



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109226965 B

(45)授权公告日 2020.06.09

(21)申请号 201811105421.5

B33Y 10/00(2015.01)

(22)申请日 2018.09.21

B33Y 30/00(2015.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109226965 A

(43)申请公布日 2019.01.18

(73)专利权人 浙江海洋大学

地址 316000 浙江省舟山市普陀海洋科技
产业园普陀展茅晓辉工业区c2-13地
块

(72)发明人 石学智 杨淑洁 马树元

(74)专利代理机构 杭州浙科专利事务所(普通

合伙) 33213

代理人 吴秉中

(51)Int.Cl.

B23K 26/342(2014.01)

B23K 26/38(2014.01)

(56)对比文件

CN 104129149 A,2014.11.05,

WO 2017194404 A1,2017.11.16,

CN 1907643 A,2007.02.07,

CN 102501006 A,2012.06.20,

CN 108080638 A,2018.05.29,

CN 206550493 U,2017.10.13,

CN 108062432 A,2018.05.22,

CN 108384938 A,2018.08.10,

US 2017151731 A1,2017.06.01,

陈天乐.“选区激光熔化技术制备SnTe热电
材料的工艺探索和性能研究”.《万方数据知识服
务平台》.2018,

审查员 陈晓君

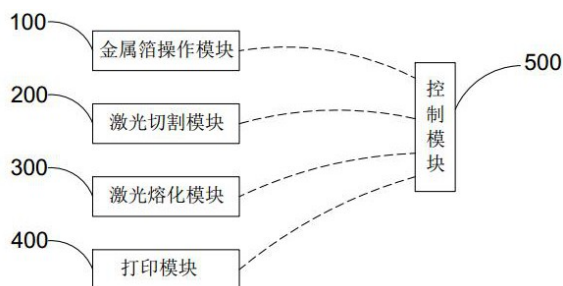
权利要求书1页 说明书6页 附图5页

(54)发明名称

一种金属箔板复合材料的叠层增材制造装
置及方法

(57)摘要

本发明公开一种金属箔板复合材料的叠层
增材制造装置,包括:金属箔操作模块、激光熔化
模块、激光切割模块、打印模块、控制模块,本发
明还提供了基于金属箔板的复合材料叠层增材
制造的方法,本发明利用金属箔为材料进行叠层
增材制造,优化叠层增材工艺,成本更低,制造成
品综合力学性能优异,同时打印完成后剩余的多种
材料的金属箔板不会相互混合,可进行再次利用
或分材质回收,使用原料回收率提高,有效降低
增材制造的成本。



1. 一种金属箔板复合材料的叠层增材制造装置,其特征在于,包括:

金属箔操作模块(100):用于传递金属箔并将金属箔放置于打印模块(400);

激光熔化模块(300):用于将打印模块(400)上的金属箔熔化成对应形状;

激光切割模块(200):用于将激光熔化模块(300)熔化得到的材料进行轮廓切割;打印模块(400):用于放置金属箔进行叠层处理,并搭载金属箔叠层处理模块;

控制模块(500):用于对金属箔叠层处理过程中各模块收发操作指令;

所述的金属箔操作模块(100)包括金属箔传递设备和金属箔放置设备,所述的金属箔放置设备为放置在移动设备上的收卷机;

所述的控制模块(500)包括计算机,所述计算机内存储有用于控制激光熔化模块(300)对材料熔化过程中热传导规范公式;

所述的金属箔传递设备包括三组辊组(103),两组辊组(103)分别传输金属箔(104)至第三组辊组(103),之后由收卷机(101)收卷;

所述的辊组(103)由主辊(103a)和副辊(103b)组成,所述主辊(103a)和副辊(103b)表面分别对应设置有压条(103c)和压槽(103d);

所述的压条(103c)表面均设有梯形状凸纹(103e),凸纹(103e)同一顶上的两个内角相等且角度范围为 $95^{\circ}\sim 125^{\circ}$ 。

2. 根据权利要求1所述的一种金属箔板复合材料的叠层增材制造装置,其特征在于:所述的打印模块(400)包括打印平台。

一种金属箔板复合材料的叠层增材制造装置及方法

技术领域

[0001] 本发明属于增材制造技术领域,具体涉及一种金属箔板复合材料的叠层增材制造装置及方法。

背景技术

[0002] 增材制造技术是一种能根据数字化模型直接制造出实体零件的新兴近净成形技术。相比传统制造技术,增材制造技术无需模具,能够成形形状复杂的零件,具有开发周期短、节省原料、成本较低且设计局限性小等优点。

[0003] 目前可以直接打印金属的增材制造技术较少,其成型材料主要是粉末。主要有基于粉床的激光选区熔化和电子束选区熔化,和基于同轴喷粉的激光熔化沉积技术。增材制造技术的一个特点是分层制造,这样就为成形零件的在性能、功能的多样化提供了可能性。如同一零件采用不同的材料的不同比例叠加形成功能梯度材料,使零件的一部分具有耐高温性能、而另一部分为具有高强度抗疲劳性能,这种梯度材料的特点对于发动机叶片等零件有重要意义。利用增材制造技术,针对零件不同部位的不同性能要求,采用异质材料成型,制作异质材料的梯度性能及复杂形状的零件,是增材制造技术今后重要的发展方向。

