- 1 1 月 TRANSACTIONS OF THE CHINA WELDING INSTITUTION

## MAG 焊熔池图像特征及可用信息分析

文章编号: 0253-360X(2006)11-053-04

王克鸿, 沈莹吉, 钱 锋, 游秋榕

摘 要: 针对 MAG 焊焊接过程的特点,采用被动式视觉传感的方式,利用近红外 CCD 摄像机,配合1064 nm 窄带滤光片和01%中性减光片组成的复合滤光系统,很好地排 除了弧光的干扰,采集到大量高清晰的 MAG 焊短路过渡、射滴过渡、射流过渡熔池图 像。利用数字图像处理技术对熔池图像进行图像处理,并提取出反映焊接质量的图像 特征信息。对于单幅熔池图像进行了灰度分析,并提取了三条熔池图像等值轮廓线;对 于连续多帧熔池图像,提出了利用熔池图像差影检测和熔池图像平均灰度来研究 MAG 焊焊接过程的新思路,为熔化极气体保护焊焊接过程质量控制奠定了基础。 关键词,MAG 焊:熔池图像;特征信息;灰度分析

文献标识码: A



王克鸿

0 序 言

中图分类号: TG409

在自动化焊接中,焊接信息传感技术是焊接过 程质量实时传感和控制的难点<sup>[1]</sup>。熔池信息传感是 焊接过程传感的重要组成部分,熔池信息能直接反 映焊缝外观形状、外部缺陷以及判断内部成形是否 良好。近几抨,随着视觉传感器成本下降,工作可靠 性和保护措施得以提高和完善,图像处理硬件和软 件得以改进,使得其在焊接过程信息检测和质量控 制方面的应用越来越广泛<sup>[2~4]</sup>。文中针对熔化极富 氩气体保护焊射滴过渡熔池,利用近红外 CCD,配合 窄带滤光减光片组合来采集熔池图像并进行图像特 征分析。

1 视觉传感采集系统设计

试验所建立的熔池视觉采集系统如图 1 所示, 系统包括焊接电源, 焊机控制箱及焊接行程控制工 作台, 熔化极气体保护 焊机、台湾 敏通 OS—45D 近 红外 CCD 摄像机、大恒 CG400 图像采集卡、复合滤 光片、普通计算机。

焊接时,导光通路传输熔池区热辐射光线,经复 合滤光片组消除弧光干扰,近红外 CCD 摄像机将采 集到的熔池图像信息以视频信号形式输入至图像采 集卡,图像采集卡将这些视频模拟信号转化为数字

 存走机构及焊枪 (日本) (CCD) (CCD) (法光系统) (注集机) (注集和) (注集】) (注

图 1 GMAW 试验系统结构框图 Fig. 1 GMAW experiment system block diagram

信号传输给计算机,最终由计算机上的图像处理软件处理后,提取出熔池信息特征比较满意的图像。

2 图像采集试验

母材采用 8 mm 厚 Q235 低碳钢,焊丝采用 H08Mn2SiA \$1.2 mm 的焊丝,80%Ar+20%CO2 混合 气体保护,气体流量为 15 L/min,采用表面堆焊,射 滴过渡。此外,试验采用中心波长为 1 064 nm 的窄 带滤光片配合 0.1%的中性减光片作为滤光系统。

3 熔池图像特征分析

从图像工程的角度来说,对熔池图像的研究应 该包括三个过程,即图像处理、图像分析和图像理 解。图像处理是比较低层的操作,主要在图像像素 级上进行处理,处理的数据量非常大。图像分析则 进入了中层,分割和特征提取把原来以像素描述的 图像转变成比较简洁的非图形式的描述。图像理解 主要指高层操作,基本上是对从描述抽象出来的符 号进行运算,其处理过程和方法与人类的思想推理 有许多相似之处<sup>[2~6]</sup>。作者将对 MAG 焊熔池图像 进行以上三个层次的工作。

3.1 典型射滴过渡图像特征分析

典型射滴过渡熔池图像如图 2 所示,由图可知, 熔池总体呈上下不对称椭圆形状,左右基本对称。 熔池图像最上方的黑色弧形边界是喷嘴正面投影。 熔池图像的上方对应电弧所在位置,下方则对应熔 池尾部。熔池头部被强烈的电弧光覆盖,呈现烁亮 状态,该区域大小与电弧形态、熔滴过渡、保护气体、 滤光系统等因数有关。电弧烁亮区两侧和下方对应 的液态金属,称为熔化区。熔池正下部位偏左右位 置上各存在一块白色亮区,称为浮渣。与熔池最下 方紧挨的是半凝固区。



