性填充工具路径之一是根据另一各向异性填充工具路径而被计算出的,并且位于相邻于所述第一层的各向异性工具路径并增强所述第一层的各向异性工具路径的位置处。可选地,该计算出的第二各向异性填充工具路径位于所述第一层内。可替代地或额外地,该计算出的第二各向异性填充工具路径位于与所述第一层相邻的第二层内。

[0011] 可替代地或额外地,根据本发明的另一个实施例和/或方面,所述各向异性工具路径之一限定第一层的内部的至少一部分且包括第一起点,且另一各向异性工具路径限定第二层的内部的至少一部分且包括从所述第一起点偏移的第二起点。

[0012] 可替代地或额外地,根据本发明的另一个实施例和/或方面,所述各向异性工具路径之一限定第一层的内部的至少一部分且包括与第一各向异性工具路径的相邻部分交叉的第一交叉部,且其中,另一各向异性工具路径限定第二层的内部的至少一部分且包括与第二各向异性工具路径的相邻部分交叉的第二交叉部,所述第二交叉部偏离于所述第一交叉部。

[0013] 可替代地或额外地,根据本发明的另一个实施例和/或方面,产生用于控制三维打印机沉积基本上各向异性的填充材料的两个各向异性填充工具路径,其中的一个基于另一个但是处于远端的层中,且形心被建立在这两个各向异性填充工具路径之间。用于控制三维打印机沉积基本上各向同性的填充材料的各向同性填充材料工具路径限定第三层的内部的至少一部分和周界的至少一部分并且可选地接近所述形心,并且介于所述第一层与所述第二层之间。

[0014] 可替代地或额外地,根据本发明的另一个实施例和/或方面,各向异性填充工具路径之一跟随不规则轨迹,该轨迹含有偏离于复合子轮廓边界的偏移。可替代地或额外地,产生所述各向异性填充工具路径的相邻各所述偏差之间的交叉部,且所述交叉部布置在所述各向异性填充工具路径的弯曲部。

附图说明

[0015] 图1A至1C是使用连续芯增强丝以及挤出的树脂丝的三维打印系统的示意性图示,其中,图1A是连续芯增强丝-挤出打印机的示意图,图 1B是复合挤出纤维打印头组件的横截面图和示意图,图1C是纤维打印头组件的特写放大横截面;

[0016] 图2A至2C是使用连续芯增强丝以及光固化立体成型或选择性激光烧结的三维打印系统的示意性图示,其中,图2A和2B是连续芯增强丝-SLA/SLS打印机的示意图且图2C是定位工序的示意图;

[0017] 图3是能够使用图1C的复合挤出纤维打印头组件打印的三维打印机的框图和示意性图示;

[0018] 图4是说明了图3的3D打印机的整体操作的流程图。

[0019] 图5是三维打印机系统的框图和示意性图示,该系统包括CAD站、切片机和路径生

成器、区域和路径设计器以及三维打印机；

[0020] 图6是说明了三维打印机系统的元件之间的数据结构交换的调用图；

[0021] 图7是说明了图4的切片机和路径生成器的整体操作的流程图；

[0022] 图8是说明了图7的子轮廓或区域生成器的整体操作的流程图；

[0023] 图9是说明了图8的全局规则的处理的流程图；

[0024] 图10A示出了对于全局操作作用于图9的规则处理的示例性屏幕上零件渲染和逻辑结构；

[0025] 图10B示出了对于层操作的用于图9的规则处理的示例性屏幕上零件渲染和逻辑结构；

[0026] 图11A至11C示出了用于夹层板规则示例的由图10A的零件渲染和逻辑结构实施的模型、渲染、工具路径表示和数据结构；

[0027] 图12是说明了图8的路径规则的处理的流程图；

[0028] 图13示出了用于图12的规则处理的示例性屏幕上零件渲染和逻辑结构；

[0029] 图14A至14D示出了用于交叉运动示例的由图13的零件渲染和逻辑结构实施的模型、渲染、工具路径表示和数据结构；

[0030] 图15是说明了图8的区域规则的处理的流程图；

[0031] 图16示出了用于图15的规则处理的示例性屏幕上零件渲染和逻辑结构。

[0032] 图17A至17C示出了用于区域挤出示例的由图16的零件渲染和逻辑结构实施的模型、渲染、工具路径表示和数据结构；

[0033] 图18示出了在对比方向上的示例性复合铺叠；

[0034] 图19A至19C示出了在对比方向上的示例性六轴外壳堆叠；

[0035] 图19D至19G示出了用来增大有效惯性矩的根据本实施例的复合铺叠的示例性权重分布；

[0036] 图20示出了用于本实施例的规则和参数数据库结构；且

[0037] 图21示出了针对图8的工序的用于对优先化的或有序的规则和参数的操作之后的最终状态进行记录的示例性文件格式。

具体实施方式

[0038] 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。参照图1至图5，3D打印机由运动控制器20控制，运动控制器20解译专用G代码1102且根据G代码1102驱动3D打印机的各种执行器。

[0039] 如本文中所用，“挤出(extrusion)”应该具有它的常规含义，例如，这样的工序：通过模具挤压库存材料以使之呈现出比库存材料更小的横截面面积的特定形状。熔丝制造(FFF)是挤出处理。同样，“挤出喷嘴(extrusion nozzle)”应该具有它的常规含义，例如，这样的器件：该器件被设计为当液态流离开(或进入)密闭腔室时控制挤出液态流的方向或特征，特别是用来增大速度和/或限制横截面面积。本发明还会使用新创词“管道喷嘴(conduit nozzle)”或“喷嘴管(nozzlet)”来描述终端打印头，其中，不同于FFF喷嘴，不存在创建于打印材料中的额外速度或显著背压，并且含有基体(matrix)和嵌入纤维的打印材料的横截面面积在整个处理中基本维持相同(甚至如以粘结队列(bonded rank)的方式沉

积至零件的那样)。如本文中所示,“沉积头(deposition head)”应该包括挤出喷嘴、管道喷嘴和/或混合喷嘴。

[0040] 最后,在三维打印领域中,“丝(filament)”通常指的是卷绕的建造材料的整个横截面面积,而在复合材料领域中,“丝”指的是例如碳纤维的单个纤维(其中,例如,“1千丝束”将具有1000个单束)。为了本发明的目的,“丝”应该保留三维打印领域的含义,且“束(strand)”意味着一起形成整个复合“丝”的例如嵌入基体中的单个纤维。

[0041] 图1A至1C说明了三维打印机的实施例,各自具有至少两种打印方式-一种应用纤维增强复合丝,而另一种应用纯粹的或净基体树脂(热塑或固化)。纤维增强复合丝2a(在本文中也被称为连续芯增强丝)可以是基本密实无孔的,并且可以包括覆盖或浸渍内部连续单芯或多芯的聚合物或树脂。

[0042] 通过管道喷嘴10供给纤维增强复合丝2a,管道喷嘴10被(例如,带式加热器或盘式加热器)加热至为基体材料选择的受控温度以维持预定的粘度、粘结队列的粘附力和/或表面光洁度。在一些实施例中,通过管道喷嘴10拖曳或牵拉丝2a。

[0043] 在管道喷嘴10中被加热且使基体材料或聚合物6A基本熔化后,连续芯增强丝2a被涂覆至建造压盘16来建造连续层14以形成三维结构。控制器20控制(i)建造压盘16的位置和取向或(ii)管道喷嘴10的位置和取向中的一者或两者以使连续芯增强丝2a沉积在期望的地点和方向。位置和取向控制机构包括吊架系统、机器臂和/或H框架,这些中的任一者配备有受控制器20控制的位置和/或位移传感器,以对管道喷嘴10相对于建造压盘16和/或正被构建的零件的各层14的相对位置或速度进行监控。控制器20可以使用感测到的X、Y和/或Z位置和/或位移或速度矢量来控制管道喷嘴10或压盘16的后续运动。例如,三维打印机1000可以包括三个平移和/或三个旋转轴中任一者上的位移、速度或加速度换能器,所述换能器检测管道喷嘴10相对于建造压盘16的位置或运动。(例如,激光)测距传感器可以扫描管道喷嘴10前方的部位以便校正管道喷嘴10的Z高度或需要的填充体积以匹配期望的沉积外形。

[0044] 三维打印机1000可以包括受到控制器20控制的刀具8,该刀具8在沉积工序期间切割连续芯增强丝(例如,没有尾状物形成),从而(i)将单独的各特征件和组件形成在结构上以及(ii)控制多个截面和层中的沉积材料和/或粘结队列的方向性或各向异性。图1A也说明了至少一个第二打印头18,三维打印机1000选择性地使用第二打印头18来将例如包括100%树脂FFF挤出、抗紫外线或抗划伤涂层在内的保护涂层打印在零件上。这里可以发现配对或复合FFF打印头1800的说明,且该说明通常适用于保护涂层。

[0045] 如图1A至1C所示,在从动辊42和导辊40的上游,卷绕轴(未示出)在微拉力下供给未熔化的密实无孔的纤维增强复合丝。所述丝包括在丝的基体材料内延伸的至少一个轴向纤维束,且所述丝的基体材料内基本不具有空气间隙。在本示例中,纤维增强复合丝2a包括浸渍有成百上千个连续碳纤维束4A的尼龙基体6A。

[0046] 沿着防止丝发生屈曲的间隙配合区域,从动辊42和导辊40以一定的进给速率(选择性地受到控制器20的可变控制,选择性地小于打印速率且选择性地由单向轴承吸收进给速率与打印速率之差)来进给或推进未熔化丝。

[0047] 首先,在穿线阶段,以轴向压缩将丝2a的熔化的基体材料6A和轴向纤维束4A压入零件,且随着建造压盘和打印头相对于彼此平移,丝的端部接触熨烫唇726,随后在横向压

力区域3040内被不断熨烫以在零件 14中形成粘结队列。

[0048] 打印头或管道喷嘴708或建造压盘16中的任一者或两者可以被平移,例如,控制进给速率和/或打印速率以在穿线阶段维持丝的压缩且在打印操作中维持中性至正向拉力。丝2a的基体材料6A可以在非接触区域内被加热和熔化(特别地,以使较少机会粘附至管道喷嘴708的壁),但是在本实施例中通常在熨烫唇或尖端726处被熔化或液化。主要通过沿着丝延伸的纤维束内的轴向压缩力或拉伸力,可以监控或控制进给速率和打印速率以维持未支撑区域内的压缩、中性拉伸或正向拉伸。

[0049] 如图1B和1C所示,横向压力区域3040包括对丝2a进行重新塑形的熨烫唇726。熨烫唇726将丝2a压紧或按压进零件且也可以接收从受热壁714传导来的热量,以熔化或液化横向压力区域3040内的基体材料 6A。可选地,随着丝2a沉积于粘结队列,横向压力区3040内的熨烫唇 726将熨烫力施加于熔化的基体材料和轴向纤维束,以此使位于上侧的熔化丝2a平坦化。通过确保熨烫唇726的底部至下方层的顶部的高度小于丝的直径,可以促进上述平坦化。随着熔化的基体材料6A和轴向纤维束 4A被熨烫以横向和纵向地形成粘结队列时,从零件本身施加作为法向反作用力的另一个重新塑形力,该重新塑形力使至少两侧的粘结队列平坦化(即,熨烫也迫使粘结队列进入相邻的队列)。通过熨烫施加的压力和热量改善了进入邻近的队列的扩散和纤维渗透。

[0050] 未熔化的纤维增强丝在间隙配合区域或其邻近处被切割,但是可以在导管72(具有间隙配合)与管道喷嘴708之间的间隔62中被切割;在管道喷嘴708内(例如,非接触区3030的上游)被切割;或可替代地或额外地,芯增强丝可以被位于间隙配合区域3010、3020或熨烫唇726中任一者或其邻近处的刀具8切割。

[0051] 在通过熨烫唇或尖端726使基体材料6A熔化后,能够通过控制器 20控制进给和/或打印速率,以主要通过沿着丝2a延伸的纤维束4A内的拉伸力来维持熨烫唇726与零件14之间的特别是粘结队列端部的复合丝 2a的中性至正向拉伸;转向以在相反方向开始新的相邻队列;和/或例如通过从连接至零件的第一部的连接部跨过桥接开放空间对横向压力区域 3040内的纤维增强复合丝2a进行桥接来形成经过开放空间的桥接,然后将纤维增强复合丝2a再连接至零件14的第二部。纤维增强复合丝的基本恒定的横截面面积在间隙配合区域、未支撑区域、横向压力区域内得到维持,并且也被附接至工件或零件14作为粘结队列。

[0052] 图1B示出了复合(双)打印头的横截面,该复合(双)打印头具有用于FFF的挤出打印头1800和挤出喷嘴1802以及用于连续纤维增强热塑性沉积的纤维沉积打印头199和管道喷嘴708。相似编号的特征件类似于参照图1A和1B所述的特征件。

[0053] 参照图1B,打印头1800和199均安装在同一线性导轨以使打印机的X、Y机动化机构一致地移动它们。如所示,FFF打印头1800包括具有熔化区域或熔化储室1804的挤出喷嘴1802和用于对加热块和喷嘴进行加热的加热器1806。熔化储室1804延续至高热梯度区域1808,基本由安装在加热块外部的热敏电阻器1809形成。散热片围绕热敏电阻器 1809以进一步加强热梯度。热梯度使熔化储室1804与未熔化区域1810 分离,未熔化区域1810可以在热敏电阻器1809的内部且/或可以是特氟龙(Teflon)管1811。通过例如鲍登(Bowden)管驱动的1.75-1.8mm或 3mm热塑性丝提供熔化储室1804内的挤出背压。

[0054] 如所示,相伴的连续纤维嵌入丝打印头199包括管道喷嘴708、复合熨烫尖端726和

限定接触腔714,在本示例中,均位于被加热器715加热的加热块内。冷进给区域712形成在接收管64内,接收管64包括刚性材料的类毛细管式的接收管和延伸进喷嘴708的小直径(例如,32密耳的内直径)的特氟龙/PTFE管。在这种情况下,冷进给区域被PEEK绝缘块66a和散热片66b围绕,但是这些是完全可选的。在操作中,纤维嵌入丝的未附连末端可以在例如高度P1处被保持在冷进给区域内。距离 P1以及刀具至尖端距离R1保留在数据库中以使控制器20能够如这里所述地穿引和前推纤维嵌入丝。还如图所示,控制器20可操作地连接至刀具8、8A以及面对导辊40的进给辊42。

[0055] 图1C示出了管道喷嘴708的示意性放大特写横截面。如图1C基本成比例地绘出地,接收管64的内直径(在这种情况下,在特氟龙/PTFE 内管形成内直径的位置处)是接收管64内所示的丝2a的直径(例如, 13密耳)的约 $1^{1/2}$ 至 $2^{1/2}$ 倍(例如,32密耳)。终端腔714的内直径或内宽度(例如,40密耳)是这里所示的丝2a的直径的2至6倍。以上是优选范围,也可考虑,接收管的直径可以是丝的直径的 $1^{1/10}$ 至3倍且终端腔的内直径可以是丝的直径的2至12倍。优选地,终端腔的直径大于接收管的直径。

[0056] 此外,如图1C基本成比例地所示,被加热的复合丝熨烫尖端726 在零件上方的小于丝直径的高度处相对于零件运动,以随着纤维增强复合丝被沉积对其进行熨烫,从而将纤维增强复合丝内的非弹性轴向纤维束的大致上椭圆或圆形的捆(被标记为2a)重新塑形以形成零件的粘结队列内的非弹性纤维束的基本平坦的块体(被标记为2c)。轴向压缩和/或将熔化的基体丝2a横向压入粘结队列可以增强最终零件的特性。例如,图1C示出了被施加有压紧力、轴向压缩或横向压力62的复合纤维增强丝2a。轴向压缩的压紧压力和熨烫唇的平坦化作用将大体上圆形横截面的丝2a压缩或重新塑形至下方的先前层中并且压缩或整形成第二、大体上矩形横截面的压紧形状。随着被重新塑形时,整个丝形成粘结队列(即,粘结至下方层且粘结至同层的先前的队列)。丝两边伸展,且内部束侵入同层的相邻的粘结队列2c并被压缩成材料的底层成形丝或粘结队列。成形丝或粘结队列的这样的挤压、压紧或扩散减小了增强纤维之间的距离并且增大了生成零件的强度(且替代了在使用通过压盘或真空袋装的后处理的复合铺叠中实现的常规技术)。因此,在这里所述的本发明的一些实施例或方面中,丝2a的轴向压缩和/或尤其是由区域3040内的打印头 70、管道喷嘴或熨烫唇508、726、208进行的物理按压可以用来将压缩压力直接施加于沉积材料或粘结队列以迫使它们扩散或压紧或平坦化至旁边和/或下方的队列。横截面面积得到基本或相等地维持。可替代地或额外地,在本发明的一些实施例或方面的情况下,可以通过打印头后方的拖尾压盘来施加压力;通过一次将压紧压力施加于整个层的跨越整个零件的全宽压盘来施加压力;且/或可以在打印期间施加热量、压力或真空,在各层之后施加热量、压力或真空,或者将热量、压力或真空施加于作为整体的零件,以使层内的树脂回流且实现最终零件内的期望的压紧量(迫使壁在一起以及空隙减小及消除)。

[0057] 图2A至2C说明了应用纤维增强复合丝2a以及DLP-SLA、SLA或 SSS来建造结构的三维打印机3001的实施例。相似编号的特征件类似于参照图1A所述的特征件。

[0058] 尽管本发明的一个实施例或方面使用热塑性基体,但是混合系统也是可以的。增强丝可以使用通过例如利用热量、光、激光和/或辐射的固化周期完成的基体。例如,连续碳纤维被嵌入部分地固化的环氧树脂以使挤出的成分粘帖在一起,但是需要后固化以完全硬化。同样,虽然本发明的一个实施例或方面使用预先形成的连续芯增强丝,但是在一些实施

例中,可以通过在受热的挤出喷嘴中使树脂基体和固态连续芯结合来形成连续芯增强丝。与多束芯中的多个界面相比,由于树脂容易浸湿固态芯的连续周界,树脂基体和固态连续芯能够沿着界面结合而不形成空隙。因此,这样的实施例在期望改变沉积材料的特性的情况下可能是特别有用的。

[0059] 图2A和2B说明了使用光固化立体成型(和/或选择性激光烧结)来提供关于嵌入纤维的基体这样的混合系统,即通过在期望层构造内扫描聚焦辐射固化光束(激光、紫外线)来逐层地固化液态或粉末态的连续树脂这样的工序。为了提供增大的强度以及与既包括固态材料又包括多束材料的不同类型的连续芯丝相关联的功能,能够将与各层的沉积相关联的光固化立体成型处理修改成两步骤处理,这使得能够在期望的位置和方向构建含有连续芯丝的复合组件。连续芯或纤维可以沉积于待被打印的层内的期望位置和方向,要么完全要么部分浸入树脂内。在连续纤维沉积于期望的位置和方向后,相邻的树脂被固化以硬化在纤维周围。这可以在连续纤维被沉积时完成,或者可以在连续纤维已经沉积后完成。在一个实施例中,使用单根连续纤维打印整个层而不需要切割连续纤维。在其它实施例中,可以将增强纤维设置于被打印层的具有不同取向的不同部位。为了便于将连续纤维沉积于多个位置和方向,可以使用本文中所述的刀具或通过用来硬化树脂的激光来终止连续纤维。

[0060] 图2B图示了使用光固化立体成型或选择性层烧结在压盘1602上正在建造中的零件1600。零件1600浸入包含于托盘1606中的液态树脂(感光性树脂)材料1604内。在零件1600的形成期间,在每一层形成后使压盘1602移动一个层厚度以顺序地下降,从而保持零件1600被浸没。在各层的形成期间,通过管道喷嘴1610进给连续芯丝1608且使其沉积至零件1600上。控制管道喷嘴1610以将连续芯丝1608沉积于正被形成的层内的期望位置以及期望方向。连续芯丝1608的进给速率可以等于管道喷嘴1610的速率以避免干扰已经沉积的连续芯丝。当连续芯丝1608被沉积时,适当的电磁辐射(例如,激光1612)在管道喷嘴1610的行程路径后方的位置1614处使围绕连续芯丝1608的树脂固化。位置1614与管道喷嘴1610之间的距离可以被选择为使得连续芯丝能够完全浸没在固化前的液态树脂内。激光由源1616产生且由可控反射镜1618引导。三维打印机也包括如上所述的能够终止连续芯丝的刀具1620。

[0061] 可选地,通过一个或多个“定位钉(tack)”将沉积丝保持在适当位置,该定位钉是当额外的芯材料被沉积的同时将连续芯丝保持在适当位置的足量硬化树脂材料。如图2C所示,当连续芯丝通过喷嘴(未被绘出)被沉积时,激光1612将连续芯丝1608定位在多个离散点1622处的适当位置。在沉积连续芯丝1608的部分或全部后,沿着预定图案引导激光1612来固化液态树脂材料1604且来形成当前层。类似于上述的系统,适当的电磁辐射(例如,激光1612)由源1616产生且由可控反射镜1618引导。材料的平衡能够被固化以使相邻束之间的交联最大化,例如,当已经将足量的束沉积至某层且定位在适当位置时,可以将树脂固化成与连续芯丝的沉积束的方向垂直的珠子。在与沉积束垂直的方向上固化树脂可以提供相邻束之间的加强的粘结,从而提高在与连续芯丝的沉积束的方向垂直的方向上的零件强度。如果层的分离的各部分包括被定向于不同方向的连续芯丝的束,那么固化图案可以包括与该层的各部分内的连续纤维芯材料的束的方向垂直或平行的线。

[0062] 图3说明了三维打印机的框图和控制系統,該控制系統控制其中的机构、传感器和执行器且执行指令以进行所图示的控制配置文件和这里的各工序。以示意性的形式图示了

打印机以示出三个被控电机116、118 和120的可能构造。应注意,该打印机可以包括图1C所示的复合打印头组件199、1800。

[0063] 如图3所示,三维打印机3001包括控制器20(其可操作地连接至纤维头加热器715)、纤维丝驱动器42和多个执行器116、118、120,其中,控制器20执行使丝驱动器将复合丝2a的未附接的终端保持在纤维丝驱动器42与熨烫尖端726之间的冷进给区域712的指令。该指令保存于闪存中且在RAM(未示出;可以嵌入控制器20)中被执行。如本文中所述,用于涂覆喷涂涂层的执行器114也可以连接至控制器20。除了纤维驱动器42以外,控制器也控制丝进给器1830来供给挤出打印头1800。打印头板110可选地安装在复合打印头199、1800上并随着复合打印头运动且经由带状电缆连接至主控制器20,该打印头板110分接一定的输入和输出。控制器20通过热敏电阻器或热电偶102可以监控熨烫尖端726的温度;且可以通过热敏电阻器或热电偶1832来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。控制器20控制用于加热熨烫尖端726的加热器715和用于加热挤出喷嘴1802的加热器1806。可以在打印头199与1800之间共用均用于冷却的散热片风扇106和零件风扇108且它们都被控制器20控制。控制器20还监控测距仪15。还可操作地连接有刀具8致动器,其可以是伺服电机、螺线管或等同物。还可以控制用于将一个或两个打印头199、1800提起远离零件(例如,来控制滴落)的升降电机。控制器20还监控用于检测执行器116、118、120何时到达它们适当行程范围的端部的限位开关112。

[0064] 如图3所示,额外分接板122(其可以包括单独的微控制器)将用户界面和用户连接提供给控制器20。802.11Wi-Fi收发器将控制器连接至局域网和广泛的因特网,并且发送和接收远程的输入、命令及控制参数。触摸屏显示面板128提供用户反馈且接收用户的输入、命令及控制参数。闪存126和RAM 130存储用于用户界面微控制器和控制器20的程序和有效指令。

[0065] 图4图示了示出了图1至图3的打印机1000的打印操作的流程图。图4示出了作为配合功能的控制例程,其可以被实施以交替地和结合地使用图1C的共同安装的FFF挤出头1800和纤维增强丝打印头199。