[0004] 但是现有的应用于金属零件制造领域的增材制造技术在制备由两种或多种材料组成的金属结构件上还存在很多不足,如精确送粉、粉末的回收等方面有很多的问题需要解决。最近,国外一种基于金属箔的激光增材制造技术开始被应用,利用几十到几百微米厚的薄板按照零件对应层轮廓层层堆积成形。若将这种技术应用于制备多种材料组成的金属构件,不存在材料混合及回收等问题,但是目前缺少该技术的设备及工艺。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种金属箔板复合材料的叠层增材制造装置及方法,利用金属箔为材料进行叠层增材制造,优化叠层增材工艺,成本更低,制造成品综合力学性能优异,同时多种材料的金属箔不会相互混合,易于回收再利用。

[0006] 本发明为实现上述目所采取的技术方案为:一种金属箔板复合材料的叠层增材制造装置,包括:

[0007] 金属箔操作模块:用于传递金属箔并将金属箔放置于打印模块;

[0008] 激光熔化模块:用于将打印模块上的熔化成对应形状;

[0009] 激光切割模块:用于将激光熔化模块熔化得到的材料进行轮廓切割;

[0010] 打印模块:用于放置金属箔进行叠层处理,并搭载金属箔叠层处理模块;

[0011] 控制模块,用于对金属箔叠层处理过程中各模块收发操作指令。本发明利用几十至几百微米厚的薄板按照零件对应层轮廓进行层层堆积制造零件,所选用的金属薄板采用金属箔操作模块进行传递和放置于打印模块上,提高金属箔放置过程的智能化程度,并且金属箔在传递过程中受传送辊作用可实现金属箔在激光处理时冷却速率提高,多种材料进行叠层处理时间缩短,所制备的成品件的内部应力分布均匀,构件变形率低,疲劳性能强,

整体综合力学性能强。在激光熔化和切割过程中利用控制模块对激光熔化或激光切割过程中进行数值模拟,根据初始设定的叠层厚度和材料参数等对激光增材过程中制造温度进行调控,控制增材制造温度,避免成品件出现裂纹或断裂。相比于现有技术增材技术还解决了多种材料相互混合后难以回收的问题,本装置可实现在金属箔上进行激光熔化和切割所需形状的金属箔进行叠层处理,而未被激光熔化或切割的金属箔可进行再次利用或分材质回收,使用原料回收率提高,有效降低增材制造的成本,同时制备所得的成品综合力学性能优越。

[0012] 优选的,金属箔操作模块包括金属箔传递设备和金属箔放置设备。金属箔传递设备用于实现将各种材质的金属箔传递至打印模块的打印平台上,并且在金属箔传递过程中金属箔传递设备可对金属箔进行预处理提高增材成品件的综合力学性能,而金属箔放置装置采用计算机控制的移动设备对收卷机的移动进行控制实现将金属箔放置到打印平台上,有效提高金属箔放置到打印平台上操作的智能化程度,采用计算机控制的方式金属箔放置位置精度高、安全性较高,降低安全事故发生。

[0013] 优选的,控制模块通过有线或无线连接方式分别与打印模块、金属箔操作模块、激光熔化模块和激光切割模块连接。通过有线或无线的方式对装置上各个模块进行控制,有益于实现自动化控制,简化制备工艺,降低人工劳动强度和整体成本,也利于通过智能控制的方式对制备零件的综合力学性能提升,提高零件的加工质量。

[0014] 优选的,金属箔传递设备包括至少三组辊组,两组辊组之间分别传输金属箔至第三组辊组由收卷机收卷。金属箔传递设备可实现对金属箔进行传递作用,例如将卷起来的金属箔由金属箔传递设备展开并传递,并且可实现一层金属箔传递或多层金属箔传递,有效提高金属箔传递效率,金属箔在传递过程中受众多传输辊传递挤压作用,金属箔表面杂质会被清除并且表面力学性能会略微提升,对于后续激光熔化提升金属箔之间的结合性能起到预处理作用,利于所制备的成品件的内部应力分布均匀,构件变形率低,疲劳性能强。

[0015] 优选的,辊组由主辊和副辊组成,主辊和副辊表面分别对应设置有压条和压槽。第三组辊组表面不设置压条和压槽,金属箔在传递过程中受众多传输辊传递挤压作用,金属箔表面杂质会被清除并且表面力学性能会略微提升。

[0016] 优选的,压条表面均设有梯形状凸纹,凸纹同一顶上的两个内角相等且,角度范围为 $95^{\circ}\sim 125^{\circ}$ 。压条厚度为70-140微米,凸纹的厚度为24-55微米,金属箔受多组辊组作用不断向前传递,单层金属箔在传递过程中辊组上的压条对金属箔表面起到挤压作用并形成一定深度的压痕,压痕形成时受具有上述角度范围的凸纹作用,压痕处的金属箔由凸纹向内挤压迁移,其晶粒排列形成微观变形并细化,而金属箔通过第三组辊组时受挤压作用金属箔表面压痕消失使金属箔在传递过程中受预处理作用,并且金属箔受激光熔化时,高能量密度的激光束在短时间内和小区域内的金属箔产生交互作用,快速加热上述晶粒变形并细化的金属箔形成的激光熔池及其热影响区获得较高的冷却速率,冷却速率可达到 $10^4\sim 10^7\text{K/s}$,从而导致最终金属箔凝固和固态相变偏离平衡,金属箔的固溶极限得到扩大、晶内微观亚结构细化,出现亚稳相甚至非晶,实现成的成品零件的综合力学性能大幅度提升。