图 2 典型 MAG 熔池图像 Fig. 2 Image of typical MAG welding molten pool

32 单幅熔池图像灰度分析

下面以图 2 为例,进行灰度分析。

3.2.1 熔池图像等值轮廓线

在灰度图像中灰度值相等的像素连成的曲线就 是该图像的等值轮廓线。一幅图像可能有几条等值 轮廓线,如图 3 是图 2 的 3 条等值轮廓线,曲线 1 显



图 3 熔池图像等值轮廓线 Fig. 3 Image of weld pool equivalent contour lines

示了该熔池的外轮廓线,曲线2显示了电弧烁亮区区 域范围,曲线3正下方两个凸出区域对应的是浮渣。 3.2.2 熔池图像灰度分布分析

如图 4 中,图 4b 是图 4a 中直线 A 上各像素的 灰度分布图。从图 4b 中可以看出,在直线中间位置 存在一个灰度突变"峰",该"峰"正好对应喷嘴正下 方的焊丝,该"峰"灰度值最高为 175。



图 4 A 直线处的灰度值分布图 Fig. 4 Gray value distribution at line A

如图 5a 中直线 B 穿越母材区、熔化区和电弧烁 亮区 3 个区域。图 5b 为 B 直线上所有像素的灰度 分布图,该分布图呈现 1 个灰度突变"台阶"和两个 灰度突变"峰"。"台阶"处对应的是电弧烁亮区,最 高灰度值达到 240;而 1 和 2 这两个"峰"正好对应熔 池图像的边界处,这里左右两"峰"最高值不同,但都 在 200~240 之间。这种灰度突变"峰"的存在,正是 利用图像处理提取熔池边界的基础,"峰"的最高值 也正是边界提取算法中的理想阈值。



Fig. 5 Gray value distribution at line B

如图 6a 中 C 直线直接穿过母材区、熔化区、浮 渣3 个区域。图 6b 为直线 C 上所有像素的灰度分 布图。该分布图存在两个灰度突变"峰",该两个 "峰"对应 C 直线处熔池的左右边界,"峰"的最高值 在150~180。在两个"峰"之间存在着两个有一定倾 斜角度的"台阶","台阶"对应的是浮渣,从"台阶"的 数目可以推断熔池中浮渣的数目。



Fig. 6 Gray value distribution at line C

如图 7a 中直线 D 穿过母材区、熔化区尾部两个 区域。图 7b 为直线 D 上所有像素的灰度分布图,从 中可以看出该灰度分布图没有上述 2 个灰度突变 "峰",熔池边界不清楚,这主要是由于与熔化区尾部 相邻的是半凝固区,其中半凝固区的温度比母材高, 与熔化区尾部温度差也并不大,不易产生灰度突变, 这正是造成整幅熔池图像中熔池两侧边界比较清 晰,而尾部边界不清晰的主要原因。而图 6b 中,由 于母材区与熔化区的温度差较大,容易产生灰度突 变,故产生了灰度突变的"峰",熔池边界较清晰。



Fig. 7 Gray value distribution at line D

如图 8a 中直线 E 仅穿过母材区和半凝固区。 图 8b 为直线 E 上所有像素的灰度分布图,可以看出 该图中,既没有灰度突变"峰",也不存在灰度突变 "台阶"。灰度分布较为平缓,没有明显的边界。灰 度最高值出现在直线 E 中间位置,这是因为中间位 置温度最高,向两侧逐渐降低。

33 连续多帧熔池图像对比分析

3.3.1 熔池图像差影检测

图像差影法是图像的相减运算,是指把同一景 物在不同时间拍摄的图像或同一景物在不同波段的 图像相减。具体方法是对一幅输入图像的像素值从 另一幅输入图像相应的像素值中减去,再将相应的 像素值之差作为输出图像的相应的像素值。差值图 像提供了图像间的差异信息,能用以运动目标检测 和跟踪、图像背景消除及目标识别等工作。如图 9a.b 是某一稳定的焊接过程中采集到的相邻两幅 熔池图像。图 9c 则是这两幅图像的差影,可见电弧 烁亮区和浮渣区都呈黑色,对电弧烁亮区而言,由于 图 9a, b 中该区灰度值相等, 都是 240; 对浮渣区而 言, 是由于图 9b 中浮渣区灰度值比图 9a 高。事实 上在该焊接过程中,以连续两幅图像差影为研究对 象时,电弧烁亮区一直都是黑色,这是由于电弧烁亮 区灰度值一直都是 240; 浮渣区绝大多数情况下也 是黑色,这是因为由于焊接过程比较稳定时,该区灰 度值几乎不变。因而,可以根据图像差影中浮渣区 的稳定性推断焊接过程稳定性。



