



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 113351865 A

(43)申请公布日 2021.09.07

(21)申请号 202010144162.8

(22)申请日 2020.03.04

(71)申请人 中国科学院宁波材料技术与工程研究所

地址 315201 浙江省宁波市镇海区庄市大道519号

(72)发明人 欧阳文泰 徐子法 焦俊科  
张文武

(74)专利代理机构 北京元周律知识产权代理有限公司 11540

代理人 校丽丽

(51)Int.Cl.

B22F 3/105(2006.01)

B33Y 30/00(2015.01)

B33Y 10/00(2015.01)

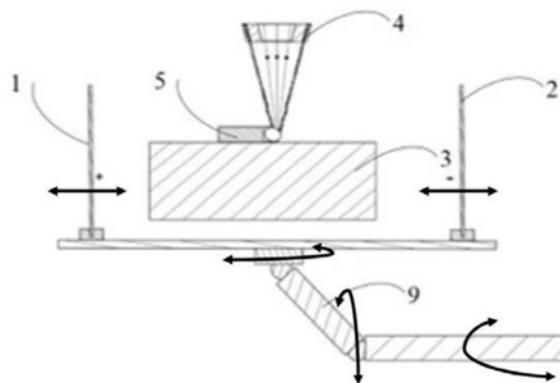
权利要求书2页 说明书9页 附图5页

(54)发明名称

静电场辅助激光增材制造装置及方法

(57)摘要

本申请公开了一种静电场辅助激光增材制造装置及方法,所述装置至少包括电源、工作电极对、激光器;所述工作电极对分别与所述电源的正负极连接;所述激光器在所述工作电极对形成的静电场作用下,对位于所述工作电极对之间的待熔覆基体进行激光增材加工。本申请提出的静电场辅助激光增材制造装置,在激光增材加工过程中,工作电极对能为位于工作电极对之间的待熔覆基体提供静电场,在静电场的作用下,能实现对制造过程中的工件内孔隙的消除、工件内部组织趋向的调控。



1. 一种静电场辅助激光增材制造装置,其特征在于,所述装置至少包括电源、工作电极对、激光器;

所述工作电极对分别与所述电源的正负极连接;

所述激光器在所述工作电极对形成的静电场作用下,对位于所述工作电极对之间的待熔覆基体进行激光增材加工。

2. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,所述装置还包括:

电极夹持部件,与所述工作电极对中的至少一个电极连接,用于控制所述电极的位置移动;

和/或电极绝缘部件,位于所述工作电极对中的至少一个电极表面,用于分隔所述电极与待熔覆基体。

3. 根据权利要求2所述的装置,其特征在于,所述装置还包括:

用于放置待熔覆基体的支撑部;

保护气体系统,与所述激光器连接,用于为激光增材加工过程提供保护气体;

其中,所述支撑部、激光器、电极夹持部件、保护气体系统均与控制系统连接。

4. 一种静电场辅助激光增材制造方法,其特征在于,至少包括:

将工作电极对分别与电源的正极和负极连接;

将所述工作电极对相对设置于待熔覆基体的两侧;

接通电源后,在所述工作电极对形成的静电场作用下,对所述待熔覆基体进行激光增材加工。

5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述工作电极对中存在至少一个电极与所述待熔覆基体之间绝缘。

6. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,在对待熔覆基体进行激光增材加工的过程中,还包括:

调整所述工作电极对的位置;

优选地,所述工作电极对与所述待熔覆基体之间的夹角任意可调。

7. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,所述调整所述工作电极对的位置,包括:

调换所述工作电极对中正负极的位置;

改变所述工作电极对之间的距离;

相对于所述待熔覆基体,旋转所述工作电极对。

8. 根据权利要求4-7任一项所述的方法,其特征在于,所述将所述工作电极对相对设置于待熔覆基体的两侧,包括:

在平行于待熔覆基体水平面的两侧,相对设置所述工作电极对,以形成垂直于所述待熔覆基体水平面的静电场;

或者,在垂直于所述待熔覆基体水平面的两侧,相对设置所述工作电极对,以形成平行于所述待熔覆基体水平面的静电场。

9. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述至少存在一个电极与所述待熔覆基体之间绝缘,包括:

在所述电极与所述待熔覆基体之间设置电介质层;

或者,通过电极夹持系统夹持所述电极,使所述电极与所述待熔覆基体之间存在间隙;

其中,所述电介质层的材料选自包括氧化铝、绝缘纸、绝缘胶带的绝缘材料中的至少一种。

10. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述接通电源后,在所述工作电极对形成的静电场作用下,对所述待熔覆基体进行激光增材加工过程,包括:

利用激光束对输送至所述待熔覆基体的增加材料进行照射,在所述待熔覆基体上形成熔覆层;

优选的,所述电源为直流电源、交流电源和脉冲电源中的任一种;所述激光束为平顶光束和高斯光束中的任一种。

## 静电场辅助激光增材制造装置及方法

### 技术领域

[0001] 本申请属于材料制备技术领域，具体涉及一种静电场辅助激光增材制造装置、一种静电场辅助激光增材制造方法。

### 背景技术

[0002] 激光增材制造技术是基于微积分的思想，采用激光分层扫描、叠加成型的方式逐层增加材料，将数字模型转换成三维实体零件。传统金属零件成型制造采用铸造的方法，将固态金属熔化为液态倒入特定形状的铸型并待其凝固成型，工序繁多、模具成本高、从设计到零件制造周期长，且对具有复杂内腔结构的零件无能为力的缺点。相对于传统的铸造技术，激光增材制造技术是一种“自下而上”材料累加的制造方法。然而随着材料以及激光增材制造技术的发展、零件使用环境的日益恶劣，人们对激光增材制造的零件质量提出更高的要求，比如汽轮机叶片这类需要经常承受交变载荷的工件，其中残留的气孔将严重影响涂层的力学性能。

[0003] 相关技术中，通常采用电流与磁场的复合形成洛伦兹力的方式辅助激光增材制造，然而这种方式对于工件内部组织和性能趋向性的调控难度较高，也限制了工件力学性能的进一步提升。

