



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108760641 B

(45) 授权公告日 2023.05.16

(21) 申请号 201810938313.X

B23K 9/095 (2006.01)

(22) 申请日 2018.08.17

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 107112333 A, 2017.08.29

申请公布号 CN 108760641 A

CN 107532991 A, 2018.01.02

(43) 申请公布日 2018.11.06

US 2004099648 A1, 2004.05.27

(73) 专利权人 龙岩学院

审查员 郭康晋

地址 364012 福建省龙岩市新罗区东肖北路1号

(72) 发明人 范秋月 孙志攀

(74) 专利代理机构 吉林长春新纪元专利代理有限公司 22100

专利代理师 王怡敏

(51) Int. Cl.

G01N 21/01 (2006.01)

G01N 21/95 (2006.01)

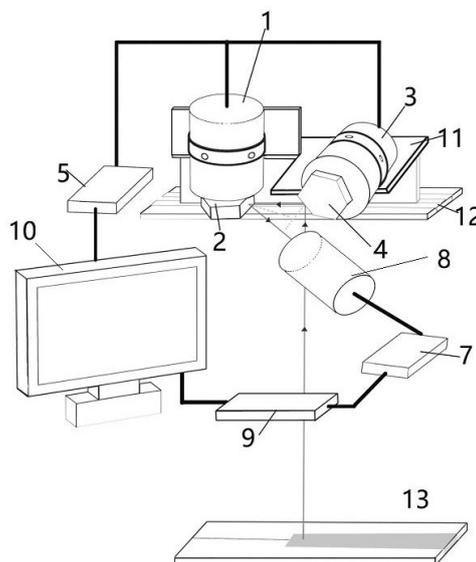
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

## (54) 发明名称

基于单光子探测的熔焊过程监测装置及监测方法

## (57) 摘要

本发明涉及一种基于单光子探测的熔焊过程监测装置及监测方法,属于焊接监测技术领域。单光子探测器、不同光谱波段的多组滤光片、两个多面体转镜、两台高速电机及电机驱动器共同组成单光子面扫描系统,每完成一个扫描周期即可探测一正方形区域光子信息。单光子面扫描系统在运动导轨上沿焊接方向前进,在数据采集卡控制下采集焊缝的光子信号,经过信号调理电路对信号的放大与滤波等过程将信号传入工业电脑。在工业电脑的数据处理单元中对熔焊过程中的光子信号进行数据处理,分析焊缝质量与光子信号的关系,提取焊缝质量特征信号。本装置设计合理,探测精度高,响应时间快,为焊接质量在线监测提供了新的监测手段。



1. 一种基于单光子探测的熔焊过程监测装置,其特征在于:高速电机A(1)、多面体转镜A(2)、高速电机B(3)、多面体转镜B(4)、电机驱动器(5)、多波段滤光片(6)、单光子探测器(8)共同组成单光子面扫描系统,每完成一个扫描周期即可探测一正方形区域光子信息;所述单光子面扫描系统安装在支架(11)上,支架(11)安装在导轨(12)上,导轨(12)带动支架(11)沿着在焊接方向配合焊接速度与扫描范围做间歇式运动,相邻两次运动间隔时间大于单光子面扫描系统完成一周期扫描所需时间,保证单光子面扫描系统完成一周期探测;所述单光子面扫描系统在导轨(12)上前进的步距小于扫描正方形区域的边长;所述多面体转镜A(2)与高速电机A(1)连接,多面体转镜B(4)与高速电机B(3)连接,高速电机A(1)、高速电机B(3)分别与电机驱动器(5)连接,所述电机驱动器(5)与工业电脑(10)连接;单光子探测器(8)与多面体转镜A(2)相配合,接收多面体转镜A(2)前方的多波段滤光片(6)的反射光线,单光子探测器(8)与高速数据采集卡(7)相连,高速数据采集卡(7)通过信号调理模块(9)与工业电脑(10)相连。

2. 根据权利要求1所述的基于单光子探测的熔焊过程监测装置,其特征在于:所述的高速电机A(1)带动多面体转镜A(2)对焊缝宽度方向上的光子数进行扫描,高速电机B(3)带动多面体转镜B(4)对焊缝垂直方向上的光子数进行扫描,所述高速电机A(1)的轴线方向与高速电机B(3)的轴线方向垂直;在高速电机A(1)转轴带动下的多面体转镜A(2)前方安装多波段滤光片(6)。

3. 根据权利要求1或2所述的基于单光子探测的熔焊过程监测装置,其特征在于:所述的高速电机A(1)、高速电机B(3)在电机驱动器(5)的控制下,扫描范围内的转角相互配合,扫描焊缝宽度方向的高速电机A(1)每完成预设宽度的扫描次数,垂直方向的高速电机B(3)相配合的偏转一次角度。

4. 根据权利要求1所述的基于单光子探测的熔焊过程监测装置,其特征在于:所述多面体转镜A(2)与多波段滤光片(6)相配合,不同光谱波段的滤光片分别安装在多面体转镜A(2)的各个镜面之前,使不同镜面反射不同波长范围的红外波,以获得各时间点的最佳红外光子信息;所述多面体转镜A(2)的对称的镜面采用相同波长范围的滤光片。

5. 根据权利要求1或4所述的基于单光子探测的熔焊过程监测装置,其特征在于:所述的多波段滤光片(6)为不同光谱波段的多组滤光片,多波段滤光片(6)在多面体转镜A(2)的各镜面前的安装需要结合光路扫描范围,多波段滤光片(6)的尺寸只作用于入射光线范围,反射光线直接射入单光子探测器(8)。

