



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107321979 B

(45)授权公告日 2019.02.26

(21)申请号 201610279767.1

B22F 5/10(2006.01)

(22)申请日 2016.04.29

B33Y 10/00(2015.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

审查员 徐美新

申请公布号 CN 107321979 A

(43)申请公布日 2017.11.07

(73)专利权人 中国科学院沈阳自动化研究所

地址 110016 辽宁省沈阳市东陵区南塔街  
114号

(72)发明人 王志国 赵吉宾 赵宇辉 李论

施凡 姚超

(74)专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限公司

公司 21002

代理人 许宗富 周秀梅

(51)Int.Cl.

B22F 3/105(2006.01)

权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

一种面向空腔薄壁结构件的多支撑面构型的激光增材制造方法

(57)摘要

本发明公开了一种面向空腔薄壁结构件的多支撑面构型的激光增材制造方法,属于激光增材制造技术领域。该方法是采用激光增材制造技术成形高温合金空腔薄壁结构件,选择结构件正投影面积最大方向为增材制造堆积方向;增材制备过程中,零件结构空腔位置的下部分采用增材制造,空腔位置的下部分成形后,采用同材质的支撑结构焊接在已成形部分的相应位置处,然后以该支撑结构为支撑,在该支撑结构的外表面上继续进行增材制造,直至成形整个结构件。本发明可以实现大型空腔薄壁结构稳定、高效成形。

1. 一种面向空腔薄壁结构件的多支撑面构型的激光增材制造方法,其特征在于:该方法是采用激光增材制造技术成形高温合金空腔薄壁结构件,具体包括如下步骤:

(1) 确定增材制造的成形方向:选择结构件正投影面积最大方向为增材制造堆积方向;

(2) 对成形零件模型进行转化:在与基板接触位置处增加6mm余量以实现机械加工及基板微变形补偿;并在零件模型外轮廓位置处预留后机械加工余量;选择基板厚度为25mm以上;

(3) 多支撑面构型设计:

零件结构空腔位置的下部分采用增材制造,空腔位置的下部分成形后,采用同材质的支撑结构焊接在已成形部分的相应位置处,然后以该支撑结构为支撑,在该支撑结构的外表面上继续进行增材制造,直至成形整个结构件。

2. 根据权利要求1所述的面向空腔薄壁结构件的多支撑面构型的激光增材制造方法,其特征在于:步骤(1)中,对于轴向与沉积方向垂直的流道结构制造,其中流道结构Z向为增材制造堆积方向,待成形结构轴向为X方向。

3. 根据权利要求1所述的面向空腔薄壁结构件的多支撑面构型的激光增材制造方法,其特征在于:步骤(3)中,在将支撑结构与已成形部分进行焊接的过程中,采用夹紧装置使支撑结构和已成形部分紧密结合。

4. 根据权利要求1或3所述的面向空腔薄壁结构件的多支撑面构型的激光增材制造方法,其特征在于:步骤(3)中,对于轴向与沉积方向垂直的流道结构制造,零件下部分采用增材制造,上部分采用内径为30mm、壁厚3mm的合金铸态管作为支撑结构,将同材质支撑结构焊接在已成形流道下部分位置处,然后以该铸态管为支撑,在其外表面进行增材制造;对于其他空腔结构,将厚度3mm的合金板材作为支撑结构并焊接于已成型空腔位置处,然后在该支撑结构上表面实现增材制造。

5. 根据权利要求1或3所述的面向空腔薄壁结构件的多支撑面构型的激光增材制造方法,其特征在于:增材制造过程中,分层间距为0.5-1mm。

6. 根据权利要求1所述的面向空腔薄壁结构件的多支撑面构型的激光增材制造方法,其特征在于:增材制造过程中,采用回型扫描方式,先扫描零件外部轮廓,后扫描零件内部轮廓。