### 发明内容

[0004] 为了解决上述技术问题，本申请提出了一种静电场辅助激光增材制造装置及方法，进而至少在一定程度上克服由于相关技术的限制和缺陷导致的工件内部组成和性能趋向调控难度大等问题。

[0005] 为实现上述目的，本申请采用的技术方案如下：

[0006] 根据本申请的一个方面，提供一种静电场辅助激光增材制造装置，所述装置至少包括

[0007] 电源、工作电极对、激光器；

[0008] 所述工作电极对分别与所述电源的正负极连接；

[0009] 所述激光器在所述工作电极对形成的静电场作用下，对位于所述工作电极对之间的待熔覆基体进行激光增材加工。

[0010] 在本发明的一种示例性实施例中，所述装置还包括：

[0011] 电极夹持部件，与所述工作电极对中的至少一个电极连接，用于控制所述电极的位置移动；

[0012] 和/或电极绝缘部件，位于所述工作电极对中的至少一个电极表面，用于分隔所述电极与所述支撑部上的待熔覆基体。

[0013] 在本发明的一种示例性实施例中，所述装置还包括：

[0014] 用于放置待熔覆基体的支撑部；

[0015] 保护气体系统，与所述激光器连接，用于为激光增材加工过程提供保护气体；

- [0016] 其中,所述支撑部、激光器、电极夹持部件、保护气体系统均与控制系统连接;
- [0017] 优选地,所述控制系统为工控机或计算机。
- [0018] 根据本申请的一个方面,提供一种静电场辅助激光增材制造方法,所述方法至少包括:
- [0019] 将工作电极对分别与电源的正极和负极连接;
- [0020] 将所述工作电极对相对设置于待熔覆基体的两侧;
- [0021] 接通电源后,在所述工作电极对形成的静电场作用下,对所述待熔覆基体进行激光增材加工。
- [0022] 在本发明的一种示例性实施例中,所述工作电极对中存在至少一个电极与所述待熔覆基体之间绝缘。
- [0023] 在本发明的一种示例性实施例中,在对待熔覆基体进行激光增材加工的过程中,还包括:
- [0024] 调整所述工作电极对的位置;
- [0025] 优选地,所述工作电极对与所述待熔覆基体之间形成的夹角任意可调。
- [0026] 在本发明的一种示例性实施例中,所述调整所述工作电极对的位置,包括:
- [0027] 对调所述工作电极对中正负极的位置,以形成区域相同且方向相反的静电场;
- [0028] 改变所述工作电极对之间的距离,以改变所述工作电极对之间的静电场强度;
- [0029] 或者,将所述工作电极对中的至少一个电极,相对于所述待熔覆基体进行旋转。
- [0030] 在本发明的一种示例性实施例中,所述将所述工作电极对相对设置于待熔覆基体的两侧,包括:
- [0031] 在平行于待熔覆基体水平面的两侧面上,相对设置所述工作电极对,以形成垂直于所述待熔覆基体水平面的静电场;
- [0032] 或者,在垂直于所述待熔覆基体水平面的两侧面上,相对设置所述工作电极对,以形成平行于所述待熔覆基体水平面的静电场。
- [0033] 在本发明的一种示例性实施例中,所述至少存在一个电极与所述待熔覆基体之间具有间隙,包括:
- [0034] 在所述电极与所述待熔覆基体之间设置电介质层;
- [0035] 或者,通过电极夹持系统夹持所述电极,使所述电极与所述待熔覆基体之间存在间隙;
- [0036] 其中,所述电介质层的材料选自包括氧化铝、绝缘纸、绝缘胶带的绝缘材料中的至少一种。
- [0037] 在本发明的一种示例性实施例中,所述接通电源后,在所述工作电极对形成的静电场作用下,对所述待熔覆基体进行激光增材加工过程,包括:
- [0038] 利用激光束对输送至所述待熔覆基体的增加材料进行照射,在所述待熔覆基体上形成熔覆层;
- [0039] 工艺条件包括:所述电源为直流电源、交流电源和脉冲电源中的任一种;所述激光束为平顶光束和高斯光束中的任一种。
- [0040] 本申请的静电场辅助激光增材制造装置的有益效果在于:
- [0041] 通过相对设置的工作电极对,在位于工作电极对之间的待熔覆基体进行激光增材

加工的过程中,为待熔覆基体提供静电场,能控制待熔覆基体上所产生的熔融态液体的变形与聚集,实现对工件内部组织趋向的调控,也可以消除工件内部的孔隙,有利于提高工件的力学性能;

[0042] 进一步的,本申请的装置还包括电极夹持部件,控制电极的位置移动不受限制,因此,可根据需求在空间任意改变电极的位置,从而改变待熔覆基体的静电场方向、静电场与待熔覆基体之间的夹角和静电场强度,使最终得到的工件在所需承受载荷的方向达到最优;同时,与电极夹持部件相同,通过设置电极绝缘部件也可以控制至少一个电极与待熔覆基体之间绝缘,导致工件本身无电流产生,避免了焦耳热导致工件材料的晶粒组织粗化,进一步提升工件的力学性能,也不会因产生过高的热量为操作带来不便和安全隐患,装置的操作安全性高。

[0043] 本申请的静电场辅助激光增材制造方法的有益效果在于:

[0044] 通过相对设置于待熔覆基体两侧的工作电极对提供的静电场,能控制待熔覆基体上所产生的熔融态液体的变形与聚集,实现对工件内部组织趋向的调控,也可以消除工件内部的孔隙,有利于提高工件的力学性能;

[0045] 进一步的,存在至少一个电极与待熔覆基体之间绝缘,导致工件本身无电流产生,避免了焦耳热导致工件材料的晶粒组织粗化,进一步提升工件的力学性能,也不会因产生过高的热量为操作带来不便和安全隐患;同时,由于存在未与待熔覆基体接触的电极,该电极的位置移动不受限制,因此,本申请可根据需求于激光增材加工过程中,在空间任意改变电极的位置,从而改变待熔覆基体的静电场方向、静电场与待熔覆基体之间的夹角和静电场强度,使最终得到的工件在所需承受载荷的方向达到最优。

## 附图说明

[0046] 图1为本申请的一种静电场辅助激光增材制造装置组成示意图;

