



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108320327 A

(43)申请公布日 2018.07.24

(21)申请号 201810041587.9

(22)申请日 2018.01.16

(71)申请人 浙江大学

地址 310013 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

(72)发明人 傅建中 冯嘉炜 林志伟 商策

(74)专利代理机构 杭州天勤知识产权代理有限公司 33224

代理人 胡红娟

(51)Int.Cl.

G06T 17/00(2006.01)

G06T 15/20(2011.01)

G06T 15/08(2011.01)

B29C 64/393(2017.01)

B33Y 50/02(2015.01)

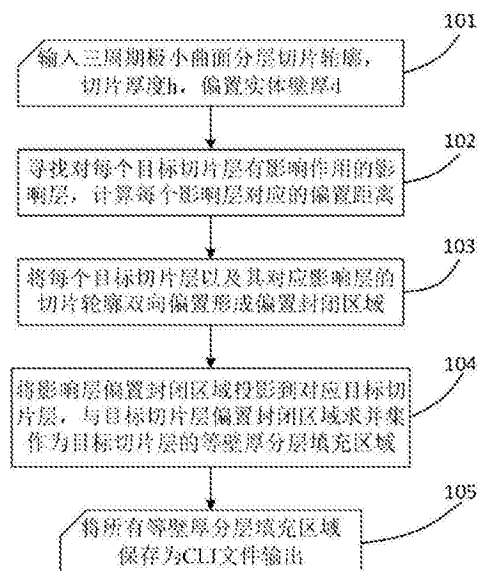
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

一种三周期极小曲面等壁厚分层填充区域生成方法

(57)摘要

本发明公开了一种三周期极小曲面等壁厚分层填充区域生成方法,包括:输入三周期极小曲面分层切片轮廓,切片厚度h,双侧偏置实体壁厚d;寻找对每个目标切片层有影响作用的影响层,计算每个影响层对应的偏置距离;将每个目标切片层以及其对应影响层的切片轮廓双向偏置形成偏置封闭区域;将影响层的第二偏置封闭区域投影到对应的目标切片层后,将投影后的第二偏置封闭区域与目标切片层的第一偏置封闭区域求并集,将该并集作为目标切片层的等壁厚分层填充区域;将所有切片层的等壁厚分层填充区域保存为CLI文件输出。该方法过程稳定可靠,避免了三维空间网格曲面偏置的缺点。



1. 一种三周期极小曲面等壁厚分层填充区域生成方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1:输入三周期极小曲面分层切片轮廓,切片厚度 h ,双侧偏置实体壁厚 d ;

步骤2:寻找对每个目标切片层有影响作用的影响层,计算每个影响层的偏置距离;

步骤3:对每个目标切片层的切片轮廓双向偏置形成第一偏置封闭区域,对每个目标切片层对应的影响层的切片轮廓双向偏置形成第二偏置封闭区域;

步骤4:将影响层的第二偏置封闭区域投影到对应的目标切片层后,将投影后的第二偏置封闭区域与目标切片层的第一偏置封闭区域求并集,将该并集作为目标切片层的等壁厚分层填充区域;

步骤5:将所有切片层的等壁厚分层填充区域保存为CLI文件输出。

2. 如权利要求1所述的三周期极小曲面等壁厚分层填充区域生成方法,其特征在于,步骤1中,三周期极小曲面分层切片轮廓是对厚度为零的曲面直接切片的结果,存在封闭切片轮廓和开放切片轮廓两种切片轮廓。

3. 如权利要求1所述的三周期极小曲面等壁厚分层填充区域生成方法,其特征在于,步骤2中,若邻切片层与目标切片层之间的距离小于双侧偏置实体壁厚 d 的一半,则该邻切片层为目标切片层对应的影响层,影响层的偏置距离 $f = \sqrt{(d/2)^2 - p^2}$,其中, p 为邻切片层与目标切片层之间的距离。

4. 如权利要求1所述的三周期极小曲面等壁厚分层填充区域生成方法,其特征在于,步骤3中,所述对每个目标切片层的切片轮廓双向偏置形成第一偏置封闭区域包括:

判断每个目标切片层的切片轮廓的开闭属性,从切片轮廓的起点开始追踪,轮廓的终点与起点坐标相同即为封闭切片轮廓,否则为开放切片轮廓;

对于封闭切片轮廓,以封闭切片轮廓所在的切片层对应的偏置距离向内外两个方向双向偏置,向外偏置轮廓按逆时针顺序排列,向内偏置轮廓按顺时针顺序排列,向外偏置轮廓与向内偏置轮廓之间区域为偏置封闭区域 $A1$;

