



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108891029 B

(45)授权公告日 2020.02.18

(21)申请号 201810854914.2

B33Y 50/00(2015.01)

(22)申请日 2018.07.30

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108891029 A

CN 107471629 A,2017.12.15,
CN 107433713 A,2017.12.05,
CN 104309126 A,2015.01.28,
WO 2014153535 A2,2014.09.25,

(43)申请公布日 2018.11.27

(73)专利权人 大连理工大学
地址 116024 辽宁省大连市甘井子区凌工
路2号

审查员 景涛

(72)发明人 王福吉 王公硕 张中标 成德
王琦

(74)专利代理机构 大连理工大学专利中心
21200

代理人 关慧贞

(51)Int.Cl.

B29C 64/386(2017.01)

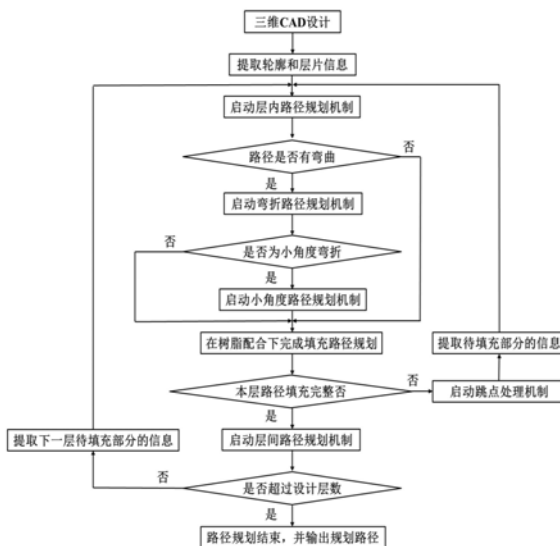
权利要求书2页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

连续纤维增强复合材料3D打印典型路径的
规划方法

(57)摘要

本发明连续纤维增强复合材料3D打印典型
路径的规划方法属于复合材料快速成型领域,涉
及一种连续纤维增强复合材料3D打印典型路径
的规划方法。该方法根据成型构件的实际尺寸要
求,借助CAD建模软件建立三维模型,并利用3D切
片软件对其进行切片分层处理,以获取轮廓和层
片信息。判断路径的弯曲程度并启动相应路径规
划机制,借助跳点处理机制准确定位跳点并完成
跳点动作。利用层间路径规划机制实现纤维无断
点的层间转换,实现连续纤维增强复合材料高质
量、高效率的3D打印新路径。该方法规划出最少
断点的打印路径,保证连续纤维增强复合材料的
力学性能。有效减少连续纤维在弯折处的成型缺
陷,提升其在弯折处的结合力,提高成型构件的
整体性能。



CN 108891029 B

1. 一种连续纤维增强复合材料3D打印典型路径的规划方法,其特征在于,该方法根据成型构件的实际尺寸要求,借助CAD建模软件建立三维模型,并利用3D切片软件对其进行切片分层处理,以获取轮廓和层片信息;判断路径的弯曲程度并启动相应路径规划机制,借助跳点处理准确定位跳点,并完成跳点动作;利用层间路径规划实现纤维无断点的层间转换,最终实现连续纤维增强复合材料高质量、高效率、低缺陷成型的3D打印新路径;方法的具体步骤如下:

步骤1根据成型构件的实际尺寸要求,借助CAD建模软件建立三维模型,并利用3D切片软件对其进行切片分层处理,以获取轮廓和层片信息;所述的轮廓和层片信息不仅准确描述成型构件的几何拓扑信息,还要反映复合材料中连续纤维和树脂的不同材料属性信息;

步骤2根据获取的轮廓和层片信息,设定打印速度、喷头温度、层厚打印参数,确定线材直径、打印喷嘴直径外部参数,据此计算线材供给速度,并启动层内路径规划机制;

