



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105408092 B

(45)授权公告日 2017.07.28

(21)申请号 201480040354.7

(22)申请日 2014.07.02

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 105408092 A

(43)申请公布日 2016.03.16

(30)优先权数据  
13/945,223 2013.07.18 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2016.01.15

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/JP2014/068242 2014.07.02

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02015/008670 EN 2015.01.22

(73)专利权人 三菱电机株式会社  
地址 日本东京都

(72)发明人 威廉·S·叶拉兹尼斯  
J·C·巴威尔三世 J·卡茨  
德克·布林克曼

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

代理人 王小东

(51)Int.Cl.  
B29C 64/106(2017.01)  
B29C 64/20(2017.01)  
B33Y 10/00(2015.01)  
B33Y 30/00(2015.01)

(56)对比文件  
WO 2013/064826 A1,2013.05.10,  
JP 特开平11-138646 A,1999.05.25,  
US 5121329 A,1992.06.09,  
CN 1678448 A,2005.10.05,  
Ondrej Stava 等.Stress Relief:  
Improving Structural Strength of 3D  
Printable Objects.《ACM Transactions on  
Graphics》.2012,

审查员 赵胥英

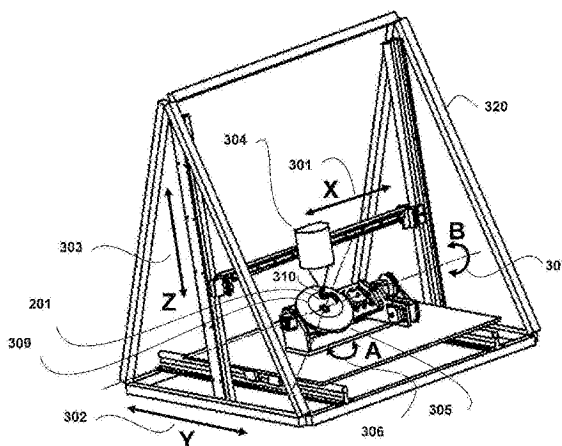
权利要求书1页 说明书5页 附图7页

(54)发明名称

使用增材制造法和具有平移旋转轴线的材料挤压机打印3D物体的设备及方法

(57)摘要

以增材方式制造物体的5D打印机包括挤压机(304),所述挤压机可以在沉积材料的同时关于所述物体沿着三个正交轴线线性地运动并且围绕轴线中的至少一个旋转地运动。门架(320)可沿着X轴线、Y轴线和Z轴线运动,并且可绕A轴线和B轴线运动的耳轴台被安装在所述门架上。台板(305)被安装在所述耳轴台上,并且所述挤压机在所述门架和耳轴台运动的同时将所述材料沉积在所述台板上。分析所述物体的模型以产生所述物体的应力张量(221),并且所述沉积是根据所述应力张量来进行的。



1. 一种用于以增材方式制造物体 (201) 的设备, 该设备包括:

挤压机 (304), 所述挤压机被构造成在沉积材料 (310) 的同时关于所述物体沿着第一正交轴线 (301)、第二正交轴线 (302) 和第三正交轴线 (303) 线性地运动并且围绕第四旋转轴线 (306) 和第五旋转轴线 (307) 中的至少一个旋转地运动; 以及

处理器 (502), 所述处理器被构造成分析所述物体的模型 (211) 并且产生所述物体的体积应力张量 (221), 并且其中所述沉积是根据所述体积应力张量以与所述第一正交轴线 (301)、第二正交轴线 (302)、第三正交轴线 (303)、第四旋转轴线 (306) 和第五旋转轴线 (307) 相关的五个运动自由度来进行的,

所述物体进行破坏性测试, 并且所述体积应力张量根据失效模式而被更新。

2. 根据权利要求1所述的设备, 其中, 所述沉积、测试和更新被重复性地进行。

3. 根据权利要求1所述的设备, 其中, 所述物体具有接近最佳的强度重量比, 以及接近恒定的壁厚度。

4. 根据权利要求1所述的设备, 其中, 所述体积应力张量是使用有限元模型确定的。

5. 根据权利要求1所述的设备, 其中, 所述体积应力张量是由所述物体的性能规格确定的。

6. 根据权利要求1所述的设备, 其中, 所述体积应力张量选自预先确定的形状库。

7. 根据权利要求1所述的设备, 其中, 所述挤压机的路径被优化。

8. 根据权利要求7所述的设备, 其中, 所述优化将生产时间降至最低。

9. 根据权利要求7所述的设备, 其中, 所述优化将所述物体的强度增至最大。

10. 根据权利要求7所述的设备, 其中, 所述优化将材料使用量降至最低。

11. 根据权利要求1所述的设备, 其中, 所述挤压机包括超声波换能器 (705), 用于辅助所述材料的结合。

12. 一种用于以增材方式制造物体 (201) 的方法, 所述方法包括以下步骤:

使挤压机 (304) 沿着第一正交轴线 (301)、第二正交轴线 (302) 和第三正交轴线 (303) 线性地运动并且围绕第四旋转轴线 (306) 和第五旋转轴线 (307) 中的至少一个旋转地运动;

在运动的同时沉积材料 (310) 以制造所述物体;

分析所述物体的模型 (211) 并且产生所述物体的体积应力张量 (221), 并且其中所述沉积是根据所述体积应力张量以与所述第一正交轴线 (301)、第二正交轴线 (302)、第三正交轴线 (303)、第四旋转轴线 (306) 和第五旋转轴线 (307) 相关的五个运动自由度来进行的;

