



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 112922986 A  
(43)申请公布日 2021.06.08

(21)申请号 201911243388.7

(22)申请日 2019.12.06

(71)申请人 同济大学

地址 200092 上海市杨浦区四平路1239号

(72)发明人 张雪霞 严鹏飞 严彪

(74)专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限公司 31225

代理人 刘燕武

(51)Int.Cl.

F16F 1/373(2006.01)

B29C 64/118(2017.01)

B33Y 10/00(2015.01)

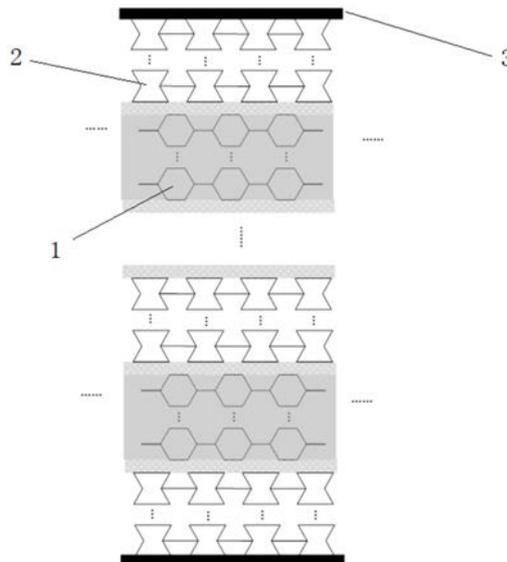
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

一种基于弹性材料的复合吸能结构及其3D打印工艺

(57)摘要

本发明涉及一种基于弹性材料的复合吸能结构及其3D打印工艺,复合吸能结构包括位于两侧的端板,以及设置在两端板之间的由弹性材料制成的负泊松比-蜂窝型吸能区域,所述负泊松比-蜂窝型吸能区域由依次交替排列的蜂窝状结构单体层和负泊松比结构单体层组成,其中,所述蜂窝状结构单体层由并排设置的若干蜂窝状结构单体组成,所述负泊松比结构单体层由并排设置的若干负泊松比结构单体组成,所述负泊松比结构单体的截面呈内折六边形。与现有技术相比,本发明的3D打印方法采用层层叠加的方式将熔化的材料堆积成型,可以实现复杂的造型,同时,打印出来的复合吸能结构可实现吸能结构的“刚柔并济”,更高效的实现缓冲效能。



1. 一种基于弹性材料的复合吸能结构,其特征在于,包括位于两侧的端板,以及设置在两端板之间的由弹性材料制成的负泊松比-蜂窝型吸能区域,所述负泊松比-蜂窝型吸能区域由依次交替排列的蜂窝状结构单体层和负泊松比结构单体层组成,其中,所述蜂窝状结构单体层由并排设置的若干蜂窝状结构单体组成,所述负泊松比结构单体层由并排设置的若干负泊松比结构单体组成,所述负泊松比结构单体的截面呈内折六边形。

2. 根据权利要求1所述的一种基于弹性材料的复合吸能结构,其特征在于,所述蜂窝状结构单体层中的蜂窝状结构单体设有至少两排;

所述的负泊松比结构单体层中的负泊松比结构单体设有至少两排。

3. 根据权利要求1所述的一种基于弹性材料的复合吸能结构,其特征在于,以蜂窝状结构单体的两相对的底边长记为 $a$ ,四条侧边长记为 $b$ ,侧部最大宽度记为 $c$ ,单体厚度为 $t$ ;以负泊松比结构单体的量相对底边长记为 $c'$ ,四条侧边长记为 $b'$ ,侧部最小宽度记为 $a'$ ,单体厚度为 $t'$ 。

4. 根据权利要求3所述的一种基于弹性材料的复合吸能结构,其特征在于,同一蜂窝状结构单体层的相邻两排蜂窝状结构单体之间以“底边对底边”的形式堆叠,且同一排的相邻两蜂窝状结构单体之间通过一等于其底边长度的的连接杆连接,并使得相邻两排蜂窝状结构单体之间形成形状匹配蜂窝状结构单体的空腔;

蜂窝状结构单体和负泊松比结构单体的底边分别正对所述端板,且蜂窝状结构单体的底边正对同一排的相邻两负泊松比单体之间形成的凹槽,此时, $a=a'$ , $c=c'$ , $t=t'$ 。

5. 根据权利要求4所述的一种基于弹性材料的复合吸能结构,其特征在于,同一蜂窝状结构单体层的相邻两排蜂窝状结构单体之间以“侧边对侧边”的形式堆叠,同一排蜂窝状结构单体之间以“底边对底边”的形式并排布置;