所述层内路径规划机制具体为:对于规则的分层轮廓图形,从分层轮廓上的距离原点最近的一顶点A开始,按照“回”字型轨迹规划方法,依次规划轨迹经过B、C、D、E各点;其中,点A和点E间距离 l_{AE} 不小于3D打印机的喷头直径;对于不规则的分层轮廓图形,与前者类似,但在距起始点 A_1 适当距离的点 D_1 处改变路径曲线弧度,使路径连续平滑的到达内圈的起始点 E_1 ,且点 A_1 和点 E_1 间距离 $l_{A_1E_1}$ 不小于喷头直径;

步骤3判断层间路径中是否有弯曲,如果有弯曲,启动弯折路径规划机制,并进入步骤4,反之,直接进入步骤5;

所述弯折路径规划机制具体为:在路径弯折处,特别是小于 120° 的弯折处,根据连续纤维特性适当调节弯折曲率半径,减少纤维材料缺陷的产生;同时,将此处的打印速度降低4%-6%,打印温度升高1%-2%,增强纤维与树脂之间的浸润,以提升弯曲处打印连续纤维结合力;

步骤4判断步骤3中弯曲是否为小角度弯折,如果是小角度弯折,启动小角度路径规划机制,并进入步骤5,反之,直接进入步骤5;所述小角度路径规划机制具体为:在路径弯折角度小于连续纤维所能弯折的最小角度时,根据连续纤维性质,增大弯折角度,同时降低打印速度6%-8%,升高打印温度3%-4%,进一步减少连续纤维缺陷的产生以提升成型构件性能;

步骤5连续纤维无法填充处用树脂填充,以确保整体构件的形状要求;在热塑性树脂的配合下,完成上述路径的规划;

步骤6判断本层路径填充是否完整,如果本层路径填充完整,直接进入步骤7,反之,获取待填充部分的轮廓和层片信息,并启动跳点路径处理机制,返回步骤2,对没有填充的部分进行路径规划;

步骤7启动层间路径规划机制,准备下一层的路径填充;所述层间路径规划机制具体为:从本层的最终路径结束处O点,调整连续纤维的进给速度和层间方向Z坐标的变换速度,使之相匹配的完成从M层的O点到N层的 O' 点的层间转换;

步骤8启动路径规划结束判定机制;所述路径规划结束判定机制具体为:判断当前层数是否超过成型构件设计打印的层数,若超过设计层数,路径规划结束;本次打印路径规划结束,输出规划的路径代码文件;反之,获取下一层的轮廓和层片信息,返回步骤2至步骤8,继续进行路径规划。

2. 根据权利要求1所述的一种连续纤维增强复合材料3D打印典型路径的规划方法,其特征在于,所用连续纤维为连续碳纤维线材、连续玻璃纤维线材、连续陶瓷纤维线材或连续碳化硅纤维线材的一种或多种,还包括根据特殊应用场合制备的连续纤维丝束;所用树脂为ABS树脂、聚酰胺或聚醚醚酮热塑性树脂的一种或多种。

连续纤维增强复合材料3D打印典型路径的规划方法

技术领域

[0001] 本发明属于复合材料快速成型领域,涉及一种连续纤维增强复合材料3D打印典型路径的规划方法。

背景技术

[0002] 纤维增强复合材料具有轻质、高强且可整体设计制造的优点,现已成为航空、航天等高端装备领域中关键构件的首选材料。然而,随着高端装备中关键构件的功能化和高性能化需求不断提高,构件的结构设计愈发复杂,传统铺放固化的制造工艺无法满足复杂构件的形性要求,严重影响了纤维复合材料在高端装备复杂结构件中的应用。

