



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110369727 A

(43)申请公布日 2019.10.25

(21)申请号 201910823511.6

(22)申请日 2019.09.02

(71)申请人 合肥工业大学智能制造技术研究院

地址 230051 安徽省合肥市包河区花园大道8号

(72)发明人 支辛蕾 袁自钧 陈向东 闫昭华

(74)专利代理机构 安徽省合肥新安专利代理有限责任公司 34101

代理人 何梅生

(51)Int.Cl.

B22F 3/105(2006.01)

B33Y 10/00(2015.01)

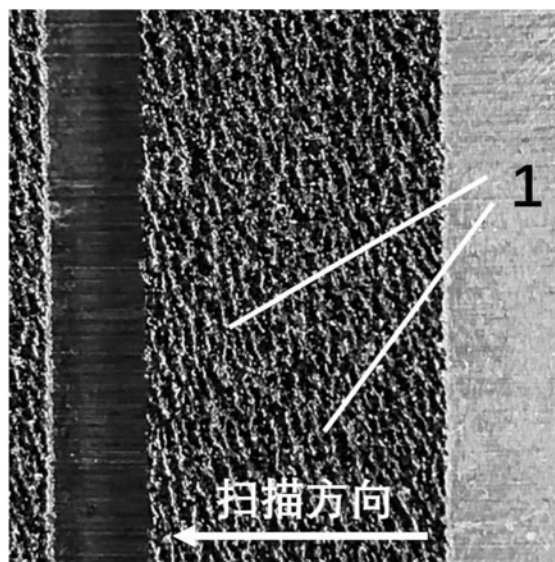
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种选择性激光熔化加工无纵向支撑水平悬空结构的方法

(57)摘要

本发明公开了一种选择性激光熔化加工无纵向支撑水平悬空结构的方法,其特征是依次成形初始层、修复层和常规层;初始层是采用离焦状态的光斑、设置低于常规速率的扫描方式打印成型,使初始层中各熔道发生普拉拖-瑞利不稳定效应,形成具有特定纹理结构的初始层;修复层是采用聚焦状态的光斑,以连续激光输出模式,设置高于常规速率的扫描方式在所述初始层的上表面打印成型,并完成在设定的加工层数内由过渡工艺参数向常规工艺参数的过渡;常规层是采用常规工艺参数在所述修复层的上表面打印常规层,形成无纵向支撑水平悬空结构。本发明方法无纵向支撑直接成形稳定的水平悬空结构,有效拓展SLM技术的实际应用。



1. 一种选择性激光熔化加工无纵向支撑水平悬空结构的方法,其特征是依次成形初始层、修复层和常规层;

所述初始层是采用离焦状态的光斑、设置低于常规速率的扫描方式打印成型,使所述初始层中各熔道发生普拉拖-瑞利不稳定效应,形成具有特定纹理结构的初始层;所述特定纹理结构是指:利用熔道发生普拉拖-瑞利不稳定效应形成不同于扫描方向的纹理;

所述修复层是采用聚焦状态的光斑,以连续激光输出模式,设置高于常规速率的扫描方式在所述初始层的上表面打印成型,并完成在设定的加工层数内由过渡工艺参数向常规工艺参数的过渡;

所述常规层是采用常规工艺参数在所述修复层的上表面打印常规层,形成无纵向支撑水平悬空结构。

2. 根据权利要求1所述的选择性激光熔化加工无纵向支撑水平悬空结构的方法,其特征是:

设置所述初始层的工艺参数为:

$$A_1 = (1.4 \sim 1.7) A_3; V_1 = (10\% \sim 40\%) V_3; L_1 = (1.3 \sim 1.6) L_3; M_3 < M_1$$

其中:

A_1 初始层扫描光斑直径; A_3 为常规层扫描光斑直径;

V_1 为初始层扫描速率; V_3 为常规层扫描速率;

L_1 为初始层扫描间距; L_3 为常规层扫描间距;

M_1 为初始层线能量密度; M_3 为常规层线能量密度;