6. 根据权利要求1所述的基于单光子探测的熔焊过程监测装置,其特征在于:所述的单光子面扫描系统的扫描平面中心与焊缝中心线重合,并将焊缝宽度方向全部覆盖,使单光子探测器(8)在高速数据采集卡(7)的作用下接收到刚凝固而未冷却的焊缝的单光子信号。

7. 根据权利要求1所述的基于单光子探测的熔焊过程监测装置的监测方法,其特征在于:包括如下步骤:

a、根据焊接速度设置熔焊过程焊缝的光子信号监测装置中导轨(12)的运行速度,确保导轨(12)的运行速度对单光子扫描系统不产生影响;

b、根据板厚、焊缝宽度设定高速电机A(1)的扫描范围,根据监测数据精度要求,选择多面体转镜A(2)的镜面数量并通过电机驱动器(5)分别设定高速电机A(1)、高速电机B(3)的细分转角;

c、根据单光子探测器(8)的波段范围,选择多波段滤光片(6)的波段范围,并确定多波段滤光片组数,处理不同波段的光子数据随时间变化曲线,在工业电脑(10)的UI界面最上端进行实时显示;

d、对熔焊过程中常见影响焊接质量的因素进行单因素变化,监测焊接过程中光子信号,热传导因子由于焊缝中缺陷的存在发生变化,导致焊缝表面的光子数发生变化;

e、对比不同波段范围的光子随时间变化曲线,计算相邻n个数据采集点的均值,得到m维光子数据量 $[p_1, p_2, p_3 \cdots p_{m-1}, p_m]$ ,采用主成分分析法对m维数据降维处理,以相关性检验法提取质量良好及包含各种缺陷的焊缝光子数特征量;

f、根据反应焊缝质量的光子数特征量与焊缝质量的相关系数值,设置重要特征量的阈值范围,以此判断高速电机A(1)扫描方向上的焊缝质量是否合格及焊缝中缺陷的有无,以方便用户实时了解焊缝质量信息;

g、在高速电机B(3)每转动一次多面体转镜B(4)时,高速电机A(1)进行下一行的扫描,逐渐形成基于光子信号的焊缝图像,在工业电脑(10)的UI界面中间进行实时显示,直至单光子面扫描系统完成一周期扫描,焊缝图像显示完成。

8. 根据权利要求7所述的监测方法,其特征在于:所述的导轨(12)带动支架(11)上的单光子面扫描系统前进一步,进行下一周期焊缝图像的扫描,各连续焊缝图像拼接组合成的焊缝图像在工业电脑(10)的UI界面最下端显示最近几个扫描周期的焊缝图像,并对有缺陷存在的焊缝图像以不同颜色进行标注,以方便用户观察。

## 基于单光子探测的熔焊过程监测装置及监测方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及焊接监测技术领域,特别涉及一种基于单光子探测的熔焊过程监测装置及监测方法。

### 背景技术

[0002] 熔化焊是在无压力作用下,焊件局部发生熔化的一种焊接方法,包括气焊、焊条电弧焊、熔化极气体保护焊、钨极氩弧焊、埋弧焊、激光焊等。

[0003] 由于连接处的金属是在高温下熔化,存在高温相变过程,在焊缝与母材之间产生了热影响区,与焊缝共同组成焊接接头。焊接接头的质量好坏与接头组织直接相关,而组织场与温度场密切相关,因此对焊接过程中温度信息全面监测对评估焊接接头质量至关重要。

[0004] 对焊接过程中温度场监测的手段大多通过红外热成像技术或者红外测温仪,目前CCD红外热像仪的应用更为普遍,通过在相机镜头上加装合适的滤光系统以消除干扰光,得到熔池图像。

[0005] CCD红外热像仪监测对熔焊温度场监测存在下述问题:

[0006] 第一、焊缝的熔池在成型之前的温度随熔池内部热循环与热传递等原因,温度变化较大,在CCD热像仪的响应时间下,造成温度场监测精度下降。当焊缝成型后,由于焊枪等遮挡问题,CCD摄像机需要倾斜一定角度,易造成熔池温度场图像变形,同样影响温度场精度。

[0007] 第二、CCD热像仪对熔焊的温度场监测中是依据辐射式测温,根据普朗克定律可知,温度与辐射光的波长密切相关。现有的监测方法中大多通过试验的方法获得滤光片波长范围,以减少杂波干扰,但不同焊接参数对滤波参数的选择存在较大影响,进而影响温度的监测精度。

[0008] 综上所述,目前的CCD热成像技术对熔焊过程的温度场监测不足以获得准确的温度场信息,进而影响焊缝质量监测。

### 发明内容

[0009] 本发明的目的在于提供一种基于单光子探测的熔焊过程监测装置及监测方法,解决了现有技术存在的上述问题。

[0010] 本发明的上述目的通过以下技术方案实现:

[0011] 基于单光子探测的熔焊过程监测装置,高速电机A1、多面体转镜A2、高速电机B3、多面体转镜B4、电机驱动器5、多波段滤光片6、单光子探测器8共同组成单光子面扫描系统,每完成一个扫描周期即可探测一正方形区域光子信息;所述单光子面扫描系统安装在支架11上,支架11安装在导轨12上,导轨12带动支架11沿着在焊接方向配合焊接速度与扫描范围做间歇式运动,相邻两次运动间隔时间大于单光子面扫描系统完成一周期扫描所需时间,保证单光子面扫描系统完成一周期探测;所述单光子面扫描系统在导轨12上前进的步

