



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110238487 B

(45) 授权公告日 2020.09.22

(21) 申请号 201910430652.1

B23K 9/167 (2006.01)

(22) 申请日 2019.05.22

B23K 9/32 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110238487 A

(56) 对比文件

CN 107552932 A, 2018.01.09

CN 107552932 A, 2018.01.09

(43) 申请公布日 2019.09.17

CN 103264216 A, 2013.08.28

(73) 专利权人 北京航空航天大学

CN 103521890 A, 2014.01.22

地址 100191 北京市海淀区学院路37号

CN 106238875 A, 2016.12.21

(72) 发明人 从保强 王义朋 齐铂金 祁泽武  
白伟

CN 101474708 A, 2009.07.08

CA 2328995 C, 2007.10.16

(74) 专利代理机构 北京慕达星云知识产权代理  
事务所(特殊普通合伙)  
11465

CN 106583889 A, 2017.04.26

CN 103028827 A, 2013.04.10

代理人 李冉

CN 201815787 U, 2011.05.04

CN 103567652 A, 2014.02.12

CN 104368896 A, 2015.02.25

(51) Int. Cl.

审查员 涂兵伟

B23K 9/09 (2006.01)

B23K 9/095 (2006.01)

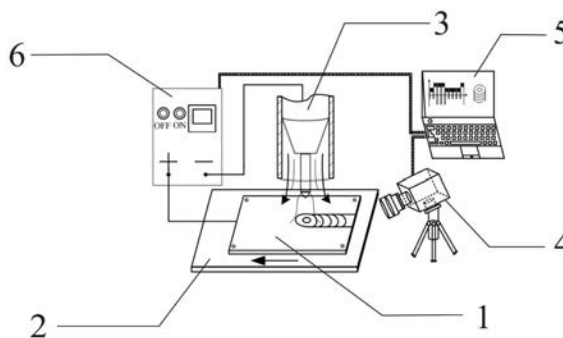
权利要求书2页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

一种基于视觉传感的中厚板铝合金深熔焊系统  
及控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于视觉传感的中厚板铝合金深熔焊系统,包括被焊工件、运动机构、氩弧焊枪、图像采集装置、上位机控制器和弧焊电源;图像采集装置聚焦于氩弧焊枪的电极正对应的被焊工件表面位置,用于采集熔池形貌;上位机控制器用于接收图像采集装置采集的图像,提取图像中的熔池内部的小孔孔径,根据小孔孔径控制弧焊电源的焊接电流波形;并且公开了一种基于视觉传感的中厚板铝合金深熔焊控制方法,以熔池内部小孔孔径为反馈量,以焊接电流波形中低频脉冲峰值持续时间和低频脉冲基值持续时间为控制量,通过实时采集和判断熔池内部小孔孔径,控制低频脉冲峰值持续时间和低频脉冲基值持续时间,提高焊接稳定性和适用性,实现高效、高质焊接。



1. 一种基于视觉传感的中厚板铝合金深熔焊控制方法,其特征在于,

图像采集装置聚焦于氩弧焊枪电极正对应的被焊工件表面位置,用于采集熔池形貌,并且将采集的图像上传于上位机控制器;上位机控制器接收图像采集装置采集的图像,实时提取图像中熔池内部的小孔孔径,将小孔孔径与预设阈值进行比较,并反馈弧焊电源焊接电流波形控制信号;

所述弧焊电源焊接电流波形控制信号的反馈过程为:

(1) 焊接启动,弧焊电源焊接电流进入低频脉冲峰值阶段,被焊工件受热熔化形成熔池,熔池体积增大;

(2) 熔池内部形成深熔小孔,小孔孔径逐渐增大;对小孔孔径尺寸与预设阈值进行实时比较,当孔径大于阈值 $D_{\max}$ 时,反馈控制信号,将弧焊电源焊接电流切换至低频脉冲基值阶段;

(3) 进入低频脉冲基值阶段,熔池体积减小,熔池内部小孔变浅、孔径变小;对小孔孔径尺寸与预设阈值进行实时比较,当孔径小于阈值 $D_{\min}$ 时,反馈控制信号,将弧焊电源焊接电流切换至低频脉冲峰值阶段;

弧焊电源焊接电流波形控制过程中对变极性电流波形进行脉冲频率0.1-10Hz的低频调制,并且在变极性电流正极性阶段叠加脉冲频率20-80kHz的高频脉冲方波电流;

其中,低频脉冲峰值阶段输出低频脉冲峰值电流与叠加的高频脉冲方波电流,低频脉冲基值阶段输出低频脉冲基值电流与叠加的高频脉冲方波电流。

2. 根据权利要求1所述的一种基于视觉传感的中厚板铝合金深熔焊控制方法,其特征在于,

所述被焊工件安装于运动机构上,由所述运动机构带动沿焊接方向运动;

