



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114523125 B

(45) 授权公告日 2023. 11. 07

(21) 申请号 202210211543.2

C22C 1/04 (2023.01)

(22) 申请日 2022.03.01

C22C 33/02 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

C22C 30/00 (2006.01)

申请公布号 CN 114523125 A

C22C 38/40 (2006.01)

C22C 19/05 (2006.01)

(43) 申请公布日 2022.05.24

(56) 对比文件

(73) 专利权人 中国钢研科技集团有限公司

CN 111957962 A, 2020.11.20

地址 100089 北京市海淀区学院南路76号

CN 110216287 A, 2019.09.10

(72) 发明人 苏航 侯雅青 张浩 李发发

WO 2017143789 A1, 2017.08.31

(74) 专利代理机构 北京细软智谷知识产权代理

WO 2022035374 A1, 2022.02.17

有限责任公司 11471

CN 111085689 A, 2020.05.01

专利代理师 秦琼

CN 113385689 A, 2021.09.14

(51) Int. Cl.

CN 111036905 A, 2020.04.21

B22F 10/28 (2021.01)

CN 111974990 A, 2020.11.24

B33Y 10/00 (2015.01)

CN 112935252 A, 2021.06.11

B33Y 70/00 (2020.01)

CN 113427020 A, 2021.09.24

B33Y 40/10 (2020.01)

US 2021170487 A1, 2021.06.10 (续)

B22F 10/85 (2021.01)

审查员 李艳

B22F 10/364 (2021.01)

B22F 10/366 (2021.01)

B22F 10/50 (2021.01)

权利要求书1页 说明书7页 附图4页

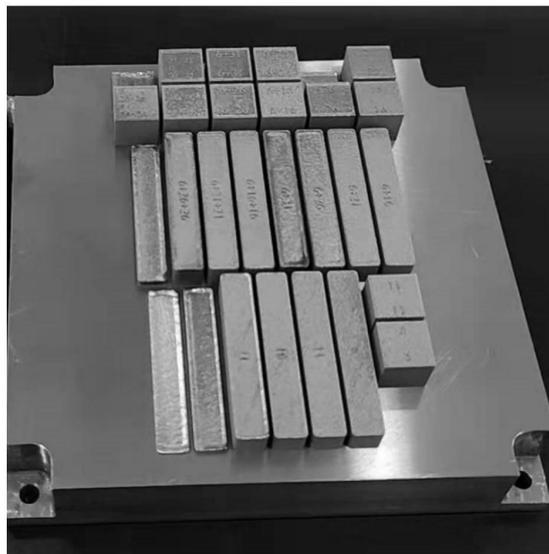
(54) 发明名称

洞等常见打印缺陷。

一种SLM原位合金化制备合金块体的方法

(57) 摘要

本发明涉及一种SLM原位合金化制备合金块体的方法,所述方法包括如下步骤:配料及原料混合:采用两种以上的粉末为原料,将各粉末进行干燥脱氧,混合均匀,得到混合粉末;设定成型工艺参数,利用有限元软件COMSOL根据设定的成型工艺参数确定3D打印的工艺参数;在Ar气保护下,采用3D打印机将所述的混合粉末进行打印。本发明使用两种以上的粉末为原料替代单一成分的预合金粉末进行SLM打印,采用激光选区熔化+多级激光后热处理方式,利用有限元软件COMSOL计算出优选的工艺参数,能够大幅度减少试错试验的时间和成本,合金快体的样品致密度高于99.9%,且成分均匀无组织偏析、无明显孔



CN 114523125 B

[接上页]

(56) 对比文件

李宸庆;侯雅青;苏航;潘涛;张浩.铁/镍元素粉末的选区激光熔化过程扩散动力学研究.材料导报.2020,(第S1期),370-374.

屈华鹏;张宏亮;冯翰秋;陈海涛;郎宇平;王留兵;许斌;宋丹戎.金属材料增材制造(3D打印)技术的局限性.热加工工艺.2018,(第16期),1-6,12.

1. 一种SLM原位合金化制备合金块体的方法,其特征在于,所述方法包括如下步骤:

(1) 配料及原料混合:采用两种以上的粉末为原料,将各粉末进行干燥脱氧,混合均匀,得到混合粉末;其中:

所述的粉末包括纯金属单质粉末和/或预合金粉末;

所述的纯金属单质粉末包括Fe、Cr、Ni、Co、Mn、Mo中的至少一种,所述的预合金粉末包括铁基合金、镍基合金、钴基合金、高熵合金中的至少一种;

每种粉末最低混合比例为1%,所述的粉末为球形,粒度分布为15-53 μm ,氧含量<500ppm,霍尔流速<20s/50g;

干燥温度为100-200 $^{\circ}\text{C}$,在真空度小于绝对压力10KPa下干燥2-3h;

(2) 首先设定如下参数:单层液态熔融时长 $\geq 0.1\text{s}$,熔池深度大于层厚的1.5倍,熔池宽度 \geq 熔池深度的0.5倍,以上述设定的参数为约束条件,将设定的激光选区熔化参数和设定的多级激光后热处理参数输入有限元软件COMSOL中,确定3D打印的工艺参数;其中:

