



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105714285 B

(45)授权公告日 2018.08.03

(21)申请号 201610183120.9

(22)申请日 2016.03.28

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105714285 A

(43)申请公布日 2016.06.29

(73)专利权人 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 甘政涛 宁伟健 郑彩云
何秀丽 李少霞

(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.
G23C 24/10(2006.01)

(56)对比文件

CN 102352509A ,2012.02.15,说明书第9-22段,附图1.

CN 104807410A ,2015.07.29,全文.

CN 202576563U ,2012.12.05,全文.

US 2004/0133298A1 ,2004.07.08,全文.

CN 1737197A ,2006.02.22,全文.

CN 103374721A ,2013.10.30,全文.

CN 10119994A ,2006.06.18,全文.

CN 102323756A ,2012.01.18,全文.

审查员 郭威

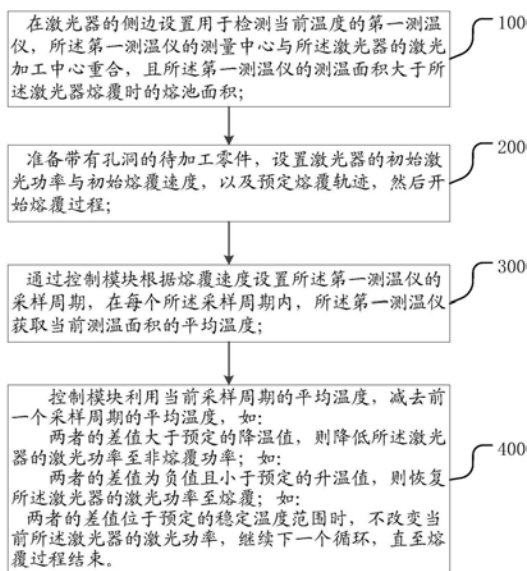
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54)发明名称

激光熔覆的闭环控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种激光熔覆的闭环控制方法,包括如下步骤:激光熔覆过程中使用两个测温区域不同的测温仪固定在激光器上,随激光器一起运动,并同时对准激光加热中心位置,实时测得两个不同区域内的平均温度 T_i 、 T_n 作为指示信号,当激光器运动前方出现特定尺寸范围内的孔洞时,根据指示信号的变化,实时减小激光功率,避免出现孔洞边缘温度过高而引起的塌边等缺陷。之后当激光器离开孔洞范围时,重新调整激光功率,恢复正常的激光熔覆过程。本发明在表面有孔洞的零件上进行激光熔覆,可以避免出现孔洞边缘温度过高而引起的塌边等缺陷,并且不需要进行复杂的轨迹规划。该方法能有效提高激光熔覆工艺质量并且能降低制造难度和成本。



1. 一种激光熔覆的闭环控制方法,其特征在于,包括步骤:

步骤100,在激光器的侧边设置用于检测当前温度的第一测温仪,所述第一测温仪的测量中心与所述激光器的激光加工中心重合,且所述第一测温仪的测温面积大于所述激光器熔覆时的熔池面积;

步骤200,准备带有孔洞的待加工零件,设置激光器的初始激光功率与初始熔覆速度,以及预定熔覆轨迹,然后开始熔覆过程;

所述激光器的侧边上还设置有提前检测前方孔洞的第二测温仪,所述第二测温仪的测温面积大于所述第一测温仪的测温面积,且测量中心与所述激光器的激光加工中心重合;

当所述第二测温仪在当前采样周期获取的平均温度与其前一采样周期的平均温度差大于预定的降温值时,则降低所述激光器的激光功率至非熔覆功率;

步骤300,通过控制模块根据熔覆速度设置所述第一测温仪的采样周期,在每个所述采样周期内,所述第一测温仪获取当前测温面积的平均温度;

步骤400,控制模块利用当前采样周期的平均温度,减去前一个采样周期的平均温度,如:

两者的差值大于预定的降温值,则降低所述激光器的激光功率至非熔覆功率;如:

两者的差值为负值且小于预定的升温值,则恢复所述激光器的激光功率至熔覆;如:

两者的差值位于预定的稳定温度范围时,不改变当前所述激光器的激光功率,继续下一个循环,直至熔覆过程结束。

2. 根据权利要求1所述的闭环控制方法,其特征在于,

所述第一测温仪的测温面积为所述熔池面积的1.1~1.3倍,所述第二测温仪的测量面积为所述第一测温仪的测温面积的2~5倍。

3. 根据权利要求1所述的闭环控制方法,其特征在于,

所述采样周期小于或等于所述第二测温仪的测温面积除以两倍的熔覆速度得到的值。

4. 根据权利要求3所述的闭环控制方法,其特征在于,

所述采样周期小于或等于1000毫秒。

5. 根据权利要求1所述的闭环控制方法,其特征在于,

所述第一测温仪和所述第二测温仪为红外测温仪或红外热像仪。

6. 根据权利要求1所述的闭环控制方法,其特征在于,

所述待加工零件上孔洞的面积至少大于 2π 乘以第二测温仪的测温面积的平方。

7. 根据权利要求1所述的闭环控制方法,其特征在于,

还包括对比所述第一测温仪的平均温度,和所述第二测温仪的平均温度在预定时间内温度变化幅度的步骤,步骤如下:

步骤401,将第一测温仪获取的当前采样周期的平均温度与其预定时间时的平均温度对比,如变化幅度超过预定值,则表明已经脱离孔洞,此时,恢复激光功率至标准工作状态;

