

基于视觉图像处理的铝合金交流TIG焊阴极清理区域的研究

朱 杰,熊震宇,黎咸西

(南昌航空大学 航空制造工程学院,江西 南昌 330063)

摘要:介绍了方波交流钨极氩弧焊的工艺特点以及铝合金焊接过程中 β (正半波电流占整个周期电流的比例)对阴极清理作用的影响。针对铝合金交流TIG焊电弧的特点,合理选择CCD、滤光系统构建了被动视觉传感器和图像采集处理系统。比较三种 β 值时铝合金交流TIG焊接的阴极清理作用,采用图像处理技术提取阴极清理区和焊接熔池的边缘,获得了阴极清理区域和熔池宽度。通过与实际测量比较表明,采用被动视觉传感技术和图像处理方法可以准确反映阴极清理作用,通过图像处理获得的熔池尺寸与实测值基本吻合。

关键词:交流钨极氩弧焊;阴极清理作用;图像处理

中图分类号:TG441.7

文献标识码:A

文章编号:1001-2303(2012)01-0026-05

Research on the cathode cleaning area in aluminum alloy AC TIG welding based on visual image processing

ZHU Jie, XIONG Zhen-yu, LI Xian-xi

(School of Aeronautical Manufacturing Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

Abstract: The influence of the cathode cleaning action which come from technology characteristics of the square wave AC TIG welding and the parameter β the ratio which is half-wave current to the cycle of current in aluminum welding process are discussed. According to the characteristics of AC TIG aluminum alloy welding arc, the CCD and the filter system are chosen reasonably. The passive vision sensor, the image acquisition and processing system are constructed. The cathode cleaning action of the β values on aluminum alloy AC TIG welding are compared through experiments. The edges of the cathode clean area and the weld pool are extracted by image processing, and the width are successfully obtained from their edge. The measurement results show that: Using passive visual sensing technology and image processing method can accurately reflect the cathode cleaning action, and the pool size obtained by image processing are consistent with the measured size.

Key words: AC TIG welding; cathode cleaning action; image processing

0 前言

近年来,随着焊接技术的不断发展,传统的手工焊方法已经无法满足现代高新产品的质量要求,实现焊接产品制造的自动化已经成为发展趋势。实现焊接产品制造自动化的难点在于焊接质量的控制。焊接熔池是影响焊接质量的重要因素,也是实现焊接过程实时控制的一个重要依据,熔池的尺寸(正面熔宽、熔深或背面熔宽、余高)直接关系到焊接

接头的力学性能,焊接过程中熔池尺寸的稳定对于保证焊接质量是非常重要的。能否实时准确得出熔池信息,对于控制焊接质量具有非常重要的意义^[1-4]。

交流电弧焊广泛应用于实际生产中。焊条电弧焊时,由于交流焊机便宜,磁偏吹小,焊接工艺性能好等特点,受到广泛青睐,特别是在铝合金钨极氩弧焊时,既要保证钨极有较大的电流容量,又要使铝板受到阴极清理作用,也必须用交流焊机。随着交流方波电源的研制与发展,钨极氩弧焊在铝合金等有色金属中的应用越来越广泛。在铝板受到阴极清理作用时,会产生阴极雾化区,会对熔池图像产

收稿日期:2011-08-17

作者简介:朱 杰(1985—),男,浙江永康人,硕士,主要从事视觉图像处理和焊接工艺设计方面的研究工作。

生一定的影响。因此如何应用阴极雾化区在熔池图像中的影响来控制焊接过程的稳定性和焊接质量具有重要意义。

1 方波交流钨极氩弧焊的工艺特点

正弦波交流电弧当电流过零时,电流总是由小到大按正弦波规律变化,可以通过提高交流电流频率或在工频情况下提高电流幅值或采取其他措施提高电弧的热惯性,使电弧电流过零时快速变化,从而改善交流电弧燃烧的稳定性。实践证明用矩形波(方波)交流电源进行焊接,能够明显地改善交流电弧的稳定性。条件适当可不采用任何稳弧措施就能进行铝合金的交流钨极氩弧焊。如果这种方波交流电流的频率、正负半波通电时间和幅值可调,则可以显著地改变电弧形态、电弧作用力和对母材的热输入量,控制阴极清理区宽度,控制熔深和焊缝正、反面成形,其特点与脉冲焊类似。