[0017] 优选的,金属箔放置设备为放置在移动设备上的收卷机,该移动设备为采用计算机控制的移动设备,可精准控制收卷机的移动,收卷机移动位置误差在 $1\pm 0.1\text{mm}$ 的范围内,

实现精准地将金属箔放置到打印平台上,有效提高金属箔放置到打印平台上操作的智能化程度,采用计算机控制的方式金属箔放置位置精度高、安全性较高,降低安全事故发生。

[0018] 优选的,打印模块包括打印平台,用于放置金属箔并且搭载金属箔操作模块、激光熔化模块、激光切割模块等在打印平台上实现对金属箔进行处理叠层增材获得成品零件。

[0019] 优选的,控制模块包括计算机,计算机内存储有用于控制激光熔化模块对材料熔化过程中热传导规范公式。

[0020] 该热传导规范公式如下:

$$[0021] \quad \rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(k \cdot \text{grad}T) + Q_{\text{int}};$$

[0022] 式中: ρ 为密度, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; c 为比热容, $\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$; T 为温度变量, $^\circ\text{C}$; t 为时间变量, s ; k 为热传导系数, $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$; Q_{int} 为内部单位体积热源密度, $\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$ 。通过计算机内的热传导规范公式可对激光熔化或激光切割过程中进行数值模拟,根据初始设定的叠层厚度和材料参数等对激光增材过程中制造温度进行调控,避免增材过程中形成的零件经历重复性加热冷却过程中,热应力出现剧烈往复变化导致零件出现裂纹或断裂的问题。

[0023] 一种金属箔板复合材料的叠层增材制造方法,步骤如下:

[0024] 1) 金属箔操作模块传递和放置金属箔于打印模块;

[0025] 2) 控制模块分层提取横截面轮廓线并控制激光熔化模块按横截面轮廓线对每层金属箔对应形状熔化,再控制激光切割模块沿轮廓线进行切割;

[0026] 3) 打印模块下降一个层厚,金属箔向前移动一个工位重复步骤1-2;

[0027] 4) 打印过程中加入另一种材料时,替换金属箔操作模块中材料,重复步骤1-3。上述制备步骤中的模块均采用控制模块进行控制,实现自动化控制,简化制备工艺,降低人工劳动强度和整体成本,在激光熔化和切割过程中利用控制模块对激光熔化或激光切割过程中进行数值模拟,根据初始设定的叠层厚度和材料参数等对激光增材过程中制造温度进行调控,控制增材制造温度,避免成品件出现裂纹或断裂。相比于现有技术增材技术还解决了多种材料相互混合后难以回收的问题,本装置可实现在金属箔上仅激光熔化和切割所需形状的金属箔进行叠层处理,而未被激光熔化或切割的金属箔可进行再次利用或分材质回收,使用原料回收率提高,有效降低增材制造的成本,同时制备所得的成品综合力学性能优越。

[0028] 与现有技术相比,本发明的有益效果为:本发明利用几十至几百微米厚的薄板按照零件对应层轮廓进行层层堆积制造零件,实现了自动化控制,简化制备工艺,降低人工劳动强度和整体成本,在激光熔化和切割过程中利用控制模块对激光熔化或激光切割过程中进行数值模拟,根据初始设定的叠层厚度和材料参数等对激光增材过程中制造温度进行调控,控制增材制造温度,避免成品件出现裂纹或断裂。相比于现有技术增材技术本发明还解决了多种材料相互混合后难以回收的问题,所制备的成品件的内部应力分布均匀,构件变形率低,疲劳性能强,整体综合力学性能强。

[0029] 本发明采用上述技术方案提供了一种金属箔板复合材料的叠层增材制造装置及方法,弥补了现有技术的不足,设计合理,操作方便。

附图说明

- [0030] 图1为本发明了一种金属箔板复合材料的叠层增材制造装置示意图；
- [0031] 图2为本发明的金属箔传递设备的示意图；
- [0032] 图3为本发明的热辊组结构示意图；
- [0033] 图4为图3中A部放大图；
- [0034] 图5为本发明金属箔操作模块的示意图；
- [0035] 图6为金属箔放置设备示意图；
- [0036] 图7为实施例2中不锈钢板的纵向热应变图；
- [0037] 图8为实施例2中不锈钢板的横向热应变图；
- [0038] 图9为实施例2中不锈钢板的竖向热应变图；
- [0039] 图10为实施例2中成品不锈钢板的超高周疲劳S-N曲线图。
- [0040] 附图标记说明：100-金属箔操作模块；200-激光切割模块；300-激光熔化模块；400-打印模块；500-控制模块；101-收卷机；102-金属箔；103-辊组；103a-主辊；103b-副辊；103c-压条；103d-压槽；103e-凸纹；104-金属箔。