距小于扫描正方形区域的边长；所述多面体转镜A2与高速电机A1连接，多面体转镜B4与高速电机B3连接，高速电机A1、高速电机B3分别与电机驱动器5连接，所述电机驱动器5与工业电脑10连接；单光子探测器8与多面体转镜A2相配合，接收多面体转镜A2前方的多波段滤光片6的反射光线，单光子探测器8与高速数据采集卡7相连，高速数据采集卡7通过信号调理模块9与工业电脑10相连。

[0012] 所述的高速电机A1带动多面体转镜A2对焊缝宽度方向上的光子数进行扫描，高速电机B3带动多面体转镜B4对焊缝垂直方向上的光子数进行扫描，所述高速电机A1的轴线方向与高速电机B3的轴线方向垂直；在高速电机A1转轴带动下的多面体转镜A2前方安装多波段滤光片6。

[0013] 所述的高速电机A1、高速电机B3在电机驱动器5的控制下，扫描范围内的转角相互配合，扫描焊缝宽度方向的高速电机A1每完成预设宽度的扫描次数，垂直方向的高速电机B3相配合的偏转一次角度。

[0014] 所述多面体转镜A2与多波段滤光片6相配合，不同光谱波段的滤光片分别安装在多面体转镜A2的各个镜面之前，使不同镜面反射不同波长范围的红外波，以获得各时间点的最佳红外光子信息；所述多面体转镜A2的对称的镜面采用相同波长范围的滤光片。

[0015] 所述的多波段滤光片6为不同光谱波段的多组滤光片，多波段滤光片6在多面体转镜A2的各镜面前的安装需要结合光路扫描范围，多波段滤光片6的尺寸只作用于入射光线范围，反射光线直接射入单光子探测器8。

[0016] 所述的单光子面扫描系统的扫描平面中心与焊缝中心线重合，并将焊缝宽度方向全部覆盖，使单光子探测器8在高速数据采集卡7的作用下接收到刚凝固而未冷却的焊缝的单光子信号。

[0017] 本发明的另一目的在于提供一种基于单光子探测的熔焊过程监测方法，包括如下步骤：

[0018] a、根据焊接速度设置熔焊过程焊缝的光子信号监测装置中导轨12的运行速度，确保导轨12的运行速度对单光子扫描系统不产生影响；

[0019] b、根据板厚、焊缝宽度设定高速电机A1的扫描范围，根据监测数据精度要求，选择多面体转镜A2的镜面数量并通过电机驱动器5分别设定高速电机A1、高速电机B3的细分转角；

[0020] c、根据单光子探测器8的波段范围，选择多波段滤光片6的波段范围，并确定多波段滤光片组数，处理不同波段的光子数据随时间变化曲线，在工业电脑10的UI界面最上端进行实时显示；

[0021] d、对熔焊过程中常见影响焊接质量的因素进行单因素变化，监测焊接过程中光子信号，热传导因子由于焊缝中缺陷的存在发生变化，导致焊缝表面的光子数发生变化；

[0022] e、对比不同波段范围的光子随时间变化曲线，计算相邻n个数据采集点的均值，得到m维光子数据量 $[p_1, p_2, p_3 \cdots p_{m-1}, p_m]$ ，采用主成分分析法对m维数据降维处理，以相关性检验法提取质量良好及包含各种缺陷的焊缝光子数特征量；

[0023] f、根据反应焊缝质量的光子数特征量与焊缝质量的相关系数值，设置重要特征量的阈值范围，以此判断高速电机A1扫描方向上的焊缝质量是否合格及焊缝中缺陷的有无，以方便用户实时了解焊缝质量信息；

[0024] g、在高速电机B3每转动一次多面体转镜B4时,高速电机A1进行下一行的扫描,逐渐形成基于光子信号的焊缝图像,在工业电脑10的UI界面中间进行实时显示,直至单光子面扫描系统完成一周期扫描,焊缝图像显示完成。

[0025] 所述的导轨12带动支架11上的单光子面扫描系统前进一步,进行下一周期焊缝图像的扫描,各连续焊缝图像拼接组合成的焊缝图像在工业电脑10的UI界面最下端显示最近几个扫描周期的焊缝图像,并对有缺陷存在的焊缝图像以不同颜色进行标注,以方便用户观察。

[0026] 本发明的有益效果在于:本发明提出一种新的焊接过程监测信号——光子信号,结合针焊缝形成与冷却中对不同波段单光子信息敏感性不同的特点设计了多波段单光子面扫描系统,基于单光子探测的熔焊过程监测装置解决了现有熔核温度场监测装置中响应时间慢,监测精度低等问题。同时实现了以熔焊过程中的单光子随时间变化曲线及基于光子信号的焊缝图形评估焊缝的可靠性技术。本装置设计合理,探测精度高,响应时间快,为焊接质量在线监测提供了新的监测手段。

## 附图说明

[0027] 此处所说明的附图用来提供对本发明的进一步理解,构成本申请的一部分,本发明的示意性实例及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定。

[0028] 图1为本发明的熔焊过程焊缝的光子信号监测装置的结构示意图;

[0029] 图2为本发明的单光子面扫描系统示意图;

[0030] 图3为本发明的监测系统初始化界面;

[0031] 图4为本发明的监测系统UI界面图。

[0032] 图中:1、高速电机A;2、多面体转镜A;3、高速电机B;4、多面体转镜B;5、电机驱动器;6、多波段滤光片;7、高速数据采集卡;8、单光子探测器;9、信号调理模块;10、工业电脑;11、支架;12、导轨;13、焊缝。

