

基于高速摄像的铝合金 TIG 焊视觉基础研究

北京工业大学机电学院(100124) 胡 婷 闫志鸿 宋永伦 申 希

摘要 方波交流 TIG 焊是铝合金焊接中最常用的方法之一。利用高速摄像,系统分析了铝合金方波交流 TIG 焊电流过零前后及过零瞬间,焊接电弧和熔池的视觉特征。结果表明,在电流过零的瞬间,弧光辐射相对最弱,熔池边界特征清晰,是焊接熔池较理想的采像时间。

关键词: 高速摄像 方波交流 视觉传感 电流过零

中图分类号: TG403

0 前言

近年来,机器视觉技术得到了很大的发展,并趋于成熟,同时在焊接自动化领域也得到了较广泛的应用^[1]。强弧光的干扰是焊接区视觉首先需要解决的问题,为此,国内外的研究者提出了各种不同的方法。哈尔滨工业大学张广军等人^[2]在对铝合金 TIG 焊电弧光谱进行分析之后,选取中心波长为 650 nm 的滤光窗口,利用窄带滤光的方法来获取熔池图像。上海交通大学杨学勤等人^[3]在窄带滤光方法的基础上做出了改进,采用吸热片、减光片、初级滤光片和次级滤光片组成复合滤光系统以抑制强弧光干扰,得到了信息丰富的铝合金焊接熔池图像。上海交通大学的王建军等人^[4]对铝合金脉冲交流 TIG 焊的视觉方法进行了研究,对比了电流在基值、峰值以及过零时刻的熔池图像,得出了基值时刻为理想的采像时刻的结论;在其研究中,电流过零时刻出现了严重的图像退化现象,无法区分图像细节。

文中采用高速摄像方法,分别对铝合金方波交流 TIG 焊电流过零前后及过零瞬间,焊接电弧和熔池的视觉特征进行了试验分析。

1 试验系统

试验系统由米勒 AEROWAVE300 焊机、CMOS 高速摄像机、图像采集卡、计算机、监视器、复合滤光系统(由中性减光滤光片配合窄带滤光片组成)、电流传感器、焊接小车及行走机构等组成,系统框图如图 1 所示。

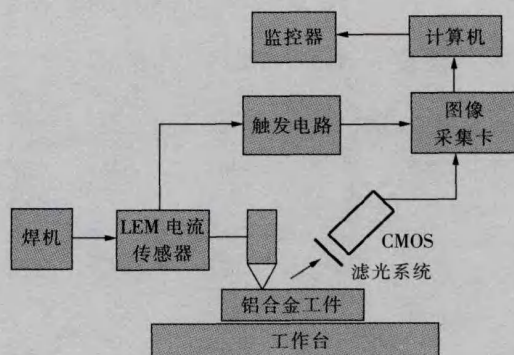


图 1 试验系统框图

2 电流过零过程电弧图像特征

2.1 方波交流过零过程的电流波形

试验中,采用方波交流电流,正负半波电流值均设定为 100 A,交流频率为 50 Hz。通过电流传感器采集到的电流波形如图 2 所示。从图 2 可以看出,无论是从 EN(电极为负)到 EP(电极为正),还是从 EP 到 EN,