典型的方波交流电流波形如图 1 所示。如果用 β 来表示正半波电流与整个周期中电流比例,则 β 可由下列式确定

$$\beta = \frac{|I_{SP}|}{|I_{SP}| + |I_{RP}|}$$

式中 I_{SP} 是钨极为负时电流平均值; I_{RP} 是钨极为正时电流平均值; β 为正半波电流比例。

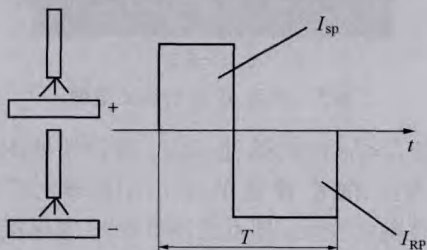


图 1 方波交流示意

I_{SP} 与 I_{RP} 的数值既包含幅值大小的变化,也包含通电时间长短的变化。改变 β 大小就可以改变电弧形态和母材的加热状况。

如果采用正负半波电流波形不对称的交流电源进行交流钨极氩弧焊,在满足母材阴极清理的前提下,应尽量加大钨极为负半波电流的数值,使电弧特点向直流正接靠近,可以得到良好的工艺效果。实验证明,随着正半波电流比例 β 的变化,电弧压力也在变化。直流正接比直流反接电弧压力高,随着 β 的增大,即随着钨极为负半波电流的增加,电弧压力增高,逐步向直流正接的情况靠近。随着 β 的增加,

工件接负半波电流相对减少,阴极清理区变窄,阴极清理作用减弱。但 β 在 0.5~0.7 之间变化时,焊缝阴极清理区域逐渐减少,即使 $\beta=0.8$ 时仍有一定的阴极清理作用,还可以得到光亮致密的焊缝。不同的材料要保证一定的阴极清理作用,对 β 的要求是不一样的。如铝镁合金要求 β 数值不能太大,一般要求小于 0.7;纯铝和铝-锰合金 β 可达 0.9,即正负半波电流比例达到 9:1 时,还能满足交流钨极氩弧焊对阴极清理的要求,可以保证得到高质量的焊缝。随着 β 数值的增加,电弧热量集中,焊缝宽度变窄。铝-镁合金阴极清理区和焊缝断面尺寸随着 β 变化的变化情况如图 2 所示。

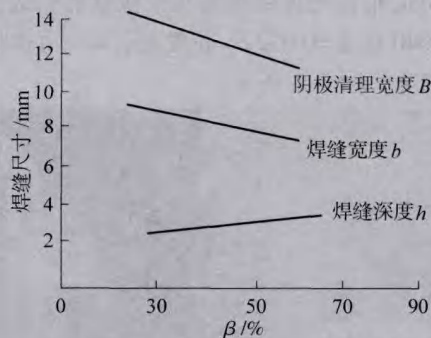


图 2 β 值与阴极清理区域和焊缝尺寸的关系

由图 2 可知,随着 β 的增加,阴极清理宽度 B 和焊缝宽度 b 变窄,焊缝深度 h 稍有增加,有利于得到窄而深的焊缝。当然在交流钨极氩弧焊的情况下, β 数值不能无限增加,否则阴极清理区过窄,不能保证得到高质量的焊缝。随着 β 变化对焊缝成形及其工艺特点的影响,可按表 1 加以定性的评价。适当选择 β 数值可以控制母材热输入量。方波交流电弧正负半波不对称,具有脉冲电弧焊的性质,能够细化晶粒改善焊缝接头的性能。

表 1 β 数值对焊缝尺寸及钨极烧损的影响

β 值	大	小
阴极清理区域	小	大
焊缝宽度	小	大
熔深	大	小
背面焊道	凸	平
钨极电流容量	大	小

根据上述分析认为,交流钨极氩弧焊时,在交流回路中的直流分量对变压器的正常工作是有害的,而适当的直流分量对焊接工艺和接头性能是有利的。特别是小电流薄件交流钨极氩弧焊时,铝板接负

半波电流小,阴极清理区窄更容易使电弧集中于焊缝,有利于小电流薄板焊接。 β 数值对焊缝尺寸及钨极烧损的影响,如表 1 所示。

2 实验系统和图像获取

铝合金 TIG 焊试验系统组成主要包括:黑白面阵 JC-629 型 CCD 摄像机、中性减光片和窄带滤光片、吸热片等光学组件的复合滤光镜头,北京大恒公司的 DH-QP300 图像采集卡、工业控制计算机等;采用 AD-GP2V 型交直流逆变氩弧焊机,AWT-3B 型弧焊自动操作台;CCD 的拍摄角度为 42° ,拍摄方向是焊接方向的后方,CCD 与熔池之间的拍摄距离为 29.1 cm,拍摄所得图像的每个像素点代表的宽度 $d=8\text{ cm}/640\text{ 像素}=0.0125\text{ cm}/\text{像素}$,CCD 与焊枪的相对位置不变,如图 3 所示。