步骤402,将第二测温仪获取的当前采样周期的平均温度与其预定时间时的平均温度对比,如变化幅度超过预定值,则表明即将进入孔洞,此时,将激光功率降至非熔覆功率;

所述的预定时间为当前采样周期之前的预定采样周期的时间。

8. 根据权利要求1所述的闭环控制方法,其特征在于,

所述控制模块包括用于采样所述第一测温仪和所述第二测温仪上温度值的温度采样

模块,和对采样信号进行滤波的滤波模块,以及将采样的模块信号转换为数字信号的A/D转换模块,所述控制模块的输入端耦接第一测温仪和第二测温仪,输出端耦接激光器。

9.根据权利要求1所述的闭环控制方法,其特征在于,

所述第一测温仪和所述第二测温仪通过夹具安装在所述激光器上,以随所述激光器同步运动。

激光熔覆的闭环控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及材料加工与制造领域,特别是涉及在有空洞零件表面进行激光熔覆时的质量控制。

背景技术

[0002] 激光熔覆技术是把激光加工与数控技术相结合,通过在金属基体表面预置粉末或同步送粉的方法,利用激光的高能量把金属粉末熔化,与基体形成良好的冶金结合,从而达到改善产品性能的特种加工方法。激光熔覆件表面硬度较高,具有良好的耐磨、耐蚀性能。利用激光熔覆表面强化技术可以把高性能的合金材料熔覆到价格低廉的金属件上,可以改善制品的工作性能,也可用于修复少量磨损的工件。由于激光熔覆的热影响区极小,零部件基本不变形,特别适合于高精度零部件的磨损后修复,因此,将激光熔覆工艺应用于齿面修复,有其独特的优势。

[0003] 但是在激光熔覆技术中,还有一些关键问题有待研究和解决,比如激光熔覆过程中的孔洞边缘塌陷问题。在激光熔覆中,如果零件表面有孔洞,则在激光扫描到孔洞边缘时,容易出现塌陷现象,从而对基体材料造成损伤,影响熔覆层质量。现有技术中,一般采取轨迹规划的方法避开孔洞,但是这样会极大的增加激光熔覆的成本和复杂程度,并且易受到零件具体结构和精度的限制。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种在针对有孔洞的零件进行激光熔覆时,能够避免孔洞边缘塌边的闭环控制方法。

[0005] 特别地,本发明提供一种激光熔覆的闭环控制方法,其特征在于,包括步骤:

[0006] 步骤100,在激光器的侧边设置用于检测当前温度的第一测温仪,所述第一测温仪的测量中心与所述激光器的激光加工中心重合,且所述第一测温仪的测温面积大于所述激光器熔覆时的熔池面积;

[0007] 步骤200,准备带有孔洞的待加工零件,设置激光器的初始激光功率与初始熔覆速度,以及预定熔覆轨迹,然后开始熔覆过程;

[0008] 步骤300,通过控制模块根据熔覆速度设置所述第一测温仪的采样周期,在每个所述采样周期内,所述第一测温仪获取当前测温面积的平均温度;

[0009] 步骤400,控制模块利用当前采样周期的平均温度,减去前一个采样周期的平均温度,如:

[0010] 两者的差值大于预定的降温值,则降低所述激光器的激光功率至非熔覆功率;如:

[0011] 两者的差值为负值且小于预定的升温值,则恢复所述激光器的激光功率至熔覆;如:

[0012] 两者的差值位于预定的稳定温度范围时,不改变当前所述激光器的激光功率,继续下一个循环,直至熔覆过程结束。

[0013] 进一步地,所述激光器的侧边上还设置有提前检测前方孔洞的第二测温仪,所述第二测温仪的测温面积大于所述第二测仪的测温面积,且测量中心与所述激光器的激光加工中心重合;

[0014] 当所述第二测温仪在当前采样周期获取的平均温度与其前一采样周期的平均温度差大于预定的降温值时,则降低所述激光器的激光功率至非熔覆功率。

[0015] 进一步地,所述第一测温仪的测温面积为所述熔池面积的1.1~1.3倍,所述第二测温仪的测量面积为所述第一测温仪的测温面积的2~5倍。

[0016] 进一步地,所述采集周期小于或等于所述第二测温仪的测温面积除以两倍的熔覆速度得到的值。

[0017] 进一步地,所述采样周期小于或等于1000毫秒。

[0018] 进一步地,所述第一测温仪和所述第二测温仪为红外测温仪或红外热像仪。

[0019] 进一步地,所述待加工零件上孔洞的面积至少大于 2π 乘以第二测温仪的测温面积的平方。

[0020] 进一步地,还包括对比所述第一测温仪的平均温度,和所述第二测温仪的平均温度在预定时间内温度变化幅度的步骤,步骤如下:

[0021] 步骤401,将第一测温仪获取的当前采集周期的平均温度与其预定时间时的平均温度对比,如变化幅度超过预定值,则表明已经脱离孔洞,此时,恢复激光功率至标准工作状态;

[0022] 步骤402,将第二测温仪获取的当前采集周期的平均温度与其预定时间时的平均温度对比,如变化幅度超过预定值,则表明即将进入孔洞,此时,将激光功率降至非熔覆功率;

[0023] 所述的预定时间为当前采集周期之前的预定采集周期的时间。

[0024] 进一步地,所述控制模块包括用于采集所述第一测温仪和所述第二测温仪上温度值的温度采集模块,和对采集信号进行滤波的滤波模块,以及将采集的模块信号转换为数字信号的A/D转换模块,所述控制模块的输入端耦接第一测温仪和第二测温仪,输出端耦接激光器。