初始层加工层数为1层; 线能量密度=激光功率/扫描速率。

3. 根据权利要求2所述的选择性激光熔化加工无纵向支撑水平悬空结构的方法,其特征是:采用过渡工艺参数按如下两个阶段在所述初始层的上表面打印形成修复层:

第一阶段:采用连续激光输出模式进行高速扫描:

$$A_{21} = A_3; V_{21} = (3 \sim 6) V_3; L_3 < L_{21} < L_1; M_{21} = (50\% \sim 70\%) M_3;$$

其中:

A_{21} 为第一阶段扫描光斑直径; V_{21} 为第一阶段扫描速率;

L_{21} 为第一阶段扫描间距; M_{21} 为第一阶段线能量密度;

第一阶段的加工层数为2~4层,其中,第一层扫描方向与初始层扫描方向成不为零的夹角,后续各层的扫描方向逐层旋转90度;

第二阶段:除线能量密度和扫描间距之外,其它工艺参数均设置为选择性激光熔化加工的常规工艺参数;

所述线能量密度和扫描间距设置为:自线能量密度 M_{21} 起,逐层提高第二阶段中各加工层线能量密度;并自扫描间距 L_{21} 起,逐层减小第二阶段中各加工层扫描间距,使得在10~20个加工层内完成与常规层所有工艺参数相一致的过渡。

4. 根据权利要求3所述的选择性激光熔化加工无纵向支撑水平悬空结构的方法,其特征是:针对不锈钢粉材,按如下步骤打印形成无纵向支撑水平悬空结构:

步骤1:

采用连续激光进行单向扫描,激光功率40W,光斑直径90~100 μ m,扫描速率0.1m/s,扫描间距65 μ m,层厚30 μ m,加工层数1层;线能量密度 $M_1=400$ 焦耳/米;

步骤2:

第一阶段:采用连续激光进行单向扫描,激光功率300W,光斑直径60~70 μm ,扫描速率1.5m/s,扫描间距60 μm ,层厚30 μm ,加工层数2~4层;线能量密度 $M_{21}=200$ 焦耳/米;

第二阶段:

首先:采用占空比为30%的脉冲激光进行单向扫描,激光平均功率在80-90W之间逐步提高,光斑直径60~70 μm ,扫描速率0.3m/s,扫描间距60 μm ,层厚30 μm ,加工层数5层;然后,保持其它参数不变,激光平均功率在90-100W之间逐步提高,扫描间距50 μm ,加工层数10层。

步骤3:

采用占空比为30%的脉冲激光进行单向扫描,激光平均功率100W,光斑直径60~70 μm ,扫描速率0.3m/s,扫描间距50 μm ,层厚30 μm ;线能量密度 $M_3=333$ 焦耳/米。

一种选择性激光熔化加工无纵向支撑水平悬空结构的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及增材制造即3D打印技术领域,特别是金属材料选择性激光熔化(Selective Laser Melting-SLM)加工中,水平悬空结构的成形加工方法。

背景技术

[0002] 选择性激光熔化(SLM)是金属增材制造的主流技术之一,基于分层制造理念,该技术通过建立工件数字模型、切片分层、路径规划来获取相应的加工数据,然后利用激光将工件逐层打印出来。选择性激光熔化(SLM)区别于传统切削加工的制造工艺,理论上其制造过程不受金属零件结构的限制,能够广泛应用于航空航天、医疗和汽车制造等领域。

[0003] 工件的悬空部位是3D打印加工中的难点,通常采用设置临时纵向支撑的方法,即先在悬空部位的下方打印纵向支撑,待加工完成后再将支撑去除。对于选择性激光熔化(SLM)技术来说,纵向支撑与工件均由同种金属粉末加工而成,去除较为困难,特别是对于空腔结构,其内部支撑几乎无法去除,这使得SLM难以加工内部具有平顶的腔体结构,制约了SLM技术的实际应用。