## 具体实施方式

[0033] 下面结合附图进一步说明本发明的详细内容及其具体实施方式。

[0034] 参见图1及图2所示,本发明的基于单光子探测的熔焊过程监测装置,包括高速电机A1、多面体转镜A2、高速电机B3、多面体转镜B4、电机驱动器5、多波段滤光片6、高速数据采集卡7、单光子探测器8、信号调理模块9、工业电脑10、支架11、导轨12,其中,所述高速电机A1、多面体转镜A2、高速电机B3、多面体转镜B4、电机驱动器5、多波段滤光片6、单光子探测器8共同组成单光子面扫描系统,每完成一个扫描周期即可探测一正方形区域光子信息;所述单光子面扫描系统安装在支架11上,支架11安装在导轨12上,导轨12带动支架11沿着在焊接方向配合焊接速度与扫描范围做间歇式运动,相邻两次运动间隔时间大于单光子面扫描系统完成一周期扫描所需时间,保证单光子面扫描系统完成一周期探测,以此可以有效降低运动过程中对扫描系统的干扰;所述单光子面扫描系统在导轨12上前进的步距小于扫描正方形区域的边长,以保证获得连续焊缝的红外单光子信息,具体前进步距可根据焊缝冷却速度等特点设定。所述多面体转镜A2与高速电机A1连接,多面体转镜B4与高速电机B3连接,高速电机A1、高速电机B3分别与电机驱动器5连接,所述电机驱动器5与工业电脑10

连接;单光子探测器8与多面体转镜A2相配合,接收多面体转镜A2前方的多波段滤光片6的反射光线,单光子探测器8与高速数据采集卡7相连,高速数据采集卡7通过信号调理模块9与工业电脑10相连。单光子信号经过信号调理模块9的放大、降噪等处理传输到工业电脑10,在工业电脑10的数据处理系统中对红外光子数据进行滤波等处理,在工业电脑10的UI(人机交互界面)实时显示出焊缝宽度方向的光子数据曲线图及基于光子信号的焊缝图像。

[0035] 所述的高速电机A1带动多面体转镜A2对焊缝宽度方向上的光子数进行扫描,高速电机B3带动多面体转镜B4对焊缝垂直方向上的光子数进行扫描,所述高速电机A1的轴线方向与高速电机B3的轴线方向垂直;为了降低不同波段光子的相互干扰,在高速电机A1转轴带动下的多面体转镜A2前方安装多波段滤光片6,高速电机B3转轴带动下的多面体转镜B4无需再次滤光,其前方无需再次安装滤光片。高速电机A1与高速电机B3在电机驱动器5控制下转动一定扫描角度,由于高速电机A1与高速电机B3的转轴分别带动多面体转镜A2与多面体转镜B4,而非单平面转镜,只需控制电机向同一方向旋转即可,有效避免了单面转镜需要往返转动扫描带来惯性误差的叠加。所述高速电机A1在电机驱动器5控制下,相邻两次偏转时间间隔需大于单光子探测器响应时间,以保证单光子探测器8充分感应光子信号。

[0036] 所述的高速电机A1、高速电机B3在电机驱动器5的控制下,扫描范围内的转角相互配合、协调,扫描焊缝宽度方向的高速电机A1每完成预设宽度的扫描次数,垂直方向的高速电机B3相配合的偏转一次角度;

[0037] 焊缝形成与冷却过程中,焊缝材料组织成分不断转变,由普朗克黑体辐射定律可知,不同材料对光线吸收程度不同,随着时间推移,焊缝对不同波段范围的红外光子信号敏感程度也不同。因此,所述多面体转镜A2与多波段滤光片6相配合,不同光谱波段的滤光片分别安装在多面体转镜A2的各个镜面之前,使不同镜面反射不同波长范围的红外波,以获得各时间点的最佳红外光子信息;所述多面体转镜A2的对称的镜面采用相同波长范围的滤光片,以保证相同波段的红外单光子信号采集足够有效数据。

[0038] 所述的多波段滤光片6在多面体转镜A2的各镜面前的安装需要结合光路扫描范围,由于滤光片的透射率有一定峰值,为降低光子能量损失,因此,所述多波段滤光片6的尺寸只作用于入射光线范围,反射光线直接射入单光子探测器8。

[0039] 所述的单光子面扫描系统的扫描平面中心与焊缝中心线尽量重合,并将焊缝宽度方向全部覆盖,使单光子探测器8在高速数据采集卡7的作用下接收到刚凝固而未冷却的焊缝的单光子信号。

[0040] 所述的滤光片6为不同光谱波段的多组滤光片。

[0041] 参见图3及图4所示,本发明的基于单光子探测的熔焊过程监测方法,包括如下步骤:

[0042] 根据焊接速度设置熔焊过程焊缝的光子信号监测装置中导轨12的运行速度,确保导轨12的运行速度对单光子扫描系统不产生影响,使前进方向与熔池距离保持一定;

[0043] 根据板厚、焊缝宽度设定高速电机A1的扫描范围,根据监测数据精度要求,选择多面体转镜A2的镜面数目并通过电机驱动器5分别设定高速电机A1、高速电机B3的细分转角;

[0044] 根据单光子探测器8的波段范围,选择多波段滤光片6的波段范围,并确定多波段滤光片组数,处理不同波段的光子数据随时间变化曲线,在工业电脑10的UI界面最上端进行实时显示;

[0045] 对熔焊过程中常见影响焊接质量的因素进行单因素变化,监测焊接过程中光子信号,热传导因子由于焊缝中缺陷(如气孔、夹杂、裂纹、咬边等)的存在发生变化,导致焊缝表面的光子数发生变化;

