(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109719829 B
(45)授权公告日 2021.09.17

(21)申请号 201910064375.7

(22)申请日 2019.01.23

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109719829 A

(43)申请公布日 2019.05.07

(73)专利权人 宁波多维时空智能设备有限公司
地址 315000 浙江省宁波市高新区汇海路52号037幢1508-44

(72)发明人 徐宇杰 王庭 王站 陈杰

(74)专利代理机构 上海申新律师事务所 31272
代理人 俞涤炯

(51)Int.Cl.
B28B 1/00(2006.01)
B33Y 10/00(2015.01)
C04B 35/14(2006.01)
C04B 33/04(2006.01)
C04B 35/622(2006.01)

(56)对比文件
CN 108299001 A,2018.07.20
CN 208162610 U,2018.11.30
CN 106903775 A,2017.06.30
CN 105601277 A,2016.05.25
CN 107759230 A,2018.03.06
CN 108285332 A,2018.07.17
CN 106609404 A,2017.05.03

审查员 季娟

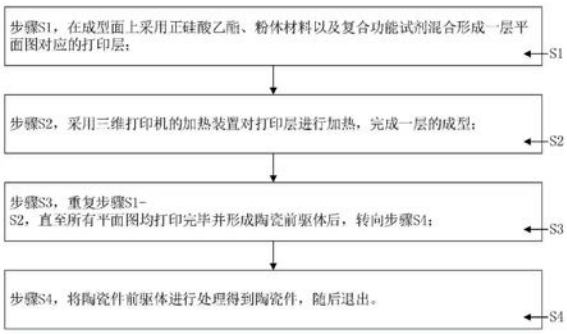
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54)发明名称

一种利用三维打印技术制作陶瓷的方法

(57)摘要

本发明提供一种利用三维打印技术制作陶瓷的方法，涉及陶瓷制作技术领域，包括在上位机上生成待打印的三维模型，并按设定层厚将所述三维模型切片形成多层对应的平面图并发送至三维打印机中进行打印，所述三维打印机逐层进行铺粉、喷射及加热步骤，经过逐层堆叠粘结成陶瓷件前驱体，然后将成型后的陶瓷前驱体直接烧结获得陶瓷件，也可以进一步制作免烧结陶瓷件。本发明是以陶瓷粉末为主要原料，降低了陶瓷制作成本；所制作的陶瓷件缺陷少且致密度高；陶瓷件的打印尺寸不受限制，且打印效率高，有效提升生产效率；无需进行脱脂等步骤，使生产过程更加环保。



CN 109719829 B

1.一种利用三维打印技术制作陶瓷的方法,其特征在于,预先制备正硅酸乙酯、具有预定成分的粉体材料,以及将水、助溶剂及酸碱调节剂按一定比例混合得到的复合功能试剂;

所述方法中,首先通过上位机生成待打印的三维模型,并将所述三维模型切片后形成多层对应的平面图并发送至下位的三维打印机中进行打印;

还包括如下步骤:

步骤S1,在成型面上采用所述正硅酸乙酯、所述粉体材料以及所述复合功能试剂混合形成一层所述平面图对应的打印层;

步骤S2,采用所述三维打印机的加热装置对所述打印层进行加热,完成一层的成型;

步骤S3,重复所述步骤S1-S2,直至所有所述平面图均打印完毕并形成陶瓷前驱体后,转向步骤S4;

步骤S4,将所述陶瓷前驱体进行处理得到陶瓷件,随后退出;

其中,预先将所述正硅酸乙酯和所述粉体材料混合形成第一预混粉料;

所述步骤S1具体包括:

步骤S11a,将所述第一预混粉料铺设在所述成型面上;

步骤S12a,采用所述三维打印机的阵列式压电喷头,在所述成型面上喷射所述复合功能试剂,以形成所述打印层;

其中,所述粉体材料包括瓷土、高岭土、陶土、膨润土以及长石粉中的一种粉末或者几种粉末的混合;

所述粉末的粒径范围为100-8000目。

2.根据权利要求1所述的方法,其特征在于,分别制备所述粉体材料、所述正硅酸乙酯和所述复合功能试剂,使得所述正硅酸乙酯与所述粉体材料的质量比为2%-15%,且所述复合功能试剂中水的质量是所述正硅酸乙酯的质量的2-5倍。

3.根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述步骤S2中,所述加热装置为红外加热装置,或者微波加热装置,或者超声加速反应装置。

4.根据权利要求1所述的方法,其特征在于,混合形成所述复合功能试剂时,所述一定比例为:水的含量不小于50%,助溶剂的含量不小于10%。

5.根据权利要求4所述的方法,其特征在于,混合形成的所述复合功能试剂中:

所述助溶剂包括乙醇,和/或甲醇,和/或异丙醇,和/或正丁醇,和/或二氧六环,和/或甲酰胺,和/或丙酮,和/或四氢呋喃;

所述酸碱调节剂包括盐酸,和/或氢氟酸,和/或硫酸,和/或硝酸,和/或氨水,和/或有机氨。

6.根据权利要求1所述的方法,其特征在于,预先将所述粉体材料与所述复合功能试剂混合形成第二预混粉料;

所述步骤S1具体包括:

步骤S11b,将所述第二预混粉料铺设在所述成型面上;

步骤S12b,采用所述三维打印机的阵列式压电喷头,在所述成型面上喷射所述正硅酸乙酯,以形成所述打印层。

7.根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述步骤S1具体包括:

步骤S11c,将所述粉体材料铺设在所述成型面上;