对所述物体进行破坏性测试; 以及

根据失效模式更新所述体积应力张量。

13. 根据权利要求12所述的方法, 其中, 所述沉积、测试和更新被重复性地进行。

## 使用增材制造法和具有平移旋转轴线的材料挤压机打印3D物体的设备及方法

### 技术领域

[0001] 本发明总体涉及增材制造 (additive manufacturing), 更具体地涉及使用具有平移旋转自由度的材料挤压机来打印三维 (3D) 物体。

### 背景技术

[0002] 3D打印是由数字模型制出任意形状的三维物体的增材制造工艺。在3D打印中, 将连续的材料层相邻地铺放而形成所述物体。通常情况下, 圆形或带状材料被挤压穿过可运动的喷嘴。

[0003] U.S. 5,121,329描述了熔融沉积造型, 其中在产生熔化的热塑性材料的流或带的同时, 使挤压机在直角坐标系中运动。将所述带彼此相邻地铺放, 以产生填充期望物体的容量的层。

[0004] U.S. 5,866,058描述的是控制局部环境以维持被挤压材料低于凝固温度, 并且在制出物体的同时高于蠕变松弛温度。

[0005] 一般情况下, 由现有技术方法产生的物体具有严重的各向异性拉伸强度变化的非期望性能。单独的熔化的热塑性材料带具有接近材料整体强度的轴向强度, 但带间和层间结合强度变化很大。

[0006] 例如图1所示, 对于注射模制的丙烯腈-丁二烯-苯乙烯 (ABS) 而言, 单独的带轴向拉伸强度约为30兆帕斯卡 (MPa), 在大约20MPa下具有45/-45度交错和0/90定向复合, 以及约2MPa的横向 (带到带) 强度, 或者约为带的轴向强度的1/15。

[0007] 特种聚合物, 诸如以如U.S. 20090295032中描述的聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 功能化的ABS, 可以改进结合。诸如聚醚酰亚胺的高成本材料可以产生使层间结合强度中的最小强度为35MPa并且使单独的带拉伸强度最大为90MPa的部件, 这是2:1的强度差异, 但仍远好于常规ABS的15:1比率。

[0008] U.S. 5,906,863描述的是将短纤维添加至诸如陶瓷浆料的热固性混合物, 以产生具有定向纤维的“新鲜部分”。未描述控制取向的具体方法。

[0009] 大多数现有技术3D打印机是以工件和挤压机的三个线性正交 (XYZ) 操纵的自由度为基础的。

[0010] 一些3D打印机使用旋转盘或柱体作为支撑基座, 见W0 2011/011818, 以便提供更均匀的表面以散播稍后将被粘合、溶剂结合或激光烧结的粉末。

### 发明内容

[0011] 以增材方式制造物体的3D打印机包括挤压机, 所述挤压机可以在沉积材料的同时, 关于所述物体沿着三个正交轴线线性地运动并且围绕轴线中的至少一个旋转地运动。

[0012] 门架 (gantry) 可沿着X轴线、Y轴线和Z轴线运动, 并且可绕A轴线和B轴线运动的耳轴台 (trunnion table) 被安装在所述门架上。台板 (platen) 被安装在所述耳轴台上, 并且

所述挤压机在所述门架和耳轴台运动的同时将所述材料沉积在所述台板上。

[0013] 分析所述物体的模型以产生所述物体的应力张量,并且所述沉积是根据所述应力张量来进行的。

### 附图说明

[0014] [图1]

[0015] 图1是由现有技术3D打印机使用的挤压材料的常规各向异性拉伸强度特性的示意图;

[0016] [图2]

[0017] 图2是根据本发明的实施方式的增材制造的方法的流程图;

[0018] [图3]

[0019] 图3是根据本发明的实施方式的5D打印机的示意图;

[0020] [图4A]

[0021] 图4A是根据本发明的实施方式的现有技术材料图案的示意图;

[0022] [图4B]

[0023] 图4B是根据本发明的实施方式的材料图案的一个示意图;

[0024] [图4C]

[0025] 图4C是根据本发明的实施方式的材料图案的另一示意图;

[0026] [图5]

[0027] 图5是根据本发明的实施方式基于拉伸强度的增材制造的方法的流程图;

[0028] [图6]

[0029] 图6是根据本发明的实施方式的各向同性拉伸强度特性的示意图;

[0030] [图7A]

[0031] 图7A是根据本发明的实施方式的挤压机部件的一个示意图;

[0032] [图7B]

[0033] 图7B是根据本发明的实施方式的挤压机部件的另一示意图;

[0034] [图7C]

[0035] 图7C是根据本发明的实施方式的挤压机部件的另一示意图;

[0036] [图7D]

[0037] 图7D是根据本发明的实施方式的挤压机部件的另一示意图;以及

[0038] [图7E]

[0039] 图7E是根据本发明的实施方式的挤压机部件的另一示意图。

### 具体实施方式

[0040] 本发明的实施方式提供了一种使用增材制造法来产生三维(3D)物体的打印机。作为优点,所述物体具有沿着物体在被使用时的高应变方向取向的高拉伸强度。

[0041] 基于应力的设计

[0042] 如图2所示,对于一个实施方式,计算机辅助设计(CAD)模块210用于产生示例性3D(球形)物体201的模型211。分析500模型以确定当物体在使用时可能存在的应力的分布。分

析的结果为体积应力张量221,例如,

$$[0043] \quad \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix} \text{ 或 } \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix}$$

[0044] 这取决于张量的坐标是否编号为 $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ ,或者简单地标记为 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 。根据本发明的实施方式,张量用于控制打印机300的运动230和挤出速度。CAD以及分析可以由处理器502执行,处理器502连接到本领域中已知的存储器和输入/输出接口。