[0066] 在图4中,开始打印时,控制器20在步骤S10中判断待被打印的下一段是否是纤维段,并且在是待被打印的纤维丝段的情况下使处理进入 S12,并且在是包括例如基底、填充或涂层的其它段的情况下使处理进入步骤S14。参照图2和图12详细地说明步骤S12。在例程S12和S14中的一者或两者已经完成了段后,图4的例程在步骤S16检查切片完成度,如果各段保留在切片内,那么在步骤S18递增至下一规划段且继续纤维段和/或非纤维段的判定和打印。类似地,在步骤S16处切片完成后,如果在步骤S20处切片剩余,那么在步骤S22处例程递增至下一规划切片且继续纤维段和/或非纤维段的判定和打印。这里使用的“段(segment)”对应于“工具路径”和“轨迹”,且意思是具有起点和终点的线性的行、路径或队列,并且其可以是打开的或闭合的、可以是线、环,可以是弯曲的或直线的等。当打印头开始材料的连续沉积时,上述段开始,且当打印头停止沉积时,上述段终止。“切片(slice)”是待被3D打印机打印的单层或薄层,且切片可以包括一个段、许多段、单元的栅格填充、不同材料和/或纤维嵌入丝段与纯聚合物段的组合。“零件”包括用于构建零件的多个切片。图12的控制例程允许使用两个不同的打印头的双模式打印,这两个不同的打印头包括图1C的复合打印头199、1800且使用图 5的两个时序方式。

[0067] 图5图示了三维打印机系统的框图,该系统包括协作以对图1至图3 的以及本文所述的打印机进行控制的系统内的器件以及相关的数据库、数据结构、控制信息和文件格式。图6图示了将数据类型和操作在器件之间进行关联和通信的调用图。

[0068] 如图5和图6所示,为了使用3D打印机1000构建零件,处理通常开始于与由数据结构表示的与感兴趣的零件(“PRT”)相对应的实体模型(“文件”802,其具有绘图集(drawing container) DWG, DWG具有包括各种零件“PRT”的程序集“ASSY”),但是也可以开始于期望的零件的多边形网格(图5中的STL 902)。如图5和图6所示,实体模型可以由非均匀有理b样条NURBS数据表示,该数据可以由工作站、服务器或虚拟/云服务器2000上的CAD程序来存储和处理并且通过文件或数据结构与同一或不同工作站、服务器或虚拟/云服务器2000上的网格划分程序(meshing program)通信。最适合于增材制造的分层的数据结构中的一种是被存储为几何文件(例如,STL、OBJ、PLY、AMF或WRL 文件)的具有边、面和顶点的单元或多边形的表面网格。如本文中所示,“几何文件”和/或“STL”902通用地和可互换地用来表示(包含文件组的)数据结构,其既包括表面网格又包括使用表面网格划分以外的技术(例如,“NURBS”定义)的CAD实体模型表示。

[0069] 在3D打印的准备中,一族切片例程2004(如图5和图6所示,常驻于工作站、服务器或虚拟/云服务器)在与期望的建造压盘平行的方向上对几何文件进行“切片”以创建一系列的层或薄层(“空台板”906)一接收几何文件。几何文件通常不具有材料定义,且首先将每个单独的薄层处理为同质的或各向同性的材料特性。可替代地,几何文件902的一个实施例可以包括用于根据几何文件内的体积位置来指定不同的材料特性的标记物、边界、子几何结构形状、分割或边界条件等。

[0070] 随后,对于各层,通过路径规划器1004计算工具路径(“层和切片”1002)以控制执行器来进行沉积、聚焦激光或灯具或投影仪以固化、凝固或以其它方式涂覆材料。如图5和图6所示,工具路径生成器也常驻于工作站、服务器或虚拟/云服务器。在本讨论中,“工具路径”既包括移动工具经过空间又包括使用反射镜和透镜“移动”的纯电磁(例如,光学、辐射)路径。工具路径可以布置在轮廓内,所述轮廓可以将层周界细分成不同关注度的区域,例如,这样的区域:需要较大或较小的沉积头以到达薄层几何结构的某一部分或遵从针对层的不同部分(例如,壁、内周界、填充料)的规则集合1006。根据确定针对各种轮廓的完全覆盖方式的偏差、规模和蜂窝分解的内部算法产生工具路径。某参数控制可以被应用于规则1006(例如,针对外周界形成规则,沉积塑料的可调厚度1至5)。

[0071] FFF工具路径可以具有包括挤出宽度(涉及喷嘴尺寸、挤出速率和从建造面算起的喷嘴高度)在内的多个变量。增材制造中的其它沉积工具路径可以具有同样涉及各工序的物理和化学过程的变量。

[0072] 如图5和图6所示,自定义例程2008(允许自动和人工编辑中的一者或两者)可以允许对生成的工具路径、区域或子轮廓、轮廓、层和网格进行变化。一些自定义可能仅需要重新路径控制,其它的可能创建新区域,其它的可能创建新几何模型部位——这些变化可以在它们被用户输入时被做出,或者可能被分批和重做。可选地,在做出所有自定义后,使处理返回至最早的实践阶段并且所有变化被保护以进行重新网格划分、重新切片或重新路径控制。

[0073] 当被发送至3D打印机1000时,工具路径被用来创建用于致动的指令文件,该指令

文件通常被称为“G代码”文件或流1102。工具路径生成器2006产生工具路径,也可以通过将工具路径解译成机器专用代码来用作G代码生成器2010。顺序地排列包括所有起始和结束时间、控制或命令变量(例如,电机的速率、加热器的电流)等的G代码来安排足以完成工作的执行器指令。因为依赖于打印机本身的物理布置,所以G代码1002文件通常是打印机专用的。

[0074] 进行切片、然后产生工具路径、然后产生G代码这样的工序,不论用于常规增材或减材制造,不包括提供嵌入和/或增强连续或半连续纤维的独有特征-即包括压力、应力、热导率或负载和支撑方向专用设计等在内的各向异性特征。

[0075] 为了本文的参考术语的目的,图5和图6示出了数据结构中的一系列步骤,各步骤可选地与相邻步骤结合。如图5和图6所示,如存储于CAD几何文件内的参考部包括外壁、面朝上的“底板”和面朝下的“天花板”、内“顶板”、内贯通孔和内“实体”空间的定义。

[0076] 如图5和图6所示,当转换成STL时,3D数据结构被变换成仅定义外周界的几何结构网格,但是保留更加复杂的CAD表示的所有特征。如提到的,这是可选的,因为网格表示更容易“切片”。可以修复有缺陷的、非“水密的”或非流形的STL以使所有顶点适当地连接,但是网格表示基本保持类似。

[0077] 如图5和图6所示,将STL“切片”包括通常一起做出的两个概念步骤。首先,在各高度增量处,必须通过与预期的建造压盘取向平行的STL来截取横截面。其次,将必需的工具路径表达为沉积头的G代码以沿着切片的外内周界沉积材料并且创建任何内结构(例如填充体等)。可以在各个切片操作时产生工具路径和G代码,以合并这些步骤。为了本讨论的目的,将“切片”作为一组合并的步骤来讨论,在这组合并的步骤中,获取横截面切片并且产生路径规划和G代码以用于均匀的材料填充。

[0078] 如图5和图6所示,切片操作识别且使用工具路径来(例如,每次三个熔化聚合物行地)围绕外和内侧壁;使用细胞或栅格结构来填充内体积;以较慢的打印速率来形成天花板、底板和顶板;并且创建在打印周期内使用的暂时支撑结构。此外,创建用于将工具从原点移动至打印起始点至打印停止点以及用于进给和缩回丝来开始和停止挤出的工具路径。

[0079] 图7是说明了路径规划器,即图5和图6所示的切片、轮廓、子轮廓(区域)和路径生成器与规划器的整体操作的流程图。图7的纤维路径规划器从切片机接收各层的“切片”数据库作为输入,这种情况下被称为“切片堆”或“空台板”。切片堆数据库可以是每层、拓扑信息(轮廓,通过常规右手定则定义为实体或孔)和/或工具路径信息(轨迹)、元数据和/或G代码或等同物的形式。例如,子集合的一个形式会包括“SLC”文件格式或等同物,其仅包括轮廓的几何结构。超级集合可以包括STL文件、从STL文件识别出的分析或参数(例如,由G代码中用于产生贯通孔的代码段共用的贯通孔标签)。

[0080] 与常规增材制造和常规减材制造中的任一者或两者的区别在于:纤维路径规划器对单独的各层或各切片起作用,优选一次对多个起作用。在常规增材制造的情况下,切片软件。

[0081] 应注意,还没有进行可以被重新路径控制的逐层纤维路径生成的待被打印的3D零件的第一轮的初始输入是“切片和轮廓”。本发明的可选目的是随后处理层数据库的重新路径控制而不是处理3D模型几何结构,从而仅重新路径控制应该被改变的那些轮廓和那些层。然而,本发明还考虑到:在一些情形下,较早阶段开始重新路径控制可能是有益的(例

如,除了以分层级别以外或作为以分层级别的替代,针对以区域级别支持的布尔(Boolean)和/或参数操作)。

[0082] 应注意,普通增材制造的工具路径创建工序通常不需要重新路径控制、也不与任何一者进行比较但是通常需要一个或两个相邻层。根据压盘假设来建造工具路径/G代码;不在同一位置挤出材料两次;且不需要在与建造方向相反的Z方向上移回工具,即使是对于多材料或多零件STL的情况。如果需要做出改变,那么新工具路径的产生工序通常要在CAD中重新制作零件、创建新STL且对整个几何文件(STL)进行重新切片/重新路径控制。

[0083] 然而,为了编辑待被打印的零件的包括纤维布置在内的内部结构,工具路径生成中的至少一些重复操作优选用来适应由路径规划器进行的纤维布置中的人工变化或新自动变化,或用来提供CAD系统设计的未设置有各向异性材料的零件内的增强纤维的设计自由度。

[0084] 因此,如下所提到,图7的工序能够与自身的输出一起进入,即图7的工序的目的是分析和改变仅具有层和轮廓的数据集合以及由工具路径生成器生成的且以客户自定义的方式修改的“切片、轮廓、区域和工具路径”集合,并且存在这样做可能是有益的情况(例如,增量工序是相互依赖的情况)。

[0085] 在步骤S750中,在网格预处理步骤中,该工序校正STL文件的各种错误,这包括下列中的至少一者:校正面法线取向;自相交;非流形几何结构和流形错误;不伴有任何边的顶点;不具有任何附带的三角形的边;具有两个以上附带三角形的边;具有非盘形邻域的顶点;不连接的或不想要的柄、洞、组件或腔;错误的孔或腔;面积(近似于)为零的三角形。技术包括:合并规定距离内的顶点;合并或缝合相邻边界边缘;裁剪然后合并重叠的补丁;通过插入顶点进行的孔填充;将网格转换成点云且重新网格划分。该步骤可以生成简化的、更加强健的且其中各顶点和边被唯一定义的网格,且根据定义的顶点和边产生面。

[0086] 在步骤752中,该工序将(经预处理的或校正的)几何结构(例如,三角形)网格切成各层、阶层或切片(这些术语被交换地使用)。技术包括:检查相对于所有相交切割平面的所有三角形或近似三角形组;检查相对于所有相交切割平面的所有边(扫描平面切片);或检查表示各三角形的具有间隔的所有相交平面。这生成了处于固定高度或可变高度(任一者都可以被记录为特殊切片的元数据)的二维切片的集合。所述固定高度或可变高度可以是目标3D打印机可打印的任何厚度/分辨率,例如,0.02”、0.01”、0.005”、0.001”、0.1mm和它们的倍数,或甚至是对于层间或层内插入有用的更小厚度/分辨率。各切片包括至少一个正轮廓(例如,外周界)且可以包括一个或多个负轮廓(例如,一个孔或多个孔)。正轮廓也可以创建孔代理,例如,通过指定环路至接触自身(例如,与自身熔合)的周界来创建这样的孔代理。

[0087] 在步骤S754中,该工序清查自动轮廓和工具路径选用的FFF和纤维打印的默认规则的状态,并且设置被选择的默认规则的操作顺序。这样规则的示例性状态如图20和图21所示且参照它们来说明。规则的操作顺序可以是线性的、递归的或以其它方式安排的。预定的整体操作顺序可以使所有可能的操作相互关连。应注意,在工序期间内任何时间的规则变化(例如,改变或添加或减少规则)可以通过中断、触发、提交或其它方式在步骤S755(入点“A”)处重新开始工序以适应所述变化。在步骤S756的第一次执行前,用户可以得到修改这些默认规则的机会(例如,跳转至步骤S760)。

[0088] 应注意,针对在内部的特殊内部设计结构的应用或特殊规则的操作,内部轮廓或区域的创建能够发生在规则或设计的操作之前、之后或期间内。一些规则更加适合于当它们操作时限定边界(例如,轮廓跟随填充);其它一些规则更加适合于处理特定周界(例如,诸如蜂巢形或三角形等图案化填充);还有其它一些规则更加适合于包含需要的边界轮廓作为其定义的一部分(例如,孔增强图案、插入增强图案)。

[0089] 在步骤S756中,工序根据操作顺序逐层地应用规则集合,以将子轮廓(即,正轮廓内的二维拓扑子区域和/或孔)确定为新的从属正和/或负轮廓。再次地,负轮廓可以形成孔,或正轮廓可以形成孔代理。此外,可以通过规则集合创建正轮廓来触发或迫使纤维或材料的期望的路径控制或填充。子轮廓可以具有与封闭轮廓或邻近轮廓一致的周界,且正子轮廓可以在层中形成孔的壁。图8包括关于子轮廓产生的进一步详情。

[0090] 在步骤S758中,工序根据操作顺序逐个轮廓地应用规则集合,针对一个或多个纤维铺设工具和一个或多个材料沉积工具,生成用于纤维或材料填充的期望工具路径以及路径间的过渡。当所有路径被生成时,初始打印策略完成。此时,可以将工具路径翻译成G代码并且可以打印零件,且终端用户可以(例如,在自定义工序开始时)得到审查和/或打印工具路径状态或零件的机会。

[0091] 如这里所述,段、工具路径或路径是轨迹和轮廓的序列。轨迹是路径命令的连接序列。工具路径命令可以包括线段和部分椭圆弧以及可选的贝塞尔(Bezier)曲线段。各路径命令可以具有路径坐标,且一对路径坐标可以是作为控制点的X、Y位置。轮廓是起始点和结束点为同一点的闭合轨迹。通过“划过(stroking)”路径来(例如,通过沉积打印头、通过激光或紫外线固化、通过闪光DLP固化来)执行或渲染(例如,为了显示在检查面板上)工具路径。在工具头的情况下,所述“划过”可以是当扫出以轨迹为中心的固定宽度沉积时沉积材料或固化材料,所述固定宽度沉积沿着正交于所述轨迹的切线方向的轨迹行进。划过可以按照区域进行或被累积(整个区域可以被作为工具路径的DLP闪现)。

[0092] 关于这里所述的轮廓工具路径或其偏移,可以利用非贝塞尔基路径的偏移生成和贝塞尔(例如,三次方或二次方控制点)基路径的偏移划动(offset stroking)来创建并行或偏移工具路径。可选地,因为贝塞尔路径的偏移划动可能难以渲染,所以FFF材料或纤维路径可以是非贝塞尔近似。可以通过经由针对GPU加速路径渲染(例如,OpenVG)的矢量图形库进行分辨率无关的路径渲染,甚至计算物理连续纤维路径的工具路径和偏离。

[0093] 在步骤S760中,工序允许进行完成的工具路径和打印策略的逐层、逐轮廓和/或逐路径的自定义。自定义工序是可选的,其是各种类型的自定义。

[0094] 如图8所示,按照优先权或优先级顺序逐层地产生子轮廓(或“区域”)和一些情况下的工具路径。全局规则可选地具有最低优先级,因为它们最有可能被直接用户变化(实际设计决策)或间接用户变化(设计决策的结果)所覆盖。

[0095] 在初始阶段并且在后面的编辑阶段均实施图8的工序。在初始轮中,还没有记录纤维路径或区域/子轮廓的用户变化,所以将不存在以最高优先权进行处理的用户编辑的纤维路径或子轮廓。在初始轮中,最高优先权可以是全局规则。

[0096] 在各处理规则集合内以及各处理规则集合之间,一旦定义工具路径和/或区域,当处理接下来的较低优先权的规则集合时通常保护较高优先权的规则。在冲突的情况下,可以给予用户警告以及提升名义上较低优先权规则的优先权的机会。优先权堆栈也可以被认

为是操作顺序。较高优先权的动作可选地不受后面动作的干扰,除非故障模式规则被破坏。

[0097] 虽然优先权的实际顺序可以取决于实施方式,但是在一个实施方式中,规则的一般顺序是:故障模式规则(例如,特殊材料无支撑跨距的限制、工具头的或压盘的限制等);工具路径规则;然后是子轮廓规则;然后是层规则;然后是全局规则。在各步骤中,优选地仅以不违反(可选的)故障模式规则(例如,另一个故障模式规则可以是:各向同性填充材料的无支撑跨距能够在长度上延伸例如不超过1cm或以被指定为材料特性的其它长度)的方式允许现在的或以前的直接编辑。

[0098] 初始地,在步骤S850中,在工具路径被编辑过的任何层中,通过首先绘制相关工具路径(以及任何依赖性关系)并随后定义工具路径占据的包络(envelope),来处理其中工具路径被用户直接编辑的任何人工或自动操作,以此保护作为区域或子轮廓的包络。示例性工具路径编辑操作是改变定义工具路径的曲线的路径点或控制点的位置。

[0099] 在可选的后续步骤S852中,在所有层之中,在步骤S850中受保护的区域或子轮廓现在“禁止进入”。通过保护所述区域或子轮廓来处理人工或探试操作(其中,子轮廓被用户直接编辑)。可以在稍后的时间产生工具路径。示例性子轮廓编辑操作是指定延伸通过数层的空隙体积(例如,待被包塑成型的实体模型)。

[0100] 在可选的后续步骤S854中,处理层规则(即,针对整个层而设置的规则)。在先前步骤中受保护的区域或子轮廓现在“禁止进入”。通过保护层内的所有剩余的区域或子轮廓来处理人工操作或探试操作(其中,层被用户直接编辑)。可以在稍后的时间产生工具路径。示例性层编辑操作是指定:纤维填充将用于还没有被工具路径、子轮廓或全局规则定义为纤维层的特定层上。

[0101] 在步骤S856中,处理全局规则(即,已经为整个零件而设置的规则)。典型的全局规则在图8的优先权堆栈中示出,例如,具有最高优先权的壁厚度和最低优先权的填入。一些或所有全局规则可以选择性地或可替代地优先于其它规则。

[0102] 图9是执行不同类型的全局规则的流程图。如所示,尽管图9可以在切片和路径规划工序的其它例程之后(或以较低优先权)进行,但是图9的默认和全局规则处理的结果可以在任何自定义做出前或工序前呈现给用户。如所示,将纤维或其它第二材料沉积在壁、底板、顶板、纤维填充区域、例外填充区域或区域填充区的后期路径、区域、层或体积自定义可以选择性地(例如,通过参数来设定)覆盖全局壁厚度设置;且各连续工具路径生成限定各层内的相对于后期工具路径在名义上受到保护的区域。

[0103] 在步骤S8560中,图9的工序指的是用于壁厚度的数据库设置,并且产生对应于零件壁的工具路径。壁可以是轮廓、子轮廓或区域的周界。典型的全局设置可以2至4个粘结队列;内壁(孔)和外壁(外壳)可以具有不同的全局或默认设置。

[0104] 在步骤S8562中,例程根据设置参数(例如,在1至5层中任何默认3层处可独立设置的,或作为可变厚度层的厚度)来产生“顶板”和“底板”。顶板是面“朝上”的外表面(即,层建造方向),底板是面“朝下”(与朝上相反)的外表面。

[0105] 在步骤S8562中,例程根据这里参照图10至图11C讨论的全局规则来产生纤维填充。

[0106] 图10示出了用于图9的规则处理的示例性屏幕上零件渲染和逻辑结构。视图面板1002包括保存于存储器或其它数据库中的几何文件的屏幕上渲染。在视图面板1002中被渲

染的几何文件可以被图示为不同视图(例如,等距的、立体的、正交的)和/或不同截面,并且/或者具有或不具有内部被渲染的层、轮廓、区域或工具路径。示例包括图10所示的等距模型;图11A所示的各层的分解图,图11B和图11C所示的具有层数控制滑块的“每次一层”平面图。在各视图中,可以隐藏或示出被遮挡的工具路径或表面,且可以使用如用户设置的选择性的颜色和透明度来渲染被渲染的线和表面。可以使用如用户设置的选择性的颜色和透明度来加亮和/或轮廓渲染轮廓、区域、层、填充、材料和对应于特征的其它元数据。

[0107] 选择面板1004包括与存储于存储器或其它数据库(例如,如图20和/或图21所示)中的命令标志、队列和列表相对应的用户界面元件的集合。如这里所披露,无论是否在数据结构的论述中单独地特别说明,各屏幕上渲染对应于渲染视图所需的本文中所论述的数据结构,且各视图面板和选择面板用户界面元件对应于以与那些特别详细的形式类似的形式保存于数据库中的相应的标志、阵列或列表。

[0108] 视图面板1002示出了对各层的路径规划进行控制的示例性全局规则,这些全局规则路径规划器可用且视图面板的显示渲染器和选择面板的控件渲染器也可用。在视图面板1002中被渲染的特征件编号可以参考图10(显示)、图9(工序控制)、图20和/或图21(规则集合和数据结构)中的任一者,各者是这样相关的:根据规则集合和优先权通过工序控制来创建和改变对操作和零件进行定义的数据结构,且变化结果显示给用户。图10未示出多个可用的选择,然而这些选择将会出现在可用的视图面板中。例如,用户可以选择(且因此路径规划器执行)形成内和/或外壁或外壳的粘结队列的厚度和/或数量以及用于底板和/或顶板密集或水密填充的粘结层的厚度和/或数量;是否使用用于打印悬垂部的可剥离的和/或固态的支撑件;和/或用于减重的填入内地区域的填充图案(三角形、六边形、正方形、蜂窝形)。通常,可以通过提供配置文件来设置更多参数(例如,层厚度和/或粘结行宽度;曲线、弯曲或外/内壁的可变进给速率;整齐的塑料或纤维的桥接(无支撑打印跨距)长度;或打印凸壁(printing spur)(单壁部)的限制。

[0109] 如图10所示,在全球级别,用户可以选择“使用纤维”作为参数P02,其中,“使用”设置允许全局、路径、层和区域纤维增强,“无纤维”设置抑制所有纤维增强,且“自定义”设置仅允许路径、层或区域确定的纤维增强。用户可以将参数P06指定为紧邻的纤维层的数量,并且将参数P08指定为紧邻纤维外壳或队列的数量(这可选地成为用于任何路径、层或区域设置的初始设置)。用户可以将参数P04设定为纤维类型(例如,碳纤维、芳纶纤维或玻璃纤维)。

[0110] 图10所示的用来接收规则集合的操作且最终被打印的示例性模型M01是连接杆,该连接杆包括:扭矩传输特征件F02,其包括被大的增强圆座围绕的多边形孔/键槽;滑动配合特征件F04,其包括被较小的增强圆座围绕的圆柱形贯通孔;和臂特征件F06,其跨越两个特征件F02和F04。“跨越”在这里的意思是延伸超过一个或两个特征件的横向或纵向长度,例如,跨越长度F08延伸超过孔特征件F02和F04的边缘,即,长于外侧的边缘到边缘长度。

[0111] 可以以全局级别设定的详细设置还包括(i)用于纤维交叉集合的虚假的/密集的/倾斜的迁移或错开的参数,对于相邻层,该参数移动相邻偏移之间的交叉组的位置以使交叉按照期望集中在一定区域内或伸展开;(ii)用于纤维交叉的优选位置的曲线/直线的参数;或(iii)较高或较低的惯性矩的参数,用于将纤维集中在零件的周界或中心。

[0112] 图11A至11C示出了视图面板1002上的示例性显示,并且这些图是通过使用可选的

遮挡处理将轮廓、子轮廓和工具路径的2D定义(可选地,以3D呈现)渲染至屏幕并示出和隐藏特定的特征类型而产生的。在图11A至11C中和在本说明书中所述的类似表示中,可以用虚线;具有灰度的较宽线条的纤维工具路径;和具有实线的基体或树脂填充工具路径(除了纤维工具路径之间延伸的表示交叉的短段)来示出区域/子轮廓。在一些情况下,工具路径可以表示树脂/材料填充或纤维(例如,用于蜂巢形的、三角形的或其它体积稀疏的填充)。