对于开放切片轮廓,以开放切片轮廓所在的切片层对应的偏置距离向内外两个方向双向偏置,向内偏置轮廓和向外偏置轮廓全部以逆时针方向排列,同时在向内偏置轮廓和向外偏置轮廓之间添加逆时针排列的圆弧过渡轮廓,形成偏置封闭区域 $A2$;

偏置封闭区域 $A1$ 和偏置封闭区域 $A2$ 共同组成第一偏置封闭区域。

5. 如权利要求1所述的三周期极小曲面等壁厚分层填充区域生成方法,其特征在于,步骤3中,所述对每个目标切片层对应的影响层的切片轮廓双向偏置形成第二偏置封闭区域包括:

判断每个影响层的切片轮廓的开闭属性,从切片轮廓的起点开始追踪,轮廓的终点与起点坐标相同即为封闭切片轮廓,否则为开放切片轮廓;

对于封闭切片轮廓,以封闭切片轮廓所在的切片层对应的偏置距离向内外两个方向双向偏置,向外偏置轮廓按逆时针顺序排列,向内偏置轮廓按顺时针顺序排列,向外偏置轮廓与向内偏置轮廓之间区域为偏置封闭区域 $B1$;

对于开放切片轮廓,以开放切片轮廓所在的切片层对应的偏置距离向内外两个方向双向偏置,向内偏置轮廓和向外偏置轮廓全部以逆时针方向排列,同时在向内偏置轮廓和向外偏置轮廓之间添加逆时针排列的圆弧过渡轮廓,形成偏置封闭区域 $B2$;

偏置封闭区域B1和偏置封闭区域B2共同组成第二偏置封闭区域。

一种三周期极小曲面等壁厚分层填充区域生成方法

技术领域

[0001] 本发明涉及三维打印计算机辅助制造领域,尤其是涉及一种三周期极小曲面等壁厚分层填充区域生成方法。

背景技术

[0002] 三维打印是一种融合先进材料、计算机辅助设计、数控技术于一体的智能制造技术。利用计算机辅助设计的任意形状三维零件,均可用分层、增材的原理制造成型。相比于传统机床切削制造,三维打印技术灵活可靠,可以在快速制造复杂结构零件的同时大大降低产品开发成本。依据材料或成型原理的不同,三维打印有很多细分的技术工艺,但工艺流程基本都包括三维模型切片、分层填充区域生成和填充线生成三个步骤。作为工艺流程的中间环节,精确的分层填充区域生成对最终的制造精度具有直接的影响。

[0003] 三周期极小曲面是一种在欧式空间无限延展的周期性复杂拓扑结构,拥有统一的数学表达式,表面任意一点平均曲率为零。其复杂的孔洞结构在工程领域有广泛的应用,作为一种性质优越的多孔结构,可以在吸声、隔震、轻量化、组织工程支架等领域应用。三维打印技术是制造三周期极小曲面结构的理想手段,但三周期极小曲面是厚度为零的曲面,为了生成可以三维打印的分层填充区域,一般需要将曲面进行偏置成实体。

[0004] Melchels等人通过软件K3DSurf生成三周期极小曲面网格模型,再利用软件将曲面直接偏置成实体,利用三维打印工艺制造成型,最终结构作为组织工程支架应用(参见Melchels F P W,Bertoldi K,Gabrielli R,et al.Mathematically defined tissue engineering scaffold architectures prepared by stereolithography[J].Biomaterials,2010,31(27):6909-6916);李大伟等人利用泊松重建偏置点方法来偏置三周期极小曲面模型,得到的实体模型作为零件三维打印轻量化填充结构(参见:李大伟,戴宁,姜晓通,等.密度感知的3D打印内部支撑结构轻量化建模[J].计算机辅助设计与图形学学报,2016(05):841-848);Yoo提出一种针对网格模型的距离场偏置方法,实现对三周期极小曲面的偏置加厚(参见Yoo D J.Computer-aided porous scaffold design for tissue engineering using triply periodic minimal surfaces[J].International Journal of Precision Engineering and Manufacturing,2011,12(1):61-71)。

[0005] 根据文献分析可知,当前为了实现三周期极小曲面三维打印制造,均需要将曲面模型进行偏置加厚以生成合理的分层填充区域,大多数方法是在三维空间直接对网格模型进行等壁厚偏置,处理过程复杂耗时,经常出现网格自交等缺陷,不适合三周期极小曲面这类复杂结构分层填充区域的生成。此外,未发现任何关于三周期极小曲面等壁厚分层填充区域生成方法的文献。