蜂窝状结构单体和负泊松比结构单体的侧边分别朝向所述端板,且蜂窝状结构单体的侧边正对负泊松比结构单体的侧边,此时, $b=b'$ , $t=t'$ 。

6. 根据权利要求5所述的一种基于弹性材料的复合吸能结构,其特征在于,当接壤端板的为蜂窝状结构单体层时,该蜂窝状结构单体层朝端板方向按排布结构延续半个周期,且延续部分的长度等于 $(0.85\sim 1.12) \times a/2$ 。

7. 根据权利要求5所述的一种基于弹性材料的复合吸能结构,其特征在于,当接壤端板的为负泊松比结构单体层时,该负泊松比结构单体层朝端板方向按排布结构延续半个周期,且延续部分的长度等于 $(0.88\sim 1.17) \times c'/2$ 。

8. 根据权利要求1所述的一种基于弹性材料的复合吸能结构,其特征在于,所述弹性材料为TPU材料。

9. 如权利要求1-8任一所述的一种基于弹性材料的复合吸能结构的3D打印方法,其特征在于,包括以下步骤:

以蜂窝状结构单体与负泊松比结构单体的底边、侧边所在的X-Y平面为打印平面逐层打印成型所述蜂窝状结构单体层和负泊松比结构单体层,其中,X-Y-Z坐标系为:以平行于端板方向为X方向,垂直于端板方向为Y方向,沿蜂窝状结构单体或负泊松比结构单体的厚度方向为Z方向。

10. 根据权利要求9所述的一种基于弹性材料的复合吸能结构的3D打印方法,其特征在于,采用FDM工艺,打印过程中:

打印时每层厚度为0.1-0.4mm;喷丝的直径为1.75-3mm,喷嘴的孔径为0.2-0.4mm;  
打印温度为200-230°C,热床温度为60-80°C。

## 一种基于弹性材料的复合吸能结构及其3D打印工艺

### 技术领域

[0001] 本发明属于吸能结构制备技术领域,涉及一种基于弹性材料的复合吸能结构的3D打印工艺。

### 背景技术

[0002] 吸能结构即吸收能量的结构,以蜂窝结构作为典型代表的传统多孔复合结构,具有较高的面内、面外刚度和较好的能量吸能能力。对于多孔结构来说,平台应力是评价能量吸收性能的重要指标。具备优异能量吸收能力的多孔结构应具备平台应力高、持续时间长、平台应力稳定等特点。现有的蜂窝吸能结构一般在宏观上都呈现正泊松比,这种单一构造的吸能结构相对较为柔软,其抗冲击能力较弱。同时,蜂窝吸能结构制造一般使用大型设备制造、多步骤多流程成型的形式,这不满足小型化、定制化的设计需求和产品需求。本发明正是针对上述问题而提出的。

### 发明内容

[0003] 本发明的目的就是为了克服上述现有技术存在的缺陷而提供一种基于弹性材料的复合吸能结构及其3D打印工艺,以实现吸能结构的“刚柔并济”和/或提供一种全新的制造工艺。

[0004] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:

[0005] 本发明的技术方案之一在于提供了一种基于弹性材料的复合吸能结构,包括位于两侧的端板,以及设置在两端板之间的由弹性材料制成的负泊松比-蜂窝型吸能区域,所述负泊松比-蜂窝型吸能区域由依次交替排列的蜂窝状结构单体层和负泊松比结构单体层组成,其中,所述蜂窝状结构单体层由并排设置的若干蜂窝状结构单体组成,所述负泊松比结构单体层由并排设置的若干负泊松比结构单体组成,所述负泊松比结构单体的截面呈内折六边形(即指六边形的侧边向内侧弯折,使得六边形的内角中有两个大于 $180^\circ$ )。

[0006] 进一步的,所述蜂窝状结构单体层中的蜂窝状结构单体设有至少两排。

[0007] 进一步的,所述的负泊松比结构单体层中的负泊松比结构单体设有至少两排。

[0008] 进一步的,以蜂窝状结构单体的两相对的底边长记为 $a$ ,四条侧边长记为 $b$ ,侧部最大宽度记为 $c$ ,单体厚度为 $t$ ;以负泊松比结构单体的量相对底边长记为 $c'$ ,四条侧边长记为 $b'$ ,侧部最小宽度记为 $a'$ ,单体厚度为 $t'$ 。