[0113] 图11A至11C也对应于通过图10(显示)、图9(工序控制)、图20和图21(规则集合和数据结构)的操作产生的工具路径。如由轮廓、子轮廓和工具路径所定义地,最初构造为被打印的示例性零件表示对于路径生成器、视图面板上的显示的的切片的层定义;轮廓、子轮廓/区域的定义;和工具路径子集合的定义。在图11A及类似附图中,具有“X”的符号表明层(可能通过补充层图案的循环)被重复的次数,例如,“90x”表示形成集合的90个相邻层。

[0114] 纤维增强策略(一些情况下可以被组合使用且可以具有子策略)包括向内同心、牛耕式转向(ox行)、向外同心或夹层板。

[0115] 通过首先从层的某区域的外周界获得80至105%(优选85至99%)的纤维宽度偏移,在层内进行同心填充。即,偏移形成同心路径,所述路径是被铺设的纤维宽度的80至105%(优选85至99%)。一个有益的全局设置区域是相邻于外壳的非壁区域或壁厚度区域(例如,1至3个粘结队列厚)。通过控制沉积头划过同心纤维填充偏移的中心来沉积纤维。当偏移已经成环时,S状交叉将纤维铺设至邻近的偏移。同心填充特别适合于弯曲和拉紧,并且是有效的(较少匝数)以及固有强健的(纤维不分离使更多力能够沿着纤维长度传输和分布)。作为全局设置,同心纤维填充可以被设置为相邻的底板和/或顶板,且/或被设置于从零件的顶部和/或底部开始的设定层数。同心填充可以不具有特定取向,因为它的方向取决于零件的周界。可选地,同心填充算法可以用于其它策略(例如,用于围绕孔或孔型键槽以进行增强)。请注意,能够组合地使用其它设置来例如迁移层之间的交叉,将交叉定位在特定位置或者重复或改变同心填充图案。

[0116] 以来回行的方式进行ox行填充或栅格填充。全部内容以引用的方式并入本文的6934600号美国专利披露了纳米管浸渍三维打印的栅格填充的各种实施方式。通过指定行取向(例如,长度方向、宽度方向或在指定角度)和区域来进行ox行填充。一个有益的全局设置区域仍是相邻于外壳的非壁区域或壁厚度区域。穿越区域地并排地计算平行直线行,偏移了被铺设的纤维宽度的80至105%(优选85至99%)。如果刀具在充分接近于沉积头尖端的情况下是可用的,那么可以每匝地切割纤维。然而,牛耕式路径是可选的。牛耕式路径能够通过于偏移相同直径的180度弯曲的纤维路径或通过两个直角的折叠路径(这些可以交替)而在端行被连接。还是通过控制沉积头划过同心纤维填充偏移的中心来沉积纤维。当偏移已经成环时,S状交叉将纤维铺设进邻近偏移。作为全局设置,ox行纤维填充可以设置为相邻的底板和/或顶板,且/或被设置于从零件的顶部和/或底部开始的设定层数。ox行填充可以被设置为基本上重复填充的方向(为了在该方向上的增大的累积强度,或提供两个、三个、四个或更多变化方向的任意或预定图案来增大多方向的强度(例如,90-90将表示两个相邻的90度垂直层;60-60-60将表示均旋转了60度的三个相邻层,45-45-45-45表示遵循增强交叉层的重复图案的四个层)。

[0117] 对此,连续复合层可以像常规铺叠一样地以0°、45°、90°和其它期望角度铺设,以提供多个方向的零件强度且来增大强重比。控制器20可以被控制用来在一个或多个特定方

向和位置上沉积轴向对准的增强纤维。增强纤维的轴向对准可以选择用于层内的一个或多个单独部分,且也可以选择用于单独的各层。例如,如图18所示,第一层1200可以具有第一增强纤维取向且第二层1202可以具有第二增强纤维取向。此外,第一层1200内的第一部位1204或任何其它期望的层可以具有不同于同一层内的第二部位1206或任何数量的其它部位的纤维取向。

[0118] 同心纤维向外填充与同心填充的区别在于:(i)纤维环从由关于待被跨越的特征件或零件的包络形成的内周界偏移而不是由外向内地偏移。否则,关于同心填充的说明如本领域普通技术人员将理解地那样适用。通过首先确定将被围绕的内部区域,例如首先获得在待被环绕的两个特征件周围的包络来在层内进行填充。从包络的外周界以80至105%(优选85至99%)的纤维宽度产生偏移。通过控制沉积头划过同心纤维填充偏移的中心来沉积纤维。任何S状交叉可以集中在环路的纵向端,即曲线处。可替代地,线性地增加偏移距离的“螺旋”偏移可以被用来避免交叉,但是螺旋偏移通常不完全包裹例如孔等特征件。可选地,包络产生和内周界起点可以用于其它策略。贯通孔填充(作为示例)可以将各孔作为包络处理,且从零件的顶部至底部地延伸填充,以此沿着零件的顶部-底部长度的80%以上的长度排列孔。如所示,能够组合地使用其它设置以例如迁移层之间的交叉,将交叉定位在特定位置或重复或改变同心填充图案。

[0119] 作为示例,图11A至11C所示的被渲染且被处理的零件的实施例包括但不限于下面规则的操作:

[0120] (i) 最外壁区域R06与邻域之间的区域中的同心纤维填充

[0121] (ii) 区域中的纯聚合物三角形填入,所述区域是在上述纤维填充区域的界线与负轮廓W02、W04的壁区域R02、R04的界线之间延伸的剩余区域(在其它区域被定义后设置)。

[0122] (iii) 如下所述的夹层板规则,和

[0123] (iv) 其它规则中,如下所述的描画最下部顶板孔的规则。

[0124] 应注意,尽管为了论述的目的对图11A至11C的类似区域以及类似外观的附图进行类似地标注,但是多数情况下每层实体地记录某区域,且某区域可以与作为集合一部分的其它区域关联地或以其它方式被编码。

[0125] 如数据结构中定义地且如图11A至11C渲染地,开始于第一打印面(示意在图11A的底部,但是对于向下建造的打印技术而言可以在顶部),层集合L02包括图10A所示的通过扭矩传输特征件F02和滑动配合特征件F04的多个切片(例如,对于0.5mm高度,5个0.1mm切片)。集合L02的各层被图示为具有四个区域:外正轮廓W06和两个内负轮廓W02、W04各自位置的三个壁区域R02、R04、R06,以及密集或实心填充区域。层集合L02包括遵循被设定为参数的底板数量的连续多层“底板”,且可以是“实心”填充的(例如,具有用于通过严密栅格/ox行填充或偏移的方式填充在整个层的非增强材料或塑料的工具路径)。

[0126] 层集合L04.1通过各种规则来产生,且包括但不限于各层内的六个区域:被复制和/或被延伸的下部层集合L02的三个壁区域R02、R04、R06;三角形单元的稀疏填充区域;和纤维同心填充区域。作为“纤维填充”的上述同心填充区域将在壁R02、R04和R06之后但在上述稀疏填充区域之前生成(例如,按照图9的步骤S8562至8560)。如图11A至11C所示,同心填充规则遵守壁或外壳规则的优先级(例如,如类似于图10那样的默认设置和记录或由参数入口设置和记录地,轮廓壁是3外壳厚),且(例如,按照图10的参数P06)产生三个连续偏

移。如这里所述，“规则”可以采用子例程、类、对象、脚本、状态机或其它可执行代码的形式；和/或具有连续原始操作集合的形式。交叉工具路径TP06 被示出在示例性默认位置。三个纤维层被设置为图10中的参数P06 (来自示例性可用的1至10,但是纤维层可以被设置为直至且包括各层的整个集合)。

[0127] 层集合L04.2类似于层集合L04.1 (可以是相同的或可以是补充的)。由如图10中的参数P12设定的夹层板规则的操作创建被稀疏填入层集合 L06分开的两个层集合L04.1和L04.2。在组合规则的操作下,夹层板规则或填充可以被认为是其它填充的特殊情况或组合。在夹层板填充的情况下,多层纤维填充 (例如同心、 α 行或45-45-45-45四个角度层的 α 行)的两个集合在打印的方向上是分开的。在这两个集合之间,基于单元的填入提供了连接强层的网。不同的工序可以用来布置夹层板。在一个实施例中,直角棱柱核心被扩张以填充可用的内部空间 (例如,直至邻接外部外壳/壁、底板和/或顶板),且棱柱的至少一个顶部层和底部层是填充有选择纤维图案 (例如,同心、 α 行或45-45-45-45四个角度层的 α 行)的纤维,并且中介层填充有蜂窝填入物 (如这里所述,可选地填充有纤维蜂窝填入物)。在另一个实施例中,具有大量内部区域的起始层 (例如,与占据层面积的50%以上的底板或顶板相邻的层,或具有最大面积的层)填充有纤维,且如果大量内部区域并行地重复一定数量的层 (例如,100层),则再次填充稀疏聚合物填入物。

[0128] 参数P12设定的夹层板规则与同心填充规则组合地示出在图10、11A 至11C,其它规则的操作是补充的。在一些情况下,额外规则将起到夹层板规则的参数的作用且改变该规则的操作。例如,如果将参数P11设置为 α 行填充,那么可以以6934600号美国专利所述的紧密“栅格”图案来实施层L04.1和L04.2中的填充,但是该填充将使被更多稀疏填入层 L06与另一补充层集合L04.1分开的纤维填充L04.2保留多层,以完成由于夹层板形式的有效惯性矩的增大而导致的在弯曲方面特别强的零件。在其它情况下,额外规则将以预定的操作优先权或顺序单独地操作。例如,当设置参数P14的“增强贯通孔”规则时,通过产生由其它参数修改的从顶部至底部 (L02..L10)延伸的在较高优先权被保护区域周围的偏移,围绕和增强通过扭矩传输特征件F02的孔和滑动配合特征件F04的孔中的任一者或两者。图17C示出了这样类型的增强贯通孔,然而在图 17C的情况下,通过区域挤出操作而不是全局规则来增强孔。

[0129] 此外,夹层板规则或填充可以以有关图19D至19G所示和所述的方式,部分或整体地,并且嵌入在零件内或延伸至外部外壳地,包含外壳。可以通过夹层板规则的操作来创建图19E的结构,其中,类似于层L04.1、L04.2和L06,同心填充创建从最外受保护区域的偏离 (在图19E的情况下,没有最外受保护非增强树脂壁)。在朝着周界将同心填充设置于较大数量的纤维外壳的图19F的情况下 (例如,形心侧外层的两倍,其在这里至少可以被实施为全局规则、区域编辑、层编辑或丢弃的库对象)或在设置较大数量的纤维层的图19G的情况下,可以使用夹层板规则的操作来创建图19F和19G的结构。

[0130] 继续图11A至11C,顶板参数变量产生层集合L06C,该变量指定:额外壁L06B必须围绕外和内轮廓壁区域L06A的内和最外壁,以便为最下顶板区域中的实心或密集填充提供锚定点 (在这种情况下,稀疏填充的工具路径可以超越初始形成的锚定壁以提供锚定)。通过与层集合L02 的底板规则类似的顶板规则来产生层集合L08,且层集合L10通过密集填充 (例如,对于0.9cm高度,90个0.1mm层)完成扭矩传输特征件 F02和滑动配合特征件F04。

[0131] 任何例外填充(例如,凭借图9的步骤S8568)将具有第二低优先权且在剩余稀疏填入前被实施,可选地具有特定控制参数。例如,如果在区域R02、R04与纤维填充区域的边界之间形成的粘结队列之间的任何间隙距离小于纤维打印的公称宽度的宽度,那么可以调整纯树脂填充的更慢挤出、更高温度、更小进给速率或更小固化速率等以在剩余图案填充被用来稀疏地增强内部之前将填充物注入或沉积至间隙区域中。作为示例性间隙,例外填充被示出为图16的区域R12。在这种情形下,经由图13的工具对纤维路径控制做出的改变创建了纤维区域与负轮廓壁区域之间的间隙区域,该间隙区域可选地被处理为稀疏填入区域R10A的例外。

[0132] 因此,全局规则集合的操作(以可执行代码或对参数化可执行代码进行控制的参数的形式)允许自动路径产生和全局自定义。如前所示,尽管全局规则集合在一个实施例中与路径、区域或层自定义相比具有更低优先权,但是它可以是实施工具路径生成的第一顺序规则集合。

[0133] 在一个实施例中,每层的操作规则集合和操作顺序包括图9所示的全局操作的子集合或超集,但是本质上类似。用户(或自动覆盖函数)可以在逐层的基础上改变许多全局规则。各层分别被以图9所示的顺序处理。

[0134] 图10B示出了视图面板1002上的层规则操作的示例性显示,并且还是通过使用可选的遮挡处理将轮廓、子轮廓和工具路径的2D定义(可选地,以3D呈现)渲染至屏幕上且通过示出和隐藏特定特征件类型而生成的。每层的替代平面图示出在视图面板1002中,设置于(示例性的大约 200层的)第六层。终端用户可以可选地返回另一个视图(例如,半透明等距的),但是保留相同的控件和层数滑块P01。

[0135] 作为示例,以每层编辑的方法在图10B中实施方案(路径控制自定义步骤S760和规则处理及区域保护步骤S854的组合,步骤S760为各规则的实施呈现不同的界面,步骤S854逐层处理和保护用户变化)。用户希望通过使最外层或至少远离形心的层内的纤维增强量加倍来直接产生类似于图19F的结构,以提高有效惯性矩。如果顶板和底板被设置为小数量的层(例如,图11A所示的五个)且顶板和底板全局设置相对于用户编辑被保护,那么用于全局自动操作的直接编辑的目标层在本示例中应该是层6和101。

[0136] 如图10B所示,对于层6,用户已经指定与全局规则一致的6纤维外壳来代替3纤维外壳,且此外已经关闭“稀疏填入”。因此,三个额外偏移生成,且纤维被(工具路径TP04B)路径控制以遵循这些偏移且被渲染至屏幕。参照图20,这些自定义可以与层6关联且被记录于例如“层 6-同心环6-填充图案关闭”的所示的规则/参数数据库中。此外或可替换地,参照图21,通过变化而创建的区域(当前不再被稀疏地填充的较大的同心纤维区域以及较小的内部区域)可以被记录于针对全局操作被保护的文件或数据库中,即,被保护的子轮廓。注意,在本实施例中,层变换对于由用户进行的区域或路径变化不被保护。

[0137] 此外,如图10B所示,为纤维填充而产生的最后两个偏移不再围绕孔和内部负轮廓形成环路。此操作产生潜在的例外填充以及负轮廓内侧的纤维尖点(cusp)中的潜在应力集中。虽然平滑操作可以被应用为全局规则或应用为可以被每层设置的层规则,以去除尖点和应力集中,但是为了本发明的目的,尖点将被用作用户编辑路径和/或区域的示例。

[0138] 图12是执行不同类型路径规则的流程图。如所示,直接编辑工具路径或工具路径的探试或算法确定在一个实施例中具有优先级。如所示,将纤维或聚合物沉积在壁、底板、

顶板、纤维填充区域、例外填充区域或区域填充区域的路径自定义可以可选地覆盖全局、层或区域规则或设置。

[0139] 在步骤S8502中,图12的工序指的是被记录的任何记录直接编辑(其可以是人工或自动操作),且生成相应的工具路径,从而保护围绕这些工具路径的区域不受区域、层或全局操作的影响。下面的图13的论述将说明示例性直接编辑。

[0140] 在步骤S8504中,通过探试或其它规则的操作而想要转移或需要转移的交叉组被移位。在这种背景下,如图14B至14D所示,交叉工具路径TP06、TP08、TP10(即使它们通过全局规则而被放置在默认位置)通过被错开于同心带的踪迹或关于同心带的踪迹相对迁移而被“移位”。以这种方式,使拉伸强度的稍微减小和/或应力集中被分布在各层中而不是在各层中被堆叠起来。

[0141] 在步骤S8504中,通过探试或其它规则的操作而想要转移或需要转移的交叉组被移位。在这种背景下,如图14B至14D所示,交叉工具路径TP06、TP08、TP10通过被错开于同心带的踪迹或关于同心带的踪迹相对迁移而被“移位”。以这种方式,使拉伸强度的稍微减小和/或应力集中被分布在各层中而不是在各层中被堆叠起来。作为层操作,交叉的移位可以覆盖通过全局规则而被放置在默认或启动位置(例如,如图13所示,在位置TP06处,处于允许连续纤维保持未切割踪迹的位置处)的交叉。

[0142] 在步骤S8504中,通过探试或其它规则而想要被放置于曲线上或需要被放置于曲线上的交叉组被这样控制路径。在这种背景下,如图14B至14D所示,交叉工具路径TP06、TP08、TP10位于曲线而不是直线部分。一般而言,直线部分可以被用来承受拉伸或压缩负载,且将交叉放置在曲线上使得应力集中以及沿着纤维的标称减小强度最小化。如图14B至14D所示,曲线连接直道,且可以是交叉的优选位置。将交叉放置在曲线上是路径操作的示例,但是可以是全局、层或区域操作。

[0143] 图13示出了用于图12的规则处理的示例性屏幕上零件渲染和逻辑结构。交叉迁移或放置的参数未被示出,但是在该结构中是可用的。视图面板1002包括保存于存储器或其它数据库中的几何文件的目标层的屏幕上渲染。选择面板1004包括与存储于存储器或其它数据库(例如,如图20和/或图21所示)中的的命令标志、阵列和列表相对应的用户界面元件的集合。

[0144] 视图面板1002示出了路径规划器、视图面板1002的显示渲染器和选择面板1004的控件渲染器可用的对当前层的路径规划进行控制的示例性工具和规则。视图面板1002中被渲染的特征件编号可以参考图13(显示)、图12(工序控制)、图20(规则集合)和/或图21(数据结构)中的任一者,上述各者是这样相互关联的:根据规则集合和优先权通过工序控制来创建和改变对操作和零件进行定义的数据结构,且将变化结果显示给用户。

[0145] 如图13所示,在路径控制级别,用户可以选择在层级别可用的相同变化的子集合(例如,外壳数量或路径控制策略)。直接编辑工具集合是可用的,且本领域普通技术人员将理解经由连接至记录选择的鼠标或触摸驱动界面和表示屏幕位置的移动图形标记对该集合的实施。编辑锁使用户免于一些无意编辑,然而撤消功能对于图13是起作用的且也将是有帮助的。工具集合包括(i)纤维选择光标,用于选择一个或多个整个轨迹、段或工具路径;(ii)控制点选择、添加和删除光标,用于选择、移动、添加和删除在图13中被渲染的作为NURBS或贝塞尔曲线的纤维轨迹/工具路径的控制点;(iii)段接合和拆分光标,用于组合和

拆分工具路径(全局、层或区域级别的探试或算法路径生成尤其将会是对设计者意图的干扰);(iv)移动交叉光标,用于例如沿着踪迹选择和移动相关交叉组或者如本文所述地选择和移动相关的(即,以并行的偏移彼此相邻)交叉组至踪迹的弯曲部;和(v)添加新偏移光标,其将生成从选择的轨迹或工具路径起的新偏移,且使用增强纤维工具路径填充偏移(必要时添加交叉)。

[0146] 此外,与图10B一样,以每路径编辑的方法在图13中实施示例方案,该方法是路径控制自定义步骤S760和规则处理及区域保护步骤S850的组合,步骤S760为工具路径级别规则的呈现图13的界面,步骤S850在逐个工具路径的基础上处理和保护用户变化。用户希望直接去除图10B的说明中产生的尖点,继续实施类似于图19F的结构这样的设计意图。

[0147] 如图13所示,对于层6,用户已经使用控制点光标来选择最内纤维环路,且已经删除控制点来渲染半圆形以替代尖点。这样的编辑已经完成。如所示,用户已经使用控制点光标来激活具有NURBS或贝塞尔控制点的重影环,且已经绘制了弯曲的较小应力的路径(被描画为双线重影路径)。一旦执行这样的设计,新工具路径就被记录并且对于较粗糙的变化被保护。因此,一个复杂纤维工具路径被(工具路径TP04B)重新规划路径以跟随新路径且被渲染至屏幕。参照图20,这些自定义可以与层6关联且可以记录于例如“工具路径#150-轨迹数据”的规则/参数数据库中。额外地或可替代地,参照图21,通过变化而创建的区域(变化的同心纤维区域,以及较小的内部区域)可以作为对于全局操作以及层操作和区域操作的被保护区域而被记录于文件或数据库中。

[0148] 图14B至14D(一起)示出了操作中的图12的两个示例性规则S8504和S8506。如数据结构中所定义且在图14B至14D所渲染地,开始于第一打印面,“底板”层的层集合L26包括分别示出有四个区域的多个切片,基本类似于图11A的层1至5。层集合L24是具有特定壁厚的壁和稀疏填入物的堆叠(许多情况下,稀疏填入物可以延伸至外壁)。

[0149] 层集合L22通过各种规则来产生,且包括但不限于各层内的六个区域:三个壁区域(类似于图11A至11C的R02、R04、R06);具有纤维增强填充TP12的纤维增强复合同心外向填充区域;和两个剩余区域(即,按照图9的区域填充),其在纤维同心外向填充区域的内侧和外侧。同心外向填充围绕在两个孔特征件之间延伸的包络。如所述,通过图12的S8504和S8506的操作,三个相邻层内的三个偏移TP06、TP08和TP10的组相对于彼此两两错开,且集中于弯曲部。剩余层类似于本文中已经讨论过的层。

[0150] 因此,工具路径级别规则集合的操作(以可执行代码或对参数化可执行代码进行控制的参数的形式)允许半自动工具路径自定义。如所示,尽管工具路径规则集合在一个实施例中相对于区域、层或全局自定义具有更高优先权,但是该优先权可以被另行安排。

[0151] 图15是执行不同类型区域规则的流程图。在一个实施例中,直接编辑工具路径或工具路径的探试或算法确定相对于区域规则具有优先级。

[0152] 在步骤S8524中,图15的工序是指被记录的任何记录直接区域编辑(可以是人工或自动操作),且产生相应的工具路径,从而保护围绕这些工具路径的区域不受层或全局操作的影响。下面的图16的论述将说明示例性的直接编辑。

[0153] 图16示出了用于图15的规则处理的示例性屏幕上零件渲染和逻辑结构。可应用于区域的全局或层填充规则用的参数未被示出,但是在该结构中是可用的。视图面板1002包括保存于存储器或其它数据库中的几何文件的目标层和目标区域的屏幕上渲染。选择面板

1004包括与存储于存储器或其它数据库(例如,如图20和/或图21所示)中的命令标志、阵列和列表相对应的用户界面元件的集合。

[0154] 视图面板1002示出了路径规划器、视图面板1002的显示渲染器和选择面板1004的控件渲染器可用的对当前层和当前区域的区域生成和规划进行控制的示例性工具和规则。在视图面板1002中被渲染的特征件编号可以参考图16(显示)、图15(工序控制)、图20(规则集合)和/或图21(数据结构)中的任一者,上述各者是这样相互关联的:根据规则集合和优先权通过工序控制来创建和改变对操作和零件进行定义的数据结构,且变化结果被显示给用户。

[0155] 在区域级别,用户可以选择在层级别可用的相同变化的子集合(例如,外壳数量或路径控制策略),然而,这未在图16中示出。直接编辑工具集合带有功能类似的编辑锁和撤销功能,与图13的如本领域普通技术人员理解的经由鼠标或触摸驱动界面的该集合的实施一样。工具集合包括(i)区域选择光标,用于选择一个或多个整体区域;(ii)控制点选择、添加和删除光标,用于选择、移动、添加和删除在图16中被渲染的作为NURBS或贝塞尔曲线的区域轮廓的控制点;(iii)布尔区域接合和拆分操作器,用于组合和拆分使用选择光标选择的区域(此外,全局、层或区域级别的探试或算法区域生成尤其会成为对设计者意图的干扰);(iv)邻近一致操作器,用于逐步扩张区域边界来与邻近区域完全一致,以此避免例如区域创建中的间隙、重叠、非水密和/或非流形错误;(v)制作偏移形状操作器,用于创建作为现有区域的偏移的新区域(对话框可能会询问偏移应该多宽);(vi)孔转换操作器,用于将区域转换成负轮廓;(vii)实心转换操作器,用于将区域转换成实心体和/或正轮廓;(viii)挤出操作器,用于将区域复制成指定层数以上或以下(包括端值);和(vii)原始形状操作器,用于创建原始形状,该原始形状可以使用布尔区域工具来彼此组合或与现有区域组合。