[0025] 进一步地,所述第一测温仪和所述第二测温仪通过夹具安装在所述激光器上,以随所述激光器同步运动。

[0026] 与现有技术相比,本发明的技术方案可以在针对表面有孔洞的零件进行激光熔覆时,通过前方温度与当前加工处的温度差来提前发现孔洞,并及时降低激光功率,从而避免孔洞边缘因高温塌陷的现象。本发明不需要进行复杂的轨迹规划,可以有效提高激光熔覆工艺质量并且能降低制造难度和成本。

附图说明

[0027] 图1为本发明的一个实施例的闭环控制方法流程图;

[0028] 图2为本发明一个实施例的熔覆设备结构示意图;

[0029] 图3为第一测温区域和第二测温区域还未进入孔洞区域时的原理图;

[0030] 图4为第二测温区域还进入孔洞区域时的原理图;

[0031] 图5为第一测温区域和第二测温区域还完全进入孔洞区域时的原理图;

- [0032] 图6为第一测温区域和第二测温区域离开孔洞区域时的原理图；
- [0033] 图7为第一平均温度 T_i 、第二平均温度 T_n 和激光功率 P 随时间变化的原理图；
- [0034] 图8为本方法的优选实施例中的反馈迭代控制流程图。

具体实施方式

[0035] 如图1所示,在本发明的一个实施例的激光熔覆的闭环控制方法,包括如下步骤:

[0036] 步骤100,在激光器的侧边设置用于检测当前温度的第一测温仪,所述第一测温仪的测量中心与所述激光器的激光加工中心重合,且所述第一测温仪的测温面积大于所述激光器熔覆时的熔池面积。

[0037] 第一测温仪可以采用夹具夹持在激光器的一侧,以随激光器同步运动。

[0038] 步骤200,准备带有孔洞的待加工零件,设置激光器的初始激光功率与初始熔覆速度,以及预定熔覆轨迹,然后开始熔覆过程。

[0039] 步骤300,通过控制模块根据熔覆速度设置所述第一测温仪的采样周期,在每个所述采样周期内,所述第一测温仪获取当前测温面积的平均温度。

[0040] 第一测温仪在每个采样周期获取当前的平均温度,并发送给控制模块,由控制模块进行计算。

[0041] 步骤400,利用当前采样周期的平均温度,减去前一个采样周期的平均温度,如:

[0042] 两者的差值大于预定的降温值,则降低所述激光器的激光功率至非熔覆功率;如:

[0043] 两者的差值为负值且小于预定的升温值,则恢复所述激光器的激光功率至熔覆功率;如:

[0044] 两者的差值位于预定的稳定温度范围时,不改变当前所述激光器的激光功率,继续下一个循环,直至熔覆过程结束。

[0045] 本实施例中,由于第一测温仪的测温面积比熔池的面积大,而且是与激光器同步行进,当熔池在平面上行进时,第一测温仪测温范围内的温度变化幅度很小,当熔池的前方有孔洞时,第一测温仪的测温面积会先与孔洞接触,由于孔洞没有热传导,因此,孔洞处的温度远远低于熔池周边的温度,此时,第一测温仪得到的测温面积的平均温度就会低于没有孔洞时的平均温度,根据该变化,即可确定前方有孔洞,根据设定的温度变化幅度与孔洞距离的关系,即可在适当的时间降低激光器的激光功率,至少降低至不可熔化当前零件的程度,从而避免了高温使孔洞边沿塌陷的现象。

[0046] 激光器在孔洞上方继续移动,当第一测温仪获取的平均温度上升时,表明已经接近孔洞另一侧,同样,根据温度变化与孔洞距离的关系,在刚越过孔洞侧边时,即恢复激光器的激光功率,继续熔覆过程。

[0047] 通过本实施例,激光器完全可以自动避开零件表面的孔洞,提高熔覆效果,不需要进行复杂的轨迹规划,并且可以避免孔洞边缘塌陷问题。能有效提高激光熔覆工艺质量并且能降低制造难度和成本。

[0048] 进一步地,为提高判断精度,同时为控制激光器留出更多控制时间,在本发明的一个实施例中,还可以在激光器的侧边上设置用于提前检测前方孔洞的第二测温仪,该第二测温仪的测温面积大于第一测温仪的测温面积,且测量中心同样与激光器的激光加工中心重合。当第二测温仪在当前采样周期获取的平均温度与其前一采样周期的平均温度差大于预

定的降温值时,表明前方有孔洞,此时,可以降低激光器的激光功率至非熔覆温度。

[0049] 本实施例中的第二测温仪可以作为一个主要判断部件,而第一测温仪可以作为备用判断部件。即,以第二测温仪的平均温度变化作为主要参考,同时,对比第一测温仪的平均温度变化,只有在第二测温仪的平均温度达到降温值,且第一测温仪的平均温度也发生较大变化时,才对激光器的激光功率进行调整。

[0050] 还可以是,用同一采样周期中,第二测温仪的平均温度与第一测温仪的平均温度的比值(或差值),与前一个采样周期中,第二测温仪的平均温度与第一测温仪的平均温度的比值(或差值)进行比较,当符合预定条件时,即对激光器的激光功率进行调整或维持。

[0051] 采用双测温仪的方式能够提供测量精度,避免失误,提高处理效率。

[0052] 在本实施例中,该第一测温仪的测温面积可以为熔池面积的1.1~1.3倍,而第二测温仪的测量面积可以为第一测温仪测温面积的2~5倍。通过不同的范围划分,既可及时发现孔洞,也能够保证足够的处理时间。

