



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108873700 A

(43)申请公布日 2018.11.23

(21)申请号 201810766782.8

(22)申请日 2018.07.13

(71)申请人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72)发明人 虞钢 赵尧 郑彩云 何秀丽 李少霞 宁伟健

(74)专利代理机构 北京和信华成知识产权代理事务所(普通合伙) 11390 代理人 胡剑辉

(51)Int.Cl. G05B 13/04(2006.01) C23C 24/10(2006.01)

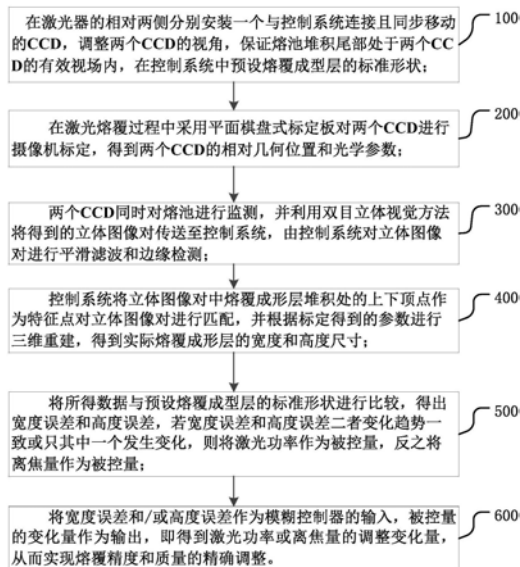
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种基于立体视觉的激光熔覆闭环控制方法

(57)摘要

本发明提供一种基于立体视觉的激光熔覆闭环控制方法,包括在激光器的相对两侧分别安装一个与控制系统连接且同步移动的CCD,对两个CCD进行标定,两个CCD同时对熔池进行监测,控制系统将所得数据与预设熔覆成型层的标准形状进行比较,得出宽度误差和高度误差,将宽度误差和/或高度误差作为模糊控制器的输入,被控量的变化量作为输出,即得到激光功率或离焦量的调整变化量,从而实现熔覆精度和质量精确调整。本发明能够通过两个CCD实时获取激光器熔覆时的熔池变化图像,然后利用控制系统与预设的该次标准熔池成型层形状进行对比,并根据误差对激光器进行调整,使当前熔池始终与预设成型层保持一致,实现熔覆过程实时控制,达到提高熔覆精度和质量目的。



1. 一种基于立体视觉的激光熔覆闭环控制方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤100,在激光器的相对两侧分别安装一个与控制系统连接且同步移动的CCD,调整两个CCD的视角,保证熔池堆积尾部处于两个CCD的有效视场内,在控制系统中预设熔覆成型层的标准形状;

步骤200,在激光熔覆过程中采用平面棋盘式标定板对两个CCD进行摄像机标定,得到两个CCD的相对几何位置和光学参数;

步骤300,两个CCD同时对熔池进行监测,并利用双目立体视觉方法将得到的立体图像对传送至控制系统,由控制系统对立体图像对进行平滑滤波和边缘检测;

步骤400,控制系统将立体图像对中熔覆成形层堆积处的上下顶点作为特征点对立体图像对进行匹配,并根据标定得到的参数进行三维重建,得到实际熔覆成形层的宽度和高度尺寸;

步骤500,将所得数据与预设熔覆成型层的标准形状进行比较,得出宽度误差和高度误差,若宽度误差和高度误差二者变化趋势一致或只其中一个发生变化,则将激光功率作为被控量,反之将离焦量作为被控量;

步骤600,将宽度误差和/或高度误差作为模糊控制器的输入,被控量的变化量作为输出,即得到激光功率或离焦量的调整变化量,从而实现熔覆精度和质量的精确调整。

2. 根据权利要求1所述的激光熔覆闭环控制方法,其特征在于,

所述步骤300中,所述控制系统利用双目视觉测三维的方法先将两个所述CCD的立体图像对进行整合,以得到当前熔堆积尾部的全貌后再进行检测。

3. 根据权利要求1所述的激光熔覆闭环控制方法,其特征在于,

所述平滑滤波为采用线性滤波的方式去除立体图像对中的颗粒噪声。

4. 根据权利要求1所述的激光熔覆闭环控制方法,其特征在于,

所述边缘检测为采用Prewitt算子法获取立体图像对中熔池堆积尾部的边缘轮廓,以确认发生变化的位置;其根据边缘点像素的灰度值与其邻域点灰度值不同的特点,通过像素点上下左右邻点灰度差,确定熔池的边缘廓。

5. 根据权利要求1所述的激光熔覆闭环控制方法,其特征在于,

步骤500中的所述二者变化趋势一致是指宽度误差和高度误差相对预设值同时偏大或偏小;所述只其中一个发生变化是指仅宽度误差或高度误差中的一个相对预设值偏大或偏小。

6. 根据权利要求1所述的激光熔覆闭环控制方法,其特征在于,

步骤600中的所述模糊控制器是指控制输出量是激光功率还是离焦量的变化量控制算法。

7. 根据权利要求1所述的激光熔覆闭环控制方法,其特征在于,

所述模糊控制器的处理步骤如下:

