

文章编号: 0258-7025(2007)Supplement-0289-04

激光-电弧复合焊视觉传感系统及熔池背面图像的检测

王康健¹, 双元卿¹, 陈武柱¹, 单际国¹, 张永强²

(¹清华大学机械工程系, 北京 100084)
(²首钢技术研究院, 北京 100041)

摘要 在激光-电弧(MIG)复合对接焊中,焊缝成形尤其焊缝根部(反面)成形状况的好坏,是衡量复合焊焊接质量及其适应能力的重要指标。为研究视觉信号和焊缝根部成形的关系,建立了由辅助照明光源、可触发拍摄的 CCD 摄像机、以电弧焊接电流为信号源的触发电路以及图像采集卡组成的视觉传感系统。通过在工件底面拍摄的方法,得到了清晰的熔池背面实时图像。分析了拍摄过程的成像机制,并开发了一套算法实时检测背面熔宽、坡口间隙宽度以及熔池相对坡口的偏移量,结果表明实时检测到的熔宽和实际的焊缝背面宽度有很好的对应关系。

关键词 激光技术; 激光-电弧复合焊; 视觉传感; 熔池背面图像; 图像处理

中图分类号 TN253 文献标识码 A

Vision Sensing System and Detection of Backside Image of Molten Pool in Laser-MIG Hybrid Welding

WANG Kang-jian¹, SHUANG Yuan-qing¹, CHEN Wu-zhu¹, SHAN Ji-guo¹, Zhang Yong-qiang²

(¹ Department of Mechanical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)
(² Shougang Technical Research Institute, Beijing 100041, China)

Abstract Weld formation, especially root weld formation is an important criterion to evaluate weld quality and adaptability in Laser-MIG hybrid butt joint welding. A vision sensing system consisting of an external illumination source, a CCD camera, a trigger circuit with the input of MIG current signal and video grabber is established to study the relation between vision signal and root weld formation. The backside image of molten pool is obtained clearly in real time by setting the camera under the workpiece, and the imaging mechanism is analyzed. The image processing algorithm to detect backside width of molten pool, gap width and the offset of molten pool is developed and the calculated result shows a good precision comparing with the actual root width of weld.

Key words laser technique; laser-MIG hybrid welding; vision sensing; backside image of molten pool; image processing

1 引 言

近年来,激光-电弧(MIG)复合焊接技术以其焊缝熔深大、桥接能力强等优点受到了国内外学者的广泛关注,在汽车、造船等工业领域得到了越来越多的应用^[1,2]。激光-电弧复合焊接作用机制比较复杂,可调的参数较多,在不同焊接条件下的规律也各有差异,难以实现焊接参数的最优化。焊缝成形是影响焊接质量的重要因素,通过实时监测复合焊焊

缝成形参数,并对其过程进行控制,是一条实时实现焊接参数最优化的途径。

视觉传感器能够检测到信号强度和空间分布等大量信息,是一种有效的检测手段,目前已有利用视觉传感器来实时检测激光焊接过程的熔透特征信号并用来反馈控制的例子^[3,4],也有学者检测电弧焊中的熔池图像^[5],以获取熔池宽度、长度等成形参数。在复合焊中,国内外的学者利用视觉传感器来

基金项目: 国家自然科学基金(50175061)资助课题。

作者简介: 王康健(1981-),男,广东人,硕士研究生,主要从事激光-电弧复合焊质量检测与控制方面的研究。

E-mail: wangkangjian00@mails.thu.edu.cn

导师简介: 陈武柱(1939-),男,广西人,教授,博士生导师,主要从事激光加工及其过程检测和控制的研究。

E-mail: cwz-dme@mail.thu.edu.cn

获取电弧及激光等离子体的图像^[6,7],且多用于分析焊接过程的机制,直接建立视觉图像和焊接质量之间关系的例子还很少。随着坡口间隙的变化,其焊缝成形尤其焊缝根部(反面)成形状况的好坏,是衡量复合焊焊接质量及其适应能力的重要指标,为此本文建立了用于不锈钢板 CO₂ 激光-脉冲电弧旁轴复合焊的视觉检测系统,并研究了图像信息和焊接熔池背面形状及坡口位置的关系,为复合焊焊缝背面成形的实时控制和焊缝跟踪创造了条件。

2 CO₂ 激光-脉冲电弧复合焊视觉传感系统

所建立的复合焊视觉传感器系统如图 1 所示。包括旁轴复合焊系统、电流传感及处理电路和图像采集系统三个部分。旁轴复合焊系统由 PRC 3 kW 快轴流 CO₂ 激光器和松下自适应脉冲电弧焊机,以及自制的旁轴复合焊接机构组成。电流传感部分采用霍尔传感器检测电弧的脉冲电流,对其进行处理后,触发摄像机在弧光干扰最小的脉冲电流基值时刻曝光。图像采集系统包括卤素灯辅助照明光源、可外触发的逐行扫描黑白摄像机及滤光系统。

