

连续电流 TIG 焊熔池图像的低成本自动化检测

刘新锋^{1,2}, 高进强^{1,2}, 姜锡瑞³, 武传松^{1,2}

(1. 山东大学 材料液态结构及其遗传性教育部重点实验室, 济南 250061;

2. 山东大学 连接技术研究所, 济南 250061; 3. 哈尔滨工程大学, 哈尔滨 150001)

摘 要: 改进了普通 CCD 摄像机镜头, 使物距、放大倍数的调节范围进一步扩大。通过试验和统计的方法, 调整物距、光圈、快门等光学参数, 增大景深, 提高对比度, 拍摄出了分辨率较高的熔池图像。对大量的焊接熔池图像进行了分析, 根据图像的特点, 设计出不需要滤波的图像边缘检测算法, 检测出了连续电流 TIG 焊接熔池的整个边缘。与激光频闪视觉检测仪拍摄的熔池图像进行了对比, 结果表明该低成本自动化检测装置所拍摄的熔池图像也达到了较高的清晰度与对比度。

关键词: 连续电流 TIG 焊; 熔池图像; 低成本自动化检测

中图分类号: TC444⁺.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2001)06-25-04



刘新锋

0 序 言

随着微机技术与传感技术的发展, 利用普通 CCD 摄像机从试件正面检测焊接熔池形状, 实现低成本的自动化检测, 已成为焊接科技工作者所追求的目标之一。焊接熔池图像的检测结果既可以为焊接质量控制(如熔宽、熔透)打下良好的基础^[1,2], 也可以在宏观质量条件下验证焊接过程的数值模拟结果^[3,4], 具有重要的实用价值和学术意义。

从试件正面检测熔池遇到的最大问题是电弧光的强烈干扰^[1]。对于连续电流 TIG 焊, 因为无法利用脉冲焊时的基值采样, 所以如何采取有效措施消除弧光的干扰, 是关键与技术难点^[5]。美国肯塔基大学、山东大学连接技术研究所已利用激光频闪视觉检测仪检测出清晰的连续电流 TIG 焊接熔池图像^[6]。但设备制造昂贵, 难以在实际中推广应用。

本文以连续电流 TIG 焊接熔池图像低成本自动化检测为目标, 拍摄出分辨率和对比度都较高的熔池图像, 并检测出了焊接熔池的整个边缘。

1 试验装置

TIG 焊接熔池图像计算机视觉检测系统的总体结构见图 1。该系统由 PC 计算机、焊接控制单元、图像采集卡、CCD 摄像机及窄带复合滤光镜头、TIG 焊机、行走机构及调速器、监视器等部分组成。焊接控

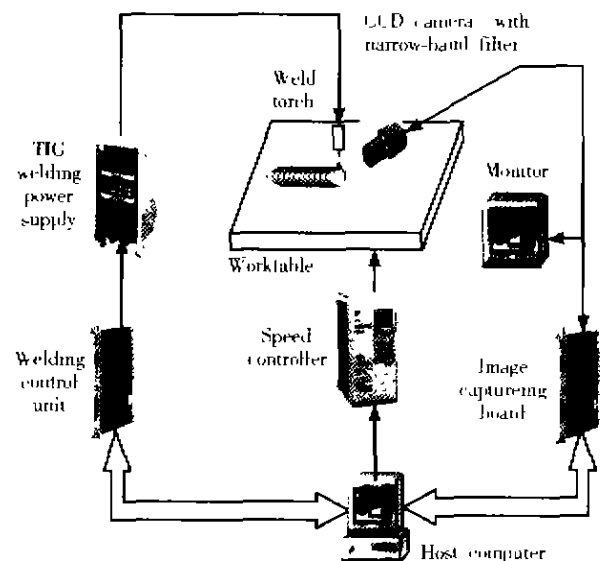


图 1 系统框图

Fig. 1 The block diagram of system

制单元根据主控微机发出的信息控制焊接速度和焊接电流。图像采集卡负责图像的采集, 采集及转换速度为 30 帧/s, 转换图像的灰度精度为 1/256。所拍摄的熔池图像的视频信号通过图像处理卡转换成数字量, 数值 0~255 代表了不同的灰度值。每个图像的像元对应一个灰度值并由此组成了 256×256 的灰度矩阵, 再由微机进行处理, 得出熔池的边缘。

2 光学参数的选择与标定结果

由于市场上普通摄像机镜头的光学参数并不符

合要求,如本文中采用焦距为 25 mm 的镜头,其最小物距为 0.5 m,拍摄出的熔池图像分辨率低且难于调节。本文对其进行了改进,在图像清晰的前提下,加大镜头和成像面之间的距离,使最小物距在 0.2 m 左右,提高了图像分辨率。