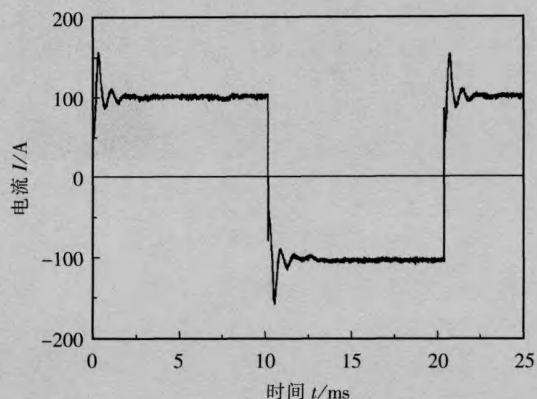


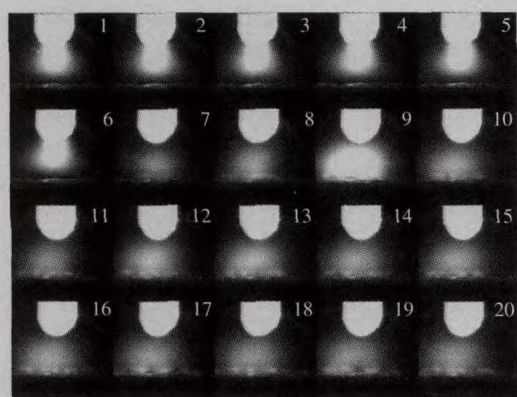
图 2 电流波形图

电流过零过程均极为短暂,且过零后电流有一定幅度的震荡,震荡幅值逐渐衰减,最后达到一恒定值。

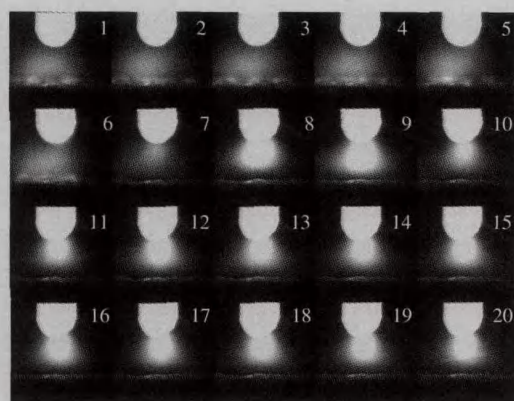
2.2 电流过零过程电弧图像的获取

方波交流 TIG 焊电流的过零过程是瞬间完成的,十分短暂,因此需要摄像机有很快的采像速度。试验中所使用的 CMOS 高速摄像机在全分辨率(即 $1\,024 \times 1\,024$ 像素)条件下,采样频率为 150 帧/秒。而适当地减小图像像素,可以相应地提高图像的采样频率,获取更多的图像信息。

文中采用 64×64 像素的图像分辨率,在此分辨率下,采像频率设为 16 000 帧/秒。图 3 为在该频率下采集到的焊接电弧图像,其中图 3a 为电弧由 EN 向 EP 切换的过程,图 3b 为电弧由 EP 向 EN 切换的过程。



(a) EN 到 EP



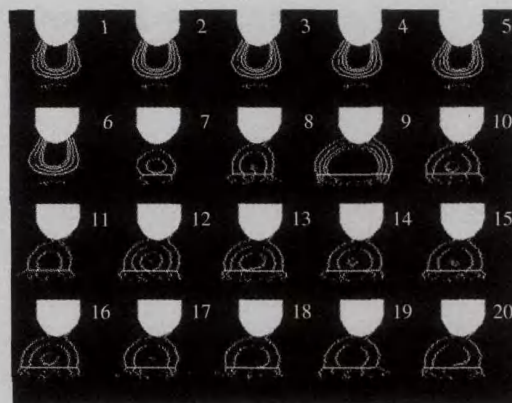
(b) EP 到 EN

图 3 焊接电弧过零过程图像

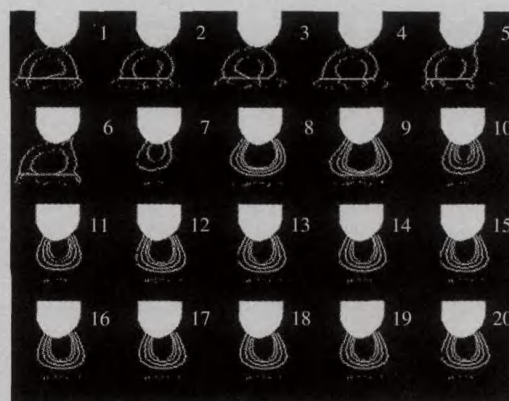
2.3 电流过零过程电弧图像特征分析

为了对电弧形态与光强特征做进一步的分析,文中对图 3 所采集到的图像进行了图像处理,得到了电弧图像的等灰度线,如图 4 所示。综合图 3 和图 4,可以看出,在 EN 阶段,电弧的亮度中心更接近于钨极,电

