



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114406286 A

(43) 申请公布日 2022. 04. 29

(21) 申请号 202210083830.X B22F 10/38 (2021.01)

(22) 申请日 2022.01.20 B22F 10/85 (2021.01)

(71) 申请人 合肥中科重明科技有限公司 B33Y 10/00 (2015.01)

地址 230601 安徽省合肥市经济技术开发区 B33Y 50/02 (2015.01)

区天门路以西、锦绣大道以南天门湖
工业园1幢厂房二层

申请人 中国科学院力学研究所

(72) 发明人 闫凯博 鲁碧为 王亚光 陈立红
范学军

(74) 专利代理机构 合肥汇融专利代理有限公司
34141

代理人 朱朝明

(51) Int. Cl.

B22F 10/28 (2021.01)

B22F 10/366 (2021.01)

权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种SLM无支撑成形高温合金截面突变结构的成形方法

(57) 摘要

本发明提供一种SLM无支撑成形高温合金截面突变结构的成形方法,涉及金属增材制造技术领域,包括以下步骤:(1)确定3D打印结构的摆放角度;(2)依次设置下表面区域、过渡区域和零件本体区域的切片参数;(3)利用上述的切片参数对结构进行切片剖分,分别形成下表面区域、过渡区域和零件本体区域的打印程序;(4)将上述相应的打印程序导入金属3D打印机;(5)启动金属3D打印机,铺粉进行打印,即可得到SLM无支撑成形高温合金截面突变结构。本发明突破了现3D打印悬垂结构打印的工艺限制,大大的减轻支撑重量,打印原材料的消耗也大幅降低;也可以有效减少复杂结构的翘曲情况,提高成形稳定性,使3D打印制造更具技术优势。



1. 一种SLM无支撑成形高温合金截面突变结构的成形方法,其特征在于,该成形方法包括以下步骤:

(1) 确定3D打印结构的摆放角度;

(2) 依次设置下表面区域、过渡区域和零件本体区域的切片参数;

(3) 利用上述的切片参数对结构进行切片剖分,分别形成下表面区域、过渡区域和零件本体区域的打印程序;

(4) 将上述相应的打印程序导入金属3D打印机;

(5) 启动金属3D打印机,铺粉进行打印,即可得到SLM无支撑成形高温合金截面突变结构。

2. 根据权利要求1所述的一种SLM无支撑成形高温合金截面突变结构的成形方法,其特征在于:所述3D打印机装填高温合金粉末、安装刮刀。

3. 根据权利要求2所述的一种SLM无支撑成形高温合金截面突变结构的成形方法,其特征在于:所述高温合金粉末的粒径为10~55 μm ;所述刮刀为刚性刮刀或柔性刮刀。

4. 根据权利要求3所述的一种SLM无支撑成形高温合金截面突变结构的成形方法,其特征在于:所述刚性刮刀的材质为高速钢;所述柔性刮刀材质为耐磨塑性材料。

5. 根据权利要求1所述的一种SLM无支撑成形高温合金截面突变结构的成形方法,其特征在于:步骤(2)中,所述下表面区域切片参数中内填充激光功率为70W、扫描速度1200mm/s、激光扫描道间距0.04mm、扫描路径为none、激光扫描方式为zigzag、下表面扫描层数为5层,不重熔、激光光斑直径0.75~0.85mm。

6. 根据权利要求1所述的一种SLM无支撑成形高温合金截面突变结构的成形方法,其特征在于:步骤(2)中,所述过渡区域切片参数中内填充激光功率为170W、扫描速度1400mm/s、激光扫描道间距0.11mm、扫描路径为stripes、条带搭接参数为0.08mm、激光扫描方式为zigzag、过渡区域扫描层数为20层,不重熔、激光光斑直径0.75~0.85mm。

7. 根据权利要求1所述的一种SLM无支撑成形高温合金截面突变结构的成形方法,其特征在于:步骤(2)中,所述零件本体区域切片参数中内填充激光功率为260W、扫描速度960mm/s、激光扫描道间距0.11mm、扫描路径为stripes、条带搭接参数为0.08mm、激光扫描方式为zigzag,不重熔、激光光斑直径0.75~0.85mm。