[0003] 3D打印技术应用了离散-堆积的思想,从根源上避免了传统减材制造中存在的难成型、难加工的问题,不仅能有效提升制造效率及材料利用率、降低生产成本,还可以实现复杂结构件的快速精密制造。3D打印技术的快速发展,为纤维复合材料的制造提供了新的研究方向。然而,在连续纤维增强复合材料的3D打印成型过程中,由于增强的纤维材料自身具有硬脆性,极易在弯曲处形成应力集中,结合力大幅下降。同时,在零件的小角度弯折部分的成型过程中,传统的3D打印路径极易导致纤维发生断裂,严重削减成型构件的力学性能。在连续纤维增强复合材料路径规划过程中,保持纤维连续性和实现跳点打印是保证构件力学性能最为关键的因素。

[0004] 据此,国内外学者展开了广泛的研究。加拿大阿尔伯塔大学的Garrett W.Melenka等人在“Composite Structures”上发表的《Evaluation and prediction of the tensile properties of continuous fiber-reinforced 3D printed structures》中介绍了Mark One打印机的纤维打印路径,通过特有的算法,并在尼龙等树脂的配合下,可以较好的完成连续纤维的铺放成型工作,然而这种方法容易在纤维起始处产生缺陷,导致纤维层间的结合能力较差,并且连续纤维的填充含量有限,制约了成型构件的力学性能。武汉理工大学的马国峰等人在“机械设计与研究”上发表的《碳纤维长纤3D打印的路径跳转处理》中提出了一种基于三维路径坐标与远端切断装置间距离关系的长纤维3D打印路径跳转算法,通过断点的识别和位置的匹配,能较好的完成路径的跳转,然而上述算法的位置匹配方式复杂,计算量巨大,形成代码的效率很低,不利于实现3D打印技术快速成型的要求。此外,该算法计算出的路径断点过多,严重影响了纤维的连续性,也会使最终成型构件的力学性能大打折扣。

发明内容

[0005] 本发明的目的是为了克服现有技术的缺陷,针对连续纤维3D打印的路径规划仍然存在弯折处纤维结合力弱、小角度弯折处纤维易断裂、路径断点多等问题,这极易造成连续纤维复合材料成型构件的缺陷形成,严重制约成型构件性能,甚至导致成型构件打印失败。在3D打印过程中,由于连续纤维弯曲易折的特性,针对层内路径、层间路径、弯折路径、跳转路径等问题,以及小角度弯曲路径是连续纤维复合材料成型过程中常见的难规划路径,打

印路径应该尽量保证纤维的连续性,最大程度上减少纤维断点。考虑到纤维增强相和树脂基体相之间巨大的热力学差异,发明了一种连续纤维增强复合材料3D打印典型路径的规划方法,以实现这类复杂结构件高质、高效成型的严苛要求。该方法根据成型构件的轮廓和层片信息,判断路径的弯曲程度并启动相应路径规划机制,借助跳点处理机制准确定位跳点,并完成跳点动作,利用层间路径规划机制实现纤维无断点的层间转换,最终获得了可实现连续纤维增强复合材料高质量、高效率、低缺陷成型的3D打印新路径,大幅降低了成型成本,显著提高了打印效益。

[0006] 本发明采用的技术方案是一种连续纤维增强复合材料3D打印典型路径的规划方法,其特征在于,该方法根据成型构件的实际尺寸要求,借助CAD建模软件建立三维模型,并利用3D切片软件对其进行切片分层处理,以获取轮廓和层片信息;判断路径的弯曲程度并启动相应路径规划机制,借助跳点处理机制准确定位跳点并完成跳点动作,利用层间路径规划机制实现纤维无断点的层间转换,实现连续纤维增强复合材料高质量、高效率、低缺陷成型的3D打印新路径;方法的具体步骤如下:

[0007] 步骤1根据成型构件的实际尺寸要求,借助CAD建模软件建立三维模型,并利用3D切片软件对其进行切片分层处理,以获取轮廓和层片信息;所述的轮廓和层片信息不仅准确描述成型构件的几何拓扑信息,还要反映复合材料中连续纤维和树脂的不同材料属性信息;