具体实施方式

- [0041] 以下结合实施例和附图对本发明做进一步详细描述：
- [0042] 实施例1：
- [0043] 如图1-6所示，一种金属箔板复合材料的叠层增材制造装置，包括：
- [0044] 金属箔操作模块100：用于传递金属箔并将金属箔放置于打印模块400；
- [0045] 激光熔化模块300：用于将打印模块400上的熔化成对应形状；
- [0046] 激光切割模块200：用于将激光熔化模块300熔化得到的材料进行轮廓切割；
- [0047] 打印模块400，用于放置金属箔进行叠层处理，并搭载金属箔叠层处理模块；
- [0048] 控制模块500，用于对金属箔叠层处理过程中各模块收发操作指令。本发明利用几十至几百微米厚的薄板按照零件对应层轮廓进行层层堆积制造零件，所选用的金属薄板采用金属箔操作模块100进行传递和放置于打印模块400上，提高金属箔放置过程的智能化程度，并且金属箔在传递过程中受传送辊作用可实现金属箔在激光处理时冷却速率提高，多层或多种材料进行叠层处理时间缩短，所制备的成品件的内部应力分布均匀，构件变形率低，疲劳性能强，整体综合力学性能强。在激光熔化和切割过程中利用控制模块500对激光熔化或激光切割过程中进行数值模拟，根据初始设定的叠层厚度和材料参数等对激光增材过程中制造温度进行调控，控制增材制造温度，避免成品件出现裂纹或断裂。相比于现有技术增材技术还解决了多种材料相互混合后难以回收的问题，本装置可实现在金属箔上进行激光熔化和切割所需形状的金属箔进行叠层处理，而未被激光熔化或切割的金属箔可进行再次利用或分材质回收，使用原料回收率提高，有效降低增材制造的成本，同时制备所得的成品综合力学性能优越。
- [0049] 金属箔操作模块100包括金属箔传递设备和金属箔放置设备。金属箔传递设备用于实现将各种材质的金属箔传递至打印模块400的打印平台上，并且在金属箔传递过程中金属箔传递设备可对金属箔进行预处理提高增材成品件的综合力学性能，而金属箔放置装置采用计算机控制的移动设备对收卷机的移动进行控制实现将金属箔放置到打印平台上，

有效提高金属箔放置到打印平台上操作的智能化程度,采用计算机控制的方式金属箔放置位置精度高、安全性较高,降低安全事故发生。

[0050] 控制模块500通过有线或无线连接方式分别与打印模块400、金属箔操作模块100、激光熔化模块300和激光切割模块200连接。通过有线或无线的方式对装置上各个模块进行控制,有益于实现自动化控制,简化制备工艺,降低人工劳动强度和整体成本,也利于通过智能控制的方式对制备零件的综合力学性能提升,提高零件的加工质量。

[0051] 金属箔传递设备包括至少三组辊组103,两组辊组103之间分别传输金属箔104至第三组辊组103由收卷机101收卷。金属箔传递设备可实现对金属箔进行传递作用,例如将卷起来的金属箔由金属箔传递设备展开并传递,并且可实现一层金属箔传递或多层金属箔传递,有效提高金属箔传递效率,金属箔在传递过程中受众多传输辊传递挤压作用,金属箔表面杂质会被清除并且表面力学性能会略微提升,对于后续激光熔化进步提升金属箔之间的结合性能起到预处理作用,利于所制备的成品件的内部应力分布均匀,构件变形率低,疲劳性能强。

[0052] 辊组103由主辊103a和副辊103b组成,所述主辊103a和副辊103b表面分别对应设置有压条103c和压槽103d。第三组辊组103表面不设置压条103c和压槽103d,金属箔在传递过程中受众多传输辊传递挤压作用,金属箔表面杂质会被清除并且表面力学性能会略微提升。

[0053] 压条103c表面均设有梯形状凸纹103e,凸纹103e同一顶上的两个内角相等且,角度范围为 $95^{\circ}\sim 125^{\circ}$ 。优选为 100° ,压条103c厚度为70-140微米,优选为85微米,凸纹103e的厚度为24-55微米,优选为38微米,金属箔受多组辊组103作用不断向前传递,单层金属箔在传递过程中辊组103上的压条103c对金属箔表面起到挤压作用并形成一定深度的压痕,压痕形成时受具有上述角度范围的凸纹103e作用,压痕处的金属箔由凸纹103e向内挤压迁移,其晶粒排列形成微观变形并细化,而金属箔通过第三组辊组103时受挤压作用金属箔表面压痕消失使金属箔在传递过程中受预处理作用,并且金属箔受激光熔化时,高能量密度的激光束在短时间内和小区域内的金属箔产生交互作用,快速加热上述晶粒变形并细化的金属箔形成的激光熔池及其热影响区获得较高的冷却速率,冷却速率可达到 $10^4\sim 10^7\text{K/s}$,从而导致最终金属箔凝固和固态相变偏离平衡,金属箔的固溶极限得到扩大、晶内微观亚结构细化,出现亚稳相甚至非晶,实现成的成品零件的综合力学性能大幅度提升。