8. 根据权利要求1所述的一种SLM无支撑成形高温合金截面突变结构的成形方法,其特征在于:步骤(3)中,切片厚度为0.03~0.04mm。

9. 根据权利要求1所述的一种SLM无支撑成形高温合金截面突变结构的成形方法,其特征在于:步骤(5)中,所述结构为直径不超过52mm的平面结构。

一种SLM无支撑成形高温合金截面突变结构的成形方法

技术领域

[0001] 本发明涉及金属增材制造技术领域,具体涉及一种SLM无支撑成形高温合金截面突变结构的成形方法。

背景技术

[0002] 航空航天发动机核心部件均在高温高压条件下工作,服役工况恶劣,所以对零部件的可靠性、一致性要求高。而传统制造带有复杂内流道或空腔设计的零件部一般通过焊接来实现,焊接区域的性能目前只能达到母材的70~80%,且制造难度大、周期长,而3D打印无疑是最适合复杂结构成形的制造方法。

[0003] SLM(selective lasermelting选择性激光熔化),是金属材料增材制造中的一种主要技术途径。该技术选用激光作为能量源,按照三维CAD切片模型中规划好的路径在金属高温合金粉末床层进行逐层扫描,扫描过的金属高温合金粉末通过熔化、凝固从而达到冶金结合的效果,最终获得模型所设计的金属零件。SLM成形方式可概括为逐层扫描,往复焊接的过程。且由于其熔化和凝固过程非常迅速,导致温度梯度大、应力集中、翘曲变形及开裂等均不利于3D打印制造。

[0004] 但是目前现有的3D打印技术无法实现平面悬垂无支撑结构的直接成形或精细化制造,只能更改结构设计,降低研发指标来迎合现有3D打印技术。本研究开发了一种用SLM无支撑成形高温合金截面突变结构打印参数和工艺方法,很好的解决现3D打印技术短板,快速实现了该结构的一体化制造。

发明内容

[0005] 针对现有技术不足,本发明提供一种SLM无支撑成形高温合金截面突变结构的成形方法,以此来克服背景技术中提及的问题。

[0006] 为实现以上目的,本发明的技术方案通过以下技术方案予以实现:

[0007] 一种SLM无支撑成形高温合金截面突变结构的成形方法,具体包括以下步骤:

[0008] (1) 确定3D打印结构的摆放角度;

[0009] (2) 依次设置下表面区域、过渡区域和零件本体区域的切片参数;

[0010] (3) 利用上述的切片参数对结构进行切片剖分,分别形成下表面区域、过渡区域和零件本体区域的打印程序;

[0011] (4) 将上述相应的打印程序导入金属3D打印机;

[0012] (5) 启动金属3D打印机,铺粉进行打印,即可得到SLM无支撑成形高温合金截面突变结构。

[0013] 优选的,所述3D打印机装填高温合金粉末、安装刮刀。

[0014] 优选的,所述高温合金粉末的粒径为10~55 μm ;所述刮刀为刚性刮刀或柔性刮刀。

[0015] 优选的,所述刚性刮刀的材质为高速钢;所述柔性刮刀材质为耐磨塑性材料。

[0016] 优选的,步骤(2)中,所述下表面区域切片参数中内填充激光功率为70W、扫描速度

1200mm/s、激光扫描道间距0.04mm、扫描路径为none、激光扫描方式为zigzag、下表面扫描层数为5层,不重熔、激光光斑直径0.75~0.85mm。

[0017] 优选的,步骤(2)中,所述过渡区域切片参数中内填充激光功率为170W、扫描速度1400mm/s、激光扫描道间距0.11mm、扫描路径为stripes、条带搭接参数为0.08mm、激光扫描方式为zigzag、过渡区域扫描层数为20层,不重熔、激光光斑直径0.75~0.85mm。

[0018] 优选的,步骤(2)中,所述零件本体区域切片参数中内填充激光功率为260W、扫描速度960mm/s、激光扫描道间距0.11mm、扫描路径为stripes、条带搭接参数为0.08mm、激光扫描方式为zigzag,不重熔、激光光斑直径0.75~0.85mm。

[0019] 优选的,步骤(3)中,切片厚度为0.03~0.04mm。

[0020] 优选的,步骤(5)中,所述结构为直径不超过52mm的平面结构。其中,该结构的外径 $\leq 52\text{mm}$,壁厚 $\geq 1\text{mm}$ 。

[0021] 本发明提供一种SLM无支撑成形高温合金截面突变结构的成形方法,与现有技术相比优点在于:

[0022] (1) 本发明突破了现3D打印悬垂结构打印的工艺限制,可以无支撑打印平面悬垂结构,更进一步释放设计自由度,大大的减轻支撑重量,打印原材料的消耗也大幅降低,后处理的工作量也明显减少;