图 8 E 直线处的灰度值分布图 Fig. 8 Gray value distribution at line E



Fig. 9 Image aberration shade detection

## 3.3.2 熔池图像平均灰度

熔池图像平均灰度是指熔池图像研究区域内各 像素灰度值的平均值,它表示的是各个区域总体灰 度特征。由于熔池图像中除了电弧烁亮区以外,各 像素灰度值与该处对应温度有潜在的关系,而影响 熔池中各点温度的主要因素之一就是焊接热输入, 所以平均灰度值与焊接过程热输入存在一定关系。 下面将以采集到的一组熔池图像为例进行分析。

电源一电弧系统具有时变、非线性及干扰因素 多等特点,实际上做焊接试验前设定好的工艺参数 在焊接过程中并不是完全保持不变。从 CCD 摄像 机取像的机理上分析,摄像机每 40 ms 拍摄一帧图 像, 对应 40 个采样点, 40 ms 内的热输入与图像平均 灰度存在一定的关系。定性分析可知,当热输入大 时平均灰度值高: 当热输入小时, 平均灰度较低。由 于电流、电压与热输入密切相关,所以从平均灰度分 布图 10 上可以看出, 起弧达到稳定后(第 30 幅图像 后),平均灰度也是在一定范围内波动。通过计算得 到第 30~88 幅图像平均灰度的均值为 50.01。对于 不同的焊接工艺参数,平均灰度均值也不同,这点经 过试验得到了验证。对于单幅熔池图像,其平均灰 度不能准确反应焊接过程的热输入情况,但是对于 连续图像,其平均灰度均值可以反映整个焊接过程 焊接热输入的情况, 而焊接热输入又与焊接电流、焊 接电压有着密切的关系。可以从熔池图像平均灰度 的分布情况分析焊接过程的稳定性,这为自动化焊 接中质量控制研究提供了一个新的方向。



图 10 相同工艺参数范下图像平均灰度分布图 Fig. 10 Image of mean gray distribution under same standard

4 结 论

(1)采用复合滤光技术,建立了被动式直接视 觉传感系统,采集到MAG 焊清晰的熔池图像。

(2)以射滴过渡熔池图像为例,对于单幅熔池 图像,利用灰度直方图进行了灰度分布,运用 MAT-LAB 软件提取出熔池图像三条等值轮廓线。此外, 进行了灰度分布分析,利用灰度分布图提取出了熔 池图像中的电弧、浮渣、熔池以及熔池边界。

(3)对于连续多帧熔池图像,提出了利用熔池 图像差影检测和熔池图像平均灰度来研究焊接过程 稳定性的新思路。

参考文献:

- [1] 王其隆. 弧焊过程质量实时传感与控制[M]. 北京:机械工业 出版社, 2000
- [2] 王克鸿, 熊亮同, 徐越兰, 等. 自动 TIG 熔敷铜熔池 图像视觉检测试验研究[J]. 焊接学报, 2004, 25(4): 27-31
- [3] Wangkehong, Tangxinchen, Yujian. Method of visional detecting MAG weld pool information[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2005, 15(3); 369–374
- [4] 吴 林,陈善本.智能化焊接技术[M].北京:国防工业出版 社,2000
- [5] 章毓晋. 图像工程[M]. 北京:清华大学出版社, 2000.
- [6] Balfour C, Smith J S. Feature correlation for weld image-processing applications[J]. Internation Journal of Production Research, 2003, 42 (5): 975-995

作者简介: 王克鸿, 男, 1963 年2 月出生, 教授。主要从事焊接过 程自动控制、弧焊机器人智能化应用技术和机电一体化设备等方面 的研究工作, 获得省部科技二、三等奖 4 项, 发表论文约 50 篇。

Email: wkh1602@126. com

III

portions with same length to approximate the complicated space curve under the conditions of keeping constant welding speed and satisfying the given approximation error. It takes the general connection form of cylinder pipe for example to illustrate the algorithm, and then Open-GL is used to simulate the composite motion track. Simulation results show that the real-time interpolation algorithm is feasible.