发明内容

[0006] 为了解决现有三周期极小曲面分层填充区域生成过程复杂、缺陷多的问题,本发明提供了一种三周期极小曲面等壁厚分层填充区域生成方法。直接在二维空间对三周期极

小曲面切片轮廓进行等壁厚双向偏置,通过对封闭轮廓、开放轮廓的不同处理,生成用于三维打印等壁厚实体的分层填充区域。该方法稳定可靠,可以高效准确地生成三周期极小曲面等壁厚分层填充区域。

[0007] 为实现上述发明目的,本发明提供以下技术方案:

[0008] 一种三周期极小曲面等壁厚分层填充区域生成方法,包括如下步骤:

[0009] 步骤1:输入三周期极小曲面分层切片轮廓,切片厚度 h ,双侧偏置实体壁厚 d ;

[0010] 步骤2:寻找对每个目标切片层有影响作用的影响层,计算每个影响层的偏置距离;

[0011] 步骤3:对每个目标切片层的切片轮廓双向偏置形成第一偏置封闭区域,对每个目标切片层对应的影响层的切片轮廓双向偏置形成第二偏置封闭区域;

[0012] 步骤4:将影响层的第二偏置封闭区域投影到对应的目标切片层后,将投影后的第二偏置封闭区域与目标切片层的第一偏置封闭区域求并集,将该并集作为目标切片层的等壁厚分层填充区域;

[0013] 步骤5:将所有切片层的等壁厚分层填充区域保存为CLI文件输出。

[0014] 步骤1中,三周期极小曲面分层切片轮廓是对厚度为零的曲面直接切片的结果,存在封闭切片轮廓和开放切片轮廓两种切片轮廓。

[0015] 步骤2中,若邻切片层与目标切片层之间的距离小于双侧偏置实体壁厚 d 的一半,则该邻切片层为目标切片层对应的影响层,影响层的偏置距离 $f = \sqrt{(d/2)^2 - p^2}$,其中, p 为邻切片层与目标切片层之间的距离。

[0016] 其中,所述对每个目标切片层的切片轮廓双向偏置形成第一偏置封闭区域包括:

[0017] 判断每个目标切片层的切片轮廓的开闭属性,从切片轮廓的起点开始追踪,轮廓的终点与起点坐标相同即为封闭切片轮廓,否则为开放切片轮廓;

[0018] 对于封闭切片轮廓,以封闭切片轮廓所在的切片层对应的偏置距离向内外两个方向双向偏置,向外偏置轮廓按逆时针顺序排列,向内偏置轮廓按顺时针顺序排列,向外偏置轮廓与向内偏置轮廓之间区域为偏置封闭区域A1;

[0019] 对于开放切片轮廓,以开放切片轮廓所在的切片层对应的偏置距离向内外两个方向双向偏置,向内偏置轮廓和向外偏置轮廓全部以逆时针方向排列,同时在向内偏置轮廓和向外偏置轮廓之间添加逆时针排列的圆弧过渡轮廓,形成偏置封闭区域A2;

[0020] 偏置封闭区域A1和偏置封闭区域A2共同组成第一偏置封闭区域。

[0021] 其中,所述对每个目标切片层对应的影响层的切片轮廓双向偏置形成第二偏置封闭区域包括:

[0022] 判断每个影响层的切片轮廓的开闭属性,从切片轮廓的起点开始追踪,轮廓的终点与起点坐标相同即为封闭切片轮廓,否则为开放切片轮廓;

[0023] 对于封闭切片轮廓,以封闭切片轮廓所在的切片层对应的偏置距离向内外两个方向双向偏置,向外偏置轮廓按逆时针顺序排列,向内偏置轮廓按顺时针顺序排列,向外偏置轮廓与向内偏置轮廓之间区域为偏置封闭区域B1;

[0024] 对于开放切片轮廓,以开放切片轮廓所在的切片层对应的偏置距离向内外两个方向双向偏置,向内偏置轮廓和向外偏置轮廓全部以逆时针方向排列,同时在向内偏置轮廓和向外偏置轮廓之间添加逆时针排列的圆弧过渡轮廓,形成偏置封闭区域B2;

[0025] 偏置封闭区域B1和偏置封闭区域B2共同组成第二偏置封闭区域。

[0026] 与现有技术相比,本发明具有的有益效果为:

[0027] 在二维空间利用三周期极小曲面的切片轮廓直接生成用于三维打印等壁厚实体的分层填充区域。结合几何建模扫掠原理,充分考虑层片之间影响,针对切片轮廓中存在的封闭轮廓和开放轮廓,分别采用双向偏置生成偏置封闭区域,最终求并集获得每层的等壁厚分层填充区域,整体处理过程简洁可靠、适应性强,避免了在三维空间偏置网格模型带来的费时、缺陷多的缺点。本发明方法精确稳定可靠,可以为三维打印等壁厚的三周期极小曲面结构提供精确可靠的分层填充区域。

附图说明

[0028] 图1为实施例提供的三周期极小曲面等壁厚分层填充区域生成方法的流程图;

[0029] 图2为实施例提供的等壁厚分层区域生成原理图;

[0030] 图3为实施例提供的封闭切片轮廓和开放切片轮廓双向偏置原理图;

[0031] 图4为实施例提供的偏置封闭区域并集结果示意图;

[0032] 图5为实施例1输入的P曲面切片轮廓,其后,(a)为P曲面切片轮廓的左视图,(b)为P曲面切片轮廓的立体图;

[0033] 图6为实施例1的P曲面等壁厚分层填充区域生成结果;

[0034] 图7为实施例2输入的G曲面切片轮廓,其中,(a)为G曲面切片轮廓的左视图,(b)为G曲面切片轮廓的立体图;

[0035] 图8为实施例2的G曲面等壁厚分层填充区域生成结果。

具体实施方式

[0036] 为使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例对本发明进行进一步的详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施方式仅仅用以解释本发明,并不限定本发明的保护范围。

[0037] 图1为实施例提供的三周期极小曲面等壁厚分层填充区域生成方法的流程图。如图1所示,本实施例提供的方法包括以下步骤:

[0038] 步骤101:输入三周期极小曲面分层切片轮廓,切片厚度 h ,双侧偏置实体壁厚 d 。

[0039] 其中,分层切片轮廓是对厚度为零的三周期极小曲面直接切片的结果,存在封闭切片轮廓和开放切片轮廓两种切片轮廓。若切片轮廓的起点与终点坐标相同,则该切片轮廓为封闭轮廓;若切片轮廓的起点与终点坐标不相同,则该切片轮廓为开放轮廓。

[0040] 步骤102:寻找对每个目标切片层有影响作用的影响层,并计算每个影响层的偏置距离。

[0041] 目标切片层即为当前切片层,若邻切片层与目标切片层之间的距离小于双侧偏置实体壁厚 d 的一半,则该邻切片层为目标切片层对应的影响层,邻切片层为与目标切片层相邻的切片层。

[0042] 如图2(a)所示,沿切片轮廓201,扫掠圆202扫掠求并集即可得到实体外壁203和内壁204,实体外壁203与实体内壁204之间的距离为实体壁厚 d 。如图2(b)所示,对每个目标切片层206,由于切片层205与目标切片层206之间的距离 P 小于 $d/2$,因此,切片层205为目标切

片层206对应的影响层,影响层205的偏置距离 $f = \sqrt{(d/2)^2 - p^2}$ 。

[0043] 步骤103中,对每个目标切片层的切片轮廓双向偏置形成第一偏置封闭区域,对每个目标切片层对应的影响层的切片轮廓双向偏置形成第二偏置封闭区域;

[0044] 步骤103的具体步骤如下:

[0045] 对于目标切片层的切片轮廓:

[0046] 步骤103-1:判断每个目标切片层的切片轮廓的开闭属性,从切片轮廓的起点开始追踪,轮廓的终点与起点坐标相同即为封闭切片轮廓,否则为开放切片轮廓;

[0047] 步骤103-2:对于封闭切片轮廓,以封闭切片轮廓所在的切片层对应的偏置距离向内外两个方向双向偏置,向外偏置轮廓按逆时针顺序排列,向内偏置轮廓按顺时针顺序排列,向外偏置轮廓与向内偏置轮廓之间区域为偏置封闭区域A1;

[0048] 步骤103-3:对于开放切片轮廓,以开放切片轮廓所在的切片层对应的偏置距离向内外两个方向双向偏置,向内偏置轮廓和向外偏置轮廓全部以逆时针方向排列,同时在向内偏置轮廓和向外偏置轮廓之间添加逆时针排列的圆弧过渡轮廓,形成偏置封闭区域A2,偏置封闭区域A1和偏置封闭区域A2共同组成第一偏置封闭区域。

[0049] 对于目标切片层对应的影响层的切片轮廓:

[0050] 步骤103-1':判断每个影响层的切片轮廓的开闭属性,从切片轮廓的起点开始追踪,轮廓的终点与起点坐标相同即为封闭切片轮廓,否则为开放切片轮廓;