[0045] 作为优点,为达到3D取向,打印机使用沿着正交轴线进行的3D线性平移运动,以及绕轴线A和B进行的角度旋转运动,以实现对应于体积应力张量221的期望拉伸强度。所述运动由控制器301a确定,控制器301a运行单个流的G代码。G代码是最广泛使用的数值控制(NC)程序设计语言。G代码引导打印机制出由指令定义的物体,该指令使用预先确定的位置和速度使挤压机相对于支撑基座和物体运动。

[0046] 打印机

[0047] 图3示出了五个自由度(5D)打印机的一个实施方式。可运动门架320的线性水平轴线X 301和Y 302以及垂直轴线Z 303用于相对于设备台板305来定位挤压机304。使用常规G代码符号“A”和“B”(针对角度),台板305可以绕两个旋转轴线A 306和B 307旋转和倾斜。在机加工领域,交叉轴线A和B的组合通常被称为“两个轴线耳轴台”或简单地被称为“耳轴台”。

[0048] 通过将材料带310馈送穿过挤压机以及将可处置的支撑件309沉积在台板上来构建物体201。然后,物体可以沉积在可处置的支撑件上。一般通过很稀疏地铺放被设计成当制造完成时容易挣脱物体的材料带来构建可处置的支撑件。换句话说,使支撑件易折是理想的。可处置的支撑件具有足够的厚度,以允许挤压机达到接近物体201的完整360°半球形。

[0049] 通过使挤压机沿着X轴线、Y轴线和Z轴线线性地运动,并且绕A轴线和B轴线成角度地运动,挤压机可以实现相对于物体而言的任何期望的位置和角度,由此可以将具有任何期望的轴线取向的挤压材料带310沉积在物体上。

[0050] 可以理解的是,可以由打印机以许多不同的取向制造所述物体。然而,由于支撑件需要的厚度减少,一些取向可能是首选的。

[0051] 作为这种工艺的示例,考虑应力不均匀的平板。如果平板的应力分析表明:材料在特定区域中的拉伸负载在东西方向为10MPa,在南北方向为5MPa,并且在上下方向为零,则最佳的材料铺放将是两个带呈东西,随之,一个带呈南北,然后,两个带呈东西,随之,一个带呈南北,如此反复,直到获得期望的材料厚度。可以针对其它形状而使用其它简单的图案。

[0052] 示例:压力罐

[0053] 如图4A、图4B和图4C所示,更感兴趣的示例性物体为球形压力罐。为了便于这种描述,忽略了检修孔和安装硬件。

[0054] 从一小部分罐壁材料的局部角度来看,每个邻近部分看起来都是相同的。应力张量表明,每个小容量的罐壁均在垂直于罐的径向方向的所有方向上承受均匀的张力。然而,从全局的角度来看,应力张量随着每个小容量的罐材料的纬度和经度而变化。

[0055] 如图4A所示,球形罐“北极”处的缀块所经历的力被常规XYZ 3D打印机的XY铺放路径良好地适应。然而,球形罐的赤道在Z方向404承受较大拉伸应力,如上所述这在常规3D打印机中是非常脆弱的。这是因为常规XYZ 3D打印机无法铺放与Z轴线对准的带。由此,在常规3D打印机上打印的球形罐具有脆弱的赤道,并且当承受过压时可能在赤道处破裂。朴素的解决方案将使赤道材料更厚,例如对ABS来说,需要十倍厚,或者使压力罐不对称,例如沿着Z轴线更长。

[0056] 然而,在最大强度罐的更好的解决方案中,罐的每个部分均应该大部分由径向带构成,每个径向带垂直于罐的径向“出”方向。整个罐表面可以镶嵌以这些径向带图案的几何分散体,即,规则的和抽象的正多面体,以及由测地手段产生的几何分散体。这大大改进了罐的拉伸强度。

[0057] 常规三自由度XYZ打印机不可能实现铺放这种带图案所需要的取向。然而,如本文中描述的5D打印机使挤压机沿着XYZ轴线平移,并且使物体沿着A轴线和B轴线旋转,能够产生接近最佳的强度重量比并且接近恒定的壁厚的压力罐。

[0058] 图4A示出了由常规3D打印机构建的球形压力罐400的带材料的常规布置。层401、402、403等被“脆弱地”附接在Z 404方向上,给定材料在Z方向上的约2MPa的拉伸极限,2MPa大约为300PSI,所以如果压力容器对被包含的加压流体具有1平方英寸的内部横截面,并且赤道环横截面也是一平方英寸,则预计容器将在大约300PSI的压力下沿Z方向破裂。

[0059] 图4B示出了球形压力容器450的带挤压的一个实施方式。首先,一个带厚的内壳410由挤压机进行沉积。然后,一系列径向带的星号形状411-415通过使用5D打印机300直接进行打印。对于球形压力容器的局部区域处的压力引起的应力而言,每个星号均具有最佳强度的带铺放图案。打印这些径向带图案的最佳放置和顺序可以随机或确定性地加以确定。

[0060] 例如,第一径向带图案411可以打印在表面上的任何地方。第二图案可以打印在与第一地方不重叠的任何地方。优选地,为了将运动时间降至最低,图案应该是与第一图案不重叠的最接近的图案。该“最接近的不重叠”选择方法继续,直到不再有不重叠的图案可以打印。然后,所有的打印图案都从考虑中去除,并且选择并打印另一随机选择的图案。“最接近的不重叠”选择方法重复,直到所有的期望图案都放置在表面上。假设轴线上的屈服强度最大,预期,同一平方英寸的有效载荷横截面,一平方英寸20和30MPa之间的环强度,或者失效时约3000到4000PSI,这样的数量级优于由常规3D打印机打印的物体。

