



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105108142 A

(43) 申请公布日 2015. 12. 02

(21) 申请号 201510338962. 2

(22) 申请日 2015. 06. 18

(71) 申请人 航星利华(北京)科技有限公司

地址 100176 北京市北京经济技术开发区永
昌北路3号科技广场8109

(72) 发明人 冯莉萍 张国伟 王健

(51) Int. Cl.

B22F 3/105(2006. 01)

B22F 5/04(2006. 01)

C30B 11/00(2006. 01)

C30B 29/52(2006. 01)

B33Y 10/00(2015. 01)

权利要求书1页 说明书2页 附图3页

(54) 发明名称

一种激光3D打印制备单晶和定向凝固零件的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种激光3D打印制备单晶和定向凝固零件的方法,方法为铺粉式激光增材制造技术,经过对激光熔池凝固界面前沿个晶体取向的相对生长速度进行推算,通过精细控制工艺,获得局部单一取向的完整定向凝固或单晶零件。激光器选择采用光纤激光器(波长 $1.07\mu\text{m}$)。确保外形尺寸和结构符合设计要求,该方法既满足金属打印件的形状要求,节省了材料,又大大提高了金属件的成形效率。

1. 一种激光 3D 打印制备单晶和定向凝固零件的方法,包括:

A. 首先确定需要打印的零件,选择基材和粉末,二者要尽可能匹配(即若零件是镍基高温合金,则基材也选用镍基高温合金,而且成分和结构越接近越能满足要求)。另外涂层的堆积方向与基材的择优基材要一致,否则容易出现不同的晶向之间的竞争与震荡,在宏观上表现为多晶甚至柱状晶粒,破坏单晶的完整性。

B. 通过对激光熔池的模拟及计算,对工艺参数进行选择,包括对激光功率、铺粉量、扫描速度、保护气体的流量进行控制,以保证熔池最尾部与水平面的夹角小于等于 22.5° 。

C. 对金属修复件进行后续加工与处理。

2. 如权利要求 1 所述的一种激光 3D 打印制备单晶和定向凝固零件的方法,其特征在于:根据打印零件的材质、形状、尺寸状况,激光器的功率为 200 ~ 400W,扫描速度 5 ~ 12m/s,单层厚度 20-80 μm ,光斑直径 50 ~ 200 μm 。

3. 如权利要求 2 所述的一种激光 3D 打印制备单晶和定向凝固零件的方法,其特征在于:所述步骤 B 包括

B1 根据打印零件的结构模型,形成 .stl 文件;

B2 根据打印零件的结构,切片形成 .cls 文件,结合激光输出方式,在打印机中,对不同的分区进行打印。

B3 根据受热情况,决定采用岛形或线形烧结。

4. 如权利要求所述的一种激光 3D 打印制备单晶和定向凝固零件的方法的方法,其特征在于:所述步骤 C 包括

C1 将打印后的金属件取下

C2 对打印部位或表面精度未复合设计要求的部位进行后期加工

C3 对修复后零件进行后续热处理,以改善组织和性能。

5. 如权利要求 2 所述的一种激光 3D 打印制备单晶和定向凝固零件的方法,其特征在于:铺粉过程中,保护气体氩气的流量为 3-7ml/min。

6. 如权利要求 2 所述的一种激光 3D 打印制备单晶和定向凝固零件的方法,其特征在于:修复过程中,采用实时监控和温度、位置传感器进行闭环控制,确保打印质量。

一种激光 3D 打印制备单晶和定向凝固零件的方法

技术领域

[0001] 本发明属于材料加工技术领域,特别是涉及一种激光 3D 打印制备单晶和定向凝固零件的方法。

背景技术

[0002] 定向凝固技术的发展就是人们最求更高温度梯度和凝固速度的过程。从最初的发热剂法、功率降低法、到液态金属冷却法,快速凝固法,目前的新型的定向凝固技术有区域熔炼液态金属冷却法、深过冷定向凝固、电磁约束定向凝固和激光超高梯度定向凝固技术。单晶的制备则主要是选晶法和籽晶法,两种方法都是通过控制工艺条件是的单一方向的晶粒长大而得到满足要求的零件如叶片。