[0008] 步骤2根据获取的轮廓和层片信息,设定打印速度、喷头温度、层厚等打印参数,确定线材直径、打印喷嘴直径等外部参数,据此计算线材供给速度,并启动层内路径规划机制;

[0009] 所述层内路径规划机制具体为:对于规则的分层轮廓图形,从分层轮廓上的距离原点最近的一顶点A开始,按照“回”字型轨迹规划方法,依次规划轨迹经过B、C、D、E各点,其中点A和点E间距离 l_{AE} 不小于3D打印机的喷头直径;对于不规则的分层轮廓图形,与前者类似,但在距起始点 A_1 适当距离的点 D_1 处改变路径曲线弧度,使路径连续平滑的到达内圈的起始点 E_1 ,且点 A_1 和点 E_1 间距离 $l_{A_1E_1}$ 不小于喷头直径;

[0010] 步骤3判断层间路径中是否有弯曲,如果有弯曲,启动弯折路径规划机制,并进入步骤4,反之,直接进入步骤5;

[0011] 所述弯折路径规划机制具体为:在路径弯折处,特别是小于 120° 的弯折处,根据连续纤维特性适当调节弯折曲率半径,减少纤维材料缺陷的产生;同时,将此处的打印速度降低4%-6%,打印温度升高1%-2%,增强纤维与树脂之间的浸润,以提升弯曲处打印连续纤维结合力;

[0012] 步骤4判断步骤3中弯曲是否为小角度弯折,如果是小角度弯折,启动小角度路径规划机制,并进入步骤5,反之,直接进入步骤5;所述小角度路径规划机制具体为:在路径弯折角度小于连续纤维所能弯折的最小角度时,根据连续纤维性质,增大弯折角度,同时降低打印速度6%-8%,升高打印温度3%-4%,进一步减少连续纤维缺陷的产生以提升成型构件性能;

[0013] 步骤5连续纤维无法填充处用树脂填充,以确保整体构件的形状要求;在热塑性树脂的配合下,完成上述路径的规划;

[0014] 步骤6判断本层路径填充是否完整,如果本层路径填充完整,直接进入步骤7,反

之,获取待填充部分的轮廓和层片信息,并启动跳点路径处理机制,返回步骤2,对没有填充的部分进行路径规划;

[0015] 步骤7启动层间路径规划机制,准备下一层的路径填充;

[0016] 所述层间路径规划机制具体为:从本层的最终路径结束处O点,调整连续纤维的进给速度和层间方向Z坐标的变换速度,使之相匹配的完成从M层的O点到N层的O`点的层间转换;

[0017] 步骤8启动路径规划结束判定机制;所述路径规划结束判定机制具体为:判断当前层数是否超过成型构件设计打印的层数,若超过设计层数,路径规划结束;本次打印路径规划结束,输出规划的路径代码文件;反之,获取下一层的轮廓和层片信息,返回步骤2,继续规划下层路径。

[0018] 一种连续纤维增强复合材料3D打印典型路径的规划方法,其特征在于,所用连续纤维增强材料为连续碳纤维线材、连续玻璃纤维线材、连续陶瓷纤维或连续碳化硅纤维的一种或多种,还包括根据特殊应用场合制备的连续纤维丝束;所用树脂为ABS树脂、聚酰胺或聚醚醚酮热塑性树脂的一种或多种。

[0019] 本发明的有益效果是可规划出最少断点的打印路径,保证连续纤维增强复合材料的力学性能。有效减少连续纤维在弯折处的成型缺陷,并有效提升其在弯折处的结合力,提升成型构件的整体性能。更可以精确确定跳点位置,快速生成跳点路径代码。方法规划的路径可高质量、高效率的完成连续纤维3D打印过程中跳点动作的。实现连续纤维高质量、高效率、低缺陷成型的路径规划,是一种能满足连续纤维增强复合材料3D打印成型构件整体形性要求的路径规划方法。