[0061] 图4C示出了另一实施方式。该实施方式基于的启发是,可以通过在XY 423、XZ 422和YZ 421平面中缠绕平行挤压,或者通过类似于地球仪上纬度线和经度线的方向缠绕来构建球形压力罐420。虽然具有不平行材料带的这些挤压图案就强度重量比而言可能不太理想,但是图案更易于计算、分析和编程适当的五个自由度运动。在不平行沉积的情况下,材料可以根据物体上局部应力的加权求和进行分布。

[0062] 分析

[0063] 图5示出了设计和分析501备选方案。应力张量221可以由有限元方法(FEM) 510确定。FEM是确定边值问题的近似解的数值技术。FEM使用变分法来将误差函数降至最低并产生稳定的解决方案。

[0064] 替代地,张量可以根据应力张量性能规格来确定520,或者假定530为恒定的、均匀

的或选自典型形状的预定库。适当的可处置的支撑件309还可以设计成同样的方式。然后，物体201可以由打印机300构建。

[0065] 随后，物体可以进行破坏性测试550。被测试物体的失效模式然后可以用于更新560实际使用中的应力张量，并且更新的应力张量然后用于产生更优化的铺放图案，用于接下来产生物体。该重复工艺可以根据期望而重复，从而允许进一步产生使强度取决于自动设计的实际使用中的失效模式的物体。

[0066] 在另一实施方式中，对于期望物体内的各种带的首选取向，以一些便捷的细节水平直观地确定应力张量。例如，设计人员可能知晓的是，物体将用作具有高的内部压力的液压缸，并将由外框使之轴向压缩，从而仅需要小的轴向拉伸强度量。由此，设计人员将指定大多数(如果不是所有)的带铺放为围绕缸内部轴对称的圆形路径。

[0067] 图6示出了呈圆环曲面形状的物体600，对于根据实施方式的各种轴线具有对应的拉伸强度。这些挤压图案用常规3D打印机是不可能再现的。

[0068] 替代实施方式

[0069] 图7A示出了在挤压期间使挤压机绕Z轴线旋转以将“扭曲”带入带材料中的布置，类似于纺线以增加其拉伸强度的方式。如果材料具有圆形横截面，则挤压机可以包括如图7B和图7C所示的内部矩形或多边形波形起伏(riffling)。波形起伏将优选的取向或微观结构施加给挤压材料。

[0070] 图7D示出了其中挤压机呈“J”形并可以绕Z轴线旋转的构造。以这种方式，挤压机可以将材料沉积在难以到达的物体内部的其它地方。

[0071] 在一个替代实施方式中，例如，为了将生产时间降至最低，将强度增至最大，将材料使用量降至最低，喷嘴跟随的“路径”能以各种方式进行优化。

[0072] 在如图7E所示的另一实施方式中，挤压与超声波结合相组合，由此使用换能器705将高频超声波声能局部地施加给材料，以实现固态“结合”。这对热塑性材料是有用的，尤其对挤压和接合不同的材料是有用的。该超声波结合辅助技术可以选择性地使用，诸如用于产生建立在高度易折支撑(无超声波辅助而产生)上的“强壮”物体(用超声波辅助产生)，即，打印机产生了具有各种强度的材料结合。

[0073] [工业应用]