[0053] 进一步地,在本发明的一个实施例中,该采样周期的划分可以由测温面积与熔覆速度的关系确定,一般采样周期可以小于或等于第二测温仪的测温面积除以两倍的熔覆速度得到的值。在实际测量中,为留出足够的处理时间,该采样周期需要小于或等于1000毫秒。

[0054] 进一步地,在本发明的一个实施例中,该第一测温仪和第二测温仪可以采用红外测温仪或红外热像仪来实现,优先考虑测温面积为圆形的测温仪,如KGMA或Raytek XRHSF红外测温仪。这样得到的平均温度更客观。在其它的实施例中,也还可采用热电偶或其他测温手段进行测量。

[0055] 进一步地,为方便实现激光器的控制,该待加工零件上孔洞的面积至少大于 2π 乘以第二测温仪的测温面积的平方。通过对孔洞大小的限定,可以使普通的测温仪实现精确的测量。在其它的实施例中,也可以根据相应的激光器的精度选择任意孔洞大小。

[0056] 实施例一

[0057] 设第一测温仪的第一测温区域的直径为 D_1 ,第二测温仪的第二测温区域的直径为 D_2 ,第一测温仪在当前采集周期得到的第一平均温度为 T_i ,前一采集周期得到的第一平均温度为 T_{i-1} ,第二测温仪在当前采集周期得到的第二平均温度为 T_n ,前一采集周期得到的第二平均温度为 T_{n-1} ,激光熔覆开始时的初始激光功率为 P ,初始熔覆速度为 V ,熔覆轨迹不限。

[0058] 如图2所示,本发明的实施例所涉及的熔覆设备包括:激光器、第一测温仪、第二测温仪以及控制设备;其中,激光器发出的激光照射在待加工零件上形成熔池,金属粉末喷射进入熔池,第一测温仪随激光器的移动不断监测第一测温区域,第二测温仪不断监测第二测温区域,第一测温区域的直径小于第二测温区域,且第一测温区域、第二测温区域及激光光斑的中心位置重合;控制设备的输入端耦接第一测温仪和第二测温仪,输出端耦接激光器。待加工零件表面分布有一定数量和大小孔洞。

[0059] 其中的第一测温仪和第二测温仪可以分别通过夹具装夹在激光器上,第一测温区域、第二测温区域与激光光斑的中心位置始终重合。第一测温仪和第二测温仪的测量结果为模拟信号,控制模块中通过温度信号调理采集模块将其获取为数字信号。温度信号调理采集模块内部可以包括滤波模块和A/D转换模块。采集模块可使用通用的商业设备,采样频率应根据测温仪的采集频率确定,一般应和测温仪的采集频率相同,常规在10毫秒至1秒之

间。

[0060] 此外,两个测温仪与待加工零件的最佳距离的确定应该综合考虑:测温仪光路、测温仪最小和最大测量直径、熔池、热影响区的大小、实际制造过程的环境因素等。

[0061] 如图3所示,孔洞位于激光熔覆的轨迹前方,激光束加热点、第一测温区域、第二测温区域三者的中心重合。此时,激光功率为初始激光功率 P (由具体的工艺需要和初步的工艺实验预先确定),控制模块获取第一测温仪监测第一测温区域(直径为 D_1)得到的第一平均温度 T_i ,和第二测温区域(直径为 D_2)监测第二测温区域得到第二平均温度 T_n ;

[0062] 如图4、8所示,当孔洞进入第二测温区域的监测范围时,第二测温区域的一部分失去测温对象,导致第二平均温度 T_n 开始下降,而第一平均温度 T_i 没有明显变化。熔覆轨迹继续进行,孔洞进入第二测温区域的比例越来越大,直到预定时间 x_1 时,第二平均温度 T_n 下降至60%,认为此时激光束已经接近孔洞边缘,则降低激光功率 P 至20% P –30% P 。这里预定时间 x_1 的取值与熔覆速度 V 以及 T_n 与 D_i 的比值有关,一般预定时间 $x_1 = T_n / 2V$ 。如果激光熔覆采用的是送粉式熔覆,则在激光功率 P 降低的同时,要停止送粉,如果激光熔覆采用的是预制粉式熔覆,则无此步骤。

[0063] 如图5所示,熔覆轨迹继续进行,当激光器运行至孔洞内部时,激光功率 P 为20% P ~30% P 不会对孔洞边缘和孔内部造成破坏。第一平均温度 T_i 和第二平均温度 T_n 已经完全失去测温对象,测量到的温度值接近室温。

[0064] 如图6所示,熔覆轨迹继续进行,当激光器运行至孔洞另一端边缘时,激光束重新辐照在待加工零件上时,激光束中心温度迅速升高,使第一平均温度 T_i 迅速升高,在预定时间 x_2 时间内,如果 T_i 增大至 $T_i(t-x_2)$ 的200%以上,说明此时激光束已经脱离孔洞范围,恢复激光功率至 P ,如果激光熔覆采用的是送粉式熔覆,则在激光功率恢复同时,要重新开启送粉,如果激光熔覆采用的是预制粉式熔覆,则无此步骤。 x_2 的取值与采样周期有关,一般取2–5个采样周期。