步骤S12c，采用所述三维打印机上的第一阵列式压电喷头在所述成型面上喷射所述正硅酸乙酯，同时采用所述三维打印机上的第二阵列式压电喷头在所述成型面上喷射所述复合功能试剂，以形成所述打印层。

8.根据权利要求1所述的方法，其特征在于，对所述陶瓷前驱体采用烧结的方式进行处理后形成所述陶瓷件，具体包括：

步骤A1，将所述陶瓷前驱体置入正硅酸乙酯中浸泡；

步骤A2，再将所述陶瓷前驱体置入所述复合功能试剂中浸泡；

步骤A3，将所述陶瓷前驱体拿出干燥后再进行烧结，形成所述陶瓷件。

9.根据权利要求1所述的方法，其特征在于，对所述陶瓷前驱体采用免烧结的方式进行处理后形成所述陶瓷件，具体包括：

步骤B1，将所述陶瓷前驱体置入正硅酸乙酯中浸泡；

步骤B2，再将所述陶瓷前驱体置入所述复合功能试剂中浸泡；

步骤B3，将所述陶瓷前驱体拿出干燥；

重复所述步骤B1-B3，直至液体无法渗入所述陶瓷前驱体后形成所述陶瓷件。

一种利用三维打印技术制作陶瓷的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及陶瓷制作领域，尤其涉及一种利用三维打印技术制作陶瓷的方法。

背景技术

[0002] 三维打印技术是以计算机三维模型为蓝本，通过计算机软件完成模型切片，再结合一系列的自动控制过程，应用材料逐点、逐线或逐面叠加工艺，实现产品增材制造的一种快速成型技术。三维打印具备构型自由度高、生产周期短、免模具、自动化程度高、综合成本低等优点，被认为是一种面向未来的先进制造技术，目前处于高速发展期。

[0003] 陶瓷制品用途广泛，深受市场青睐。传统的陶瓷制作方法工艺繁复，且无法制作出空间结构复杂的产品，使产品设计受限。当前已报道的利用三维打印技术制作陶瓷的方法有两种，一种是将陶瓷粉末和光敏树脂混合形成浆料，采用光固化工艺实施三维打印，获得陶瓷前驱体，再进行烧结获得陶瓷件；另一种是在陶瓷粉末表面包覆一层高分子材料，再应用激光逐层选区扫描这类粉末，使之粘结成型，再结合脱脂、烧结等工艺获得陶瓷件。

[0004] 上述两种方法相较与传统的陶瓷制作方法具有一定的优势，但是也存在成本较高、成型尺寸较小、打印效率低、烧结过程收缩严重、陶瓷件致密度不高、易产生缺陷及生产过程不环保的缺点。

发明内容

[0005] 针对现有技术中存在的问题，本发明提供一种利用三维打印技术制作陶瓷的方法，具体包括预先制备正硅酸乙酯、具有预定成分的粉体材料，以及将水、助溶剂及酸碱调节剂按一定比例混合得到的复合功能试剂；

[0006] 所述方法中，首先通过上位机生成待打印的三维模型，并将所述三维模型切片后形成多层对应的平面图并发送至下位的三维打印机中进行打印；

[0007] 还包括如下步骤：

[0008] 步骤S1，在成型面上采用所述正硅酸乙酯、所述粉体材料以及所述复合功能试剂混合形成一层所述平面图对应的打印层；

[0009] 步骤S2，采用所述三维打印机的加热装置对所述打印层进行加热，完成一层的成型；

[0010] 步骤S3，重复所述步骤S1-S2，直至所有所述平面图均打印完毕并形成陶瓷前驱体后，转向步骤S4；

[0011] 步骤S4，将所述陶瓷前驱体进行处理得到陶瓷件，随后退出。

[0012] 优选的，分别制备所述粉体材料、所述正硅酸乙酯和所述复合功能试剂，使得所述正硅酸乙酯与所述粉体材料的质量比为2％-15％，且所述复合功能试剂中水的质量是所述正硅酸乙酯的质量的2-5倍。

[0013] 优选的，所述粉体材料包括瓷土、高岭土、陶土、膨润土以及长石粉中的一种粉末或者几种粉末的混合；

[0014] 所述粉末的粒径范围为100-8000目。

[0015] 优选的，所述步骤S2中，所述加热装置为红外加热装置，或者微波加热装置，或者超声加速反应装置。

[0016] 优选的，混合形成所述复合功能试剂时，所述一定比例为：水的含量不小于50％，助溶剂的含量不小于10％。

[0017] 优选的，混合形成的所述复合功能试剂中：

[0018] 所述助溶剂包括乙醇，和/或甲醇，和/或异丙醇，和/或正丁醇，和/或二氧六环，和/或甲酰胺，和/或丙酮，和/或四氢呋喃；

[0019] 所述酸碱调节剂包括盐酸，和/或氢氟酸，和/或硫酸，和/或硝酸，和/或氨水，和/或有机氨。

[0020] 优选的，预先将所述正硅酸乙酯和所述粉体材料混合形成第一预混粉料；

[0021] 所述步骤S1具体包括：

[0022] 步骤S11a，将所述第一预混粉料铺设在所述成型面上；

[0023] 步骤S12a，采用所述三维打印机的阵列式压电喷头，在所述成型面上喷射所述复合功能试剂，以形成所述打印层。

[0024] 优选的，预先将所述粉体材料与所述复合功能试剂混合形成第二预混粉料；

[0025] 所述步骤S1具体包括：

[0026] 步骤S11b，将所述第二预混粉料铺设在所述成型面上；

[0027] 步骤S12b，采用所述三维打印机的阵列式压电喷头，在所述成型面上喷射所述正硅酸乙酯，以形成所述打印层。

[0028] 优选的，所述步骤S1具体包括：

[0029] 步骤S11c，将所述粉体材料铺设在所述成型面上；

[0030] 步骤S12c，采用所述三维打印机上的第一阵列式压电喷头在所述成型面上喷射所述正硅酸乙酯，同时采用所述三维打印机上的第二阵列式压电喷头在所述成型面上喷射所述复合功能试剂，以形成所述打印层。