[0047] 图2为本申请的一种静电场辅助激光增材制造装置组成示意图;

[0048] 图3为本申请的静电场辅助激光增材制造方法的流程图;

[0049] 图4为本申请一种实施方式的工作电极对与待熔覆基体的相对位置关系示意图;

[0050] 图5为本申请图4的一种示例性的工作电极对布置方式的示意图;

[0051] 图6为本申请一种实施方式的工作电极对与待熔覆基体的相对位置关系示意图;

[0052] 图7为本申请图6的一种示例性的工作电极对布置方式的示意图;

[0053] 图8为本申请一种实施方式的工作电极对与待熔覆基体的相对位置关系示意图;

[0054] 图9为本申请的激光增材制造方法的加工示意图;

[0055] 图10为本申请的无静电场辅助下的熔覆层截面的扫描电子显微镜图;

[0056] 图11为本申请的无静电场辅助下的熔覆层截面光学显微镜下的金相图;

[0057] 图12为本申请的有静电场辅助下的熔覆层截面的扫描电子显微镜图;

[0058] 图13为本申请的有静电场辅助下的熔覆层截面光学显微镜下的金相图。

[0059] 部件和附图标记列表:

- |        |        |         |
|--------|--------|---------|
| [0060] | 1第一电极; | 2第二电极;  |
| [0061] | 101电源; | 3待熔覆基体; |
| [0062] | 4熔覆头;  | 5熔覆层;   |

- |        |           |           |
|--------|-----------|-----------|
| [0063] | 501增加材料束; | 502激光束;   |
| [0064] | 6支撑部;     | 7激光器;     |
| [0065] | 701激光输出头; | 703送粉头;   |
| [0066] | 9电极夹持部件;  | 10保护气体系统; |
| [0067] | 11控制系统;   | 12电极绝缘部件。 |

### 具体实施方式

[0068] 现在将参考附图更全面地描述示例实施方式。然而,示例实施方式能够以多种形式实施,且不应被理解为限于在此阐述的范例;相反,提供这些实施方式使得本申请将更加全面和完整,并将示例实施方式的构思全面地传达给本领域的技术人员。所描述的特征、结构或特性可以以任何合适的方式结合在一个或更多实施方式中。在下面的描述中,提供许多具体细节从而给出对本申请的实施方式的充分理解。然而,本领域技术人员将意识到,可以实践本申请的技术方案而省略所述特定细节中的一个或更多,或者可以采用其它的方法、组元、装置、步骤等。在其它情况下,不详细示出或描述公知技术方案以避免喧宾夺主而使得本申请的各方面变得模糊。

[0069] 用语“一个”、“一”、“该”和“所述”用以表示存在一个或多个要素/组成部分/等;用语“包括”和“具有”用以表示开放式的包括在内的意思并且是指除了列出的要素/组成部分/等之外还可存在另外的要素/组成部分/等;用语“第一”和“第二”等仅作为标记使用,不是对其对象的数量限制。

[0070] 如无特别说明,实施例中的原料通过商业购买,不经处理直接使用;所用的仪器设备,采用厂家推荐使用参数。

[0071] 实施例中,对有/无静电场辅助下的熔覆层截面的扫描电子显微镜图片采用FEI Quanta 250FEG型扫描电子显微镜获得。

[0072] 相关技术中的以电流与磁场复合形成洛伦兹力的方式,辅助激光增材制造,电源与工件需要接触,导致洛伦兹力的方向难以随需求在空间任意改变,同时产生的焦耳热导致工件材料中的晶粒组织粗化,限制了力学性能,在热量较高时,无论是对操作性还是安全性均造成不利影响。

[0073] 基于此,本申请首先提供了一种静电场辅助激光增材制造装置,首先,对本申请实施方式的实现原理进行说明:

[0074] 液滴在静电场的作用下,所带正电荷分布在靠近电场负极的位置,负电荷分布在靠近电场正极的位置。在静电场的作用下,液滴受到拉伸作用,同时,由于正负电荷之间相互吸引,使得相近的液滴在偶极力的作用下合并,形成更大的液滴。基于此原理,激光增材加工过程时在基体上产生的熔池中,液滴在静电场的作用下拉伸变形且发生聚集,从而消除了内部孔隙,在此期间,液滴发生的变化也使晶粒的生长方向发生改变,柱状晶区受扰动形成等轴晶(晶粒在各方向上尺寸相差较小的晶粒,即等轴晶),较粗大的等轴晶也得到细化形成更细小的等轴晶,从而改变最终得到工件的力学性能。

[0075] 如图1,本申请的静电场辅助激光增材制造装置至少可以包括:电源101、工作电极对(包括第一电极1和第二电极2)、激光器7;

[0076] 其中,工作电极对分别与电源101的正负极连接;激光器7用于在工作电极对形成

的静电场作用下,对位于工作电极对之间的待熔覆基体3进行激光增材加工。

[0077] 通过相对设置于待熔覆基体3两侧的工作电极对,使得在对待熔覆基体3进行激光增材加工的过程中,为待熔覆基体3提供静电场,能控制待熔覆基体3上所产生的熔融态液体的变形与聚集,实现对工件内部组织趋向的调控,也可以消除工件内部的孔隙,有利于提高工件的力学性能。

[0078] 在本实施方式中,装置还可以包括支撑部6,用于放置待熔覆基体3。

[0079] 在本实施方式中,为了使装置中的工作电极对中的至少一个电极与待熔覆基体之间绝缘,在一些可能的实施方式中,本申请的装置还可以包括电极夹持部件9,与工作电极对中的至少一个电极连接,用于控制电极的位置移动,基于电极夹持部件9,控制电极的位置移动不受限制,因此,可在激光增材加工过程中,根据需求在空间任意改变电极的位置,从而改变待熔覆基体的静电场方向、静电场与待熔覆基体之间的夹角和静电场强度,使最终得到的工件在所需承受载荷的方向达到最优。

[0080] 在一些可能的实施方式中,本申请的装置还可以包括电极绝缘部件12,位于工作电极对中的至少一个电极表面,用于分隔电极与待熔覆基体3,电极绝缘部件12例如可以由绝缘材料组成的部件,绝缘材料例如可以为氧化铝、绝缘纸、绝缘胶带等。