图 3 CCD 的拍摄位置

在进行铝合金 TIG 焊时所获取的熔池图像包括母材、焊枪喷嘴、发亮的钨棒、阴极雾化区和熔池信息,如图 4 所示。

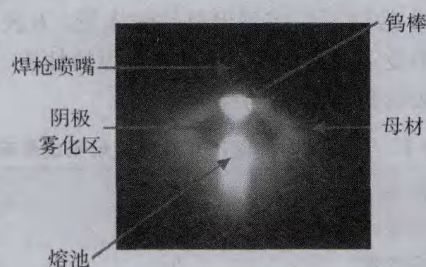


图 4 熔池图像原始图像

在一个方波周期内不同 β 值所获取的熔池图像如图 5 所示,其主要焊接参数为:焊接速度 $v=18\text{ cm}/\text{min}$,峰值电流 $I=150\text{ A}$,基值电流 $I=30\text{ A}$,保护气体气流量 $8\text{ L}/\text{min}$ 。

图 5a 为 $\beta>0.5$,即当 $I_{sp}>I_{RP}$ 时的熔池图像;图 5b 为 $\beta=0.5$,即当 $I_{sp}=I_{RP}$ 时的熔池图像;图 5c 为 $\beta<0.5$,即当 $I_{sp}<I_{RP}$ 时的熔池图像。通过熔池图像能够清晰的看出,随着 β 值的减小,阴极雾化区变大,熔池宽度也随之变大。图 6 为图 5 中熔池焊接参数下的实际焊缝,焊缝 1~焊缝 3 分别对应图 5 中的熔池图像。

使用游标卡尺对焊缝实际宽度进行测量,焊缝 1 实际宽度为 6.0 mm,焊缝 2 实际宽度为 6.8 mm,焊缝 3 实际宽度为 8.1 mm。由此可见,在一个交流周期内,随着阴极清理作用时间越长,即 β 值越小,熔池宽度就越大。

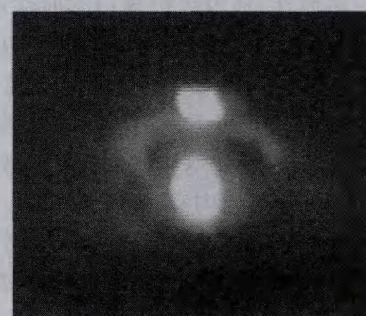
3 焊接图像处理和析

熔池图像处理系统使用 Visual C++6.0 进行编程,运行环境为 Windows XP。

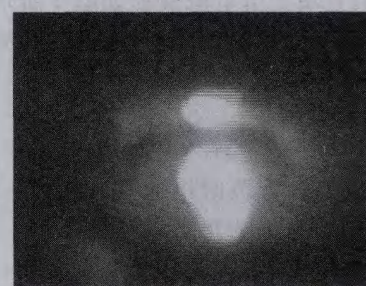
由于在对铝合金进行 TIG 焊时,熔池图像中会有许多噪声点,所以首先要对图像进行中值滤波处



