



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104308153 B

(45)授权公告日 2016.08.03

(21)申请号 201410583314.9

(22)申请日 2014.10.27

(73)专利权人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市碑林区咸宁西路28号

(72)发明人 张航 鲁中良 杨强 李涤尘

(74)专利代理机构 西安通大专利代理有限责任公司 61200

代理人 陆万寿

(51) Int. Cl.

B22F 3/105(2006.01)

B22F 5/04(2006.01)

B22F 5/10(2006.01)

审查员 常磊

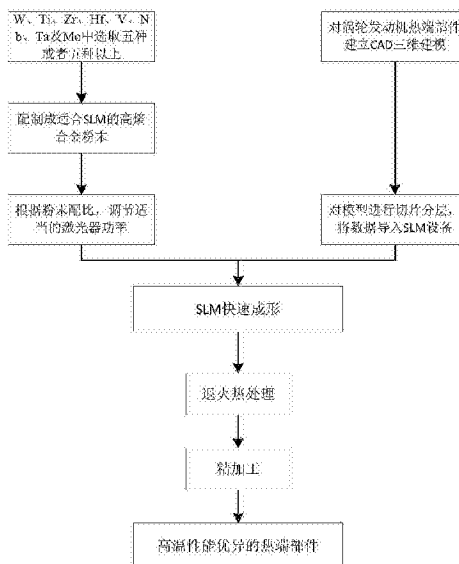
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种基于选区激光熔化的高熵合金涡轮发动机热端部件的制造方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于选区激光熔化的高熵合金涡轮发动机热端部件的制造方法,属于涡轮发动机热端部件制造技术领域。首先从钨、钛、锆、钽、铌、钼及钨八种高熔点金属粉末中选取任意五种或者五种以上,按照一定摩尔比均匀混合,制得高熵合金粉末;建立涡轮发动机热端部件的三维实体模型,通过软件进行切片分层,得到各截面的轮廓数据,将这些数据导入快速成形设备;通过SLM技术快速成形出涡轮发动机热端部件坯体;对坯体进行热处理、精加工,得到高温性能良好的高熵合金涡轮发动机热端部件。本发明成形的涡轮发动机热端部件具有高的致密度和优越的高温性能,同时具有较高的成形精度和表面精度,能够实现高性能涡轮发动机热端部件的快速精确制造。



1. 一种基于选区激光熔化的高熵合金涡轮发动机热端部件的制造方法,其特征在于,包括以下步骤:

1) 从高熔点金属粉末钨、钛、锆、钨、钒、铌、钽及钼中任意选取五种或五种以上,混合均匀后,制得适用于选区激光熔化工艺的高熵合金粉末;

高熔点金属粉末混合时,粉末配比采用全域均一比例,或者按照从选取的高熔点金属粉末中部分元素比例随生长高度梯度变化的方式进行配比;

选取的高熔点金属粉末中部分元素比例随生长高度梯度变化的方式进行配比是指根据待加工的涡轮发动机热端部件的需求,在热端部件的纵向或者横向生长方向上通过线性增加某一种高熔点金属粉末的含量增强局部性能;

高熔点金属粉末混合时每种元素的原子百分比介于5%~30%之间;

2) 对待制造的涡轮发动机热端部件建立三维实体模型,然后通过软件对三维模型进行切片分层,得到各个截面的轮廓数据,将得到的轮廓数据导入快速成形设备;

3) 采用选区激光熔化法,快速成形出待制造的涡轮发动机热端部件坯体;

4) 对选区激光熔化快速成形得到的涡轮发动机热端部件坯体在600℃~1000℃下进行退火处理;

5) 将退火处理后的坯体进行后续精加工处理,最终制得结构致密、高温性能良好、尺寸精度合格的高熵合金涡轮发动机热端部件;

所述的后续精加工处理是采用磨粒流工艺进行精加工及表面喷砂工艺进行表面处理。

2. 根据权利要求1所述的一种基于选区激光熔化的高熵合金涡轮发动机热端部件的制造方法,其特征在于,步骤2)所述的软件为UG、Pro-E、Catia或SolidWork软件。

3. 根据权利要求1所述的一种基于选区激光熔化的高熵合金涡轮发动机热端部件的制造方法,其特征在于,步骤3)所述的选区激光熔化法的具体操作是按照待制造的涡轮发动机热端部件的形状要求生成对应的扫描路径,利用激光将均匀混合的高熵合金粉末熔化形成熔池,熔池快速冷却凝固后形成金属沉积层,通过激光的逐层扫描,金属沉积层之间以冶金结合的形式实现逐层叠加,完成零件的增材制造。