[0156] 为了便于对区域的进行说明和区域的可见度,图16中已经隐藏了工具路径外观,但是区域直接编辑工具的操作包括以下能力:示出或隐藏区域内的工具路径、再生成这样的工具路径、选择新工具路径规则(例如,改变区域的填充类型)。例如,一旦创建不相似填充形状之间的形状、实心体或布尔操作,就会需要用户指定填充(实心体、稀疏填入物或纤维填入物;任何类型)。

[0157] 作为区域级别工具的挤出操作器对于层和全局规则具有优先级,但是对于路径不具有优先级。换言之,在区域编辑模式下从本层挤出的区域将“贯穿”全局或默认层,但是将不会“贯穿”用户调整的工具路径。虽然示出有从本层开始的-100至+100层的范围滑块控件,但是挤出操作器将允许所有层的挤出(与这里公开的所有滑块控件一样,通过直接进入或其它方式,例如,通过在滑块范围的端部继续递增或递减)。挤出工具的一个示例性用途是在零件中内在地延伸特定的纤维工具路径设计或复杂的稀疏填入区域。另一个示例性用途是创建新的实心特征件或孔。例如,实心填入(默认方式)六边形形状可以使用形状工具而被创建,并根据其显示尺寸和距零件轮廓的位置而被置于期望的位置(例如,“显示维度”开关“打开”或测量工具可测量),穿过零件而被挤出,然后通过孔转换操作器而被贯穿。应注意,当然能够在区域编辑窗口中对自动创建的区域进行操作。例如,通过利用图13的工具集合和规则的自定义的工具路径设计而创建的被保护边界区域将可用于图16的终端用户界面中的编辑、复制或挤出或以其它方式的编程操作。这样的情况下,在较高优先权工具路

径围绕的、生成工具路径的和/或工具路径级别保护的区域被编辑的情况下,终端用户可以接收对话框或其它警告并且对被保护工具路径区域的编辑、挤出或复制进行授权。

[0158] 此外,与图10B和13一样,在图16中以每区域编辑的方法实施示例性方案,是路径控制自定义步骤S760和规则处理及区域保护步骤S852 的组合,步骤S760为了区域级别规则的实施而呈现图16的界面,步骤 S852在逐区域的基础上处理和保护用户变化。在这种方案中,用户希望指定和传播小区域作为例外填充。

[0159] 如图16所示,对于层6,用户可以使用选择区域光标来选择两个小剩余区域R12,所述区域在不存在算法检测或者用户干预的情况下将填充有与区域R10A相同的地区填入。在所述的方案中,剩余区域R12被创建为从碳同心填充的扩张和随后的手动重新路由剪切下的剪切区域,以此创建和修改区域R08A。在(例如,通过常规鼠标或触摸多对象选择技术)选择两个区域R12后,用户可以将它们上下挤出直至通过区域填充对它们填入不足的程度,然后转换成实心,一旦用户被给予填充选择,用户就会为这样的例外选择实心填充或密集填充。因此,将以实心填充而不是贫乏填入(poor infill)打印例外区域。在这种特定情况下,区域内容的用户编辑改变自动地区填入以使扭矩传输特征件F02沿着多边形的两个边得到增强以通过实心聚合物将力传输至围绕它的同心纤维填充。

[0160] 图17A至17C示出了按照图15和16的第二示例性区域选择和挤出操作。如数据结构所定义且如图17A至17C所渲染地,开始于第一打印面,“底板”层的层集合L40包括一个代表性切片(尽管实践中会使用更多底板,但是本示例中不使用该层)。通过在先操作(例如,层规则和/或工具路径规则和/或编辑)或在先区域规则和/或编辑,层集合L42包括通过三个层延伸的具有同心孔增强件的三个区域R20、R22、R24。

[0161] 使用图16的工具和图15的工序的操作,用户将当前层设置为层集合L42的顶层,且使用区域选择工具选择区域R24。使用区域挤出操作器通过层集合L44(类似轮廓的顶板层)和L46(更小轮廓的圆座)将所述区域挤出多达5层。如果区域R24没有被很好地挤进较小的轮廓,那么能够使用工具和操作器对其整形。对于本示例,区域R24形式不变化地复制为现在的挤出区域R26至34。用户接收全局规则处于冲突状态的警告(即,层集合L46的零件最顶层内的顶板的全局规则要求),且拒绝支配全局规则。已经完成了挤出,用户被提示填充选择(例如,可选自:(i)与母区域相同的同样填充;(ii)与母区域相同类型的新路径填充;或(iii)任何兼容类型的新填充)。用户选择同样填充,该选择被传送(取决于任何覆盖的全局规则)至层集合L46的倒数第二层,如图17C所示。

[0162] 因此,区域级别规则集合的操作(以可执行代码或对参数化可执行代码进行控制的参数的形式)允许自动区域生成和区域自定义。如所示,尽管区域规则集合在一个实施例中具有低于路径但高于层或全局自定义的优先权,但是该优先权可以另外安排。

[0163] 这里所述的由路径规划器或打印机实施的方法可以在二维层的堆叠的外轮廓上形成三维外壳。这可以防止层离且增大零件的扭转刚度。在这种情况下,图1A至1C和图2A至2C的打印头和/或沉积头(包括光学或辐射固化)可以以三个平移自由度以及一至三个旋转自由度的方式连接和/或沉积;且路径规划器可以生成对应于这些额外自由度的空间内的路径。

[0164] 图19A至19C说明了使用图1A至1C和图2A至2C所示的打印机头形成的各种零件。图19A示出了这样的零件:其包括作为XY平面中的二维层而被沉积的多个部分1322。部分1324

和1326随后沉积于ZY 平面中以给予零件Z方向的增大强度。图19B示出了外壳打印的相关方法,其中,在XY平面内形成层1328和1330并且用在XY平面和ZY平面延伸的外壳1332和1334覆盖层1328和1330。如图所示,外壳1332 和1334可以与由层1328和1330形成的底芯完全重叠(参见部位1336),或者外壳中的一者或多者可以仅与底芯的一部分重叠。例如,在部位1338 处,外壳1332覆盖两个层1328和1330。然而,外壳1334不完全与层 1328重叠并且形成了如图所示的台阶结构。图19C示出了替代实施例,其中,添加支撑材料1340以相对于建造压盘或其它支撑面抬高零件,以使三维打印机的旋转头具有位于零件与支撑面之间的间隙以能够使外壳 1342沉积至零件芯的底层1344上。

[0165] 上述的打印头也可以用来形成具有离散子部件的零件,该子部件包括不同取向的连续芯增强丝。一个子部件中的连续芯增强丝的取向可以基本上在XY方向,而另一个子部件中的连续芯增强丝的取向可以在 XZ或YZ方向。

[0166] 参见以横截面的形式图示出层的堆叠的图19D至19G,路径规划和打印工序可以利用如下填充模式:该模式在选择的区域内使用高强度复合材料且在其它位置使用填充物材料(例如,尼龙等较小强度复合物或纯树脂)。如参照夹层板全局或区域规则所述,在一些情况下,通过识别简化梁或板形状的内体积或体积(例如,扩展并延伸超过弯曲负载和/或支撑点的内部棱柱或体积)来实施增强。此外,沉积规划期间可以定向零件以使体积内的各层跨越预期的负载和/或支撑点。纤维可以是被添加在远离体积的横截面形心的内部棱柱体积内的纤维,以增大有效惯性矩(特别是用于弯曲或压缩负载)的纤维。纤维可以沉积于多个相邻粘结队列和/或层中,以增加邻近的纤维队列交互和增强作用(特别是用于压缩和拉伸负载)。贯通孔或座架(预计负载组件通过贯通孔或座架而被插入,或预计负载组件被插入贯通孔或座架)均可以被纤维平滑地环绕,可选地直接在这样的座架的壁处(特别是用于拉伸和扭转负载,环绕可以允许通过平滑路径的较小应力集中和拉伸传输)被环绕。

[0167] 尤其是对于梁和板弯曲,通过尽可能远离横截面形心地(即,既在零件内又不违反在零件边界处有效的任何更高优先权的最远位置)布置纤维队列来最优化梁的强度重量比性能,以增大有效惯性矩。图19D示出了完全由填充材料1350形成的零件。在图19E中,复合材料1352被沉积在零件的径向最外侧的部分且向内延伸期望的距离,以提供对刚度和强度的期望的提高。零件的剩余部分形成有填充材料1350。用户可以或多或少地从如系列附图图19D至19G所示的零件的多个角扩展复合材料相对于填充物的使用。例如,控制器20的控制算法可以将同心填充模式(该模式追踪零件的外角和壁部)用于指定数量的同心填入轮次,然后可以使用期望的填充材料填充零件的剩余部分。