[0046] 对比不同波段范围的光子随时间变化曲线,计算相邻 $n$ 个数据采集点的均值,得到 $m$ 维光子数据量 $[p_1, p_2, p_3 \cdots p_{m-1}, p_m]$ ,采用主成分分析法对 $m$ 维数据降维处理,以相关性检验法提取质量良好及包含各种缺陷的焊缝光子数特征量;

[0047] 根据反应焊缝质量的光子数特征量与焊缝质量的相关系数值,设置重要特征量的阈值范围,以此判断高速电机A1扫描方向上的焊缝质量是否合格及焊缝中缺陷的有无,以方便用户实时了解焊缝质量信息;

[0048] 在高速电机B3每转动一次多面体转镜B4时,高速电机A1进行下一行的扫描,逐渐形成基于光子信号的焊缝图像,在工业电脑10的UI界面中间进行实时显示,直至单光子面扫描系统完成一周期扫描,焊缝图像显示完成。

[0049] 所述的导轨12带动支架11上的单光子面扫描系统前进一步,进行下一周期焊缝图像的扫描,各连续焊缝图像拼接组合成一定长度的焊缝图像在工业电脑10的UI界面最下端显示最近几个扫描周期的焊缝图像,并对有缺陷存在的焊缝图像以不同颜色进行标注,以方便用户观察。

[0050] 实施例:

[0051] 一种基于单光子探测的熔焊过程监测装置及监测方法,克服现有技术的不足,提供一种新的反应熔焊过程温度场的监测信号,以光子信号为对熔焊过程温度场进行监测,设计了基于单光子探测器系统对熔焊过程焊缝的光子信号进行监测的装置及监测方法。监测装置由工业电脑、信号调理电路、高速数据采集卡、单光子探测器、多面体转镜、不同光谱波段的多组滤光片、超高速电机、电机驱动器、单光子探测器支架、运动控制导轨等组成,单光子探测器、不同光谱波段的多组滤光片、两个多面体转镜、两台高速电机及电机驱动器共同组成单光子面扫描系统,每完成一个扫描周期即可探测一正方形区域光子信息。单光子面扫描系统在运动导轨上沿焊接方向前进,在数据采集卡控制下采集焊缝的光子信号,经过信号调理电路对信号的放大与滤波等过程将信号传入工业电脑。在工业电脑的数据处理单元中对熔焊过程中的光子信号进行数据处理,分析焊缝质量与光子信号的关系,提取焊缝质量特征信号。本装置设计合理,探测精度高,响应时间快,为焊接质量在线监测提供了新的监测手段。

[0052] 参见图1及图2,本发明的熔焊过程焊缝的光子信号监测装置,包括高速电机A1、多面体转镜A2、高速电机B3、多面体转镜B4、电机驱动器5、多波段滤光片6、高速数据采集卡7、单光子探测器8、信号调理模块9、工业电脑10、支架11、导轨12,其中,所述高速电机A1、多面体转镜A2、高速电机B3、多面体转镜B4、电机驱动器5、多波段滤光片6、单光子探测器8共同组成单光子面扫描系统,每完成一个扫描周期即可探测一正方形区域光子信息。

[0053] 采用SUS301L不锈钢的激光焊为例,工件厚度选用2mm+2mm对接方式,根据经验焊缝宽度一般在mm。激光焊设备为CO2激光器,聚焦斑点最小为0.5mm,焊接速度为3m/min,离焦量为+4mm。高速电机转速最高设置可达100000r/s,步进电机不仅角度为 $1.8^\circ$ ,电机驱动器选用DCM8027细分步进驱动器,该细分驱动器是一种细分型高性能步进驱动器,细分精度有 $1/2$ ,  $1/4$ ,  $1/8$ ,  $1/16$ ,  $1/32$ ,  $1/64$ ,  $1/128$ ,  $1/256$ ,  $1/5$ ,  $1/10$ ,  $1/25$ ,  $1/50$ ,  $1/$

125, 1/250细分可选,多面体转镜选用8面体,单光子探测器光谱波段在300-1000nm,响应时间200ns,数据采集卡采样频率为80MHz。

[0054] 对焊缝宽度方向上的光子数进行扫描的为高速电机A1带动多面体转镜A2,高速电机B3转轴带动多面体转镜B4。高速电机A1轴线方向与高速电机B3轴线方向垂直。

[0055] 为了降低不同波段光子的相互干扰,在高速电机A1转轴带动下的多面体转镜A2前方安装多波段滤光片6,在高速电机B3转轴带动下的多面体转镜B4无需再次滤光,其前方无所再次安装滤光片。

[0056] 焊缝形成与冷却过程中,焊缝材料组织成分不断转变,由普朗克黑体辐射定律可知,不同材料对光线吸收程度不同,随着时间推移,焊缝对不同波段范围的红外光子信号敏感程度也不同。因此,所述的多面体转镜A2与多波段滤光片6相配合,不同光谱波段的滤光片分别安装在多面体转镜A2的各个镜面之前,使不同镜面反射不同波长范围的红外波,以获得各时间点的最佳红外光子信息。

[0057] 所述多面体转镜A2的对称面采用相同波长范围的滤光片,以保证相同波段的红外单光子信号采集足够有效数据。

[0058] 所述多波段滤光片6在多面体转镜A2的各镜面前的安装需要结合光路扫描范围,由于滤光片的透射率有一定峰值,为降低光子能量损失,因此,所述滤光片的尺寸只作用于入射光线范围,反射光线直接射入单光子探测器8。

[0059] 所述单光子面扫描系统安装在导轨12带动的支架11上,沿着在焊接方向配合焊接速度与扫描范围做间歇式运动,相邻运动两次间隔时间要大于单光子面扫描系统完成一周扫描所需时间,保证单光子面扫描系统完成一周探测,以此可以有效降低运动过程中对扫描系统的干扰。