[0003] 几种发动机叶片材料示意图(见附图 1),左到右分别是等轴晶、定向凝固和单晶叶片,定向凝固消除了空洞和裂纹敏感的横向晶界,全部晶界近似平行于应力轴方向,从而改善了合金的性能,特别是高温强度和蠕变性能。单晶是消除了全部晶界,不必加入晶界强化元素,从而使合金的初熔温度相对升高,单晶叶片物理性质上强度更高。最高的涡轮机进气口温度接近 1500℃,增大了发动机的推力,提高了发动机性能。

[0004] 激光作为一种高能束热源,在表面改性方面已经得到了广泛而有效的应用。激光熔覆结合数字制造技术,可以直接用来制备零件。这项技术就是目前非常热门的激光金属 3D 打印技术。利用该技术可以打印内部流道、拐折、孔洞和悬垂结构,通常由于可以打印点阵结构,能够比传统制造方法减重 7%左右,有的更是高达 40%。特别适合在航空航天等领域的结构功能件。但是由于激光加工是一项多场耦合的技术,加工过程中非常复杂,目前还未见公开报道的完全单晶的零件。激光熔池中靠近基材的一侧作为冷端,提供了单向的温度梯度,凝固组织从基材中外延生长。这种外延生长强烈地受到晶体取向的影响,当沿材料的择优晶向进行生长是时,可以得到连续的柱状晶,根据柱状晶 / 等轴晶转化理论,当工艺条件满足柱状晶生长条件时,不会发生等轴晶的转变(附图 2),同时如附图 3、4、5、6,确保熔池尾部最扫描速度和晶向生长速度的方向小于 22.5° 时,不会出现转向枝晶,则整个零件中的晶向组织就不会乱。这时当对晶向进行选择,即在只有一个方向上连续生长是就形成了连续的单晶。国内外的学者对激光熔池中的凝固组织进行了很多的研究,根据计算,在二维平面晶体的取向与扫描速度的夹角在 45° 以内就可以得到完全的单晶,但在实际熔池是三维的复杂形状,择优晶向应该与扫描速度的夹角小于 22.5°,见附图 7,附图 7 是在沿单晶棒材的周向 熔覆的显微凝固组织图,从图可以看出,在每一个择优晶向都能得到单晶,这种单晶一直维持到弧度的临界角为 22.5°,也有其他的研究者在 30° 时得到完全的单晶。因此在选择基材及其晶体取向及工艺参数时应该确保这一条件。

[0005] 本发明的目的是克服当前激光 3D 打印不能完全获得单晶和定向凝固零件的不足,通过控制工艺条件,从而有效避免转向晶和震荡晶的产生。该方法在理论指导的基础上,并且经过了实验验证,是该技术在航空涡轮及燃气轮机大尺度叶片的新应用,在工业领域具有非常广阔的应用前景和巨大的经济效益。

发明内容

[0006] 本发明为解决现有技术存在的问题,即利用激光金属增材制造(激光 3D 打印)技术,逐步取代目前铸造用叶片(铸造方法需要复杂模型及芯型,过程复杂,组织粗大、易产生铸造缺陷等问题),能获得优质的单晶涡轮叶片。该技术是一种具有简单,易行,智能化的激光制备金属零件的方法,特别适合具有复杂结构的金属叶片等零件。该技术节省材料,组织性能良好,硬度高,质量有保证,加工效率高等特点。当激光功率足够大的时候还可以单道次性成形。