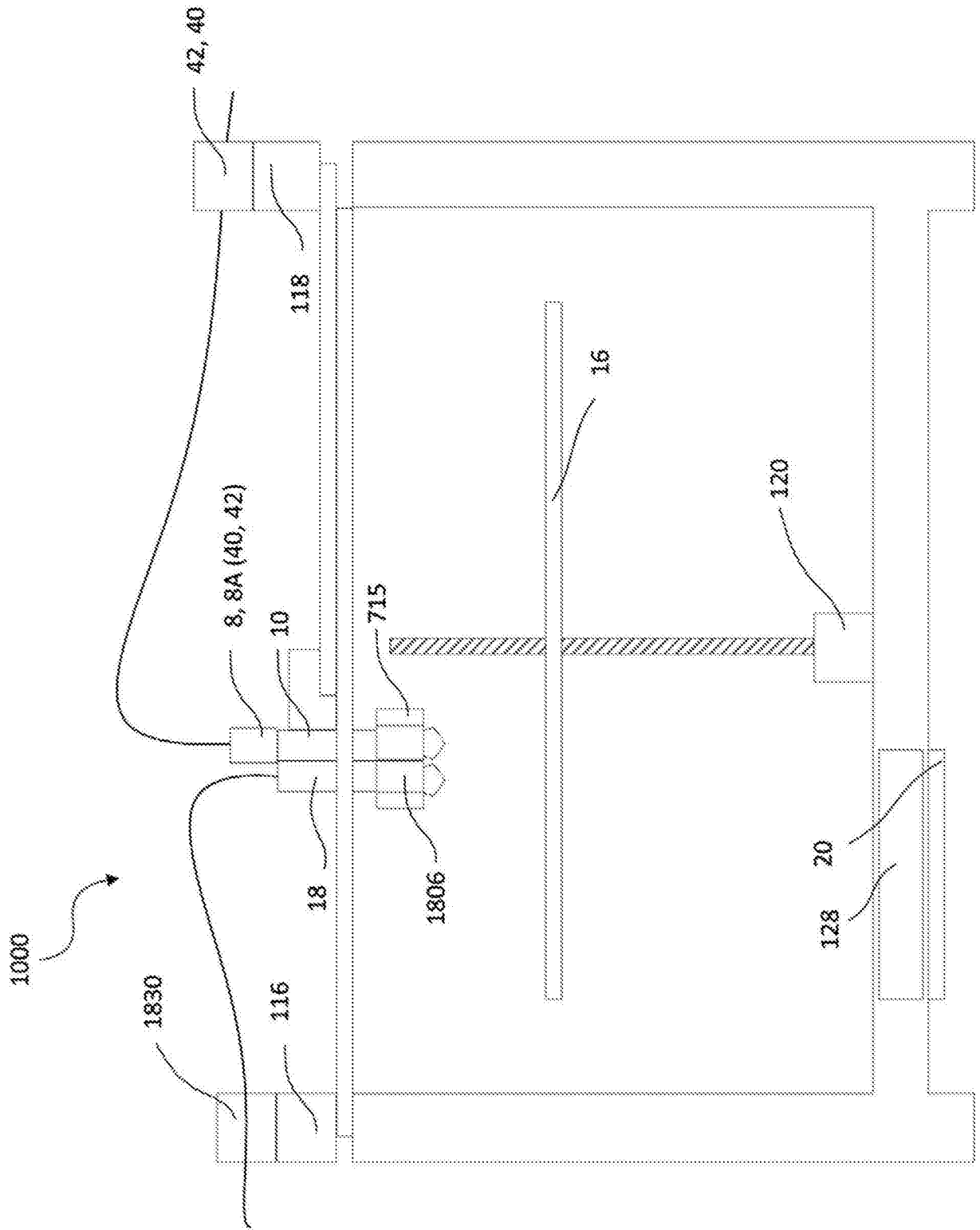


图1A

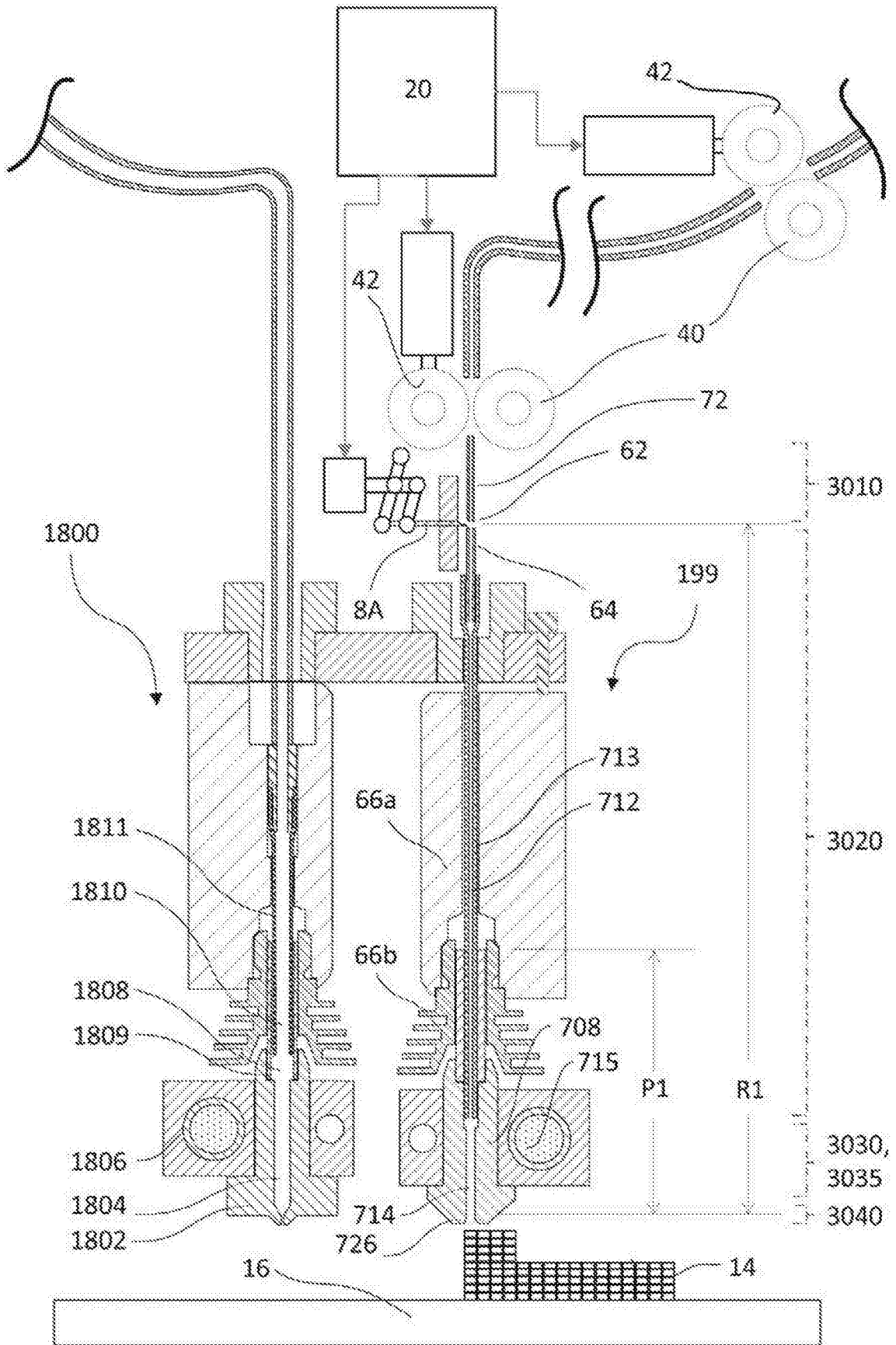


图1B

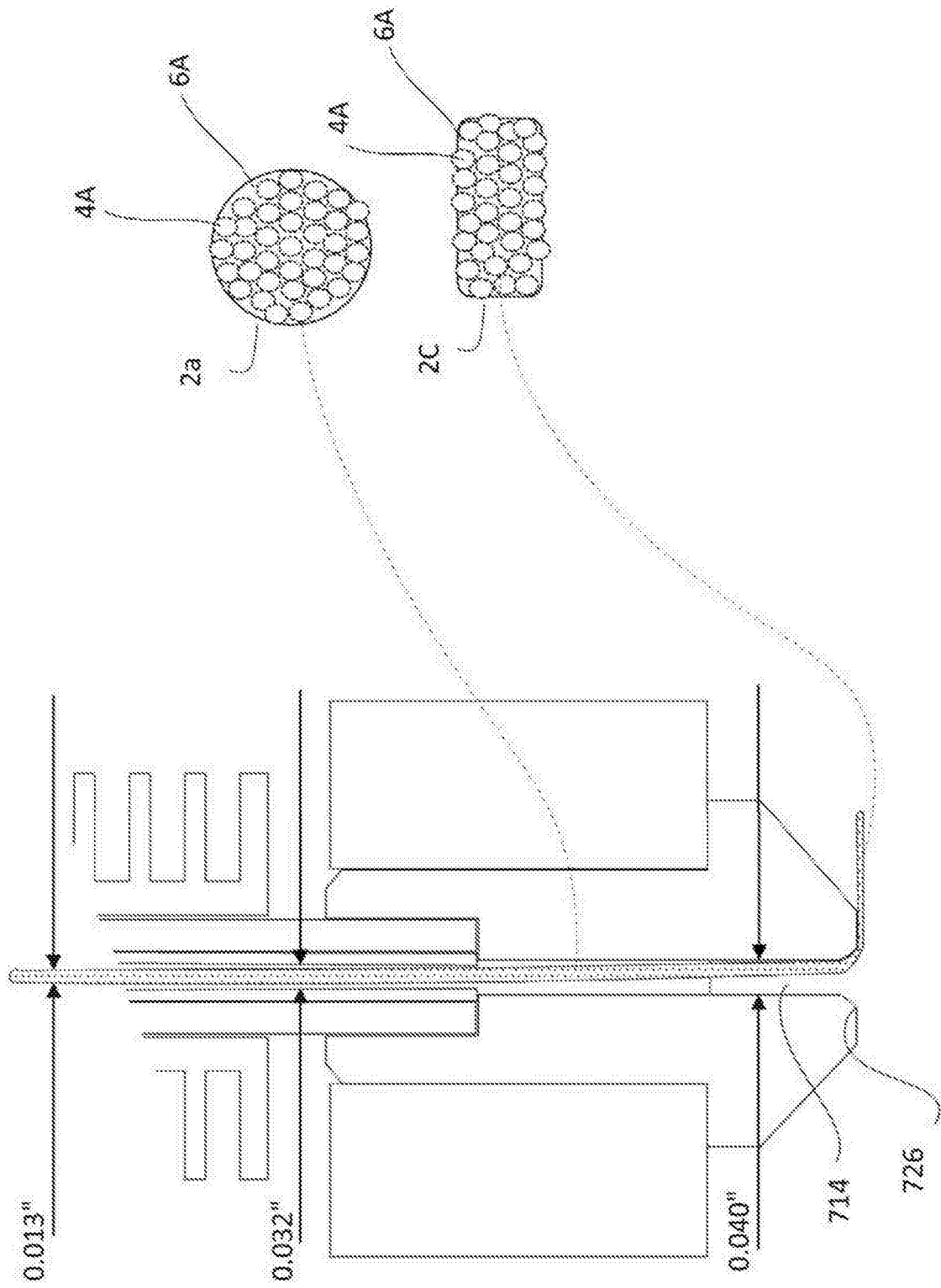


图1C

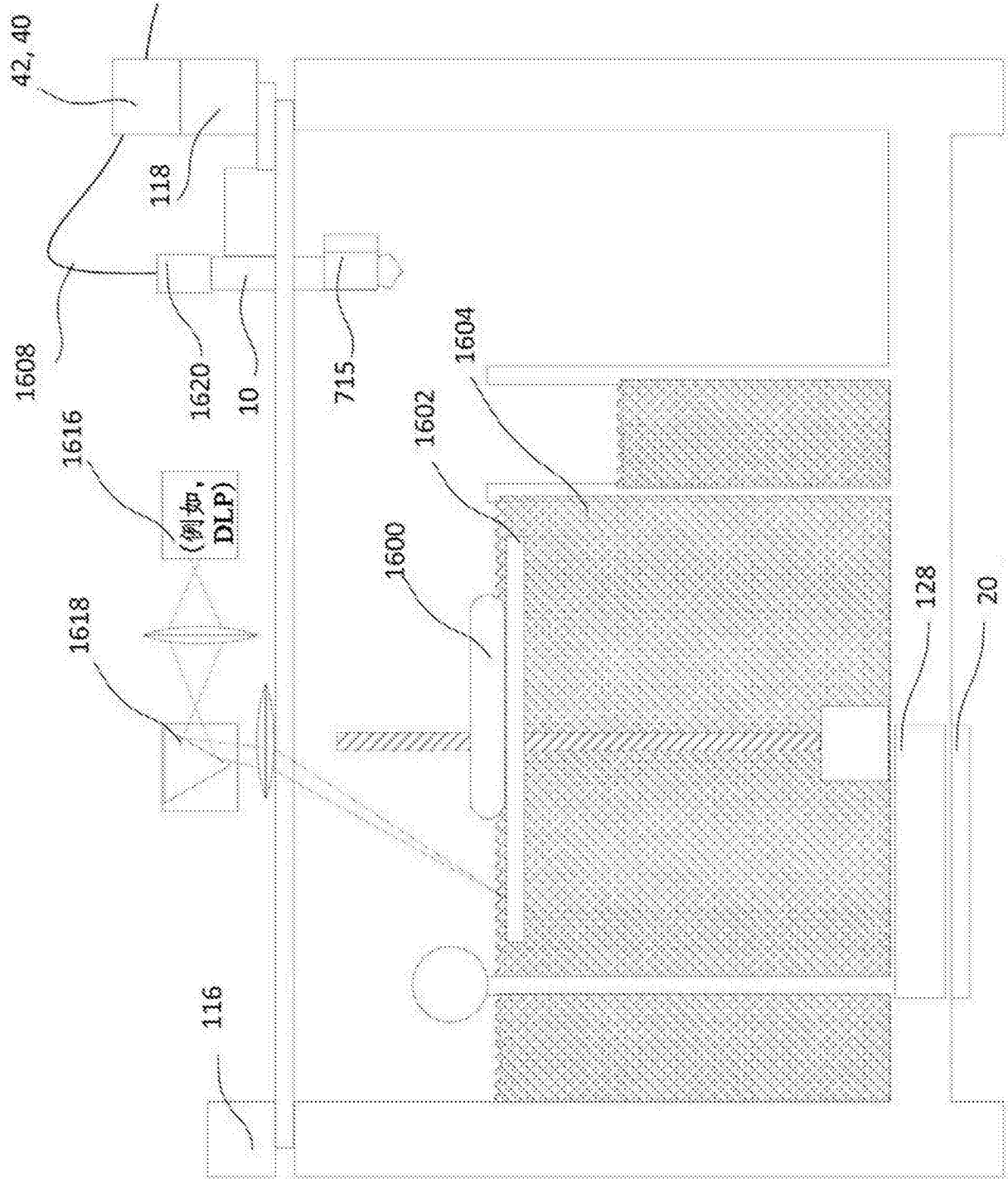


图2A

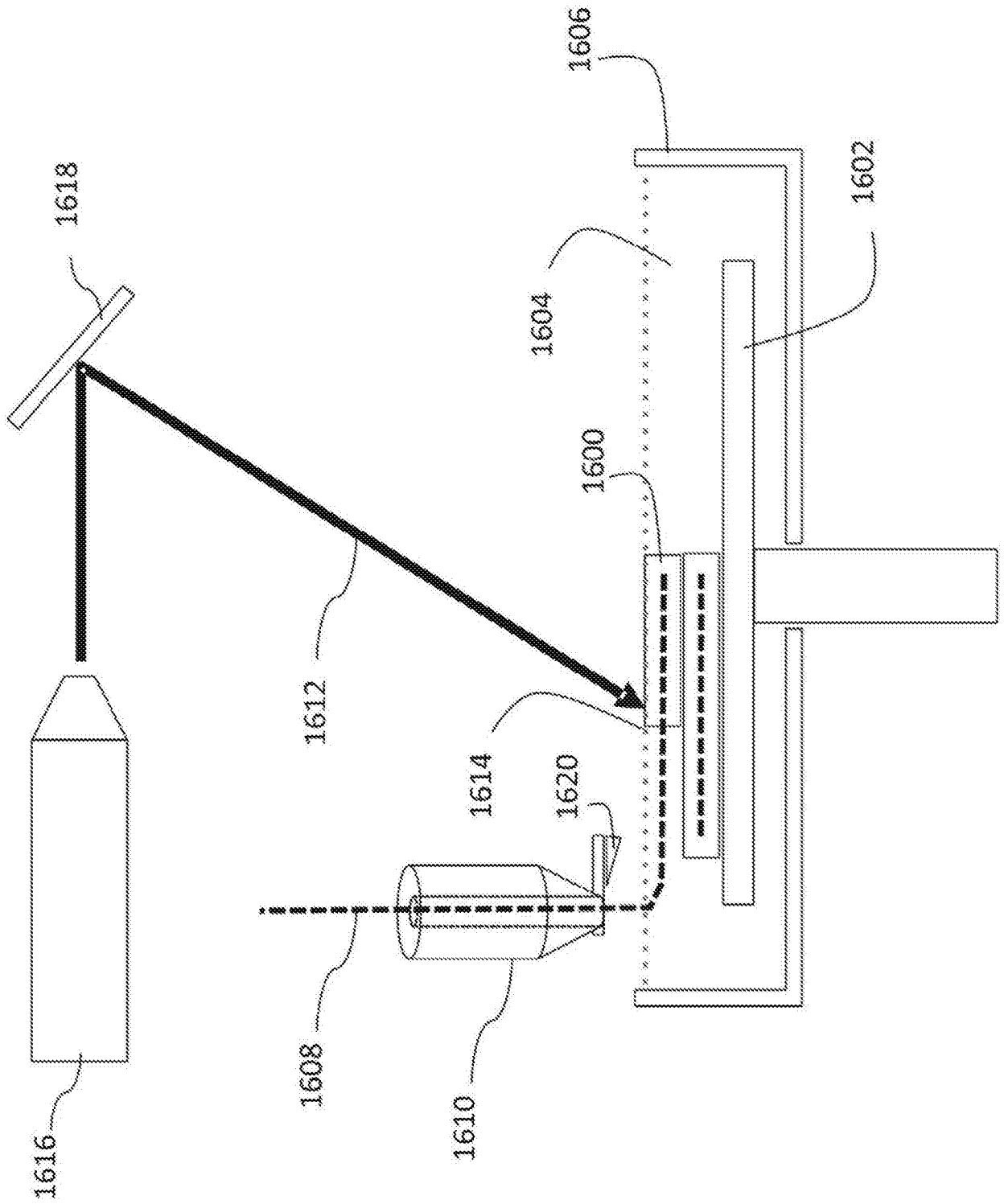


图2B

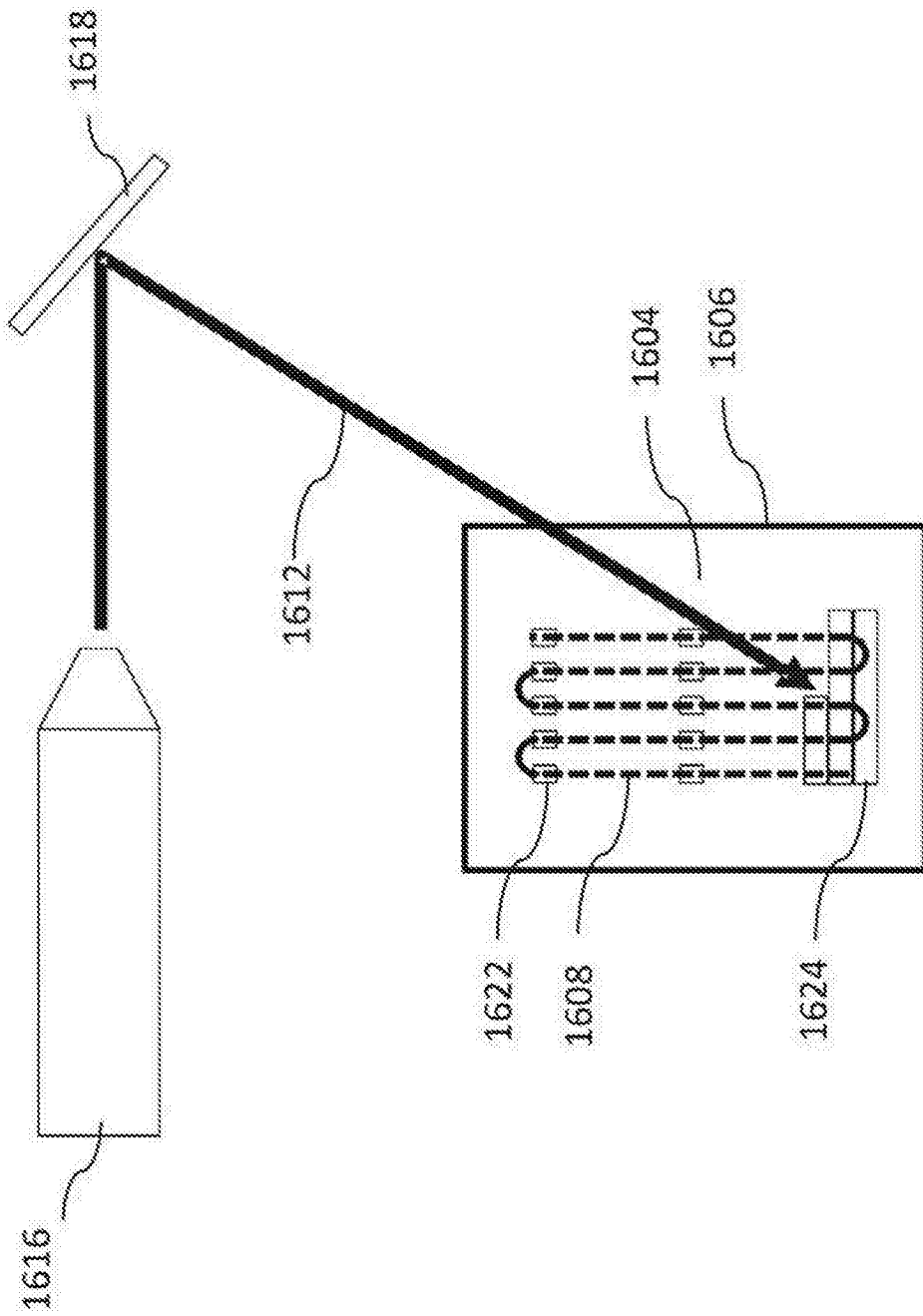


图2C

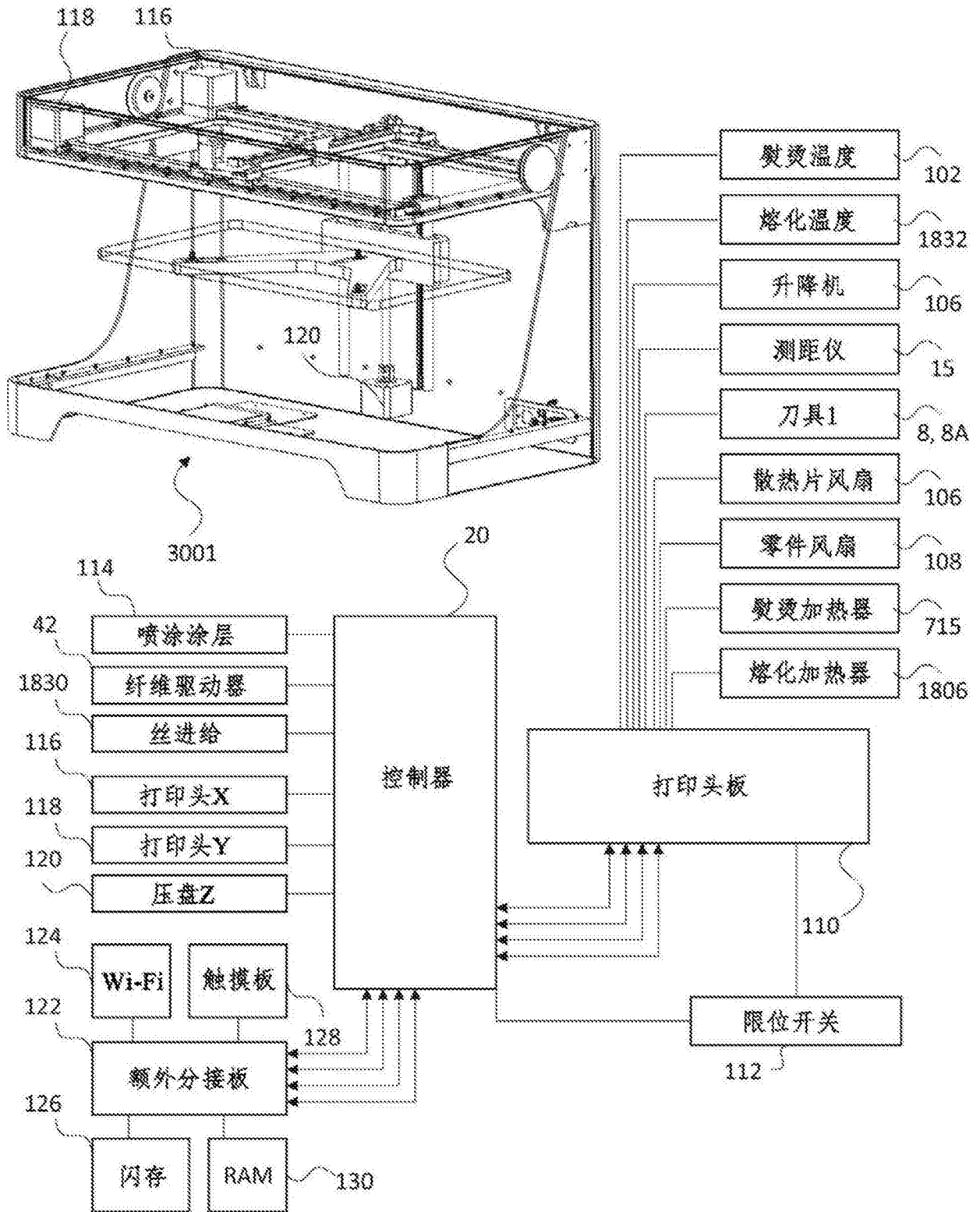


图3

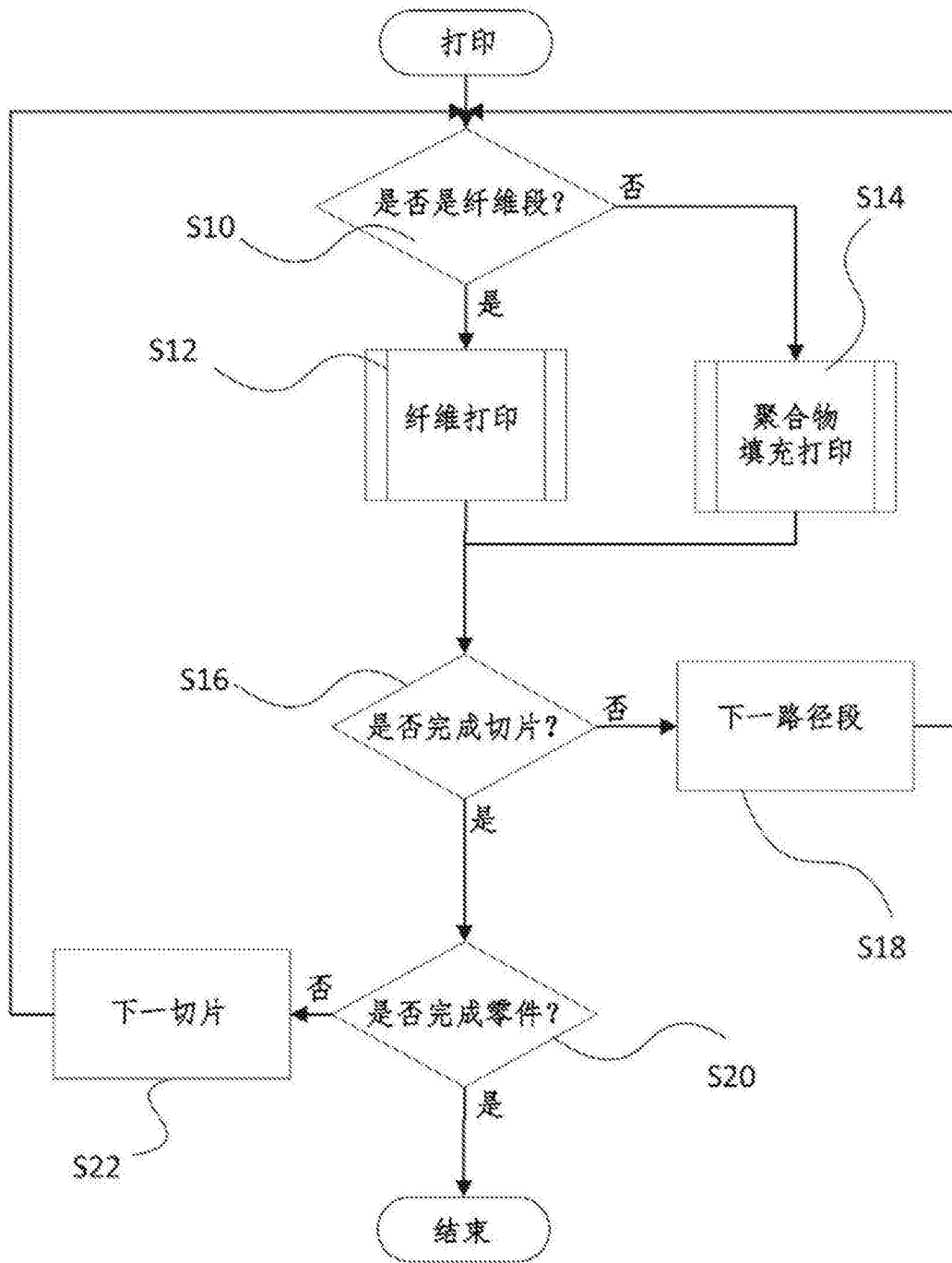


图4

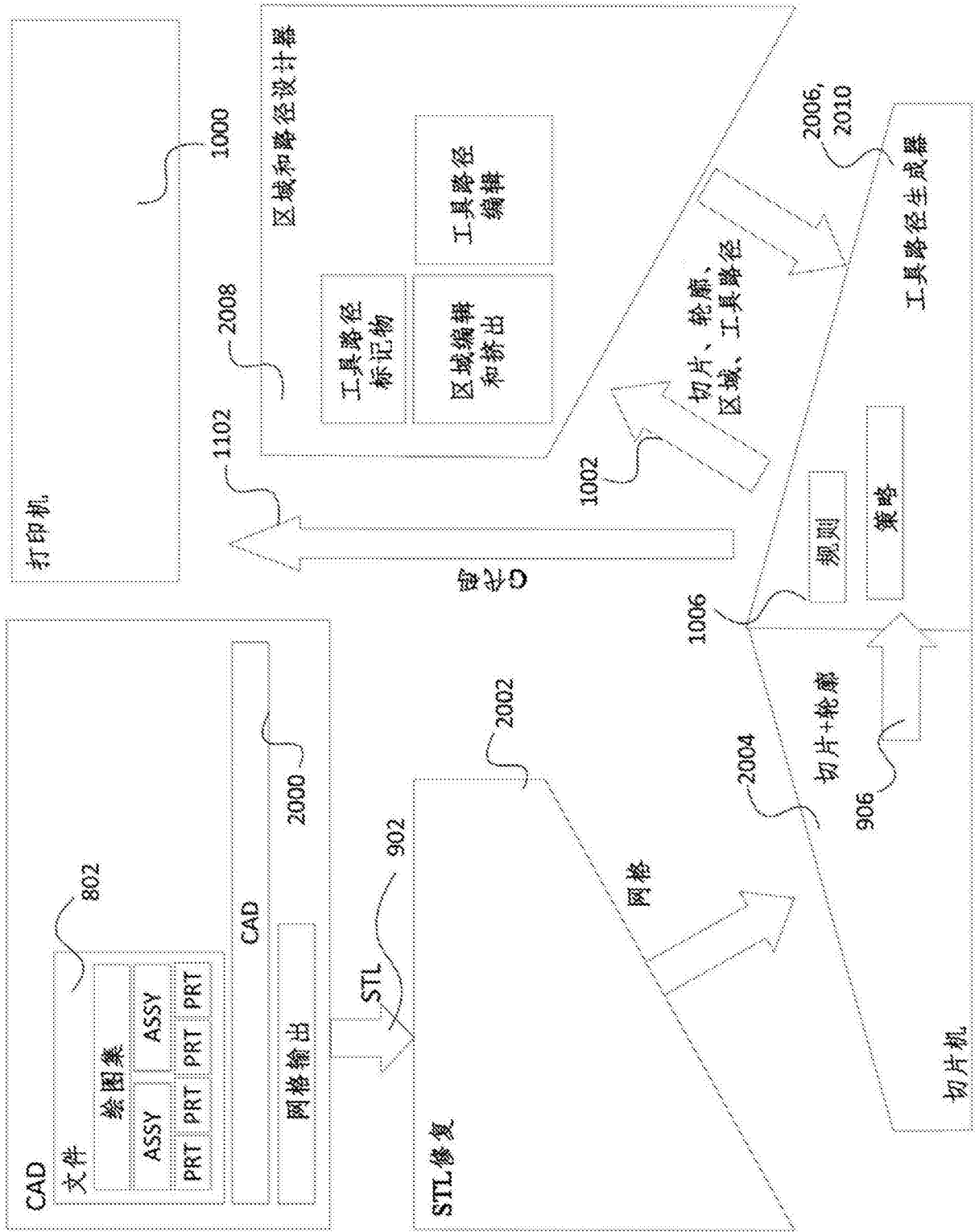


图5

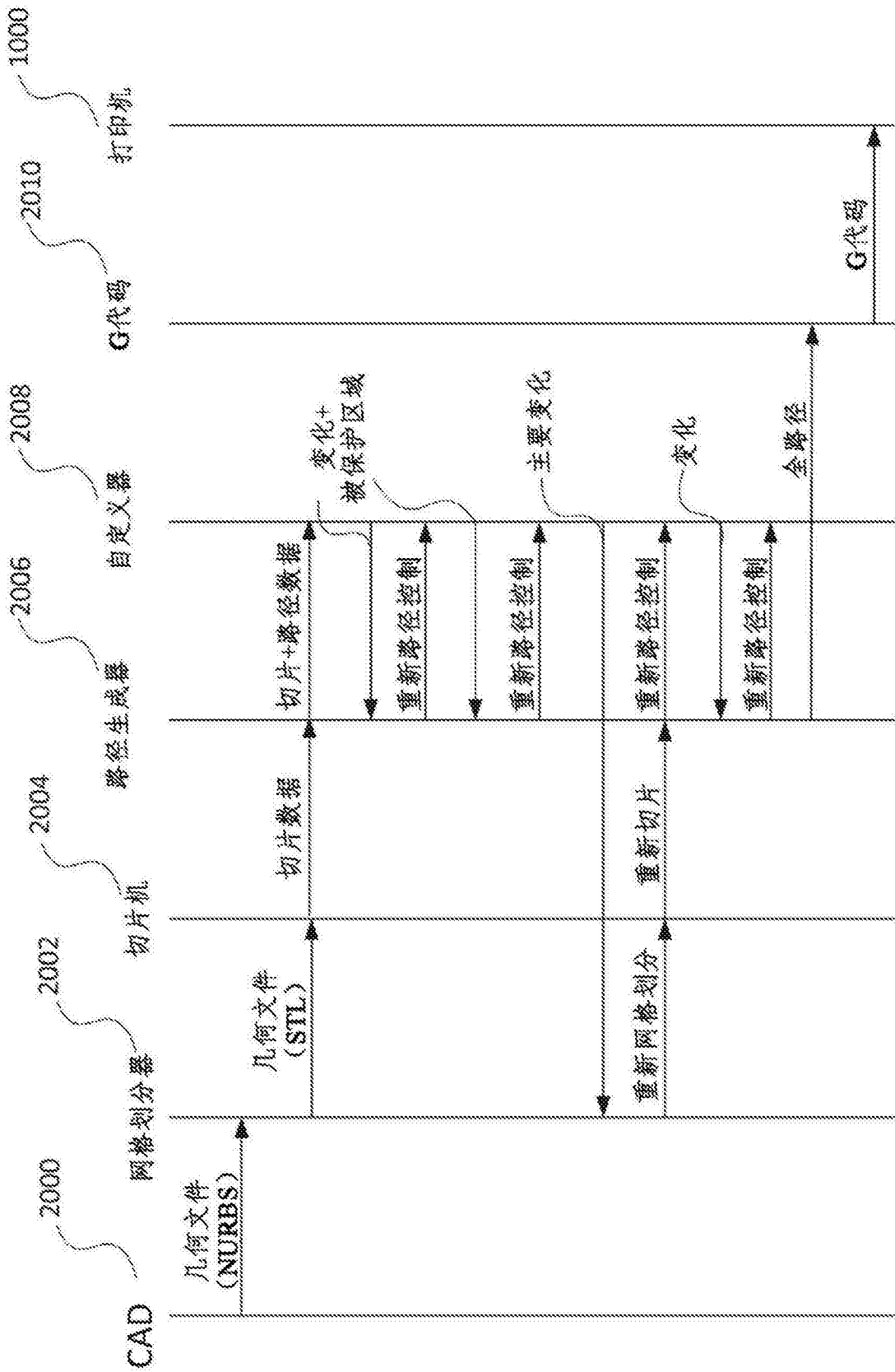


图6

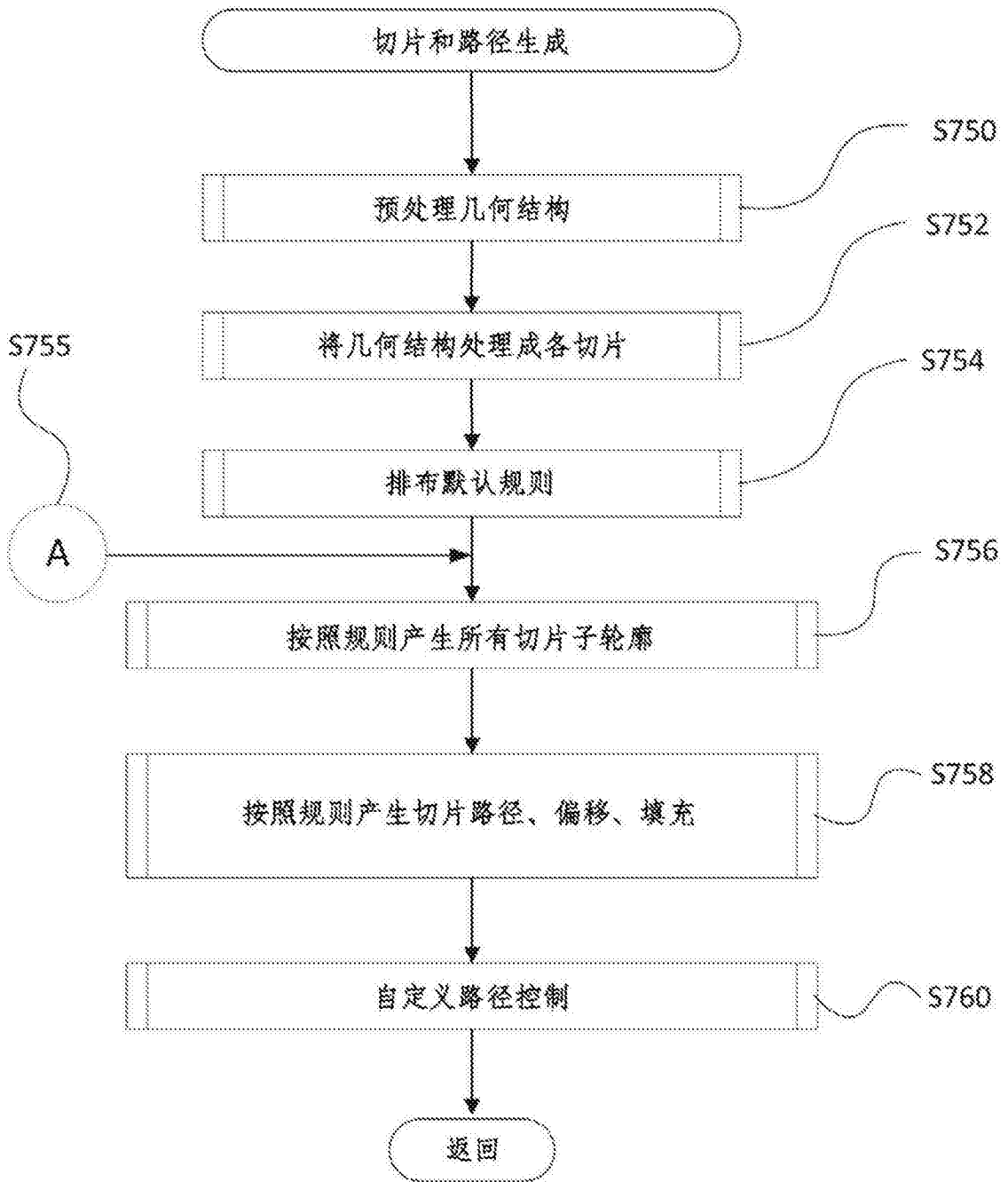


图7

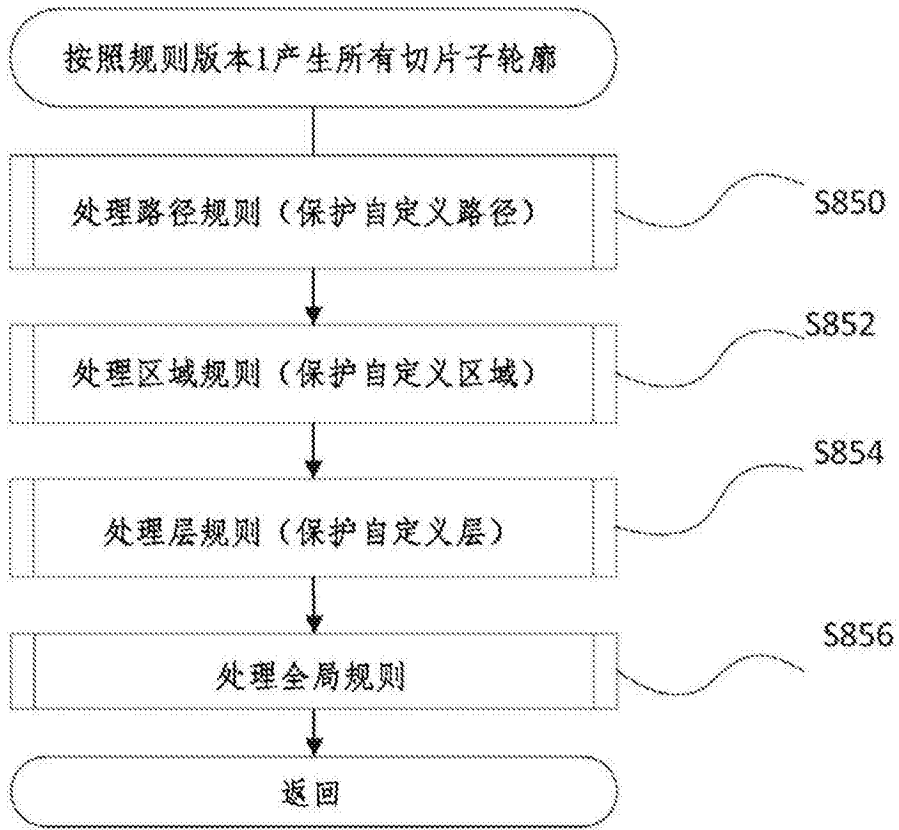


图8