步骤601,首先确定实际熔覆层输入宽度和高度变量及调整激光器功率和离焦量输出变量的基本论域和论域;

步骤602,针对每个变量分别定义五个模糊集并确定各自的隶属函数;

步骤603,结合相应的模糊集,确定控制规则集;

步骤604,采用单点模糊化,max-min合成,min蕴含运算,max求和运算,最大综合法作模

糊处理；

步骤605,解模糊,即得到相应的输出变化量。

8.根据权利要求7所述的激光熔覆闭环控制方法,其特征在于,

所述步骤601是基本论域和论域的确定过程如下:

设激光功率的变化量为 $\Delta P$ ,离焦量的变化量为 $\Delta Z$ ,实际熔覆层宽度与预设成型层的宽度差为 $\Delta w$ 、高度差为 $\Delta h$ , $\Delta P$ 和 $\Delta Z$ 的基本论域为 $[-\Delta w_m, \Delta w_m]$ , $[-\Delta h_m, \Delta h_m]$ , $[-\Delta P_m, \Delta P_m]$ , $[-\Delta Z_m, \Delta Z_m]$ ,模糊集论域均为 $[-1, 1]$ ,得比例因子为:

$$x=k_1 \Delta w \quad k_1=1/\Delta w_m$$

$$y=k_2 \Delta h \quad k_2=1/\Delta h_m$$

$$u=\Delta P/k_3 \quad k_3=\Delta P_m$$

$$v=\Delta Z/k_4 \quad k_4=\Delta Z_m$$

9.根据权利要求8所述的激光熔覆闭环控制方法,其特征在于,

所述步骤602的模糊集具体为:对输入输出变量 $x, y, u, v$ 各定义五个模糊集:负大NL、负小NS、零Z、正小PS、正大PL, $x, y, u, v$ 的隶属函数均为对称、均匀分布且全交迭的三角形。

10.根据权利要求9所述的激光熔覆闭环控制方法,其特征在于,

所述步骤605的解模糊过程如下:

设 $x, y, u, v$ 的模糊集合分别为A,B,C和D;若输入为 $x_0, y_0$ 且 $x_0, y_0$ 均为正,则 $u_0$ 为输出:

$$\mu_{C_i}(u) = \mu_{A_i}(x_0) \wedge \mu_{B_i}(y_0) \wedge \mu_{C_i}(u)$$

$$\mu_C(u) = \mu_{C_1}(u) \vee \mu_{C_2}(u) \vee \dots \vee \mu_{C_{1+k_3}}(u)$$

采用重心法对 $u$ 进行解模糊,

$$u_0 = \frac{\int \mu_C(u) \cdot u du}{\int \mu_C(u) du} \quad \circ$$

## 一种基于立体视觉的激光熔覆闭环控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及材料加工领域,特别是涉及一种基于立体视觉的提高激光熔覆质量和精度的激光熔覆闭环控制方法。

### 背景技术

[0002] 激光熔覆是一种新的表面改性技术,它利用高能激光辐照金属,使金属迅速熔化、扩展和迅速凝固,在基材表面熔覆一层具有特殊物理、化学或力学性能的材料,从而构成一种新的复合材料,进而改善基体材料表面的耐磨、耐蚀、耐热、抗氧化等性能,目前广泛应用汽车制造、航空航天、石油化工等领域。

[0003] 但是在激光熔覆过程中,由于成形过程复杂,受多种因素影响,极易造成加工环境的不稳定,成型质量难以保证,精度较差。随着对设备需求的提高,必须保证设备零部件表面的成形质量和精度,因此对熔覆成形层形貌进行实时监测和闭环控制非常有必要。

[0004] 针对该问题,现有方案一般是仅监控熔覆层的高度,而忽略了熔覆层宽度带来的影响,这样使得精度控制提高有限。此外,还有一些方案虽然也扩大到对熔覆层宽度进行调整,但这种调整对象仅是特定宽带的光斑形状,并不能针对任意一种光斑形状,局限性大。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种基于立体视觉的提高激光熔覆质量和精度的激光熔覆闭环控制方法。

[0006] 特别地,本发明提供一种基于立体视觉的激光熔覆闭环控制方法,包括如下步骤:

[0007] 步骤100,在激光器的相对两侧分别安装一个与控制系统连接且同步移动的CCD,调整两个CCD的视角,保证熔池堆积尾部处于两个CCD的有效视场内,在控制系统中预设熔覆成型层的标准形状;

[0008] 步骤200,在激光熔覆过程中采用平面棋盘式标定板对两个CCD进行摄像机标定,得到两个CCD的相对几何位置和光学参数;

[0009] 步骤300,两个CCD同时对熔池进行监测,并利用双目立体视觉方法将得到的立体图像对传送至控制系统,由控制系统对立体图像对进行平滑滤波和边缘检测;