4. 根据权利要求3所述的一种基于选区激光熔化的高熵合金涡轮发动机热端部件的制造方法,其特征在于,所述利用激光将均匀混合的高熵合金粉末熔化形成熔池时所用激光器的功率为150W~250W。

5. 根据权利要求1所述的一种基于选区激光熔化的高熵合金涡轮发动机热端部件的制造方法,其特征在于,步骤3)所述的选区激光熔化法快速成形的处理过程在惰性气体保护气氛中进行。

6. 根据权利要求1~5中任意一项所述的一种基于选区激光熔化的高熵合金涡轮发动机热端部件的制造方法,其特征在于,所述高熔点金属粉末的粒径为300~500目。

7. 根据权利要求1~5中任意一项所述的一种基于选区激光熔化的高熵合金涡轮发动机热端部件的制造方法,其特征在于,所成形的涡轮发动机热端部件具有增强组织性能的面心立方或体心立方相结构;涡轮发动机热端部件为涡轮静叶片、涡轮动叶片或涡轮盘。

一种基于选区激光熔化的高熵合金涡轮发动机热端部件的制造方法

技术领域

[0001] 本发明属于涡轮发动机热端部件制造技术领域,具体涉及一种基于选区激光熔化的高熵合金涡轮发动机热端部件的制造方法。

背景技术

[0002] 涡轮发动机的热端部件主要包括涡轮叶片和涡轮盘。涡轮叶片是航空发动机的核心部件之一,涡轮叶片由于处于温度最高、应力最复杂、环境最恶劣的部位而被列为第一关键件,并被誉为“王冠上的明珠”,其设计与制造水平将对航空发动机的综合性能产生直接影响。涡轮盘同样是航空发动机具有关键特性的核心部件,它的质量和性能水平,对于发动机和飞机的可靠性、安全寿命和性能的提高具有决定性的影响。航空发动机热端部件的工作环境温度一般在1000℃以上,并且燃烧室中燃气温度越高,能源利用率越高、发动机产生的推力越大,因此在大推力要求下,涡轮发动机热端部件的高温性能成为了制约其发展的一个重要因素。

[0003] 目前的涡轮发动机热端部件主要采用传统高温合金通过熔模铸造的方法加工成形:首先通过热压注等工艺制备出具有复杂形状的陶瓷型芯;然后制造出叶片外形的金属模具,将陶瓷型芯装配在金属模具中,用蜡将金属模具和陶瓷型芯之间的间隙填充后将金属模具去除,从而获得具有内部陶瓷型芯的蜡模;最后,将蜡模进行多次挂浆、干燥等工艺操作,获得一定厚度的叶片陶瓷型壳;在炉中将蜡熔化流出或蒸发,将型芯型壳一起烧结,从而获得叶片的陶瓷铸型。这种方法工艺周期长、难度大、成本高,不利于新产品的开发,并且型芯型壳通过装配结合在一起,会引入装配误差导致叶片的偏芯、穿孔等缺陷。同时,传统高温合金在1400℃以上高温力学性能变差,无法满足涡轮发动机进一步提高燃气温度的要求。

[0004] 高熵合金的高熵效应会抑制脆性金属间化合物的出现,促进元素混合形成简单的体心立方或面心立方结构,甚至附带另一晶间化合物相或者形成非晶结构,提高合金了高温性能。由多种高熔点金属混合形成的高熵合金在1600℃时屈服强度超过了400MPa,远高于传统的高温合金。同时也因为高熵合金的高熔点导致传统的熔模铸造手段很难对其进行加工制造,目前的陶瓷铸型根本无法满足如此高温度的要求,因此用传统加工方法很难获得高熵合金的零部件。

发明内容

[0005] 为了克服上述现有技术存在的缺陷,本发明的目的在于提供一种基于选区激光熔化的高熵合金涡轮发动机热端部件的制造方法,该方法利用激光选区熔化技术将高熵合金粉末直接加工成形为涡轮发动机的热端部件,并通过适当的热处理、精加工以及表面处理等工艺使其满足使用要求。

[0006] 本发明是通过以下技术方案来实现:

[0007] 一种基于选区激光熔化的高熵合金涡轮发动机热端部件的制造方法,包括以下步骤:

[0008] 1)从高熔点金属粉末钨、钛、锆、钨、铌、钽及钼中任意选取五种或五种以上,混合均匀后,制得适用于选区激光熔化工艺的高熵合金粉末;

[0009] 2)对待制造的涡轮发动机热端部件建立三维实体模型,然后通过软件对三维模型进行切片分层,得到各个截面的轮廓数据,将得到的轮廓数据导入快速成形设备;

[0010] 3)采用选区激光熔化法,快速成形出待制造的涡轮发动机热端部件坯体;

[0011] 4)对选区激光熔化快速成形得到的涡轮发动机热端部件坯体在 $600^{\circ}\text{C}\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 下进行退火处理;

[0012] 5)将退火处理后的坯体进行后续精加工处理,最终制得结构致密、高温性能良好、尺寸精度合格的高熵合金涡轮发动机热端部件。

[0013] 步骤1)所述的高熔点金属粉末混合时,粉末配比采用全域均一比例,或者按照从选取的高熔点金属粉末中部分元素比例随生长高度梯度变化的方式进行配比;

[0014] 选取的高熔点金属粉末中部分元素比例随生长高度梯度变化的方式进行配比是指根据待加工的涡轮发动机热端部件的需求,在热端部件的纵向或者横向生长方向上通过线性增加某一种高熔点金属粉末的含量增强局部性能。

[0015] 高熔点金属粉末混合时每种元素的原子百分比介于 $5\%\sim 30\%$ 之间。

[0016] 步骤2)所述的软件为UG、Pro-E、Catia或SolidWork软件。

[0017] 步骤3)所述的选区激光熔化法的具体操作是按照待制造的涡轮发动机热端部件的形状要求生成对应的扫描路径,利用激光将均匀混合的高熵合金粉末熔化形成熔池,熔池快速冷却凝固后形成金属沉积层,通过激光的逐层扫描,金属沉积层之间以冶金结合的形式实现逐层叠加,完成零件的增材制造。

[0018] 所述利用激光将均匀混合的高熵合金粉末熔化形成熔池时所用激光器的功率为 $150\text{W}\sim 250\text{W}$ 。是根据不同的高熔点金属粉末混合配比,调节选取激光熔化法快速成形处理过程中的激光器功率,以不使所选金属中蒸发焓最低的金属汽化为基准选取(一般为 $150\text{W}\sim 250\text{W}$)。

[0019] 步骤3)所述的选取激光熔化法快速成形的处理过程在惰性气体保护气氛中进行。

[0020] 步骤5)所述的后续精加工处理是采用磨粒流工艺进行精加工及表面喷砂工艺进行表面处理。

[0021] 所述高熔点金属粉末的粒径为 $300\sim 500$ 目。

[0022] 所成形的涡轮发动机热端部件具有增强组织性能的面心立方或体心立方相结构;所述的涡轮发动机热端部件包括涡轮静叶片、涡轮动叶片或涡轮盘。

[0023] 与现有技术相比,本发明具有以下有益的技术效果:

[0024] 本发明的基于选区激光熔化(SLM)的高熵合金涡轮发动机热端部件的制造方法,以高熔点金属粉末为原料,制成高熵合金粉末,其所成形的高熵合金涡轮发动机热端部件具有传统高温合金热端部件所不具有的 1600°C 以上的优异高温性能,可以满足提高涡轮发动机的燃气温度形成大推力的要求。

[0025] 本发明利用SLM技术不受成形件复杂程度和高熔点金属材料的难加工特点的限制,通过配备适合SLM技术的高熵合金粉末,实现对高熵合金涡轮发动机热端部件的直接加

工成形,不仅极大地提高了叶片成形的效率,解决了熔模铸造无法完成高熵合金零件铸造加工的难题,同时也避免了传统铸型制造过程中型芯、型壳具有装配误差和型芯易变形、断裂的缺陷,极大提高了成形的效率和降低了制造成本。

[0026] 本发明采用SLM技术加工成形的高熵合金涡轮发动机热端部件具有很高的致密度和较好的尺寸精度与表面粗糙度,同时可具有面心立方或体心立方组织结构,具有优异的高温力学性能,可以满足高性能涡轮发动机热端部件的使用要求。

