



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113275568 A

(43) 申请公布日 2021.08.20

(21) 申请号 202110578401.5

(22) 申请日 2021.05.26

(71) 申请人 华中科技大学

地址 430074 湖北省武汉市洪山区珞喻路
1037号

(72) 发明人 魏青松 滕庆 孙闪闪 程坦
谢寅

(74) 专利代理机构 华中科技大学专利中心
42201

代理人 夏倩

(51) Int. Cl.

B22F 3/105 (2006.01)

B22F 12/17 (2021.01)

B22F 10/28 (2021.01)

B33Y 30/00 (2015.01)

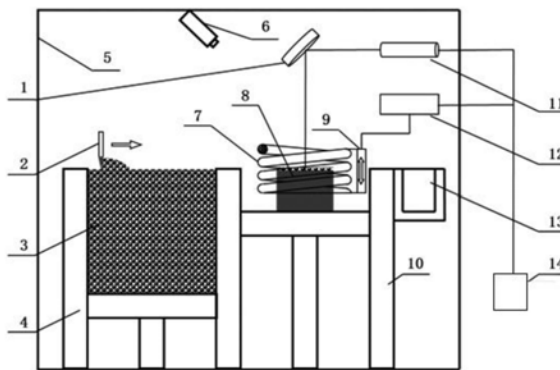
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种电磁感应加热辅助SLM成形装置及成形方法

(57) 摘要

本发明公开了一种电磁感应加热辅助SLM成形装置及成形方法,属于增材制造相关技术领域,包括成形室、电磁感应线圈、升降驱动机构、送粉机构、成形机构和激光成形单元;电磁感应线圈位于成形机构的基板上方,升降驱动机构驱动电磁感应线圈沿成形机构的轴向移动;送粉机构设有铺粉刮刀,用于将粉料均匀铺设于成形机构的基板上,升降驱动机构用于驱动电磁感应线圈下降至成形平面;电磁感应线圈用于通电后产生热量并对粉料进行预热,待预热至预设温度后,激光成形单元用于根据预设加工轨迹对粉料进行加工。本发明通过对激光加工平面实施实时预热,减小熔池与已凝固区域的温度梯度,减小成形过程中内应力,减少裂纹敏感性高的镍基高温合金中微裂纹数量。



1. 一种电磁感应加热辅助SLM成形装置,其特征在于,包括成形室(5)、电磁加热单元、送粉机构(4)、成形机构(10)和激光成形单元;

所述送粉机构(4)和所述成形机构(10)并排设置于所述成形室(5)底部;所述激光成形单元设置于所述成形机构(10)的上方;

所述电磁加热单元包括电磁感应线圈(7)和升降驱动机构(9),所述电磁感应线圈(7)位于所述成形机构(10)的基板上方,所述升降驱动机构(9)连接所述电磁感应线圈(7)并驱动其沿所述成形机构(10)的基板轴向移动;

所述送粉机构(4)设有铺粉刮刀(2),所述铺粉刮刀(2)用于将粉料均匀铺设于所述成形机构(10)的基板上;所述升降驱动机构(9)用于驱动所述电磁感应线圈(7)下降至成形平面;所述电磁感应线圈(7)用于通电后产生热量并对粉料进行预热;待预热至预设温度后,所述激光成形单元用于根据预设加工轨迹对粉料进行加工。

2. 根据权利要求1所述的一种电磁感应加热辅助SLM成形装置,其特征在于,所述电磁加热单元还包括电源控制器(12),所述电源控制器(12)连接于所述电磁感应线圈(7),其用于向所述电磁感应线圈(7)通入高频交变电流以使所述电磁感应线圈(7)产生交变磁场。

3. 根据权利要求1所述的一种电磁感应加热辅助SLM成形装置,其特征在于,所述激光成形单元包括激光器(11)和振镜组件(1),所述振镜组件(1)设置于所述成形机构(10)的上方,所述激光器(11)设置于所述振镜组件(1)的一侧;所述激光器(11)将成形所需的激光束平行于成形平面射入所述振镜组件(1);所述振镜组件(1)用于根据预设加工轨迹将所述激光束反射至所述成形平面的对应位置。