[0060] 所述单光子面扫描系统在导轨上前进距小于扫描正方形区域的边长,以保证获得连续焊缝的红外单光子信息,具体前进距可根据焊缝冷却速度等特点设定。

[0061] 所述高速电机A1与高速电机B3在电机驱动器5控制下,扫描范围内的转角相互配合、协调,扫描焊缝宽度方向的高速电机A1每完成预设宽度的扫描次数,垂直方向的高速电机BA3相配合的偏转一次角度。

[0062] 所述的高速电机A1与高速电机B3在电机驱动器5控制下转动一定扫描角度,由于高速电机A1与高速电机B3的转轴分别带动多面体转镜A2与多面体转镜B4,而非单平面转镜,只需控制电机向同一方向旋转即可,有效避免了单面转镜需要往返转动扫描带来惯性误差的叠加。

[0063] 所述高速电机A1在电机驱动器5控制下,相邻两次偏转时间间隔需大于单光子探测器响应时间,以保证单光子探测器8充分感应光子信号。

[0064] 所述的单光子面扫描系统的扫描平面中心与焊缝中心线尽量重合,并将焊缝宽度方向全部覆盖,使单光子探测器8在高速数据采集卡7的作用下接收到刚凝固而未冷却的焊缝的单光子信号。

[0065] 单光子信号经过信号调理电路9的放大、降噪等处理传输到工业电脑10,在工业电脑10的数据处理系统中对红外光子数据进行滤波等处理,在工业电脑10的UI(人机交互界面)实时显示出焊缝宽度方向的光子数据曲线图及基于光子信号的焊缝图像。

[0066] 参见图3及图4所示,本发明的基于光子信号的熔焊质量监测方法,包括下述步骤:

[0067] 根据焊接速度设置熔焊过程焊缝的光子信号监测装置中导轨12的运行速度,确保导轨12的运行速度对单光子扫描系统不产生影响,使前进方向上与熔池距离保持一定。

[0068] 根据板厚、焊缝宽度设定高速电机A1的扫描范围,根据监测数据精度要求,选择多面转角的镜面数目并通过电机驱动器分别设定两台高速电机的细分转角。

[0069] 根据单光子探测器的波段范围,选择滤光片的波段范围,并确定所需滤光片组数,处理不同波段的光子数据随时间变化曲线,在工业电脑10的UI界面最上端进行实时显示。

[0070] 对熔焊过程中常见影响焊接质量的因素进行单因素变化,监测其焊接过程中光子信号,热传导因子由于焊缝中缺陷(如气孔、夹杂、裂纹、咬边等)的存在发生变化,导致焊缝表面的红外光子数发生变化。

[0071] 对比不同波段范围的光子随时间变化曲线,计算相邻n个数据采集点的均值,得到m维光子向量  $[p_1, p_2, p_3 \dots p_m]$ ,采用主成分分析法对m维数据降维处理。在单光子面扫描系统完成一周期扫描时,将获得k个m维光子向量  $[p_1, p_2, p_3 \dots p_m]$ ,则单光子面扫描系统完成一周期扫描图形的矩阵为:

$$[0072] \quad A = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{k1} & p_{k2} & \dots & p_{km} \end{bmatrix}$$

[0073] 对矩阵A进行标准化处理,使其均值为零,根据协方差公式求出矩阵A的协方差C,排列特征值大小,取前q个按行组成矩阵W,进而通过 $Y=WA$ 计算出降维后的数据Y。以相关性检验法提取质量良好及包含各种缺陷的焊缝光子数特征量。

[0074] 根据反应焊缝质量的光子数特征量与焊缝质量的相关系数值,设置重要特征量的阈值范围,以此判断高速电机A1扫描方向上的焊缝质量是否合格及焊缝中缺陷的有无,以方便系统使用用户实时了解焊缝质量信息。

[0075] 在高速电机B3每转动一次多面体转镜B4时,高速电机A1进行下一行的扫描,逐渐形成基于光子信号的焊缝图像,在工业电脑10的UI界面中间进行实时显示,直至单光子面扫描系统完成一周期扫描,焊缝图像显示完成。

[0076] 导轨12带动支架11上的单光子面扫描系统前进一步,进行下一周期焊缝图像的扫描,各连续焊缝图像拼接组合成一定长度的焊缝图像在工业电脑10的UI界面最下端显示最近几个扫描周期的焊缝图像,并对有缺陷存在的焊缝图像以不同颜色进行标注,以方便用户观察。

[0077] 以上所述仅为本发明的优选实例而已,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。凡对本发明所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