[0031] 优选的，对所述陶瓷前驱体采用烧结的方式进行处理后形成所述陶瓷件，具体包括：

[0032] 步骤A1，将所述陶瓷前驱体置入正硅酸乙酯中浸泡；

[0033] 步骤A2，再将所述陶瓷前驱体置入所述复合功能试剂中浸泡；

[0034] 步骤A3，将所述陶瓷前驱体拿出干燥后再进行烧结，形成所述陶瓷件。

[0035] 优选的，对所述陶瓷前驱体采用免烧结的方式进行处理后形成所述陶瓷件，具体包括：

[0036] 步骤B1，将所述陶瓷前驱体置入正硅酸乙酯中浸泡；

[0037] 步骤B2，再将所述陶瓷前驱体置入所述复合功能试剂中浸泡；

[0038] 步骤B3，将所述陶瓷前驱体拿出干燥；

[0039] 重复所述步骤B1-B3，直至液体无法渗入所述陶瓷前驱体后形成所述陶瓷件。

[0040] 本发明的有益效果是：

[0041] 1)采用价格更低廉的原料，降低三维打印陶瓷件成本；

[0042] 2)所制作的陶瓷件缺陷少且致密度高；

[0043] 3)陶瓷件的打印尺寸不受限制,且打印效率高,有效提升生产效率;

[0044] 4)打印成型过程中的成型粘结剂为无机物二氧化硅,是陶瓷自身的有效组分之一,无需进行脱脂步骤,且烧结过程中无大量有机其他产生,生产过程更加环保。

附图说明

[0045] 图1是本发明的较佳的实施例中,一种利用三维打印技术制作陶瓷的方法的流程示意图;

[0046] 图2是本发明的一个较佳的实施例中,粉体材料、正硅酸乙酯和复合功能试剂混合的流程示意图;

[0047] 图3是本发明的另一个较佳的实施例中,粉体材料、正硅酸乙酯和复合功能试剂混合的流程示意图;

[0048] 图4是本发明的另一个较佳的实施例中,粉体材料、正硅酸乙酯和复合功能试剂混合的流程示意图;

[0049] 图5是本发明的较佳的实施例中,对陶瓷前驱体采用烧结的方式进行处理后形成陶瓷件的流程示意图;

[0050] 图6是本发明的较佳的实施例中,对陶瓷前驱体采用免烧结的方式进行处理后形成陶瓷件的流程示意图;

[0051] 图7是本发明的一个较佳的实施例中,工作台和铺粉装置的侧面示意图,工作台处在下移一层的状态;

[0052] 图8是本发明的一个较佳的实施例中,通过铺粉辊子使工作台上铺设一层预混粉料后的示意图;

[0053] 图9是本发明的一个较佳的实施例中,向成型区域喷射复合功能试剂的侧面示意图;

[0054] 图10是本发明的一个较佳的实施例中,向成型区域喷射复合功能试剂的俯视示意图;

[0055] 图11是本发明的一个较佳的实施例中,加热装置作用于成型区域的侧面示意图;

[0056] 图12是本发明的一个较佳的实施例中,经逐层堆叠粘结固化成实体的侧面示意图;

[0057] 图13是本发明的一个较佳的实施例中,陶瓷前驱体在烘箱中加热保温的示意图;

[0058] 图14是本发明的一个较佳的实施例中,替代铺粉辊子通过铺粉刮板在粉末床铺设预混粉料的示意图;

具体实施方式

[0059] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。本发明并不限定于该实施方式,只要符合本发明的主旨,则其他实施方式也可以属于本发明的范畴。

[0060] 一种利用三维打印技术制作陶瓷的方法,包括预先制备正硅酸乙酯、具有预定成分的粉体材料,以及将水、助溶剂及酸碱调节剂按一定比例混合得到的复合功能试剂;

[0061] 该方法中,首先通过上位机生成待打印的三维模型,并将三维模型切片后形成多层对应的平面图并发送至下位的三维打印机中进行打印;

[0062] 如图1所示，还包括如下步骤：

[0063] 步骤S1，在成型面上采用正硅酸乙酯、粉体材料以及复合功能试剂混合形成一层平面图对应的打印层；

[0064] 步骤S2，采用三维打印机的加热装置对打印层进行加热，完成一层的成型；

[0065] 步骤S3，重复步骤S1-S2，直至所有平面图均打印完毕并形成陶瓷前驱体后，转向步骤S4；

[0066] 步骤S4，将陶瓷前驱体进行处理得到陶瓷件，随后退出。

[0067] 具体地，本实施例中，打印层的层厚可在上位机软件上根据需要进行设置，层厚的设置值可以在0.05-1mm之间。

[0068] 本发明的较佳的实施例中，分别制备粉体材料、正硅酸乙酯和复合功能试剂，使得正硅酸乙酯与粉体材料的质量比为2%-15%，且复合功能试剂中水的质量是正硅酸乙酯的质量的2-5倍。

[0069] 具体地，本实施例中，正硅酸乙酯的用量较少，粉体材料的用量较多，且正硅酸乙酯与粉体材料的质量比包括但不限于2%-15%，其中正硅酸乙酯也可以使用以正硅酸乙酯为主要成分的液体代替。