附图说明

[0027] 图1为本发明的工艺路线结构框图;

[0028] 图2为为高熵合金粉末配制示意图;

[0029] 其中,1、料缸;2、料缸进给装置;3、配制的高熵合金粉末;

[0030] 图3为SLM技术工作原理示意图;

[0031] 图4为本发明实施例1涡轮发动机叶片示意图;

[0032] 图5为本发明实施例2涡轮发动机涡轮盘示意图。

[0033] 其中,4、激光器;5、扩束镜;6、扫描器;7、f- θ 镜;8、成形室;9、保护气体;10、成形件;11、铺粉刮板;12、高熵合金粉末;13、料缸;14、成形缸;15、叶盆;16、尾缘;17、叶背;18、外环;19、冷气孔;20、轮盘;21、导向叶片。

具体实施方式

[0034] 下面结合具体的实施例对本发明做进一步的详细说明,所述是对本发明的解释而不是限定。

[0035] 参见图1,本发明的一种基于选区激光熔化的高熵合金涡轮发动机热端部件的制造方法,包括以下步骤:

[0036] 1)从钨(W)、钛(Ti)、锆(Zr)、铪(Hf)、钒(V)、铌(Nb)、钽(Ta)及钼(Mo)八种高熔点金属粉末中选取任意五种或者五种以上,按照一定摩尔比均匀混合(保证每种主要元素原子百分比介于5%和30%),粉末配比包括全域均一比例或部分元素比例随生长高度梯度变化不同方式,配制成适合SLM工艺的专用粉末;部分元素比例随生长高度梯度变化指的是:在热端部件的纵向或者横向生长方向上可通过线性增加某一种金属粉末的含量来达到增强局部性能的目的。例如,由于叶片榫根部位受力情况复杂,需对其进行局部力学性能加强,我们可以采用自叶片顶端向榫根部位增材制造过程中进行线性增加Mo元素,以达到细化晶粒,增强其力学性能的目的。

[0037] 利用激光直接熔化金属粉末成形高熵合金零部件,无需先利用真空电弧熔炼炉等设备熔炼制备出高熵合金原材料后再进行熔模铸造实现对高熔点高熵合金的微堆积增材成型,改变了传统高熵合金的合成和加工方法,替代了传统熔模铸造方法。

[0038] 2)利用UG软件(还可用Pro-E、Catia或SolidWork等软件)建立涡轮发动机热端部件的三维实体模型,并对三维模型进行切片分层,得到各截面的轮廓数据,将这些数据导入快速成形设备;

[0039] 3)通过选区激光熔化(SLM)技术快速成形出涡轮发动机热端部件坯体;

[0040] 采用高熔点金属粉末配置的高熵合金需在2000℃以上进行熔模铸造,目前的陶瓷

铸型基本无法满足如此高的温度,而SLM技术可以利用激光很容易将高熵合金粉末熔化,通过微熔池堆积过程,实现了对高熔点金属的成形过程;

[0041] 由于这八种高熔点金属在高温下都比较容易氧化,并且V和Hf能够与氮气发生化学反应,因此,在SLM快速成形过程中需要实行惰性气体气氛保护;

[0042] 由于这八种高熔点金属的蒸汽压不相同,因此需要根据不同的合金配比,调节SLM中激光器的功率,以保证成形的高熵合金部件中各元素的配比和高熵合金的性能;根据不同的高熔点金属粉末混合配比,调节选取激光熔化法快速成形处理过程中的激光器功率,以不使所选金属中蒸发焓最低的金属汽化为基准选取,一般为150W~250W。

[0043] 粉末粒径大小对成型过程的控制、成型零件质量都有很大影响,粉末粒径应控制在300目~500目之间,以防止粉末过细缺乏流动性和引起扬尘,以及粉末过粗导致成形精度降低。

[0044] 4)对激光快速成形得到的涡轮发动机热端部件坯体进行600℃~1000℃的退火处理;

[0045] 5)对退火处理后的坯体进行精车、精铣、精磨等精加工和表面喷砂等表面处理,最终获得高温性能良好尺寸精度合格的高熵合金涡轮发动机热端部件。

[0046] 本发明提出的高熵合金涡轮发动机热端部件制造方法,首先需要根据需求配置适合于SLM技术的高熵合金粉末原料,可以从W、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta及Mo八种高熔点金属粉末中选取任意五种或者五种以上,按照一定摩尔比均匀混合(保证每种主要元素原子百分比介于5%和30%)进行配置,粉末配比包括全域均一比例或部分元素比例随生长高度梯度变化不同方式。