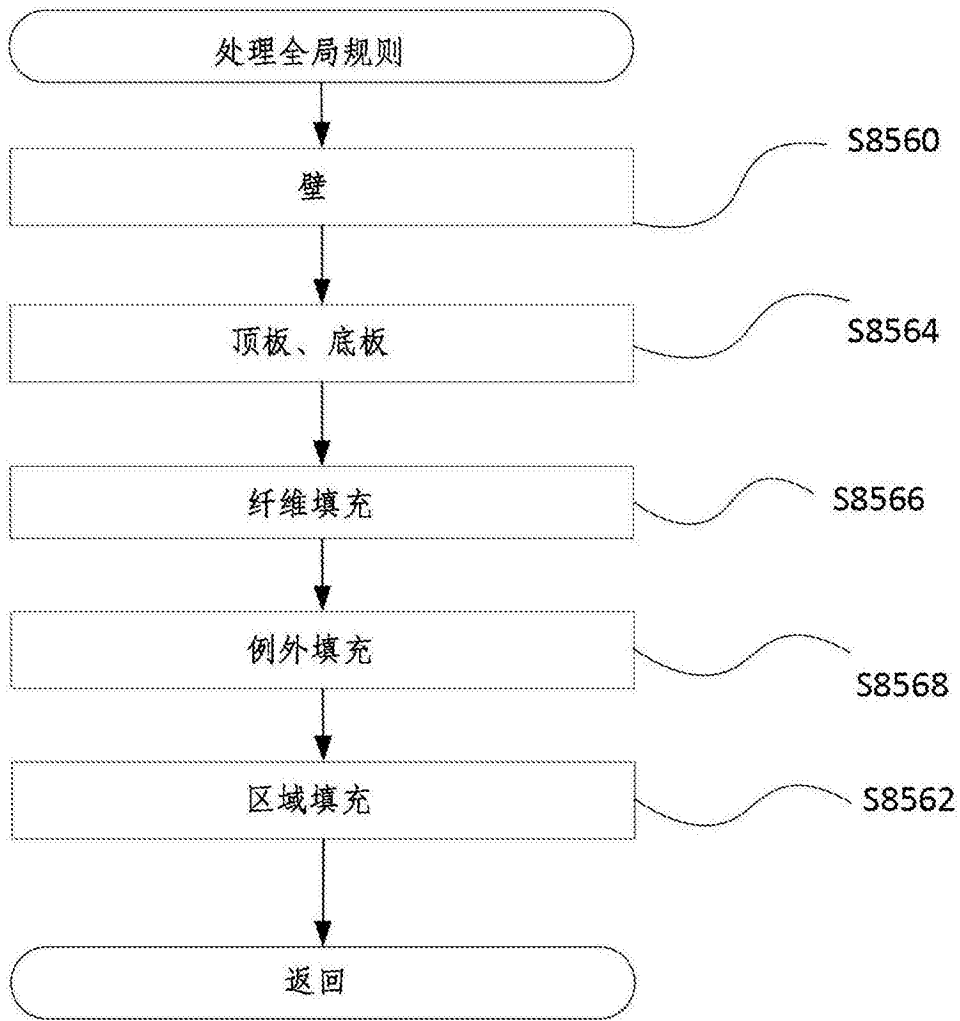


图9

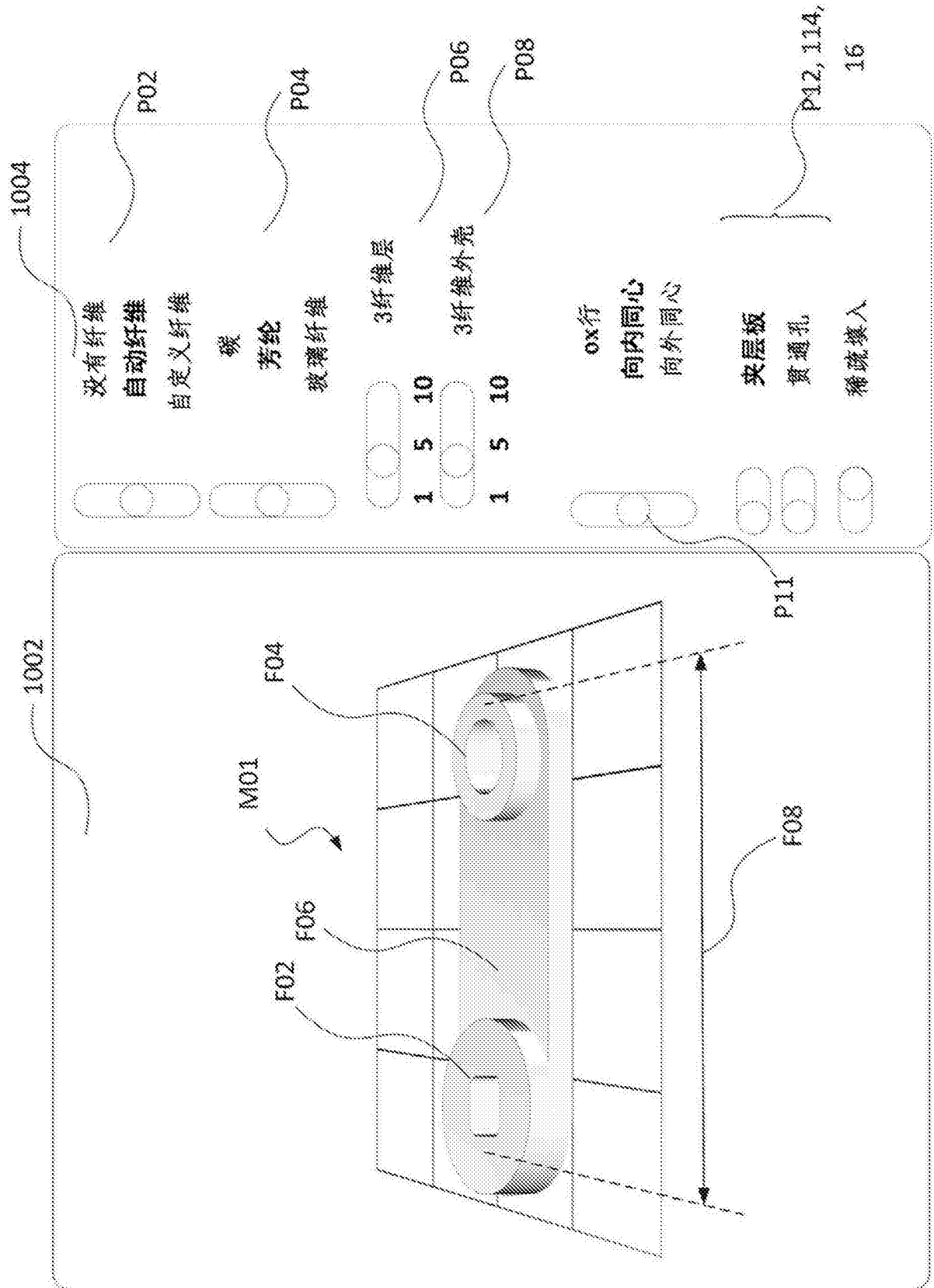


图10A

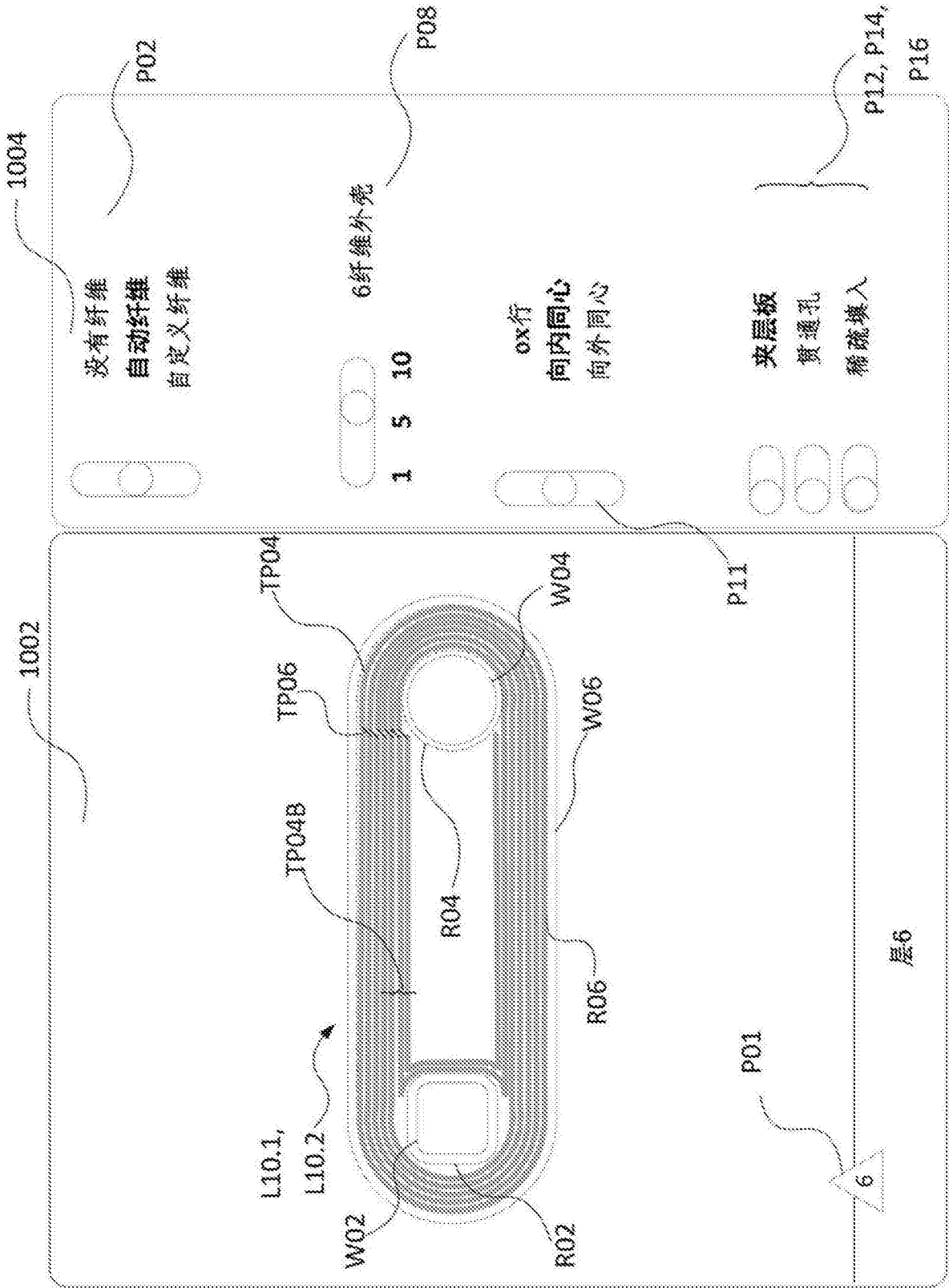


图10B

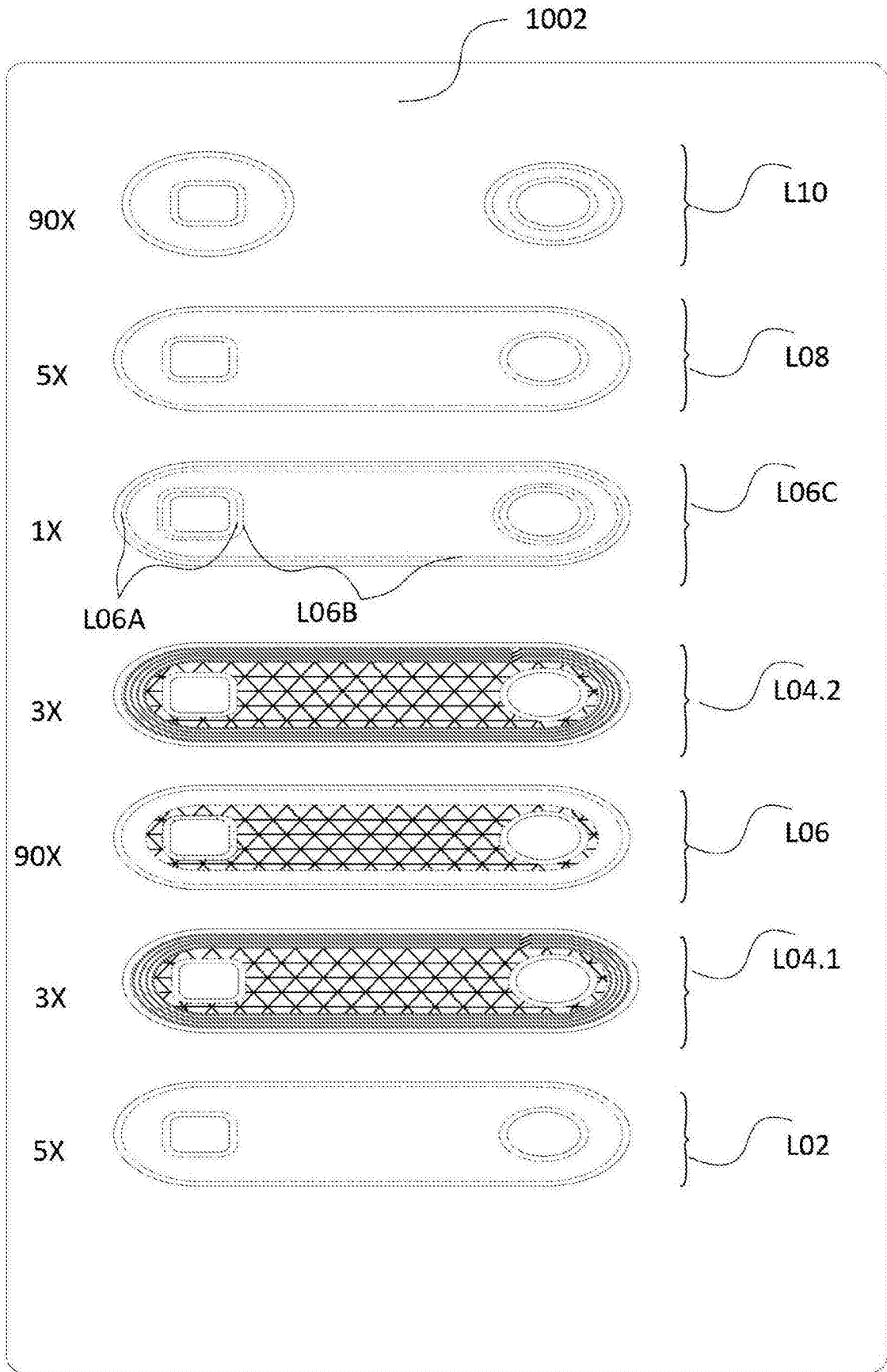


图11A

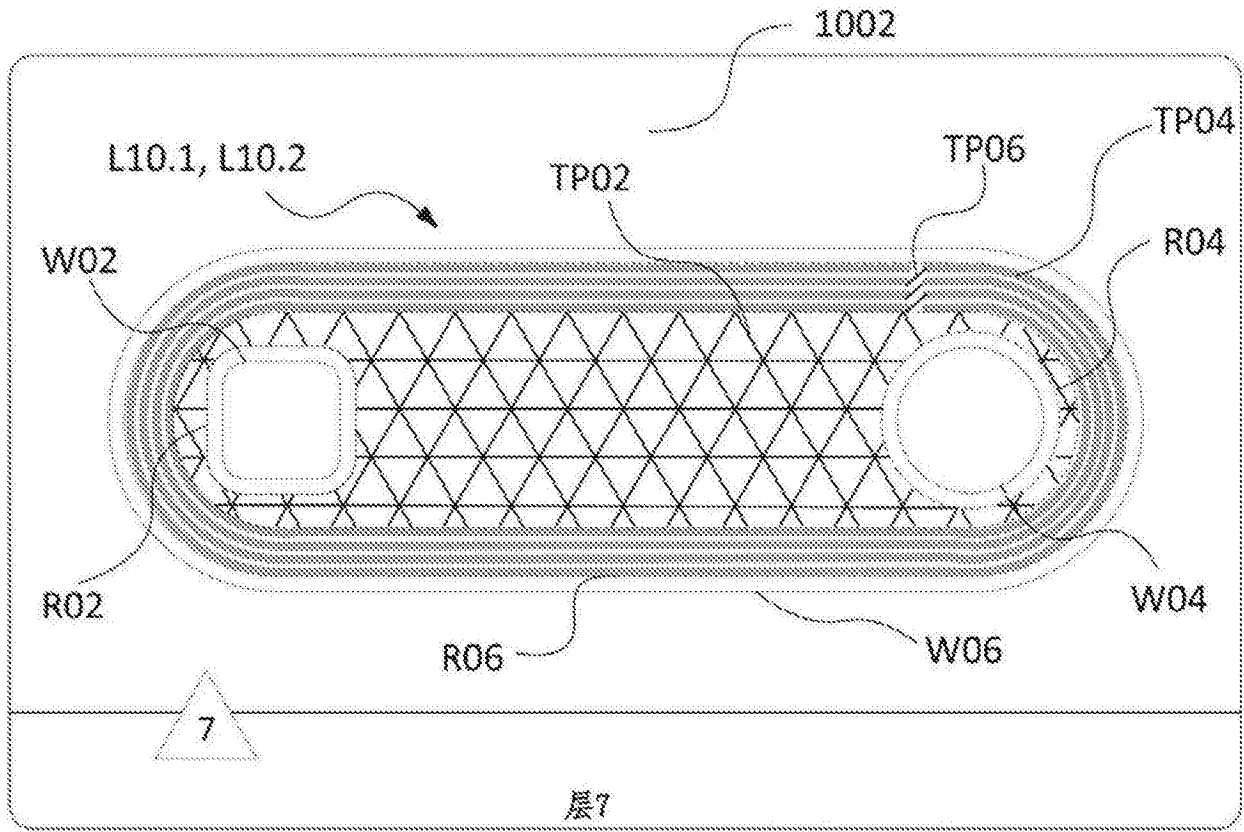


图11B

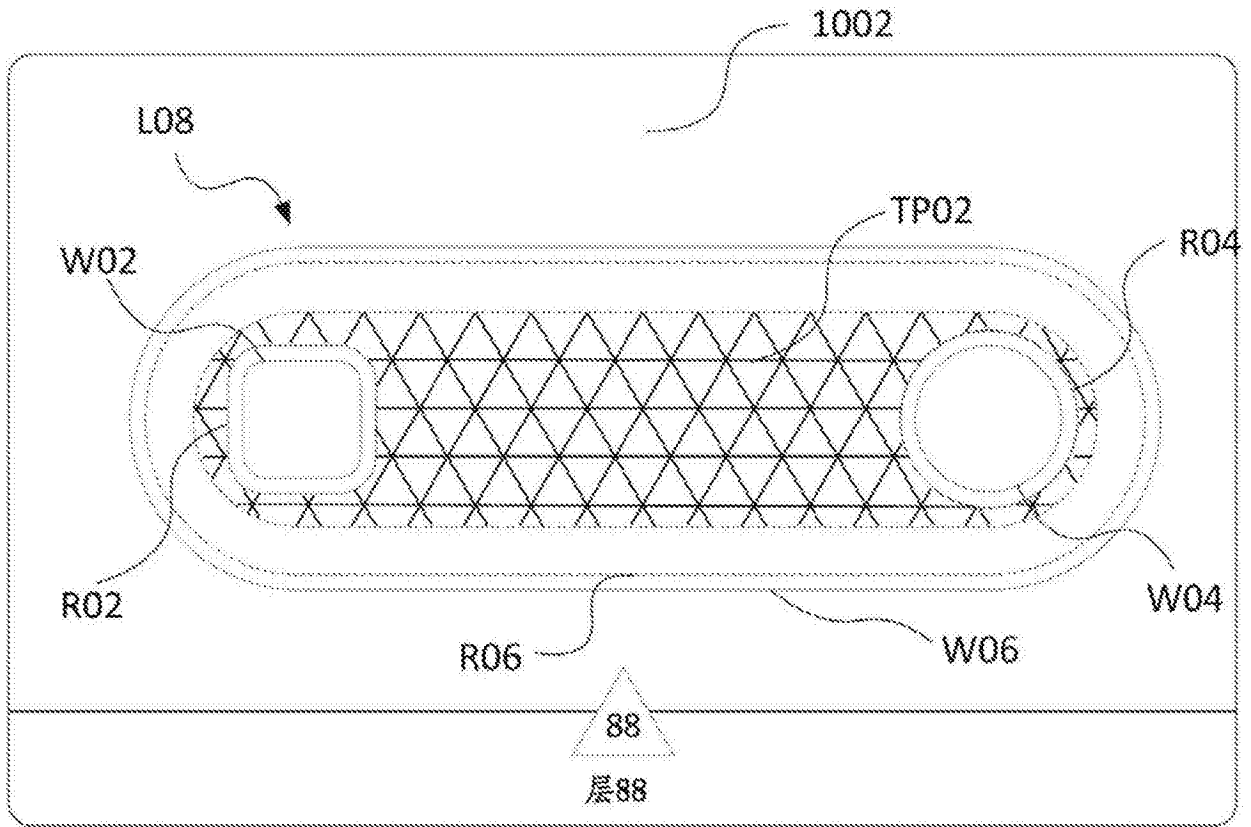


图11C

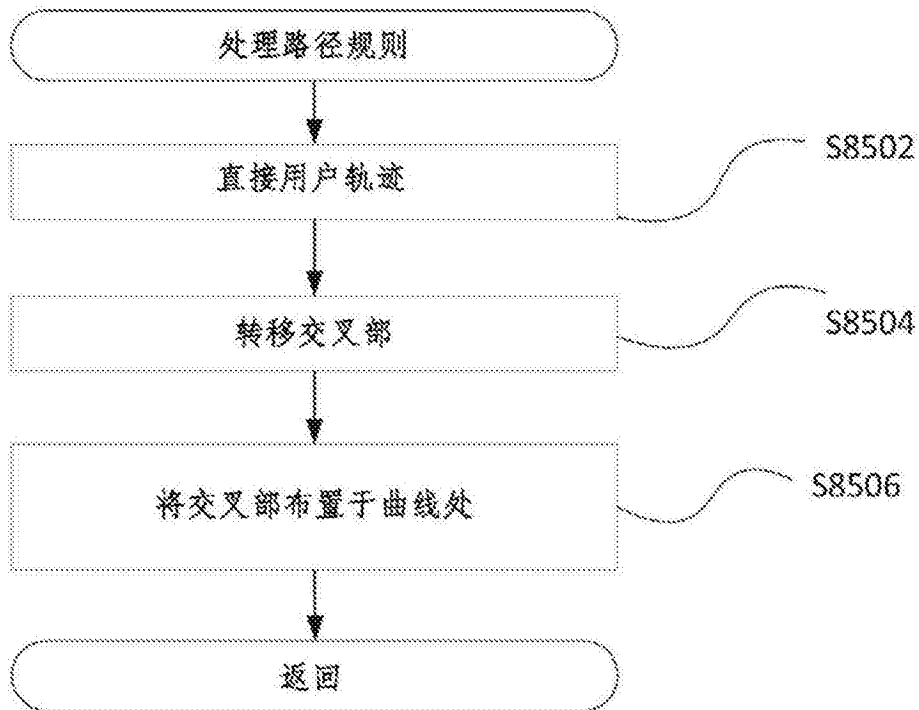


图12

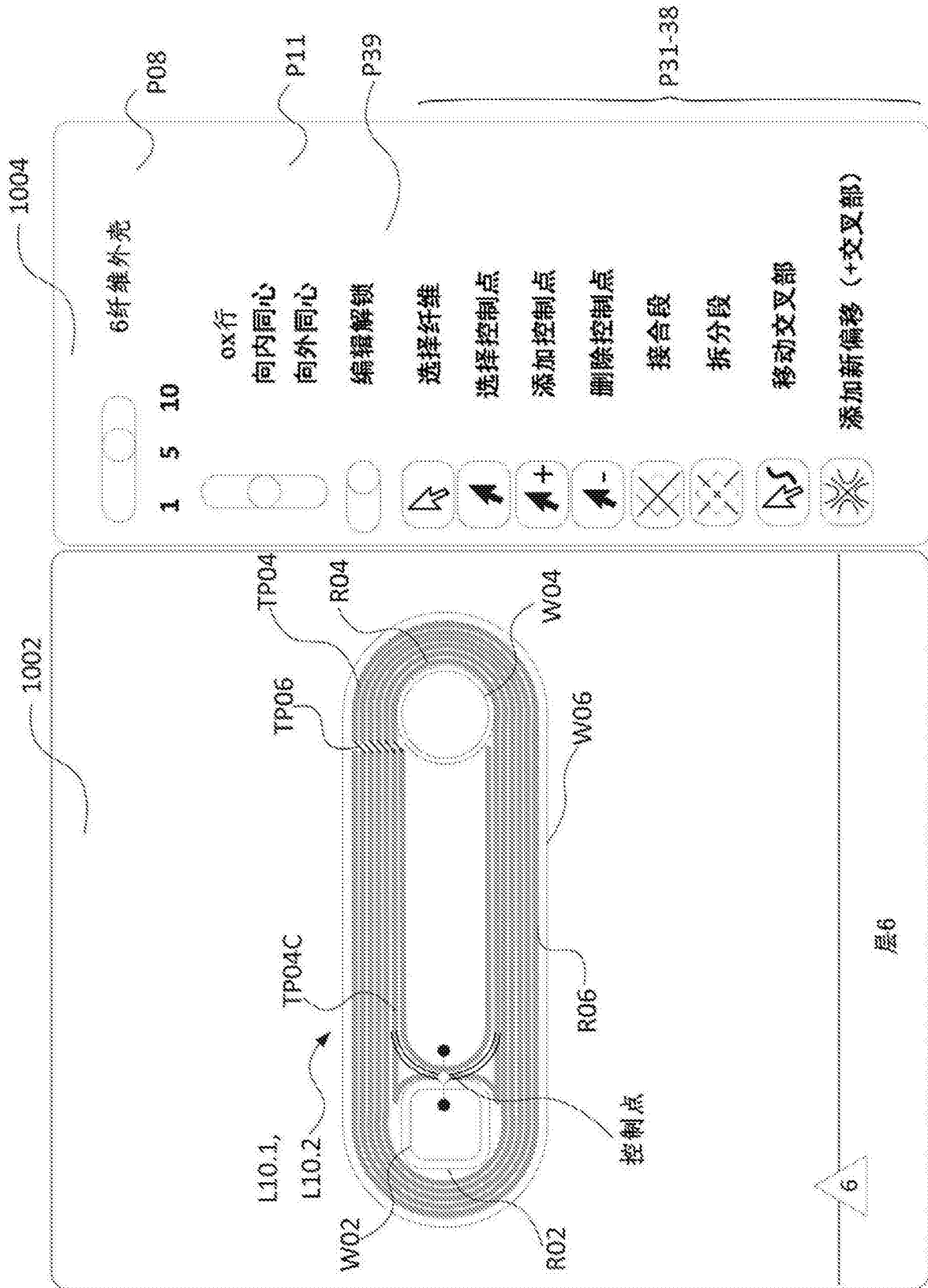


图13

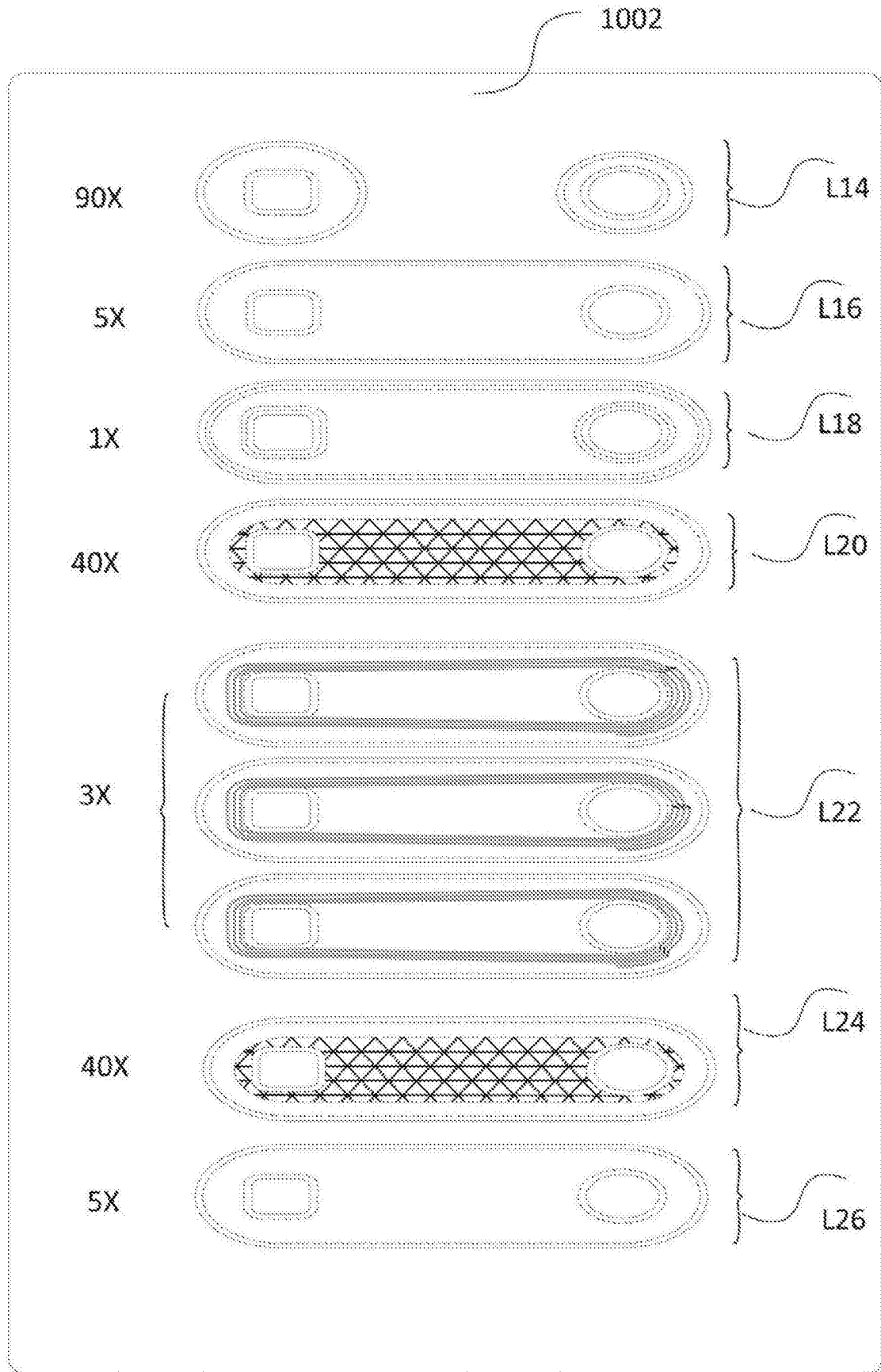


图14A

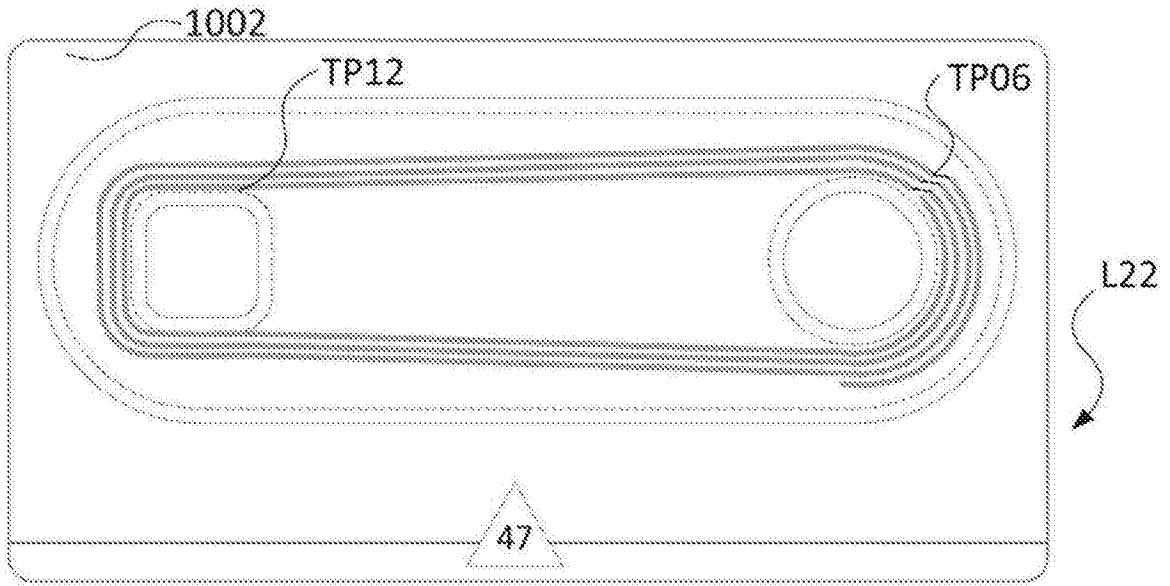


图14B

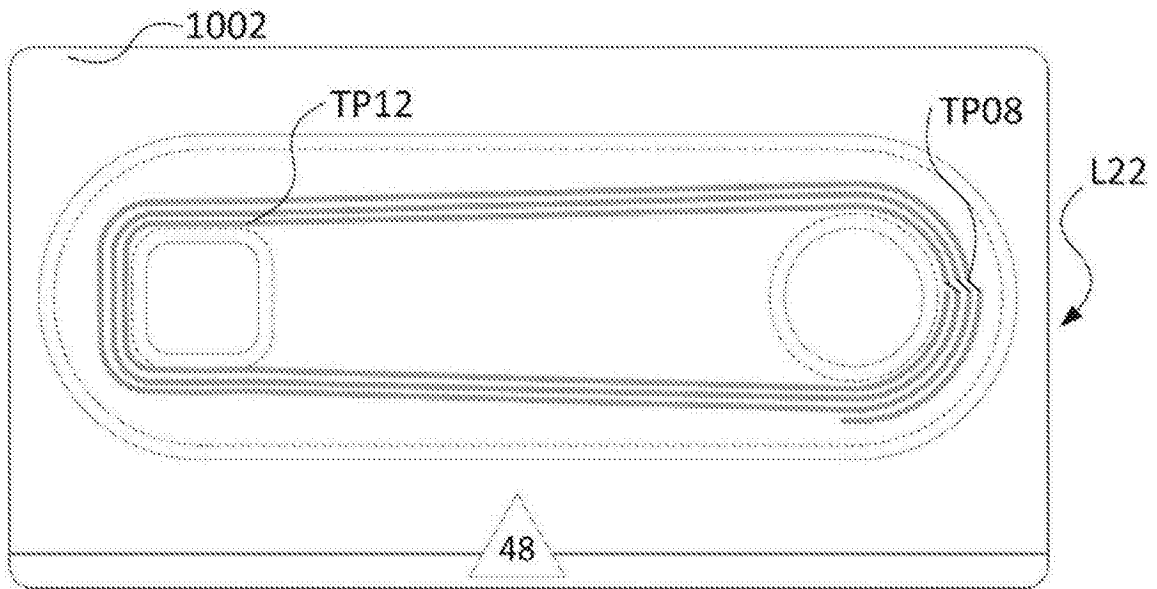


图14C

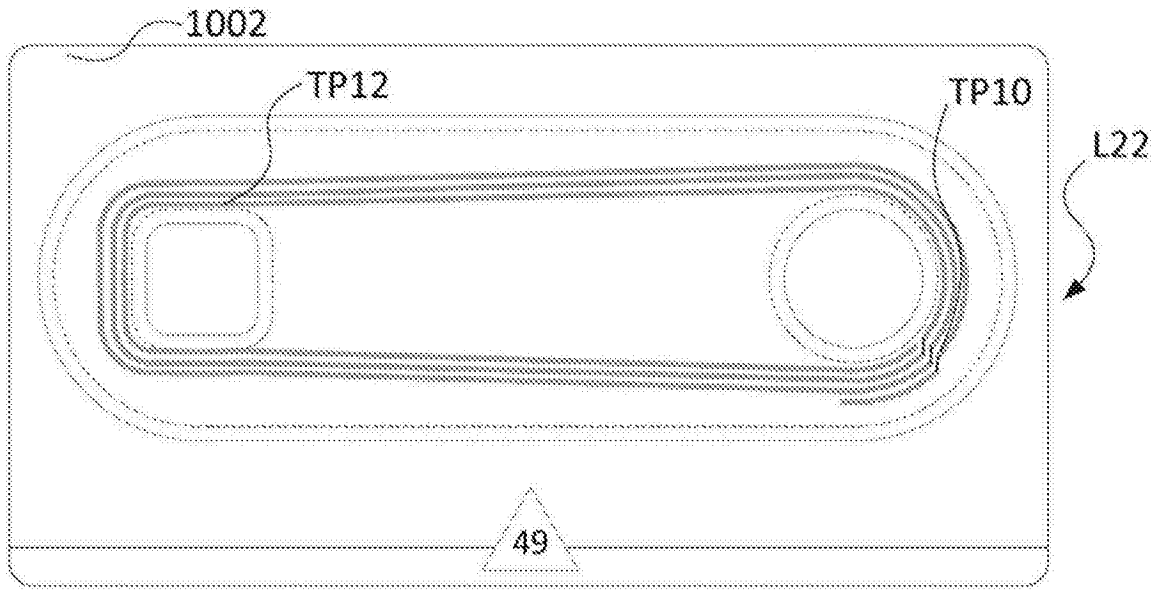


图14D