7. 根据权利要求6所述的面向空腔薄壁结构件的多支撑面构型的激光增材制造方法,其特征在于:增材制造过程中,采用回型扫描方式时,根据零件路径的曲率大小设置步长,路径曲率小的位置,步长加大。

8. 根据权利要求6所述的面向空腔薄壁结构件的多支撑面构型的激光增材制造方法,其特征在于:增材制造过程中,采用回型扫描方式时,根据切片层形状变化情况,调整扫描间距在3mm-2mm之间,并通过添加路径补偿的方式,保证成形层表面质量。

9. 根据权利要求1所述的面向空腔薄壁结构件的多支撑面构型的激光增材制造方法,其特征在于:调整薄壁结构位置扫描速度以及进行基准点偏移,即相邻两层N层和N+1层分别向初始路径两侧倾斜,倾斜距离为0.5mm-1mm,在N+2层按初始路径加工不发生偏移加工,保证连续进行。

## 一种面向空腔薄壁结构件的多支撑面构型的激光增材制造方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及激光增材制造技术领域,具体涉及一种面向空腔薄壁结构件的多支撑面构型的激光增材制造方法。

### 背景技术

[0002] 对于面向航空类结构制造和设计,最终成品的使用性能以及零件质量是衡量结构合理性的重要指标。现阶段对于许多航空结构件制备,要求在保证零件使用性能的基础上,尽量采用空腔结构实现减重。而大型空腔结构件的制备,常规铸造及焊接工艺常常无法制备,且存在制造周期长、工艺复杂等缺陷。

[0003] 激光增材制造技术通过计算机智能控制,将材料逐层累加成型,最终实现具有三维复杂结构的实体零部件制造,其材料利用率可达90%以上,是一项典型的数字化制造、绿色智能制造技术。与传统成形工艺相比,激光增材制造技术在实现常规成形难加工的复杂结构以及单件、小批量研制方面有着很大的优势。

[0004] 在制备大型空腔结构件方面,激光增材制造技术采用“点一线一面一体”的方式完成零件的制备过程,最终零件制备是由一系列离散化的层片叠加而成,具有柔性和可设计性的优势,可方便制备具有一些复杂的、具有几何尺寸畸变的结构,使其特别适合大型空腔薄壁结构的制备。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种面向空腔薄壁结构件的多支撑面构型的激光增材制造方法,该方法具有成形效率高、易于操作、成本低等优势。

[0006] 为实现上述目的,本发明采用以下技术方案:

[0007] 一种面向空腔薄壁结构件的多支撑面构型的激光增材制造方法,该方法是采用激光增材制造技术成形高温合金空腔薄壁结构件,具体包括如下步骤:

[0008] (1) 确定增材制造的成形方向:选择结构件正投影面积最大方向为增材制造堆积方向;

[0009] (2) 对成形零件模型进行转化:在与基板接触位置处增加6mm余量以实现机械加工及基板微变形补偿;并在零件模型外轮廓位置处预留后机械加工余量;选择基板厚度为25mm以上;

[0010] (3) 多支撑面构型设计:

[0011] 零件结构空腔位置的下部分采用增材制造,空腔位置的下部分成形后,采用同材质的支撑结构焊接在已成形部分的相应位置处,然后以该支撑结构为支撑,在该支撑结构的外表面上继续进行增材制造,直至成形整个结构件。

[0012] 步骤(1)中,对于轴向与沉积方向垂直的流道结构制造,其中流道结构Z向(与轴向垂直的方向)为增材制造堆积方向,待成形结构轴向为X方向。

[0013] 步骤(3)中,在将支撑结构与已成形部分进行焊接的过程中,采用夹紧装置使支撑结构和已成形部分紧密结合。

[0014] 步骤(3)中,对于轴向与沉积方向垂直的流道结构制造,零件下部分采用增材制造,上部分采用内径为30mm、壁厚3mm的合金铸态管作为支撑结构,将同材质支撑结构焊接在已成形流道下部分位置处,然后以该铸态管为支撑,在其外表面进行增材制造;对于其他空腔结构,将壁厚3mm的合金板材作为支撑结构并焊接于已成型空腔位置处,然后在该支撑结构上表面实现增材制造。