[0047] 参见图2,是任意选取了五种元素,按照等原子比配制获得的高熵合金粉末示意图,其中,1为料缸;2为料缸进给装置;3为配制的高熵合金粉末。

[0048] 其次,本发明需要一套完整的SLM快速成型设备,如图3所示。当根据不同的元素配比确定其最适宜的加工温度,调节好激光器4的激光功率,激光经扩束镜5到扫描器6,再经f- θ 镜7聚焦成所需光斑大小,对成形缸14中预先铺好的高熵合金粉末12进行选区熔化加工,当一层加工完成后,铺粉刮板11再从料缸13中刮取新一层的粉末铺设在成形缸14中,进行下一层的选区熔化加工,直至整个成形件10的加工完成。在此加工过程中,为了防止高熵合金粉末被氧化,需要在成形室8内充入惰性保护气体9,以实现气氛保护。

[0049] 实施例1

[0050] 选取W、Ti、Zr、V、Ta五种高熔点金属粉末,按照等原子比配置成高熵合金粉末,置于SLM快速成型设备的料缸中。利用UG软件建立空心涡轮叶片的三维CAD模型并对其进行切片分层,将得到的数据导入到SLM设备中。根据这五种不同元素的蒸气压,选区激光功率为200W,同时由于空心涡轮叶片内部具有微小的气膜孔和排气边结构,且对成形件表面质量与成形精度要求较高,需使用小焦距的镜头(100mm)以获得精细的聚焦光斑尺寸(30 μ m)。采用预压紧粉末的刮板式铺粉装置。采用轮廓+光栅+分区的混合扫描路径,设定扫描速度为100mm/s,扫描层厚 Δh 为35 μ m。向成形室内充入保护气体(氩气)以防止高熵合金粉末被氧化。调节好设备后,开始加工,经不断的逐层叠加增材制造得到空心涡轮叶片坯体,对坯体再进行750℃退火处理。将热处理后的坯体采用“磨粒流”工艺进行精加工和表面喷砂处理,加工制得了空心涡轮发动机叶片,叶盆15,尾缘16及叶背17形状分明,结构致密,成形精度

高,表面质量好,高温力学性能优异。

[0051] 实施例2

[0052] 选取W、Ti、Zr、V、Ta五种金属,按照等原子比配制成高熵合金粉末,置于SLM快速成型设备的料缸中。利用UG软件将建立好的涡轮盘三维CAD模型切片分层,把得到的数据导入到SLM设备中。根据这五种不同元素的蒸气压,选取激光功率为200W,同时由于涡轮盘对成形表面质量与成形精度要求较高,需使用小焦距的镜头(100mm)以获得精细的聚焦光斑尺寸(30 μ m)。采用预压紧粉末的刮板式铺粉装置。采用轮廓+光栅+分区的混合扫描路径,设定扫描速度为100mm/s,扫描层厚 Δh 为35 μ m。向成形室内充入保护气体(氩气)以防止高熵合金粉末被氧化。调节好设备后,开始加工,经不断的逐层叠加增材制造得到涡轮盘坯体,对坯体在进行对坯体再进行750 $^{\circ}$ C退火处理。将热处理后的坯体采用“磨粒流”工艺进行精加工和表面喷砂处理,最后制得涡轮盘,如图5所示,外环18、冷气孔19、轮盘20和导向叶片21结构致密,成形精度和表面质量良好,高温力学性能优异。

[0053] 选区激光熔化(SLM-Selective Laser Melting)是一种金属件直接成型方法,是快速成型技术的最新发展。该技术基于快速成型的最基本思想,用逐层添加方式根据CAD数据直接成型具有特定几何形状的零件,成型过程中金属粉末完全熔化,产生冶金结合。选区激光熔化作为一种先进的增材制造技术,可以直接成形几乎任意形状、具有完全冶金结合的功能零件,同时加工的零部件致密度高,且具有较高的成形精度和表面质量。对于由五种或者五种以上难熔金属组成的高熵合金粉末,恰好可以利用SLM技术,利用激光扫描熔化金属粉末,通过微熔池堆积,快速成形所需的涡轮发动机热端部件,从而解决了高熵合金无法用传统熔模铸造手段获得零部件的问题。因此,该方法可以制造出在1600 $^{\circ}$ C以上具有良好高温性能的高熵合金涡轮发动机热端部件。