[0023] (2) 现有3D打印技术要求成形角度小于 45° 的结构底部都需要添加支撑,本发明通过优化打印参数,将3D打印最小无支撑角度降低为 0° ,为角度为 $0^\circ \sim 30^\circ$ 的结构无支撑打印提供技术参考;

[0024] (3) 本发明通过优化打印参数,可以有效减少复杂结构的翘曲情况,提高成形稳定性,使3D打印制造更具技术优势。

附图说明

[0025] 图1为本发明成形流程图;

[0026] 图2为本发明圆盘状结构示意图;

[0027] 图3为本发明实施例4中打印结果;

[0028] 图4为本发明实施例2中打印结果。

具体实施方式

[0029] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面结合本发明实施例对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0030] 实施例1

[0031] 一种SLM无支撑成形高温合金截面突变结构的成形方法,具体包括以下步骤:

[0032] (1) 确定3D打印结构的摆放角度;

[0033] (2) 依次设置下表面区域、过渡区域和零件本体区域的切片参数;

[0034] (3) 利用上述的切片参数对结构进行切片剖分,切片厚度为0.03mm,分别形成下表面区域、过渡区域和零件本体区域的打印程序;

[0035] (4) 将上述相应的打印程序导入金属3D打印机；

[0036] (5) 启动金属3D打印机，铺粉进行打印，即可得到SLM无支撑成形高温合金截面突变结构。

[0037] 上述结构为圆盘状结构，其外径 $\Phi 52\text{mm}$ ，内径 $\Phi 50\text{mm}$ ，壁厚 1mm ，盖板厚度 2mm 。

[0038] 3D打印机装填高温合金粉末、安装刮刀，其中，采用粒径为 $10\sim 55\mu\text{m}$ 的高温合金粉末，采用材质为高速钢的刚性刮刀。

[0039] 步骤(2)中，下表面区域切片参数中内填充激光功率为 70W 、扫描速度 1200mm/s 、激光扫描道间距 0.04mm 、扫描路径为none、激光扫描方式为zigzag、下表面扫描层数为5层，不重熔、激光光斑直径 0.75mm 。

[0040] 过渡区域切片参数中内填充激光功率为 170W 、扫描速度 1400mm/s 、激光扫描道间距 0.11mm 、扫描路径为stripes、条带搭接参数为 0.08mm 、激光扫描方式为zigzag、过渡区域扫描层数为20层，不重熔、激光光斑直径 0.75mm 。

[0041] 零件本体区域切片参数中内填充激光功率为 260W 、扫描速度 960mm/s 、激光扫描道间距 0.11mm 、扫描路径为stripes、条带搭接参数为 0.08mm 、激光扫描方式为zigzag，不重熔、激光光斑直径 0.75mm 。

[0042] 其中，首先需要确定该结构下表面区域、过渡区域成形的切片参数，下表面区域的切片参数可参考经验公式(a)、(b)、(c)，在控制下表面烧结参数面能量密度和体积能量密度的前提下，保证激光在粉末上烧结后表面平整，无球化及热量集中现象，边沿没有翘曲。

$$[0043] \quad E_{Area} = \frac{q}{2Rv} \quad (a)$$

$$[0044] \quad E = \frac{q}{dvh} \quad (b)$$

$$[0045] \quad F \approx \sigma_s \quad (c)$$

[0046] 式中： E_{Area} -面能量密度

[0047] E-体能量密度

[0048] q-激光功率

[0049] R-光斑半径

[0050] v-激光扫描速度

[0051] d-激光扫描道间距

[0052] h-层厚

[0053] σ_s -Mise等效应力；

[0054] F-打印过程中，该参数下的材料结合强度；

[0055] 过渡区域的工艺参数可参考经验公式(d)，过渡参数烧结时应确保已经成形好的熔覆层不会在打印过程产生的热应力作用下将其拉裂，同时还要保证成形过程中表面平整，无球化及热量集中现象。

$$[0056] \quad \sigma = \frac{E_c \times (\alpha_c - \alpha_m) \times (T_c - T_{m0})}{1 - \epsilon} \quad (d)$$