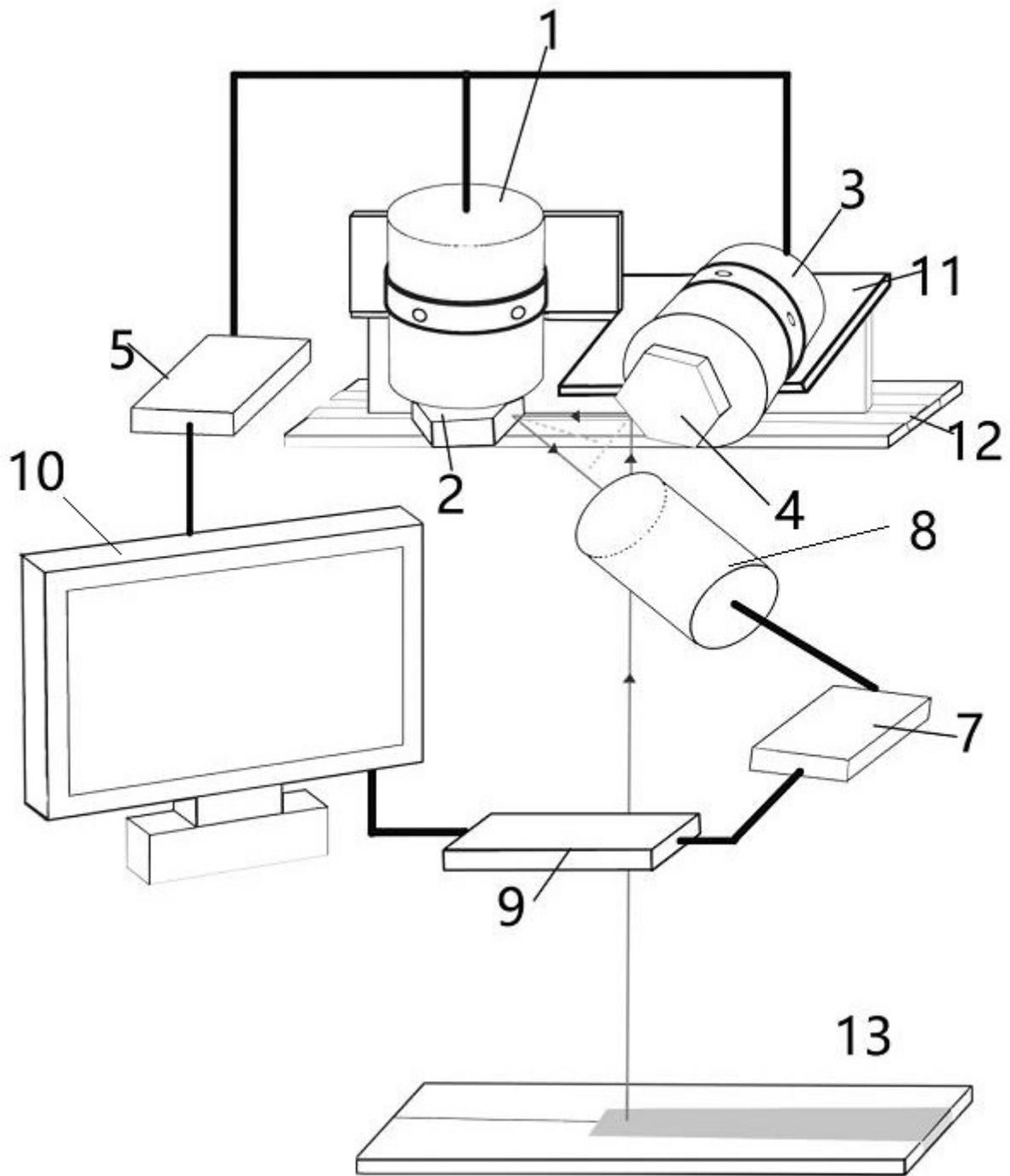


图 1

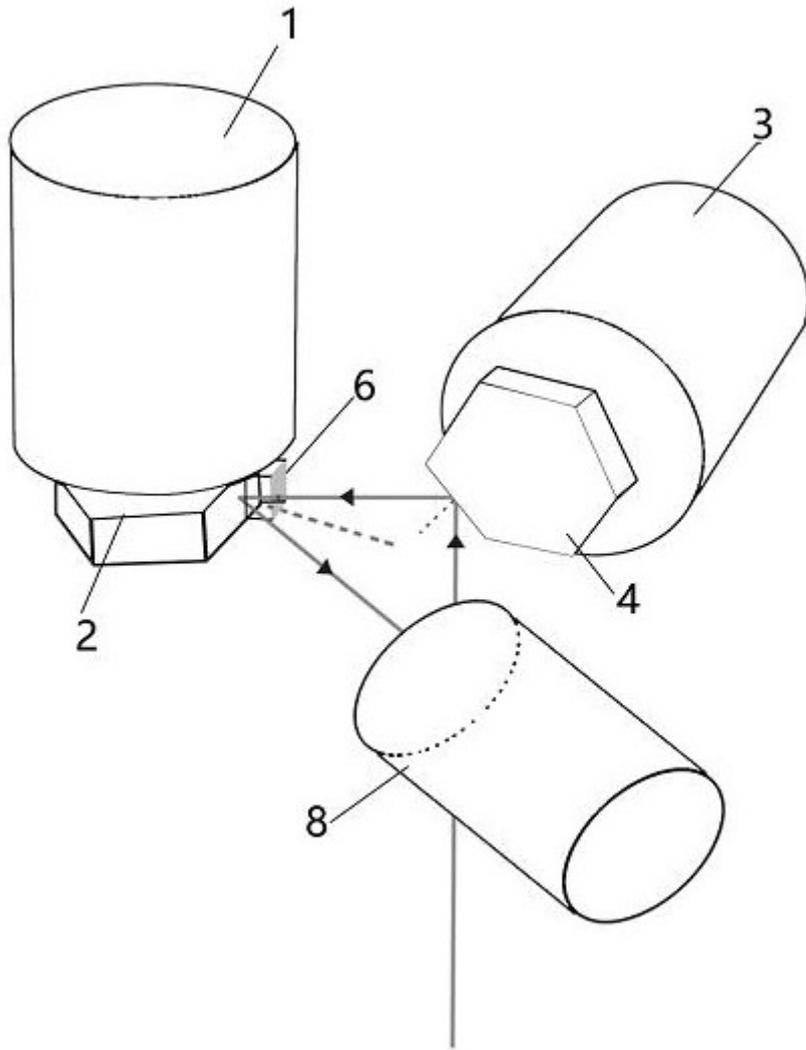


图 2