[0081] 举例而言,图2示出了本申请示例性实施方式的一种静电场辅助激光增材制造装置,如图2,该装置包括支撑部6、位于支撑部6上方的激光熔覆系统(包括激光输出头701,与激光器7电连接(图7未示出)、送粉头703,与送粉器连接(图7未示出))和电源101、工作电极对(包括第一电极1和第二电极2)。

[0082] 其中,激光输出头701发射的激光束对送粉头703同步输出至待熔覆基体3上的增加材料束进行照射,在待熔覆基体3上形成熔覆层5;电源101为直流电源、交流电源或脉冲电源,激光光源可以为红外光、可见光、紫外光等各波段的激光,可根据实际需求选择;输出的激光束采用平顶光束或高斯光束,本申请对此不做特殊限定。

[0083] 此外,本申请的静电场辅助激光增材制造装置还可以包括保护气体系统10,与激光器7相连,用于为激光增材加工过程提供保护气体;其中,通入的保护气体为氩气、氮气等常用保护气体。

[0084] 在本实施方式中,支撑部6、激光器7、电极夹持部件9、保护气体系统10均与控制系统11连接;

[0085] 其中,控制系统11为工控机或计算机,或者根据实际需求选择其它控制系统,本申请对此不做特殊限定。

[0086] 此外,本申请的静电场辅助激光增材制造装置还可以包括送粉器,用于将增加材料输送至待熔覆基体3上,当然,也可以通过其它方式在待熔覆基体上放置增加材料。

[0087] 本申请的静电场辅助激光增材制造装置,通过相对设置于支撑部两侧的工作电极对,激光熔覆系统在工作电极对形成的静电场作用下,对支撑部上的待熔覆基体进行激光增材加工过程,能控制待熔覆基体上所产生的熔融态液体的变形与聚集,实现对工件内部组织趋向的调控,也可以消除工件内部的孔隙,有利于提高工件的力学性能;进一步的,通过夹持电极对的电极夹持系统,可控制工作电极对中的至少一个电极移动,以方便改变工作电极对之间的静电场强度、静电场与待熔覆基体之间的夹角和/或静电场方向,因此在激光增材加工的过程中,可根据需求在空间任意改变电极的位置,从而改变待熔覆基体的静

电场方向、静电场与待熔覆基体之间的夹角和静电场强度,使最终得到的工件在所需承受载荷的方向达到最优。另外,可以通过电极夹持部件控制至少一个电极与待熔覆基体之间绝缘,导致工件本身无电流产生,避免了焦耳热导致工件材料的晶粒组织粗化,进一步提升工件的力学性能,也不会因产生过高的热量为操作带来不便和安全隐患,装置操作安全性高。

[0088] 根据本申请的一个方面,提供一种静电场辅助激光增材制造方法,图3示出了本申请实施方式的静电场辅助激光增材制造方法的流程图,如图3,本实施方式的静电场辅助激光增材制造方法至少可以包括以下步骤:

[0089] 步骤S310、将工作电极对分别与电源的正极和负极连接。

[0090] 在本实施方式中,将工作电极对(包括第一电极1和第二电极2)与提供静电场的电源正负极分别连接,其中工作电极对的材料选自常规的导电电极材料,包括但不限于铝、铜、银、金等导电材料。电源采用直流电源、交流电源或脉冲电源,可根据实际工作情况选择相应的电源,本申请对此不做特殊限定。

[0091] 步骤S320、将工作电极对相对设置于待熔覆基体的两侧。

[0092] 在本实施方式中,由于工作电极对相对设置,能为位于工作电极对之间的待熔覆基体3提供静电场,可选地,工作电极对可以为待熔覆基体3的整个基体提供静电场;可选地,工作电极对也可以为待熔覆基体3的部分基体提供静电场,具体取决于工作电极对在待熔覆基体3两侧的位置,可根据实际制备需求进行选择。

[0093] 在一些可能的实施方式中,在平行于待熔覆基体3水平面的两侧,相对设置工作电极对,以形成垂直于待熔覆基体3水平面的静电场。具体而言,如图4,待熔覆基体3水平放置于支撑部6上,第一电极1设置于平行待熔覆基体3水平面的上侧位置处,第二电极2设置于平行待熔覆基体3水平面的下侧位置处,且第一电极1与第二电极2相对设置,则在待熔覆基体3之间形成了垂直于待熔覆基体3水平面的静电场(由于第一电极1和第二电极的正负极未指出,因此图4中静电场方向未标识)。

[0094] 进一步的,工作电极对中可以在至少一个电极与待熔覆基体之间绝缘,例如可以将该电极与待熔覆基体之间留有间隙,例如可以在待熔覆基体与电极之间设置绝缘的电介质层,等等,本申请对此不作特殊限制。基于此,通过装置进行工件加工的过程中,工件本身无电流产生,避免了焦耳热导致工件材料的晶粒组织粗化,进一步提升工件的力学性能,也不会因产生过高的热量为操作带来不便和安全隐患。

[0095] 举例而言,图5示出了本申请图4的一种示例性的工作电极对布置示意图,参见图5所示,将工作电极对中的第一电极1装载于激光熔覆系统中的熔覆头4上,且熔覆头4设置于待熔覆基体3的上方,工作电极对中的第二电极2相对设置于待熔覆基体3的下方,从而形成垂直于待熔覆基体3的静电场。可选地,第一电极1能随熔覆头4的转动而转动(如图5),也可以通过电极夹持系统夹持,并随电极夹持系统移动;第二电极2可直接固定于待熔覆基体3的下方且与待熔覆基体3接触,也可以在第二电极2与待熔覆基体3之间设置电介质层,还可以通过电极夹持系统夹持第二电极2,并与待熔覆基体3之间存在间隙,等等。其中,待熔覆基体3与电极之间的电介质层的材料选自包括氧化铝、绝缘纸、绝缘胶带的绝缘材料中的至少一种,本申请对此不做特殊限定。