附图说明

图 1 三种导向叶片内部凝固显微 (a) 等轴晶 (b) 柱状晶 (c) 单晶

图 2 镍基高温合金固液界面前沿柱状晶 / 等轴晶转化曲线

图 3 扫描速度 \bar{v}_b 、凝固速度 \bar{v}_s 和枝晶生长速度 \bar{v}_{hkl} 的关系示意图

图 4 熔池固液界面法向与坐标系及三个 [100] 方向的夹角关系

图 5 熔池中及其附近凝固组织

图 6 多层和多道搭接后的涂层内凝固组织

图 7 不同晶体取向上的熔覆层凝固显微组织 (a) 实物图 (b) 示意图

图 8 激光金属 3D 打印定向凝固零件流程图

具体实施方式

[0007] 实施例：

[0008] 为能进一步了解本发明的技术内容、特点及功效,兹列举以下实例,并配合附图详细说明如下：

[0009] 参照附图 8。

[0010] 实施例 1

[0011] 一种激光 3D 打印制备单晶和定向凝固零件的方法,本实施例中基材选择 DD6,粉末选择 FGH96,采用铺粉加选择性烧结的方式进行打印,打印之前,对叶片进行 3D 建模,判断打印路径,然后将数据输入到加工机,完成打印后,后处理和检测装车。

[0012] 实施例 2

[0013] 一种激光 3D 打印制备单晶和定向凝固零件的方法,本实施例中基材选用镍基高温合金定向凝固基材,粉末选用 FGH96,在择优晶向上进行金属激光 3D 打印,按图纸完成零件的制备。对零件进行后处理,然后试车,装机运行。

[0014] 实施例 3

[0015] 一种激光 3D 打印制备单晶和定向凝固零件的方法,本实施例中基材选用镍基高温合金定向凝固或单晶基材,粉末选用 Incone1718,合理设计支撑结构和放置位置,得到完美的定向凝固或者单晶叶片零件。