[0009] 更进一步的,同一蜂窝状结构单体层的相邻两排蜂窝状结构单体之间以“底边对底边”的形式堆叠,且同一排的相邻两蜂窝状结构单体之间通过一等于其底边长度的的连接杆连接,并使得相邻两排蜂窝状结构单体之间形成形状匹配蜂窝状结构单体的空腔;此时,在两层蜂窝状结构单体层之间夹着“负泊松比-蜂窝”复合结构界面区域。蜂窝状结构单体和负泊松比结构单体的底边分别正对所述端板,且蜂窝状结构单体的底边正对同一排的相邻两负泊松比单体之间形成的凹槽,此时, $a=a'$ , $c=c'$ , $t=t'$ 。优选的,尺寸范围 $a=4-6\text{mm}$ , $c=6-9\text{mm}$ ,蜂窝状结构单体的两条相邻侧边的夹角范围为 $118-140$ 度,边宽或壁厚 $t$ 为

0.6-1.5mm。

[0010] 更进一步的,同一蜂窝状结构单体层的相邻两排蜂窝状结构单体之间以“侧边对侧边”的形式堆叠,同一排蜂窝状结构单体之间以“底边对底边”的形式并排布置;此时,在两层单体之间可自然过渡,形成零厚度的曲折截面。蜂窝状结构单体和负泊松比结构单体的侧边分别朝向所述端板,且蜂窝状结构单体的侧边正对负泊松比结构单体的侧边,此时, $b=b'$ , $t=t'$ 。

[0011] 更进一步优选的,当接壤端板的为蜂窝状结构单体层时,该蜂窝状结构单体层朝端板方向按排布结构延续半个周期,且延续部分的长度延伸出长度接近于 $a/2$ ,优选等于 $(0.85\sim 1.12)\times a/2$ 。

[0012] 更进一步优选的,当接壤端板的为负泊松比结构单体层时,该负泊松比结构单体层朝端板方向按排布结构延续半个周期,且延续部分的长度接近于 $c'/2$ ,优选等于 $(0.88\sim 1.17)\times c'/2$ 。

[0013] 本发明在常规的蜂窝状结构上复合增设负泊松比结构单体层,负泊松比结构整个应力应变曲线分为四个区域,依次为弹性区、平台区、平台应力增强区以及密实化区。当受到外界压力时,蜂窝结构首先发生屈服变形,随着力的增加,负泊松比结构也发生屈服变形,相对于一般的蜂窝结构来说,复合吸能结构由于负泊松比效应的存在会使得结构应力应变曲线在平台区后出现平台应力增强的现象,这一阶段在应力应变所围成的面积中占比较大,因此这一阶段对于结构整体吸收能量的能力拥有着不可忽视的作用。其次蜂窝结构区域相对较柔,承担大变形吸能功能;而内折六边形负泊松比结构区域由于其较大的抗变形内力显得结构刚度更强,承担相对刚性的抗冲功能。将两种结构复合到一起,将实现吸能结构的“刚柔并济”,更高效的实现缓冲效能。

[0014] 进一步的,所述弹性材料为TPU材料等。

[0015] 本发明的技术方案之二在于提供了一种基于弹性材料的复合吸能结构的3D打印方法,包括以下步骤:

[0016] 以蜂窝状结构单体与负泊松比结构单体的底边、侧边所在的X-Y平面为打印平面逐层打印成型所述蜂窝状结构单体层和负泊松比结构单体层,其中,X-Y-Z坐标系为:以平行于端板方向为X方向,垂直于端板方向为Y方向,沿蜂窝状结构单体或负泊松比结构单体的厚度方向为Z方向。

[0017] 进一步的,采用FDM工艺,打印过程中:打印时每层厚度优选为0.1-0.4mm。喷丝的直径优选为1.75-3mm,喷嘴的孔径优选为0.2-0.4mm。打印温度优选为200-230℃,热床温度优选为60-80℃。

[0018] 与现有技术相比,本发明具有以下优点:

[0019] (1) 本发明采用蜂窝状结构单体层与负泊松比结构单体层复合得到吸能结构,相比于常规单蜂窝状吸能结构而言,可以实现吸能结构的“刚柔并济”,更高效的实现缓冲效能。

[0020] (2) 打印结构所得的平台应力范围为0.380.-0.430MPa,平台最大应变32-45%,比吸能值 $E_s$ 为1.047-1.123KJ/m<sup>3</sup>,吸能效率65-75%。

## 附图说明

- [0021] 图1为复合吸能结构的一种示意图；  
[0022] 图2为复合吸能结构的另一种示意图；  
[0023] 图3为蜂窝状结构单体的结构示意图；  
[0024] 图4为负泊松比结构单体的示意图；  
[0025] 图5为所得成品的示意图；  
[0026] 图中标记说明：  
[0027] 1-蜂窝状结构单体,2-负泊松比结构单体,3-端板。