[0096] 需要说明的是,图5仅仅是本申请的工作电极对布置方式的一种示例性说明,在确

保工作电极对中存在至少一个电极不与待熔覆基体3接触的情况下,上述第一电极1和第二电极2的装载夹持方式均可,上述第一电极1与第二电极的装载夹持方式也可互换,当然,其它的夹持方式也可以,本申请对工作电极对的夹持方式不做特殊限定。

[0097] 基于此,存在至少一个电极与待熔覆基体之间绝缘,导致工件本身无电流产生,避免了焦耳热导致工件材料的晶粒组织粗化,进一步提升工件的力学性能,也不会因产生过高的热量为操作带来不便和安全隐患。

[0098] 在一些可能的实施方式中,在垂直于待熔覆基体3水平面的两侧,相对设置工作电极对,以形成平行于待熔覆基体3水平面的静电场,例如静电场方向为顺熔池形成方向、逆熔池形成方向,等等。具体地,如图6,待熔覆基体3水平放置于支撑部6上,第一电极1设置于垂直于待熔覆基体3水平面的左侧位置处,第二电极2设置于待熔覆基体3水平面的右侧位置处,且第一电极1与第二电极2相对设置,则在待熔覆基体3之间形成了平行于待熔覆基体3水平面的静电场。

[0099] 举例而言,图7示出了本申请图6的一种示例性的工作电极对布置方式的示意图,参见图7所示,通过电极夹持系统9将第一电极1和第二电极2夹持固定,且分别位于待熔覆基体3的左右两侧,从而形成平行于待熔覆基体3水平面的静电场。可选地,第一电极1和第二电极2均可通过电极夹持系统夹持9,并与待熔覆基体3保留间隙(如图7);可选地,第一电极1和第二电极2中的至少一个电极也可以固定于待熔覆基体3上;或者,第一电极1和第二电极2中的至少一个电极也可以固定于待熔覆基体3上,并且在该电极与待熔覆基体3之间设置电介质层;当然,还可以根据实际工作需要选择电极的夹持固定方式以及电极对与待熔覆基体3之间的位置关系,本申请包括但不限于上述电极对的夹持方式。

[0100] 当然,图7仅仅是本申请的工作电极对布置方式的一种示例性说明,在确保工作电极对中存在至少一个电极不与待熔覆基体3绝缘的情况下,凡确保工作电极对之间形成平行于待熔覆基体3水平面的静电场均可。

[0101] 基于此,存在至少一个电极与待熔覆基体之间绝缘,导致工件本身无电流产生,避免了焦耳热导致工件材料的晶粒组织粗化,进一步提升工件的力学性能,也不会因产生过高的热量为操作带来不便和安全隐患。

[0102] 进一步的,本申请的实施方式在对待熔覆基体进行激光增材加工的过程中,还可以通过调整工作电极对中的至少一个电极的位置,改变工作电极对之间的静电场强度、静电场与待熔覆基体之间的夹角和/或静电场方向。

[0103] 继续参照图7所示,在激光增材加工的过程中,还可以通过电极夹持系统9的各个轴在空间任意方向移动、旋转工作电极对(如箭头所示),以改变工作电极对形成的静电场强度、静电场与待熔覆基体之间的夹角和/或静电场方向;如图8示出了工作电极对形成的静电场与待熔覆基体之间夹角为 $30^\circ$ 的示意图,当然,图8仅仅是示例性的,本申请工作电极对形成的静电场与待熔覆基体之间的夹角任意可调,例如可以为 $20^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $55^\circ$ 、 $70^\circ$ 、 $120^\circ$ ,等等。

[0104] 可选地,可以对调工作电极对中正负极的位置,以形成区域相同且方向相反的静电场;可选地,可以改变工作电极对之间的距离,以改变工作电极对之间的静电场强度;可选地,可以将电极对中至少一个电极相对于待熔覆基体3进行偏移;可选地,还可以将电极对中至少一个电极相对于待熔覆基体3进行旋转;当然,还可以根据实际工作要求,同时通

过上述多种方式中的至少两种方式,调整工作电极对的位置。本申请对工作电极对的具体设置位置不做特殊限定,凡能为待熔覆基体提供静电场均可。

[0105] 基于此,通过改变工作电极对的位置,实现在空间任意改变待熔覆基体3的静电场方向、静电场与待熔覆基体之间的夹角或静电场强度,能控制待熔覆基体3上所产生的熔融态液体的变形与聚集,进而可以改变最终工件内部组织趋向性,以得到实际所需的工件力学性能,使最终得到的工件在所需承受载荷的方向达到最优;同时,控制制备过程中的待熔覆基体3上所产生的熔融态液体的变形与聚集,还可以消除工件内部的孔隙,进一步提高最终工件的力学性能。

[0106] 步骤S330、接通电源后,在所述工作电极对形成的静电场作用下,对所述待熔覆基体进行激光增材加工。

[0107] 在本实施方式中,接通电源后,在工作电极对形成的静电场作用下,对待熔覆基体3进行激光增材加工过程,包括:

[0108] 利用激光束对输送至所述待熔覆基体的增加材料进行照射,在所述待熔覆基体上形成熔覆层。具体地,通过激光熔覆系统中的激光输出头发射激光束,对激光熔覆系统中送粉头同步输送至待熔覆基体3上的增加材料进行照射,以在待熔覆基体3上形成熔覆层5。激光光源可以为红外光、可见光、紫外光等各波段的激光,可根据实际需求选择增加材料,包括但不限于金属粉末。

[0109] 举例而言,如图9示出了本申请示例性实施方式的激光增材制造方法的示意图,由激光熔覆系统内的熔覆头4出射的激光束502,对由熔覆头4同步输送至待熔覆基体3的金属粉末束501进行照射,在待熔覆基体3上形成熔覆层5;其中,相比较于无静电场辅助的熔覆区域熔融态金属,在待熔覆基体3两侧相对设置电极对形成的静电场辅助下,熔覆区域内的熔融态金属发生拉伸和聚集。在静电场辅助作用下,可控制熔融态液体的变形与聚集,能实现对工件内部组织趋向的调控,也可以消除工件内部的孔隙,有利于提高工件的力学性能。