[0070] 本发明的较佳的实施例中，粉体材料包括瓷土、高岭土、陶土、膨润土以及长石粉中的一种粉末或者几种粉末的混合；且粉末的粒径范围为100-8000目。

[0071] 具体地，本实施例中，粉体材料为陶瓷主要原料的一种或者几种粉末的混合，本发明中不做具体限定。

[0072] 本发明的较佳的实施例中，步骤S2中，加热装置为红外加热装置，或者微波加热装置，或者超声加速反应装置。

[0073] 本发明的较佳的实施例中，混合形成复合功能试剂时，一定比例为：水的含量不小于50%，助溶剂的含量不小于10%。

[0074] 本发明的较佳的实施例中，混合形成的复合功能试剂中：

[0075] 助溶剂包括乙醇，和/或甲醇，和/或异丙醇，和/或正丁醇，和/ 或二氧六环，和/或甲酰胺，和/或丙酮，和/或四氢呋喃；

[0076] 酸碱调节剂包括盐酸，和/或氢氟酸，和/或硫酸，和/或硝酸，和 /或氨水，和/或有机氨。

[0077] 具体地，本实施例中，复合功能试剂中的助溶剂包括但不限于乙醇，和/或甲醇，和/或异丙醇，和/或正丁醇，和/或二氧六环，和/或甲酰胺，和/或丙酮，和/或四氢呋喃；复合功能试剂中的酸碱调节剂包括但不限于盐酸，和/或氢氟酸，和/或硫酸，和/或硝酸，和/或氨水，和/或有机氨。

[0078] 本发明的一个较佳的实施例中，预先将正硅酸乙酯和粉体材料混合形成第一预混粉料；

[0079] 则该实施例中，如图2所示，步骤S1具体包括：

[0080] 步骤S11a，将第一预混粉料铺设在成型面上；

[0081] 步骤S12a，采用三维打印机的阵列式压电喷头，在成型面上喷射复合功能试剂，以形成打印层。

[0082] 具体地，本实施例中，三维打印机的阵列式压电喷头在成型面的上方移动，并根据

平面图在特定区域上喷射复合功能试剂，且复合功能试剂的喷射量控制在，使得单位体积粉体材料中，复合功能试剂中水的质量是第一预混粉料中的正硅酸乙酯的质量的2-5倍。

[0083] 本发明的另一个较佳的实施例中，预先将粉体材料与复合功能试剂混合形成第二预混粉料；

[0084] 则该实施例中，如图3所示，步骤S1具体包括：

[0085] 步骤S11b，将第二预混粉料铺设在成型面上；

[0086] 步骤S12b，采用三维打印机的阵列式压电喷头，在成型面上喷射正硅酸乙酯，以形成打印层。

[0087] 本发明的另一个较佳的实施例中，如图4所示，步骤S1具体包括：

[0088] 步骤S11c，将粉体材料铺设在成型面上；

[0089] 步骤S12c，采用三维打印机上的第一阵列式压电喷头在成型面上喷射正硅酸乙酯，同时采用三维打印机上的第二阵列式压电喷头在成型面上喷射复合功能试剂，以形成打印层。

[0090] 换言之，本发明技术方案中，只要在每一层的成型面上混合粉体材料、正硅酸乙酯以及复合功能试剂即可，不限定粉体材料、正硅酸乙酯和复合功能试剂的添加方式以及添加的先后顺序。

[0091] 本发明中，上述步骤S1中，铺设粉体材料(或者为第一预混粉料或者第二预混粉料)之后，喷射正硅酸乙酯和/或复合功能试剂的区域为成型面上的特定区域，也就是成型面上具有需要进行三维打印的图形的区域，成型面上的空白区域内不需要进行喷射操作。

[0092] 本发明的较佳的实施例中，对陶瓷前驱体采用烧结的方式进行处理后形成陶瓷件，如图5所示，具体包括：

[0093] 步骤A1，将陶瓷前驱体置入正硅酸乙酯中浸泡；

[0094] 步骤A2，再将陶瓷前驱体置入复合功能试剂中浸泡；

[0095] 步骤A3，将陶瓷前驱体拿出干燥后再进行烧结，形成陶瓷件。

[0096] 本发明的较佳的实施例中，对陶瓷前驱体采用免烧结的方式进行处理后形成陶瓷件，如图6所示，具体包括：

[0097] 步骤B1，将陶瓷前驱体置入正硅酸乙酯中浸泡；

[0098] 步骤B2，再将陶瓷前驱体置入复合功能试剂中浸泡；

[0099] 步骤B3，将陶瓷前驱体拿出干燥；

[0100] 重复步骤B1-B3，直至液体无法渗入陶瓷前驱体后形成陶瓷件。

[0101] 本发明的一个较佳的实施例中，按照图1及图2所示的步骤进行陶瓷件的制作：

[0102] 将硅含量为40％的正硅酸乙酯与粒度为600目的瓷土以2:100的质量比使用碾轮式混料机或其它设备进行充分混合，得到第一预混粉料；将水、乙醇及浓度为35％的盐酸按78:21.5:0.5的质量比倒入容器中充分搅拌混合，得到复合功能试剂。

[0103] 在上位机中建立待打印的三维模型，并用软件按设定层厚对上述模型进行切片，生成若干张对应的平面图，上位机读取上述平面图，生成上述平面图的点阵数据并传送至下位的三维打印机中。

