



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108393492 A

(43)申请公布日 2018.08.14

(21)申请号 201810184763.4

(22)申请日 2018.03.07

(71)申请人 吉林大学

地址 130012 吉林省长春市前进大街2699号

(72)发明人 张志辉 祖硕 林鹏宇 梁云虹  
刘庆萍 于征磊 王熙 张清泉  
任露泉

(74)专利代理机构 长春市四环专利事务所(普通合伙) 22103

代理人 张建成

(51)Int. Cl.

B22F 3/105(2006.01)

B33Y 10/00(2015.01)

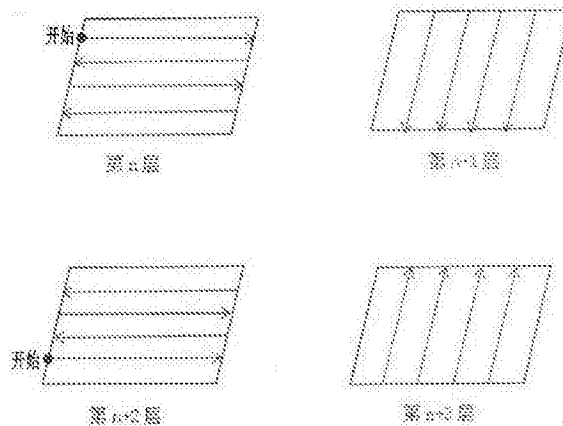
权利要求书1页 说明书3页 附图1页

## (54)发明名称

一种利用增材制造成形复杂NiTi合金构件的方法

## (57)摘要

本发明公开了一种利用增材制造成形复杂NiTi合金构件的方法,是在成形腔底部安装金属基板,并预先充入高纯氩气,使腔内氧含量小于60 μ L/L,利用选择性激光熔化技术成形复杂NiTi合金构件,通过每一层的数控加工程序实现逐层激光熔覆,最终得到三维金属零件,解决目前常规的熔炼方法或粉末冶金方法难以制备力学性能优良的复杂NiTi合金构件的难题。在不需任何专用模具和任何专用工装条件下直接快速成形出各种带有曲面、复杂内腔等利用传统加工方法难以实现的复杂NiTi合金构件,并且所制备出的构件层间结合较好,工艺简单,制造周期短,具有致密度高,精度高,金属粉末利用率高等特点。



1. 一种利用增材制造成形复杂NiTi合金构件的方法,其特征在于:包括以下步骤:

(1) 一种利用增材制造成形复杂NiTi合金构件的材料,其包括Ni元素和Ti元素,还包含Nb元素,Nb元素的原子百分比为 $x=0\sim 10\%$ ,Ni元素的原子百分比为 $A=(100\%-x)/2\pm(0\sim 6\%)$ ,Ti元素的原子百分比为 $B=(100\%-x)/2\mp(0\sim 6\%)$ ,Ni、Ti和Nb三种元素的原子百分比之和为100%,合金粉末的粒度为 $0.020\sim 0.040\text{mm}$ ;

(2) 在成形腔底部安装金属基板,以给成形NiTi合金复杂构件提供一个逐层堆积的生长平面,同时,在粉末高温熔化时还可以起到散热作用;

(3) 首先建立起NiTi合金复杂结构零件的CAD三维实体模型,利用切片技术将零件原型进行逐层切片,切片厚度为 $400\sim 600\mu\text{m}$ ,每一层切片都包含截面的几何信息,将NiTi合金结构件的三维数据信息转换成一系列的二维平面数据,提取每一层切片所产生的轮廓并根据切片轮廓设计合理的路径、激光扫描速度等工艺参数,沿由二维平面数据所确定的扫描轨迹生成每一层的数控加工程序,并传递给数控工作台;

(4) 加工前先把成形腔内的金属基板进行预热,成形时封闭成形腔,向成形腔内预先输入纯度为 $\geq 99.99\%$ 的氩气,使腔内氧含量小于 $60\mu\text{L/L}$ ,避免粉末在激光熔化过程中发生氧化;

(5) 开启激光和数控设备,调出激光加工程序,点击运行按钮,高能激光束在计算机的控制下沿着每一层切片的轨迹进行扫描,作用在预先用铺粉刮刀在成形基板上所铺的粉末区域,激光扫描一层粉末后,工作台自动下降一个层厚高度,铺粉器再在已成形层上铺上一层粉末,然后激光束对新铺上的粉层进行加工,激光扫描方式为第n层水平方向循环扫描,第n+1层垂直于第n层扫描,第n+2层为垂直于第n+1层,且与第n层扫描方式相反的水平方向循环扫描,第n+3层垂直于第n+2层且与第n+1层扫描方向相反,第n+4层扫描方式同第n层,依次循环,n为从1开始的整数,重复以上成形过程,直至扫描完三维模型的所有切片层;