## 具体实施方式

[0028] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。本实施例以本发明技术方案为前提进行实施,给出了详细的实施方式和具体的操作过程,但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

[0029] 本发明的技术方案之一在于提供了一种基于弹性材料的复合吸能结构,包括位于两侧的端板3,以及设置在两端板3之间的由弹性材料制成的负泊松比-蜂窝型吸能区域,所述负泊松比-蜂窝型吸能区域由依次交替排列的蜂窝状结构单体层和负泊松比结构单体层组成,其中,所述蜂窝状结构单体层由并排设置的若干蜂窝状结构单体1组成,所述负泊松比结构单体层由并排设置的若干负泊松比结构单体2组成,所述负泊松比结构单体2的截面呈内折六边形(即指六边形的侧边向内侧弯折,使得六边形的内角中有两个大于 $180^\circ$ )。

[0030] 上述方案中的一种具体的实施方式中,所述蜂窝状结构单体层中的蜂窝状结构单体1设有至少两排。

[0031] 上述方案中的一种具体的实施方式中,所述的负泊松比结构单体层中的负泊松比结构单体2设有至少两排。

[0032] 上述方案中的一种具体的实施方式中,参见图3和图4所示,以蜂窝状结构单体1的两相对的底边长记为 $a$ ,四条侧边长记为 $b$ ,侧部最大宽度记为 $c$ ,单体厚度为 $t$ ;以负泊松比结构单体2的量相对底边长记为 $c'$ ,四条侧边长记为 $b'$ ,侧部最小宽度记为 $a'$ ,单体厚度为 $t'$ 。

[0033] 更进一步的,参见图1和图5所示,同一蜂窝状结构单体层的相邻两排蜂窝状结构单体1之间以“底边对底边”的形式堆叠,且同一排的相邻两蜂窝状结构单体1之间通过一等于其底边长度的连接杆连接,并使得相邻两排蜂窝状结构单体1之间形成形状匹配蜂窝状结构单体1的空腔;此时,在两层蜂窝状结构单体层之间夹着“负泊松比-蜂窝”复合结构界面区域。蜂窝状结构单体1和负泊松比结构单体2的底边分别正对所述端板3,且蜂窝状结构单体1的底边正对同一排的相邻两负泊松比单体之间形成的凹槽,此时, $a=a'$ , $c=c'$ , $t=t'$ 。请再参见图3和图4所示,尺寸范围 $a=4-6\text{mm}$ , $c=6-9\text{mm}$ ,蜂窝状结构单体1的两条相邻侧边的夹角 $\alpha$ 范围为 $118-140^\circ$ (负泊松比结构单体的相邻两侧边的夹角 $\alpha'$ 与 $\alpha$ 之和为 $360^\circ$ ),边宽或壁厚 $t$ 为 $0.6-1.5\text{mm}$ 。

[0034] 更进一步的,参见图2所示,同一蜂窝状结构单体层的相邻两排蜂窝状结构单体1之间以“侧边对侧边”的形式堆叠,同一排蜂窝状结构单体1之间以“底边对底边”的形式并排布置;此时,在两层单体之间可自然过渡,形成零厚度的曲折截面。蜂窝状结构单体1和负

泊松比结构单体2的侧边分别朝向所述端板3,且蜂窝状结构单体1的侧边正对负泊松比结构单体2的侧边,此时, $b=b'$ , $t=t'$ 。

[0035] 更进一步优选的,当接壤端板3的为蜂窝状结构单体层时,该蜂窝状结构单体层朝端板3方向按排布结构延续半个周期,且延续部分的长度延伸出长度接近于 $a/2$ ,优选等于 $(0.85\sim 1.12)\times a/2$ 。

[0036] 更进一步优选的,当接壤端板3的为负泊松比结构单体层时,该负泊松比结构单体层朝端板3方向按排布结构延续半个周期,且延续部分的长度接近于 $c'/2$ ,优选等于 $(0.88\sim 1.17)\times c'/2$ 。

[0037] 上述方案中的一种具体的实施方式中,所述弹性材料为TPU材料等。

[0038] 本发明的技术方案之二在于提供了一种基于弹性材料的复合吸能结构的3D打印方法,包括以下步骤:

[0039] 以蜂窝状结构单体1与负泊松比结构单体2的底边、侧边所在的X-Y平面为打印平面逐层打印成型所述蜂窝状结构单体层和负泊松比结构单体层,其中,X-Y-Z坐标系为:以平行于端板3方向为X方向,垂直于端板3方向为Y方向,沿蜂窝状结构单体1或负泊松比结构单体2的厚度方向为Z方向。