[0015] 本发明在增材制造过程中,分层间距为0.5-1mm(采用软件进行分层切片处理,并转化为加工代码;在零件结构变化缓慢位置处分层间距设置为1mm,在结构变化剧烈的位置处,分层间距设置为0.5mm)。

[0016] 本发明在增材制造过程中,采用回型扫描方式,先扫描零件外部轮廓,后扫描零件内部轮廓。采用回型扫描方式时,根据零件路径的曲率大小设置步长,路径曲率小的位置,步长加大。(对于零件路径出现小曲率位置处,进行扫描路径提取特征点模糊化处理,从而避免了由于该位置处点密而造成激光停留时间过长,导致成形结构在该位置处出现凸起。)

[0017] 采用回型扫描方式时,根据切片层形状变化情况,调整扫描间距在3mm-2mm之间,并通过添加路径补偿的方式,保证成形层表面质量。

[0018] 本发明在增材制造过程中,调整薄壁结构位置扫描速度以及进行基准点偏移,即相邻两层(N层和N+1层)分别向初始路径两侧倾斜,倾斜距离为0.5mm-1mm,在N+2层按初始路径加工不发生偏移加工,保证连续进行。

[0019] 本发明增材制造方法的设计原理及有益效果如下:

[0020] 1、对成形零件的三维特征及局部结构进行分析,结合零件服役性能及关键尺寸精度需求,分析零件各部位结构增材制造工艺性的难点,确定零件各个部位的增材制造实现方式。

[0021] 2、激光增材制造最优化制造方向确定:

[0022] 依据零件结构特征及承力结构分布,初步确定几何优化堆积方向,然后结合制造效率、材料利用率、支撑结构需求、工艺合理性等因素进行综合优化,确定出最优化的堆积方向。在确定了最优化制造方向后,进行零件结构由初始使用模型向制造模型转化,主要包含零件变形补偿、机械加工余量补偿以及局部结构的构型修改处理,以满足增材制造工艺性。

[0023] 针对优化后的模型进行成形基板加工,基板厚度要充分考虑到限制零件大变形的目的,另外,优化后的模型待加工面往往不一定是平面,对于大型空腔零件的成形,需要在基板上机械加工出各个倾斜位置处的支撑结构。

[0024] 3、多支撑面构型设计:

[0025] 在大型空腔结构件激光增材制造加工过程,结构件中出现轴向垂直于增材制造方向的空腔结构成形,采用“增材制造+铸造+焊接”复合制造方式,实现了空腔结构增材制造;同时避免了复杂结构成形过程中需要复杂变位及结构干涉而导致一些部位无法加工。具体来说,对于空腔结构采用,利用激光增材制造技术成形空腔的底部和四壁,用铸造技术成形顶部支撑结构,用焊接技术将支撑结构与成形腔结合,最后再用激光增材制造技术实现空腔结构的整体覆盖成形。对于空腔结构的制造采用合理的支撑方式来实现,支撑结构采用

同成分合金,成形后支撑结构无需取出。对于轴向与沉积方向垂直的管状流道结构制造,采用铸造工艺+焊接工艺+增材制造复合制造工艺。工艺零件支撑构型下部分采用增材制造,支撑结构采用内径为30mm厚度3mm的K465合金铸态管,将支撑结构焊接在已成形流道部位,在支撑结构上继续进行激光增材制造,最终完成零件整体结构成形。

[0026] 4、路径参数的规划及工艺参数的适当控制:

[0027] 合理的切片分层与路径组合,以实现成形过程应力场合理控制、制件表面质量保证(包含筋连接处质量、路径划分盲区质量)。对于出现表面缺陷位置,采取后续加工层路径优化、参数组合控制,保证连续稳定进行。针对路径盲区问题,本发明采用适当范围内调整扫描间距(2mm-3mm)之间,正常的扫描间距设置为2.5mm),以及添加路径补偿的方式,保证成形层表面质量。