附图说明

[0020] 图1为本发明的路径规划方法流程图;

[0021] 图2为本发明的规则分层轮廓层内路径规划方法示意图;

[0022] 图3为本发明的不规则分层轮廓层内路径规划方法示意图;

[0023] 图4为本发明的连续纤维层间路径规划方法示意图;

[0024] 图5为实施例中原始样件的三维模型图和样件分层后的路径规划示意图,其中,图5a)为实施例中原始样件的三维模型图,图5b)为实施例中样件分层后M层跳转到N层路径规划示意图。

具体实施方式

[0025] 下面结合附图和技术方案对本发明做进一步的详细说明。

[0026] 本发明的规划方法所用连续纤维增强材料为连续碳纤维线材、连续玻璃纤维线材、连续陶瓷纤维或连续碳化硅纤维的一种或多种,还包括根据特殊应用场合制备的连续纤维丝束;所用树脂为ABS树脂、聚酰胺或聚醚醚酮热塑性树脂的一种或多种。

[0027] 在本实施例中,采用1K连续碳纤维和尼龙作为原材材料,进行3D打印,其中连续碳纤维是经过预处理的,且根据实验其能弯折的最小角度为 13° 。

[0028] 本实施例的路径规划方法流程图如图1所示,规划方法的具体步骤如下:

[0029] 步骤1参照图5a)所示原始样件的三维模型图,成型构件的实际尺寸要求,借助

Autodesk Inventor建立三维模型,并利用3D切片软件对其进行分层处理,获取轮廓和层片信息;

[0030] 步骤2根据材料属性信息和获取的轮廓与层片信息,设定本次打印速度80mm/min,喷头温度260℃,层厚0.3mm,选用喷嘴直径1.2mm,纤维线材直径1mm,树脂线材直径1.75mm;根据体积不变原则计算,纤维线材供给速度80mm/min,树脂线材供给速度11.5mm/min;根据层内路径规划机制,从A₂点开始“回”字填充;图2为本发明的规则分层轮廓层内路径规划方法示意图,图3为本发明的不规则分层轮廓层内路径规划方法示意图。

[0031] 步骤3判断层间路径中是否有弯曲,如图5b)所示,路径中点B₂~H₂间有弯曲,启动弯折路径规划机制。其中,点B₂~E₂和点H₂处弯折角度小于120度,此处的打印速度调整为76mm/min,温度调整为263℃;并根据各处不同弯折的角度将路径规划为弧形状。

[0032] 步骤4判断图5b)所示的路径弯曲是否有小角度弯折,如果是小角度弯折,启动小角度路径规划机制,图5b)的路径中F₂点处弯折角度小于13°,为小角度弯折,启动小角度路径规划机制,根据实例中纤维性质,此处的轨迹调整为15°的半径为1.5mm的弧形弯折F₂G₂,并将打印速度调整为74mm/min,温度调整为268℃。

[0033] 步骤5连续纤维无法填充处用树脂填充,上述F₂点小角度处连续纤维无法填充的地方,使用尼龙填充,完成整体填充路径的规划。

[0034] 步骤6当将图5b)中的区域I的填充路径规划完后,判断本层区域II处是否还有路径未规划,获取此处的轮廓和层片信息,并重复步骤2至步骤5,对没有填充的部分进行路径规划;

[0035] 步骤7启动路径规划结束判定机制;将图5b)中的区域II处路径规划完毕后,本层路径全部规划完毕,启动层间路径规划机制,调整层间方向Z坐标的变换速度与连续纤维供给速度相同,完成从M层的O点到N层的O`点的层间转换,如图4所示,准备下一层的路径填充;

[0036] 步骤8打印机Z轴抬升后,启动路径规划结束判定机制,判断当前层数是否超过成型构件设计打印的层数,如果超过设计层数,本次打印路径规划结束,输出规划的路径代码文件;反之获取下一层的轮廓和层片信息,重复步骤2至步骤8,继续进行路径规划。