Key words: line of intersection; welding; interpolation algorithm; simulation

Characterization of mechanical properties for aluminium alloy welded joint QIAO Ji-sen, ZHOU Qing-lin, ZHU Liang CHEN Jian-hong(State Key Laboratory of Gansu Advanced Non-ferrous Metal Materials Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China). p41-44, 49

**Abstract:** The characterization of local material properties has been evaluated using the punch shearing test. An inversed technique was illustrated to assess the tension behavior of materials from this punch shearing test. In addition, an typical aluminium alloy 6063 and welded joints for auto industry have been tested by the punch shearing procedure to identify the relation between yield strength, ultimate strength and strain-hardening coefficient of local material of welded joint. Results show that the material mechanical properties can be identified accurately by the punch shearing procedure, which will supply the information of joint deformation and failure for aluminium automobile crash assessment.

Key words: punch-shearing test; local mechanical properties; welded joint

Effects of heating time on wettability and spreadability of paste solders on Cu substrate with diode laser soldering system

HUANG Xiang, XUE Song-bai, ZHANG Ling, WANG Jian-xin, HAN Zong-jie (College of Materials Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China). p45–49

Abstract Diode laser soldering system was used to study and explore the ways to improve the wettability and spreadability of Sn63Pb37 paste solder and Sn96Ag3. 5Cu0. 5 lead-free paste solder on Cu substrate. The effects of heating time of the laser on the wettability of paste solders were investigated and it was also analyzed that the microstructures of the joints and interfacial region of Sn63Pb37 and Sn96Ag3.5Cu0. 5 under different time conditions by means of SEM. The Results indicate that the wettability and spreadability of the two kinds of solders on Cu substrate are improved with the increase of heating time under the condition of selected laser output power. When the heating time is longer than 1.5 s, the spreading area and wetting angle of Sn63Pb37 solder are tending towards stability and when the heating time is longer than 2.5 s, the spreading area and wetting angle of Sn-Ag-Cu solder are tending towards stability as well.

Key words: diode laser soldering; wettability; Sn-Pb solder; Sn-Ag-Cu solder Friction welding technology between titanium alloy and pure aluminum BAI Jian-hong, FU Li, DU Sui-geng(College of Materials Science, Northwestem Polytechnical University, Xi' an 710072, China). p50—52

Titanium alloy and aluminum alloy are good for Abstract. the structure materials in the fields of aerospace and aviation because of their excellent properties. It is necessary to join these two materials for wider applications. TC4 titanium alloy and L5 pure aluminum are joined by friction welded and then post-welding tempering treatment have been conducted. By means of the optical microscope detecting EDX analysis, micro-sclerometer and tensile test, we explore experimentally the microstructure characteristics and diffusion behavior of the friction welded joint of TC4 titanium alloy and L5 pure aluminum. As expected, there are good friction weldability between TC4 titanium alloy and L5 pure aluminum and no intermetallic phases created in friction welding zone under the welding parameters used in this trial. Furthermore, the tensile strength of the welded joint exceeds that of the base metal aluminum. After post-welding heat treatment, the diffusion zone of main alloying elements Ti, Al and V widens and the microhardness of the friction welded joints near titanium increases greatly because of the aging effect.

Key words: friction welding; post-welding heat treatment; TC4 titanium alloy; L5 pure aluminum; microstructure

MAG welding molten pool image character and useful information analysis WANG Ke-hong, SHEN Ying-ji, QIAN Feng, YOU Qiu-rong (Dept of materials, Nanjing University Science & Technology, Nanjing 210094, China). p53–56

Abstract: A passive vision sensing system for taking the image of MAG welding molten pool has been set up. Near-infrared CCD and compound filters system composed of 1 064 nm narrowband filer and 0.1% neutral dimmer film are used to eliminate the arc light disturbance and a lot of clear images are obtained. Imageprocessing software is used to extract the characteristic information which reflects the welding quality. For the single image, the gray character is analyzed and three equivalent contour lines are obtained. For continuous multi-frame images, the image aberration shade detection and mean gray distribution are put forward to study the process of MAG welding.

**Key words**: metal active-gas welding; molten pool image; characteristic information; gray analysis

Numerical simulation of hydrogen diffusion under welding residual stress JIANG Wen-chun, GONG Jian-ming, TANG Jianqun, CHEN Hu, TU Shan-dong (College of Mechanical and Power Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China). p57-60, 64

**Abstract** Using finite element analysis code ABAQUS, a sequential coupling calculating program on hydrogen diffusion has been developed. Using this program, the effect of as-welded residual stress on the hydrogen diffusion was numerically simulated for the