[0010] 步骤400,控制系统将立体图像对中熔覆成形层堆积处的上下顶点作为特征点对立体图像对进行匹配,并根据标定得到的参数进行三维重建,得到实际熔覆成形层的宽度和高度尺寸;

[0011] 步骤500,将所得数据与预设熔覆成型层的标准形状进行比较,得出宽度误差和高度误差,若宽度误差和高度误差二者变化趋势一致或只其中一个发生变化,则将激光功率作为被控量,反之将离焦量作为被控量;

[0012] 步骤600,将宽度误差和/或高度误差作为模糊控制器的输入,被控量的变化量作为输出,即得到激光功率或离焦量的调整变化量,从而实现熔覆精度和质量精确调整。

[0013] 在本发明的一个实施方式中,所述步骤300中,所述控制系统利用双目视觉测三维

的方法先将两个所述CCD的立体图像对进行整合,以得到当前熔堆积尾部的全貌后再进行检测。

[0014] 在本发明的一个实施方式中,所述平滑滤波为采用线性滤波的方式去除立体图像对中的颗粒噪声。

[0015] 在本发明的一个实施方式中,所述边缘检测为采用Prewitt算子法获取立体图像对中熔池堆积尾部的边缘轮廓,以确认发生变化的位置;其根据边缘点像素的灰度值与其邻域点灰度值不同的特点,通过像素点上下左右邻点灰度差,确定熔池的边缘廓。

[0016] 在本发明的一个实施方式中,步骤500中的所述二者变化趋势一致是指宽度误差和高度误差相对预设值同时偏大或偏小;所述只其中一个发生变化是指仅宽度误差或高度误差中的一个相对预设值偏大或偏小。

[0017] 在本发明的一个实施方式中,步骤600中的所述模糊控制器是指控制输出量是激光功率还是离焦量的变化量控制算法。

[0018] 在本发明的一个实施方式中,所述模糊控制器的处理步骤如下:

[0019] 步骤601,首先确定实际熔覆层输入宽度和高度变量及调整激光器功率和离焦量输出变量的基本论域和论域;

[0020] 步骤602,针对每个变量分别定义五个模糊集并确定各自的隶属函数;

[0021] 步骤603,结合相应的模糊集,确定控制规则集;

[0022] 步骤604,采用单点模糊化,max-min合成,min蕴含运算,max求和运算,最大综合法作模糊处理;

[0023] 步骤605,解模糊,即得到相应的输出变化量。

[0024] 在本发明的一个实施方式中,所述步骤601是基本论域和论域的确定过程如下:

[0025] 设激光功率的变化量为 $\Delta P$ ,离焦量的变化量为 $\Delta Z$ ,实际熔覆层宽度与预设成型层的宽度差为 $\Delta w$ 、高度差为 $\Delta h$ , $\Delta P$ 和 $\Delta Z$ 的基本论域为 $[-\Delta w_m, \Delta w_m]$ , $[-\Delta h_m, \Delta h_m]$ , $[-\Delta P_m, \Delta P_m]$ , $[-\Delta Z_m, \Delta Z_m]$ ,模糊集论域均为 $[-1, 1]$ ,得比例因子为:

$$[0026] \quad x = k_1 \Delta w \quad k_1 = 1 / \Delta w_m$$

$$[0027] \quad y = k_2 \Delta h \quad k_2 = 1 / \Delta h_m$$

$$[0028] \quad u = \Delta P / k_3 \quad k_3 = \Delta P_m$$

$$[0029] \quad v = \Delta Z / k_4 \quad k_4 = \Delta Z_m。$$

[0030] 在本发明的一个实施方式中,所述步骤602的模糊集具体为:对输入输出变量 $x, y, u, v$ 各定义五个模糊集:负大NL、负小NS、零Z、正小PS、正大PL, $x, y, u, v$ 的隶属函数均为对称、均匀分布且全交集的三角形。

[0031] 在本发明的一个实施方式中,所述步骤605的解模糊过程如下:

[0032] 设 $x, y, u, v$ 的模糊集合分别为A,B,C和D;若输入为 $x_0, y_0$ 且 $x_0, y_0$ 均为正,则 $u_0$ 为输出:

$$[0033] \quad \mu_{C_i}(u) = \mu_{A_i}(x_0) \wedge \mu_{B_i}(y_0) \wedge \mu_{C_i}(u)$$

$$[0034] \quad \mu_C(u) = \mu_{C_1}(u) \vee \mu_{C_2}(u) \vee \dots \vee \mu_{C_{1+k_3}}(u)$$

[0035] 采用重心法对 $u$ 进行解模糊,

$$[0036] \quad u_0 = \frac{\int \mu_{c'}(u) \cdot u du}{\int \mu_{c'}(u) du}$$

[0037] 本发明能够通过两个CCD实时获取激光器熔覆时的熔池变化图像,然后利用控制系统与预设的该次标准熔池成型层形状进行对比,并根据误差对激光器进行调整,使当前熔池始终与预设成型层保持一致,从而实现熔覆过程实时稳定控制,达到提高熔覆精度和质量目的。