[0074] 本发明的设备和方法可应用至各种各样的领域。

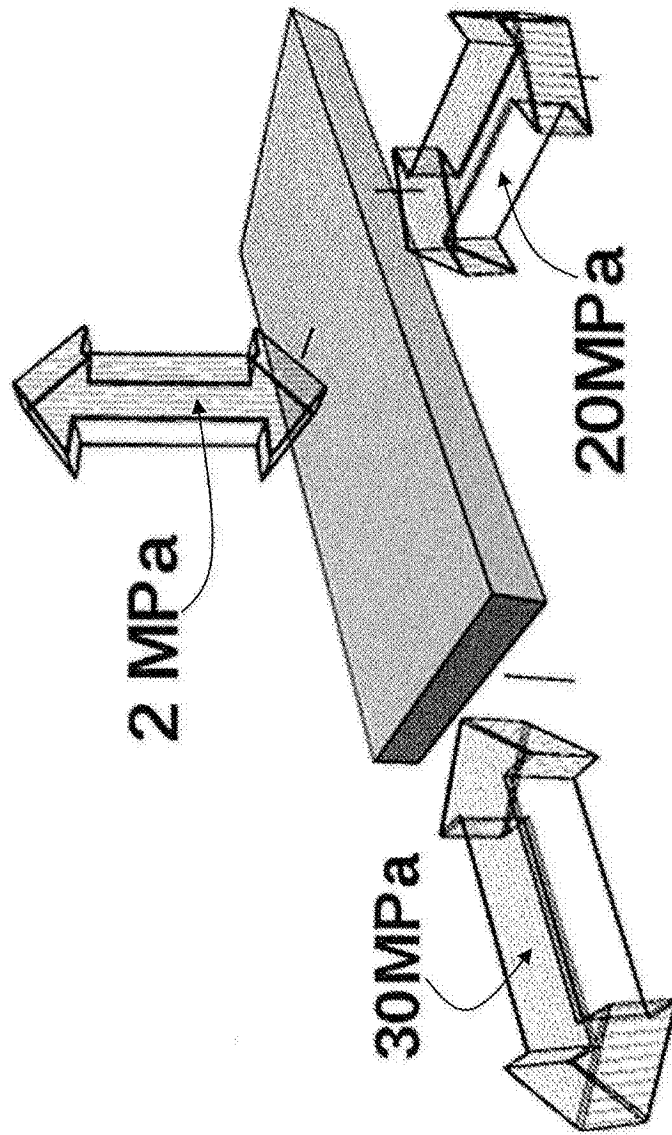


图1



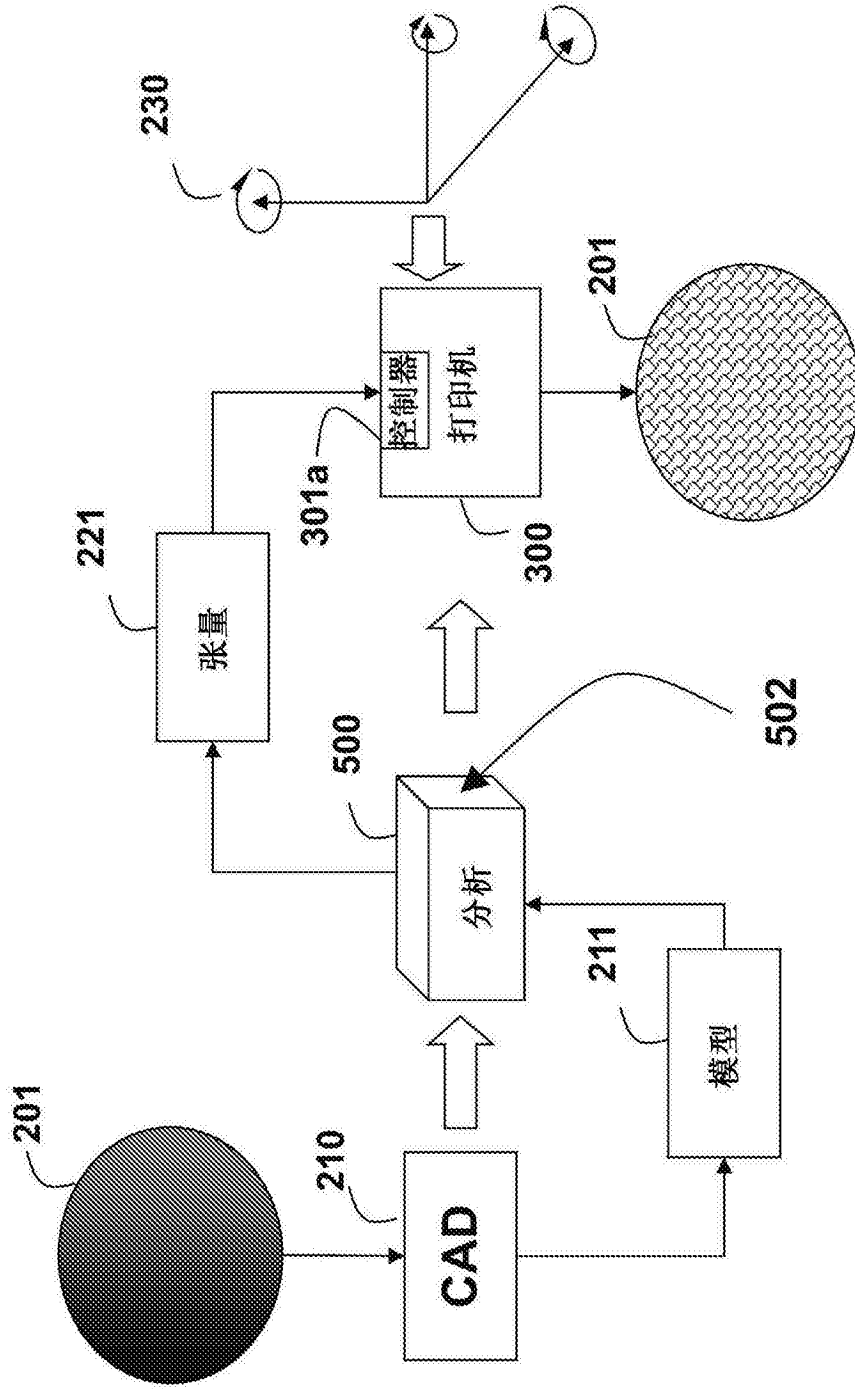


图2