4. 根据权利要求3所述的一种电磁感应加热辅助SLM成形装置,其特征在于,还包括测温仪(6),所述测温仪(6)安装于所述成形室(5)的顶部,其用于对成形平面的温度进行实时检测。

5. 根据权利要求4所述的一种电磁感应加热辅助SLM成形装置,其特征在于,还包括控制器(14),所述控制器(14)电连接于所述电磁加热单元,其用于接收所述测温仪(6)检测到的成形平面的温度信号,调节通入所述电磁感应线圈(7)的电流以调控所述电磁感应线圈(7)产生的预热温度。

6. 根据权利要求5所述的一种电磁感应加热辅助SLM成形装置,其特征在于,所述控制器(14)还电连接于所述激光成形单元,用于控制所述激光器(11)的开关以及所述振镜组件(1)的运动轨迹。

7. 根据权利要求1所述的一种电磁感应加热辅助SLM成形装置,其特征在于,还包括废料收集机构(13),所述废料收集机构(13)设置于所述成形机构(10)的一侧。

8. 根据权利要求1所述的一种电磁感应加热辅助SLM成形装置,其特征在于,还包括冷却系统,所述冷却系统用于在所述电磁感应线圈(7)工作时保护所述电磁感应线圈避免其温度过高。

9. 一种使用权利要求1-8任一项所述的电磁感应加热辅助SLM成形装置的成形方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

步骤一,升降驱动机构驱动电磁感应线圈上升,铺粉刮刀将送粉机构中的粉料均匀铺到成形机构的基板上;

步骤二,铺粉刮刀回程,升降驱动机构驱动电磁感应线圈下降至成形平面上,向电磁感

应线圈通电使其产生热量并对粉料进行预热；

步骤三,待预热至设定温度时,开启激光成形单元根据预设轨迹对粉料进行加工,完成当前层加工；

步骤四,重复步骤一至三完成对成形件的逐层加工。

10. 根据权利要求9所述的一种电磁感应加热辅助SLM成形方法,其特征在于,在所述步骤一之前,还需将成形室内抽真空并通入保护气体以降低成形室的含氧量。

一种电磁感应加热辅助SLM成形装置及成形方法

技术领域

[0001] 本发明属于增材制造相关技术领域,更具体地,涉及一种电磁感应加热辅助SLM成形装置及成形方法。

背景技术

[0002] 随着航空发动机技术的发展,其热端部件的工作温度越来越高,因此,对发动机热端关键零部件的材料综合性能提出了更加严苛的要求。统计数据表面,在发动机热端部件材料中,有40-60%的材料属于高温合金。和铁基和钴基高温合金相比,镍基高温合金由于具有良好的综合力学性能和抗氧化、抗腐蚀性能,在高温合金领域具有重要地位,现代先进发动机中的涡轮叶片几乎全部采用镍基高温合金。

[0003] 航空发动机热端部件往往具有复杂结构,同时对材料性能要求较高,这对其成形制备提出了极大的考验。采用传统加工技术存在工艺流程长、难加工等问题,这极大程度制约了先进航空航天发动机的发展。焊接技术是发动机成形制备与修复的主要方法,然而,由于镍基高温合金导热系数低,液态合金的流动性较差,在焊接加工过程中具有较大的裂纹敏感性。熔模精密铸造技术也是航空航天领域管件零部件的主要成形技术之一,但是熔模精密铸造过程容易产生气孔、夹杂等缺陷,难以满足高性能复杂构件的使用需求。现代先进航空航天飞行器朝着轻量化、高性能、低成本等方向发展,构件的结构更为复杂,寻求高性能复杂零件制备方法成为了该领域的前沿。