[0028] 5、基板变形导致的薄壁结构倾斜补偿措施的确定:

[0029] 大型薄壁结构增材制造过程,零件内部存在着复杂的应力场,而应力场的存在会导致零件在位于基板边缘位置处垂直生长的薄壁结构倾斜,如不实时调整会导致最终成形零件壁厚无法保证,甚至加工过程无法连续进行,本发明采用采用路径补偿以实现零件稳定成形。为保证制造过程稳定进行本专利采用调整薄壁结构位置扫描速度以及适当进行基准点偏析,相邻两层(N层和N+1层)分别向初始路径两侧倾斜,倾斜量依据熔池宽度设定,倾斜为0.5mm-1mm之间(熔池宽度为3mm),保证待加工表面由“拱形”变为“平直型”,在N+2层按初始路径加工不发生偏移加工,可以保证连续进行。

## 附图说明

[0030] 图1为零件局部结构图。

[0031] 图2为基板结构图。

[0032] 图3为轴向垂直堆积方向空腔结构制造方式图;图3中的(a)为待成形结构,(b)为成形示意图。

[0033] 图4为支撑筋结构位置处扫描路径规划图;图4中的(a)为支撑筋结构,(b)为(a)中结构的路径规划。

[0034] 图5为基板变形诱导零件薄壁处倾斜原理及相应的路径补偿措施图;图5中(a)为倾斜原理,(b)为路径补偿措施。

## 具体实施方式

[0035] 下面结合附图对本发明作进一步详细的描述,但本发明的实施方式不限于此。

[0036] 实施例1

[0037] 本实施例以K465镍基合金多空腔航空复杂薄壁结构件为制造对象,采用多支撑面构型的激光增材制造方法实现了该零件的制造。零件部分结构如图1所示,分析零件三维结构,待成形零件内部存在多个空腔及流道结构,另外零件属于薄壁结构,对于空腔结构的实现方式以及成形过程对薄壁结构变形的控制是成形过程的难点。为了最大限度的限制零件变形,保证支撑结构加入的可实现性,选择投影面积最大方向为增材制造堆积方向,如图1选择Z方向作为增材制造堆积方向。

[0038] 在确定了增材制造最优化制造方向后,依据工艺特征对成形零件模型进行转化,

在于基板接触位置处增加6mm的余量以实现机械加工及基板微变形补偿。并在零件外轮廓位置处进行模型优化,预留一部分后机械加工余量。在充足的抗变形基础上,选择基板厚度为25mm以上,并依据待加工底面形状进行基板上表面设计,本实施例采用的基板为带一个斜坡结构的基板,如图2所示。

[0039] 对于轴向与沉积方向垂直的流道结构制造,如图3所示,其中Z向为增材制造堆积方向,要成形结构轴向为X方向,零件下部分(Z向下部分)采用增材制造,上部分采用内径为30mm,3mm厚的K465合金铸态半管作为支撑结构(半管的规格根据零件规格设定),将该支撑结构焊接在已成形流道下部分位置处,焊接过程中,要采用夹紧装置使得铸造态管和已成形部分充分结合,避免应力过大而出现开裂情况。然后以该铸态管为支撑,在铸态管的外表面继续进行增材制造,直至成型整个零件,制造方法原理图如图3所示。对于其他结构(非流道结构)位置处空腔结构,也采用相同的方式,即:空腔结构的下部分采用增材制造,然后将同材质的壁厚3mm板材焊接于已成型部分上,再以该板材为支撑结构,在其上实现增材制造(如方筒形空腔结构)。