所述氩弧焊枪的电极朝向所述被焊工件的待焊接位置,并且所述氩弧焊枪在焊接过程中保持固定;

所述弧焊电源的阳极与所述被焊工件连接,阴极与所述氩弧焊枪连接;为焊接过程提供焊接电流。

3. 根据权利要求2所述的一种基于视觉传感的中厚板铝合金深熔焊控制方法,其特征在于,

所述被焊工件为厚度6-10mm的铝合金材料。

4. 根据权利要求1所述的一种基于视觉传感的中厚板铝合金深熔焊控制方法,其特征在于,所述阈值 $D_{\max}$ 为保持焊接熔池处于稳定状态的最大孔径值;所述阈值 $D_{\min}$ 为保证焊缝全熔透条件下的最小孔径值。

5. 根据权利要求1所述的一种基于视觉传感的中厚板铝合金深熔焊控制方法,其特征在于,在焊接6mm厚铝合金材料时,低频脉冲峰值阶段正极性电流 $I_{pp}$  250-300A,低频脉冲基值阶段正极性电流 $I_{bp}$  60-100A,高频脉冲电流幅值 $I_{HP}$ 50-100A,高频脉冲频率20-40kHz。

6. 根据权利要求1所述的一种基于视觉传感的中厚板铝合金深熔焊控制方法,其特征在于,在焊接7-8mm厚铝合金材料时,低频脉冲峰值阶段正极性电流 $I_{pp}$  320-400A,低频脉冲基值阶段正极性电流 $I_{bp}$  100-150A,高频脉冲电流幅值 $I_{HP}$  50-100A,高频脉冲频率20-40kHz。

7. 根据权利要求1所述的一种基于视觉传感的中厚板铝合金深熔焊控制方法,其特征

在于,在焊接9-10mm厚铝合金材料时,低频脉冲峰值阶段正极性电流 $I_{pp}$  360-450A,低频脉冲基值阶段正极性电流 $I_{bp}$  160-200A,高频脉冲电流幅值 $I_{HP}$  50-100A,高频脉冲频率20-40kHz。

## 一种基于视觉传感的中厚板铝合金深熔焊系统及控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及焊接技术领域,更具体的说是涉及一种基于视觉传感的中厚板铝合金深熔焊系统及控制方法。

### 背景技术

[0002] 铝合金材料因其具有高比强度、强耐腐蚀性和优异的加工性能,被广泛应用于航空航天、轨道车辆和汽车制造等领域工业。铝合金的焊接通常采用钨极氩弧焊(TIG)焊接工艺;然而,由于TIG电弧自由发散,电弧能量密度低,焊接熔深浅,因此焊接效率相对较低,不适于6-10mm的中厚度铝合金材料的焊接。为提高焊接效率,研究人员提出使用大电流产生强电弧压力,以提高焊接效率,但其较适用于不锈钢、碳钢、钛、锆等低热导率金属材料及合金;铝合金材料热导率较高,液态条件下表面张力系数较低,当焊接热输入较高时,由于散热较快导致熔池体积大幅增加,表面张力不足以克服熔池重力和电弧压力的作用,进而容易引起熔池背部塌陷、烧穿等现象,很难实现稳定焊接。

[0003] 因此,如何提高中厚度铝合金材料的钨极氩弧焊接稳定性和适用性,实现高效、高质焊接是本领域亟待解决的技术问题。

### 发明内容

[0004] 有鉴于此,本发明提供了一种基于视觉传感的中厚板铝合金深熔焊系统及熔焊控制方法,以提高中厚度铝合金材料焊接稳定性和适用性。

[0005] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0006] 一种基于视觉传感的中厚板铝合金深熔焊系统,包括被焊工件、运动机构、氩弧焊枪、图像采集装置、上位机控制器和弧焊电源;

[0007] 被焊工件安装于运动机构上,由运动机构带动沿焊接方向运动;

[0008] 氩弧焊枪的电极朝向被焊工件的待焊接位置,并且氩弧焊枪在焊接过程中保持固定;

[0009] 图像采集装置聚焦于氩弧焊枪的电极正对应的被焊工件表面位置,用于采集熔池形貌;

[0010] 上位机控制器用于接收图像采集装置采集的图像,提取图像中的熔池内部的小孔孔径,并且根据小孔孔径控制弧焊电源焊接电流波形;