[0065] 随后在下一个采样周期内再次监测温度并重复上述步骤,循环直到试验结束。

[0066] 本实施例中的60%和200%是根据熔覆速度 V ,和激光功率 P 确定的,在其它的实施例中,也可以根据实际的需要,调整这两项目标值。

[0067] 经计算,在这一过程中的第一平均温度 T_i 、第二平均温度 T_n 和激光功率 P 的变化曲线如图7所示。

[0068] 进一步地,在本发明的一个实施例中,测温仪的测温区域的测点直径的选择方法包括:

[0069] a. 第一测温仪的测点直径与激光熔覆熔池的大小接近,以使其能够表征激光熔覆过程中熔池温度。第一测温区域的直径 D_1 可以比熔池直径大2~3mm。

[0070] b. 两个测温仪的测量光点直径比可在2–5倍之间调节,直径比大,能够探测的孔洞范围大,但是准确性有所下降。直接比小,能够探测的孔洞范围小,但是准确性有所提高。

[0071] d. 如果激光熔覆过程的环境条件比较恶劣,如有粉末飞溅或火花飞溅等,应使两个测温仪距离工件表面有足够的距离,或者在测温仪镜头前增加保护装置。

[0072] 更进一步地,在本发明的一个实施例中,控制设备中还可以包括温度采集装置和激光功率控制模块,由于对于孔洞的监测不可能一次到位,因此,本实施中采用的控制算法是个反馈迭代的过程,控制的流程图如图所示。

[0073] 优选地,监测部件上第一圆形测温区域(直径为 D_1),得到第一平均温度 T_1 和监测被测部件上第二圆形测温区域(直径为 D_2),得到第二平均温度 T_2 所使用的方法或装置是红外测温仪或红外热像仪。