[0054] 属箔放置设备为放置在移动设备上的收卷机,该移动设备为采用计算机控制的移动设备,可精准控制收卷机的移动,收卷机移动位置误差在 $1\pm 0.1\text{mm}$ 的范围内,实现精准的将金属箔放置到打印平台上,有效提高金属箔放置到打印平台上操作的智能化程度,采用计算机控制的方式金属箔放置位置精度高、安全性较高,降低安全事故发生。

[0055] 打印模块400包括打印平台,用于放置金属箔并且实现金属箔操作模块100、激光熔化模块300、激光切割模块200等在打印平台400上对金属箔进行处理叠层增材获得成品零件。

[0056] 控制模块500包括计算机,所述计算机内存储有用于控制激光熔化模块300对材料熔化过程中热传导规范公式。

[0057] 该热传导规范公式如下:

$$[0058] \quad \rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \operatorname{div}(k \cdot \operatorname{grad} T) + Q_{\text{int}};$$

[0059] 式中： ρ 为密度， $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ； c 为比热容， $\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$ ； T 为温度变量， $^\circ\text{C}$ ； t 为时间变量， s ； k 为热传导系数， $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$ ； Q_{int} 为内部单位体积热源密度， $\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$ 。通过计算机内的热传导规范公式可对激光熔化或激光切割过程中进行数值模拟，根据初始设定的叠层厚度和材料参数等对激光增材过程中制造温度进行调控，避免增材过程中形成的零件经历重复性加热冷却过程中，热应力出现剧烈往复变化导致零件出现裂纹或断裂的问题。

[0060] 实施例2：

[0061] 一种金属箔板复合材料的叠层增材制造方法，步骤如下：

[0062] 1) 金属箔操作模块100传递和放置金属箔于打印模块400；

[0063] 2) 控制模块500分层提取横截面轮廓线并控制激光熔化模块300按横截面轮廓线对每层金属箔对应形状熔化，再控制激光切割模块200沿轮廓线进行切割；

[0064] 3) 打印模块400下降一个层厚，计算机控制移动设备带动收卷机向前移动一个工位然后重复步骤1-2；

[0065] 4) 打印过程中加入另一种材料时，替换金属箔操作模块100中材料，重复步骤1-3；

[0066] 5) 打印完成后对未被激光溶或切割的金属箔进行分材料回收或继续作为叠层增材原料。

[0067] 增材试验：

[0068] 利用实施例1的装置和实施例2的方法制造不锈钢板，选用厚度为50微米的不锈钢金属箔为原材料，单层传输金属箔，经过金属箔操作模块100处理后得厚度为 49.6 ± 0.35 微米复合金属箔，制备厚度为 0.8 ± 0.03 毫米的不锈钢板。

[0069] 对制备过程中增材形成的热应变进行记录统计，不锈钢板进行纵向热应变如图7所示、横向热应变如图8所示、竖向热应变如图9所示，并且测试成品件不锈钢板的疲劳强度，疲劳强度测试以超高周疲劳S-N曲线显示，结果如图10所示。

[0070] 不锈钢板增材制备过程中控制模块500的计算机内的热传导规范公式对激光熔化或激光切割过程中进行数值模拟，根据初始设定的叠层厚度和材料参数等对激光增材过程中制造温度进行调控。

[0071] 通过上述增材试验可知制备所得的不锈钢板内部应力分布均匀，疲劳性能强，整体综合力学性能优异。

[0072] 以上实施方式仅用于说明本发明，而并非对本发明的限制，本领域的普通技术人员，在不脱离本发明的精神和范围的情况下，还可以做出各种变化和变型。因此，所有等同的技术方案也属于本发明的范畴，本发明的专利保护范围应由权利要求限定。