[0011] 弧焊电源的阳极与被焊工件连接,阴极与氩弧焊枪连接;为焊接过程提供焊接电流。

[0012] 优选地,被焊工件为厚度6-10mm的铝合金材料。

[0013] 优选地,图像采集装置为CCD相机。

[0014] 优选地,上位机控制器安装有基于MATLAB工程软件开发的实时图像处理控制算法。

[0015] 一种基于视觉传感的中厚板铝合金深熔焊控制方法,图像采集装置聚焦于氩弧焊

枪电极正对应的被焊工件表面位置,用于采集熔池形貌,并且将采集的图像上传于上位机控制器;上位机控制器实时提取熔池内部的小孔孔径,将小孔孔径与预设阈值进行比较,并反馈弧焊电源焊接电流波形控制信号;

[0016] 弧焊电源焊接电流波形控制信号的反馈过程为:

[0017] (1) 焊接启动,弧焊电源焊接电流进入低频脉冲峰值阶段,被焊工件受热熔化形成熔池,熔池体积增大;

[0018] (2) 熔池内部形成深熔小孔,小孔孔径逐渐增大;对小孔孔径尺寸与预设阈值进行实时比较,当孔径大于阈值 $D_{max}$ 时,反馈控制信号,将弧焊电源焊接电流切换至低频脉冲基值阶段;

[0019] (3) 进入低频脉冲基值阶段,熔池体积减小,熔池内部小孔变浅、孔径变小;对小孔孔径尺寸与预设阈值进行实时比较,当孔径小于阈值 $D_{min}$ 时,反馈控制信号,将弧焊电源焊接电流切换至低频脉冲峰值阶段。

[0020] 优选地,阈值 $D_{max}$ 为保持焊接熔池处于稳定状态的最大孔径值;阈值 $D_{min}$ 为保证焊缝全熔透条件下的最小孔径值。

[0021] 优选地,弧焊电源焊接电流波形控制过程中对变极性电流波形进行脉冲频率0.1-10Hz的低频调制,并且在变极性电流正极性持续阶段叠加脉冲频率20-80kHz的高频脉冲方波电流;

[0022] 其中,低频脉冲峰值阶段输出低频脉冲峰值电流与叠加的高频脉冲方波电流,低频脉冲基值阶段输出低频脉冲基值电流与叠加的高频脉冲方波电流。

[0023] 低频调制有助于精确控制钨极氩弧焊接热输入和焊缝成形,同时低频周期性变化的脉冲电流能够通过搅拌熔池促进气泡的破碎和逸出,有效降低气孔率,提高焊接接头的力学性能。

[0024] 高频脉冲方波电流能够产生一种“高频效应”,使焊接电弧形态显著收缩,电弧能量密度和电弧力大幅度提高,焊缝熔透率明显增大,同时其对气孔的清除、焊缝显微组织细化和力学性能的提高具有显著作用。

[0025] 本发明基于先进的脉冲电流调控技术,对电流波形进行精细化调控,综合利用低频脉冲电流对电弧热、力的灵活调控作用和焊接熔池的搅拌冲击作用,以及高频脉冲方波电流的“高频效应”,实现中厚度铝合金材料的高效、高质量焊接。

[0026] 优选地,在焊接6mm厚铝合金材料时,低频脉冲峰值阶段正极性电流 $I_{pp}$ 250-300A,低频脉冲基值阶段正极性电流 $I_{bp}$ 60-100A,高频脉冲电流幅值 $I_{HP}$ 50-100A,高频脉冲频率20-40kHz。

[0027] 优选地,在焊接7-8mm厚铝合金材料时,低频脉冲峰值阶段正极性电流 $I_{pp}$ 320-400A,低频脉冲基值阶段正极性电流 $I_{bp}$ 100-150A,高频脉冲电流幅值 $I_{HP}$ 50-100A,高频脉冲频率20-40kHz。

[0028] 优选地,在焊接9-10mm厚铝合金材料时,低频脉冲峰值阶段正极性电流 $I_{pp}$ 360-450A,低频脉冲基值阶段正极性电流 $I_{bp}$ 160-200A,高频脉冲电流幅值 $I_{HP}$ 50-100A,高频脉冲频率20-40kHz。

[0029] 本发明铝合金熔焊控制方法并不限于基于本发明铝合金熔焊控制系统进行控制,在确保采集图像清晰稳定的情况下,可适用于各种基于本发明控制原理下的系统;例如,在被

焊工件不方便运动的情况下,稳定移动氩弧焊枪及图像采集装置。

[0030] 由上述技术方案可知,本发明通过闭环控制方法,以熔池内部小孔孔径为反馈量,以低频脉冲峰值持续时间和低频脉冲基值持续时间为控制量,通过实时采集和判断熔池内部小孔孔径,控制低频脉冲峰值持续时间和低频脉冲基值持续时间,从而实现“一脉一孔”的稳定焊接,提升了中厚度铝合金材料的焊接效率和质量。