[0040] 上述方案中的一种具体的实施方式中,采用FDM工艺,打印过程中:打印时每层厚度优选为0.1-0.4mm。分层厚度指利用切片软件对三维数据模型进行切片时层与层之间的距离,即打印时每层厚度。层厚设置越小,模型精度越高,成型时间越长,加工效率越低;反之,零件表面越粗糙,成型时间越短,加工效率越高。一般情况下,层厚设置为0.1-0.4mm,最大不超过打印喷头孔径。

[0041] 喷丝的直径优选为1.75-3mm,喷嘴的孔径优选为0.2-0.4mm。

[0042] 打印温度优选为200-230℃,热床温度优选为60-80℃。成型温度包括喷头打印温度和环境温度(对于常规fDM打印机即热床温度)。打印温度指打印时喷头的加热温度。不同的打印材料其熔点不同。打印温度设定要根据具体材料而定。温度过高,挤出的熔丝中混有气泡,容易产生材料坍塌及拉丝现象。温度过低,熔丝加热不充分,从而造成喷嘴堵塞或层间剥离。环境温度会影响成型件的热应力大小。温度高,有助于减小热应力,但零件表面易起皱;温度低,热应力增大,制件层间粘结不牢固,易发生开裂、翘曲变形。

[0043] 粘附平台优选为沿边,防止产生翘曲变形。

[0044] 如图1和图2所示的截面方向即为平行于打印底板的方向(即X-Y平面),而拉伸方向为Z轴方向。由于,一般零件沿竖直方向(Z向)的强度较弱,垂直与Z向的表面轮廓精度和表面粗糙度质量较高。因此,在成型过程中,优选将主要发生吸能收缩的截面沿XY平面成型,以确保制件质量处于最佳状态。

[0045] 以上各实施方式可以任一单独实施,也可以任意两两组合实施。

[0046] 下面结合具体实施例来对以上实施方式进行详细说明。

[0047] 实施例1:

[0048] 本实施例提供了一种基于弹性材料的复合吸能结构的3D打印方法,复合吸能结构具体参见图1所示,包括位于两侧的端板3,以及设置在两端板3之间的由弹性材料制成的负泊松比-蜂窝型吸能区域,所述负泊松比-蜂窝型吸能区域由依次交替排列的蜂窝状结构单体层和负泊松比结构单体层组成,其中,所述蜂窝状结构单体层由并排设置的若干蜂窝状

结构单体1组成,所述负泊松比结构单体层由并排设置的若干负泊松比结构单体2组成,所述负泊松比结构单体2的截面呈内折六边形(即指六边形的侧边向内侧弯折,使得六边形的内角中有两个大于 $180^\circ$ )。

[0049] 请再参见图1所示,所述蜂窝状结构单体层中的蜂窝状结构单体1设有若干排,所述的负泊松比结构单体层中的负泊松比结构单体2设有若干排。

[0050] 参见图3和图4所示,以蜂窝状结构单体1的两相对的底边长记为 $a$ ,四条侧边长记为 $b$ ,侧部最大宽度记为 $c$ ,单体厚度为 $t$ ;以负泊松比结构单体2的量相对底边长记为 $c'$ ,四条侧边长记为 $b'$ ,侧部最小宽度记为 $a'$ ,单体厚度为 $t'$ 。

[0051] 参见图1和图5所示,同一蜂窝状结构单体层的相邻两排蜂窝状结构单体1之间以“底边对底边”的形式堆叠,且同一排的相邻两蜂窝状结构单体1之间通过一等于其底边长度的的连接杆连接,并使得相邻两排蜂窝状结构单体1之间形成形状匹配蜂窝状结构单体1的空腔;此时,在两层蜂窝状结构单体层之间夹着“负泊松比-蜂窝”复合结构界面区域。蜂窝状结构单体1和负泊松比结构单体2的底边分别正对所述端板3,且蜂窝状结构单体1的底边正对同一排的相邻两负泊松比单体之间形成的凹槽,此时, $a=a'$ , $c=c'$ , $t=t'$ 。优选的,尺寸范围 $a=4-6\text{mm}$ , $c=6-9\text{mm}$ ,蜂窝状结构单体1的两条相邻侧边的夹角范围为 $118-140^\circ$ ,边宽或壁厚 $t$ 为 $0.6-1.5\text{mm}$ 。

[0052] 本实施例的打印工艺参数如下:

[0053] 材质:TPU 95A

[0054] 复合的结构,两种单体尺寸参数关系为 $a=a'$ ,即 $c=c'$ ,其中尺寸范围 $a=3.5\text{mm}$ , $c=7\text{mm}$ ,两条相邻侧壁夹角的范围为 $\alpha=130^\circ$ 。边宽或壁厚 $t$ 为 $0.8\text{mm}$ 。

[0055] 层厚: $0.1-0.4\text{mm}$ 。分层厚度指利用切片软件对三维数据模型进行切片时层与层之间的距离,即打印时每层厚度。层厚设置越小,模型精度越高,成型时间越长,加工效率越低;反之,零件表面越粗糙,成型时间越短,加工效率越高。一般情况下,层厚设置为 $0.1-0.4\text{mm}$ ,最大不超过打印喷头孔径。

[0056] 喷丝的直径: $1.75\text{mm}$

[0057] 喷嘴孔径: $0.4\text{mm}$

[0058] 打印速度: $40-50\text{mm/s}$

[0059] 打印温度: $200-230^\circ\text{C}$ ,热床温度: $60-80^\circ\text{C}$

[0060] 对此结构进行压缩和冲击试验,得到应力-应变曲线,得到的平台应力范围为 $0.390-0.410\text{MPa}$ ,比吸能值 $E_s$ 范围为 $1.087-1.112\text{KJ/m}^3$ ,吸能效率为 $69-71\%$ 。

[0061] 实施例2

[0062] 与实施例1相比,绝大部分都相同,除了本实施例中复合吸能结构替换为如图2的结构,具体为:

[0063] 同一蜂窝状结构单体层的相邻两排蜂窝状结构单体1之间以“侧边对侧边”的形式堆叠,同一排蜂窝状结构单体1之间以“底边对底边”的形式并排布置;此时,在两层单体之间可自然过渡,形成零厚度的曲折截面。蜂窝状结构单体1和负泊松比结构单体2的侧边分别朝向所述端板3,且蜂窝状结构单体1的侧边正对负泊松比结构单体2的侧边,此时, $b=b'$ , $t=t'$ 。

[0064] 接壤端板3的为蜂窝状结构单体层时,该蜂窝状结构单体层朝端板3方向按排布结

构延续半个周期,且延续部分的长度延伸出长度接近于 $a/2$ ,优选等于 $(0.85\sim 1.12) \times a/2$ 。

[0065] 接壤端板3的为负泊松比结构单体层时,该负泊松比结构单体层朝端板3方向按排布结构延续半个周期,且延续部分的长度接近于 $c/2$ ,优选等于 $(0.88\sim 1.17) \times c/2$ 。

[0066] 以上实施例所用的FDM打印工艺流程为本领域常规技术,具体可参见(高士友,黎宇航,周野飞,陆鑫,董齐,王宾,赵静梅,肖雨晨.熔融沉积(FDM)3D打印成形件的力学性能实验研究[J].塑性工程学报,2017,24(01):200-206)。其余如无特别说明的原料或工艺技术则表明均为本领域的常规市售原料或常规技术。

[0067] 上述的对实施例的描述是为便于该技术领域的普通技术人员能理解和使用发明。熟悉本领域技术的人员显然可以容易地对这些实施例做出各种修改,并把在此说明的一般原理应用到其他实施例中而不必经过创造性的劳动。因此,本发明不限于上述实施例,本领域技术人员根据本发明的揭示,不脱离本发明范畴所做出的改进和修改都应该在本发明的保护范围之内。