[0104] 如图7所示，清理工作台面4，通过控制电路控制传动机构带动活塞杆2，使与之通过螺纹连接的粉末床3下移0.3mm。

[0105] 如图8所示，控制铺粉辊子51沿着与工作台面4平行的方向在粉末床3上铺一层预混粉料6，铺完的预混粉料6与工作台面4齐平。

[0106] 如图9和图10所示，三维打印机获取平面图的点阵数据后控制阵列式压电喷头8移动，并在成型区域7喷射复合功能试剂，控制喷射量，使得被喷射区域粉体材料与复合功能试剂的质量比为100:6。

[0107] 如图11所示，开启位于成型区域7上方的红外加热装置9，通过照射使成型区域7的温度上升至约60℃，持续照射3～5秒，加速正硅酸乙酯的水解和缩聚，生成二氧化硅分子交联网络，从而实现粉料粘结，因上述粉末床3下移0.3mm，因而所得的该层层厚即为 0.3mm。

[0108] 重复上述下移粉末床3、铺粉、喷射复合功能试剂及对成型区域加热的步骤，逐层打印剩下的所有打印层，如图12所示，在成型区域7中逐层堆叠粘结形成陶瓷前驱体10。

[0109] 静置12个小时后，将陶瓷前驱体10从粉末床中取出，将未粘结成型的粉料去除并回收利用；将陶瓷前驱体10先置入正硅酸乙酯中浸泡2个小时，再置入复合功能试剂中浸泡2个小时，然后如图13 所示，放入温度恒定为60℃的烘箱11中保温12个小时，取出后放置使其自然干燥，干燥后放入马弗炉，在1300℃下烧结成高强度及高致密的陶瓷件；

[0110] 本实施例中，将陶瓷前驱体10从粉末床中取出后，也可以采取免烧结的处理方式：陶瓷前驱体10先浸泡于正硅酸乙酯中，再浸泡于复合功能试剂，取出自然干燥，然后将上述浸泡和干燥过程重复多次，直至液体无法渗入即得到高强度及高致密的陶瓷件；

[0111] 本实施例中，铺粉装置为辊子式，也可以根据情况变更为如图 14所示的刮板式。

[0112] 本发明的另一个较佳的实施例中，按照图1及图3所示的步骤进行陶瓷件的制作，其中，

[0113] 先将粉体材料与复合功能试剂充分混合形成第二预混粉料后，然后使用阵列式喷头喷射正硅酸乙酯；

[0114] 其余步骤与之前的实施例相同，在此不再赘述。

[0115] 本发明的另一个较佳的实施例中，按照图1及图4所示的步骤进行陶瓷件的制作，其中，

[0116] 直接将粉体材料铺设在粉末床上，然后采用两组独立阵列式压电喷头分别喷射正硅酸乙酯和复合功能试剂；

[0117] 其余步骤与之前的实施例相同，在此不再赘述。

[0118] 以上所述仅为本发明较佳的实施例，并非因此限制本发明的实施方式及保护范围，对于本领域技术人员而言，应当能够意识到凡运用本发明书及图示内容所作出的等同替换和显而易见的变化所得到的方案，均应当包含在本发明的保护范围内。

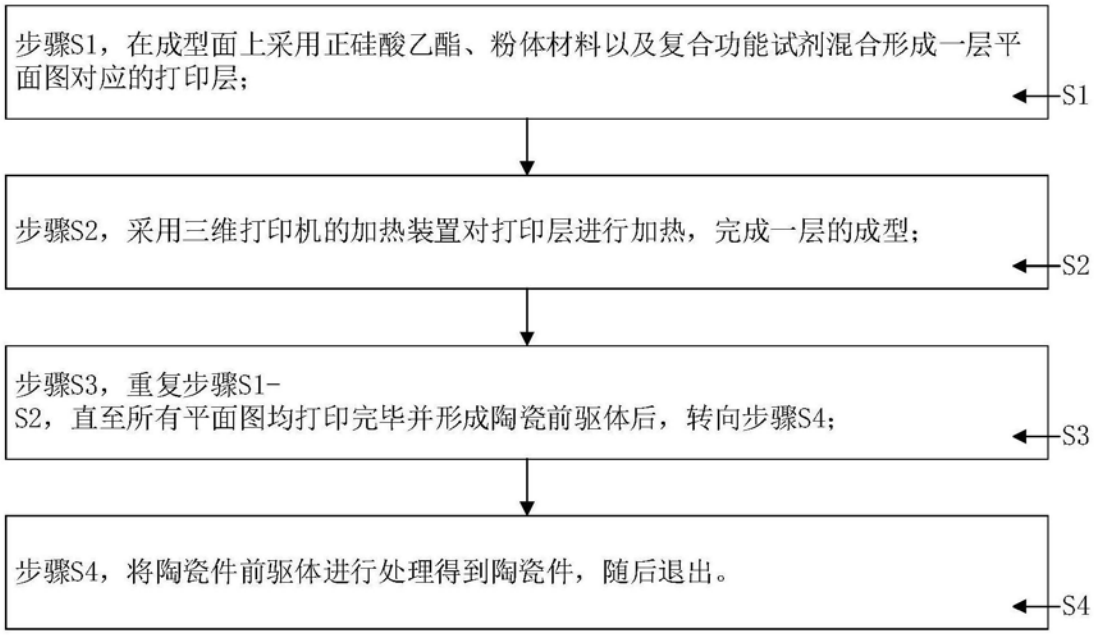

步骤S1，在成型面上采用正硅酸乙酯、粉体材料以及复合功能试剂混合形成一层平面图对应的打印层；
S1
步骤S2，采用三维打印机的加热装置对打印层进行加热，完成一层的成型；
S2
步骤S3，重复步骤S1-S2，直至所有平面图均打印完毕并形成陶瓷前驱体后，转向步骤S4；
S3
步骤S4，将陶瓷件前驱体进行处理得到陶瓷件，随后退出。
S4