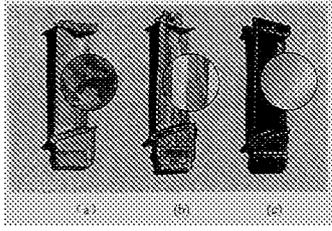


图 1

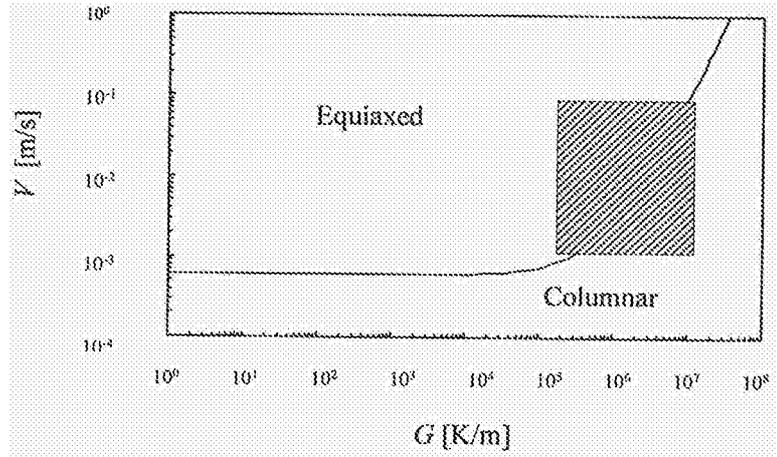


图 2

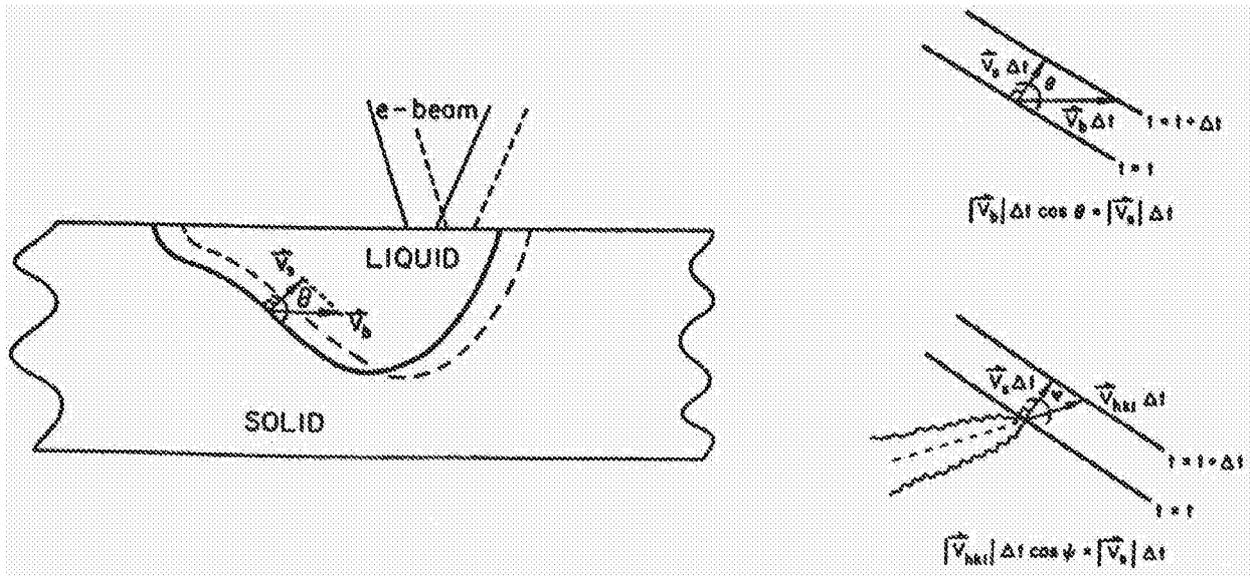


图 3

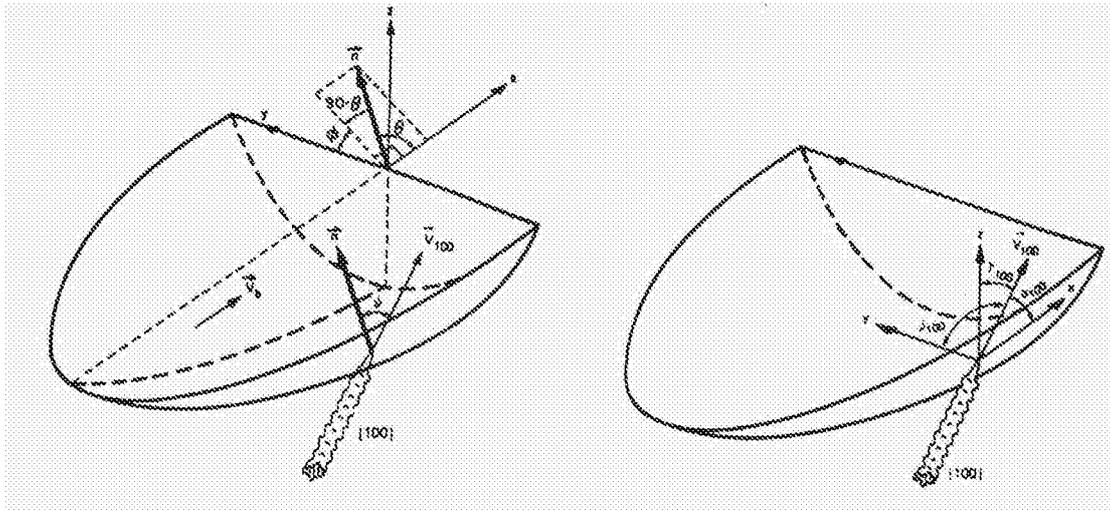


图 4