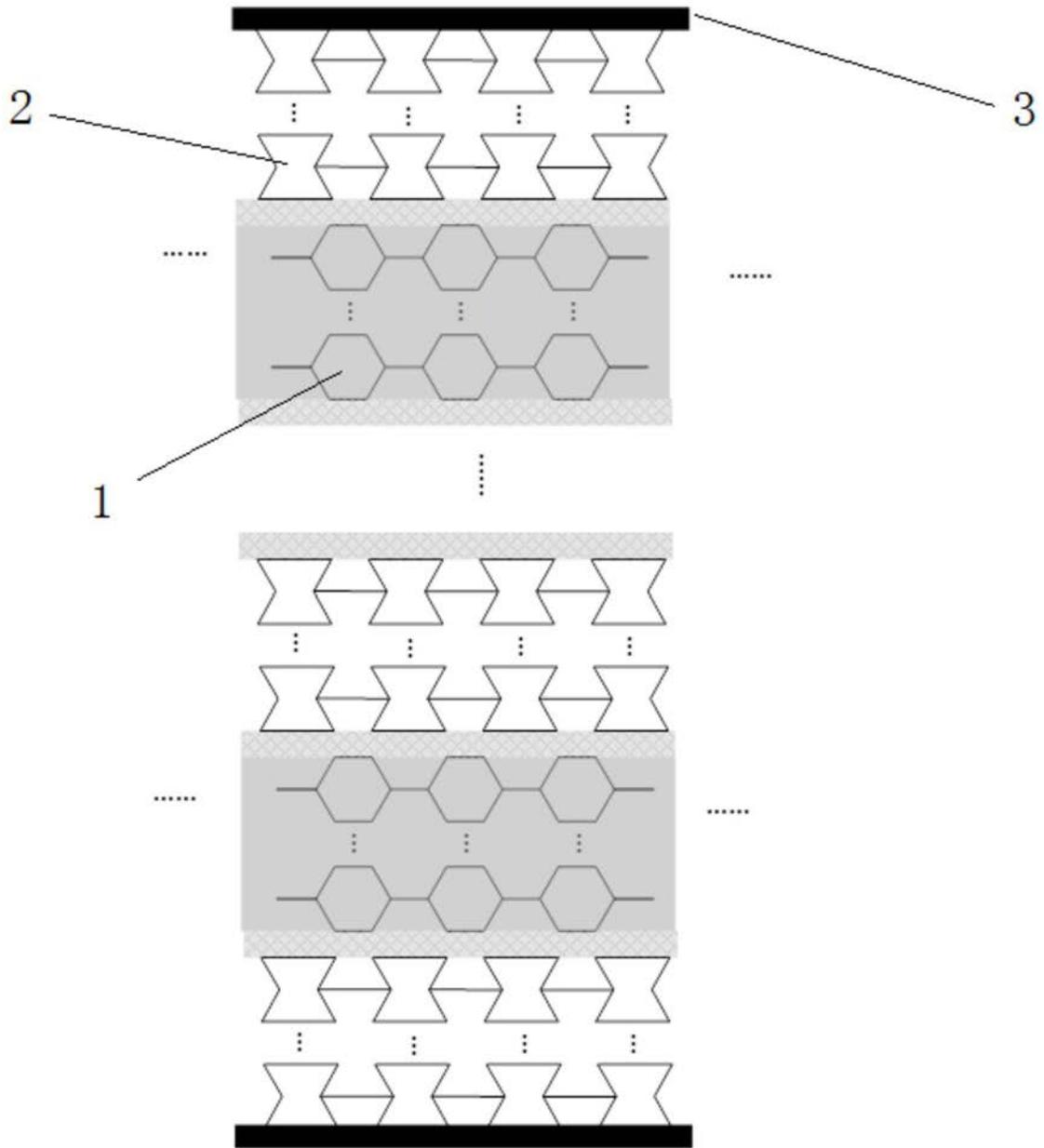


图1

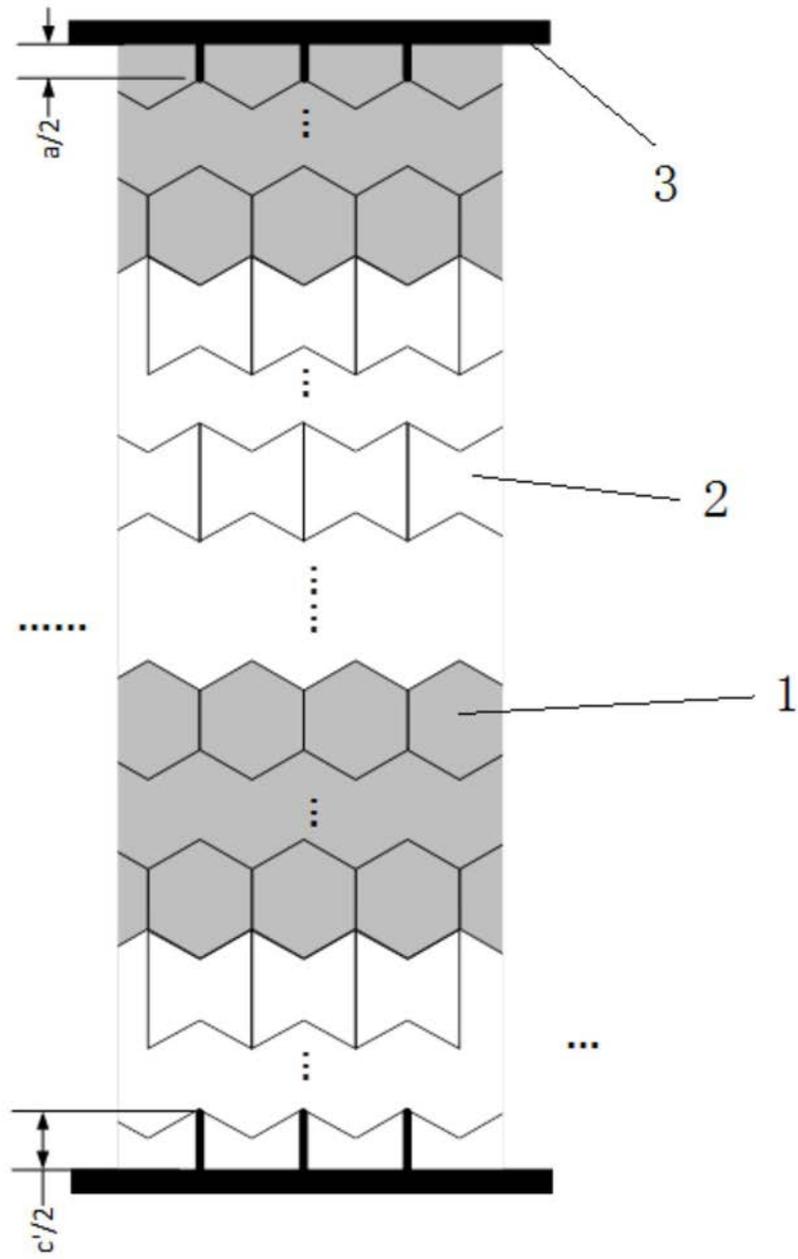


图2

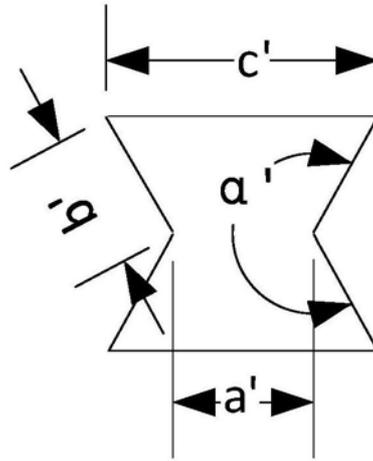