3D打印工艺对每层粉末采用激光选区熔化+多级激光后热处理;

激光选区熔化参数具体设定如下:铺粉层厚度为20-50 μm ,激光功率为100-250W,扫描速度为600-1500mm/s,扫描线间距为50-200 μm ,光斑直径为50-100 μm ,单层扫描路径为折返式扫描,层与层之间的扫描路径为垂直扫描;

多级激光后热处理参数具体设定如下:激光功率为100-300W,扫描速度为500-1200mm/s,扫描线间距为50-120 μm ,光斑直径为50-100 μm ,单层扫描路径为折返式扫描,层与层之间的扫描路径为垂直扫描;

(3) 在Ar气保护下,采用3D打印机将所述的混合粉末进行打印,打印完成后采用线切割将样品与基板分离,得到所述的SLM原位合金化制备合金块体;其中:

3D打印中氧气含量控制在1000ppm以内。

2. 根据权利要求1所述的一种SLM原位合金化制备合金块体的方法,其特征在于,步骤(1)中,纯金属单质粉末的纯度 $> 99.5\%$ 。

3. 根据权利要求2所述的一种SLM原位合金化制备合金块体的方法,其特征在于,步骤(1)中,在25-100r/min的转速下混合3-24h。

4. 根据权利要求2所述的一种SLM原位合金化制备合金块体的方法,其特征在于,步骤(2)中,多级激光后热处理采用2-6级,扫描过程中每一级的激光功率比前一级增加0-80W。

一种SLM原位合金化制备合金块体的方法

技术领域

[0001] 本发明属于新材料技术领域,具体涉及一种SLM原位合金化制备合金块体的方法。

背景技术

[0002] 选区激光熔化(Selective laser melting,SLM)是金属增材制造的主流加工工艺之一,使用的材料通常为预合金粉末,即原料粉末材料制备前先进行熔炼合金化。SLM使用的粉末主要通过真空气雾化工艺制备,但制备的粉末通常只有不到一半或更少的部分符合SLM的使用要求,并且不同的材料需要相应的制粉工艺来匹配,繁杂的工序和高昂的成本制约了新型SLM材料的开发,目前商用的材料牌号种类十分有限。

[0003] 元素粉末原位合金化技术即原材料采用混合单质粉末或特定合金粉末在激光选区熔化过程中直接完成合金化并同步成型高致密度样件的方法,是一种高效且低成本的材料研发方法,可突破定制化粉末的制粉工艺限制,相比于合金粉末SLM,这种方法在改变合金成分方面具有极高的灵活性,可用于新材料开发及多材料打印领域。

[0004] 然而,由于混合粉末中各个组分存在物性参数差异,采用传统的SLM激光扫描策略和工艺制备的原位合金化样品存在大量的缺陷,不仅成分均匀性较差,还具有大量未熔颗粒、孔洞等组织缺陷,大大降低了样品的力学性能和耐蚀性等使用性能,严重制约了该技术的应用。此外,由于SLM工艺参数众多,每种参数的调控范围宽,在优化工艺的过程中需通过多轮的试错实验摸索,耗时耗力且成本高。

[0005] 鉴于以上原因,特提出本发明。

发明内容

[0006] 为了解决现有技术存在的以上问题,本发明提供了一种SLM原位合金化制备合金块体的方法,本发明使用两种以上的粉末为原料替代单一成分的预合金粉末进行SLM打印,采用激光选区熔化+多级激光后热处理方式,利用有限元软件COMSOL计算出优选的工艺参数,能够大幅度减少试错试验的时间和成本,本发明的方法得到的合金快体的样品致密度高于99.9%,且成分均匀无组织偏析、无明显孔洞等常见打印缺陷。

[0007] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0008] 一种SLM原位合金化制备合金块体的方法,所述方法包括如下步骤:

[0009] (1) 配料及原料混合:采用两种以上的粉末为原料,将各粉末进行干燥脱氧,混合均匀,得到混合粉末;

[0010] (2) 设定成型工艺参数,利用有限元软件COMSOL根据设定的成型工艺参数确定3D打印的工艺参数;

[0011] (3) 在Ar气保护下,采用3D打印机将所述的混合粉末进行打印,打印完成后采用线切割将样品与基板分离,得到所述的SLM原位合金化制备合金块体。

[0012] 进一步的,步骤(1)中所述的粉末包括纯金属单质粉末和/或预合金粉末。

[0013] 进一步的,所述的纯金属单质粉末包括Fe、Cr、Ni、Co、Mn、Mo中的至少一种,所述的

预合金粉末包括铁基合金、镍基合金、钴基合金、高熵合金中的至少一种。

[0014] 进一步的,步骤(1)中每种粉末最低混合比例为1%,所述的粉末为球形,粒度分布为15-53 μm ,氧含量 $<500\text{ppm}$,霍尔流速 $<20\text{s}/50\text{g}$,优选的,纯金属单质粉末的纯度 $>99.5\%$ 。