[0037] 本发明的一种连续纤维增强复合材料3D打印典型路径的规划方法充分考虑连续纤维的特性,不但可以规划出最少断点的打印路径,保证成型构件力学性能,更可以精确确定跳点位置,快速生成跳点路径代码;同时能有效减少连续纤维在弯折处的成型缺陷,满足成型构件满足设计要求的型性要求,规划出可实现连续纤维增强复合材料高质量、高效率、低损伤成型的路径。

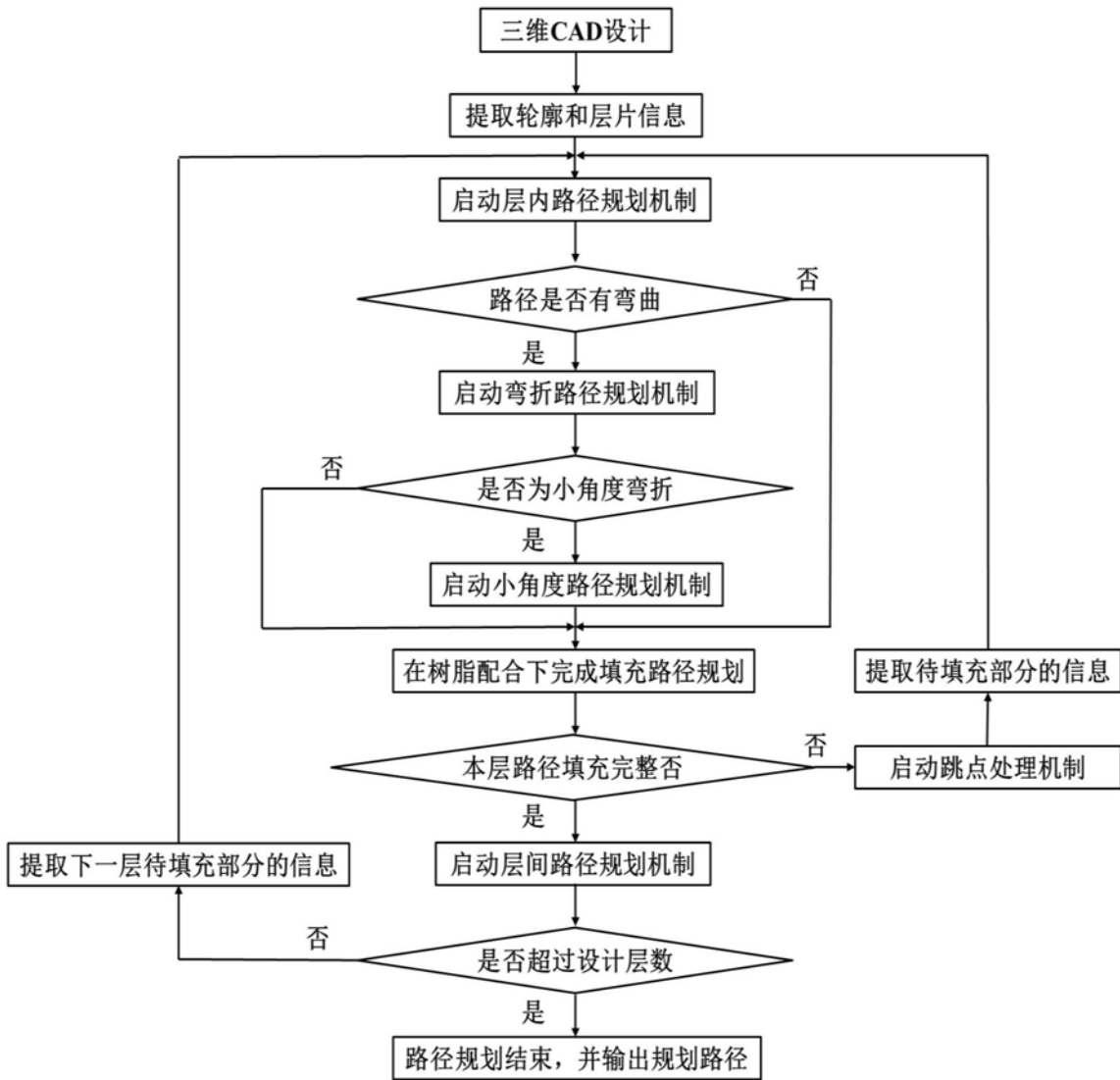


图1

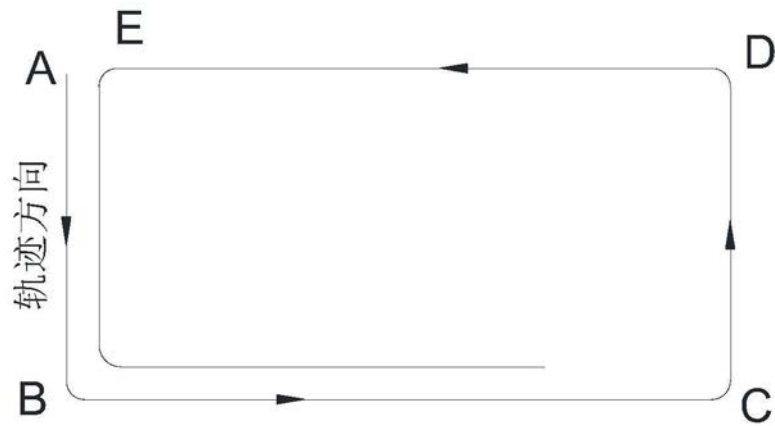


图2

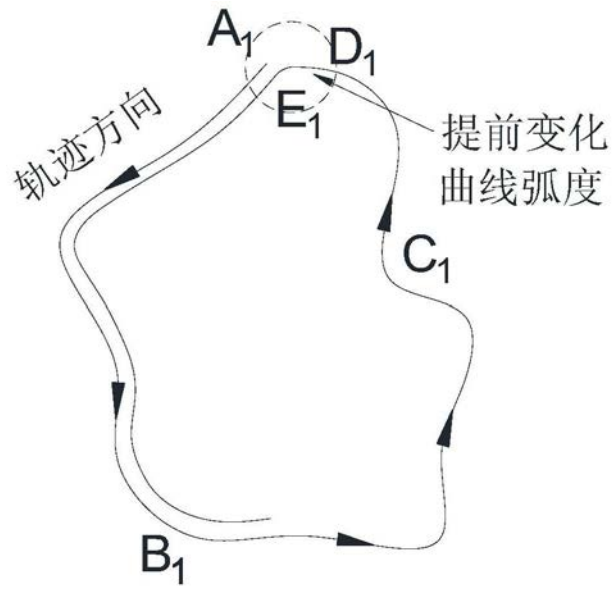