[0040] 本发明在增材制造过程中,分层间距在0.5-1mm范围可调;采用软件进行分层切片处理,并转化为加工代码;在零件结构变化缓慢位置处分层厚度设置为1mm,在结构变化剧烈的位置处,分层间距设置为0.5mm;为了保证加工过程应力场分布均匀,采用回型扫描方式,先扫描零件外部轮廓,后扫描零件内部轮廓。采用该扫描方式进行扫描时,可根据零件路径的曲率大小设置步长,路径曲率越小,步长越大;本实施例中,对于零件路径出现小曲率位置处,进行扫描路径提取特征点模糊化处理(设置步长临界值),从而避免了由于该位置处点密而造成激光停留时间过长,导致成形结构在该位置处出现凸起。

[0041] 增材制造过程采用回型路径实现零件增材制造,降低应力水平,而对于切片层形状变化剧烈等情况,通常会在最内端,或者多个回字型路径搭接处,造成路径盲区,即采用软件分层后该区域,没有出现路径划分,图4为零件内部加强筋位置处两加强筋连接处,该连接处出现一个小区域的路径盲区,最终造成几层沉积后,在该位置处出现凹坑。针对路径盲区问题,本发明采用适当范围内调整扫描间距(3mm-2mm之间,正常的扫描间距设置为2.5mm),以及添加路径补偿的方式,保证成形层表面质量。

[0042] 制造过程中,由于内应力的存在,成形基板出现上翘,如图5中的(a)所示,在基板边界位置处的与成形基板垂直或者近垂直的结构必然出现倾斜。如不调整基准点位置,在后续的成形过程会造成光斑按原始路径无法扫描到已成形部位,造成薄壁结构两侧塌陷,零件表面不平整出现“拱形”,如图5中的(b)所示,造成“漏光”情况,这样会造成薄壁结构处位置壁厚逐渐减薄,为保证制造过程稳定进行,本发明采用调整薄壁结构位置扫描速度以及适当进行基准点偏移,即:相邻两层(N层和N+1层)分别向初始路径两侧倾斜,倾斜量依据熔池宽度设定,本实施例采用倾斜距离为0.5mm-1mm之间(熔池宽度为3mm),保证待加工表面由“拱形”变为“平直型”如图5所示,在N+2层按初始路径加工不发生偏移加工,可以保证连续进行。