[0015] 进一步的,步骤(1)中干燥温度为100-200 $^{\circ}\text{C}$,在真空度小于绝对压力10KPa下干燥2-3h,优选的,在25-100r/min的转速下混合3-24h。

[0016] 进一步的,步骤(2)中3D打印工艺对每层粉末采用激光选区熔化+多级激光后热处理。

[0017] 进一步的,激光选区熔化参数具体设定如下:铺粉层厚度为20-50 μm ,激光功率为100-250W,扫描速度为600-1500mm/s,扫描线间距为50-200 μm ,光斑直径为50-100 μm ,单层扫描路径为折返式扫描,层与层之间的扫描路径为垂直扫描。

[0018] 进一步的,多级激光后热处理参数具体设定如下:激光功率为100-300W,扫描速度为500-1200mm/s,扫描线间距为50-120 μm ,光斑直径为50-100 μm ,单层扫描路径为折返式扫描,层与层之间的扫描路径为垂直扫描。

[0019] 进一步的,多级激光后热处理采用2-6级,扫描过程中每一级的激光功率比前一级增加0-80W。

[0020] 进一步的,首先设定如下参数:单层液态熔融时长 $\geq 0.1\text{s}$,熔池深度大于层厚的1.5倍,熔池宽度 \geq 熔池深度的0.5倍,以上述设定的参数为约束条件,将设定的激光选区熔化参数和设定的多级激光后热处理参数输入有限元软件COMSOL中,确定3D打印的工艺参数。

[0021] 进一步的,步骤(3)中3D打印中氧气含量控制在1000ppm以内。

[0022] 本发明中利用有限元软件COMSOL根据设定的成型工艺参数确定3D打印的工艺参数,首先建立SLM多道扫描温度场模型,建模的主要步骤包括如下:

[0023] (1)定义参数:包括激光选区熔化参数和多级激光后热处理参数;

[0024] (2)定义变量:包括热源及路径,热源采用高斯体热源,路径包括5道次;

[0025] (3)建立模型:包括基板和粉床模型;

[0026] (4)从软件材料库中加载材料:对基板和粉床添加材料属性;

[0027] (5)设置边界条件:对粉床顶面添加环境辐射和高斯体热源条件边界条件;

[0028] (6)网格划分:粉床网格尺寸为极细化,基板为常规尺寸;

[0029] (7)研究设置:设置瞬态研究时间;

[0030] (8)计算。

[0031] 将设定的激光选区熔化参数和设定的多级激光后热处理参数输入到有限元模型中,以单层液态熔融时长 $\geq 0.1\text{s}$,熔池深度大于层厚的1.5倍,熔池宽度 \geq 熔池深度的0.5倍为约束条件,计算出合适的3D打印工艺参数。

[0032] 与现有技术相比,本发明的有益效果为:

[0033] (1)本发明使用两种以上的粉末为原料替代单一成分的预合金粉末进行SLM打印,采用激光选区熔化+多级激光后热处理方式,多级激光后热处理可显著提高打印过程中熔池液态停留时长,使各种元素充分完成互扩散,形成均质化的固溶体,能有效解决混合粉末SLM产生的组织偏析、界面相和未熔颗粒等缺陷;此外,多级激光后热处理通过重熔的方式

可将熔池表面的飞溅颗粒、未熔颗粒、球化颗粒以及未熔合孔洞消除,有助于提高样品的表面粗糙度,进而降低样品内部的孔洞缺陷数量,提高样品的致密度。利用有限元软件COMSOL计算出优选的工艺参数,能够大幅度减少试错试验的时间和成本,本发明的方法得到的合金快体的样品致密度高于99.9%,且成分均匀无组织偏析、无明显孔洞等常见打印缺陷,具有良好的成型性能;

[0034] (2) 本发明制备的合金块体可突破定制化粉末的制粉工艺限制,在3D打印金属材料成分设计方面具有极高的灵活性,通用性强,适用于Fe、Cr、Ni、Co、Mn、Mo等单质粉末和铁基合金、镍基合金、钴基合金、高熵合金等预合金粉末材料,本发明的方法在3D打印过程中直接发生微区原位冶金,不同于现有技术的先进行“冶金+制粉”后再3D打印的方法。

附图说明

[0035] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0036] 图1是本发明中所述的3D打印工艺中单层扫描路径图;

[0037] 图2是本发明中所述的3D打印工艺中层间扫描路径图;

[0038] 图3是本发明实施例1制备的304L不锈钢合金块体的成品图;

[0039] 图4是本发明实施例1制备的304L不锈钢合金块体致密度与缺陷分析结果图;

[0040] 图5是本发明实施例1制备的304L不锈钢合金块体是EDS能谱扫描图;

[0041] 图6是本发明实施例1制备的304L不锈钢合金块体XRD图;

[0042] 图7是本发明实施例1制备的304L不锈钢合金块体与现有技术中预合金粉末304L不锈钢合金块体的力学性能对比图。

具体实施方式

[0043] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将对本发明的技术方案进行详细的描述。显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动的前提下所得到的所有其它实施方式,都属于本发明所保护的范围。