发明内容

[0004] 本发明针对上述现有技术所存在的不足之处,提供一种选择性激光熔化加工无纵向支撑水平悬空结构的方法,以解决目前空腔结构中平顶部位难以加工的问题。

[0005] 本发明解决技术问题采用如下技术方案:

[0006] 本发明选择性激光熔化加工无纵向支撑水平悬空结构的方法的特点是:依次成形初始层、修复层和常规层;

[0007] 所述初始层是采用离焦状态的光斑、设置低于常规速率的扫描方式打印成型,使所述初始层中各熔道发生普拉拖-瑞利不稳定效应,形成具有特定纹理结构的初始层;所述特定纹理结构是指:利用熔道发生普拉拖-瑞利不稳定效应形成不同于扫描方向的纹理;

[0008] 所述修复层是采用聚焦状态的光斑,以连续激光输出模式,设置高于常规速率的扫描方式在所述初始层的上表面打印成型,并完成在设定的加工层数内由过渡工艺参数向常规工艺参数的过渡;

[0009] 所述常规层是采用常规工艺参数在所述修复层的上表面打印常规层,形成无纵向支撑水平悬空结构。

[0010] 本发明选择性激光熔化加工无纵向支撑水平悬空结构的方法的特点也在于:

[0011] 设置所述初始层的工艺参数为:

[0012] $A_1 = (1.4 \sim 1.7) A_3$; $V_1 = (10\% \sim 40\%) V_3$; $L_1 = (1.3 \sim 1.6) L_3$; $M_3 < M_1$

[0013] 其中:

[0014] A_1 为初始层扫描光斑直径; A_3 为常规层扫描光斑直径;

[0015] V_1 为初始层扫描速率; V_3 为常规层扫描速率;

[0016] L_1 为初始层扫描间距; L_3 为常规层扫描间距;

- [0017] M_1 为初始层线能量密度; M_3 为常规层线能量密度;
- [0018] 初始层加工层数为1层;线能量密度=激光功率/扫描速率;
- [0019] 本发明选择性激光熔化加工无纵向支撑水平悬空结构的方法的特点也在于:采用过渡工艺参数按如下两个阶段在所述初始层的上表面打印形成修复层:
- [0020] 第一阶段:采用连续激光输出模式进行高速扫描;
- [0021] $A_{21}=A_3$; $V_{21}=(3\sim6)V_3$; $L_3<L_{21}<L_1$; $M_{21}=(50\%\sim70\%)M_3$;
- [0022] 其中:
- [0023] A_{21} 为第一阶段扫描光斑直径; V_{21} 为第一阶段扫描速率;
- [0024] L_{21} 为第一阶段扫描间距; M_{21} 为第一阶段线能量密度;
- [0025] 第一阶段的加工层数为2~4层,其中,第一层扫描方向与初始层扫描方向成不为零的夹角,后续各层的扫描方向逐层旋转90度;
- [0026] 第二阶段:除线能量密度和扫描间距之外,其它工艺参数均设置为选择性激光熔化加工的常规工艺参数;
- [0027] 所述线能量密度和扫描间距设置为:自线能量密度 M_{21} 起,逐层提高第二阶段中各加工层线能量密度;并自扫描间距 L_{21} 起,逐层减小第二阶段中各加工层扫描间距,使得在10~20个加工层内完成与常规层所有工艺参数相一致的过渡。
- [0028] 本发明选择性激光熔化加工无纵向支撑水平悬空结构的方法的特点也在于:针对不锈钢粉材,按如下步骤打印形成无纵向支撑水平悬空结构:
- [0029] 步骤1:
- [0030] 采用连续激光进行单向扫描,激光功率40W,光斑直径90~100 μm ,扫描速率0.1m/s,扫描间距65 μm ,层厚30 μm ,加工层数1层;线能量密度 $M_1=400$ 焦耳/米;
- [0031] 步骤2:
- [0032] 第一阶段:采用连续激光进行单向扫描,激光功率300W,光斑直径60~70 μm ,扫描速率1.5m/s,扫描间距60 μm ,层厚30 μm ,加工层数2~4层;线能量密度 $M_{21}=200$ 焦耳/米;
- [0033] 第二阶段:
- [0034] 首先:采用占空比为30%的脉冲激光进行单向扫描,激光平均功率在80-90W之间逐步提高,光斑直径60~70 μm ,扫描速率0.3m/s,扫描间距60 μm ,层厚30 μm ,加工层数5层;然后,保持其它参数不变,激光平均功率在90-100W之间逐步提高,扫描间距50 μm ,加工层数10层。
- [0035] 步骤3:
- [0036] 采用占空比为30%的脉冲激光进行单向扫描,激光平均功率100W,光斑直径60~70 μm ,扫描速率0.3m/s,扫描间距50 μm ,层厚30 μm ;线能量密度 $M_3=333$ 焦耳/米。
- [0037] 与已有技术相比,本发明有益效果体现在:
- [0038] 利用本发明给出的加工方法,可在不设置纵向支撑的前提下直接成形稳定的水平悬空结构,这能解决以下两方面的问题,拓展SLM技术的实际应用。
- [0039] 1、有效解决SLM技术无法加工平顶空腔的难题,增强SLM加工复杂腔体结构的能力。
- [0040] 2、对于外部水平悬空部位的加工,只需在边缘带设置少量纵向支撑以对抗残余应力,大幅简化了工件的加工及后处理过程,降低了工件制作成本。