### 附图说明

[0031] 图1所示为本发明基于视觉传感的中厚板铝合金深熔焊系统示意图;

[0032] 其中,1、被焊工件;2、运动机构;3、氩弧焊枪;4、图像采集装置;5、上位机控制器;6、弧焊电源。

[0033] 图2所示为本发明弧焊电源焊接电流波形示意图;

[0034] 其中, $I_{pp}$ --低频脉冲峰值阶段正极性电流; $I_{pn}$ --低频脉冲峰值阶段负极性电流; $I_{bp}$ --低频脉冲基值阶段正极性电流; $I_{bn}$ --低频脉冲基值阶段负极性电流; $T_L$ --低频脉冲周期; $t_p$ --低频脉冲峰值持续时间; $t_b$ --低频脉冲基值持续时间; $I_{HP}$ --高频脉冲电流幅值; $T_v$ --变极性周期; $t_{vp}$ --正极性持续时间; $t_{vn}$ --负极性持续时间;

[0035] 图3所示为本发明图像采集装置的图像采集效果;

[0036] 图4所示为本发明弧焊电源焊接电流波形控制信号反馈流程图(闭环控制);

[0037] 图5所示为闭环控制过程电流波形与图像采集效果对应图;

[0038] 图6所示为进行闭环控制的焊缝;

[0039] 图7所示为未进行闭环控制的焊缝;

[0040] 图8所示为闭环控制前后形成的焊缝比较。

### 具体实施方式

[0041] 下面对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,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前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0042] 实施例1

[0043] 一种基于视觉传感的中厚板铝合金深熔焊系统,如图1所示,包括被焊工件1、运动机构2、氩弧焊枪3、图像采集装置4、上位机控制器5和弧焊电源6;

[0044] 被焊工件1为厚度7mm的2219-T87铝合金板,安装于运动机构2上,由运动机构2带动沿焊接方向运动。

[0045] 运动机构2为由丝杠(行程500mm)驱动的单自由度运动机构,被焊工件通过螺栓固定于运动机构的工作平台,运动机构配置有控制盒,可设置运动速度和运动行程,运动机构2的启、停信号由上位机控制器5控制。

[0046] 氩弧焊枪3悬设于被焊工件1上方,在焊接过程中保持固定不动;氩弧焊枪3采用直径为3mm的W-2%Ce钨钨电极,电极前端锥角为30度,尖端平台直径为1mm;钨钨电极端部朝向被焊工件1的待焊接位置,与被焊工件1间距为5mm。

[0047] 图像采集装置4为CCD相机(BASLER公司生产的avA1000-120km型CCD面阵相机,采

样帧频最高为120帧/秒,分辨率为100万像素),聚焦于钨钨电极正对应的被焊工件1表面位置,用于采集熔池形貌。

[0048] 上位机控制器5连接图像采集装置4,用于接收图像采集装置4采集的图像;上位机控制器5采用MATLAB工程软件,基于图像处理技术,实时提取提取图像中的熔池内部的小孔孔径,与所设阈值比较。上位机控制器5与弧焊电源6通过RS485串行通信进行信号传输,根据小孔孔径比较结果输出弧焊电源焊接电流波形控制信号,控制弧焊电源输出电流波形中低频脉冲峰值持续时间和低频脉冲基值持续时间。

[0049] 弧焊电源6的阳极与被焊工件1连接,阴极与氩弧焊枪3连接;为焊接过程提供焊接电流。

[0050] 实施例2

[0051] 使用实施例1中的中厚板铝合金深熔焊系统进行被焊工件1的焊接。焊接过程采用纯氩气保护(氩气纯度为99.99%),保护气体流量为15L/min,焊接速度为200mm/min。电流参数:低频脉冲峰值阶段正极性电流 $I_{pp}=360A$ ,低频脉冲基值阶段正极性电流 $I_{bp}=120A$ ,低频脉冲频率 $f_L=1/T_L=2Hz$ ,低频脉冲占空比 $\delta=t_p/(t_p+t_b)=50\%$ ;高频脉冲电流幅值 $I_{HP}=100A$ ,高频脉冲频率 $f_H=20kHz$ ,高频脉冲占空比50%;变极性频率 $f_v=1/T_v=100Hz$ ,正负极性时间比 $t_{vp}:t_{vn}=8:2$ ;电流波形如图2。