[0044] 本发明中所述的3D打印单层扫描路径如图1所示,层间扫描路径如图2所示。

[0045] 实施例1

[0046] 本实施例提供了一种SLM原位合金化制备高致密度高均匀性的304L不锈钢合金块体的方法,包括如下步骤:

[0047] (1) 配料及原料混合:按如下质量分数称取采用真空雾化法制备的球形铁粉、铬粉和镍粉三种单质粉末,Fe 73.0%、Cr 18.0%、Ni 9%,各单质粉末粒度分布为15-53 μ m,氧含量<500ppm,霍尔流速<20s/50g,纯金属单质粉末的纯度>99.5%,将各粉末分别进行干燥,干燥温度为100 $^{\circ}$ C,真空度小于绝对压力10KPa下干燥2h,将干燥的各粉末放置于混料机中充分混合均匀,其中,在50r/min的转速下混合10h;

[0048] (2) 设定成型工艺参数,采用3D打印工艺,其中,3D打印工艺对每层粉末采用激光

选区熔化+多级激光后热处理,利用有限元软件COMSOL建立SLM多道扫描温度场模型,经计算得出的优选工艺参数如下:

[0049] 激光选区熔化参数具体设定如下:铺粉层厚度为 $30\mu\text{m}$,激光功率为150W,扫描速度为 800mm/s ,扫描线间距为 $100\mu\text{m}$,光斑直径为 $60\mu\text{m}$,单层扫描路径为折返式扫描,层与层之间的扫描路径为垂直扫描;

[0050] 多级激光后热处理参数具体设定如下:多级激光后热处理采用3级,第1级的参数如下:激光功率为200W,扫描速度为 800mm/s ,扫描线间距为 $100\mu\text{m}$,光斑直径为 $50\mu\text{m}$,单层扫描路径为折返式扫描,层与层之间的扫描路径为垂直扫描,第2和第3级的激光功率在第1级的基础上分别增加40W和80W,其余参数均相同;

[0051] (3)将干燥脱氧后的混合粉末置于金属3D打印机中进行打印,构建多个预定尺寸的块体($10\text{mm}\times 10\text{mm}\times 8\text{mm}$),打印过程中采用Ar气保护,氧含量在1000ppm以内,打印基板采用304不锈钢材质,基板尺寸为 $300\text{cm}\times 300\text{cm}\times 2\text{cm}$,打印完成后采用线切割将样品与基板分离,得到所述的SLM原位合金化制备高致密度高均匀性的304L不锈钢合金块体。

[0052] 本实施例制备的304L不锈钢合金块体的成品图片如图3所示,致密度与缺陷分析结果如图4所示,通过图4可知成分均匀无偏析无未熔颗粒,致密度为99.96%,EDS能谱扫描图如图5所示,样品经EDS点扫描检测(共取10个点,每两个点之间最少相隔 $500\mu\text{m}$)的成分波动最大仅为0.7%,XRD分析结果如图6所示,显微组织为单相奥氏体结构,与预合金粉304L激光选区熔化制备的样品室温组织相同。

[0053] 采用本实施例方法制备的304L不锈钢合金块体与现有技术中预合金粉末304L不锈钢合金块体的力学性能对比如图7所示。从图7中可以看出,原位合金化304L样品的抗拉强度为620Mpa,屈服强度为378Mpa,延伸率为64.5%,显微硬度为182HV。预合金粉304L激光选区熔化样品的抗拉强度为623Mpa,屈服强度为375Mpa,延伸率为63%,显微硬度为184HV。在力学性能方面,SLM原位合金化制备的304L不锈钢样品与预合金粉304L激光选区熔化制备的样品处于相当的水平。

[0054] 实施例2

[0055] 本实施例提供一种SLM原位合金化制备高致密度高均匀性的Inconel 625镍基高温合金块体的方法,包括如下步骤:

[0056] (1)配料及原料混合:按如下质量分数称取采用真空雾化法制备的球形铁粉、铬粉、镍粉、钼粉和铌粉五种单质粉末,Ni 62.5%、Cr 22.0%、Mo 9.0%、Nb 3.5%、Fe 3.0%,各单质粉末粒度分布为 $15-53\mu\text{m}$,氧含量 $<500\text{ppm}$,霍尔流速 $<20\text{s}/50\text{g}$,纯金属单质粉末的纯度 $>99.5\%$,将各粉末分别进行干燥,干燥温度为 150°C ,真空度小于绝对压力10KPa下干燥2.5h,将干燥的各粉末放置于混料机中充分混合均匀,其中,在 $25\text{r}/\text{min}$ 的转速下混合24h;

[0057] (2)设定成型工艺参数,采用3D打印工艺,其中,3D打印工艺对每层粉末采用激光选区熔化+多级激光后热处理,利用有限元软件COMSOL建立SLM多道扫描温度场模型,经计算得出的优选工艺参数如下:

[0058] 激光选区熔化参数具体设定如下:铺粉层厚度为 $20\mu\text{m}$,激光功率为100W,扫描速度为 600mm/s ,扫描线间距为 $50\mu\text{m}$,光斑直径为 $75\mu\text{m}$,单层扫描路径为折返式扫描,层与层之间的扫描路径为垂直扫描;

[0059] 多级激光后热处理参数具体设定如下:多级激光后热处理采用5级,第1级的参数如下:激光功率为100W,扫描速度为500mm/s,扫描线间距为50 μ m,光斑直径为75 μ m,单层扫描路径为折返式扫描,层与层之间的扫描路径为垂直扫描,第2、第3级、第4级和第5级的激光功率在第1级基础上逐级增加10W,其余参数均相同;

[0060] (3) 将干燥脱氧后的混合粉末置于金属3D打印机中进行打印,构建多个预定尺寸的块体(10mm \times 10mm \times 8mm),打印过程中采用Ar气保护,氧含量在1000ppm以内,打印基板采用304不锈钢材质,基板尺寸为300cm \times 300cm \times 2cm,打印完成后采用线切割将样品与基板分离,得到所述的SLM原位合金化制备高致密度高均匀性的Inconel 625镍基高温合金块体。

[0061] 本实施例制备的合金块体经测试,致密度为99.94%,样品经EDS点扫描检测(共取10个点,每两个点之间最少相隔500 μ m)的成分波动最大仅为1.1%。

[0062] 实施例3

[0063] 本实施例提供一种SLM原位合金化制备高致密度高均匀性的CoCrFeNi高熵合金块体的方法,包括如下步骤:

[0064] (1) 配料及原料混合:按如下质量分数称取采用真空雾化法制备的球形铁粉、钴粉、铬粉和镍粉四种单质粉末,Fe 24.76%、Co 26.13%、Cr 23.07%、Ni 26.04%,各单质粉末粒度分布为15-53 μ m,氧含量 $<$ 500ppm,霍尔流速 $<$ 20s/50g,纯金属单质粉末的纯度 $>$ 99.5%,将各粉末分别进行干燥,干燥温度为200 $^{\circ}$ C,真空度小于绝对压力10KPa下干燥3h,将干燥的各粉末放置于混料机中充分混合均匀,其中,在100r/min的转速下混合3h;

[0065] (2) 设定成型工艺参数,采用3D打印工艺,其中,3D打印工艺对每层粉末采用激光选区熔化+多级激光后热处理,利用有限元软件COMSOL建立SLM多道扫描温度场模型,经计算得出的优选工艺参数如下:

[0066] 激光选区熔化参数具体设定如下:铺粉层厚度为50 μ m,激光功率为250W,扫描速度为1500mm/s,扫描线间距为200 μ m,光斑直径为50 μ m,单层扫描路径为折返式扫描,层与层之间的扫描路径为垂直扫描;

[0067] 多级激光后热处理参数具体设定如下:多级激光后热处理采用4级,第1级的参数如下:激光功率为100W,扫描速度为1200mm/s,扫描线间距为120 μ m,光斑直径为100 μ m,单层扫描路径为折返式扫描,层与层之间的扫描路径为垂直扫描,第2、第3级和第4级的激光能量数值在第1级参数的基础上逐级增加12W,其余参数均相同;

[0068] (3) 将干燥脱氧后的混合粉末置于金属3D打印机中进行打印,构建多个预定尺寸的块体(10mm \times 10mm \times 8mm),打印过程中采用Ar气保护,氧含量在1000ppm以内,打印基板采用304不锈钢材质,基板尺寸为300cm \times 300cm \times 2cm,打印完成后采用线切割将样品与基板分离,得到所述的SLM原位合金化制备高致密度高均匀性的CoCrFeNi高熵合金块体。

[0069] 本实施例制备的合金块体经测试,致密度为99.97%,样品经EDS点扫描检测(共取10个点,每两个点之间最少相隔500 μ m)的成分波动最大仅为0.9%。

[0070] 实施例4

[0071] 本实施例提供一种SLM原位合金化制备高致密度高均匀性的304L-Inconel625合金块体的方法,包括如下步骤:

[0072] (1) 配料及原料混合:按如下质量分数称取采用真空雾化法制备的球形304L和

Inconel 625合金粉末,304L 50.00%、Inconel 625 50.00%,各粉末粒度分布为15-53 μm ,氧含量 $<500\text{ppm}$,霍尔流速 $<20\text{s}/50\text{g}$,将各粉末分别进行干燥,干燥温度为 200°C ,真空度小于绝对压力 10KPa 下干燥3h,将干燥的各粉末放置于混料机中充分混合均匀,其中,在 $100\text{r}/\text{min}$ 的转速下混合3h;

[0073] (2) 设定成型工艺参数,采用3D打印工艺,其中,3D打印工艺对每层粉末采用激光选区熔化+多级激光后热处理,利用有限元软件COMSOL建立SLM多道扫描温度场模型,经计算得出的优选工艺参数如下:

[0074] 激光选区熔化参数具体设定如下:铺粉层厚度为 $30\mu\text{m}$,激光功率为 200W ,扫描速度为 $1200\text{mm}/\text{s}$,扫描线间距为 $150\mu\text{m}$,光斑直径为 $60\mu\text{m}$,单层扫描路径为折返式扫描,层与层之间的扫描路径为垂直扫描;

[0075] 多级激光后热处理参数具体设定如下:多级激光后热处理采用3级,第1级的参数如下:激光功率为 120W ,扫描速度为 $1200\text{mm}/\text{s}$,扫描线间距为 $80\mu\text{m}$,光斑直径为 $80\mu\text{m}$,单层扫描路径为折返式扫描,层与层之间的扫描路径为垂直扫描,第2和第3级的激光能量数值在第1级参数的基础上逐级增加 10W ,其余参数均相同;

[0076] (3) 将干燥脱氧后的混合粉末置于金属3D打印机中进行打印,构建多个预定尺寸的块体($10\text{mm}\times 10\text{mm}\times 8\text{mm}$),打印过程中采用Ar气保护,氧含量在 1000ppm 以内,打印基板采用304不锈钢材质,基板尺寸为 $300\text{cm}\times 300\text{cm}\times 2\text{cm}$,打印完成后采用线切割将样品与基板分离,得到所述的SLM原位合金化制备高致密度高均匀性的304L-Inconel 625合金块体。

[0077] 本实施例制备的合金块体经测试,致密度为 99.98% ,样品经EDS点扫描检测(共取10个点,每两个点之间最少相隔 $500\mu\text{m}$)的成分波动最大仅为 0.7% 。

[0078] 实施例5

[0079] 本实施例提供一种SLM原位合金化制备高致密度高均匀性的CoCrFeNiMo高熵合金块体的方法,包括如下步骤:

[0080] (1) 配料及原料混合:按如下质量分数称取采用真空雾化法制备的球形等原子比CoCrFeNi高熵合金粉和Mo单质粉两种粉末,CoCrFeNi 72.00%、Mo28.00%,各粉末粒度分布为15-53 μm ,氧含量 $<500\text{ppm}$,霍尔流速 $<20\text{s}/50\text{g}$,纯金属单质粉末的纯度 $>99.5\%$,将各粉末分别进行干燥,干燥温度为 200°C ,真空度小于绝对压力 10KPa 下干燥3h,将干燥的各粉末放置于混料机中充分混合均匀,其中,在 $100\text{r}/\text{min}$ 的转速下混合3h;

[0081] (2) 设定成型工艺参数,采用3D打印工艺,其中,3D打印工艺对每层粉末采用激光选区熔化+多级激光后热处理,利用有限元软件COMSOL建立SLM多道扫描温度场模型,经计算得出的优选工艺参数如下:

[0082] 激光选区熔化参数具体设定如下:铺粉层厚度为 $30\mu\text{m}$,激光功率为 250W ,扫描速度为 $1200\text{mm}/\text{s}$,扫描线间距为 $150\mu\text{m}$,光斑直径为 $60\mu\text{m}$,单层扫描路径为折返式扫描,层与层之间的扫描路径为垂直扫描;

[0083] 多级激光后热处理参数具体设定如下:多级激光后热处理采用4级,第1级的参数如下:激光功率为 120W ,扫描速度为 $1200\text{mm}/\text{s}$,扫描线间距为 $80\mu\text{m}$,光斑直径为 $80\mu\text{m}$,单层扫描路径为折返式扫描,层与层之间的扫描路径为垂直扫描,第2、第3级和第4级的激光能量数值在第1级参数的基础上逐级增加 8W ,其余参数均相同;

[0084] (3) 将干燥脱氧后的混合粉末置于金属3D打印机中进行打印,构建多个预定尺寸

的块体(10mm×10mm×8mm),打印过程中采用Ar气保护,氧含量在1000ppm以内,打印基板采用304不锈钢材质,基板尺寸为300cm×300cm×2cm,打印完成后采用线切割将样品与基板分离,得到所述的SLM原位合金化制备高致密度高均匀性的CoCrFeNiMo高熵合金块体。

[0085] 本实施例制备的合金块体经测试,致密度为99.95%,样品经EDS点扫描检测(共取10个点,每两个点之间最少相隔500μm)的成分波动最大仅为0.8%。

[0086] 以上所述,仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应以所述权利要求的保护范围为准。