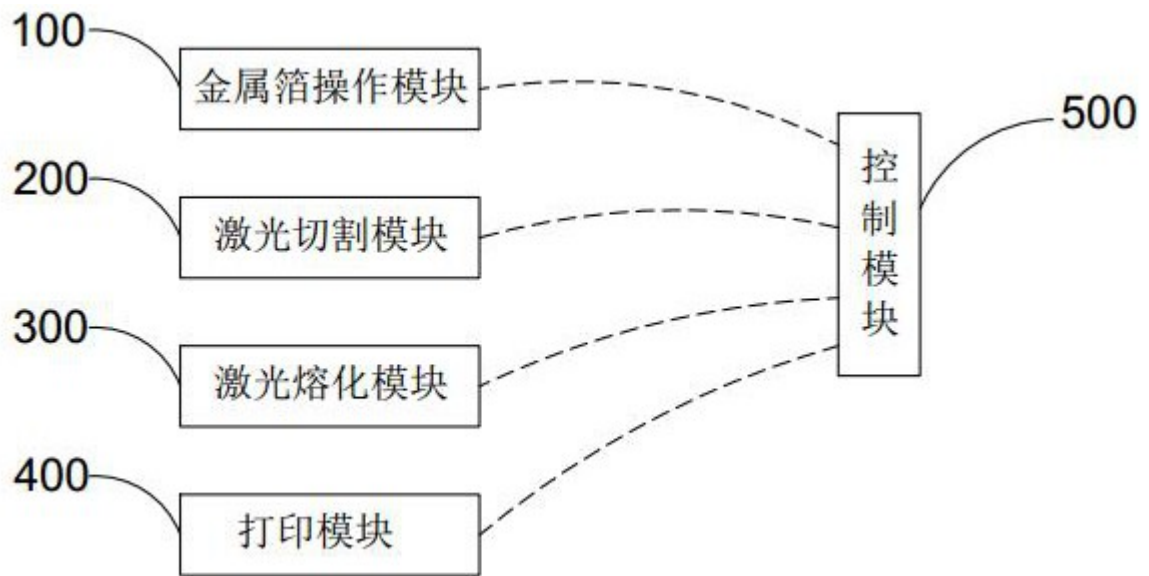


图1

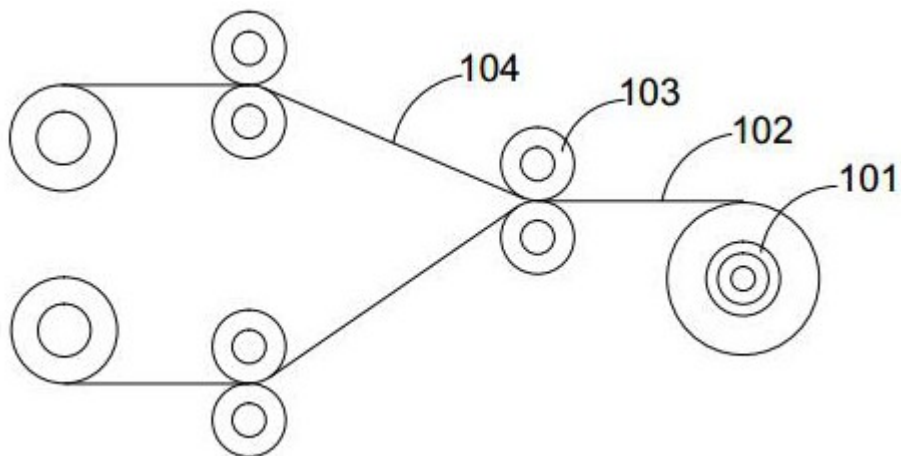


图2

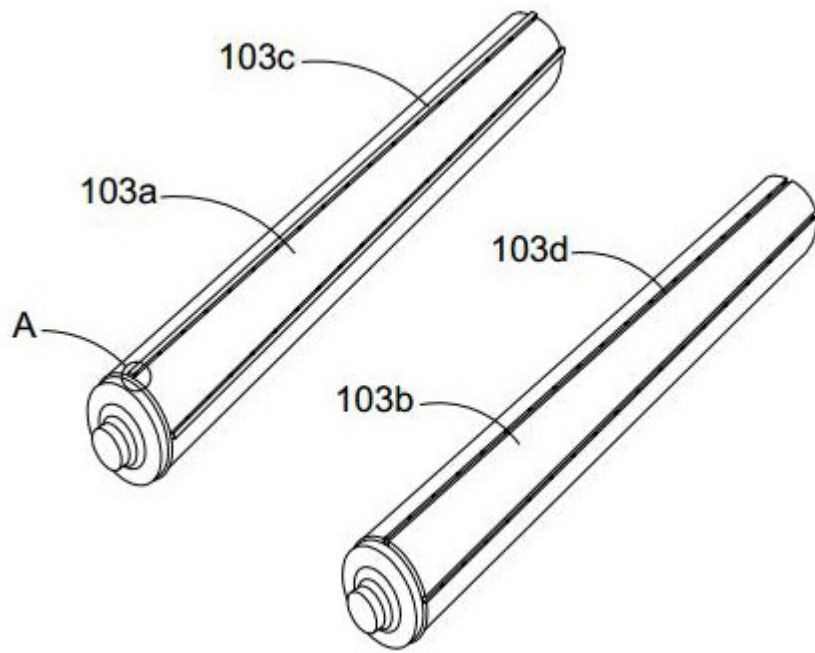


图3