[0004] 激光选区熔化(Selective Laser Melting, SLM)技术是一种以快速原型制造技术为基本原理而发展起来的一种增材制造技术。SLM利用高能激光束逐层熔化金属或者合金粉末而形成冶金结合的致密体,工艺环节少,无需模具便可直接成形,适合复杂结构、整体结构和内部结构的快速化、定制化和高性能制造。对于SLM技术而言,镍基高温合金属于一种典型难成形材料,特别当Al/Ti含量大于6%,为不可焊材料。这是由于在成形过程中高能束激光作用导致粉末温度在微秒量级内超过熔点甚至气化,并在凝固层与非凝固层之间产生极大的温度梯度,具有显著的快速凝固特征。而镍基高温合金自身含有较多的合金元素,其在激光增材制造过程中普遍存在裂纹敏感性强、元素偏析等问题。Al、Ti是沉淀强化型高温合金强化相的主要形成元素,随着合金中合金元素总含量的提高,强化相 γ' 相体积分数增加,合金强度提升,但合金的裂纹敏感性逐渐增加。通常,当镍基高温合金中Al/Ti合金元素质量分数大于6%时为不可焊接材料。在SLM成形过程中,Al/Ti合金元素容易在晶界处发生富集,通过发生共晶反应而导致晶界液化从而产生液膜。同时,晶界上其他相(碳化物等)阻碍这些因素为高性能复杂镍基高温合金构件的制备和性能调控带来了极大的挑战。因此,在激光快速凝固热应力下极易产生微裂纹。

[0005] 微裂纹作为SLM成形过程中常见缺陷,对成形件性能有极大的影响,限制了镍基高温合金的应用。同时,由于SLM是粉末逐层堆积的过程,激光扫描区域和凝固区域在复杂的热交换过程。在热影响区存在三种形式的应力:快速凝固而产生的残余应力、强化相析出产生的时效应力和热膨胀不均匀引起的热应力。以上三种形式的应力相互叠加,使得热影响

区域附近有产生沿晶界扩展的裂纹的趋势。这些因素为高性能复杂镍基高温合金构件的制备和性能调控带来了极大的挑战。

[0006] 针对激光选区熔化成形过程内应力和裂纹问题,已有部分专利针对预热系统对设备进行了改进,以调控成形件应力,减少裂纹的产生。如专利申请CN207692082U公开了一种用于SLM 3D打印机的基板加热系统,通过在成形基板上加工凹槽,并在凹槽内安装电磁感应线圈,凹槽外部用密封条与成形缸配合连接,以上及部分经装配后形成电磁感应加热系统,该专利利用基板内部加热的方法,能有效提高能量利用率,避免热量散失,但当成形件高度增大,基板高度下降,加热装置和加工平面距离变大,预热效果显著降低。专利申请CN112139497A公开了一种高温整体预热辅助增材制造装置及方法,该发明通过设置高温腔体等机构,能够实现成形件的整体预热,抑制材料开裂,但是该结构密封困难,无法适用于SLM装备。专利申请CN105855544A公开了一种激光选区熔化电磁感应立体加热系统,通过在SLM成形缸内体和外体间缠绕线圈,并在线圈和成形缸内体间放置石墨块和温度传感器,实现成形缸内体内基板区域均匀加热,从而降低成形过程温度梯度和内应力,但是受成形缸内体材料及装配限制,最高预热温度受限。为此,为了降低成形过程应力程度,需要尽可能减小成形过程温度梯度。

发明内容

[0007] 针对现有技术的以上缺陷或改进需求,本发明提供了一种电磁感应加热辅助SLM成形装置及成形方法,其目的在于通过电磁加热单元对激光加工平面进行预热,减小熔池与已凝固区域的温度梯度,减小成形过程中内应力,防止成形件中的微裂纹数量。

[0008] 为实现上述目的,按照本发明的一个方面,提供了一种电磁感应加热辅助SLM成形装置,包括成形室、电磁加热单元、送粉机构、成形机构和激光成形单元;

[0009] 所述送粉机构和所述成形机构并排设置于所述成形室底部;所述激光成形单元设置于所述成形机构的上方;

[0010] 所述电磁加热单元包括电磁感应线圈和升降驱动机构,所述电磁感应线圈位于所述成形机构的基板上方,所述升降驱动机构连接所述电磁感应线圈并驱动其沿所述成形机构的基板轴向移动;