图1

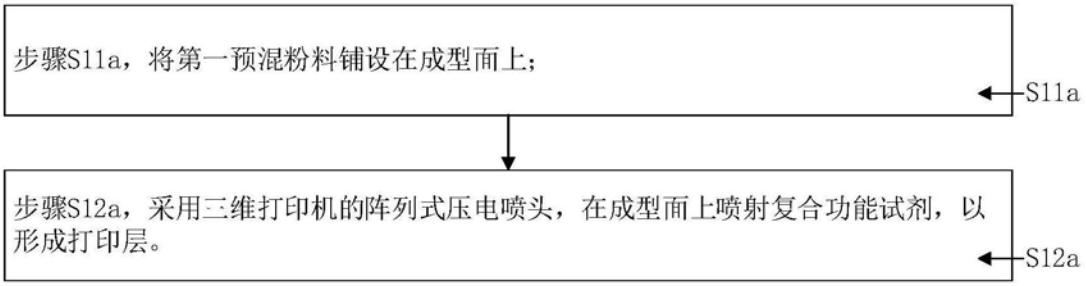

步骤S11a，将第一预混粉料铺设在成型面上；
S11a
步骤S12a，采用三维打印机的阵列式压电喷头，在成型面上喷射复合功能试剂，以形成打印层。
S12a

图2

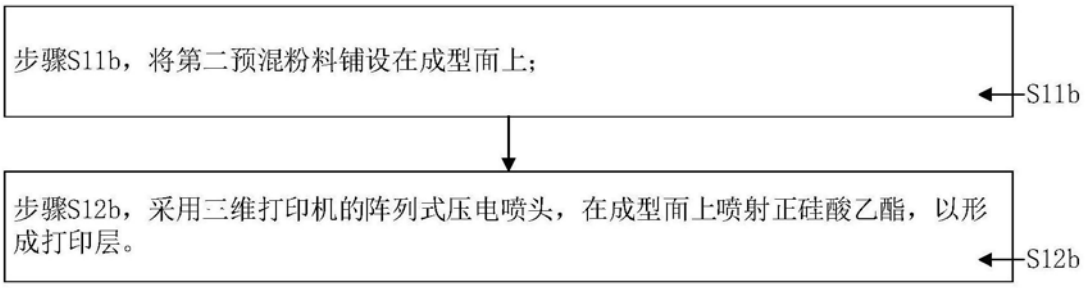

步骤S11b，将第二预混粉料铺设在成型面上；
S11b
步骤S12b，采用三维打印机的阵列式压电喷头，在成型面上喷射正硅酸乙酯，以形成打印层。
S12b

图3

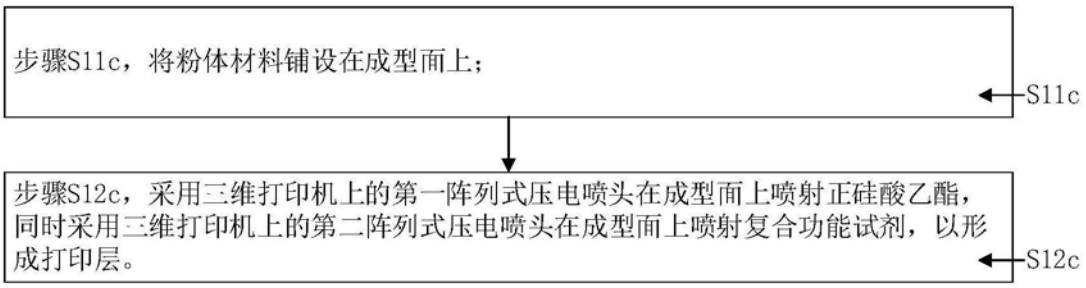

步骤S11c，将粉体材料铺设在成型面上；
S11c
步骤S12c，采用三维打印机上的第一阵列式压电喷头在成型面上喷射正硅酸乙酯，同时采用三维打印机上的第二阵列式压电喷头在成型面上喷射复合功能试剂，以形成打印层。
S12c

图4

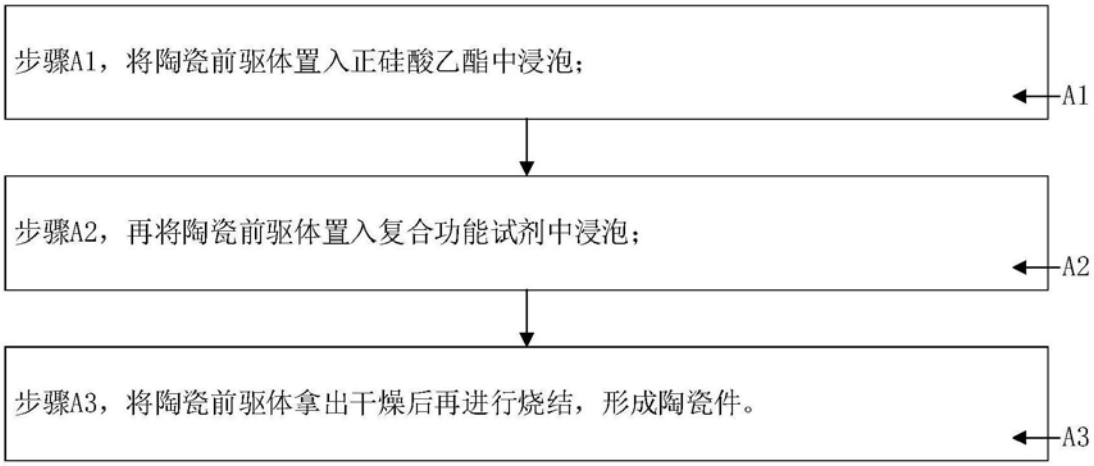

步骤A1，将陶瓷前驱体置入正硅酸乙酯中浸泡；
A1
步骤A2，再将陶瓷前驱体置入复合功能试剂中浸泡；
A2
步骤A3，将陶瓷前驱体拿出干燥后再进行烧结，形成陶瓷件。
A3

