

MAG 焊接熔池的激光频闪视觉检测

高进强 张敏 武传松

(山东大学材料科学与工程学院连接技术研究所, 济南 250061)

摘要: MAG 焊接在生产中得到了广泛的应用。本文利用激光频闪视觉检测仪从试件正面检测出了清晰的 MAG 焊接射流过渡的熔池区图像; 根据图像的特点, 设计出图像边缘检测算法, 检测出了焊接熔池的整个边缘; 提取出了熔池最大宽度和熔池最大长度参数。这为 MAG 焊接过程的数值模拟提供实验验证, 同时还可以为以后的 MAG 焊接过程的自动控制打下了坚实的基础。

关键词: 激光频闪视觉检测 MAG 焊接 熔池区图像 射流过渡

0 前言

视觉传感器具有直观、信息量大、不受焊接电磁场的干扰, 其信息的检测不影响正常焊接过程等优点, 因而在焊接过程的质量检测与控制的研究方面应用较多。由于 TIG 焊接过程较稳定, 在 TIG 焊接过程的质量检测与控制方面取得了较好的结果^{[1][2][3]}。MAG 焊接是生产中广泛采用的焊接方法, 具有焊缝质量好、可操作性强、生产效率高优点, 广泛应用于机械化焊接和机器人焊接, 而且 MAG 焊接几乎可焊所有的金属^[4]。但由于 MAG 焊接过程中存在很大程度的金属飞溅, 焊缝外形较为粗糙, 弧光干扰强烈、烟雾、不稳定的电弧燃烧等缺点, 因而很难拍摄到完整清晰的熔池图像, 也很难对 MAG 焊接过程的数值模拟提供实验验证。清华大学的孙正国^[5]等人重新设计了普通的工业 CCD 摄像机以用来检测短路过渡过程中无弧光干扰期间的熔池, 解决了 CO₂ 短路过渡中存在的电弧和飞溅对视觉传感器的干扰问题。该文在脉冲电流基值时刻拍摄出了 CO₂ 短路过渡时的熔池图像, 熔池边缘清晰, 但弧光干扰仍很强烈, 未提取图像边缘。本实验室采用激光频闪视觉检测仪, 利用短时间内激光的照明, 成功地消除了 MAG 焊接过程的强弧光干扰, 拍摄出了清晰、完整的熔池图像。

1 系统模型

实验系统主要由激光频闪视觉检测仪、焊机、行走机构、微机 1、微机 2、监视器组成。图 1 为系统结构框图。

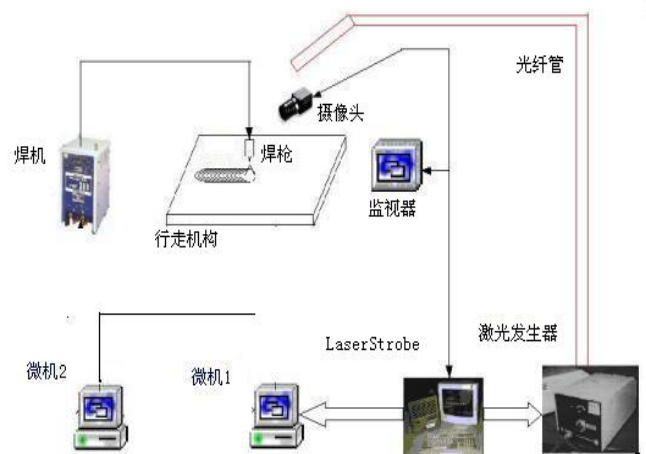


图 1 系统框图

1.1 激光频闪视觉检测仪

激光频闪视觉检测仪是由 Control Vision Inc. 公司生产的, 被用来检测高速、高温工艺过程。激光光束具有单色性能, 方向性好, 亮度高, 因而获得清晰的图像。激光频闪视觉检测仪将脉冲激光频闪技术、高速电子快门视觉传感器、复合滤光技术、计算机图像处理技术集成于一体, 可以有效地克服焊接过程中的强弧光干扰, 提供清晰的熔池图像和几何形状尺寸, 为焊接过程分析