系统所使用的 CCD 摄像机具有 8 种电子快门,最快可达 10^{-4} s。为了避免弧光的干扰,一般将电子快门置于较高的速度^[5],这样虽然减少了弧光干扰,但进光量大大减少,使图像对比度降低,变得模糊。为使图像清晰,势必增大光圈,但光圈的加大是以景深的减小为代价的,拍摄出的图像部分清晰、部分模糊。同样,如果电子快门速度太慢,进光量过大,超出了光圈的调节极限,拍摄出的图像也模糊不清。本文对物距、快门、光圈、拍摄角度进行了不同的组合,通过反复的试验,得到了光学系统参数的最佳配合数据。使用这套数据,既有合适的对比度,又有较大的景深,拍摄出了分辨率和对比度都比较高的熔池图像。

数字化图像的每一个元素,在计算机屏幕上以一个点来表示,称为一个像素,其位置与空间物体表面相应点的几何位置有关,它所代表的实际大小与摄像机的成像几何模型及摄像机的空间位置有关。为了获得熔池实际尺寸,必须对整个图像进行定标。熔池图像如图 2 所示, x 轴为焊接方向, y 轴垂直于焊接方向。经过坐标转换和标定,可得出 x 方向的标定系数 0.075 2 mm/pixel, y 方向的标定系数为 0.044 0 mm/pixel。

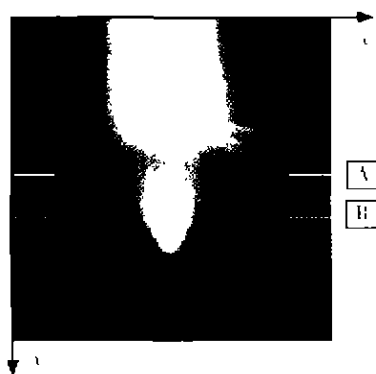


图 2 TIG 焊接熔池图像
Fig.2 Weld pool image

3 试验结果与图像特征分析

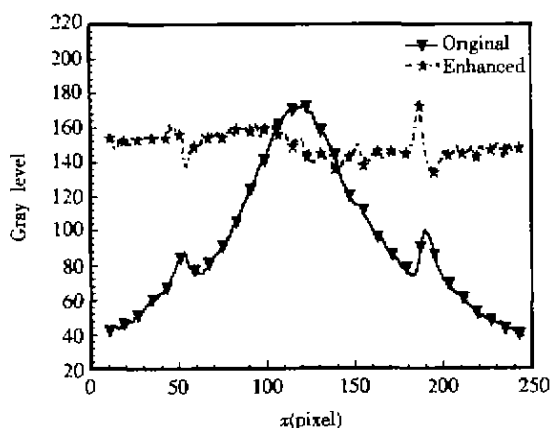
试验采用连续电流 TIG 焊进行堆焊,不填充焊丝。焊接材料为低碳钢 Q235 和不锈钢 0Cr18Ni9Ti,尺寸分别为 200 mm × 80 mm × 3 mm,

200 mm × 85 mm × 3 mm;钨极直径 $\phi 3.2$ mm,钨极尖端角度为 90° ;保护气体为氩气,流量为 10 L/min;电弧长度 6 mm,焊接电流 90 ~ 130 A,焊接速度 100 ~ 150 mm/min。

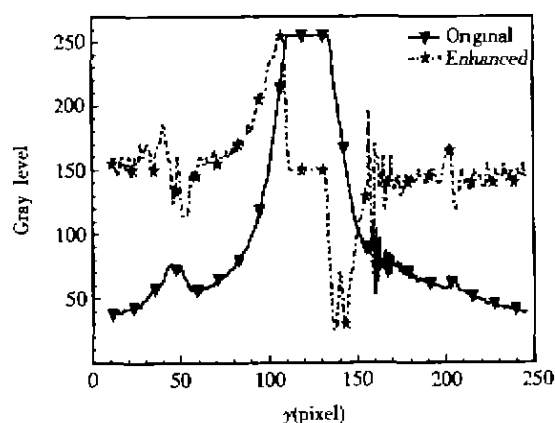
图 2 是利用该系统拍摄的一幅熔池图像。图像上部高亮区域为电弧光,中部一烁亮区域为电弧光在熔池中的反光,由图可以看出完整的熔池轮廓。

一般地,边缘表现为图像上灰度变化剧烈的地方。在本系统所拍摄的图像中,由于电弧光在熔池表面是镜面反射,在熔池周围的未熔化区域或者凝固区域为漫反射。通过调整摄像机拍摄角度,可以使得熔池周围的灰度比熔池内部的灰度要高,在熔池边缘处有灰度突变。