[0011] 所述送粉机构设有铺粉刮刀,所述铺粉刮刀用于将粉料均匀铺设于所述成形机构的基板上;所述升降驱动机构用于驱动所述电磁感应线圈下降至成形平面;所述电磁感应线圈用于通电后产生热量并对粉料进行预热;待预热至预设温度后,所述激光成形单元用于根据预设加工轨迹对粉料进行加工。

[0012] 优选地,所述电磁加热单元还包括电源控制器,所述电源控制器连接于所述电磁感应线圈,其用于向所述电磁感应线圈通入高频交变电流以使所述电磁感应线圈产生交变磁场。

[0013] 优选地,所述激光成形单元包括激光器和振镜组件,所述振镜组件设置于所述成形机构的上方,所述激光器设置于所述振镜组件的一侧;所述激光器将成形所需的激光束平行于成形平面射入所述振镜组件;所述振镜组件用于根据预设加工轨迹将所述激光束反射至所述成形平面的对应位置。

[0014] 优选地,还包括测温仪,所述测温仪安装于所述成形室的顶部,其用于对成形平面

的温度进行实时检测。

[0015] 优选地,还包括控制器,所述控制器电连接于所述电磁加热单元,其用于接收所述测温仪检测到的成形平面的温度信号,调节通入所述电磁感应线圈的电流以调控所述电磁感应线圈产生的预热温度。

[0016] 优选地,所述控制器还电连接于所述激光成形单元,用于控制所述激光器的开关以及所述振镜组件的运动轨迹。

[0017] 优选地,还包括废料收集机构,所述废料收集机构设置于所述成形机构的一侧。

[0018] 优选地,还包括冷却系统,所述冷却系统用于在所述电磁感应线圈工作时保护所述电磁感应线圈避免其温度过高。

[0019] 按照本发明的另一方面,提供了一种电磁感应加热辅助SLM成形方法,该方法包括以下步骤:

[0020] 步骤一,升降驱动机构驱动电磁感应线圈上升,铺粉刮刀将送粉机构中的粉料均匀铺到成形机构的基板上;

[0021] 步骤二,铺粉刮刀回程,升降驱动机构驱动电磁感应线圈下降至成形平面上,向电磁感应线圈通电使其产生热量并对粉料进行预热;

[0022] 步骤三,待预热至设定温度时,开启激光成形单元根据预设轨迹对粉料进行加工,完成当前层加工;

[0023] 步骤四,重复步骤一至三完成对成形件的逐层加工。

[0024] 优选地,在所述步骤一之前,还需将成形室内抽真空并通入保护气体以降低成形室的含氧量。

[0025] 总体而言,通过本发明所构思的以上技术方案与现有技术相比,能够取得下列有益效果:

[0026] 1、本发明提出的电磁感应加热辅助SLM成形装置,通过电磁加热单元对激光加工平面实施预热,减小熔池与已凝固区域的温度梯度,减小成形过程中内应力,从而减少裂纹敏感性高的镍基高温合金中微裂纹数量。

[0027] 2、本发明提出的电磁感应加热辅助SLM成形装置使用电磁感应加热,具有加热速度快、加热温度高的特点,可以提供较高温度的预热环境。

[0028] 3、本发明提出的电磁感应加热辅助SLM成形装置利用同步感应预热对成形平面实时预热,减少了传统基板底部预热方式的热传导过程,提高了热效率和预热效果。

[0029] 4、本发明提出的电磁感应加热辅助SLM成形装置可以通过升降驱动机构对电磁感应线圈实时移动,对成形装置改动较少,方便安装于拆卸。

附图说明

[0030] 图1是本发明电磁感应加热辅助SLM成形装置的结构示意图。

[0031] 在所有附图中,相同的附图标记用来表示相同的元件或结构,其中:1-振镜组件;2-铺粉刮刀;3-粉料;4-送粉机构;5-成形室;6-测温仪;7-电磁感应线圈;8-成形件;9-升降驱动机构;10-成形机构;11-激光器;12-电源控制器;13-废料收集机构;14-控制器。

具体实施方式

[0032] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。此外,下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