[0052] 开启图像采集装置4、上位机控制器5;图像采集装置4聚焦于钨钨电极正对应的被焊工件1表面位置。开启弧焊电源6、运动机构2(设置焊接速度)。上位机控制器5向弧焊电源6发送引弧信号并传输弧焊电源焊接电流波形控制信号;控制运动机构2沿焊接方向运动(上位机控制器5向运动机构2发送启、停信号,运动机构2的运动速度和运动行程由其配置的控制盒设置);控制图像采集装置4实时采集熔池形貌图像(图3)(上位机控制器5向图像采集装置4发送启、停信号,图像采集装置4启动后,实时采集熔池形貌图像)。图像采集装置4将采集的图像上传于上位机控制器5;上位机控制器5通过MATLAB工程软件,利用图像处理技术,实时提取熔池内部的小孔孔径 $D$ ,将小孔孔径 $D$ 与预设阈值 $D_{max}=7mm$ 和 $D_{min}=3mm$ 实时比较,向弧焊电源6传输焊接电流波形控制信号,从而实时调节低频脉冲峰值持续时间 $t_p$ 和低频脉冲基值持续时间 $t_b$ ,实现熔池内部小孔的稳定控制。

[0053] 弧焊电源焊接电流波形控制信号的反馈过程为(图4):

[0054] (1) 焊接启动,弧焊电源焊接电流进入低频脉冲峰值阶段,焊接热输入高,电弧力大,被焊工件受热熔化形成熔池,熔池体积不断增大,熔池自由表面在电弧力作用下克服表面张力,发生凹陷变形,在熔池内部形成深熔小孔,小孔孔径逐渐增大;对小孔孔径尺寸与预设阈值进行实时比较,当孔径大于阈值 $D_{max}$ 时,表明被焊工件焊透,反馈控制信号,将弧焊电源焊接电流切换至低频脉冲基值阶段(图5);

[0055] (2) 进入低频脉冲基值阶段,焊接热输入低,电弧力小,熔池体积减小,熔池自由表面凹陷变形减小,熔池内部小孔变浅、孔径变小;对小孔孔径尺寸与预设阈值进行实时比较,当孔径小于阈值 $D_{min}$ 时,反馈控制信号,将弧焊电源焊接电流切换至低频脉冲峰值阶段(图5)。

[0056] 如图6所示,经闭环控制形成的焊缝正反两面焊缝宽度均匀、美观,全熔透,说明焊接电弧稳定。

[0057] 对比例1未进行闭环控制对比试验

[0058] 焊接过程采用纯氩气保护(氩气纯度为99.99%),保护气体流量为15L/min,焊接速度为200mm/min。电流参数:低频脉冲峰值阶段正极性电流 $I_{pp}=360A$ ,低频脉冲基值阶段正极性电流 $I_{bp}=120A$ ,低频脉冲频率 $f_L=1/T_L=2Hz$ ,低频脉冲占空比 $\delta=t_p/(t_p+t_b)=50\%$ ;高频脉冲电流幅值 $I_{HP}=100A$ ,高频脉冲频率 $f_H=20kHz$ ,高频脉冲占空比50%;变极性频率 $f_v=1/T_v=100Hz$ ,正负极性时间比 $t_{vp}:t_{vn}=8:2$ 。

[0059] 开启图像采集装置4、上位机控制器5;图像采集装置4聚焦于钨钨电极正对应的被焊工件1表面位置。弧焊电源6引弧,开启运动机构2;上位机控制器5向弧焊电源6传输焊接电流波形控制信号。

[0060] 如图7所示,未经闭环控制形成的焊缝宽度不均匀、成型效果差,局部未熔透,背面失稳氧化。

[0061] 对比例2

[0062] 焊接过程前半部分按照对比例1进行焊接,后半部分采用实施例1闭环控制,形成的焊缝如图8所示。未加入闭环控制:焊缝成形效果较差,焊缝宽度不均匀,背面成形不连续,局部未熔透,背面失稳氧化;加入闭环控制后:焊缝成形稳定,焊缝宽度均匀,背面成形良好,全熔透。

[0063] 对所公开的实施例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例,而是要符合与本文所公开的原理和和特点相一致的最宽的范围。