和控制提供了大量的可靠信息。

激光频闪视觉检测仪由摄像机头、控制设备、激光发射器组成。该设备利用激光发射器发出的激光来抑制电弧光的干扰。脉冲激光器的平均功率为 7mW,一个脉冲周期激光持续时间仅为 5ns,因而在激光脉冲持续时间内激光脉冲功率可达 80kW。这样在激光脉冲持续时间内,激光的能量密度远远大于电弧光的能量密度。摄像机的电子快门与激光脉冲同步,因此熔池在摄像机成像时激光就能有效地抑制电弧光的干扰。另外,在摄像机成像的光路系统中有加有与激光波长相匹配的窄带滤光器,抑制其他波长光的干扰,进一步提高了图像的信噪比。

熔池是熔融的液体,在熔池区域,激光发生镜面反射,熔池周围是未熔化的金属,激光发生的是漫反射,因而熔池区域与熔池周围区域能够产生较大的对比度^[6]。

通过这些措施能够获得非常清晰的熔池图像。主控计算机对熔池图像进行一系列处理,就可以可靠地检测出熔池的形状和尺寸。

1.2 工作原理

微机 2 主要控制行走机构的运动方向和速度;由 LaserStrobe 控制激光发生器发射激光,激光通过光纤管传输,照射到工件上,由摄像机拍摄熔池图像,同时在 LaserStrobe 屏幕和监视器上实时显示摄像机所拍摄的图像;微机 1 控制采集到该微机的图像频率,并保存图像。

2 检测结果及图像处理

实验采用连续电流MAG焊接方法进行堆焊。焊接材料为低碳钢Q235,尺寸为 200mm×50mm×6mm,焊丝直径 1.2mm,保护气体 90%Ar+10%CO₂,气体流量 15L/min。干伸长度 25mm,焊接电压 31V,焊接电流 250A,焊接速度分别为 300mm/min、350mm/min、400mm/min,熔滴过渡形式为射流过渡。

熔池图像如图 2 所示, y 轴为焊接方向, x 轴垂直于焊接方向。

一般地,边缘表现为图像上灰度变化剧烈的地方。但由于 MAG 焊接所固有的特点,所拍摄的图像中除了熔池边缘有剧烈的灰度变化外,在其他地方仍然有很多的类似熔池边缘的“干扰”

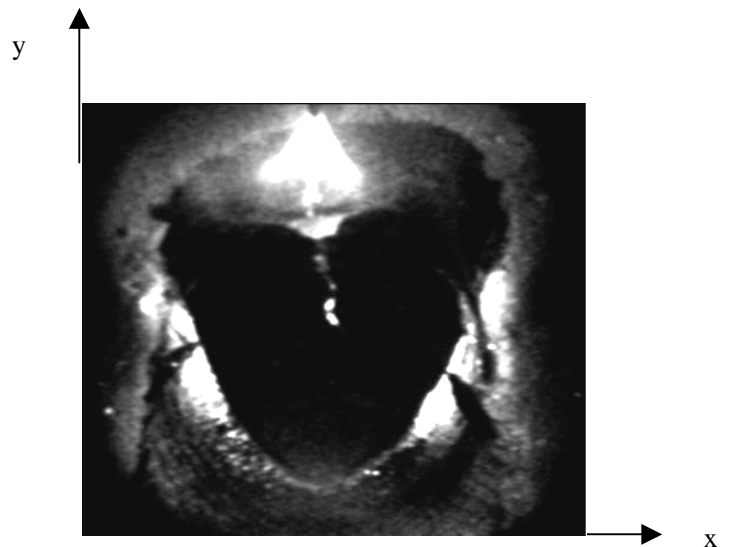


图 2 拍摄的熔池图象

边缘。这就给 MAG 焊接熔池图像边缘的提取增加了很大的难度。为了解决这一问题,本文根据所拍摄图象的特点,自行编制了图象分析软件,提取了熔池边缘。

图像处理算法如下:

(1) 图像增强。用 $f(x, y)$ 、 $g(x, y)$ 分别表示像素点 (x, y) 的原始灰度值和增强后的灰度值,则增强公式为:

$$g(x, y) = 150 + 5 \times [f(x, y + 2) + f(x, y + 1) - f(x, y) - f(x, y - 1)] / 4$$

经过处理后的图像,其熔池边缘比原来更好的突出出来,更有利于熔池边缘的提取。

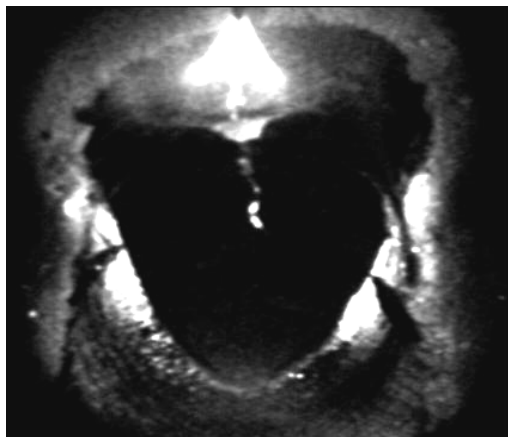
(2) 寻找中心点。熔池存在最大熔宽和最大熔长,根据这一特征首先找到熔池中心。

(3) 确定区域点。在熔池最大熔宽和最大熔池长度处确定熔池左右和上下四个区域点。

(4) 搜索边缘。以熔池左右区域点作为起始

点,在其上下左右 30 个像素内,根据边缘突变这一特点,确定熔池左右边缘。以中心点为起始点,沿 y 方向向两侧搜索,在熔池上下区域点内搜索出熔池前部和尾部的边缘。

图 3、图 4、图 5 是在不同焊接速度下拍摄的熔池图像(左侧)和经该软件处理后的图象(右侧),其摄象机拍摄方向垂直与焊接方向。



(a) 原始图像



(b) 处理后的图像

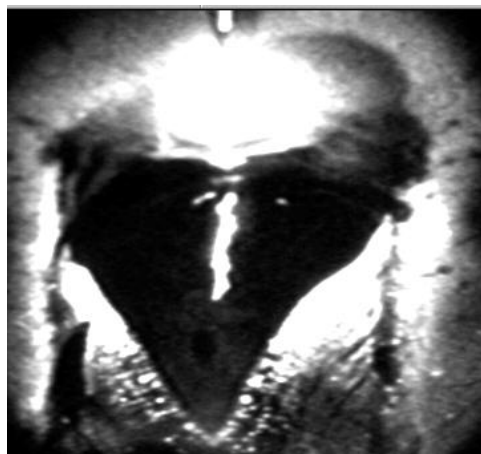
图 3 MAG 焊接拍摄的熔池图像
焊接速度: 300mm/min

3 参数提取

图象上每一点亮度反映了空间物体表面某点反射光的强度,而该点在图象上的位置则与空间物体表面相应点的几何位置有关。这些位置的相互关系由摄象机成像几何模型所决定,该几何模

型的参数称为摄象机参数。这些参数必须由实验与计算来确定,实验与计算过程称为摄象机定标。本文采用的标定物为同心矩形,该矩形相邻线段之间间距为 1 毫米,各个矩形同心均匀分布。需要标定的参数为实际坐标系与图象坐标系的水平和垂直两个方向的比例系数。得出水平方向(垂直与焊接方向)的标定系数为 0.0521mm/pixel,垂直方向(沿焊接方向)的标定系数为 0.1316mm/pixel。

为了描述熔池正面的几何形状,并以数字的形式表达出来,从而为焊接热过程计算提供实验验证数据,并建立熔池正面几何形状参数与焊接工艺参数的关系模型,必须提取熔池正面的几何参数。本文提取的主要参数是熔池的最大宽度和最大长度。