### 附图说明

- [0038] 图1是本发明一个实施方式的控制方法流程示意图;  
 [0039] 图2是本发明一个实施方式的双CCD安装示意图;  
 [0040] 图3是本发明一个实施方式的模糊控制原理图;  
 [0041] 图4是本发明一个实施方式的处理步骤流程图;  
 [0042] 图5是本发明一个实施方式中模糊控制器中四个变量的隶属函数关系示意图。

### 具体实施方式

[0043] 本发明一个实施方式基于立体视觉的激光熔覆闭环控制方法一般性地包括如下步骤:

[0044] 步骤100,在激光器的相对两侧分别安装一个与控制系统连接且同步移动的CCD,调整两个CCD的视角,保证熔池堆积尾部处于两个CCD的有效视场内,在控制系统中预设熔覆成型层的标准形状;

[0045] 两个CCD和激光器的安装结构可以如图1所示,固定两个CCD2的架子与安装激光器1的架子一体,即激光器1在熔覆过程中移动时,同步带动两个CCD2移动,使CCD2始终与熔池4的距离不变。两个CCD2可以单独调整视角角度,以便更好的拍摄熔池4。

[0046] 控制系统3可以是计算机,其安装相应的图像处理软件,如双目视觉处理程序,其能够在二维图像信息由CCD2输入至计算机后,进行角点检测,由摄像机标定部分建立二维图像信息与三维世界信息之间的对应关系,然后通过特征点的立体匹配,对二维图像信息对进行三维尺寸重建。

[0047] 步骤200,在激光熔覆过程中采用平面棋盘式标定板对两个CCD2进行摄像机标定,得到两个CCD2的相对几何位置和光学参数;

[0048] 这里的平面棋盘式标定板的标定是假设模板平面在世界坐标系 $Z=0$ 的平面上,CCD2或平面标定板一端固定,另一端在视场内移动,拍摄多幅图像,就可以获得标定结果;具体过程说明如下:

[0049] (1)、打印一张模板并贴在一个平面上;

[0050] (2)、从不同角度拍摄若干张模板图像;

[0051] (3)、检测出图像中的特征点;

[0052] (4)、求出CCD的内参数和外参数;

[0053] (5)、求出畸变系数;

[0054] (6)、优化求精。

[0055] 步骤300,两个CCD同时对熔池进行监测,并利用双目立体视觉方法将得到的立体图像对传送至控制系统,由控制系统对立体图像对进行平滑滤波和边缘检测;

[0056] 控制系统3利用双目视觉测三维的方法先将两个CCD2的立体图像对进行整合,以得到当前熔池4堆积尾部的全貌后再进行检测。

[0057] 由于拍摄环境和设备质量等多种因素,使数字化后的图像不可避免的带有各种噪声,为了减少噪声对物体轮廓提取的影响,平滑滤波是图像预处理中的第一步,此处采取线性滤波,用于去除通过扫描得到的图像中的颗粒噪声(粉末颗粒),即用一像素邻域内各像素灰度平均值来代替该像素原来的灰度。

[0058] 边缘检测为采用Prewitt算子法获取立体图像对中熔池4堆积尾部的边缘轮廓,以确认发生变化的位置;其根据边缘点像素的灰度值与其邻域点灰度值不同的特点,通过像素点上下左右邻点灰度差,确定熔池4的边缘廓。

[0059] 步骤400,控制系统将立体图像对中熔覆成型层堆积处的上下顶点作为特征点对立体图像对进行匹配,并根据标定得到的参数进行三维重建,得到实际熔覆成型层的宽度和高度尺寸;

[0060] 通过前述的边缘检测可以得到熔池4堆积尾部的边缘形状,即得到边缘轮廓的上下顶点。

[0061] 双目视觉进行尺寸测量的过程举例如下:

[0062] (1) 首先利用双CCD2对被测工件进行拍摄,得到立体图像对;

[0063] (2) 根据立体匹配原理选择特征点对坐标;

[0064] (3) 将所有已知数据带入公式进行空间点重建,得到工件各特征点在同一外参数坐标下的坐标值;

[0065] (4) 求两空间点距离即得到被测工件的实际尺寸。

[0066] 这里得到的熔池4堆积尾部的三维尺寸即得到成型层的宽度和高度尺寸,然后即可与计算机程序中预设熔覆成型层的标准形状的宽度和高度数据进行对比。

[0067] 步骤500,将所得数据与预设熔覆成型层的标准形状进行比较,得出宽度误差和高度误差,若宽度误差和高度误差二者变化趋势一致或只其中一个发生变化,则将激光功率作为被控量,反之将离焦量作为被控量;