[0074] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

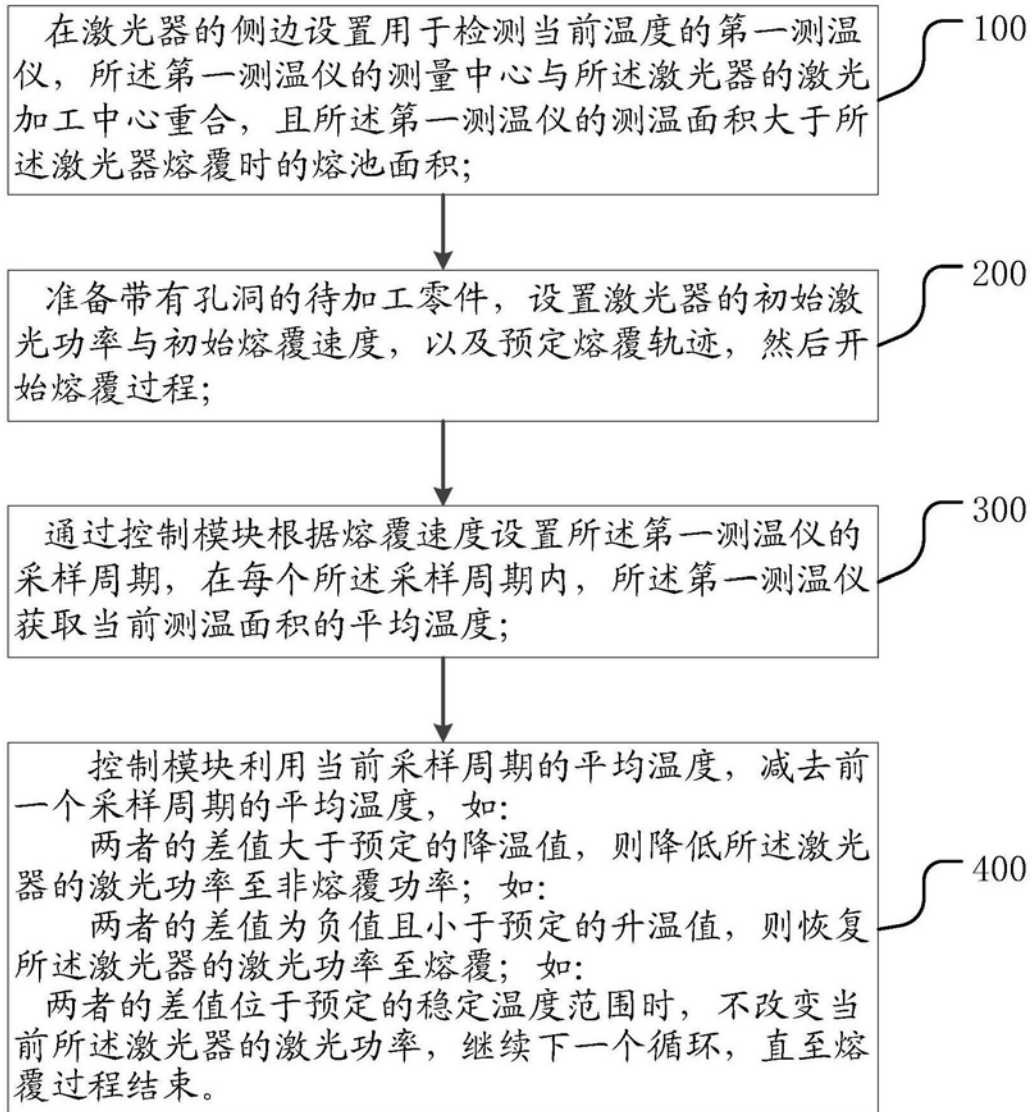


图1

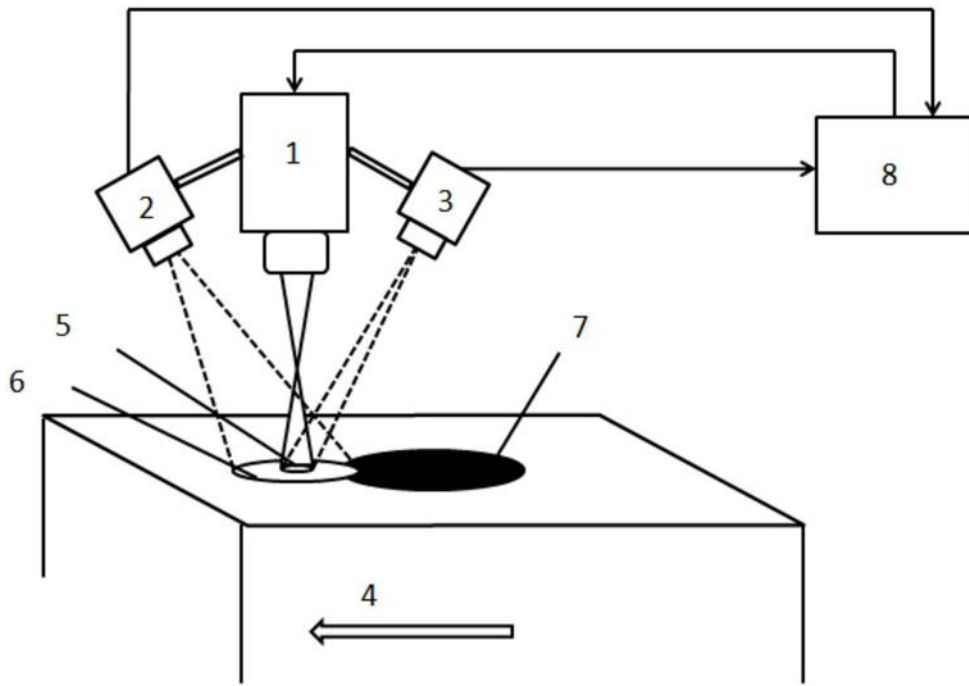