[0057] 式中： σ -热应力

[0058] E_c -熔覆层弹性模量

[0059] α_c -熔覆层热膨胀系数

- [0060] α_m - 基体热膨胀系数
- [0061] T_c - 熔覆层凝固温度
- [0062] T_{m0} - 初始温度
- [0063] - 熔覆层材料泊松比
- [0064] 实施例2
- [0065] 一种SLM无支撑成形高温合金截面突变结构的成形方法,具体包括以下步骤:
- [0066] (1) 确定3D打印结构的摆放角度;
- [0067] (2) 依次设置下表面区域、过渡区域和零件本体区域的切片参数;
- [0068] (3) 利用上述的切片参数对结构进行切片剖分,切片厚度为0.04mm,分别形成下表面区域、过渡区域和零件本体区域的打印程序;
- [0069] (4) 将上述相应的打印程序导入金属3D打印机;
- [0070] (5) 启动金属3D打印机,铺粉进行打印,即可得到SLM无支撑成形高温合金截面突变结构。
- [0071] 上述结构为圆盘状结构,其外径 $\Phi 52\text{mm}$,内径 $\Phi 50\text{mm}$,壁厚1mm,盖板厚度2mm。
- [0072] 3D打印机装填高温合金粉末、安装刮刀。其中,采用粒径为 $10\sim 55\mu\text{m}$ 的高温合金粉末,采用材质为耐磨塑性材料的柔性刮刀。
- [0073] 步骤(2)中,下表面区域切片参数中内填充激光功率为70W、扫描速度1200mm/s、激光扫描道间距0.04mm、扫描路径为none、激光扫描方式为zigzag、下表面扫描层数为5层,不重熔、激光光斑直径0.80mm。
- [0074] 过渡区域切片参数中内填充激光功率为170W、扫描速度1400mm/s、激光扫描道间距0.11mm、扫描路径为stripes、条带搭接参数为0.08mm、激光扫描方式为zigzag、过渡区域扫描层数为20层,不重熔、激光光斑直径0.80mm。
- [0075] 零件本体区域切片参数中内填充激光功率为260W、扫描速度960mm/s、激光扫描道间距0.11mm、扫描路径为stripes、条带搭接参数为0.08mm、激光扫描方式为zigzag,不重熔、激光光斑直径0.80mm。
- [0076] 其中,下表面区域、过渡区域成形的切片参数确定,参考实施例1中的公式。
- [0077] 实施例3
- [0078] 一种SLM无支撑成形高温合金截面突变结构的成形方法,具体包括以下步骤:
- [0079] (1) 确定3D打印结构的摆放角度;
- [0080] (2) 依次设置下表面区域、过渡区域和零件本体区域的切片参数;
- [0081] (3) 利用上述的切片参数对结构进行切片剖分,切片厚度为0.04mm,分别形成下表面区域、过渡区域和零件本体区域的打印程序;
- [0082] (4) 将上述相应的打印程序导入金属3D打印机;
- [0083] (5) 启动金属3D打印机,铺粉进行打印,即可得到SLM无支撑成形高温合金截面突变结构。
- [0084] 上述结构为圆盘状结构,其外径 $\Phi 52\text{mm}$,内径 $\Phi 50\text{mm}$,壁厚1mm,盖板厚度2mm。
- [0085] 3D打印机装填高温合金粉末、安装刮刀。其中,采用粒径为 $10\sim 55\mu\text{m}$ 的高温合金粉末,采用材质为高速钢的刚性刮刀。
- [0086] 步骤(2)中,下表面区域切片参数中内填充激光功率为70W、扫描速度1200mm/s、激

光扫描道间距0.04mm、扫描路径为none、激光扫描方式为zigzag、下表面扫描层数为5层,不重熔、激光光斑直径0.85mm。

[0087] 过渡区域切片参数中内填充激光功率为170W、扫描速度1400mm/s、激光扫描道间距0.11mm、扫描路径为stripes、条带搭接参数为0.08mm、激光扫描方式为zigzag、过渡区域扫描层数为20层,不重熔、激光光斑直径0.85mm。

[0088] 零件本体区域切片参数中内填充激光功率为260W、扫描速度960mm/s、激光扫描道间距0.11mm、扫描路径为stripes、条带搭接参数为0.08mm、激光扫描方式为zigzag,不重熔、激光光斑直径0.85mm。

[0089] 其中,下表面区域、过渡区域成形的切片参数确定,参考实施例1中的公式。

[0090] 实施例4

[0091] 在本实施例中,采用未优化的参数,其中,下表面区域切片参数中内填充激光功率为170W、扫描速度1000mm/s、激光扫描道间距0.11mm、扫描路径为none、激光扫描方式zigzag、下表面扫描层数为3层,不重熔、激光光斑直径0.80mm。在下表面烧结完后直接使用零件本体参数成形,无过渡区域及相关参数。