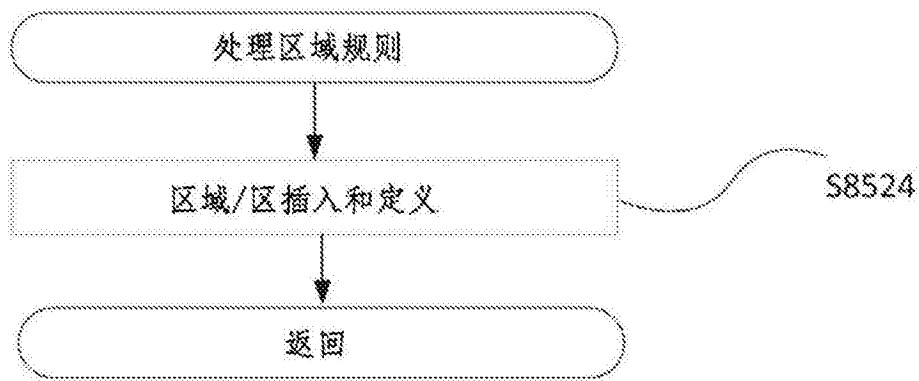


图15

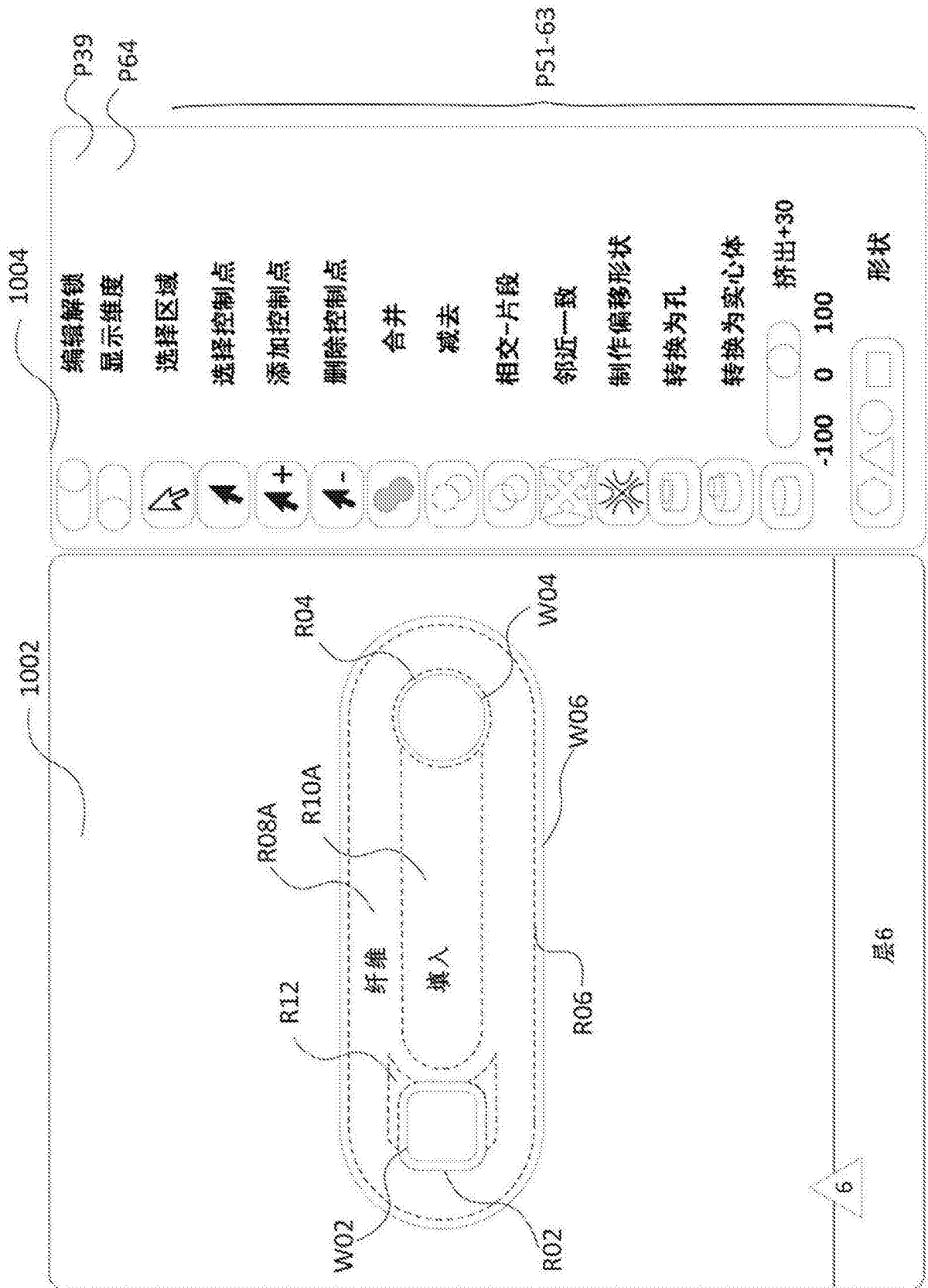


图16

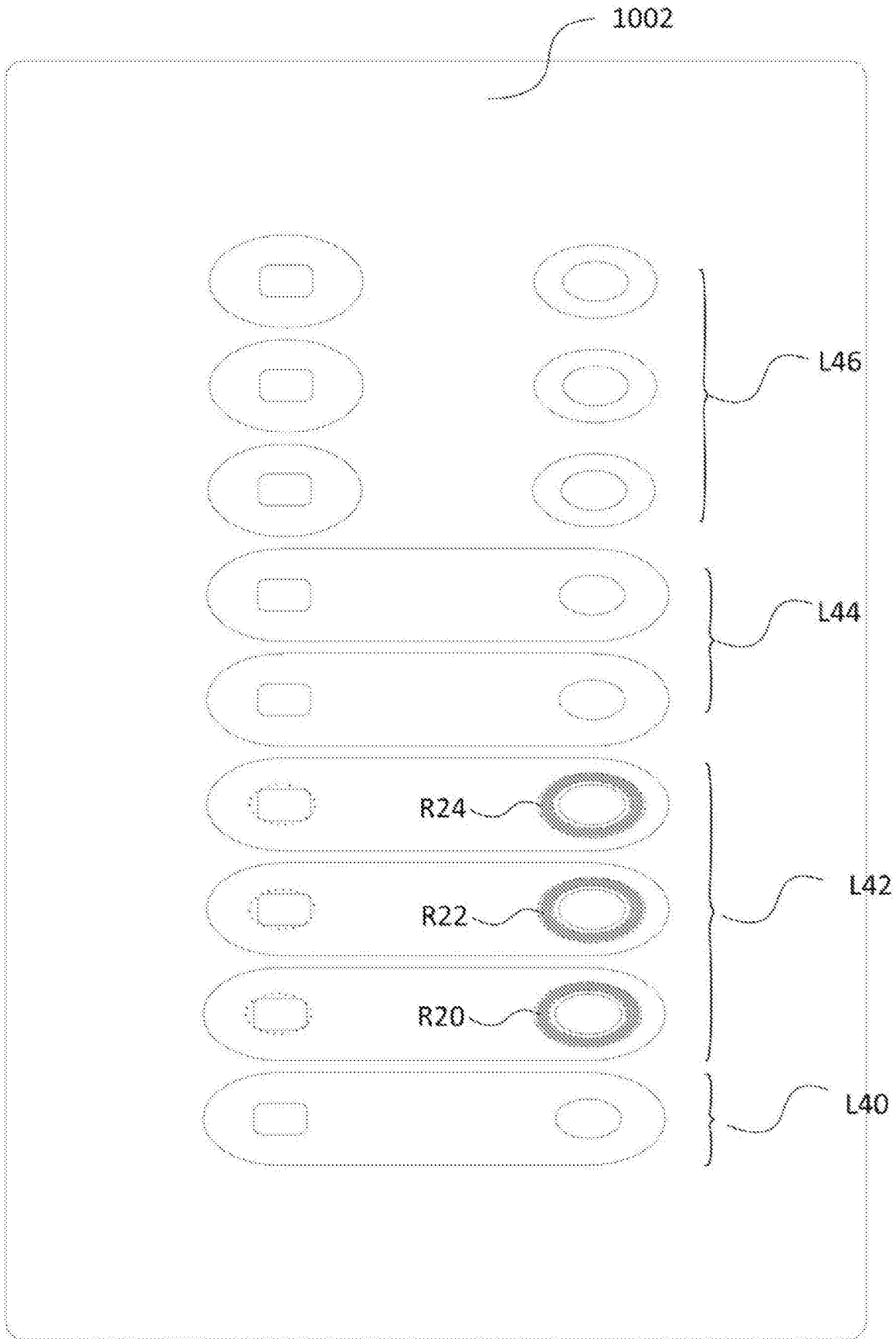


图17A

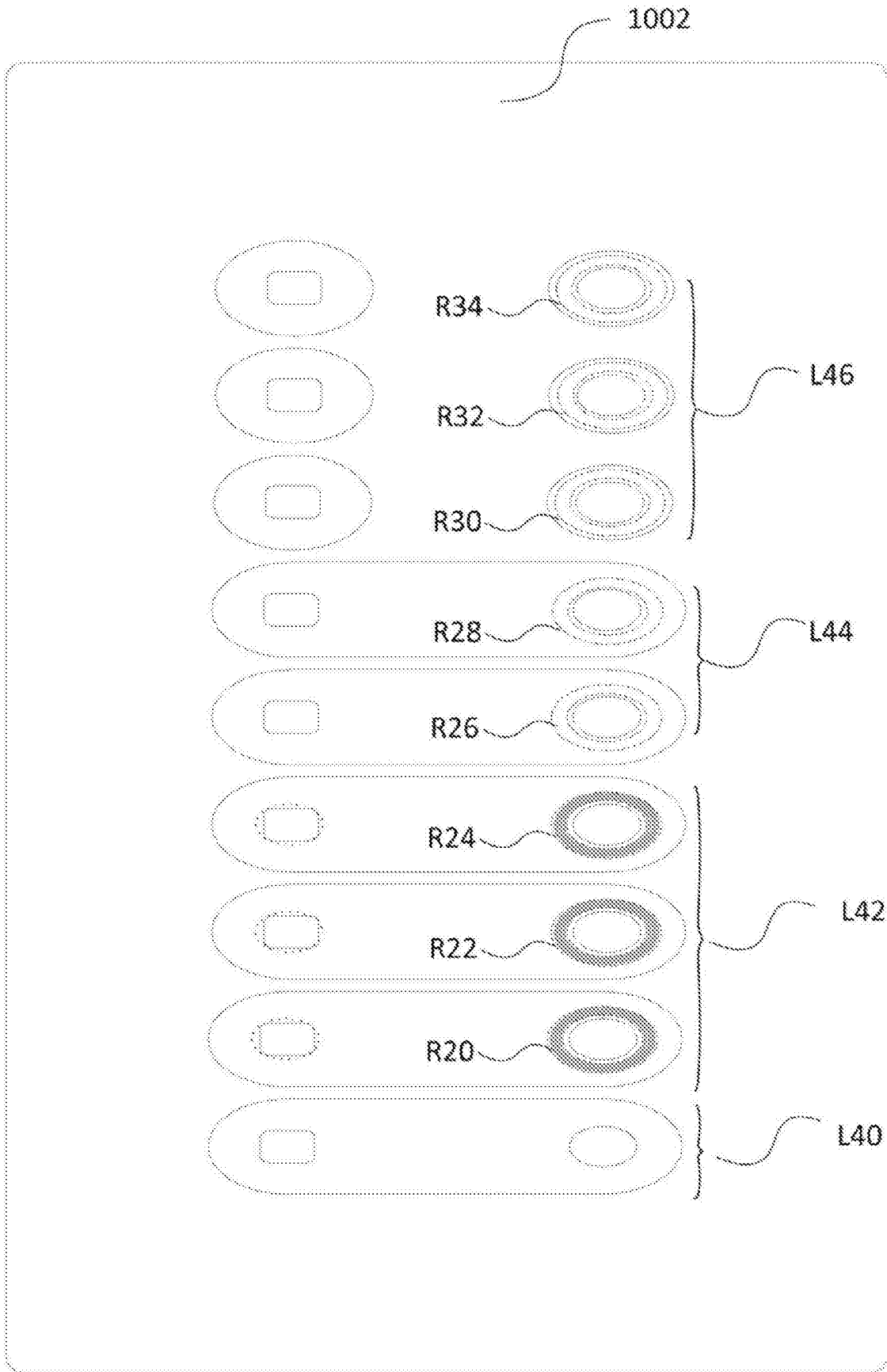


图17B

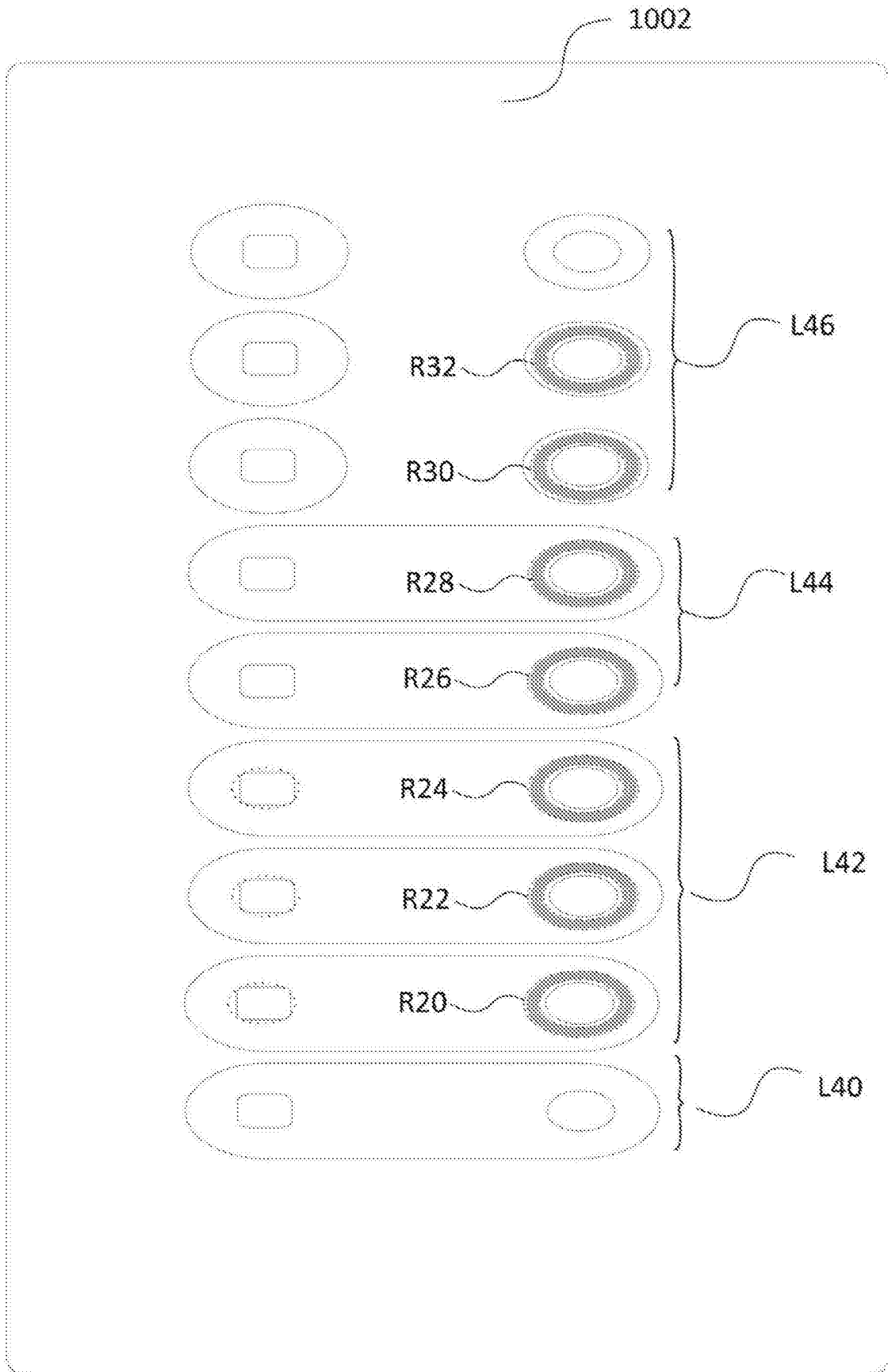


图17C

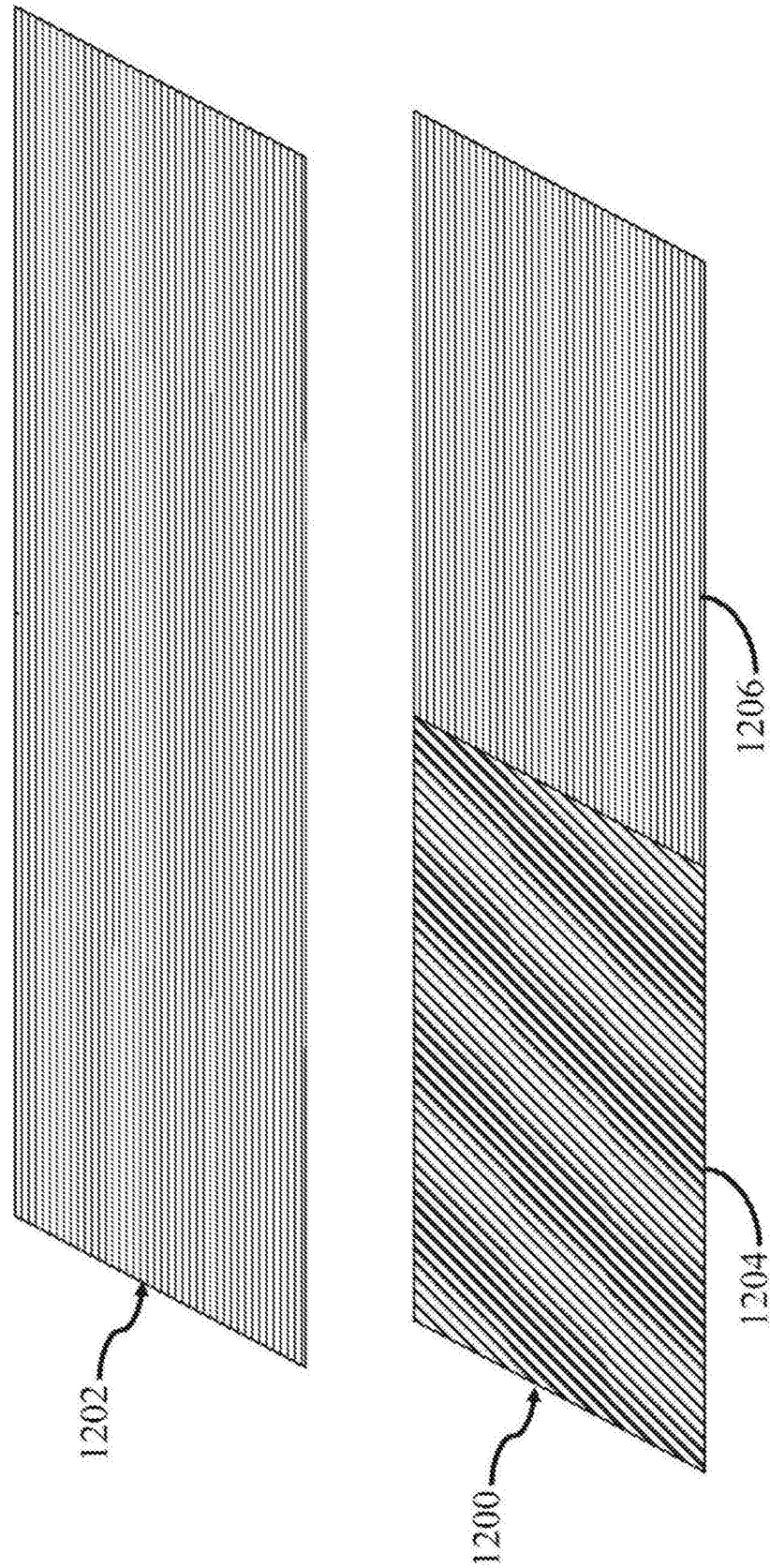


图18

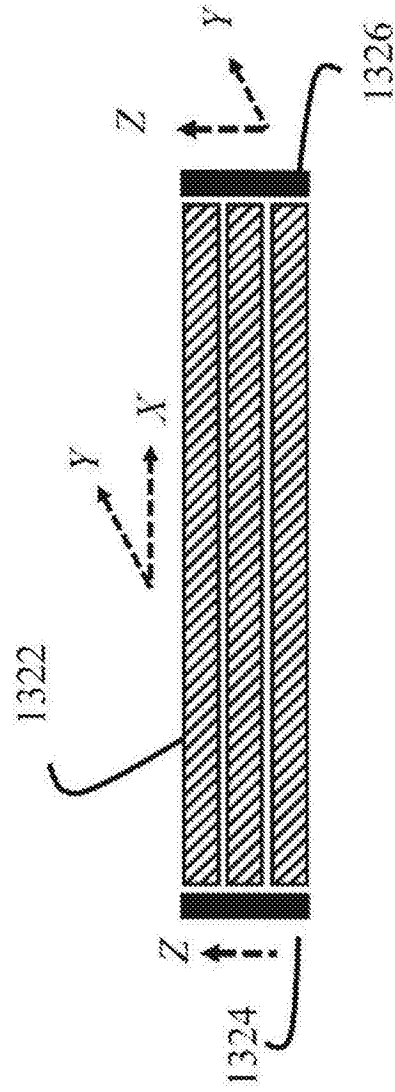


图19A

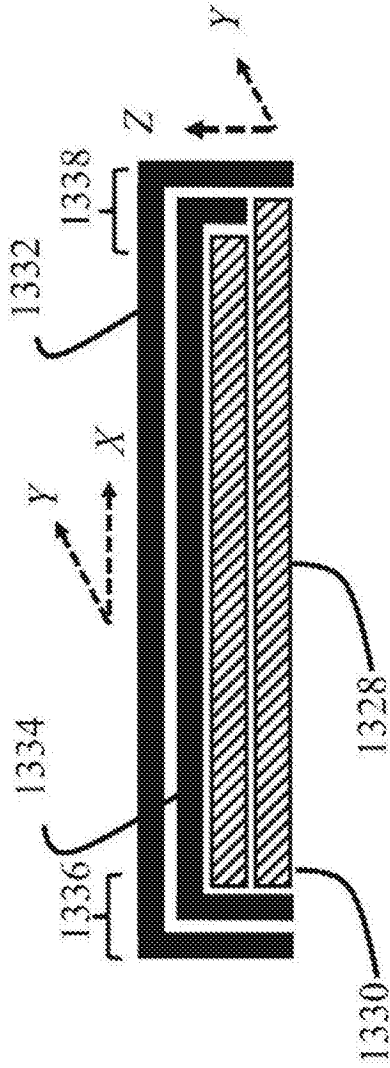


图19B

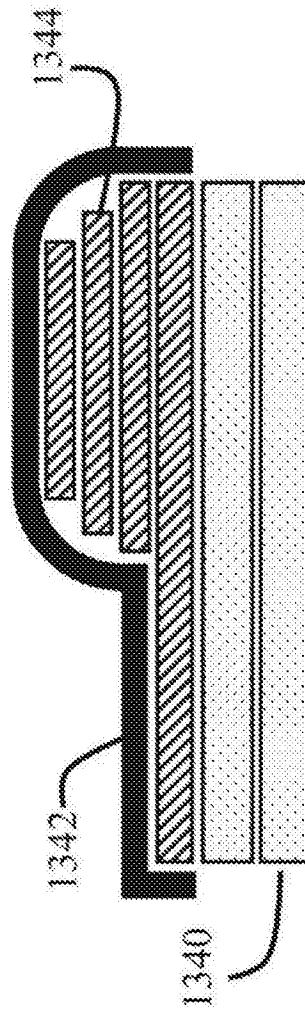


图19C

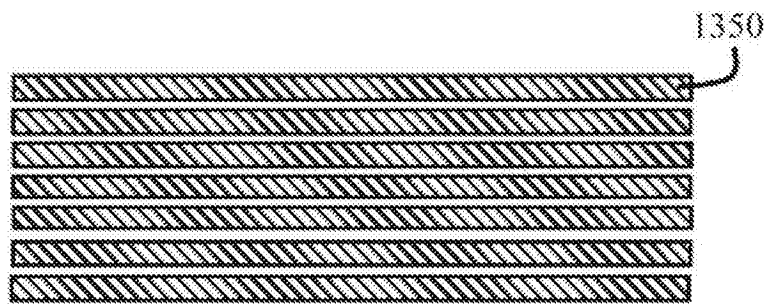


图19D

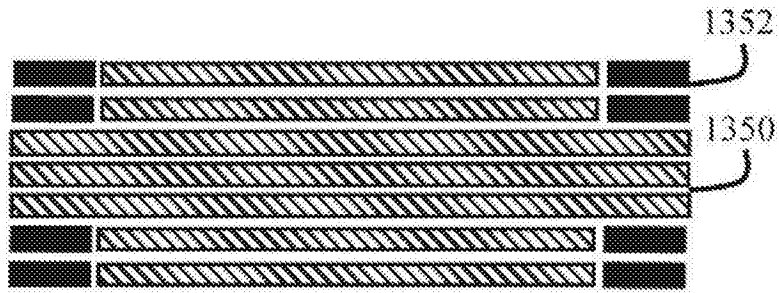


图19E

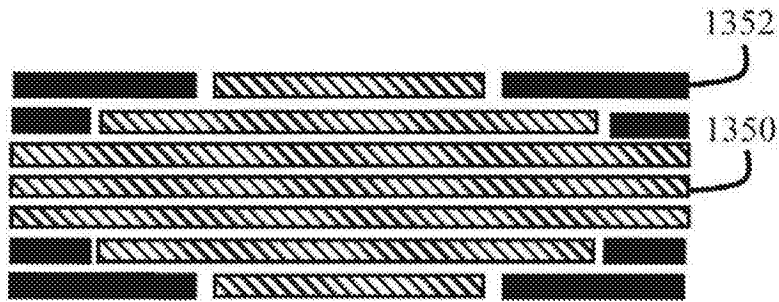


图19F