[0054] 综上所述,本发明采用高熔点金属粉末配制的高熵合金需在2000 $^{\circ}$ C以上进行熔模铸造,目前的陶瓷铸型基本无法满足如此高的温度,而SLM技术可以利用激光很容易将高熵合金粉末熔化,通过微熔池堆积过程,实现了对高熔点金属的成形过程。SLM技术的使用,使得本发明不受成形件复杂程度限制的特点,无需支撑,将涡轮发动机热端部件直接成形,避免了传统熔模铸造型芯、型壳装配过程中产生的误差。本发明利用SLM成形技术可实现涡轮发动机热端部件的直接成形,制造工艺简单,成形速度快,效率得到极大提高,同时降低了生产成本。

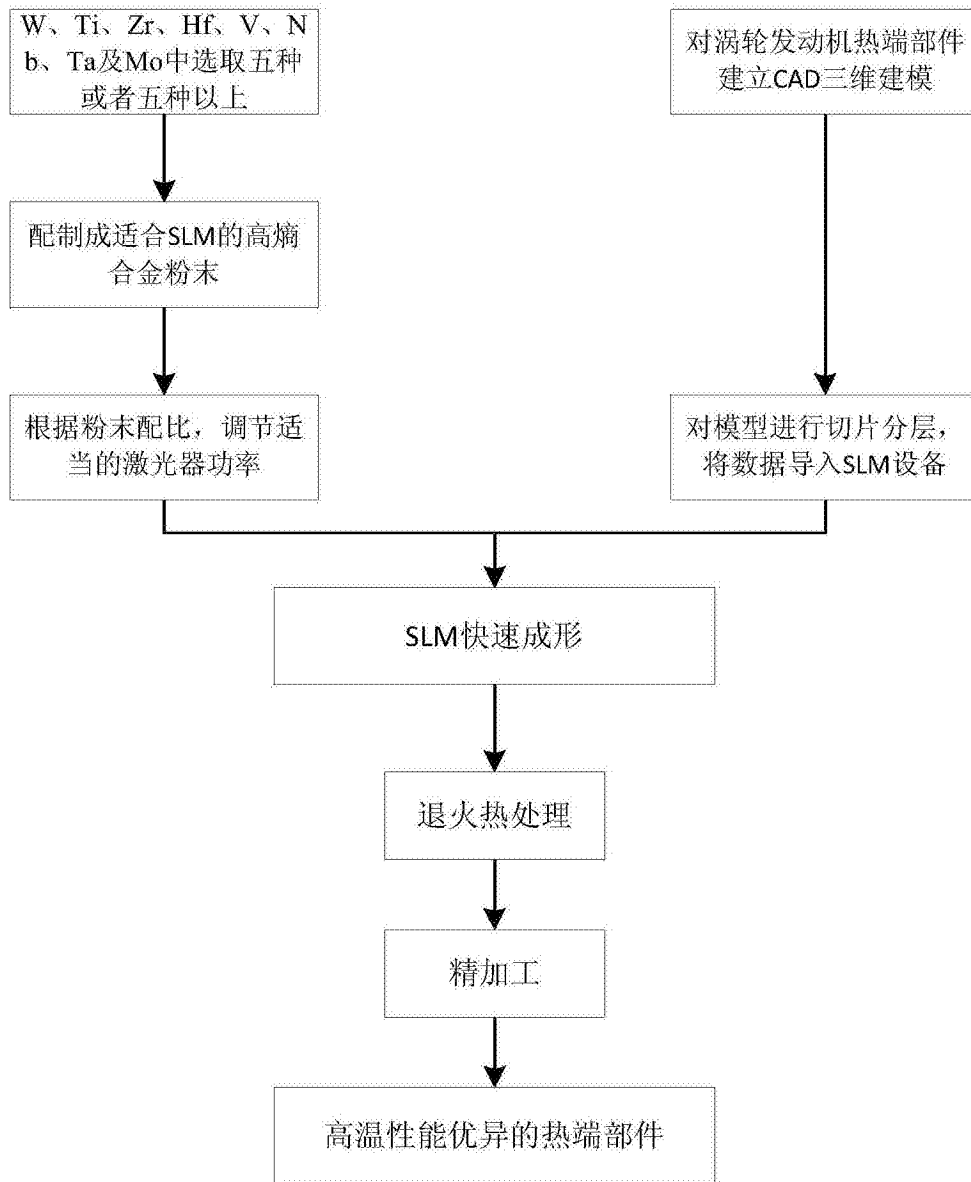


图1