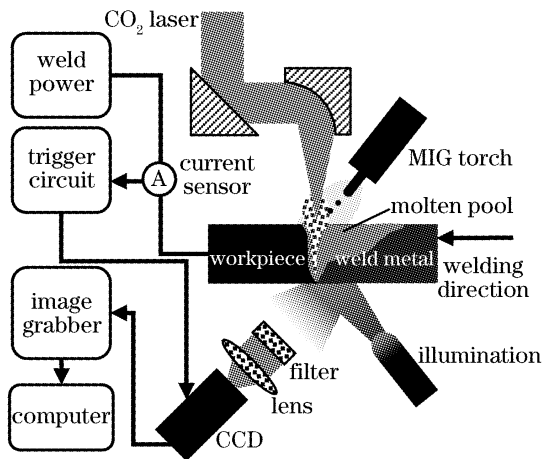


图 1 复合焊视觉传感系统

Fig. 1 Vision sensing system for hybrid welding

利用复合焊视觉传感系统,在 3 mm 厚 304 不锈钢上进行了堆焊和对接焊实验,保护气体为氩气,流量为 25 L/min,焊丝直径为 1.2 mm,喷嘴端部到工件垂直距离为 10 mm。

3 复合焊熔池背面图像的获取及处理

3.1 拍摄位置和照明方式的选择

在复合焊中,熔透情况受到激光功率、电弧电流、焊接速度以及激光电弧作用距离等参数的影响,其作用规律比较复杂。为有效地检测焊缝根部成形

状况,采用了在工件背面放置 CCD 观察的方法。一般情况下,基本上没有电弧光进入工件背面,若不使用辅助光源,则主要依靠熔池及凝固焊缝自身的辐射成像。图 2(a)是在这种拍摄条件下得到的熔池背面图像。从中可以看到熔池的边缘比较模糊,不易确定熔池边界。为此,采用了主动照明的拍摄方式,选用功率为 250 W 的卤素光源作为照明光源。为有效利用照明光源,摄像机镜头中轴线、光源发射轴线以及焊缝纵轴线处在同一个面上,镜头中轴线和光源发射轴线沿工件底面法线对称放置,相对底面倾斜角约为 45°,如图 1 所示。图 2(b),(c)是在这种拍摄条件下使用 I 型坡口对接焊时得到的熔池背面图像。从中可以看到图像质量有较大提高,熔池及凝固焊缝与母材的边界比较清晰。此外对接焊时的坡口根部间隙也很清楚。

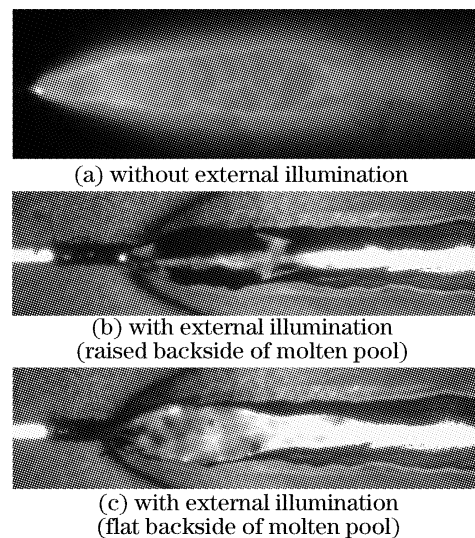


图 2 复合焊熔池背面图像比较

Fig. 2 Comparison of backside image of molten pool

3.2 熔池背面图像成像机制分析

在主动照明条件下,CCD 利用物体表面对光线的反射形成图像,影响反射的主要因素为物体的几何形状和表面反射率。图 2(b),(c)是熔池背面的两种典型图像。

表面没有氧化物的液态金属的反射情况可看作镜面反射,由于受到重力的作用,液态金属一般有一定的凸起,如图 3(a)所示。熔池中部液面接近水平,反射光线大部分能够进入 CCD,故图像熔池中部出现高亮区域;熔池两侧具有一定倾斜度,反射的光线基本远离 CCD,故图像出现暗区;母材表面反射情况介于漫反射和镜面反射之间,其反射的光线中部分能够进入 CCD,使得母材的图像亮度大于熔池两侧,而低于熔池中心,从而得到了如图 2(b)所示的熔池和母材具有清晰边界的图像。

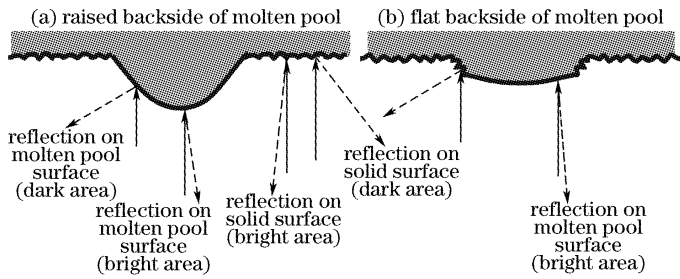


图 3 不同情况下固态和液态金属对照明光线的反射
Fig. 3 Reflection of the external illumination on solid and molten surfaces in different situation