[0110] 本申请的静电场辅助激光增材制造方法,通过相对设置于待熔覆基体两侧的工作电极对提供的静电场,无电流也没有磁场,通过静电场能控制待熔覆基体上所产生的熔融态液体的变形与聚集,实现对工件内部组织趋向的调控,也可以消除工件内部的孔隙,有利于提高工件的力学性能;进一步的,存在至少一个电极与待熔覆基体之间绝缘,导致工件本身无电流产生,避免了焦耳热导致工件材料的晶粒组织粗化,进一步提升工件的力学性能,也不会因产生过高的热量为操作带来不便和安全隐患;同时,由于存在未与待熔覆基体接触的电极,该电极的位置移动不受限制,因此,本申请在激光增材加工的过程中,可根据需求在空间任意改变电极的位置,从而改变待熔覆基体的静电场方向、静电场与待熔覆基体之间的夹角和静电场强度,使最终得到的工件在所需承受载荷的方向达到最优。

[0111] 实施例1

[0112] 本实施例以直流电源为提供场的电源,以顺熔池形成方向为静电场的施加方向,以波长为1064nm的光纤激光为激光增材制造的光源,激光束采用高斯光束。具体过程如下:

[0113] 步骤1、选取304不锈钢作为待熔覆基体,尺寸为200mm×200mm×10mm,增加材料(熔覆粉末)为不锈钢316L金属粉末,粒径为75~150 $\mu$ m;

[0114] 步骤2、待熔覆基体和金属粉末的预处理,将待熔基体经砂纸打磨,随后用无水乙醇清除油污、干燥,将金属粉末进行干燥;

[0115] 步骤3、将工作电极对相对设置于垂直待熔覆基体水平面的两侧,并在工作电极对与待熔覆基体之间设置绝缘纸,其中,工作电极对之间的距离为3cm;

[0116] 步骤4、将直流电源与工作电极对连接,使靠近激光增材制造过程起始端的工作电极与电源的正极相连,远离激光增材制造过程起始端的工作电极与电源的负极相连(以形成顺熔池形成方向的静电场);

[0117] 步骤5、静电场辅助激光增材制造工艺,通过保护气体系统通入氩气作为保护气体,开启电源并调至400V,开始运行用以激光增材制造的程序,其中工艺参数为:光斑直径为1mm,送粉器的转盘转速为1r/min,激光功率为800w,激光扫描速度为3mm/s。

[0118] 步骤6、用于激光增材制造的程序运行结束后,关闭电源。

[0119] 实施例2

[0120] 实施例2除无静电场辅助外,其它进行激光增材制造的原料、工艺参数等均与实施例1相同。

[0121] 将实施例1与实施例2中经熔覆的基体的试样沿扫描方向切开,经打磨抛光后进行观察表征,图10-11分别示出了实施例2中的无静电场辅助下的熔覆层截面的扫描电子显微镜图和光学显微镜下的金相图,图12-13示出了实施例1中的有静电场辅助下的熔覆层截面的扫描电子显微镜图和光学显微镜下的金相图。对比图10与图12可知,在静电场的辅助下(静电场强度为133V/cm),熔覆层截面中气孔数量明显减少,熔池凝固后形成的组织更致密;对比图11与图13,在无静电场的辅助下,熔覆层能存在大量柱状晶和晶粒较大的等轴晶;当静电场强度为133V/cm的静电场辅助后,由于熔池中金属液滴的变形及聚合,使晶粒在生长过程中受到扰动,柱状晶在熔池中不能形成,转而形成较小的等轴晶,从而组织更均匀,得到气孔缺陷少的致密熔覆层。

[0122] 以上所述,仅是本申请的几个实施例,并非对本申请做任何形式的限制,虽然本申请以较佳实施例揭示如上,然而并非用以限制本申请,任何熟悉本专业的技术人员,在不脱离本申请技术方案的范围,利用上述揭示的技术内容做出些许的变动或修饰均等同于等效实施案例,均属于技术方案范围内。说明书和实施例仅被视为示例性的,本申请的范围和精神由所附的权利要求指出。