图3

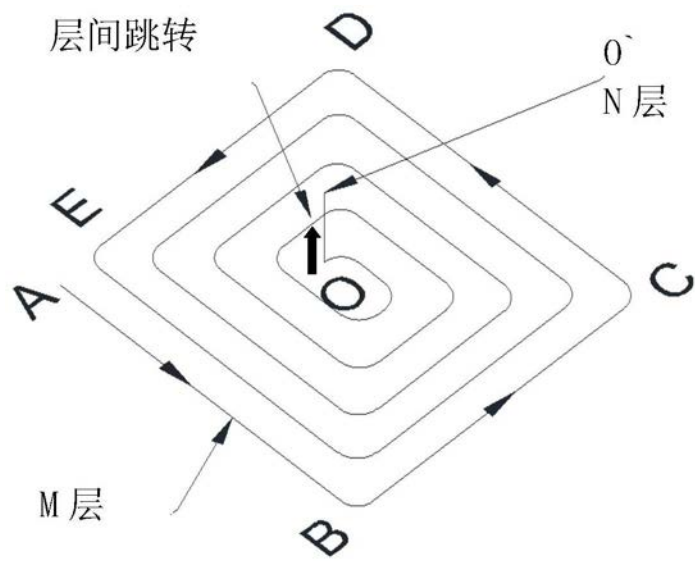
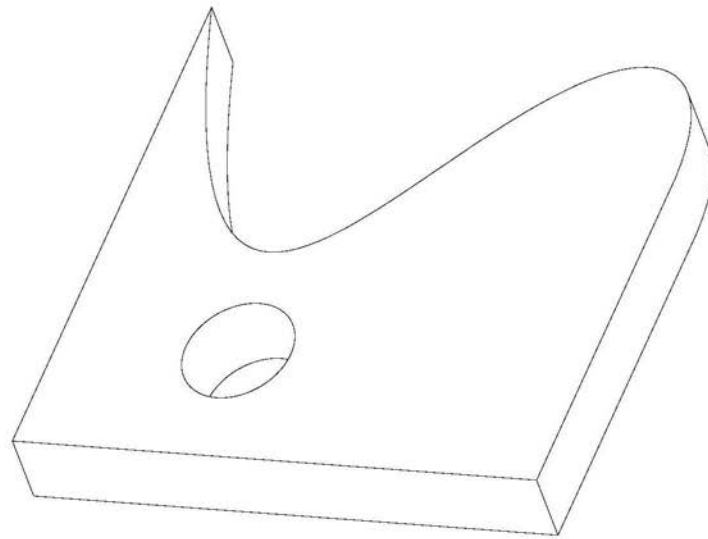
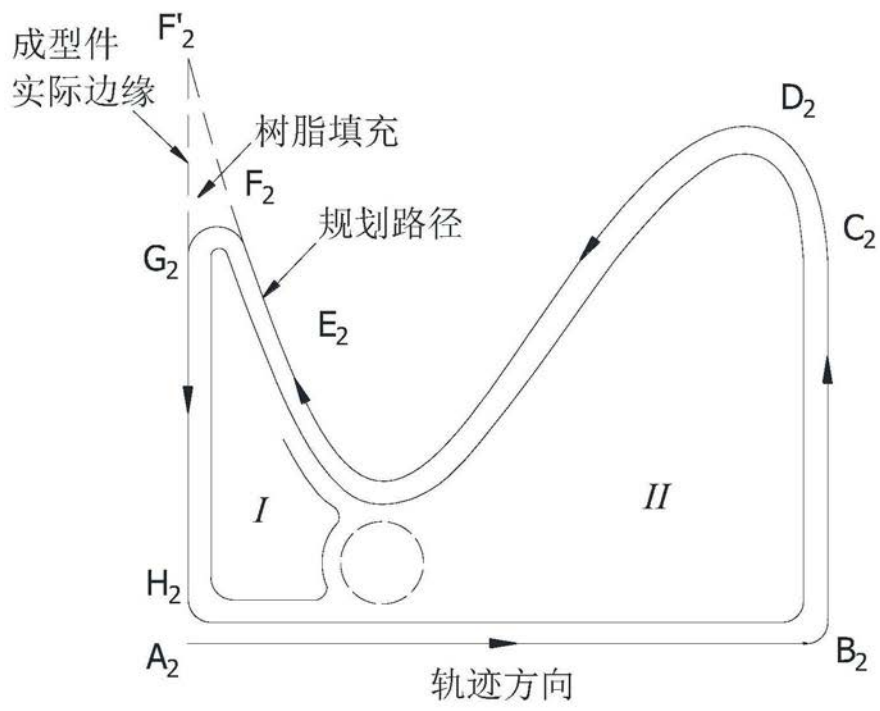


图4



a)



b)

图5