[0068] 其中的二者变化趋势一致是指宽度误差和高度误差相对预设值同时偏大或偏小;而只其中一个发生变化是指仅宽度误差或高度误差中的一个相对预设值偏大或偏小。

[0069] 步骤600,将宽度误差和/或高度误差作为模糊控制器的输入,被控量的变化量作为输出,即得到激光功率或离焦量的调整变化量,从而实现熔覆精度和质量的精确调整。

[0070] 如图3所示,模糊控制器是指控制输出量是激光功率还是离焦量的变化量控制算法。模糊控制器的处理步骤如下:

[0071] 步骤601,首先确定实际熔覆层输入宽度和高度变量及调整激光器功率和离焦量输出变量的基本论域和论域;

[0072] 设激光功率的变化量为 $\Delta P$ ,离焦量的变化量为 $\Delta Z$ ,实际熔覆层宽度与预设成型层的宽度差为 $\Delta w$ 、高度差为 $\Delta h$ , $\Delta P$ 和 $\Delta Z$ 的基本论域(实际范围)为 $[-\Delta w_m, \Delta w_m]$ , $[-\Delta h_m, \Delta h_m]$ , $[-\Delta P_m, \Delta P_m]$ , $[-\Delta Z_m, \Delta Z_m]$ (具体数值根据实际情况确定),模糊集论域均为 $[-1, 1]$ ,得比例因子为:

[0073]  $x = k_1 \Delta w$   $k_1 = 1 / \Delta w_m$

[0074]  $y = k_2 \Delta h$   $k_2 = 1 / \Delta h_m$

[0075]  $u = \Delta P / k_3$   $k_3 = \Delta P_m$

[0076]  $v = \Delta Z / k_4$   $k_4 = \Delta Z_m$

[0077] 步骤602,针对每个变量分别定义五个模糊集并确定各自的隶属函数;

[0078] 对输入输出变量 $x, y, u, v$ 各定义五个模糊集:NL(负大),NS(负小),Z(零),PS(正小),PL(正大),四个变量的隶属函数均是对称、均匀分布、全交迭的三角形,如图5所示。

[0079] 步骤603,结合相应的模糊集,确定控制规则集;

[0080] 具体的控制规则集如下:

[0081] 表一:

<b>u</b>		<b>X</b>					
		<b>N</b>	<b>NS</b>	<b>Z</b>	<b>PS</b>	<b>PL</b>	
[0082] <b>y</b>	<b>L</b>	<b>N</b>	<b>PL</b>	<b>PL</b>	<b>PL</b>		
		<b>NS</b>	<b>PS</b>	<b>PS</b>	<b>PS</b>		
		<b>Z</b>			<b>Z</b>		
		<b>PS</b>			<b>NS</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>
		<b>PL</b>			<b>N</b>	<b>N</b>	<b>N</b>
				<b>L</b>	<b>L</b>	<b>L</b>	

[0083] 表二:

<b>u</b>		<b>X</b>				
		NL	NS	Z	PS	PL
[0084] <b>y</b>	NL	PL	PL	PL		
	NS	PS	PS	PS		
	Z			Z		
	PS			NS	NS	NS
	PL			NL	NL	NL

[0085] IF  $x = NL$  and  $y = NL$ , THEN  $u = PL$ ;



[0086] 如果熔覆层宽度误差为负小,熔覆层高度误差为负小,则激光功率变化量为正大。

[0087] 步骤604,采用单点模糊化,max-min合成,min蕴含运算,max求和运算,最大综合法作模糊处理;

[0088] 设 $x, y, u, v$ 的模糊集合分别为 $A, B, C$ 和 $D$ ;若输入为 $x_0, y_0$ 且 $x_0, y_0$ 均为正,则 $u_0$ 为输出:

$$[0089] \quad \mu_{C_i}(u) = \mu_{A_i}(x_0) \wedge \mu_{B_i}(y_0) \wedge \mu_{C_i}(u)$$

$$[0090] \quad \mu_C(u) = \mu_{C_1}(u) \vee \mu_{C_2}(u) \vee \dots \vee \mu_{C_{1+k_3}}(u)$$

[0091] 步骤605,解模糊,即得到相应的输出变化量。

[0092] 设 $x, y, u, v$ 的模糊集合分别为 $A, B, C$ 和 $D$ ;若输入为 $x_0, y_0$ 且 $x_0, y_0$ 均为正,则 $u_0$ 为输出:

$$[0093] \quad \mu_{C_i}(u) = \mu_{A_i}(x_0) \wedge \mu_{B_i}(y_0) \wedge \mu_{C_i}(u)$$

$$[0094] \quad \mu_C(u) = \mu_{C_1}(u) \vee \mu_{C_2}(u) \vee \dots \vee \mu_{C_{1+k_3}}(u)$$

[0095] 采用重心法对 $u$ 进行解模糊,

$$[0096] \quad u_0 = \frac{\int \mu_{C_i}(u) \cdot u du}{\int \mu_{C_i}(u) du}$$

[0097] 控制系统3根据实际熔池4的三维图像即可判定与预设成型层的区别,然后根据模糊控制器的输出结果调整激光器1的激光功率或离焦器,使实际熔池4的形状始终保持与预设成型层一致,从而实现熔覆过程实时稳定控制,达到提高熔覆精度和质量目的。