(6) 成形腔内温度下降后,操作工作台上升,把基台与零件一起取出,经过简单的喷砂处理即可把零件从基台上去掉,最终得到三维金属零件。

2. 根据权利要求1所述的一种利用增材制造成形复杂NiTi合金构件的方法,其特征在于:步骤(3)所述的激光熔覆的工艺参数为:激光功率 $70\sim 220\text{W}$ ,扫描速度 $300\sim 1400\text{mm/s}$ 。

3. 根据权利要求1所述的一种利用增材制造成形复杂NiTi合金构件的方法,其特征在于:步骤(4)中,所述纯度为 $\geq 99.99\%$ 的氩气流量为 $20\sim 50\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

4. 根据权利要求1所述的一种利用增材制造成形复杂NiTi合金构件的方法,其特征在于:步骤(5)所述的单层粉层厚度为 $58\sim 65\mu\text{m}$ 。

5. 根据权利要求1所述的一种利用增材制造成形复杂NiTi合金构件的方法,其特征在于:复杂结构零件的设计精度 $\geq 0.1\text{mm}$ 。

## 一种利用增材制造成形复杂NiTi合金构件的方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于激光增材制造技术领域,具体是一种利用增材制造成形复杂NiTi合金构件的方法。

### 背景技术

[0002] 激光增材制造(Laser Additive Manufacturing,LAM)技术又称激光3D打印技术,是一种以激光为能量源的增材制造技术,激光具有能量密度高的特点,可以实现难加工金属的制造,比如航空航天领域采用的钛合金、高温合金等,同时激光增材制造技术还可以克服传统加工的减材制造对原材料的大量浪费,具有快速成形,细化晶粒,组织均匀无缺陷,结构强度高等诸多优异特点,不受零件结构限制,可用于结构复杂、难加工以及薄壁零件的加工制造。

[0003] 目前,能直接成形金属零件的快速成形方法有选择性激光烧结技术(Selective Laser Sintering,SLS)、激光熔覆制造技术(Laser Engineered Net Shaping,LENS)和选择性激光熔化技术(Selective Laser Melting,SLM)。其中,选择性激光烧结(SLS)技术成形工艺复杂,无法成形致密度接近100%的金属构件;激光熔覆制造(LENS)技术采用的激光光斑粗大、成形件表面粗糙、成形尺寸精度低,故SLS和LENS技术都无法达到直接制造金属零件的目的。相比较而言,选择性激光熔化(SLM)技术工艺简单,并且成形件具有致密性好、性能优、精度高等特点,目前已成为所有快速成形技术中最具发展前景的技术。

[0004] NiTi合金是卓越功能材料的代表之一,因其具有特异的形状记忆效应与超弹性、高阻尼性、高耐腐蚀性及优良的生物相容性等,已在众多领域获得了应用。通常情况下,致密NiTi合金是采用熔炼方式制备的,而多孔NiTi合金则是采用粉末冶金方法制备,多孔NiTi合金制备方法中,由于采用单元素粉末混合的缘故导致多孔NiTi合金中孔分布的各向异性和不均匀性,使制备出的多孔NiTi合金力学性能很不理想。NiTi合金的熔点较高(1310℃)、化学活性大以及机械加工性能差,目前常规的熔炼方法或粉末冶金方法制备的NiTi合金构件仅为外形单一、结构简单的小型器件,而金属增材制造技术则为制备形状复杂结构的NiTi合金构件提供了可能。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是为了克服传统方法制备复杂NiTi合金构件的不足,而提供一种通过选择性激光熔化技术(SLM)成形复杂NiTi合金构件的方法,可以成形各种带有曲面、复杂内腔等利用传统加工方法难以实现的复杂NiTi合金构件,制备出的构件层间结合较好,工艺简单,制造周期短,具有致密度高,精度高,金属粉末利用率高等特点。

[0006] 本发明包括如下步骤:

[0007] (1)一种利用增材制造成形复杂NiTi合金构件的材料,其包括Ni元素和Ti元素,还包含Nb元素,Nb元素的原子百分比为 $x=0\sim 10\%$ ,Ni元素的原子百分比为 $(100\%-x)/2\pm(0\sim 6\%)$ ,Ti元素的原子百分比为 $(100\%-x)/2\mp(0\sim 6\%)$ ,Ni、Ti和Nb三种元素的原子百分