附图说明

- [0041] 图1由普拉拖-瑞利不稳定效应形成的初始水平悬空层实物顶视影像；
- [0042] 图2为本发明实施例1中完成打印的大跨度初始水平悬空层实物影像；
- [0043] 图3为本发明实施例2中完成打印的不锈钢平顶空腔工件实物影像；
- [0044] 图4为本发明实施例2中工件切割后中段侧视图影像。
- [0045] 图中标号：1纵向纹理，2不锈钢基板，3第一初始水平悬空层，4第二初始水平悬空层，5平顶空腔工件，6空腔。

具体实施方式

[0046] 本实施例中选择性激光熔化加工无纵向支撑水平悬空结构的方法是依次成形初始层、修复层和常规层。

[0047] 初始层是采用离焦状态的光斑、设置低于常规速率的扫描方式打印成型，使初始层中各熔道发生普拉拖-瑞利不稳定效应(Plateau-Rayleigh instability)，形成具有特定纹理结构的初始层；特定纹理结构是指：利用熔道发生普拉拖-瑞利不稳定效应形成不同于扫描方向的纹理；图1中以箭头示意的扫描方向为横向，纹理方向为纵向，即图1所示的纵向纹理1。

[0048] 修复层是采用聚焦状态的光斑，以连续激光输出模式，设置高于常规速率的扫描方式在初始层的上表面打印成型，并完成在设定的加工层数内由过渡工艺参数向常规工艺参数的过渡。

[0049] 常规层是采用常规工艺参数在修复层的上表面打印常规层，形成无纵向支撑水平悬空结构。

[0050] 具体实施中，设置初始层的工艺参数为：

[0051] $A_1 = (1.4 \sim 1.7) A_3$ ； $V_1 = (10\% \sim 40\%) V_3$ ； $L_1 = (1.3 \sim 1.6) L_3$ ； $M_3 < M_1$

[0052] 其中：

[0053] A_1 初始层扫描光斑直径； A_3 为常规层扫描光斑直径；

[0054] V_1 为初始层扫描速率； V_3 为常规层扫描速率；

[0055] L_1 为初始层扫描间距； L_3 为常规层扫描间距；

[0056] M_1 为初始层线能量密度； M_3 为常规层线能量密度；

[0057] 初始层加工层数为1层；线能量密度=激光功率/扫描速率；

[0058] 针对初始层打印，提供足够的线能量密度，以保证金属粉末在低扫描速率和较大光斑直径的情况下能够充分熔化；采用较低的扫描速率和较大的光斑增加熔池流动性和流动时间，进而发生普拉拖-瑞利不稳定现象(Plateau-Rayleigh instability)；通过离焦增大扫描光斑，降低加工过程中的溅射。