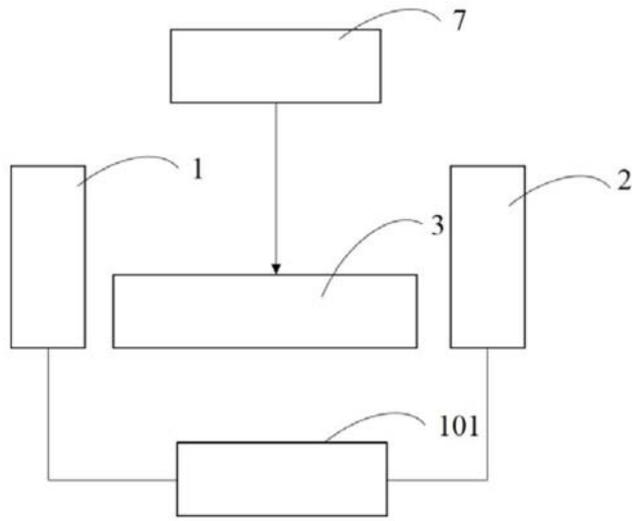


图1

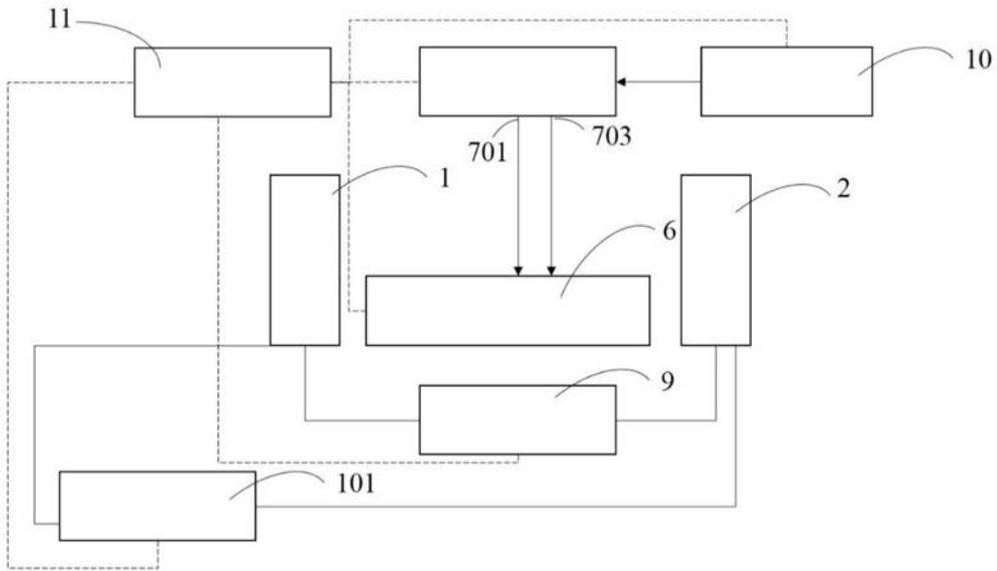


图2

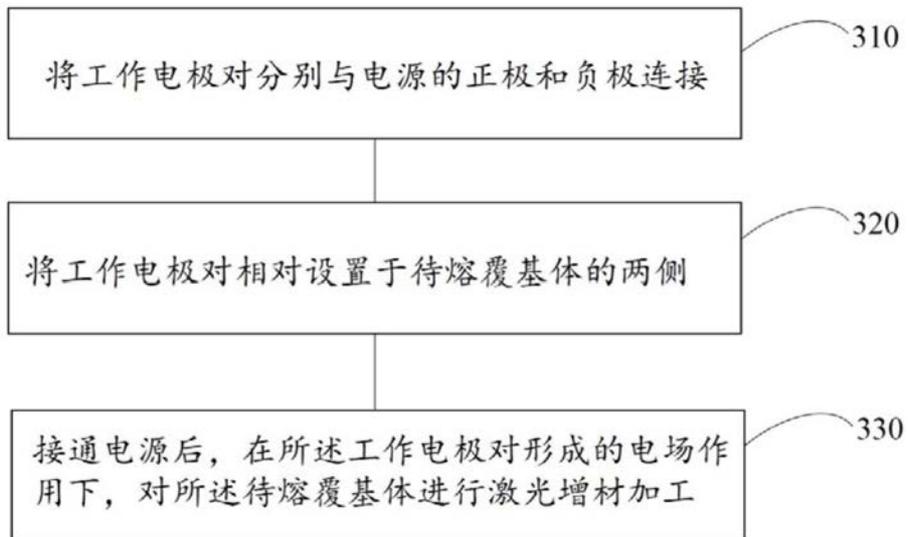


图3

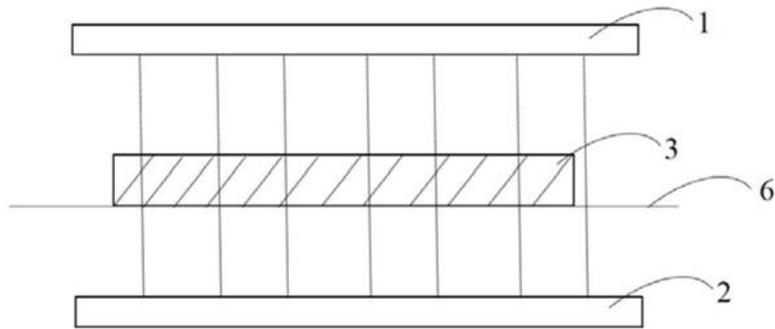


图4

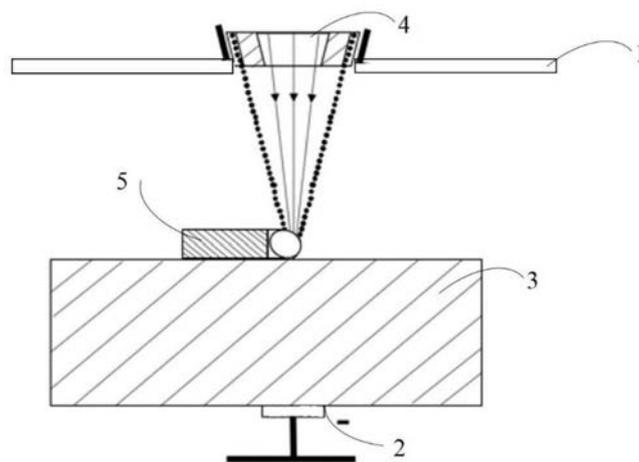


图5

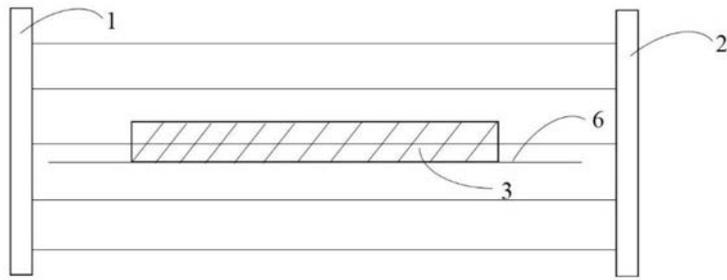


图6

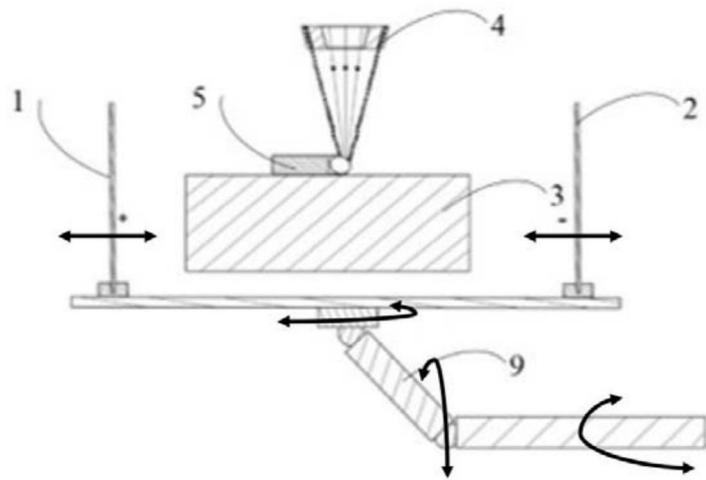