[0033] 如图1所示,本发明提出一种电磁感应加热辅助SLM成形装置,包括成形室5、电磁加热单元、送粉机构4、成形机构10、激光成形单元、测温仪6、控制器14和废料收集机构13。

[0034] 其中,所述电磁加热单元包括电磁感应线圈7、升降驱动机构9和电源控制器12。所述激光成形机构包括激光器11和振镜组件1。

[0035] 具体的,所述送粉机构4和所述成形机构10并排设置于所述成形室5的底部。所述送粉机构4为可升降机构,其内部储存用于零件加工的粉料3,所述成形机构10包括一可升降基板,所述基板可根据所需成形件的尺寸任意更换。所述电磁感应线圈7位于所述基板的上方并连接于所述电源控制器12的一端,所述电源控制器12的另一端连接所述控制器14。所述控制器14根据预设的预热温度控制所述电源控制器12向所述电磁感应线圈7通入高频交变电流以使所述电磁感应线圈7产生交变磁场从而使其发热。所述升降驱动机构9连接所述电磁感应线圈7,使其沿所述基板的轴向移动。

[0036] 本发明的一个实施例中,所述送粉机构4的一侧设有铺粉刮刀2,当所述送粉机构4升起将粉料3抬升至高于所述送粉机构4的顶端时,所述铺粉刮刀2沿所述送粉机构4上表面将粉料刮至所述成形机构10的基板上并使粉料铺平。

[0037] 本发明的一个实施例中,所述激光器11连接于所述控制器14,所述激光器11发出平行于所述成形机构10基板的激光束。所述振镜组件1设置于所述激光束的光路上,并将该激光束反射与基板上的成形平面中以对粉料进行加工。

[0038] 本发明的一个实施例中,在所述成形室5的顶部安装有测温仪6,所述测温仪6对向所述基板的成形平面内,用于采集成形平面的实时温度并将温度信号发送至所述控制器14,所述控制器14根据温度信号可以及时调整交变电流大小从而调控预热温度。

[0039] 作为本发明的优选实施例,所述测温仪6为红外测温仪。

[0040] 本发明的一个实施例中,在所述成形机构10的一侧设有所述废料收集机构13,用于将加工过程中的废料进行收集。

[0041] 本发明的工作原理为:当要进行SLM加工时,待粉料3填充及所述成形室5保护气氛准备就绪时,所述电磁感应线圈7在所述升降驱动机构9作用下向上升举一定高度;同时,所述送粉机构4上升,所述铺粉刮刀2将粉料均匀铺设在预设的成形机构10的基板上,在所述铺粉刮刀2回程过程中,所述电磁感应线圈7下降至预设基板所在成形工作平面;所述控制器14通过控制所述电源控制器12开启高频交变电流,电磁感应线圈7中产生交变磁场,成形机构的基板及成形件8所在的工作平面迅速产生大量热量,使成形平面温度升高;在所述测温仪6的协同作用下,待温度升高至设定温度时,开启所述激光器11和振镜系统1开始加工零件。待当前层加工结束后,按照以上工作过程进行下一层的加工。

[0042] 需要说明的是,本发明装置适合成形裂纹敏感性高的高Al/Ti类沉淀强化型镍基高温合金,如Inconel738LC、Incone1939、CMSX-4等镍基高温合金。

[0043] 本发明的另一个实施例还提出一种电磁感应加热辅助SLM成形方法,该方法包括

以下步骤：

[0044] 步骤一，升降驱动机构驱动电磁感应线圈上升，铺粉刮刀将送粉机构中的粉料均匀铺到成形机构的基板上。

[0045] 具体的，在所述步骤一之前，还需将成形室内抽真空并通入保护气体以降低成形室内的氧气含量。

[0046] 步骤二，铺粉刮刀回程，升降驱动机构驱动电磁感应线圈下降至成形平面上，向电磁感应线圈通电使其产生热量并对粉料进行预热。

[0047] 步骤三，待预热至设定温度时，开启激光成形单元根据预设轨迹对粉料进行加工，完成当前层加工。

[0048] 步骤四，重复步骤一至三完成对成形件的逐层加工。

[0049] 下面通过具体实施例来进一步说明本发明的技术方案：

[0050] 以Inconel738LC合金为例，使用本发明所提出的成形装置和成形方法，成形微裂纹少、高性能镍基高温合金零件，具体步骤如下：

[0051] S100，根据待成形零件进行建模，利用切片软件导出STL模型。

[0052] S200，根据零件尺寸选择合适的基板，并在送粉机构中加入烘干后的Inconel738LC金属粉料，对成形室抽真空并通入保护气体，以降低成形室的含氧量。