[0051] 步骤103-2':对于封闭切片轮廓,以封闭切片轮廓所在的切片层对应的偏置距离向内外两个方向双向偏置,向外偏置轮廓按逆时针顺序排列,向内偏置轮廓按顺时针顺序排列,向外偏置轮廓与向内偏置轮廓之间区域为偏置封闭区域B1;

[0052] 步骤103-3':对于开放切片轮廓,以开放切片轮廓所在的切片层对应的偏置距离向内外两个方向双向偏置,向内偏置轮廓和向外偏置轮廓全部以逆时针方向排列,同时在向内偏置轮廓和向外偏置轮廓之间添加逆时针排列的圆弧过渡轮廓,形成偏置封闭区域B2,偏置封闭区域B1和偏置封闭区域B2共同组成第二偏置封闭区域。

[0053] 举例说明:如图3(a)和3(b)所示,对于目标切片层的封闭切片轮廓301,以封闭切片轮廓301所在的切片层对应的偏置距离向内外两个方向双向偏置,向外偏置轮廓302按逆时针顺序排列,向内偏置轮廓303按顺时针顺序排列,向外偏置轮廓与向内偏置轮廓之间区域形成偏置封闭区域C。

[0054] 对于目标切片层对应的影响层的切片轮廓304,以开放切片轮廓304所在的切片层对应的偏置距离向内外两个方向双向偏置,向内偏置轮廓305和向外偏置轮廓306全部以逆时针方向排列,同时在向内偏置轮廓305和向外偏置轮廓306之间添加逆时针排列的圆弧过渡轮廓307,形成偏置封闭区域D。

[0055] 步骤104:将影响层的第二偏置封闭区域投影到对应的目标切片层后,将投影后的第二偏置封闭区域与目标切片层的第一偏置封闭区域求并集,将该并集作为目标切片层的等壁厚分层填充区域;

[0056] 举例说明,如图4所示,区域401是图3中偏置封闭区域D投影到目标切片层后,投影后的偏置封闭区域D与目标切片层的偏置封闭区域C求并集d的结果,即为目标切片层的等壁厚分层填充区域。

[0057] 步骤105:将所有切片层的等壁厚分层填充区域保存为CLI文件输出。

[0058] 实施例1

[0059] 选取三周期极小曲面P曲面,该曲面切片轮廓包含封闭轮廓和开放轮廓两种切片轮廓,切片厚度 $h=0.1\text{mm}$,输入P曲面切片轮廓如图5所示,其中,图5(a)为P曲面切片轮廓的左视图,图5(b)为P曲面切片轮廓的立体图,设置偏置实体壁厚 $d=0.5\text{mm}$ 。

[0060] 图6显示了实施例1的P曲面等壁厚分层填充区域生成结果,可以清晰地看出本方法可以兼容封闭轮廓和开放轮廓,生成可靠精确的分层填充区域。

[0061] 实施例2

[0062] 选取三周期极小曲面G曲面,该曲面切片轮廓仅包含开放轮廓,切片厚度 $h=0.1\text{mm}$,输入G曲面切片轮廓如图7所示,其中,图7(a)为G曲面切片轮廓的左视图,图7(b)为G曲面切片轮廓的立体图,设置偏置实体壁厚 $d=0.5\text{mm}$ 。

[0063] 图8显示了实施例2的G曲面等壁厚分层填充区域生成结果,利用发明方法快速生成复杂拓扑结构的分层填充区域,输出结果保存为CLI文件供三维打印设备制造等壁厚三周期极小曲面结构,整个过程快速可靠,避免了传统基于三维空间偏置方法的缺点。

[0064] 以上所述的具体实施方式对本发明的技术方案和有益效果进行了详细说明,应理解的是以上所述仅为本发明的最优选实施例,并不用于限制本发明,凡在本发明的原则范围内所做的任何修改、补充和等同替换等,均应包含在本发明的保护范围之内。