[0059] 具体实施中，采用过渡工艺参数按如下两个阶段在初始层的上表面打印形成修复层：

[0060] 第一阶段：采用连续激光输出模式进行高速扫描：

[0061] $A_{21} = A_3$ ； $V_{21} = (3 \sim 6) V_3$ ； $L_3 < L_{21} < L_1$ ； $M_{21} = (50\% \sim 70\%) M_3$ ；

[0062] 其中：

[0063] A_{21} 为第一阶段扫描光斑直径； V_{21} 为第一阶段扫描速率；

[0064] L_{21} 为第一阶段扫描间距; M_{21} 为第一阶段线能量密度;

[0065] 第一阶段的加工层数为2~4层,其中,第一层扫描方向与初始层扫描方向成不为零的夹角,后续各层的扫描方向逐层旋转90度;第一阶段对初始水平悬空层的上表面进行快速修复,降低其表面粗糙度,同时提高悬空部位的机械强度。

[0066] 第二阶段:除线能量密度和扫描间距之外,其它工艺参数均设置为选择性激光熔化加工的常规工艺参数;

[0067] 线能量密度和扫描间距设置为:自线能量密度 M_{21} 起,逐层提高第二阶段中各加工层线能量密度;并自扫描间距 L_{21} 起,逐层减小第二阶段中各加工层扫描间距,使得在10~20个加工层内完成与常规层所有工艺参数相一致的过渡;第二阶段用来向常规层打印参数过渡,并进一步提高悬空部位的机械强度,为转入常规层的打印做好准备。

[0068] 具体实施中,选择性激光熔化加工无纵向支撑水平悬空结构的方法针对不锈钢粉材,按如下步骤打印形成无纵向支撑水平悬空结构:

[0069] 步骤1:

[0070] 采用连续激光进行单向扫描,激光功率40W,光斑直径90~100 μm ,扫描速率0.1m/s,扫描间距65 μm ,层厚30 μm ,加工层数1层;线能量密度 $M_1=400$ 焦耳/米;

[0071] 步骤2:

[0072] 第一阶段:采用连续激光进行单向扫描,激光功率300W,光斑直径60~70 μm ,扫描速率1.5m/s,扫描间距60 μm ,层厚30 μm ,加工层数2~4层;线能量密度 $M_{21}=200$ 焦耳/米;

[0073] 第二阶段:

[0074] 首先:采用占空比为30%的脉冲激光进行单向扫描,激光平均功率在80~90W之间逐步提高,光斑直径60~70 μm ,扫描速率0.3m/s,扫描间距60 μm ,层厚30 μm ,加工层数5层;然后,保持其它参数不变,激光平均功率在90~100W之间逐步提高,扫描间距50 μm ,加工层数10层。

[0075] 步骤3:

[0076] 采用占空比为30%的脉冲激光进行单向扫描,激光平均功率100W,光斑直径60~70 μm ,扫描速率0.3m/s,扫描间距50 μm ,层厚30 μm ;线能量密度 $M_3=333$ 焦耳/米。

[0077] 实施例1:打印大跨度初始水平悬空层

[0078] 如图2所示,首先,采用常规工艺参数在尺寸为50mm $\times$ 50mm $\times$ 6mm的不锈钢基板2上打印一个尺寸为40mm $\times$ 2.5mm $\times$ 4mm的小长方体;然后在小长方体的顶部一侧打印一个尺寸为70mm $\times$ 8mm的第一初始水平悬空层3和一个尺寸为80mm $\times$ 8mm的第二初始水平悬空层4;图2所示为完成打印的大跨度初始水平悬空层实物影像;工艺参数为:采用连续激光输出模式,激光功率40W,光斑直径90~100 μm ,扫描速率0.1m/s,扫描间距65 μm ,层厚30 μm ,加工层数1层。本实施例表明,利用本发明方法可以稳定加工出大跨度且具有一定机械强度的初始水平悬空层。