[0098] 以下说明完整的工作过程,如图4所示,先在计算机中设定标准的具备宽度和高度的熔覆成型层三维图像,由双CCD2跟随激光器1的熔覆进程,同时对当前熔池3堆积尾部图像采集,双CCD2采集的立体图像对输入至计算机后,计算机采用双目视觉原理得到熔覆层尺寸,然后读入当前熔覆层宽度和高度尺寸与设定熔覆成型层宽度和高度进行对比,判断宽度和高度的变化趋势,如果变化趋势一致或只有一个变化,则得出激光功率的调整量,然后指令输出去调整激光器的激光功率,使当前熔池4三维形成与设定的熔覆成型层三维图像一致。

[0099] 如果宽度和高度的变化趋势相反,则得出离焦量的调整量,然后指令输出去调整激光器的相应参数,使当前熔池4三维形成与设定的熔覆成型层三维图像一致。

[0100] 如果宽度和高度的变化趋势无变化,则表明与设定的熔覆成型层一致,不需要控制。

[0101] 重复上述过程,直至熔覆结束。

[0102] 至此,本领域技术人员应认识到,虽然本文已详尽示出和描述了本发明的多个示例性实施例,但是,在不脱离本发明精神和范围的情况下,仍可根据本发明公开的内容直接确定或推导出符合本发明原理的许多其他变型或修改。因此,本发明的范围应被理解和认定为覆盖了所有这些其他变型或修改。