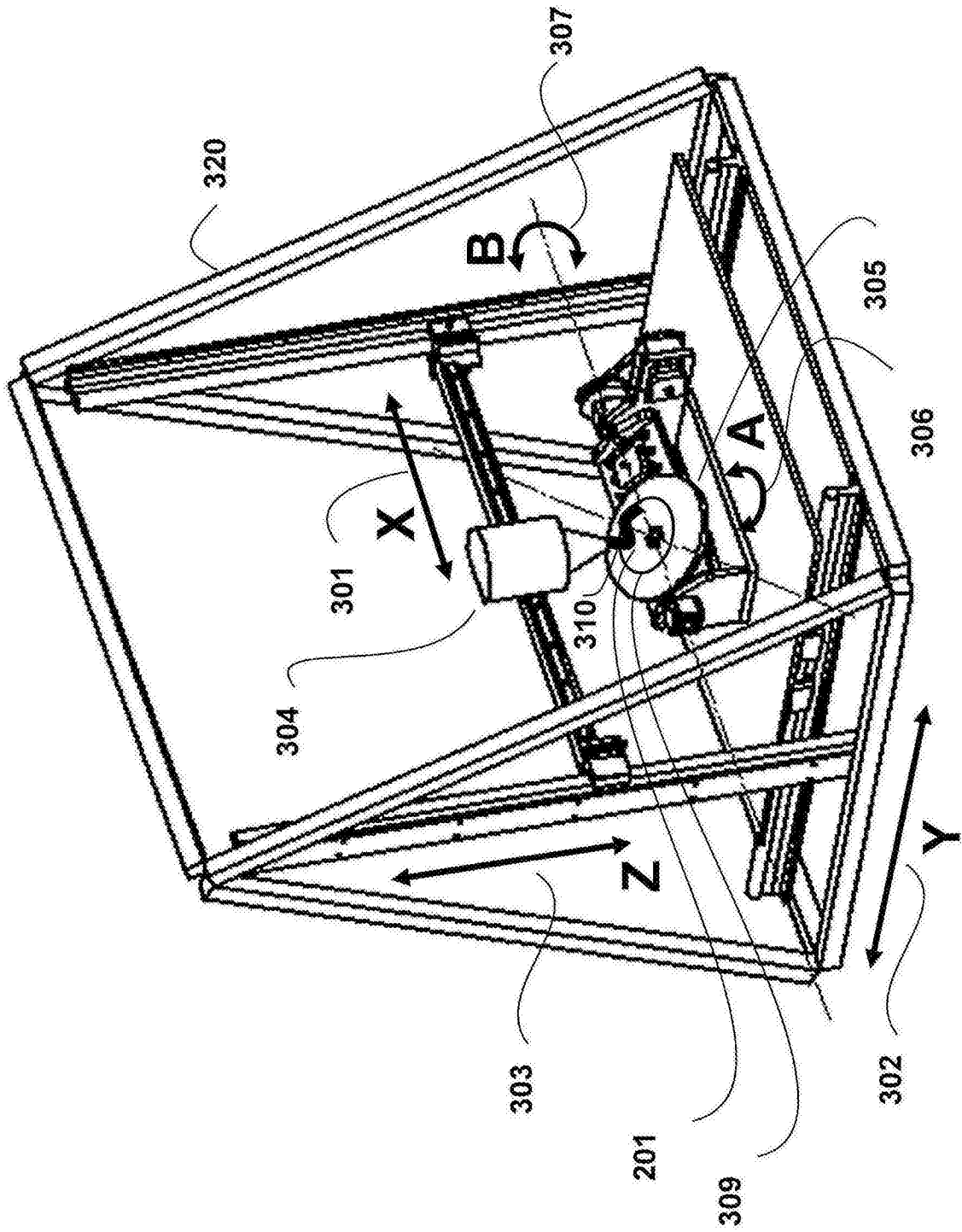


图3

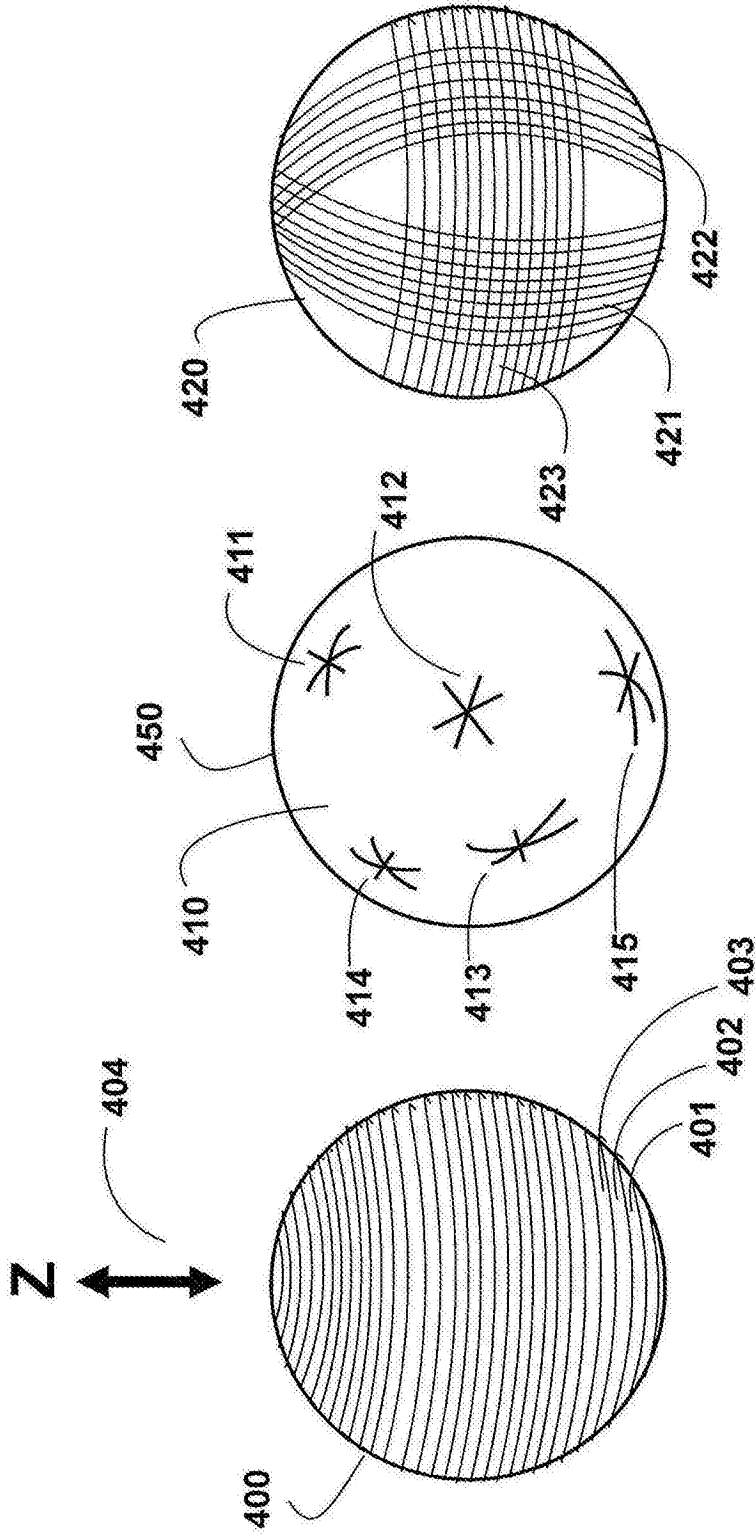


图4C

图4B

图4A

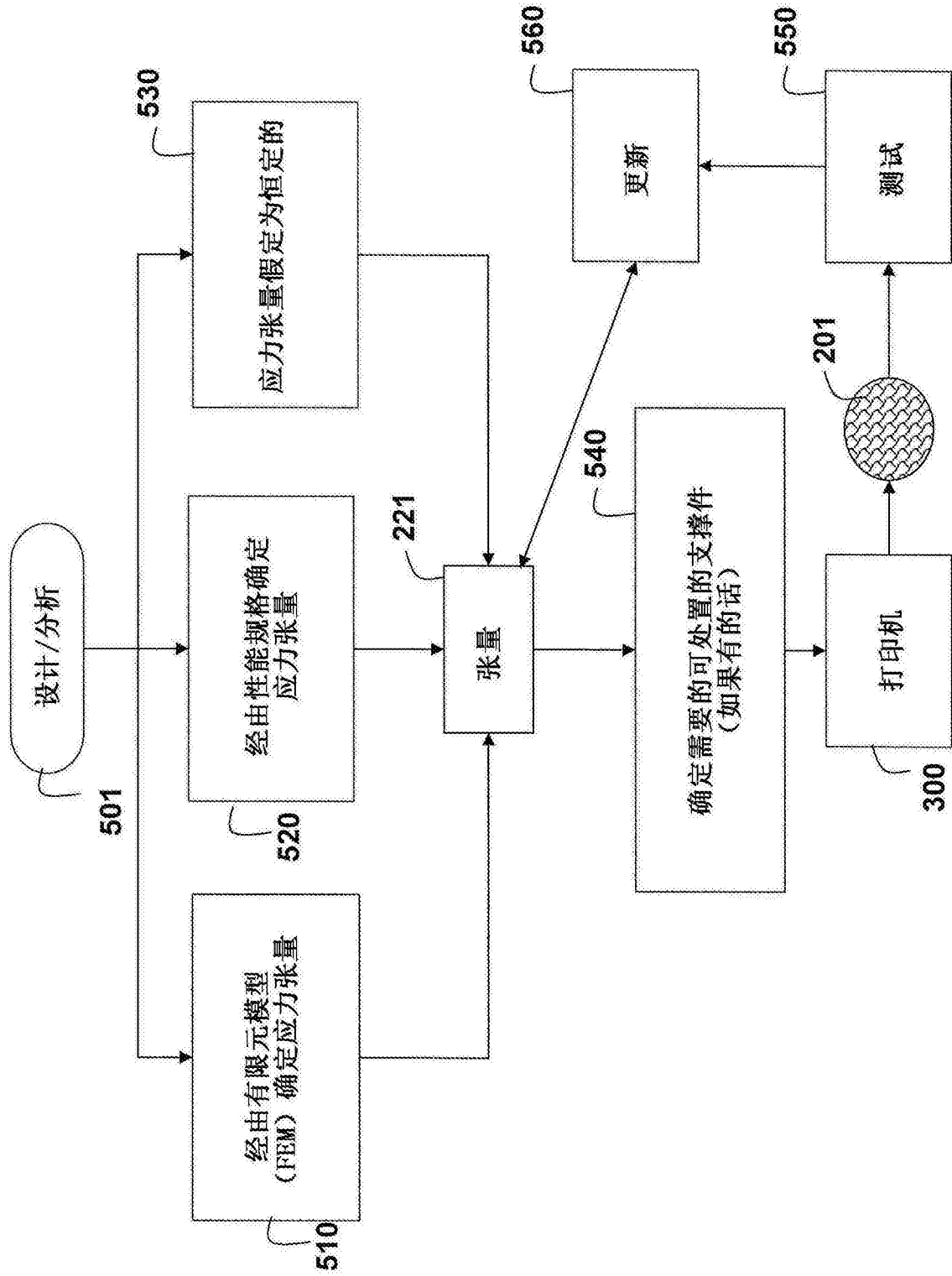


图5