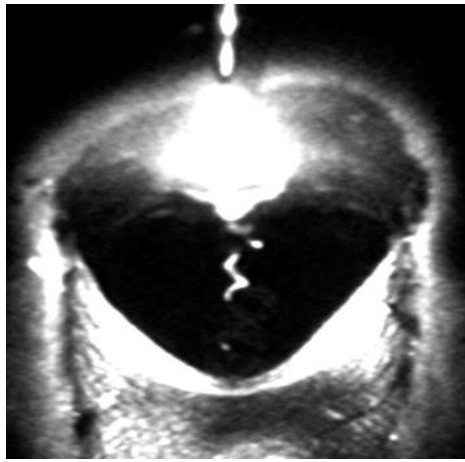


(a) 原始图像

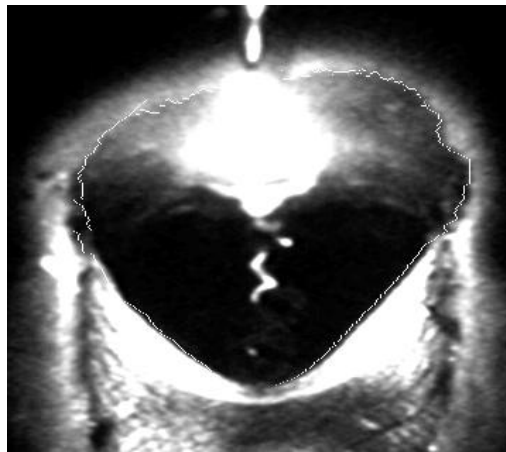


(b) 处理后的图像

图 4 MAG 焊接拍摄的熔池图像
焊接速度: 350mm/min



(a) 原始图像



(b) 处理后的图像

图5 MAG焊接拍摄的熔池图像
焊接速度: 400mm/min

利用自行编制的图像处理软件, 可以检测出熔池的最大宽度和最大长度。表1为焊接速度变化时所测量的熔池最大宽度和熔池最大长度。

表1 焊接速度变化时熔池最大宽度和熔池长度

焊接速度 /mm•min ⁻¹	熔池最大 宽度/mm	熔池最大 长度/mm
300	15.42	37.5
350	14.54	40.3
400	13.34	34.3

从表1可以看出: 熔池最大宽度随着焊接速度的增大而减小, 而熔池长度的变化则先增大后减小。焊接速度增大, 电弧与工件上每一部分的作用时间变短, 工件上某点的焊接热输入量减少, 导致熔池最大宽度随焊接速度的增大而减小; 一方面焊接速度的增加, 使电弧轴线后方的温度梯

度减小, 熔池长度有增加的趋势, 另一方面工件某点的焊接热输入量减小, 使熔池长度有减小的趋势, 两者综合作用的结果使熔池长度先增加后减小。

4 结论

- (1) 利用激光频闪视觉检测仪正面检测出了清晰、完整的MAG焊接射流过渡熔池图象。
- (2) 根据图像的特点, 设计出图像边缘检测算法, 检测出了焊接熔池的整个边缘。
- (3) 对熔池图象进行了标定, 并提取出了熔池最大宽度和熔池最大长度。分析了焊接过程中电流和电压不变的情况下, 焊接速度变化时熔池最大宽度和熔池最大长度的变化规律。

参考文献

- 1 高进强, 武传松. TIG焊接熔池形状参数的视觉检测. 金属学报[J], 2000, 36(12), 1284-1288.
- 2 刘新峰等. 连续电流TIG焊接熔池图象的低成本自动化检测[D]. 山东大学硕士学位论文. 2001.
- 3 刘新峰等. 连续电流TIG焊接熔池图象的低成本自动化检测[J]. 焊接学报, 2001, 22(6): 25-28
- 4 姜焕中. 电弧焊及电渣焊(第二版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1988
- 5 Sun Zhenguo, Wang Junbo. Detection and Analysis of weld pool shape for CO₂ short circuiting arc welding. Chinese journal of mechanical engineering[J], 2001, Vol14(3), p282-285.
- 6 R Kovacevic, Y M Zhang. Machine vision recognition of weld pool in gas tungsten arc welding. Proc Instn Mech Engrs[J], 1995, Vol209, p141-152.