弧亮区呈倒悬滴状,在 EP 阶段,电弧亮度中心更接近于工件,电弧的亮区成钟罩状,而且在工件表面有局部亮点,这是由于电弧阴极斑点在不停地寻找氧化膜所形成的。无论是从 EN 到 EP 切换,还是从 EP 到 EN 切换,电弧在过零瞬间都有一个亮度最小的时刻,如两图中的第 7 幅图所示,而且在过零后,电弧亮度也存在一个震荡过程,即电弧亮度先增加到较亮的值(如两图中的第 9 幅图所示),然后再回到一个稳定的状态,这一变化过程与焊接电流的变化过程相对应。



(a) EN 到 EP



(b) EP 到 EN

图 4 电弧过零过程等亮度线图像

3 电流过零过程熔池图像特征

3.1 定点焊电流过零时刻熔池图像特征

从以上分析可以看出,电弧在过零时刻(无论是从 EN 到 EP 还是从 EP 到 EN),均有一个亮度的最小值,所以为了更清楚地获取熔池图像,可以利用这一时刻采像。

图 5a,图 5b,图 5c 分别为焊接电流从 EN 向 EP 切换时,EN 时刻、过零时刻和 EP 时刻得到的焊接熔池图

像,可以看出,在过零时刻,焊接电弧亮度最低,焊接熔池边界清晰,此刻为理想的熔池取像时刻。

图 6a,图 6b,图 6c 分别为焊接电流从 EP 向 EN 切换时,EP 时刻、过零时刻和 EN 时刻得到的焊接熔池图像,同样可以看出,在过零时刻,焊接电弧亮度最低,更有利于熔池边缘特征的提取。

比较图 5 与图 6 的 EN 与 EP 时刻,EN 时刻熔池边缘处电弧亮度较低,而 EP 时刻,由于阴极斑点的存在,熔池边缘处弧光辐射较强,边界难于区分。

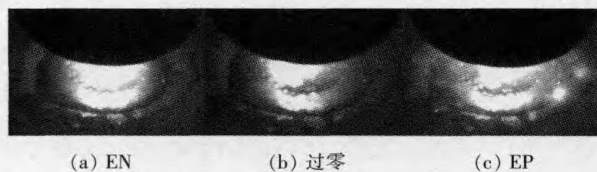


图 5 定点焊 EN 到 EP 的熔池图像



图 6 定点焊 EP 到 EN 的熔池图像

3.2 连续焊接中电流过零时刻熔池图像特征

在正常焊接条件下,工件相对于焊枪以一定的速度行走,此时,熔池头部金属处于不断熔化状态,而熔池尾部金属处于不断凝固状态,最终形成的熔池与定点焊形成的熔池也不尽相同。

图 7a 为在正常焊接速度下,以较低的视角观察时,从 EP 向 EN 切换过程得到的熔池图像,可以看出在 EP 阶段,当焊接电流稳定时,电弧完全笼罩在焊接熔池的上方,熔池边界虽然有一定的灰度特征,但是不明显,很难通过图像处理的方法提取出来;在电流过零时刻,焊接电弧辐射相对较弱,熔池边界特征较为清晰,为图像处理提供了便利;在 EN 阶段,当焊接电流稳定时,焊接电弧亮度较过零时刻也更为强烈,焊接熔池边界特征模糊,尤其在电弧的后方,熔池边界已被电弧完全覆盖。

图 7b 为正常焊接速度下,以较低的视角观察时,由 EN 向 EP 切换过程得到的熔池图像,同样,在过零时刻,电弧弧光辐射相对最弱,熔池边界特征最为清晰,而在 EN 和 EP 阶段弧光较强,熔池边界较难区别。