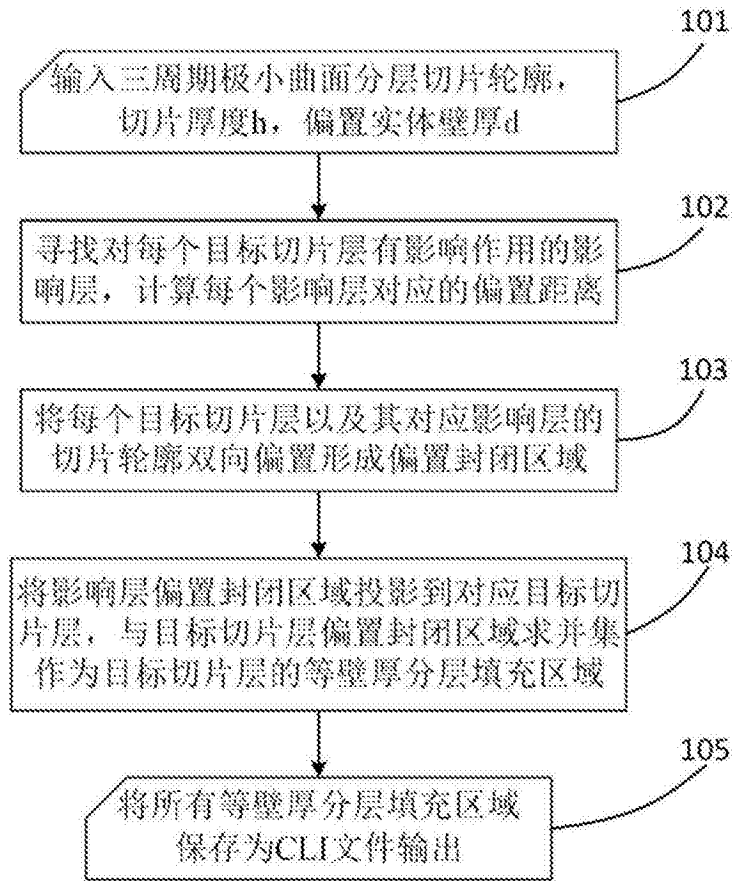


图1

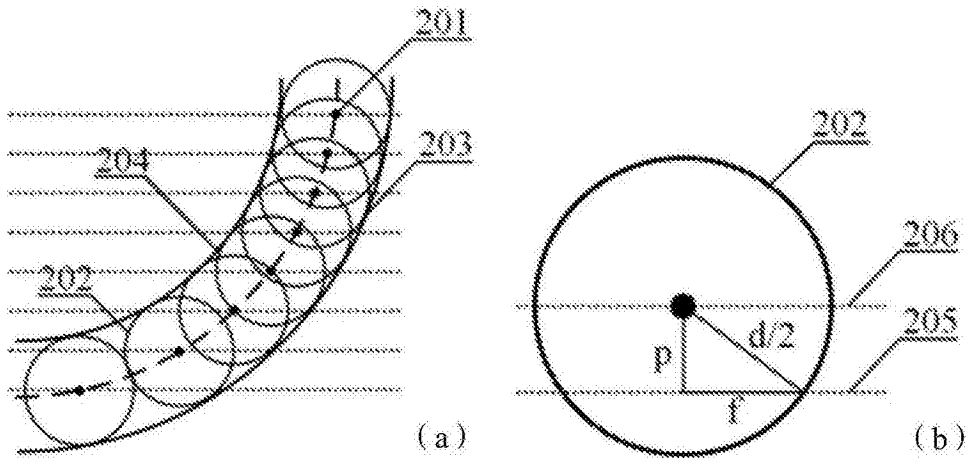


图2

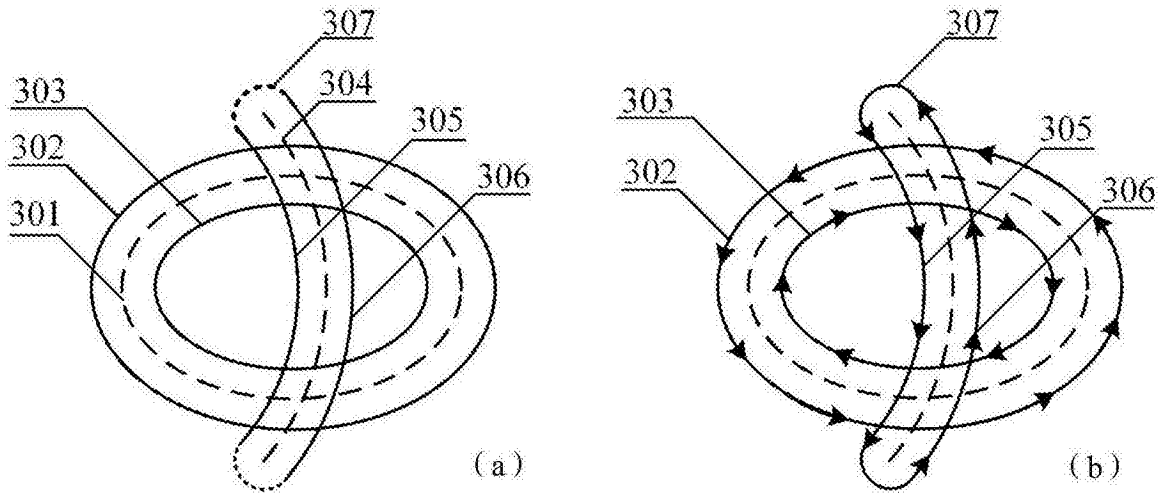