比之和为100%，合金粉末的粒度为0.020~0.040mm；

[0008] (2) 在成形腔底部安装金属基板，以给成形NiTi合金复杂构件提供一个逐层堆积的生长平面，同时，在粉末高温熔化时还可以起到散热作用；

[0009] (3) 首先建立起NiTi合金零件的CAD三维实体模型，利用切片技术将零件原型进行逐层切片，切片厚度为400~600 $\mu\text{m}$ ，每一层切片都包含截面的几何信息，将NiTi合金结构件的三维数据信息转换成一系列的二维平面数据，提取每一层切片所产生的轮廓并根据切片轮廓设计合理的路径、激光扫描速度等工艺参数，沿由二维平面数据所确定的扫描轨迹生成每一层的数控加工程序，并传递给数控工作台；

[0010] (4) 加工前先把成形腔内的金属基板进行预热，成形时封闭成形腔，向成形腔内预先输入纯度为 $\geq 99.99\%$ 的氩气，使腔内氧含量小于60 $\mu\text{L/L}$ ，避免粉末在激光熔化过程中发生氧化；

[0011] (5) 开启激光和数控设备，调出激光加工程序，点击运行按钮，高能激光束在计算机的控制下沿着每一层切片的轨迹进行扫描，作用在预先用铺粉刮刀在成形基板上所铺的粉末区域，激光扫描一层粉末后，工作台自动下降一个层厚高度，铺粉器再在已成形层上铺上一层粉末，然后激光束对新铺上的粉层进行加工，激光扫描方式为第n层水平方向循环扫描，第n+1层垂直于第n层扫描，第n+2层为垂直于第n+1层，且与第n层扫描方式相反的水平方向循环扫描，第n+3层垂直于第n+2层且与第n+1层扫描方向相反，第n+4层扫描方式同第n层，依次循环，n为从1开始的整数，重复以上成形过程，直至扫描完三维模型的所有切片层；

[0012] (6) 成形腔内温度下降后，操作工作台上升，把基台与零件一起取出，经过简单的喷砂处理即可把零件从基台上去掉，最终得到三维金属零件。

[0013] 步骤(1)所述的复杂结构零件的设计精度 $\geq 0.1\text{mm}$ 。

[0014] 步骤(3)所述的激光熔覆的工艺参数为：激光功率70~220W，扫描速度300~1400mm/s。

[0015] 步骤(4)所述的高纯氩气流量为20~50L $\cdot\text{min}^{-1}$ 。

[0016] 步骤(5)所述的单层粉层厚度为58~65 $\mu\text{m}$ 。

[0017] 本发明的有益效果：

[0018] 本发明是一种通过选择性激光熔化技术(SLM)成形复杂NiTi合金构件的方法，解决目前常规的熔炼方法或粉末冶金方法难以制备力学性能优良的复杂NiTi合金构件的难题，在不需任何专用模具和任何专用工装条件下直接快速成形出各种带有曲面、复杂内腔等利用传统加工方法难以实现的复杂NiTi合金构件，并且所制备出的构件层间结合较好，工艺简单，制造周期短，具有致密度高，精度高，金属粉末利用率高等特点。

## 附图说明

[0019] 图1为本发明的激光扫描方式示意图。

## 具体实施方式

[0020] 实施例：本发明的实施例包括以下步骤：

[0021] Ni、Ti、Nb元素粉末以原子比Ni:Ti:Nb=50.6:47.4:2的比例为基准，通过气流雾化法制备NiTi合金粉末。将纯度为99.99%的镍、纯度为99.9%的钛、纯度为99.8%的铌经

过除油、清洗、干燥以后按照配比装入坩埚中,在氩气保护条件下于电炉中加热熔炼,液体金属被雾化塔中高速高压的氩气经喷嘴冲击液流时,撞击成雾状液滴,液滴在降落过程中冷却并凝固成NiTi金属粉末,粒度为0.020~0.040mm。将粉末放入160℃的烘干箱烘干1~1.5小时,然后待用;

[0022] 在成形腔底部安装金属基板,以给成形NiTi合金复杂构件提供一个逐层堆积的生长平面;

[0023] NiTi合金复杂构件尺寸为150mm×200mm×80mm(长×宽×高),首先建立起NiTi合金零件的CAD三维实体模型,利用切片技术将零件原型进行逐层切片,切片厚度为400~600 μm,每一层切片都包含截面的几何信息,将NiTi合金结构件的三维数据信息转换成一系列的二维平面数据,提取每一层切片所产生的轮廓并根据切片轮廓设计合理的路径、激光扫描速度等工艺参数。工艺参数采用:激光功率80W,扫描速度310mm/s;沿由二维平面数据所确定的扫描轨迹生成每一层的数控加工程序,并传递给数控工作台;

[0024] 加工前先把成形腔内的金属基板进行预热,成形时封闭成形腔,向成形腔内预先输入一定量的高纯氩气(≥99.99%),使腔内氧含量小于60μL/L,避免粉末在激光熔化过程中发生氧化;