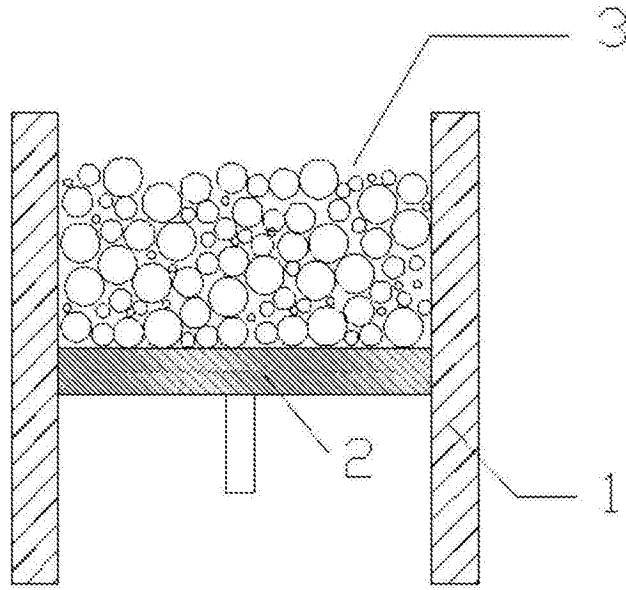


图2

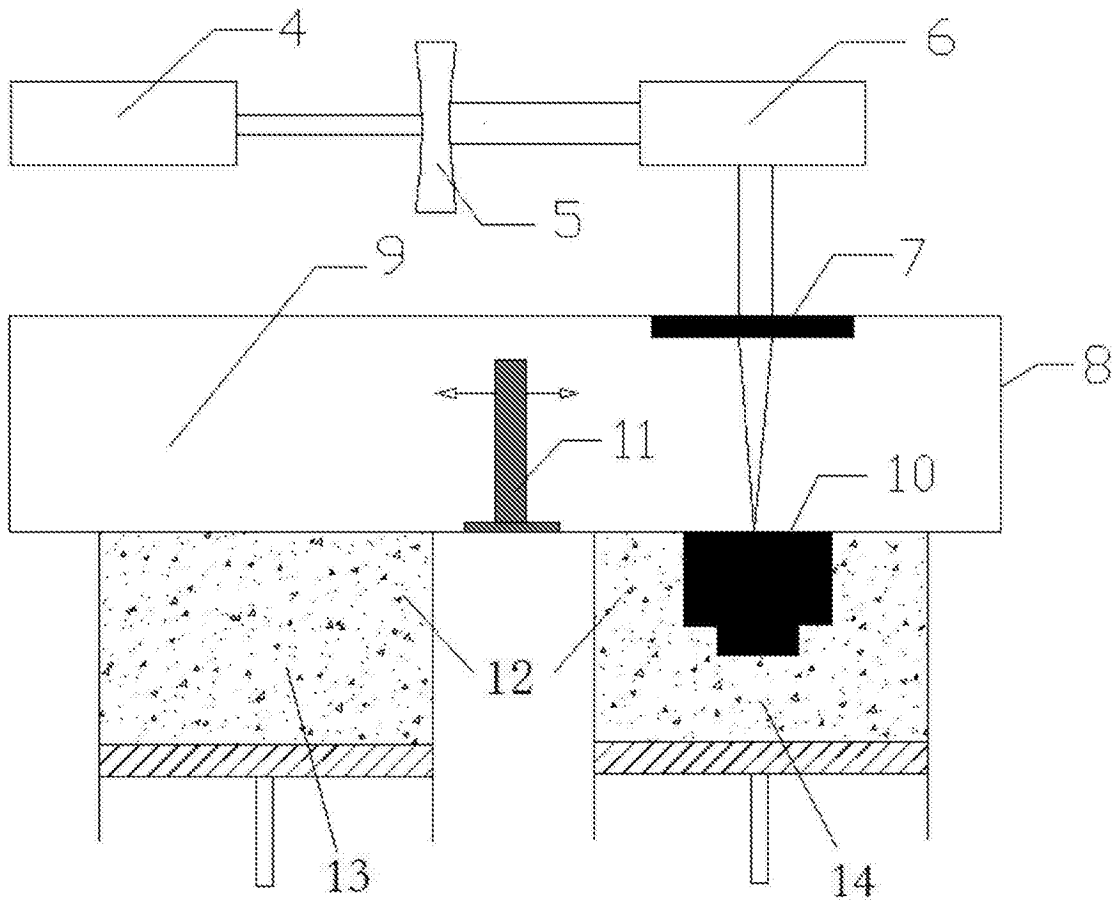


图3

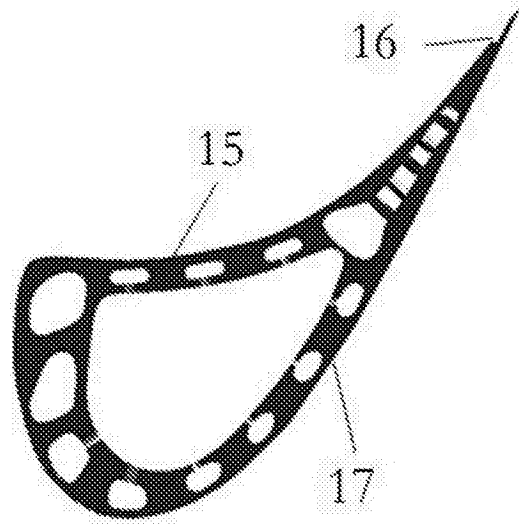


图4

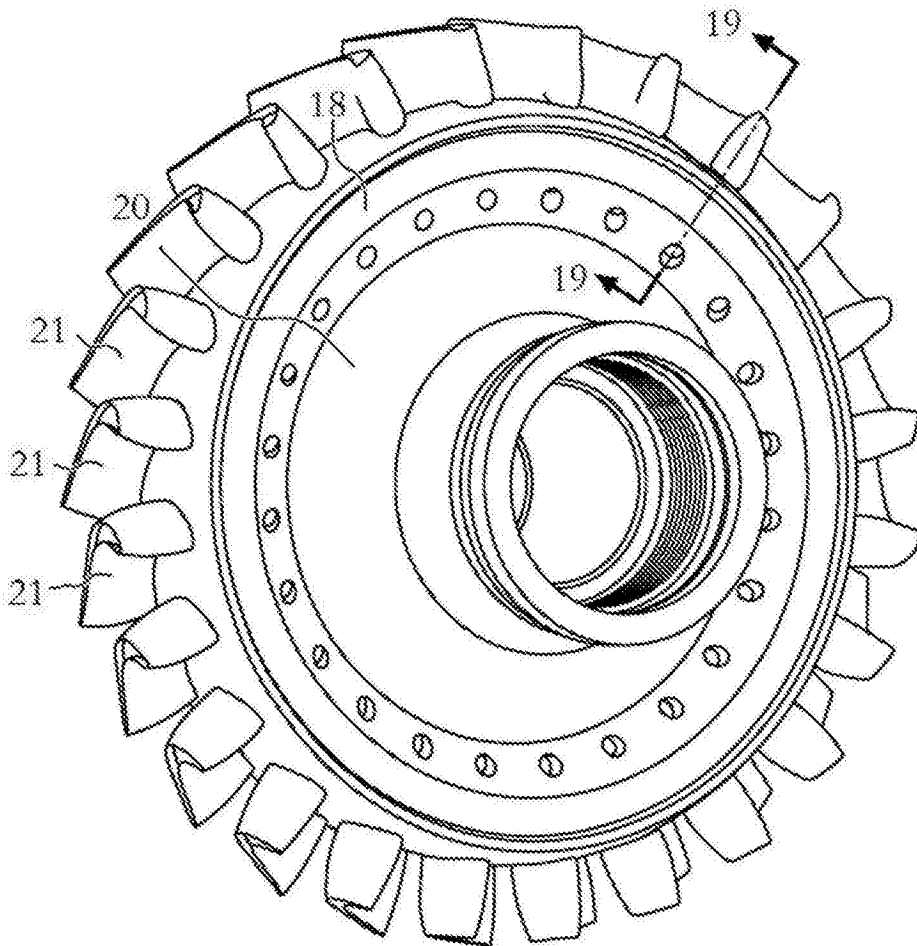


图5