[0053] S300，开启激光器、振镜组件和电磁加热单元，结合测温仪，对成形过程加工平面温度实时监测，并向控制器提供反馈。

[0054] S400，待成形结束并冷却至室温后，将零件和基板取出，清理零件表面和内部粘连粉料，随后用线切割方法将零件从基板表面切除，获得成形零件。

[0055] 本领域的技术人员容易理解，以上所述仅为本发明的较佳实施例而已，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

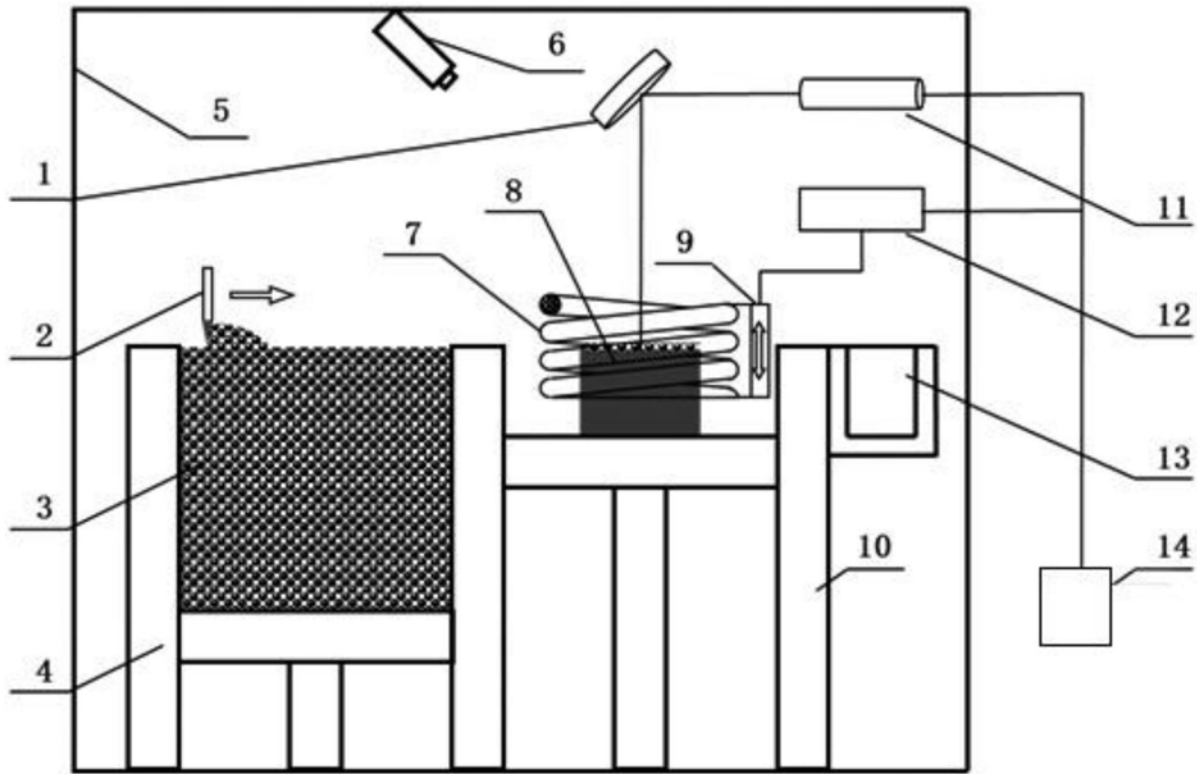


图1