在图 2 中垂直 x 轴作了两个截面 A 和 B。图 3a 是 A 截面沿 y 方向上的原始灰度分布曲线及增强后的灰度分布曲线,图 3b 是 B 截面沿 y 方向上的原始灰度分布曲线及增强后的灰度分布曲线。由图 3a 可看出熔池左右边缘位于灰度图的谷底和峰顶



(a) Curve for section A



(b) Curve for section B

图 3 y 方向灰度曲线及增强后的的灰度曲线
Fig.3 Distribution of gray level and enhanced gray level along y -direction

之间灰度变化最剧烈的地方。总的来说,熔池图像比较清晰,但仍存在干扰,如图 3b。干扰也是灰度变化剧烈的地方,容易被误认为是边缘点。所以必须对熔池图像进行滤波,去掉假边缘点,同时真正的边缘也有可能被滤掉。为了不滤掉真正的边缘点,本文对大量不同焊接工艺参数的熔池图像进行了分析。发现无论是 x 方向还是 y 方向,干扰都具有很强的规律性。将图 3b 中的干扰放大,见图 4,可以看出干扰点像素灰度值和邻域像素灰度值相差较大,且灰度值不是单调的递增或者递减;而真正的边缘点灰度值和邻域像素灰度值差别较小(一般不超过 5 个像素),其灰度值是单调递增或者递减的,根据干扰点和边缘点的不同特征即可检测出熔池边缘。

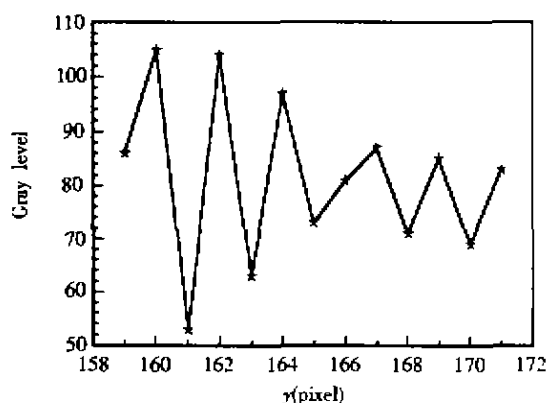


图 4 放大后的干扰灰度图

Fig.4 Enlarged gray distribution of disturbance along y-direction

4 图像处理

4.1 图像增强

首先,对图像进行增强,用 $f(x,y)$ 、 $g(x,y)$ 分别表示图像素点 x,y 处的原始灰度值和增强后的灰度值,则增强公式为

$$g(x,y) = 150 + [f(x,y+2) + f(x,y+1) - f(x,y) - f(x,y-1)]。$$

从图 3 可以看出,经过处理后的灰度曲线,熔池的边缘已经被很好的突出出来,其左边的最低点为左边缘点,右边的最高点为右边缘点。

4.2 图像边缘的提取

图像边缘的提取在不滤波的情况下,根据增强后的图像灰度和原始图像灰度,利用边缘点和干扰的不同特征,检测出熔池的边缘。

(1) 寻找起始点。熔池中心为一亮点区域,根据这一特征首先找到熔池中心,然后沿 y 方向向两

侧搜索,以熔池边缘最明显的行作为起始行,并找出此行的边缘点,作为熔池左右边缘点搜索的起点。

(2) 沿该行向上沿 y 方向搜索,搜索熔池的左右边缘点,当搜至熔池前部时, y 方向特征不明显,改为 x 方向搜索,搜索出熔池的前部。

(3) 沿起始行开始向下沿 y 方向搜索,搜索熔池的左右边缘,当搜索至熔池尾部时, y 方向特征不明显,改为 x 方向搜索,搜索出熔池的尾部。

图 5、图 6 是在不同条件下焊接时由本设备拍摄的熔池图像(左侧)及处理后的结果(右侧),其摄像机拍摄方向平行于焊接方向。图 7 是由激光频闪设备拍摄的熔池图像,其摄像机拍摄方向垂直于焊接方向, x 方向(沿焊接方向)标定系数为 0.043 5 mm/pixel, y 方向(垂直于焊接方向)标定系数为 0.074 8 mm/pixel。对图 5、图 6 与图 7 进行比较,可以看出,利用作者自行研制的低成本自动检测装置拍摄的熔池图像,也达到了较高的清晰度。



(a) Original image

(b) Edge detected image

图 5 低成本自动化检测装置拍摄的熔池图像

Fig.5 Weld pool image captured by the low cost automatic detecting system

(Mild steel, current $I=120$ A, velocity $v=100$ mm/min, arc length $L=6$ mm)