图5

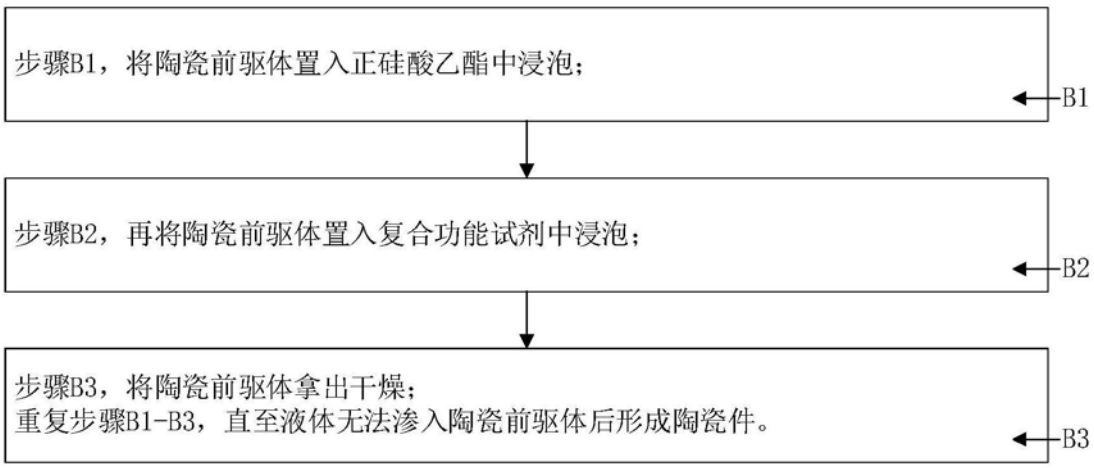

步骤B1，将陶瓷前驱体置入正硅酸乙酯中浸泡；
B1
步骤B2，再将陶瓷前驱体置入复合功能试剂中浸泡；
B2
步骤B3，将陶瓷前驱体拿出干燥；
重复步骤B1-B3，直至液体无法渗入陶瓷前驱体后形成陶瓷件。
B3