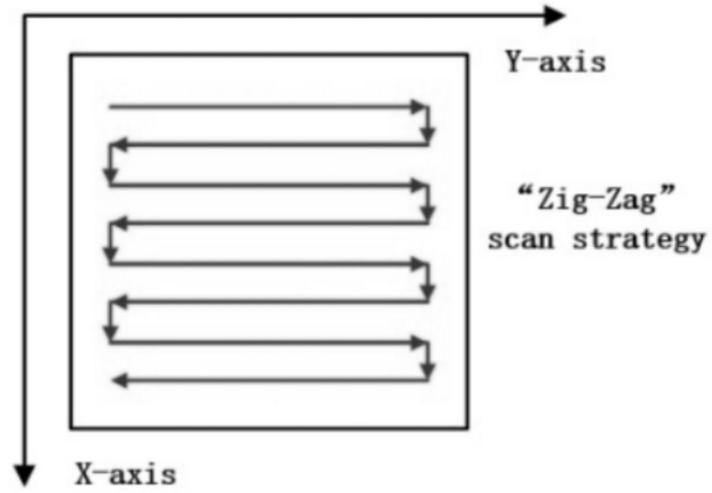


图1

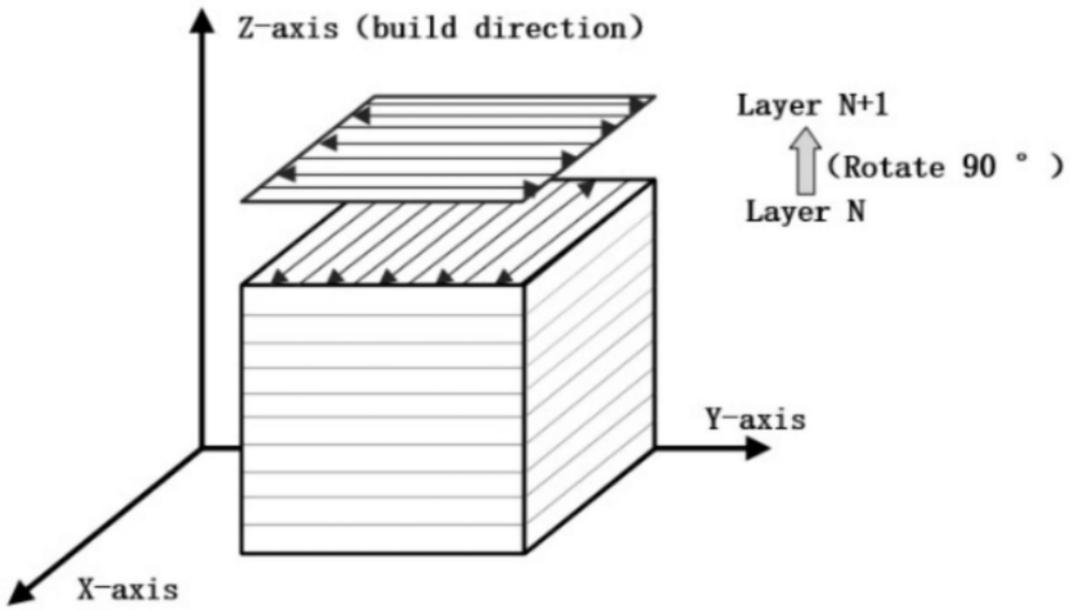


图2

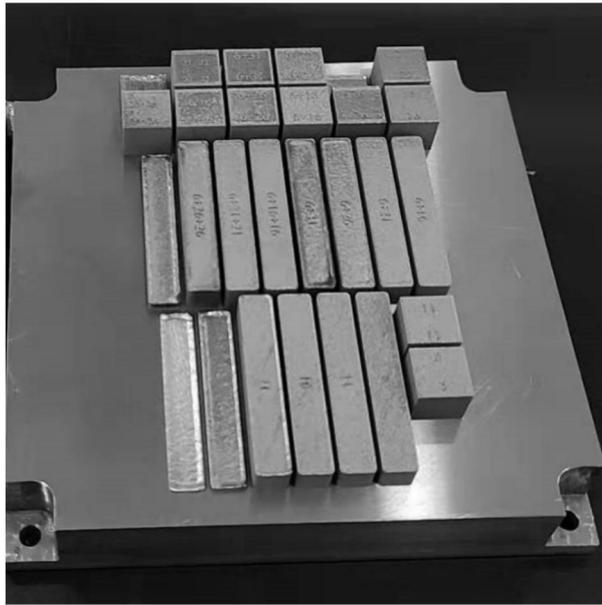


图3