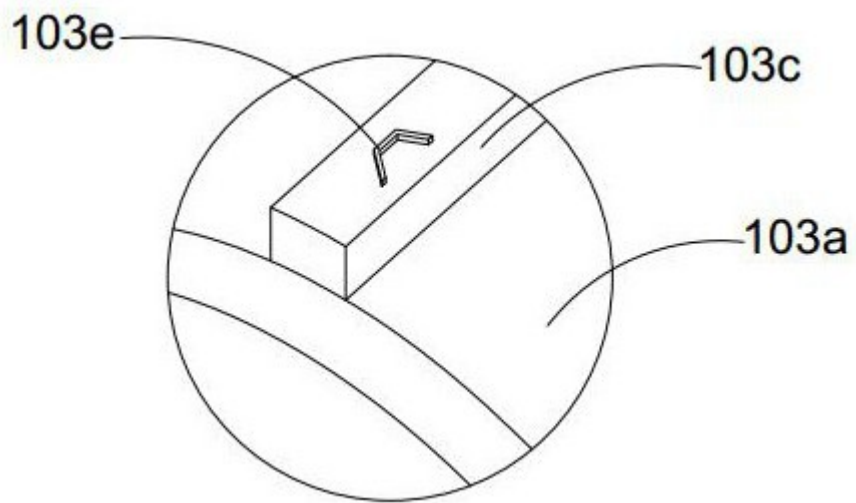


图4

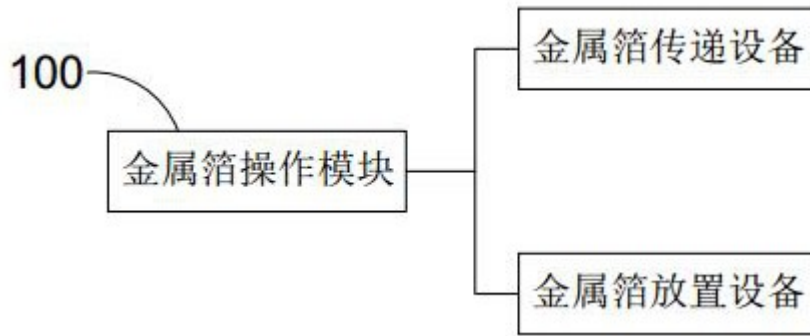


图5



图6

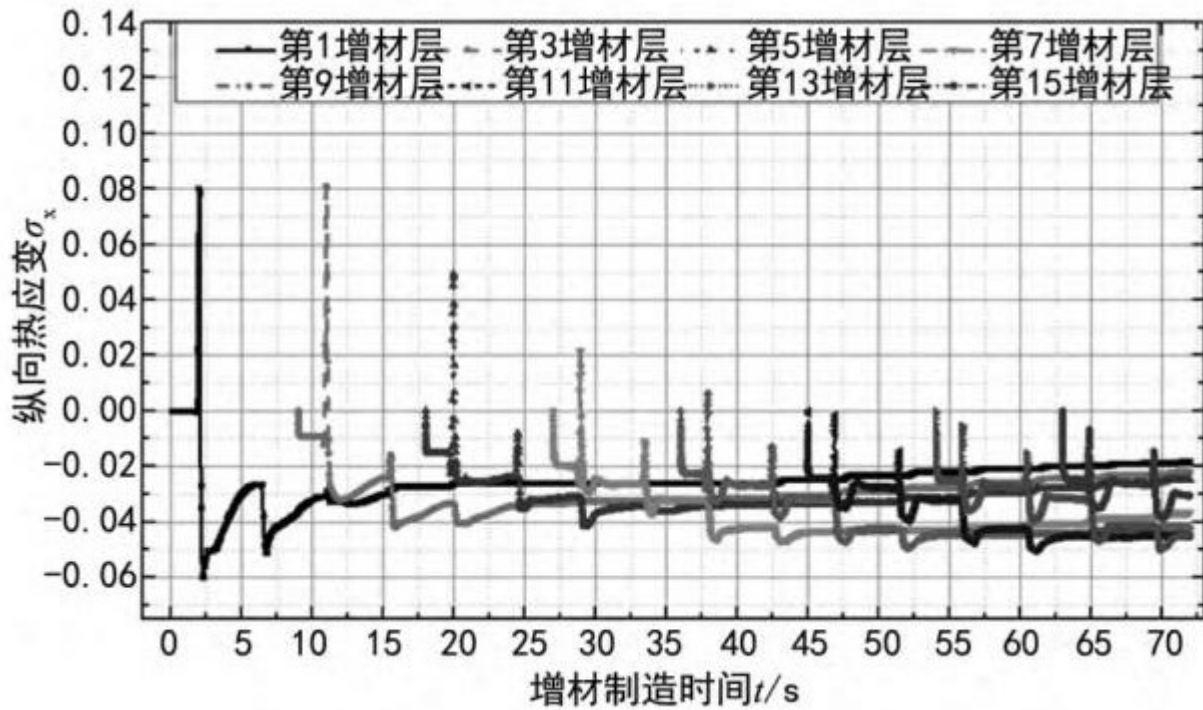