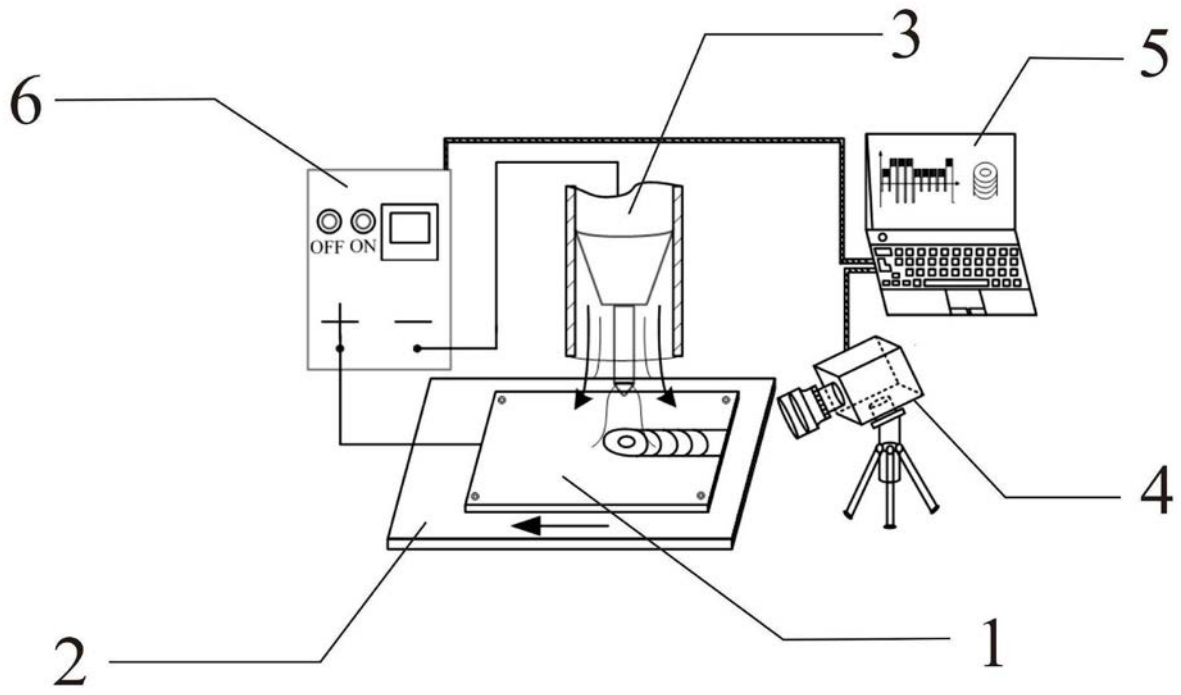


图1

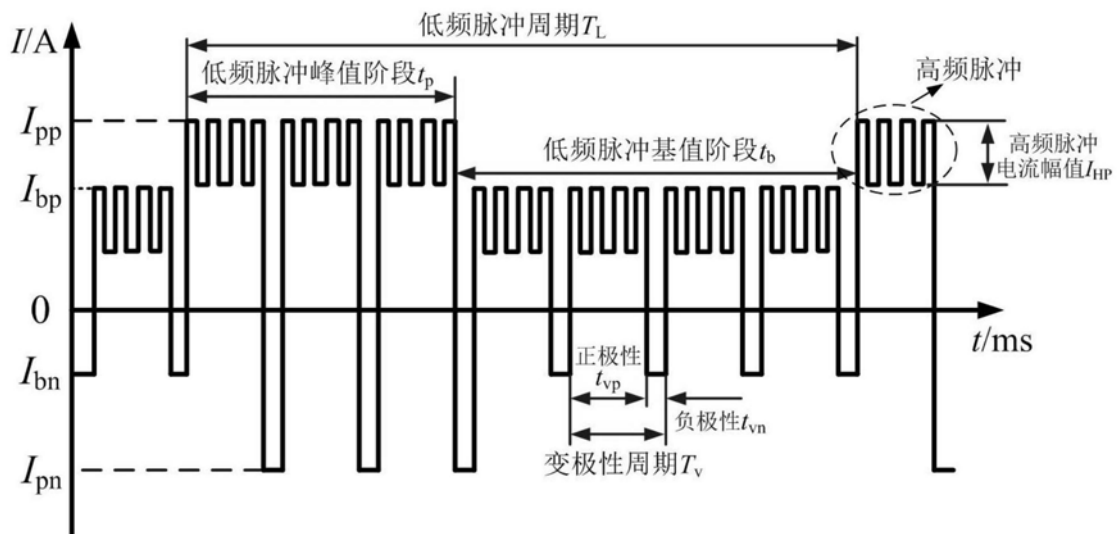


图2

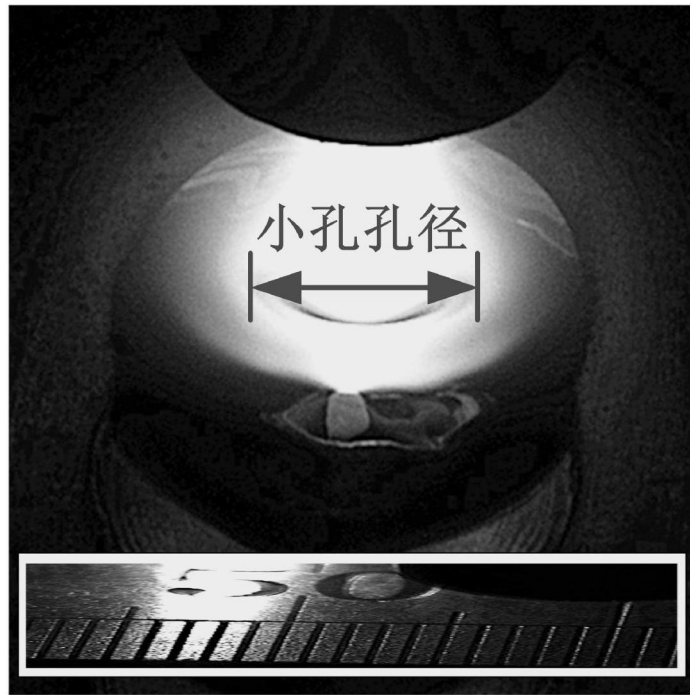