[0092] 结果

[0093] 将实施例2中的结构与实施例4中的结构作对比,发现:

[0094] 在实施例4中,第一层下表面烧结后就出现过烧,烧结区域表面不平整,边沿开裂上翘,无法继续成形。具体打印结果如图1所示。

[0095] 在实施例2中,第一层下表面烧结是表面平整,粉末结合良好,无开裂现象,且成形完成后下表面平整,整体厚度的尺寸偏差0.05mm(沿打印Z轴方向从中间将测试件切开,进行金相制备,使用光学显微镜测量)。具体打印结果如图2所示。

[0096] 需要说明的是,在本文中,诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来,而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且,术语“包括”、“包含”或者任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

[0097] 以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

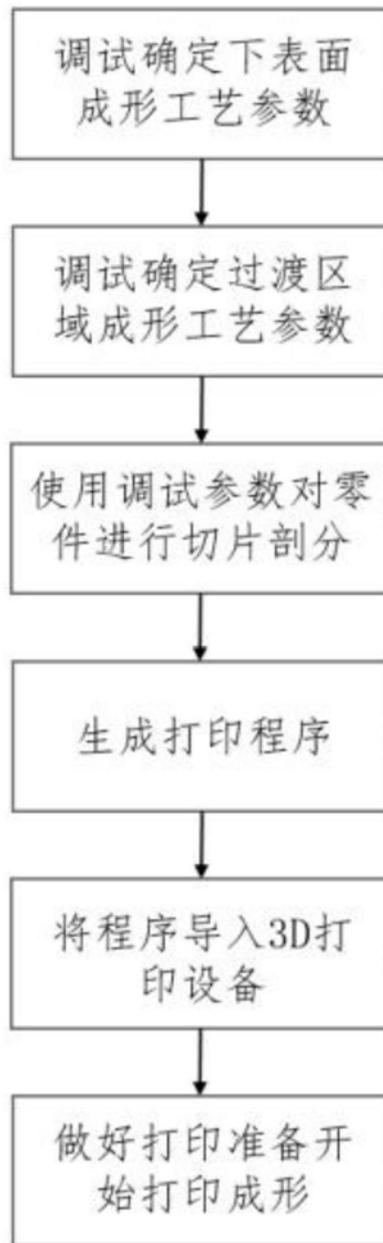


图1

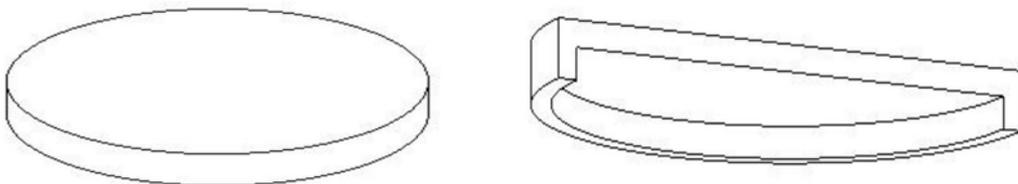


图2



图3

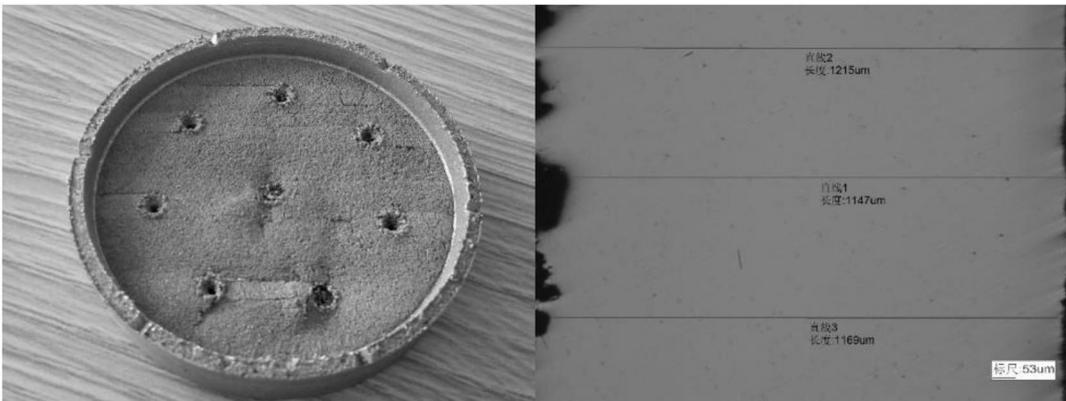


图4