图2

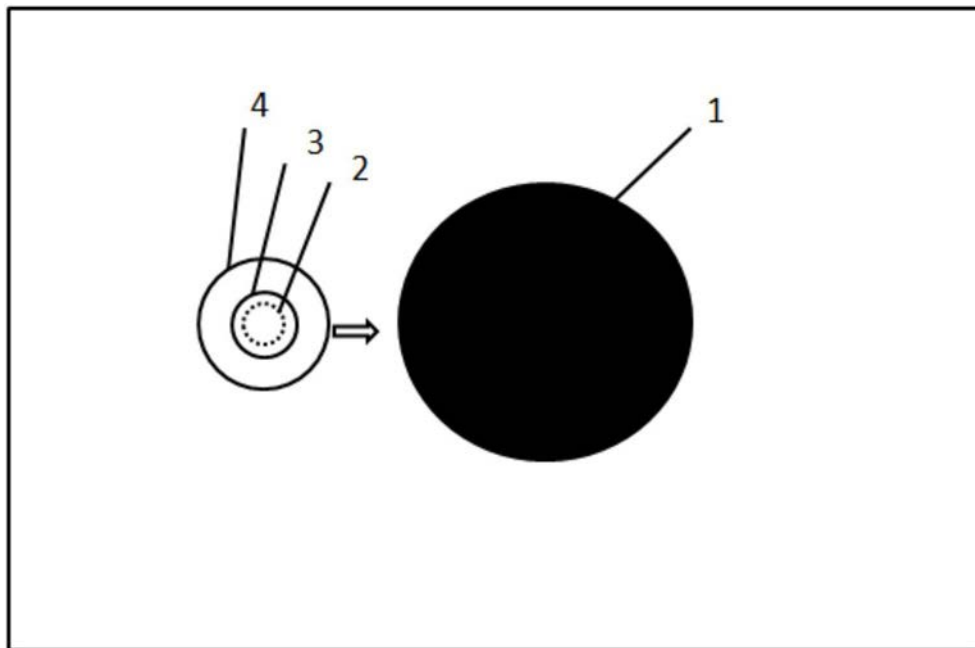


图3

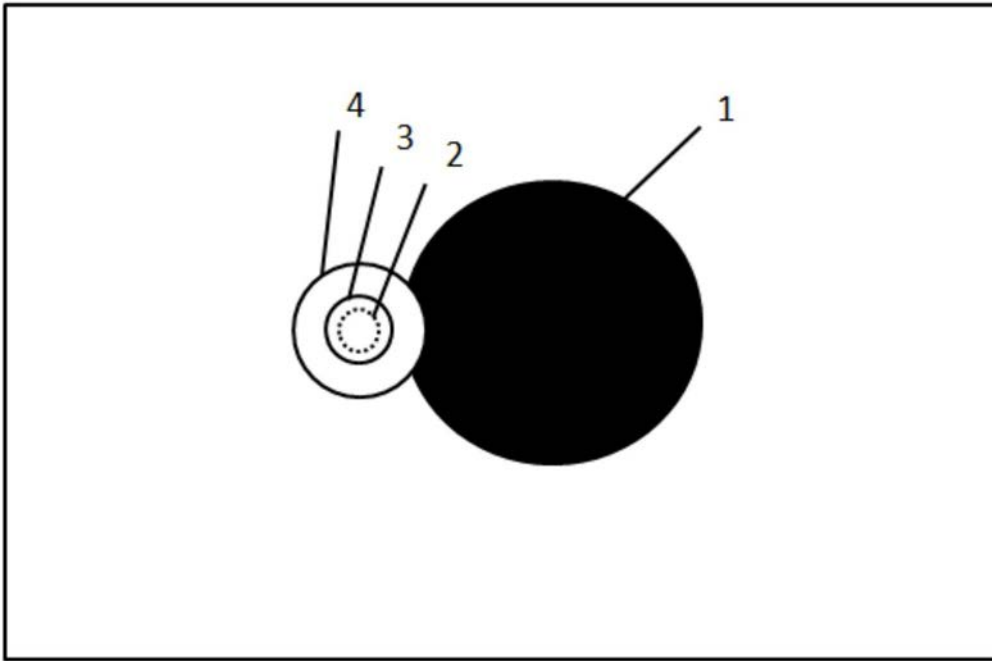


图4

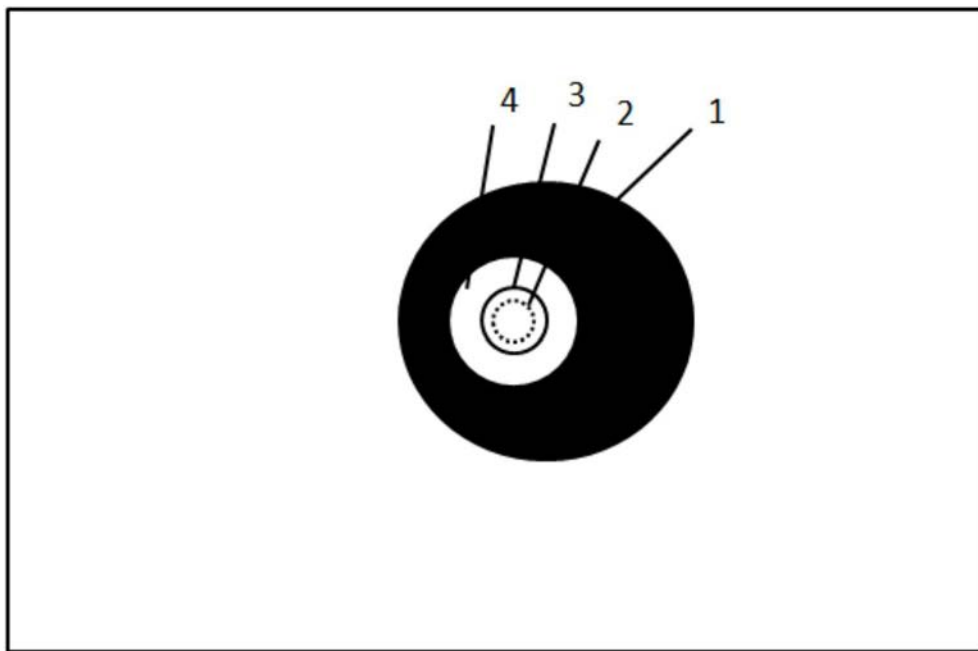