图3

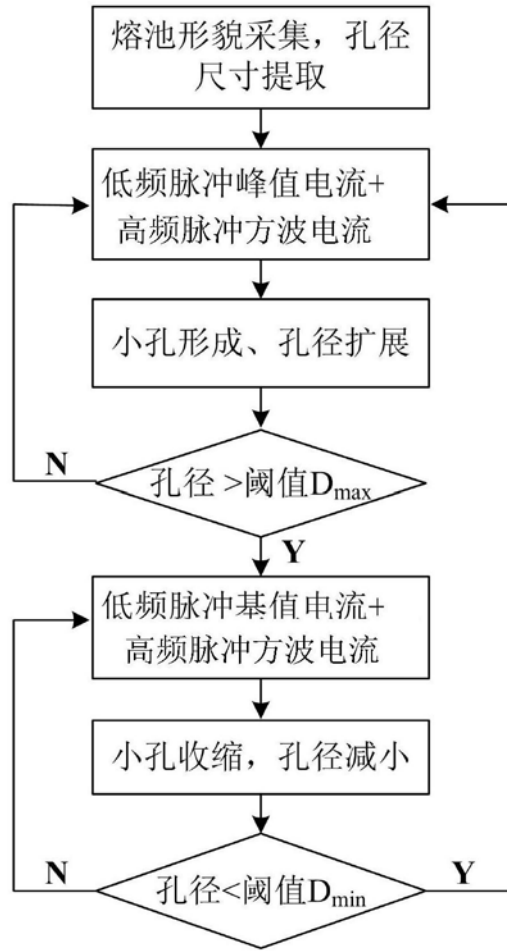


图4

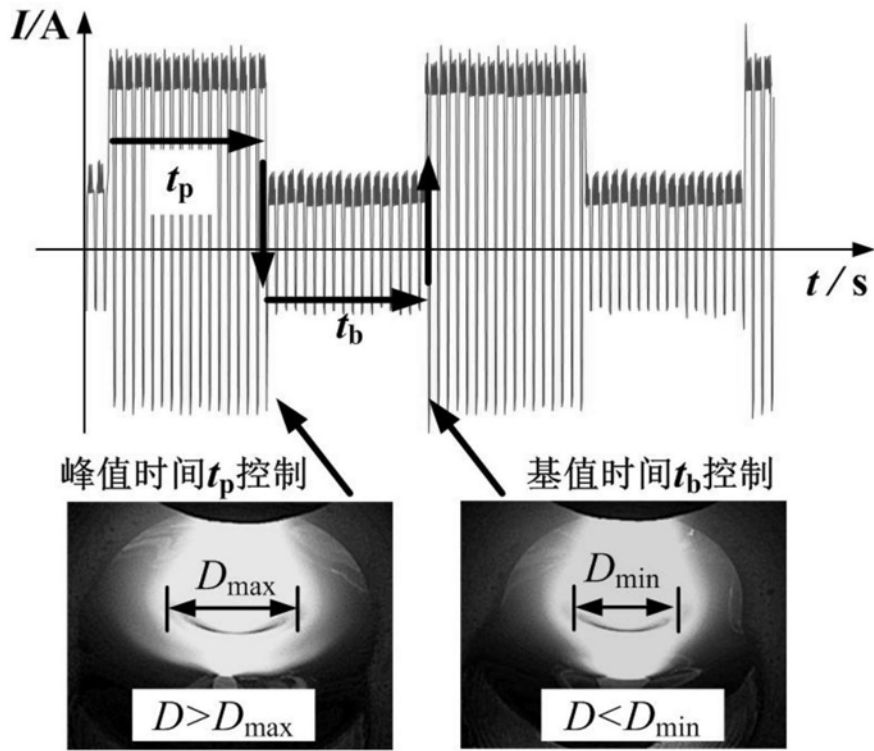


图5