图4

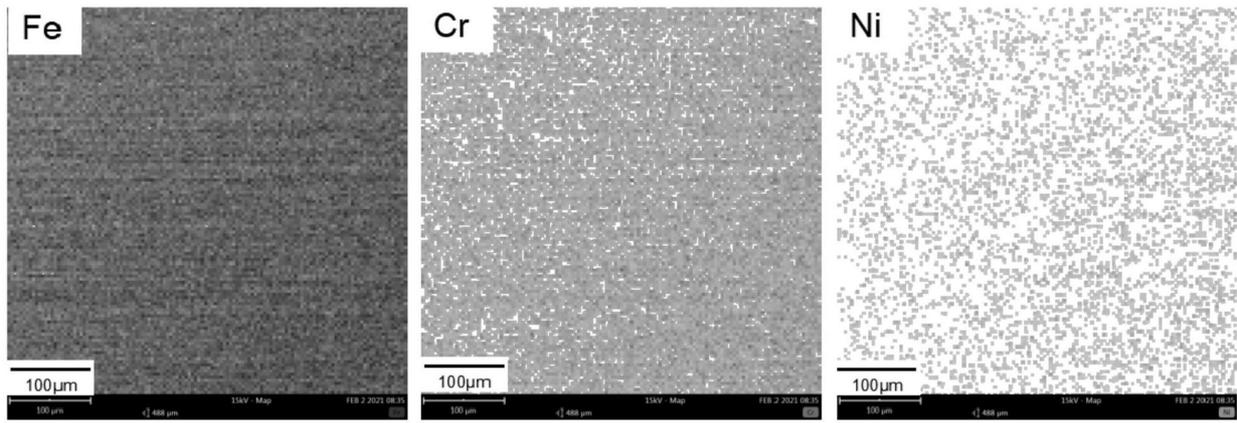


图5

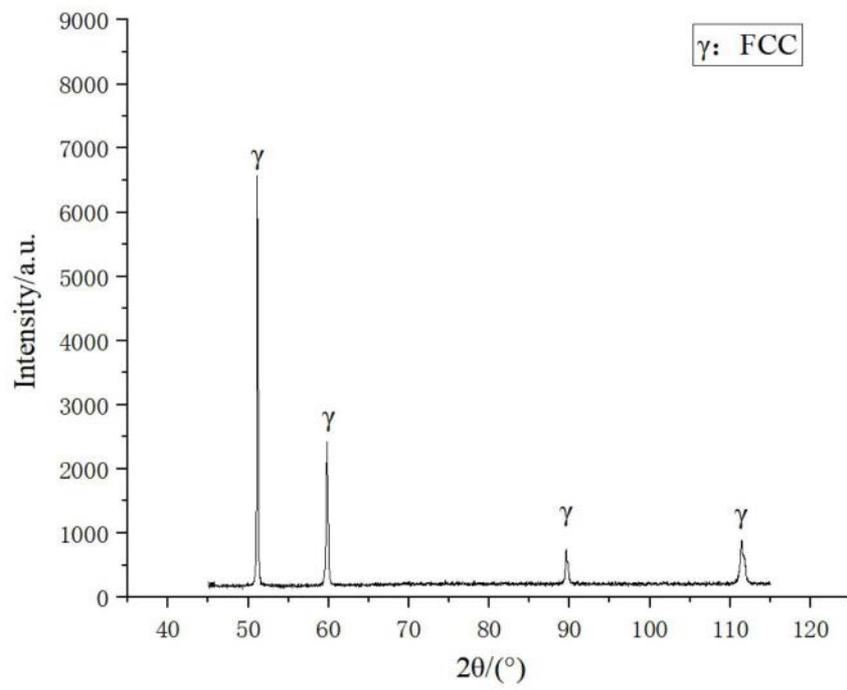


图6

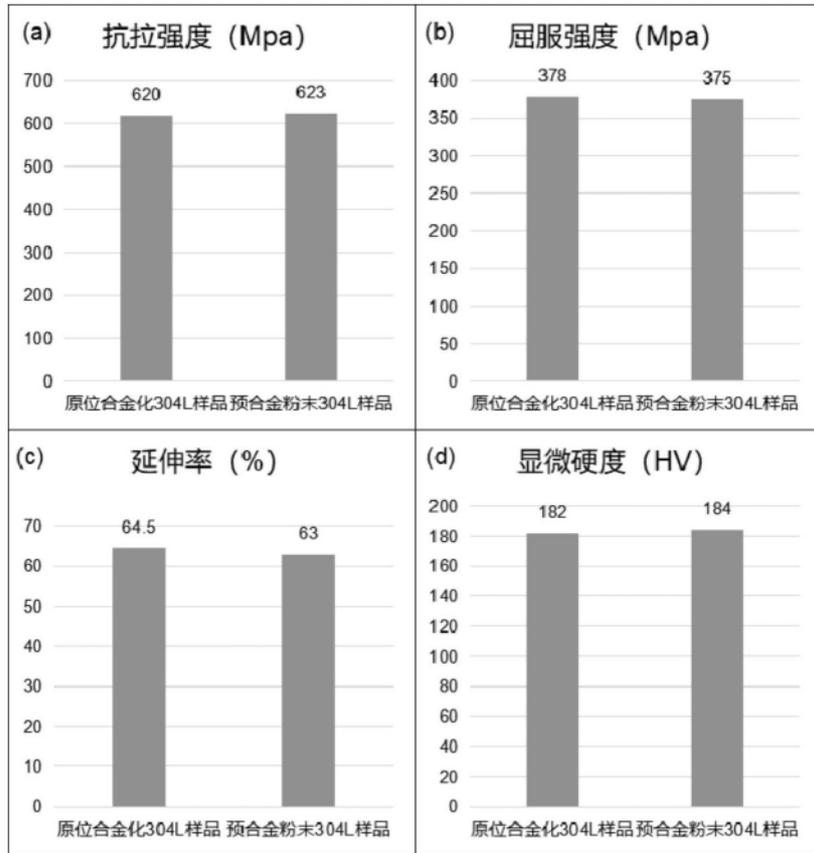


图7