另外,在以正常速度行走的焊接过程中,熔池头部

呈光滑圆弧状,这一特点同样会给后续的图像处理和边缘的曲线拟合带来好处。

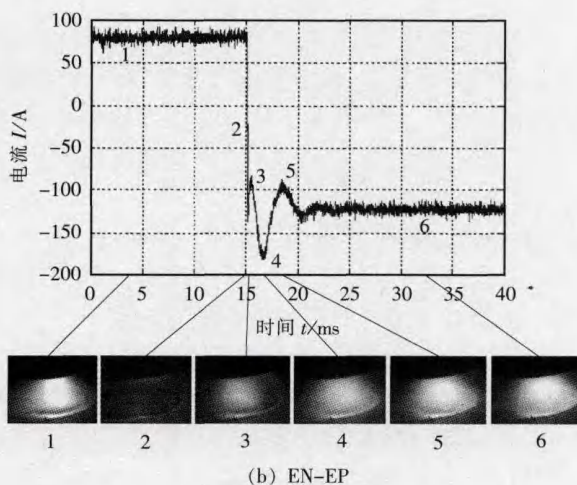
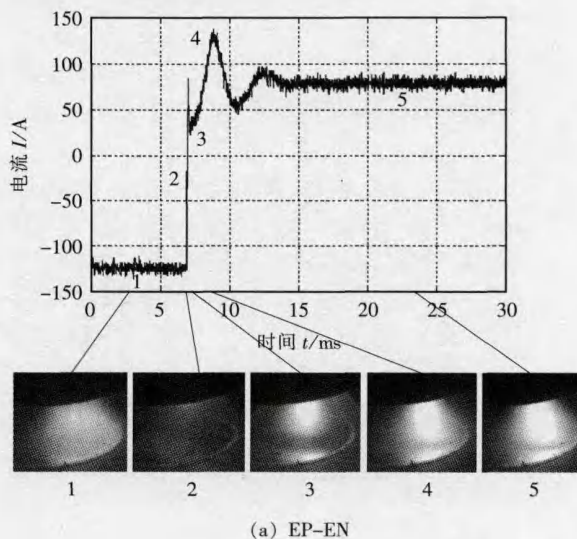


图 7 连续焊过零过程熔池图像

文中所采集到的过零过程虽然是在高速摄像的条件下得到的,但是,在实际应用中,可以通过一个过零检测电路来监测过零时刻,再用此电路来触发相机进行图像采集,这样可以在普通成像速率的相机上实现过零时刻焊接区图像的采集。

4 结 论

文中采用面阵 COMS 视觉系统对铝合金方波交流 TIG 焊的焊接电弧和焊接熔池进行了观察,尤其对二者过零过程的图像特征进行了分析,从试验结果可以看出:

[下转第 43 页]

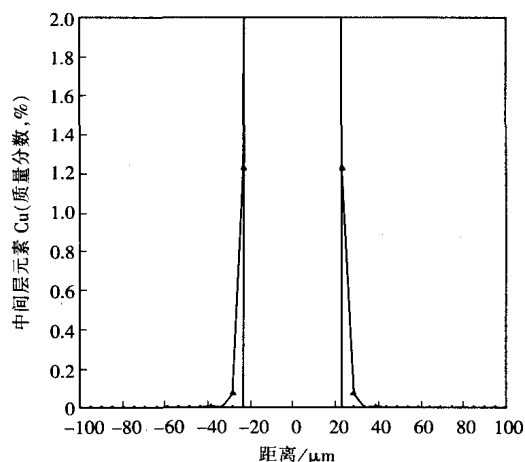


图8 Cu层(40 μm)

通过相关的模盒 TLP 连接试验发现,当 Cu 层为 5 ~ 7 μm 时,其爆破强度为 56 MPa,而当 Cu 层为 10 ~ 15 μm,其爆破强度为 70 MPa,相比之下 Cu 层厚度采用 10 ~ 15 μm,较为合适,并达到爆破强度要求,且喷管冷却通道无堵塞现象。