图5

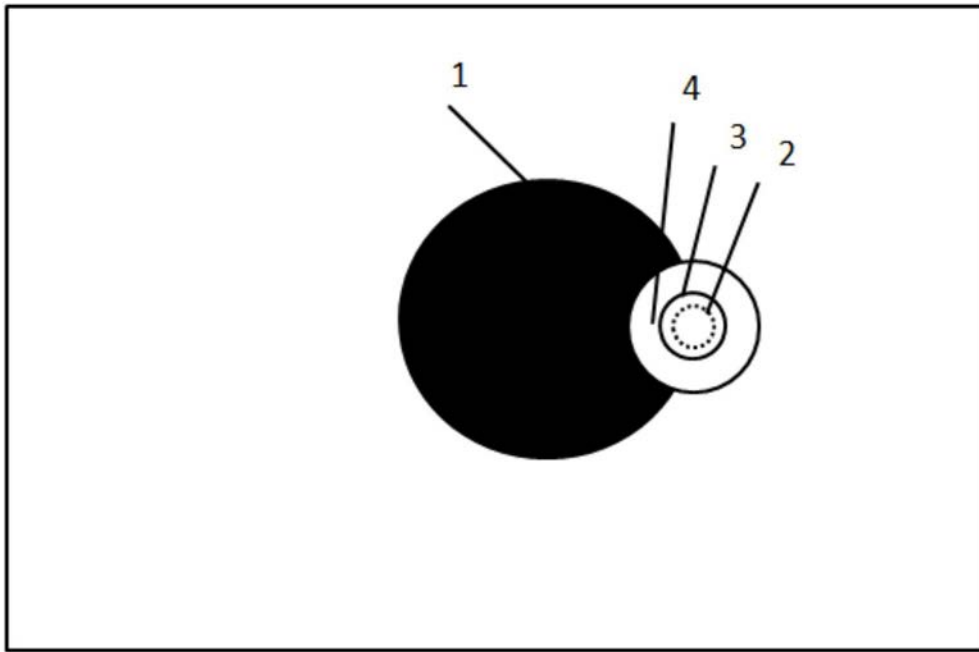


图6

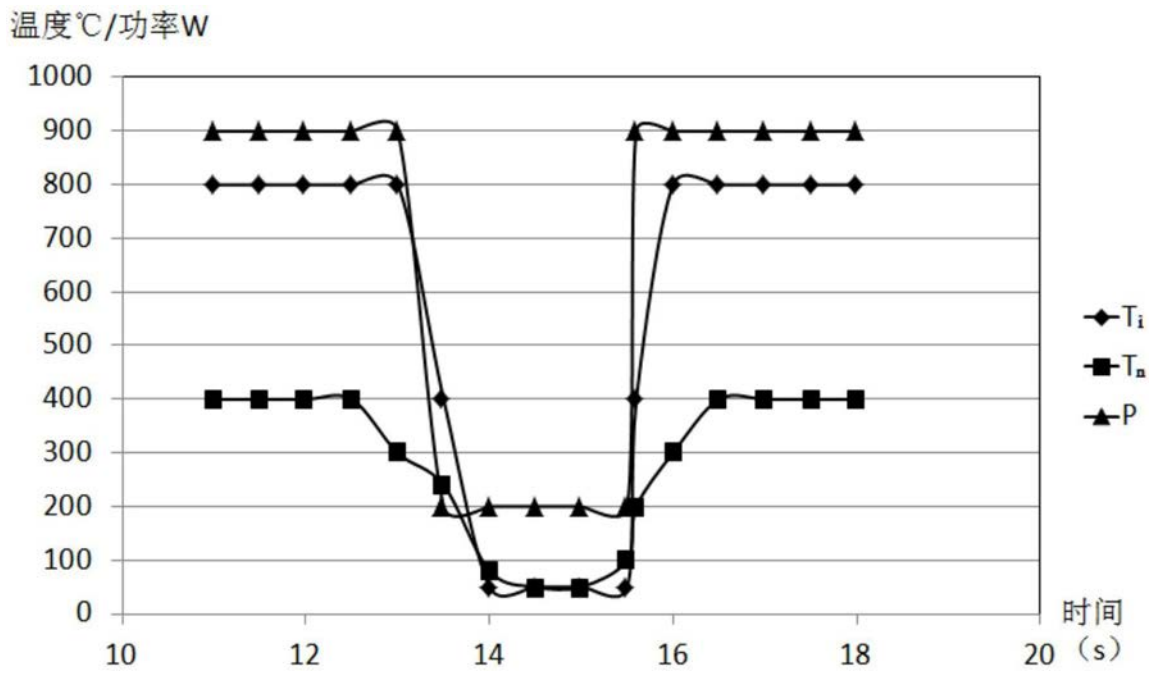


图7

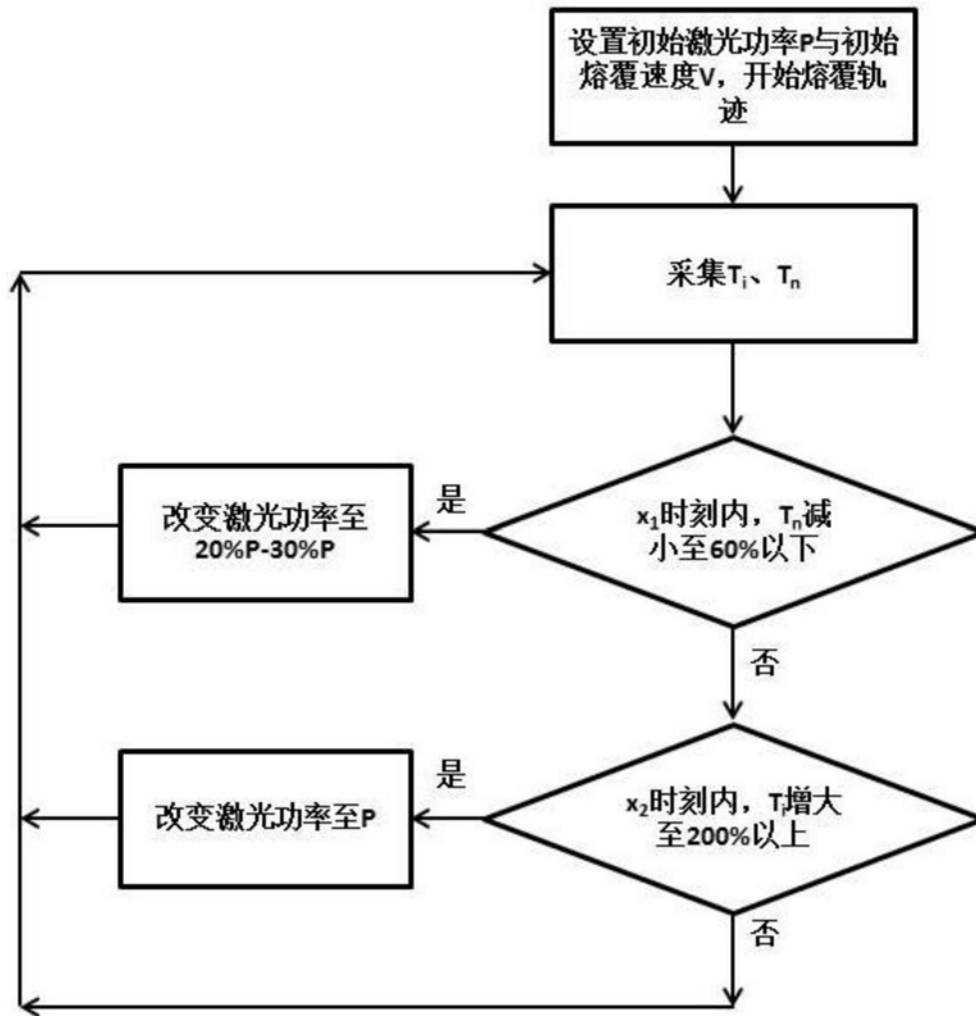


图8