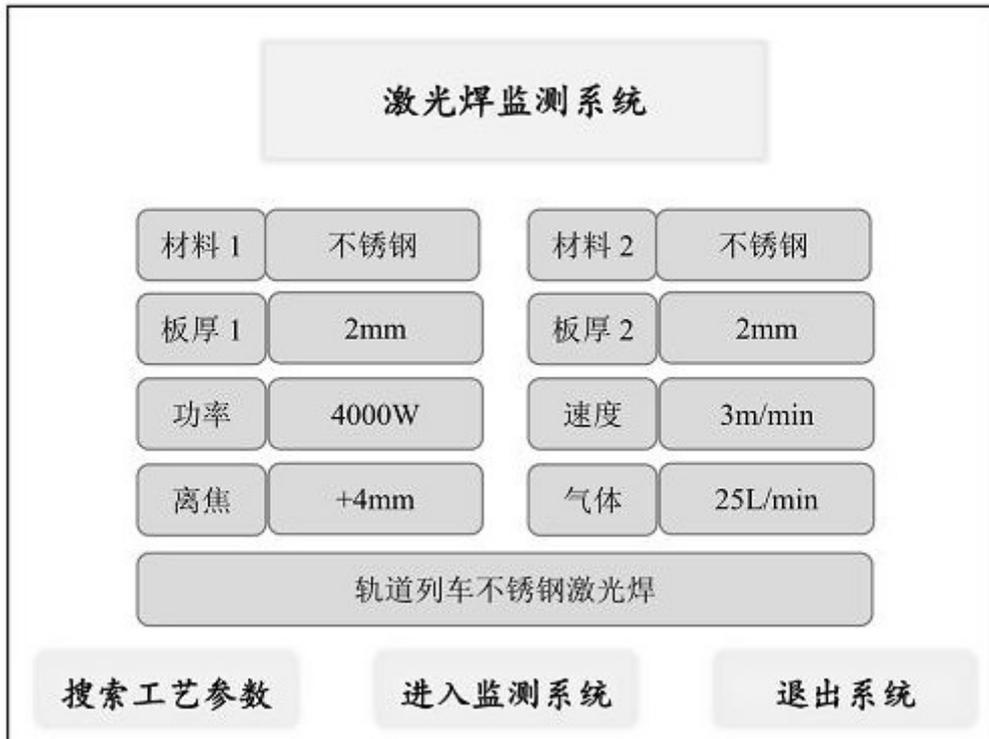


图 3

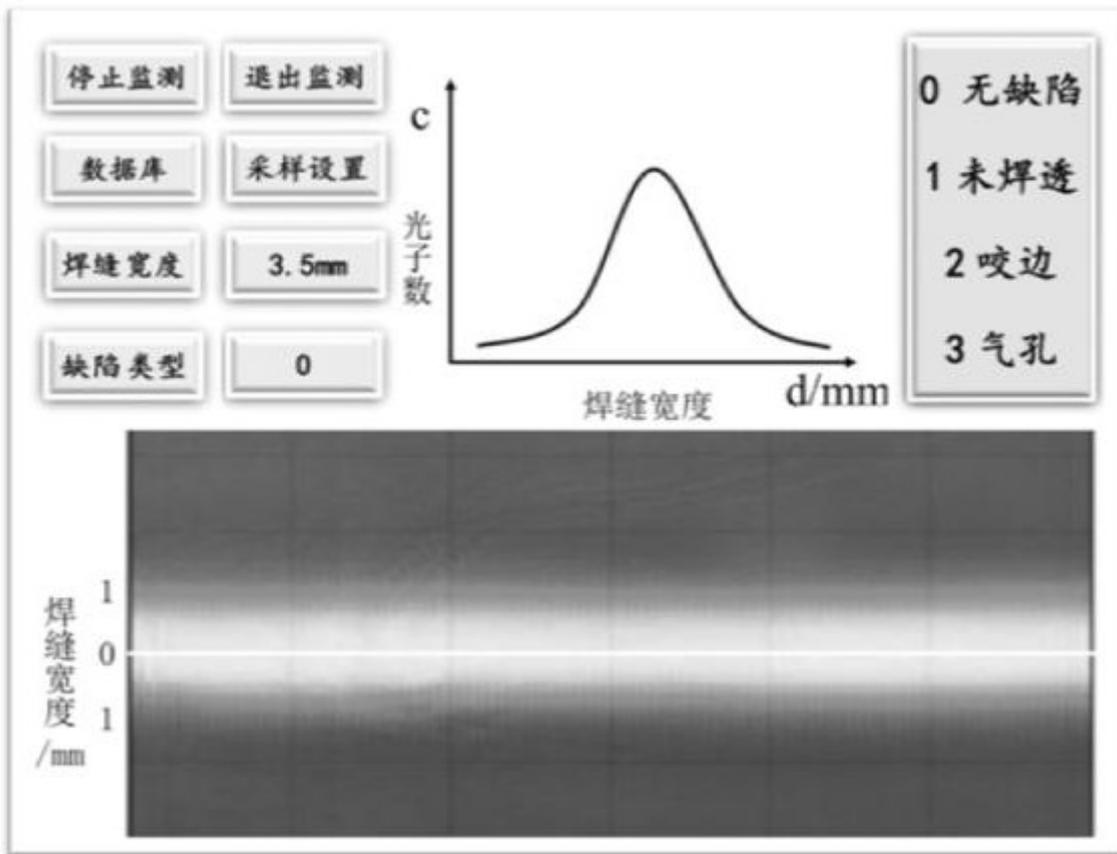


图 4