[0079] 实施例2:打印内部平顶为40mm $\times$ 20mm的空腔结构,按如下步骤进行

[0080] 步骤a、如图3所示,采用常规工艺参数在尺寸为50mm $\times$ 50mm $\times$ 6mm的不锈钢基板2上打印回字形基部,加工层数为100层;打印区域外部尺寸为45mm $\times$ 25mm,内部尺寸为40mm $\times$ 20mm,壁厚2.5mm。

[0081] 步骤b、加工悬空平顶初始层。工艺参数设置为:采用连续激光输出模式,激光功率

40W,光斑直径90~100 μm ,扫描速率0.1m/s,扫描间距65 μm ,层厚30 μm ,加工层数1层;

[0082] 步骤c、用步骤a的工艺参数继续加工两层回字形结构

[0083] 步骤d、修复悬空层上表面,分三步完成。

[0084] 第一步:工艺参数:采用连续激光输出模式,激光功率300W,光斑直径60~70 μm ,扫描速率1.5m/s,扫描间距60 μm ,层厚30 μm ,扫描方向与初始水平悬空层的扫描方向成45度夹角,加工层数两层,第二层扫描方向旋转90度。

[0085] 第二步:工艺参数:采用占空比30%的脉冲激光,激光平均功率在80-90W之间逐步提高,光斑直径60~70 μm ,扫描速率0.3m/s,扫描间距60 μm ,层厚30 μm ,加工层数为五层。

[0086] 第三步:工艺参数:采用占空比30%的脉冲激光,激光平均功率在90-100W之间逐步提高,光斑直径为60~70 μm ;扫描速率0.3m/s,扫描间距50 μm ,层厚30 μm ,加工层数为10层。

[0087] 步骤e、转入常规打印,加工层数50层,完成图3所示的平顶空腔工件5的加工。其外部为45mm $\times$ 25mm $\times$ 5mm长方体,其内部为40mm $\times$ 20mm $\times$ 3mm的平顶空腔,无任何纵向支撑,腔内微米级金属粉末通过开设一只毫米级的小孔即可倾倒入。