图6

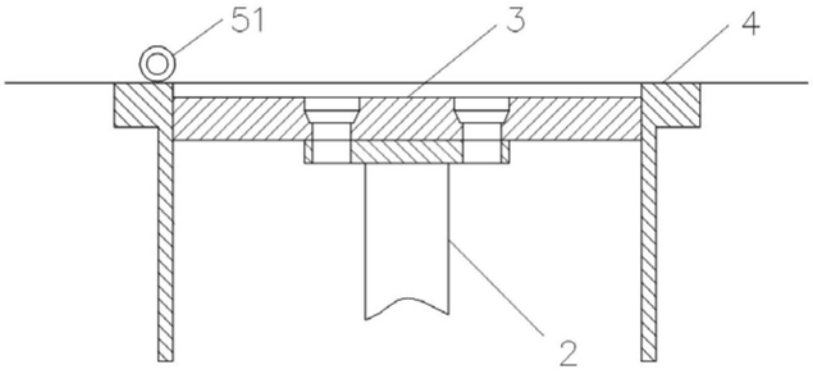


图7

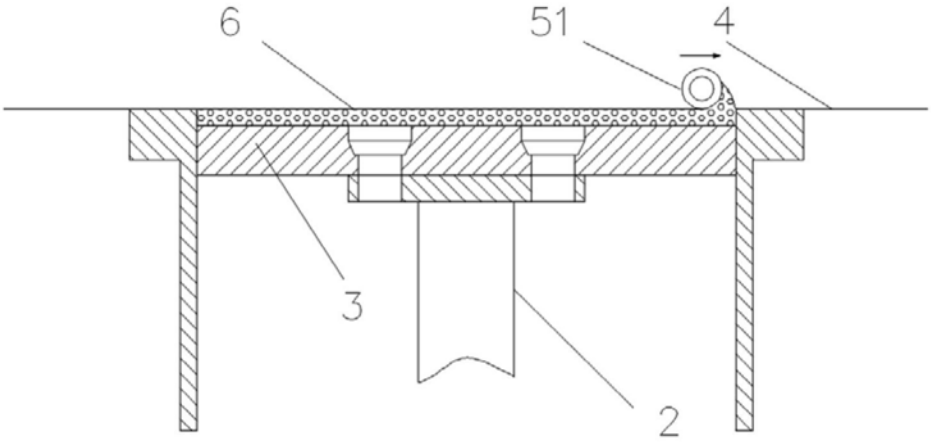


图8

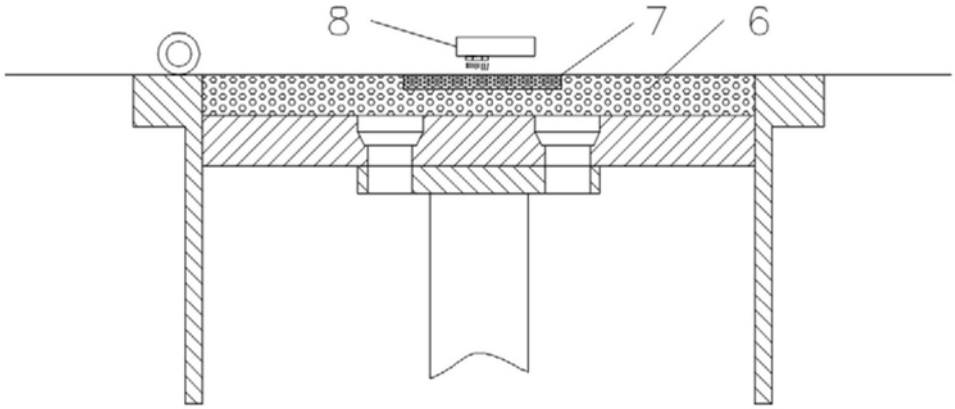


图9

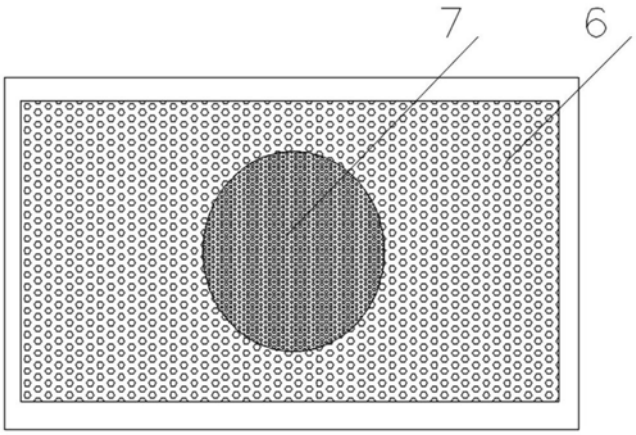


图10

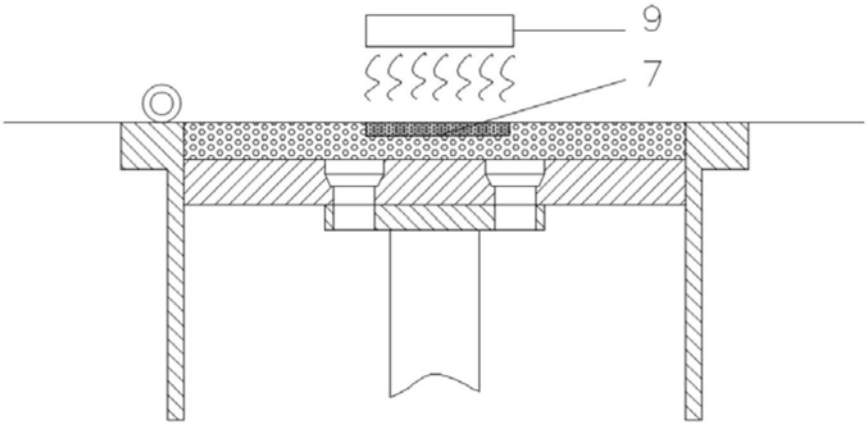


图11

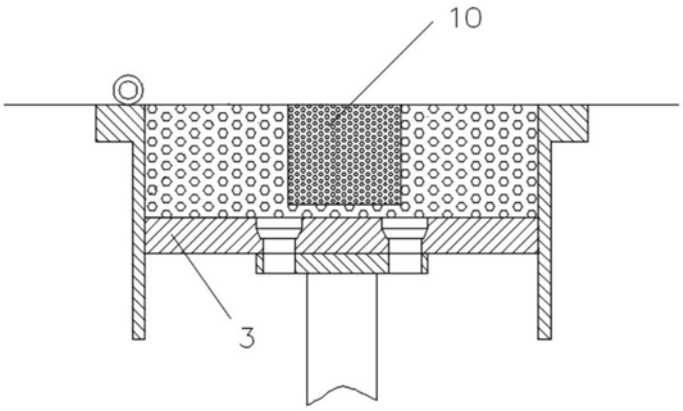


图12

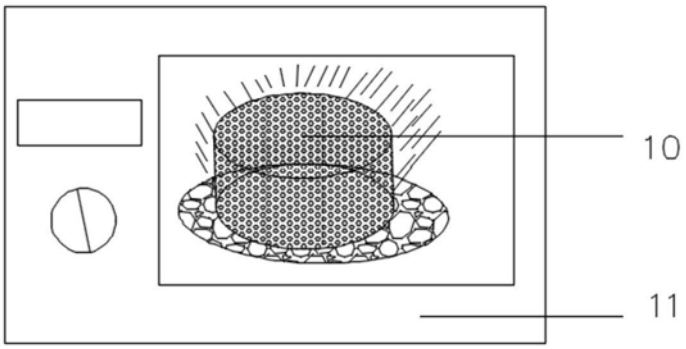


图13

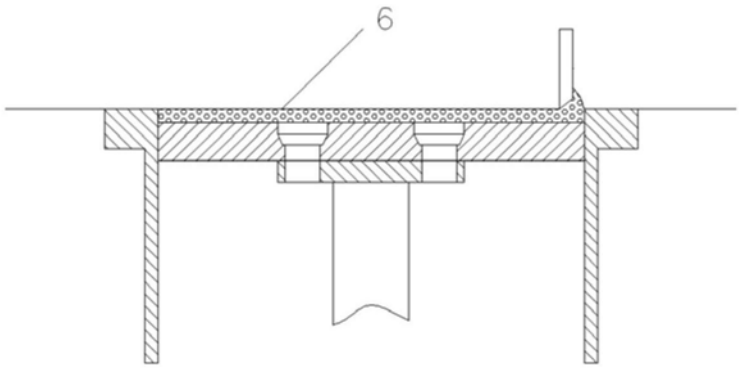


图14