图3

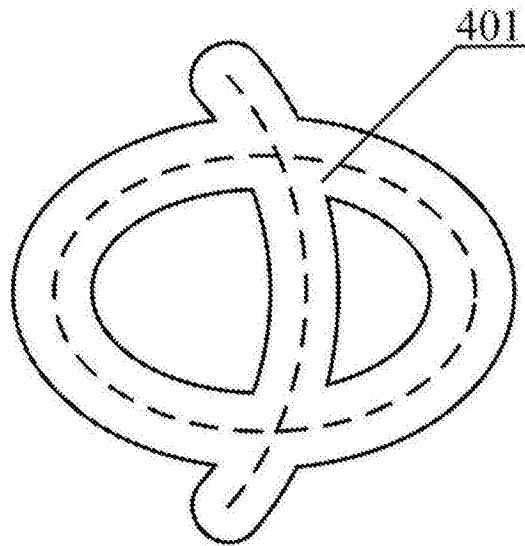


图4

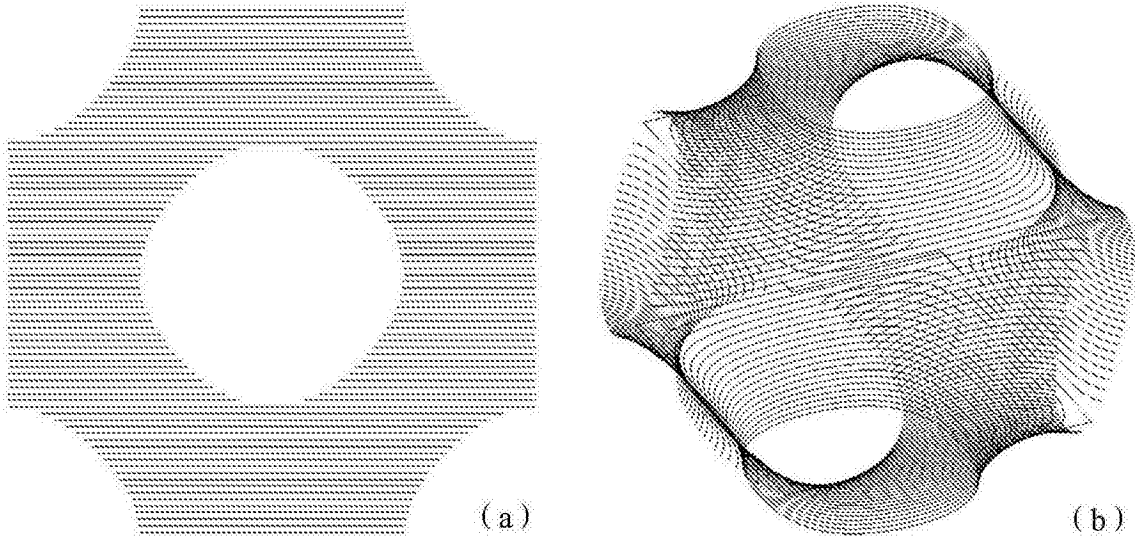


图5