图3

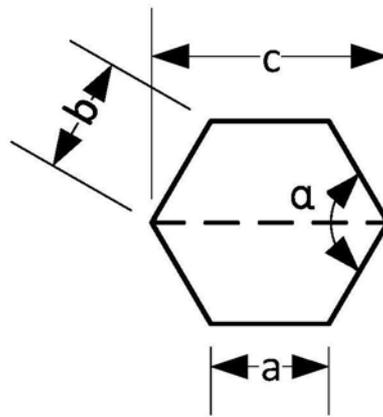


图4

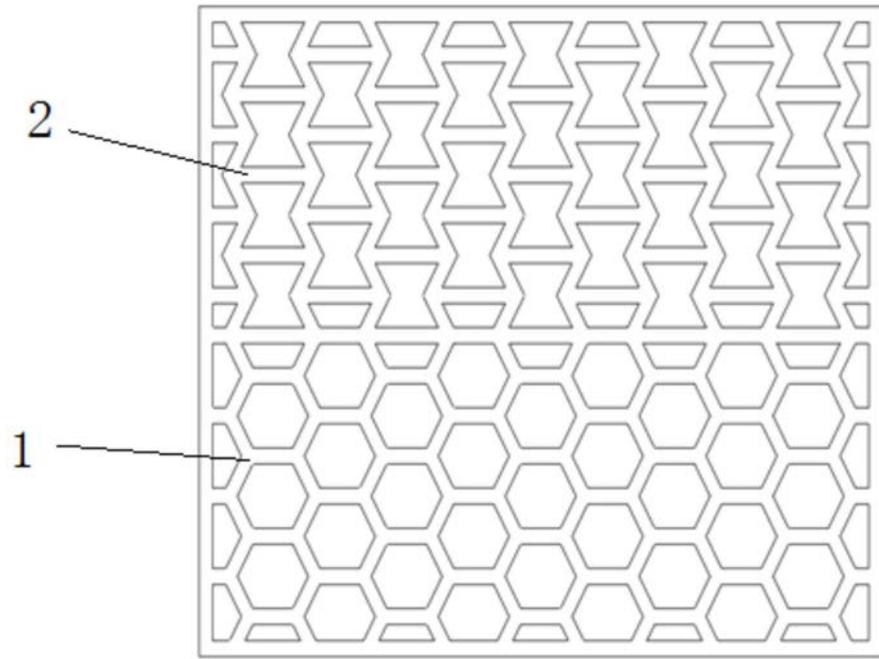


图5