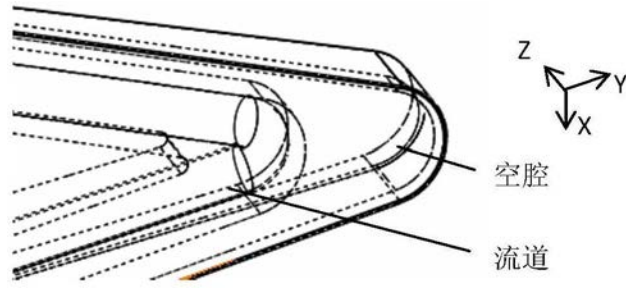


图1

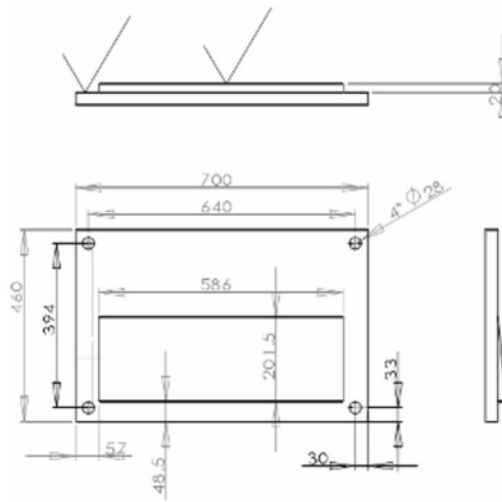


图2

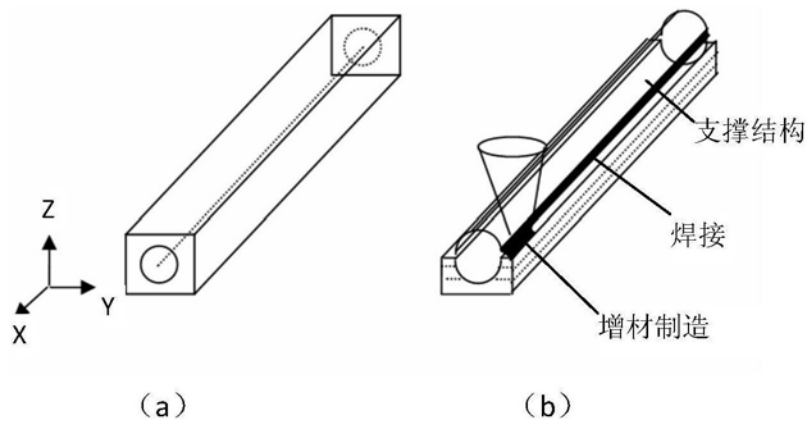


图3

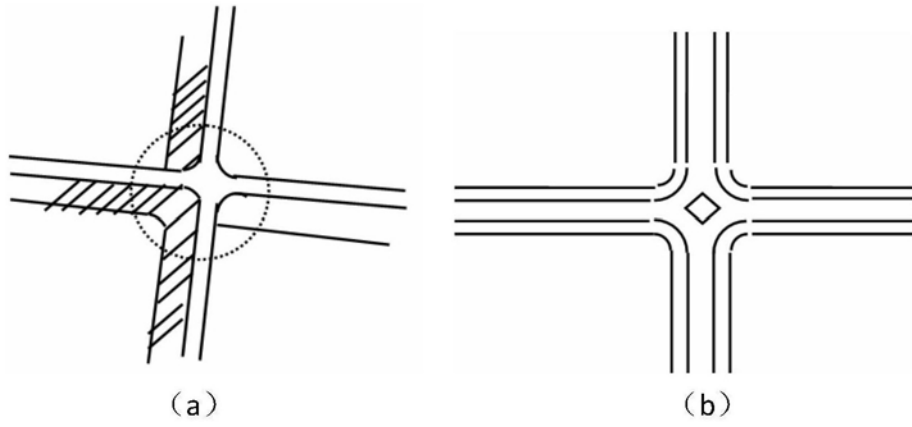


图4

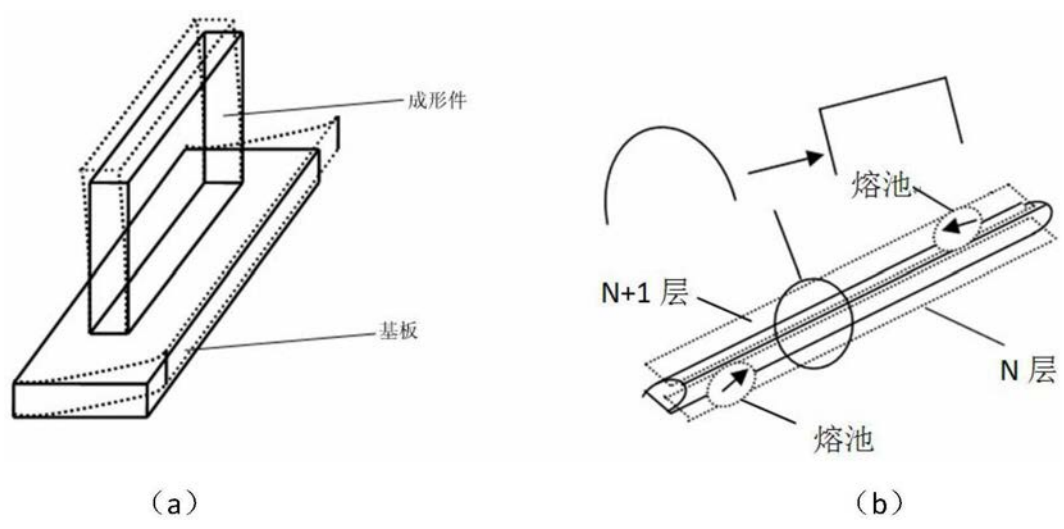


图5