[0025] 开启激光和数控设备,调出激光加工程序,点击运行按钮,高能激光束在计算机的控制下沿着每一层切片的轨迹进行扫描,作用在预先用铺粉刮刀在成形基板上所铺的粉末区域,激光扫描一层粉末后,工作台自动下降一个层厚高度,铺粉器再在已成形层上铺上一层粉末,然后激光束对新铺上的粉层进行加工,如图1所示,激光扫描方式为第n层水平方向循环扫描,第n+1层垂直于第n层扫描,第n+2层为垂直于第n+1层,且与第n层扫描方式相反的水平方向循环扫描,第n+3层垂直于第n+2层且与第n+1层扫描方向相反,第n+4层扫描方式同第n层,依次循环,n为从1开始的整数,重复以上成形过程,直至扫描完三维模型的所有切片层。成形腔内温度下降后,操作工作台上升,把基台与零件一起取出,经过简单的喷砂处理即可把零件从基台上去掉,最终得到三维金属零件,尺寸为150mm×200mm×80mm(长×宽×高)。

[0026] 产品检测:从NiTi合金复杂构件外表面可看出其表面光洁,形状和预期相符,无宏观裂纹。将成形件做成截面分析其金相组织和扫描电镜SEM可知,NiTi合金复杂构件组织无气孔和裂纹,组织均匀,精度高,层与层之间呈冶金结合。

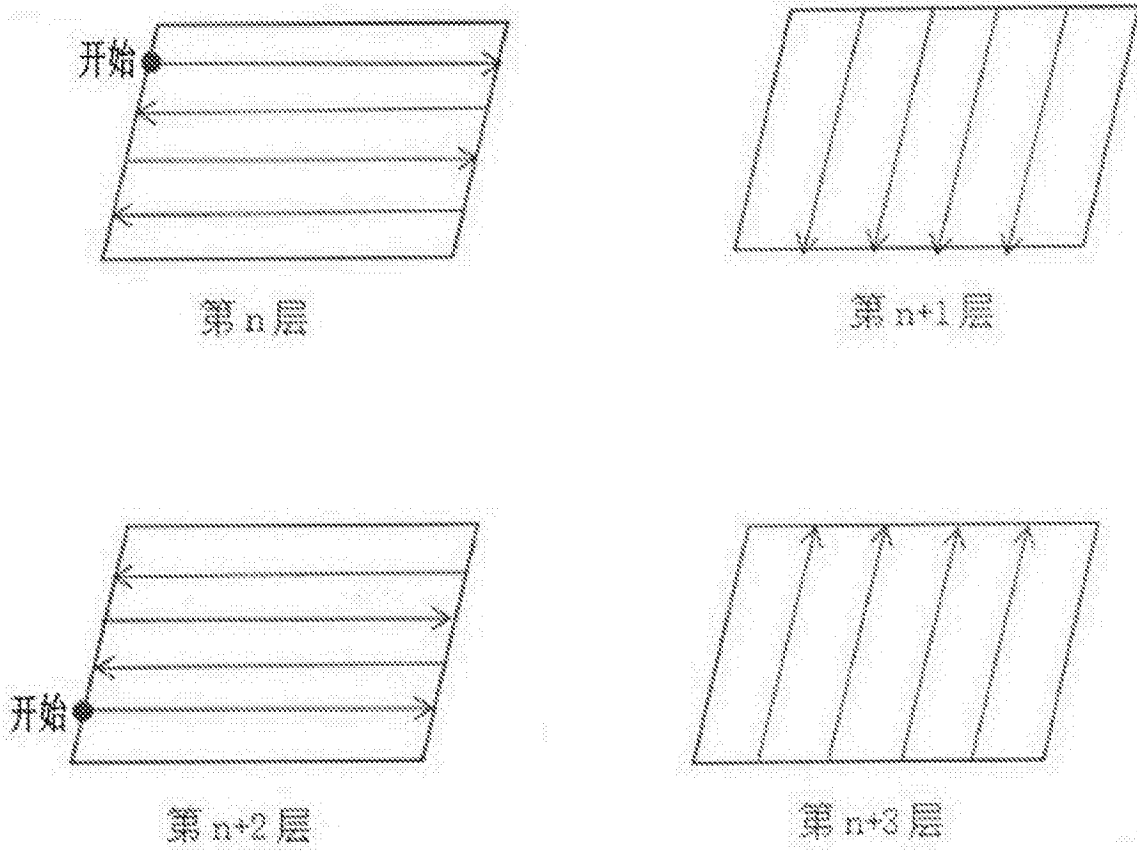


图1