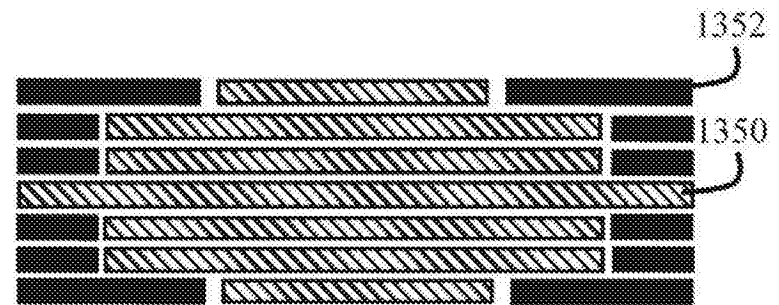


图19G

规则/参数数据库

| | | | | |
|-----------|-----------------|-----------|--------------|--------|
| 工具路径N...M | 轨迹定义 | 材料 | | |
| 区域N...M | 填充密度 | 填充图案 | | |
| 区域N...M | 使用纤维(T) | 纤维层(3) | 纤维类型(F, CAF) | 同心环(2) |
| 层N...M | 层后暂停(T) | | | |
| 层N...M | 使用纤维(T) | 纤维层(3) | 纤维类型(F, CAF) | 同心环(2) |
| 层N...M | 填充密度 | 填充图案 | | |
| 全局 | 壁层(3, 2-5) | | | |
| 全局 | 顶板和底板层(4, 2-10) | | | |
| 全局 | 使用纤维(T) | 纤维层(3) | 纤维类型(F, CAF) | 同心环(2) |
| 全局 | 使用支撑件(T) | 支撑件(S, P) | | |
| 全局 | 填充密度 | 填充图案 | | |

图20

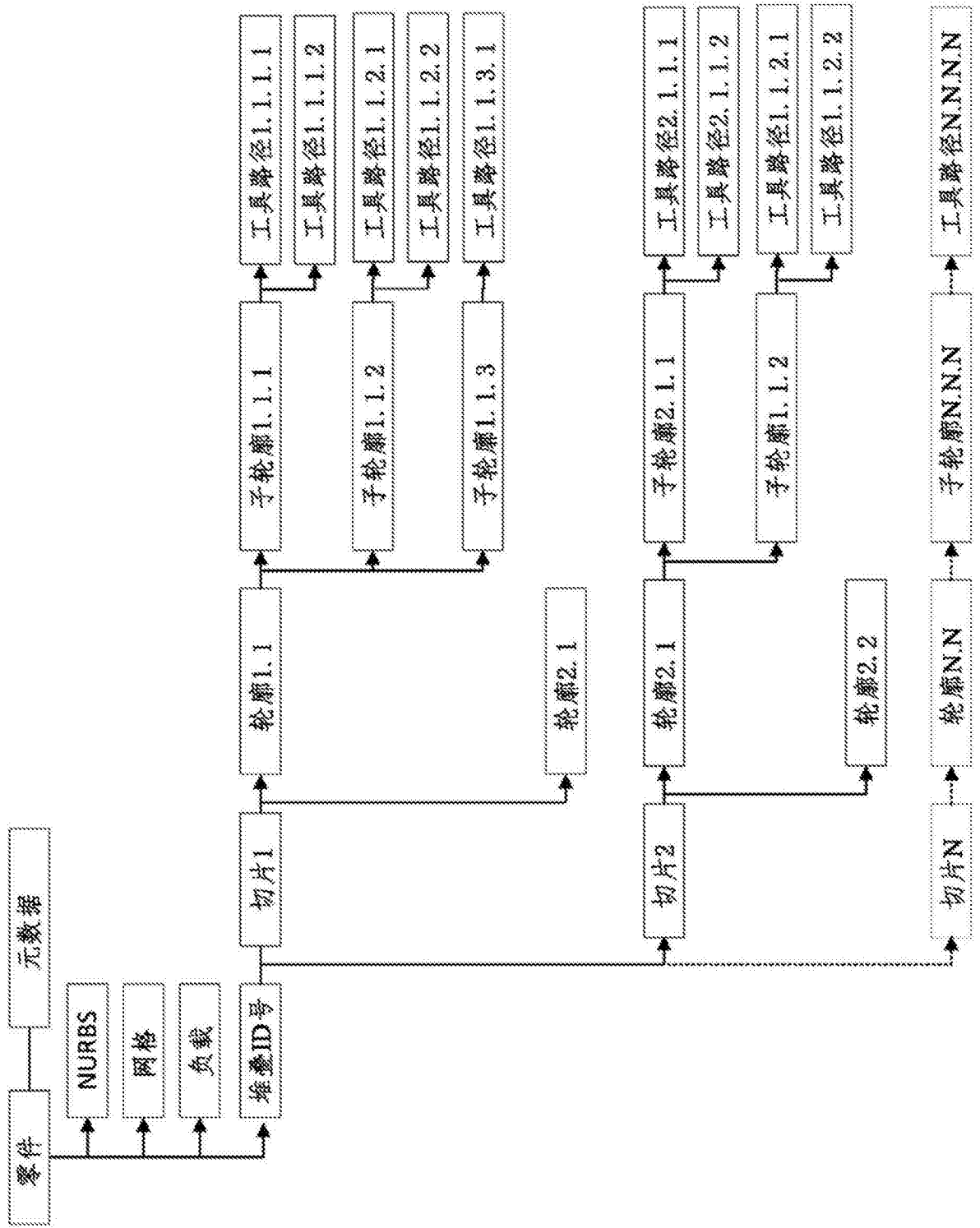


图21