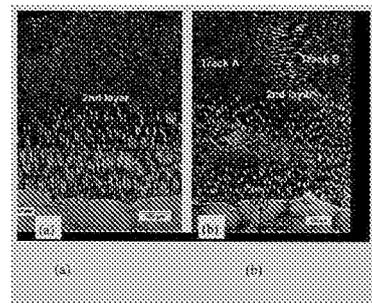
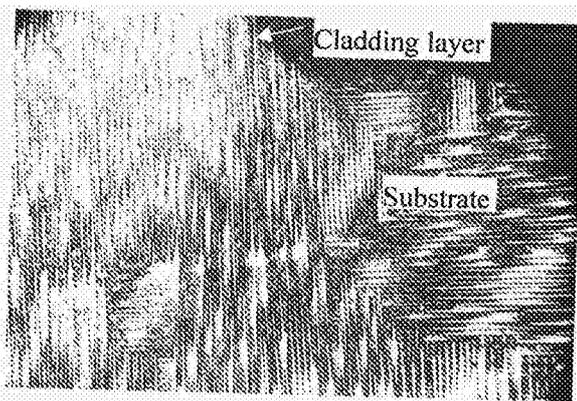


图 6

图 5

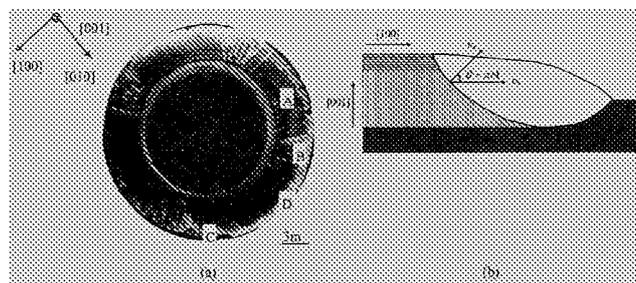


图 7

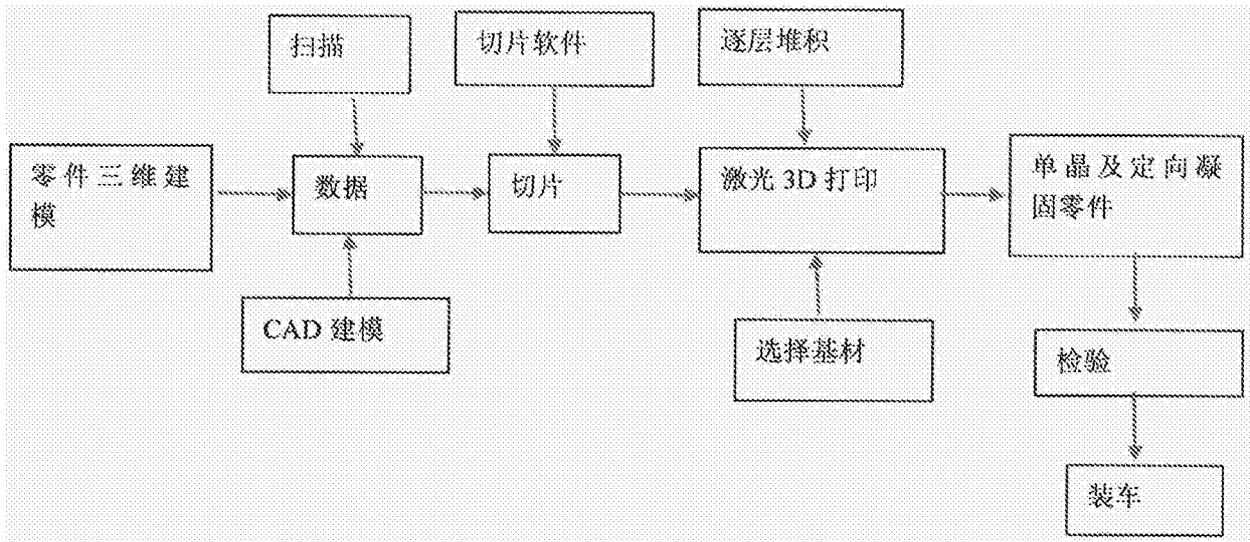


图 8