[0088] 为了观察工件的内部情况,采用线切割将工件从两边切开,图4中示意出在平顶空腔工件5的内部所形成的空腔6。

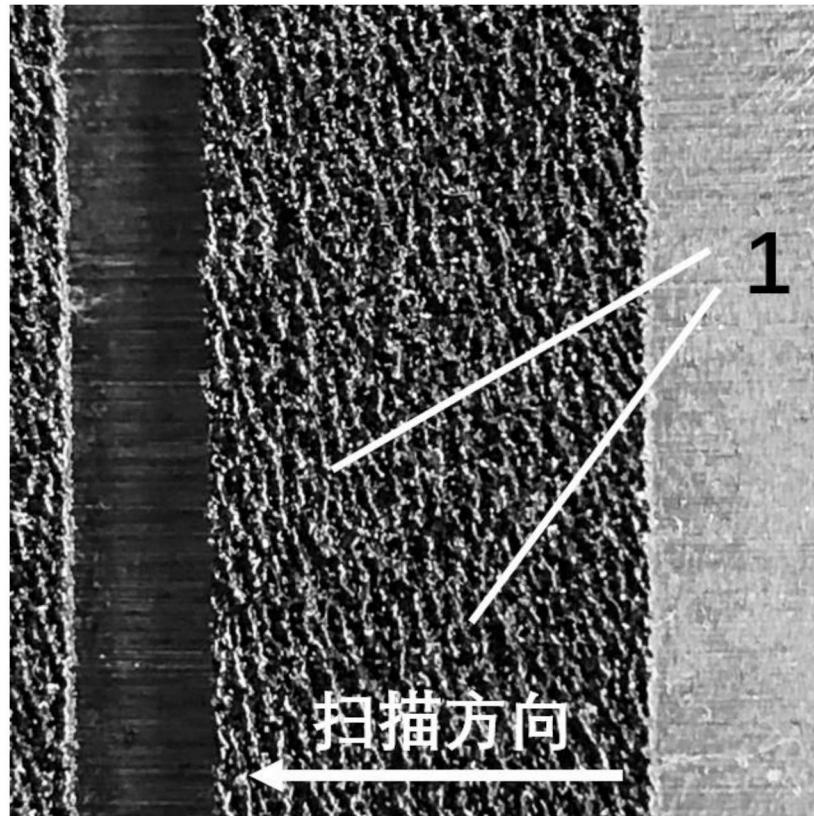


图1

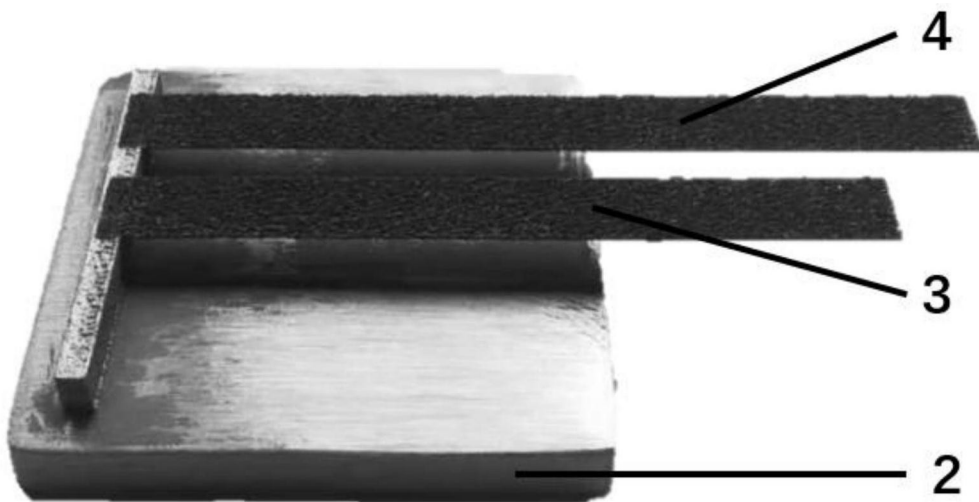


图2

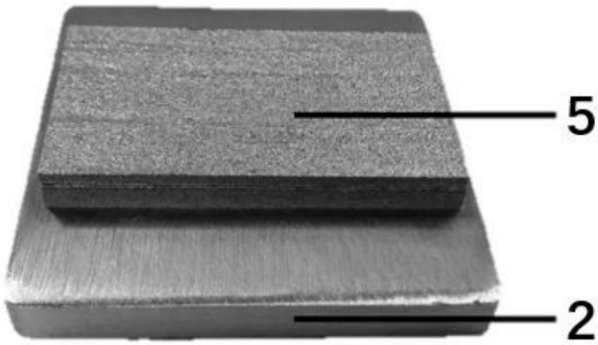


图3

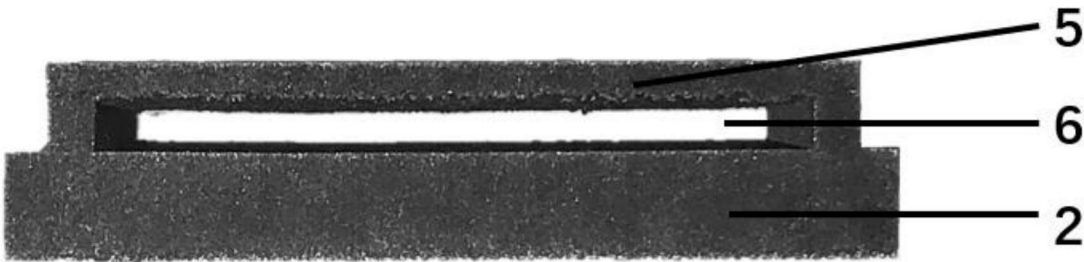


图4