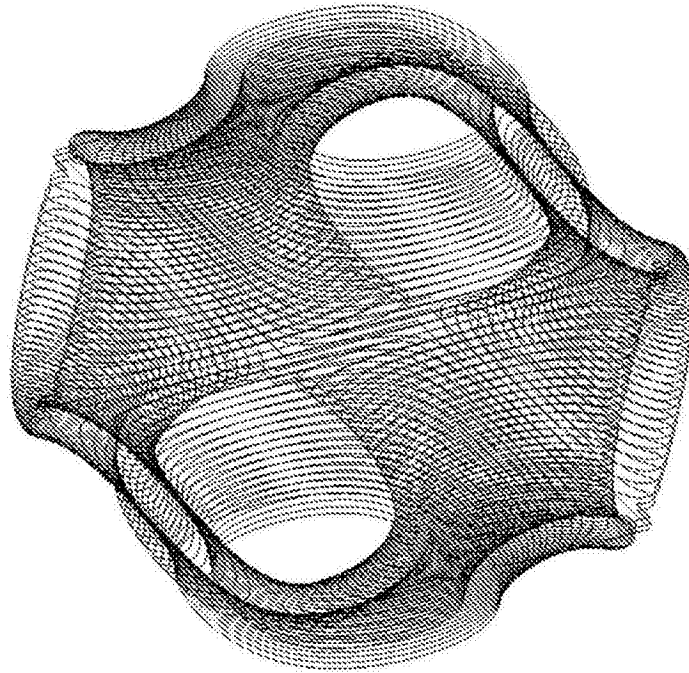


图6

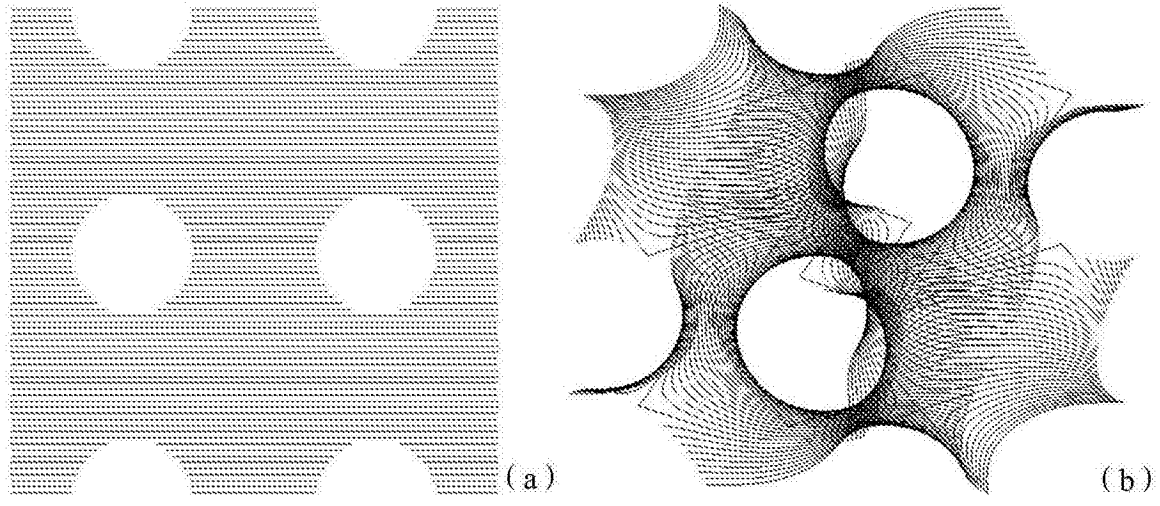


图7

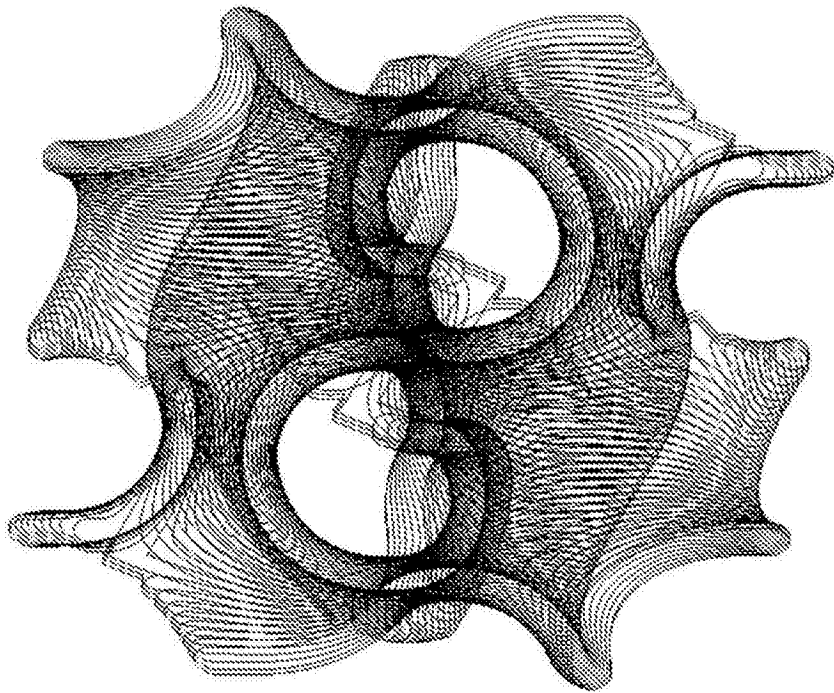


图8