a $\beta=0.8$



b $\beta=0.5$



c $\beta=0.2$

图 5 不同 β 值的熔池图像

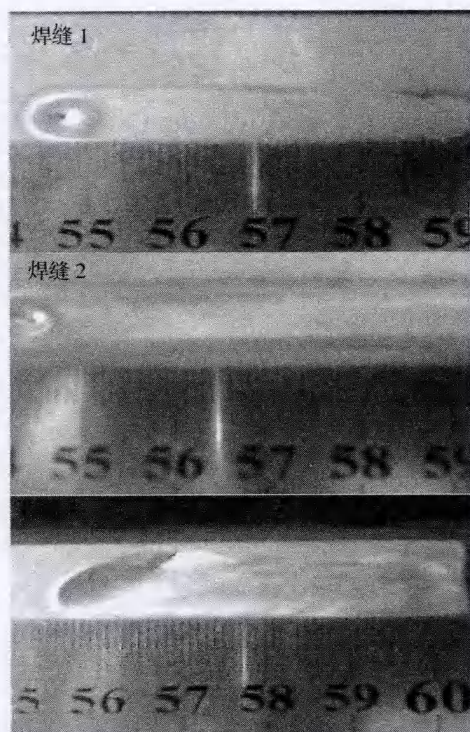


图 6 实际焊缝图像

理来消除图像中的噪声点。与传统的滤波算子相比, 中值滤波滤除脉冲干扰即图像扫描噪声最为有效。由于在去噪过程中, 中值滤波也会使图像中的细节丢失, 所以要对图像采用梯度锐化。由于阴极雾化区的边缘不像熔池的边缘一样凸出, 所有无法采用图像边缘提取算法对其直接进行边缘提取。首先对锐化后熔池图像的灰度直方图进行分析, 获得二值化的阈值, 再对图像进行二值化处理, 最后对二值化后的图像采用蚁群算法进行边缘提取, 从而获得阴极雾化区的边缘和熔池边缘。与传统的边缘提取算法相比, 蚁群算法具有较好的鲁棒性, 能够有效得到信息光滑、连续、没有断点和噪声的阴极雾化区的边缘与熔池边缘图像。由于有钨棒的干扰, 所获取的边缘信息中也包含了钨棒, 所以还需对熔池边缘与钨棒边缘进行识别, 最终去除钨棒的干扰。其图像处理流程如图 7 所示。

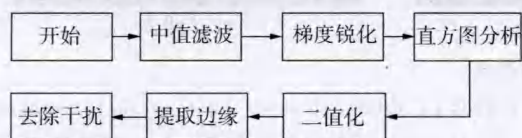


图 7 图像处理流程

在整个处理流程中, 二值化阈值的选取最为重要, 而关键是对灰度直方图的分析。由于采用的是被

动视觉, 当熔池变大时, 其图像亮度也会增强, 因此不同 β 值的熔池图像采取的阈值也不相同。图 8 为不同 β 值的熔池图像梯度锐化后的灰度直方图。根据灰度直方图分析, 在不同 β 值时所选取的二值化阈值如表 2 所示。

表 2 阴极雾化区阈值与熔池阈值

β	阴极雾化区阈值	熔池阈值
0.8	95	230
0.5	100	230
0.2	110	230

利用选取的阈值, 对图 5 中不同 β 值的原始图像进行边缘提取, 经过以上流程处理后的结果如图 9 所示。

图 9 中的外围边缘为阴极雾化区边缘, 里面边缘为熔池边缘。可以看出, 随着正半波电流比例 β 值的减小, 阴极雾化区域增加, 相应熔池也增大。经过程序自动计算, 图 9 中不同 β 值图像的阴极雾化区宽度与熔池宽度如表 3 所示。

表 3 阴极雾化区宽度与熔池宽度

β	阴极雾化区宽度/mm	熔池宽度/mm	阴极雾化区与熔池宽度差/mm
0.8	10.95	6.25	4.70
0.5	11.33	6.93	4.40
0.2	13.20	8.44	4.76

由表 3 可知, 随着 β 值的减小, 图像中的阴极雾化区与熔池逐渐增加。但是阴极雾化区宽度与熔池宽度之间的差值基本保持在 0.47 cm, 即在其他焊接参数相同的情况下, 若熔池宽度增大, 其阴极清理作用效果也相应增大。由此可以根据熔池图像来控制阴极清理作用的效果, 达到理想的焊接效果。

4 结论

(1) 利用被动视觉传感技术可以获得交流 TIG 铝合金焊接电弧区域的图像信息。在不同的 β 值(工件接正极的时间比例)焊接条件下, 通过合理地选择图像处理的阈值和图像处理技术, 得到的焊接阴极清理区和熔池宽度与实际测量基本吻合。

(2) 随着阴极清理作用效果的增强, 熔池图像中阴极雾化区与熔池宽度都变大, 但是两者之间的宽度值差基本保持不变。在其他参数相同时, 通过获取熔池图像中的熔池宽度能够确定阴极清理作用的效果。