图7

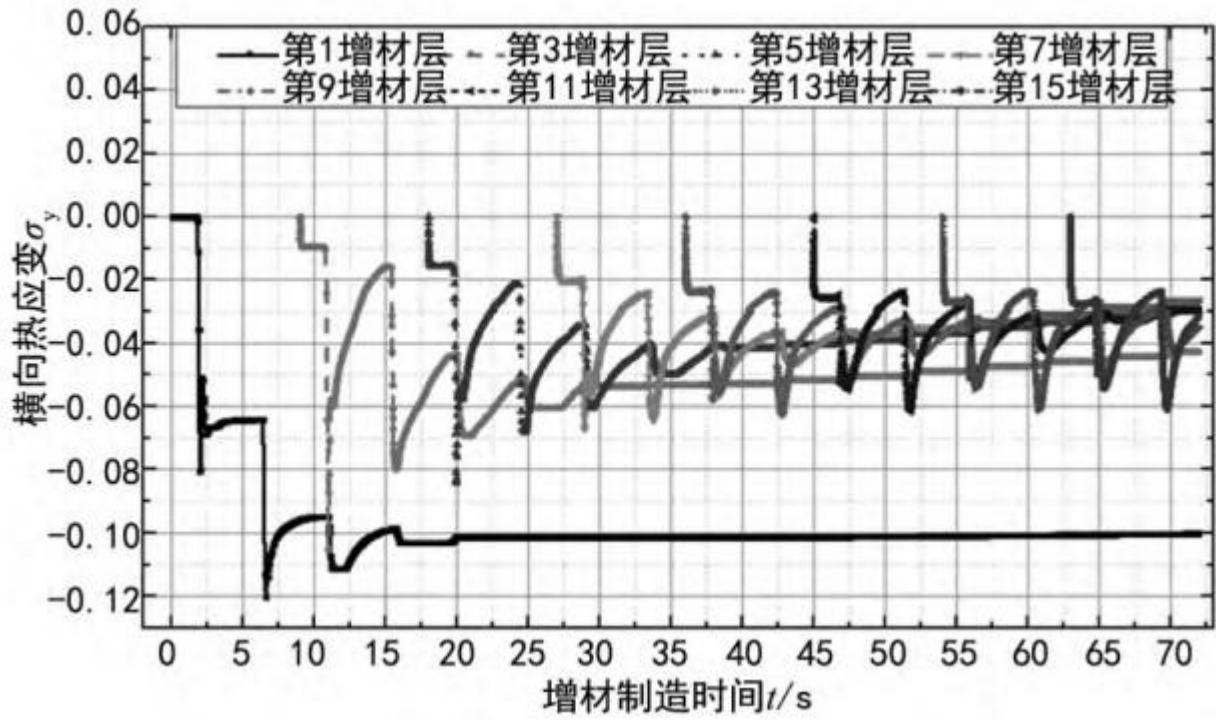


图8

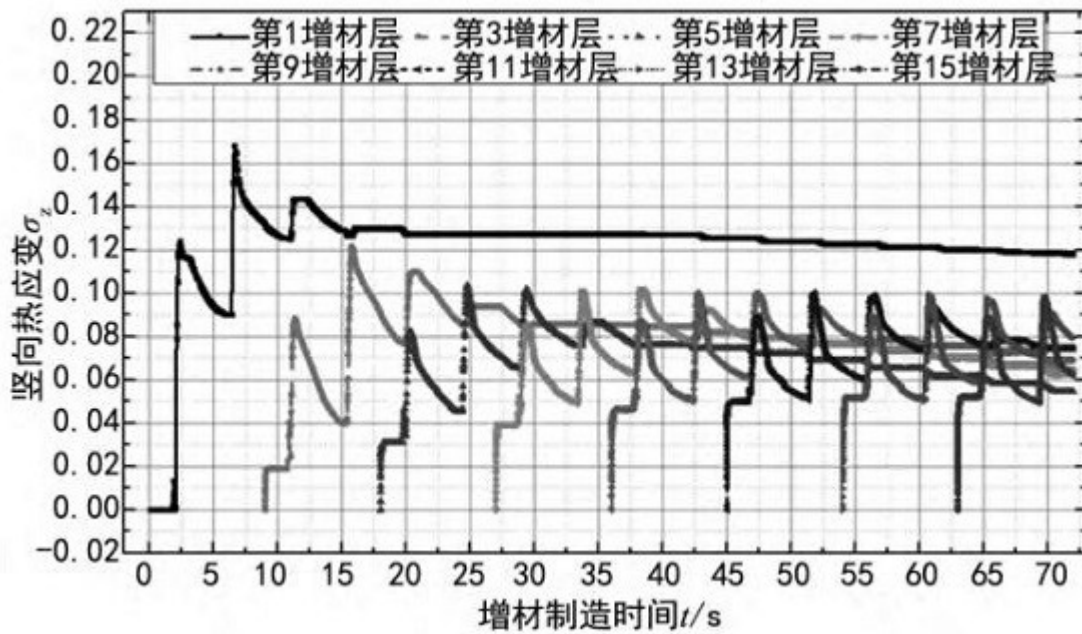


图9

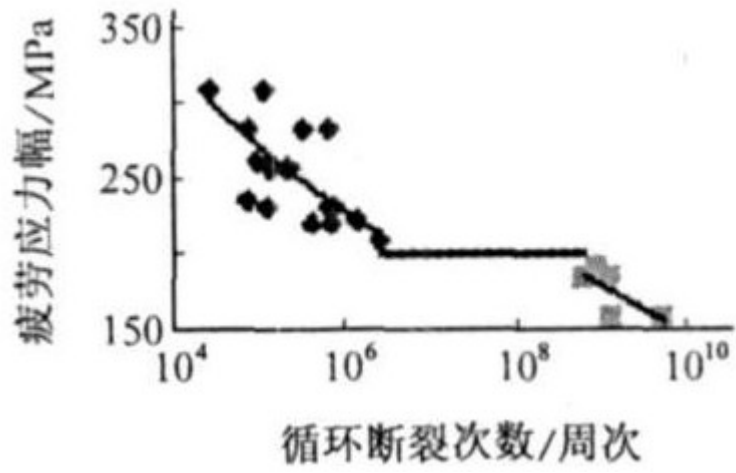


图10