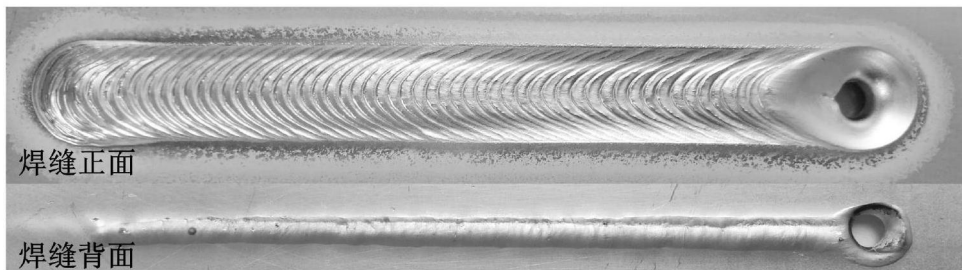


图6

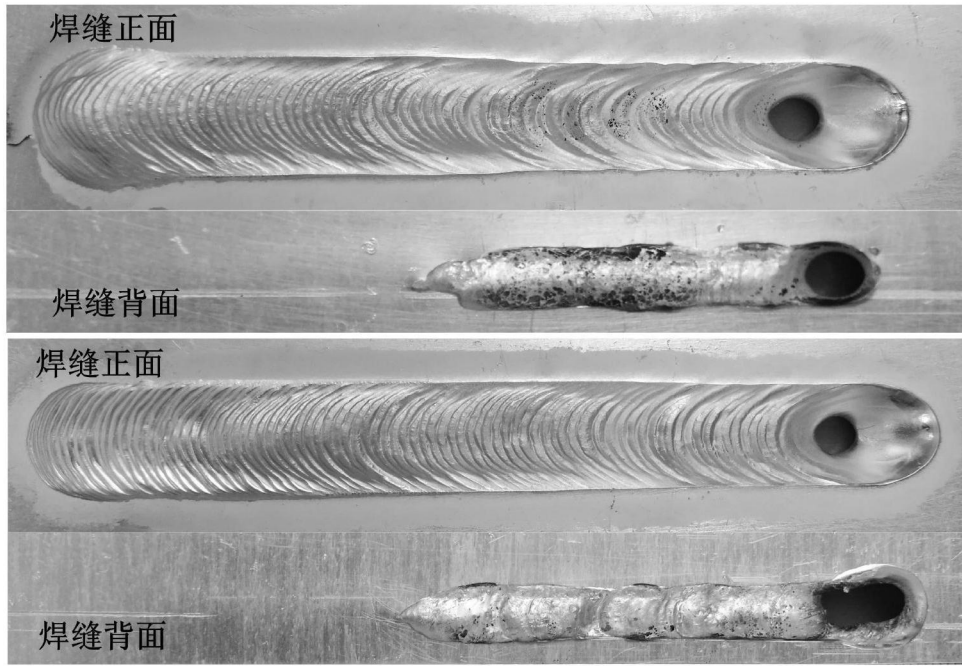


图7

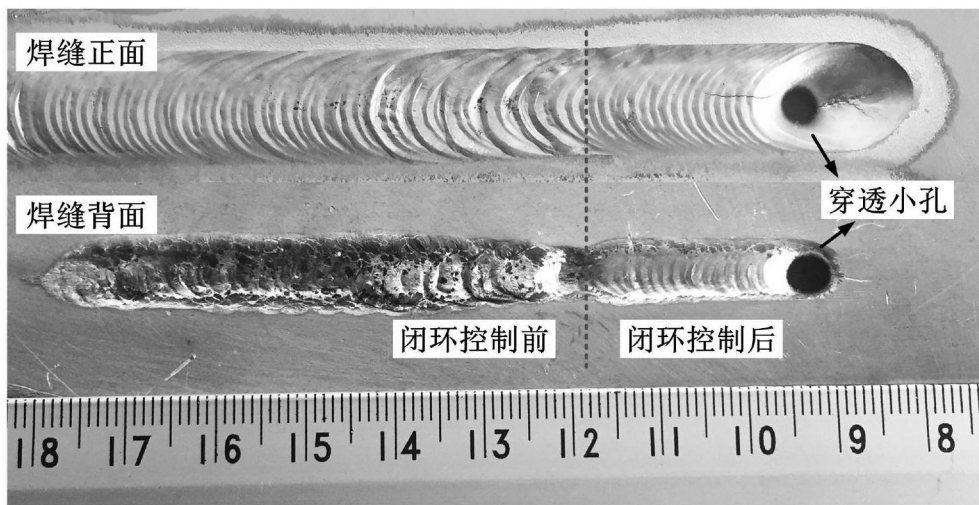


图8