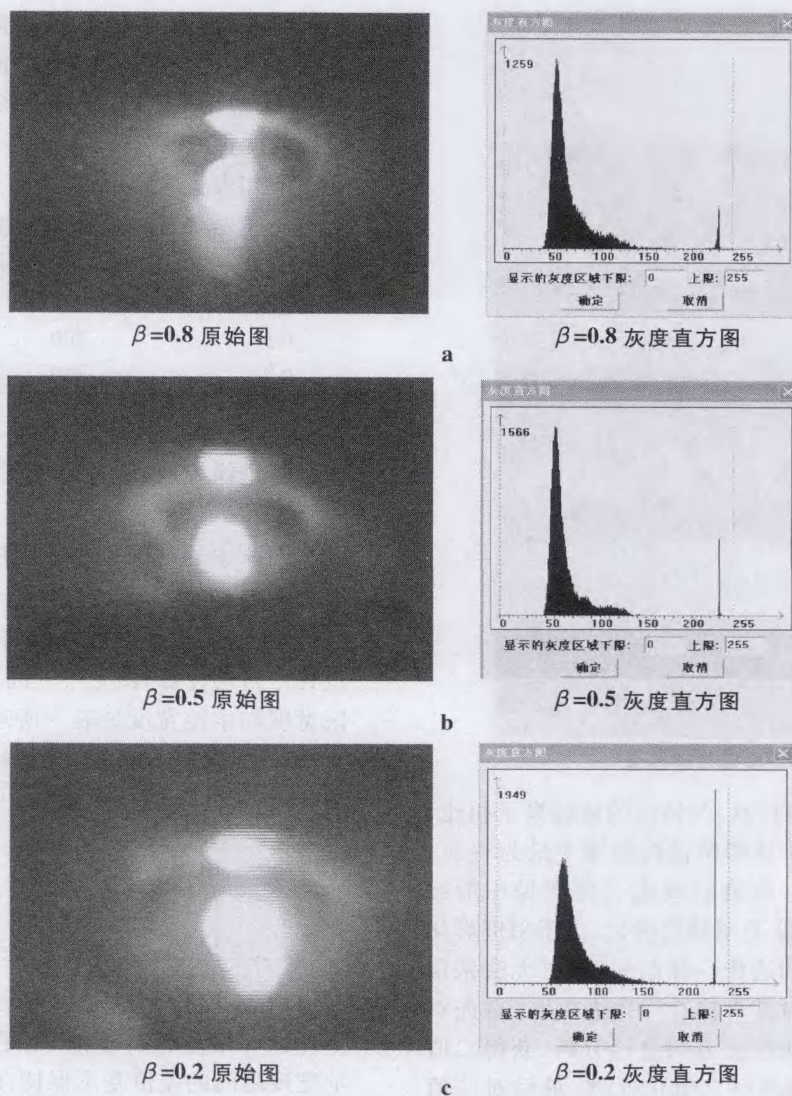


图 8 不同 β 值的灰度直方图

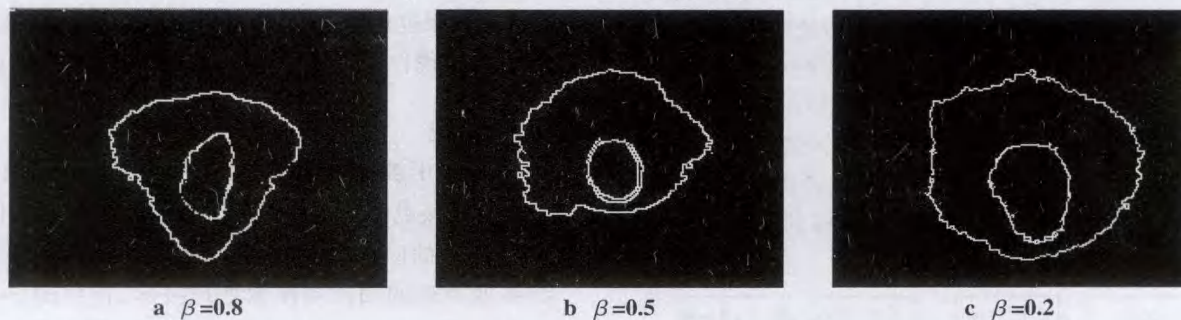


图 9 处理后的熔池图像

参考文献:

- [1] 工业机器人.世界机器人最新统计数据[J].机器人技术与应用,2000(1):6-10.
- [2] 吴 璟.焊接熔池视觉特征信息获取与处理系统的设计[D].上海交通大学,2008.

- [3] WANG J C.Effects of output waveforms on penetration for Nd:YAG laser welding[J].Chian Welding,2000(5):65-75.
- [4] Yu Xue,Kim L S,Son J S,*et al*.Fuzzy regression method for prediction and control the bead width in the robotic arc-welding[J].Journal of Material Process,2005(164):1134-1139.