3 结 论

(1) 通过 Dictra 软件模拟,从元素扩散的浓度和扩散距离两个方面,得出 Cu 比 Ni 在 Ti 中扩散更加充分。在连接温度选择方面,采用 Cu 层时,最低连接温度为 940 ℃,而采用 Ni 层时为 992 ℃,在此温度下进行 TLP 连接试验,会造成母材性能降低,影响连接强度,因此 Cu 相对于 Ni 更适合作为钛合金 TLP 连接的中间层材料。

(2) 中间层采用镀层的形式,通过预镀一层 1 ~ 3 μm 的 Ni 作为基底,可在钛合金表面得到结合力良好的 Cu 镀层。通过 Dictra 软件模拟发现,不同的中间层厚度在母材中的扩散距离和扩散浓度变化不大。当 Cu 层厚度为 10 ~ 15 μm 时,可达到使用要求。

参 考 文 献

- [1] 姚 凯,范振红,李玉国. 瞬时液相扩散焊的发展及应用前景[J]. 石油工程建设,2007,33(2):1-4.
- [2] 曲文卿,张彦华. TLP 连接技术研究进展[J]. 焊接技术,2002,31(3):4-7.
- [3] 崔红军,曹 健,冯吉才,等. 瞬间液相连接中间层和连接条件的改进[J]. 焊接,1998(12):16-21.
- [4] 董建新,何 东,张麦仓,等. 热等静压扩散连接反应层元素互扩散的动力学模拟计算[J]. 北京科技大学学报,2003,25(1):36-39.
- [5] 郭世敬,陈思杰,梁 峰. 瞬间液相扩散连接中间层的研究[J]. 金属铸锻焊技术,2009,38(9):97-99.
- [6] 郭世敬,陈思杰,梁 峰. 中间层成分对瞬时液相扩散连接过程的影响[J]. 金属铸锻焊技术,2009,38(7):106-111.
- [7] 邹家生. 材料连接原理与工艺[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004.
- [8] 孙志华,刘佑厚,张晓云,等. 钛及钛合金的电镀工艺述评[J]. 腐蚀与防护,2005,26(11):493-496.

作者简介: 许艺峰,1972 年出生,高级工程师。主要研究方向为航空宇航动力工程,长期从事液体火箭发动机焊接工艺研究。

[上接第 39 页]

(1) 对于铝合金方波交流过零过程,无论是从 EN 向 EP 切换,还是从 EP 向 EN 切换,焊接电弧在亮度上均发生了较大的变化,且均存在过零时刻瞬间变暗的现象。

(2) 通过对焊接电弧等亮度线图像的观察,可以清楚地看到,在 EN 时刻和 EP 时刻,电弧形态不尽相同,亮度中心位置也不一样,在 EN 时刻,电弧烁亮区更接近于电极,而在 EP 时刻,电弧烁亮区更接近于熔池,且能观察到跳跃的阴极斑点,电弧的形态会影响到熔池的观察。

(3) 对定点焊和连续焊过零过程的熔池图像进行了采集。由于在电弧过零时刻,弧光辐射降到最低,对熔池成像干扰最小,因此过零时刻是更为理想的熔池图像采集时刻。在 EP 时刻,熔池表面存在不停跳跃的

阴极斑点,严重影响了熔池边界的识别。

参 考 文 献

- [1] 雷文华. 机器视觉及其应用 - 机器视觉发展概述[J]. 应用光学,2006(5):1-4.
- [2] Zhang Guangjun, Yan Zhihong, Wu Lin. Visual sensing of weld pool in variable polarity TIG welding of aluminum alloy[J]. Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 2006, 16: 522-526.
- [3] 杨学勤,王建军,林 涛,等. 铝合金交流 TIG 焊接熔池动态控制图像传感方法的研究[J]. 焊接,2002(12):17-19.
- [4] 王建军. 铝合金脉冲 TIG 焊接熔池动态特征的视觉信息获取与自适应控制[D]. 上海:上海交通大学博士学位论文,2003,10.

作者简介: 胡 婷,1983 年出生,硕士研究生。主要研究方向为机器视觉。