(a) Original image

(b) Edge detected image

图 6 低成本自动化检测装置拍摄的熔池图像

Fig.6 Weld pool image captured by the low cost automatic detecting system

(Stainless steel, current $I=110$ A, velocity $v=120$ mm/min, arc length $L=6$ mm)

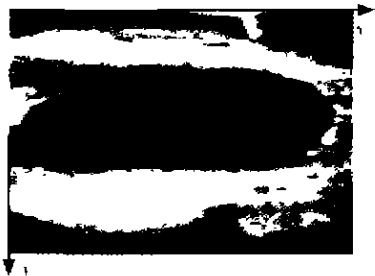


图 7 激光频闪仪拍摄的熔池图像

Fig.7 Weld pool image captured by LaserStrobe
(Mild steel, current $I = 120$ A, velocity $v = 120$ mm/min,
arc length $L = 4$ mm)

5 结 论

(1) 利用普通的 CCD 摄像机,通过对光学参数的优化,拍摄出了分辨率较高的连续电流 TIG 焊接熔池的清晰图像。

(2) 根据图像的特点,在不滤波的情况下检测出了焊接熔池的整个边缘,提高了图像检测精度。

(3) 通过与激光频闪视觉检测仪拍摄的熔池图像进行对比,发现利用低成本的自动检测装置拍摄的熔池图像,也达到了较高的清晰度与对比度。

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[J]. 金属学报, 2000, 36(12): 1284 ~ 1288.
- [2] 黄石生,贺剑峰,宋永伦. 钨极氩弧焊缝熔宽模糊控制系统设计[J]. 焊接学报, 1996, 17(2): 94 ~ 98.
- [3] 武传松,郑 炜,吴 林. 脉冲电流作用下 TIG 焊接熔池行为的数值模拟[J]. 金属学报, 1998, 34(4): 416 ~ 422.
- [4] 郑 炜,武传松,吴 林. 脉冲 TIG 焊接熔池流场与热场动态过程的数值模拟[J]. 焊接学报, 1997, 18(4): 227 ~ 231.
- [5] 高进强. 恒流 TIG 焊接熔池形状参数的视觉检测及智能控制[D]. 济南: 山东大学, 2000. 10.
- [6] Kovacevic R, Zhang Y M. Machine vision recognition of weld pool in gas tungsten arc welding[J]. Proc. Instn. Mech. Engrs. Part B: Journal of Engineering Manufacture, 1995, 209: 141 ~ 152.

作者简介: 刘新峰,男,1977 年 1 月出生,山东大学硕士生。研究方向为焊接智能控制,已发表论文数篇。

Email: Lgnj@263.net

(编辑:王 亚)

欢迎订阅《焊接技术》

《焊接技术》杂志是由天津市焊接研究所与中国工程建设焊接协会联合主办,国内外公开发行的介绍焊接设备、工艺、材料等内容专业期刊。继 1993 年之后,于 1995 年《焊接技术》杂志再次入选国家中文核心期刊;于 1996 年荣获全国第二届优秀科技期刊三等奖;在天津市首届期刊评估评优中被定为一级期刊,同时被评为优秀期刊。

《焊接技术》以为广大作者、读者、焊接工作者服务,促进焊接行业发展为办刊宗旨,以推动焊接行业技术进步,提高焊接人员素质为办刊方向。

《焊接技术》杂志具有实用性强、信息量大、知识面广的主要特点,重点报道现场施工中的先进经验;科研与生产中的新技术、新成果;国内外新设备、新工艺、新材料。本着全方位为焊接行业服务的原则,在栏目安排上,既有著名专家学者对行业发展有指导意义的高水平学术论文;又有来自工程建设第一线的焊接工作者的具体工艺实践和生产经验;既反映国内外焊接行业发展的现状,又体现对焊接行业未来的展望。在焊接界,不论是科技工作者还是焊接工人都可以从《焊接技术》中吸取技术营养,全面了解行业动态及新产品、新技术、新成果的信息。

《焊接技术》杂志由天津市邮局总发行,全国各地邮电局(所)均可订阅,邮发代号 6—43。中国标

准刊号: ISSN 1002—025X 定价 6.00 元/期,双月刊,全年六期,共计 36.00 元。
CN12—1070/TG

如错过征订日期,可随时与我部联系,订户可破订、补订、追订。电话: (022) 27653846 邮编: 300110 地址: 天津市南开区红旗路 196 号,《焊接技术》编辑部。汇款可通过邮局,本刊收到汇款后,将按期邮寄。

《焊接技术》编辑部

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告