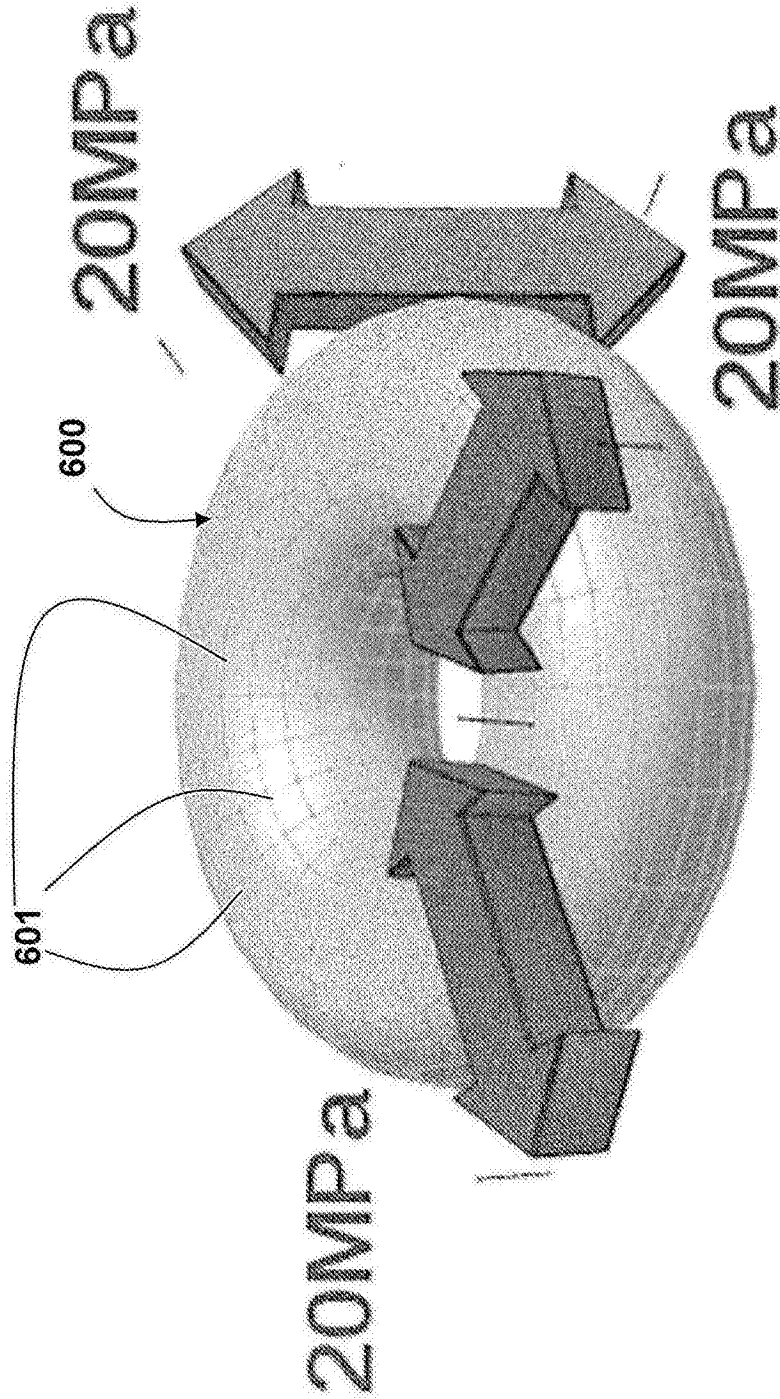


图6

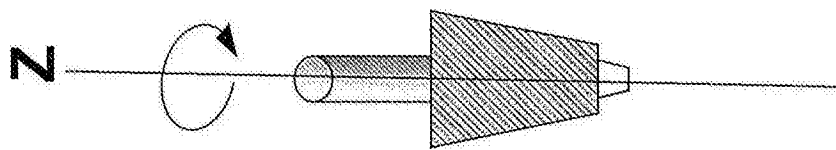


图7A

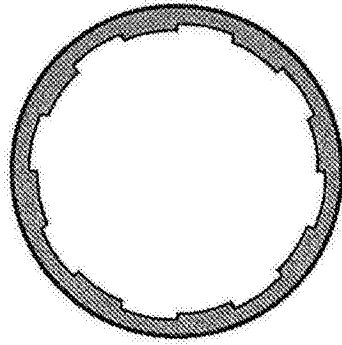


图7B