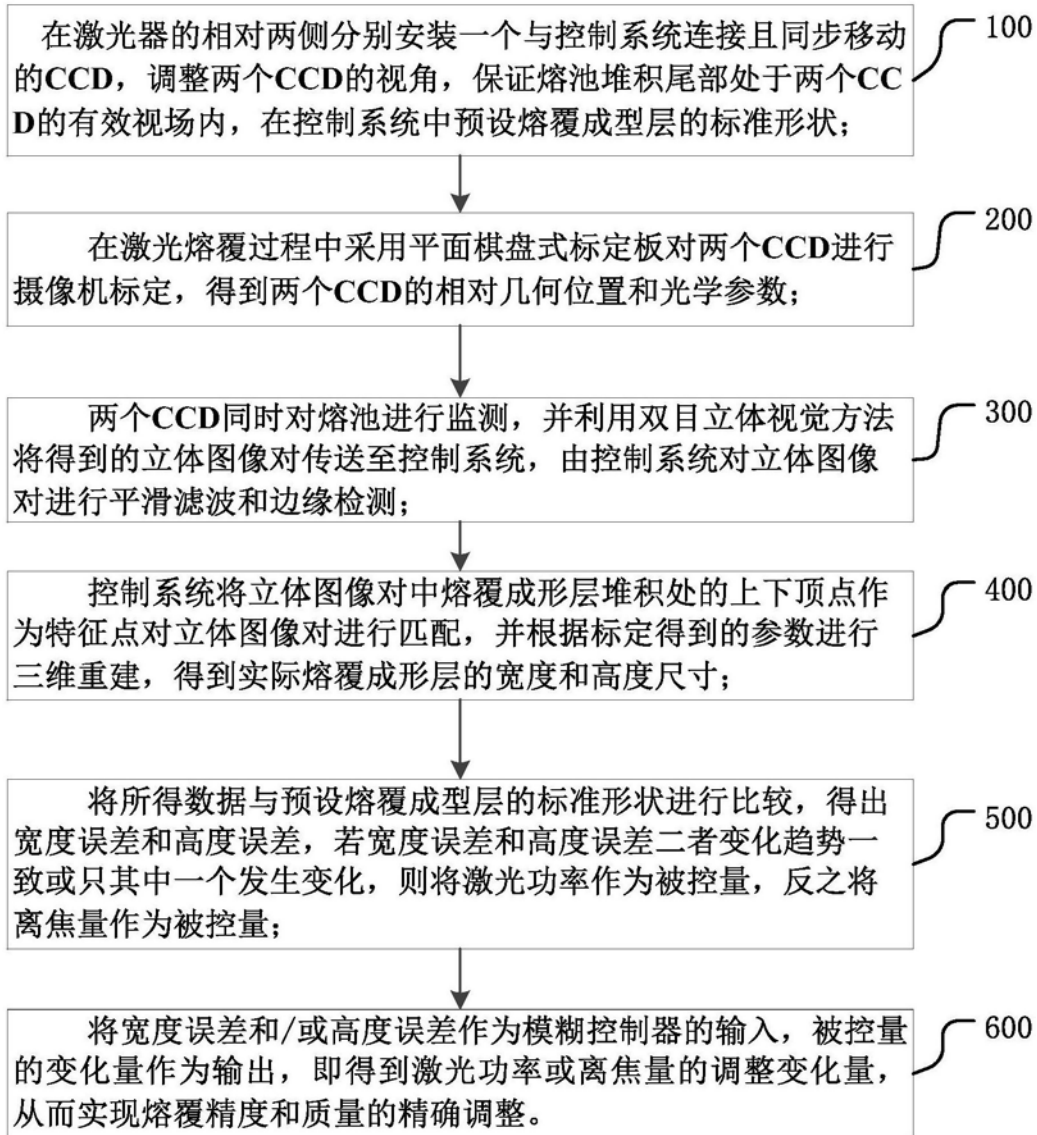


图1

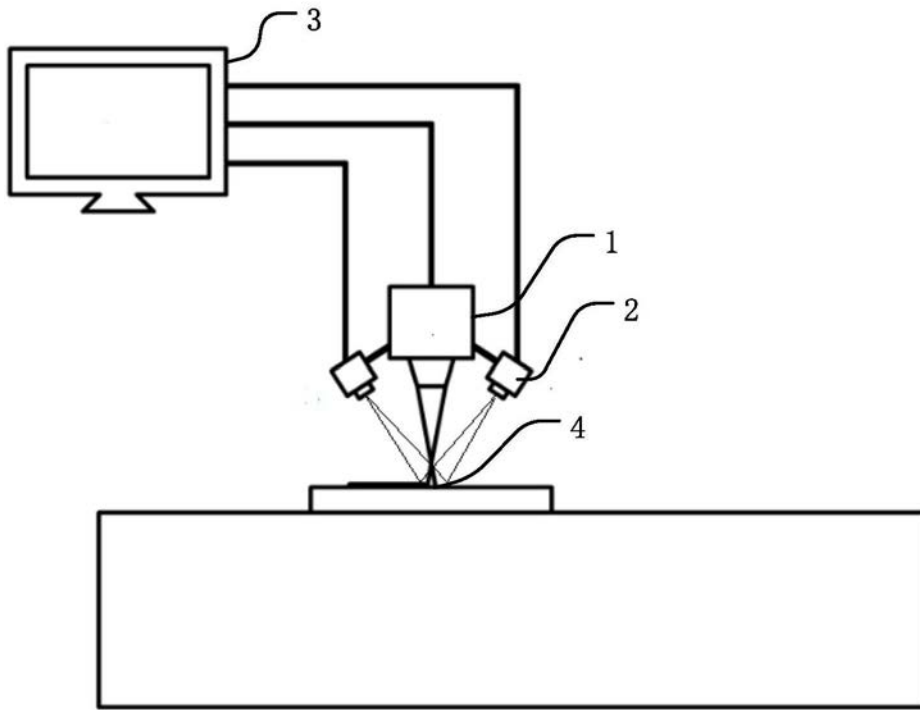


图2

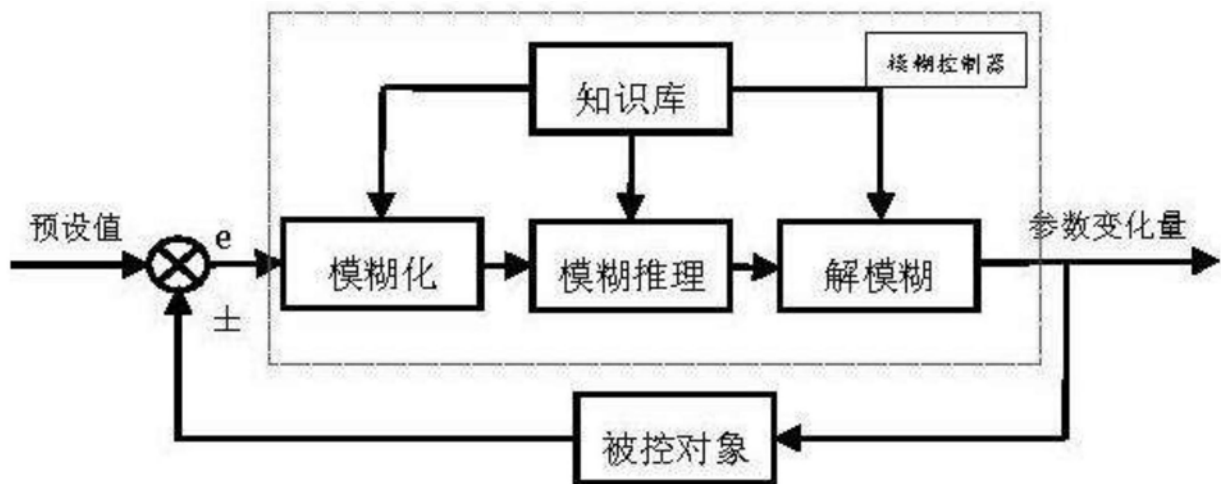