图7

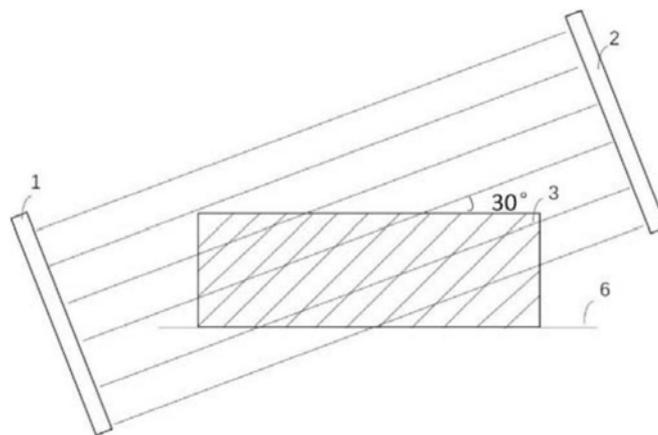


图8

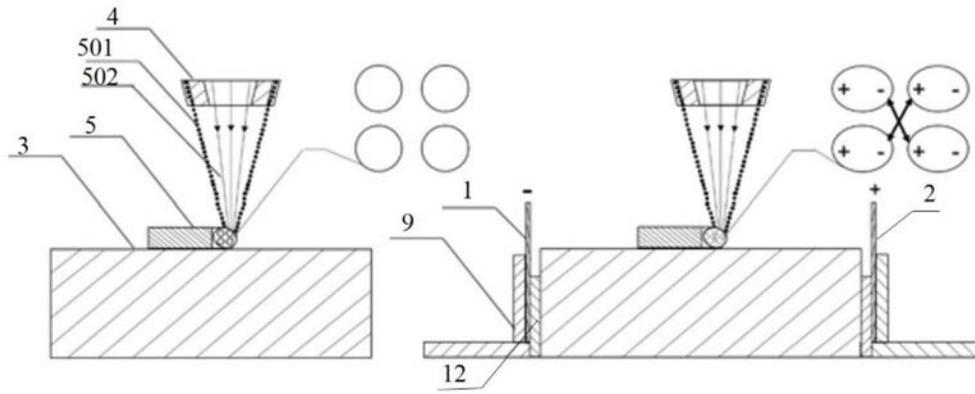


图9

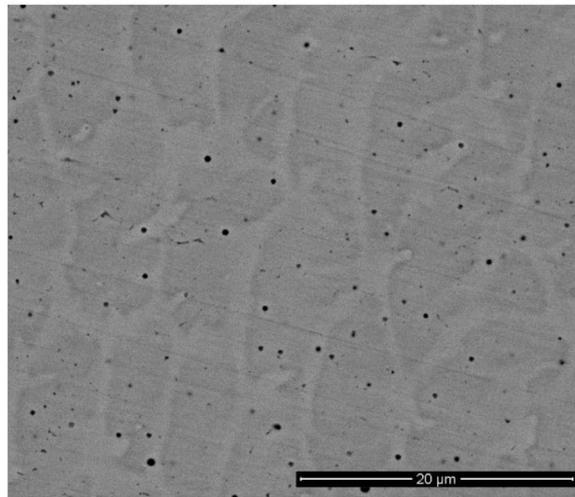


图10

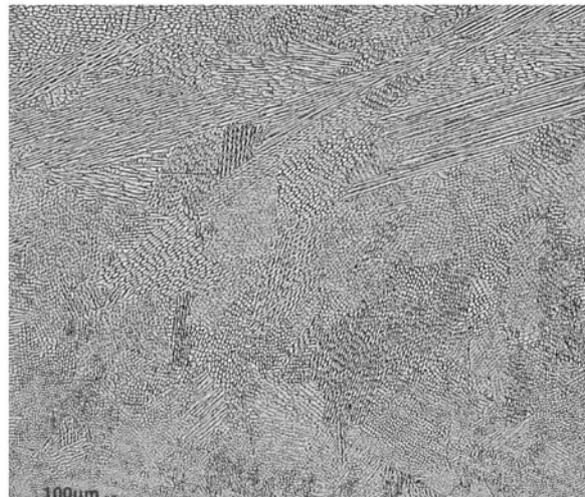


图11

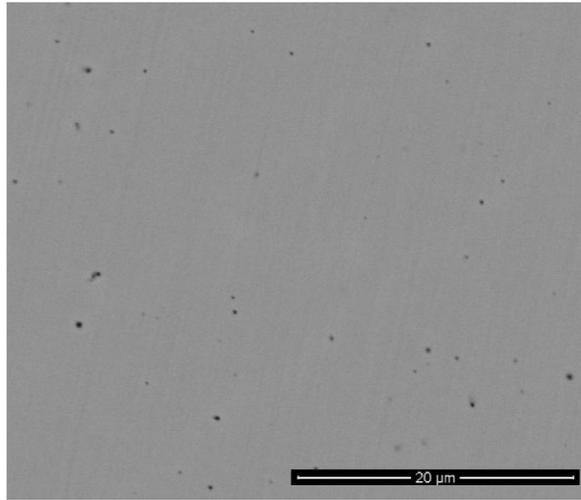


图12

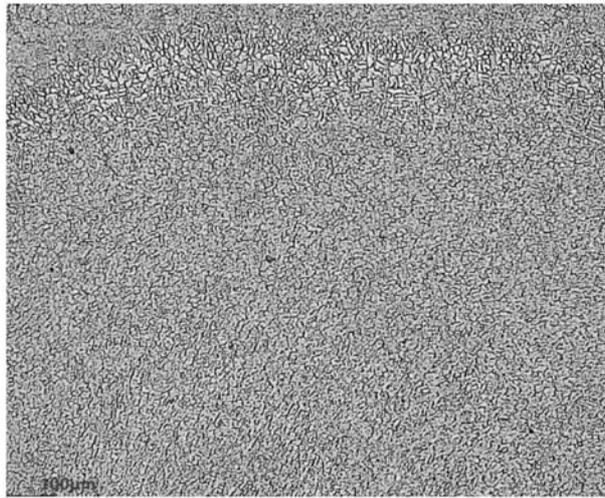


图13