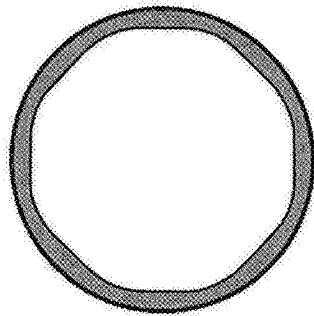


图7C

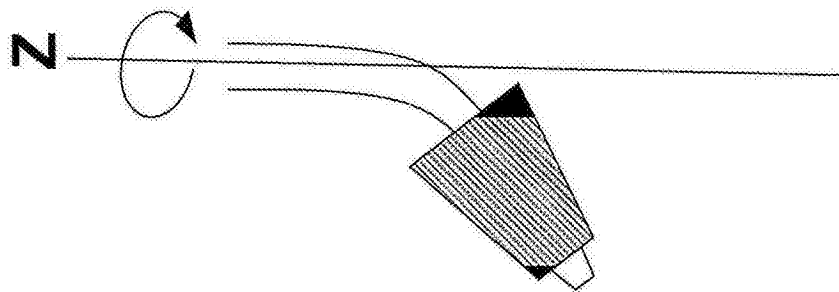


图7D

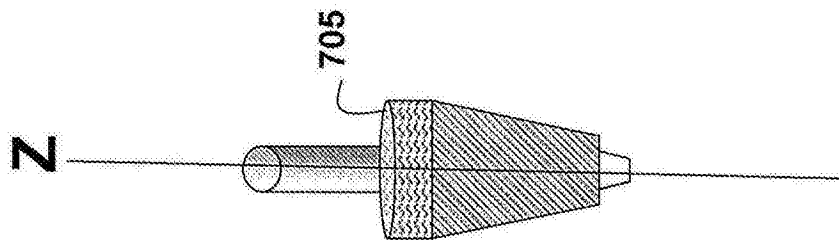


图7E