图3

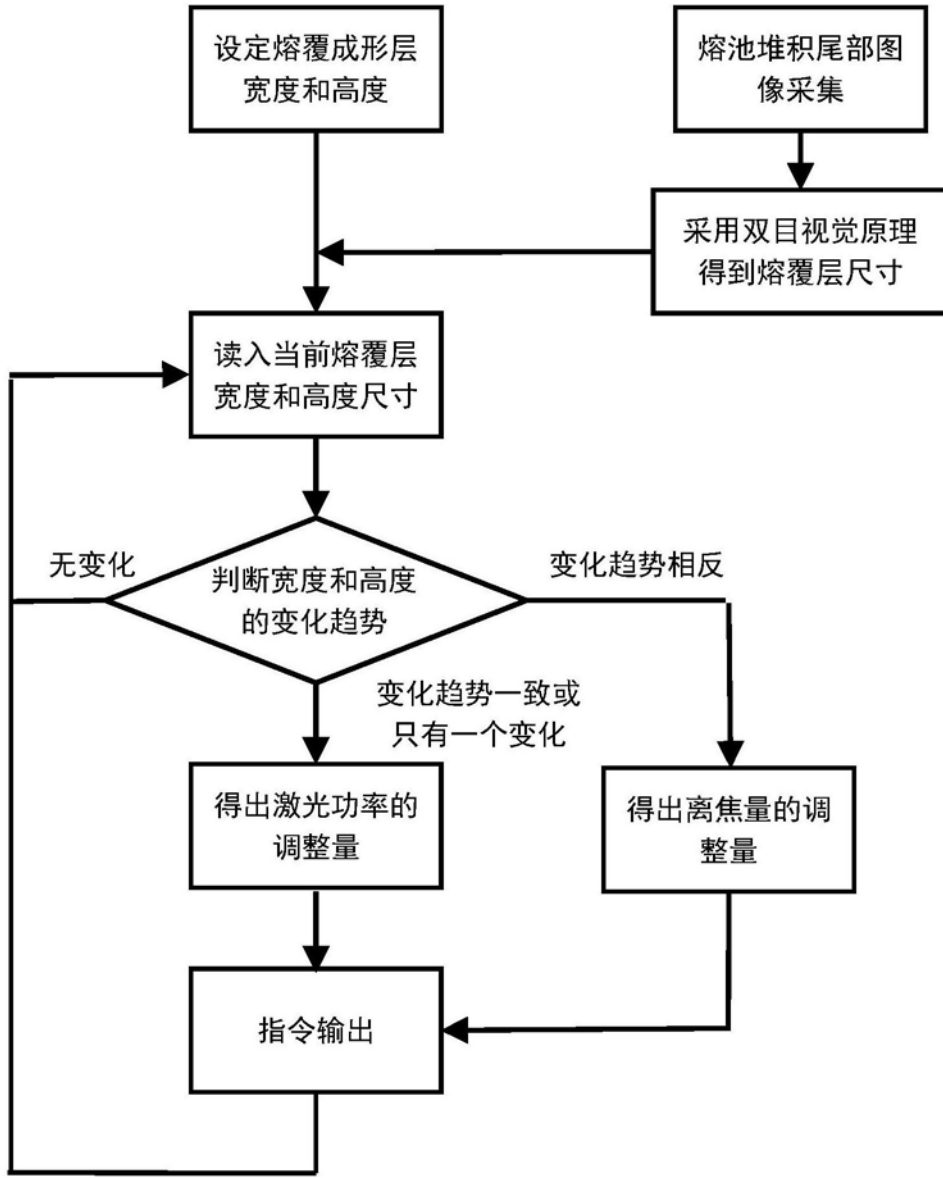


图4

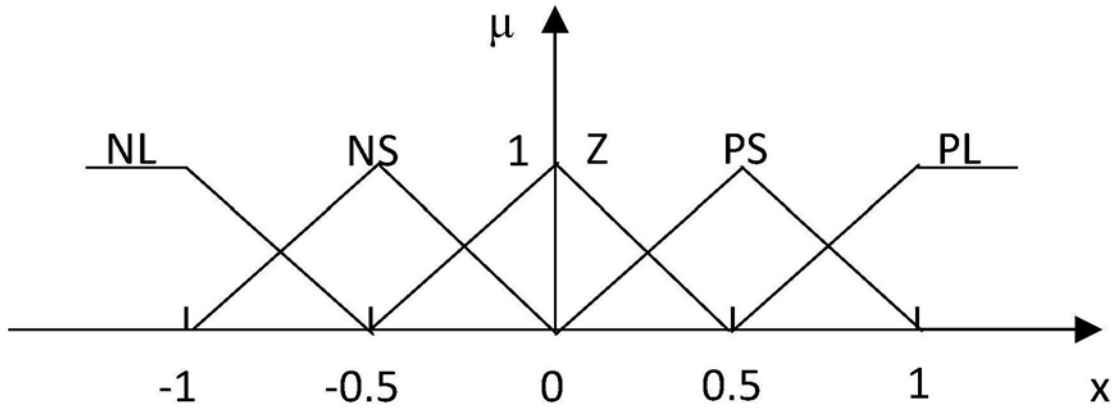


图5