由于熔池背面液面是波动变化的,有时候整个液面基本上是平坦的,如图 3(b)所示,此时液面反射的光线大部分都进入 CCD,而两侧凝固焊缝具有一定的倾斜度,反射光线大都偏离了 CCD,从而得到如图 2(c)所示的熔池和凝固焊缝边界清晰的图像。此时熔池和母材由其对光线不同的反射率而区分开来。

熔池后方已凝固的焊缝有一定凸起,中部也比两侧要亮。熔池前部没有完全熔透,出现较暗区域,其宽度是间隙宽度;熔池前方的间隙有一定的电弧光漏下,出现较亮区域,其宽度可近似为间隙宽度。

3.3 熔池图像处理

图 4 是熔池背面图像构成区域及其边界的示意图。区域 I, II, III, IV 分别为母材、熔池、凝固焊缝和坡口,①~④为区域间的边界。图像处理的目的是提取如图所示的熔池宽度、坡口间隙宽度,以及熔池相对于坡口中心沿焊接方向的偏移量。对单幅图像的处理流程如图 5 所示。

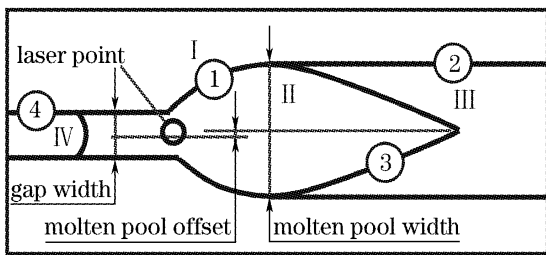


图 4 熔池背面图像区域及边界示意图
Fig. 4 Sketch of regions and edges in backside image of molten pool

在焊接过程中,激光在工件上作用点相对于图像位置不变,故处理时可以指定激光作用点在图像中的坐标。由图像成像机制的分析可知,熔池及焊缝边界的特征是图像上从母材进入这两个区域时,灰度值有一从大到小的突变,在图像处理中可以利用这一点来获得其边界。

Canny 算法是提取图像边界的一种经典算法,在

此运用了 Canny 算法的思路,结合本图像[图 6(a)]的实际特点,对激光作用点右侧的熔池及焊缝图像进行了一系列处理,处理结果如图 6(b)~(e)所示。

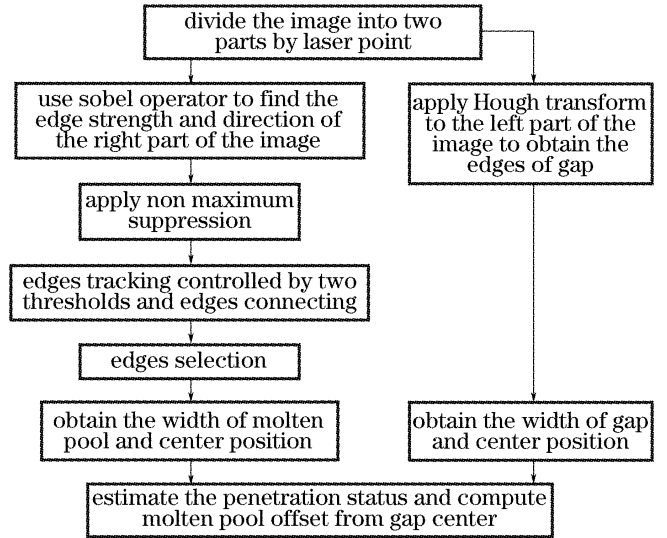


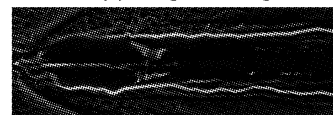
图 5 图像处理流程图

Fig. 5 Flow chart of image processing

Hough 变换是提取直线等规则曲线的有效算法,在此使用了 Hough 变换来获得坡口的边界,结果如图 6(f)所示。利用处理得到的边界,可以获得图 4 中要求的坡口间隙及熔池宽度,以及熔池的偏移量。



(a) original image



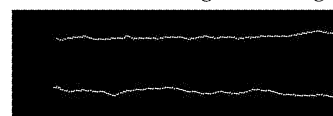
(b) result of finding intensity gradient of the image



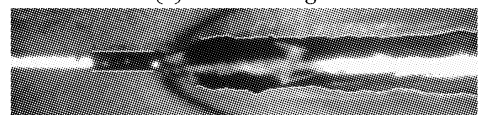
(c) result of non maximum restriction



(d) result of thresholding using two thresholds and edges tracking



(e) result of edges



(f) compare with original image

图 6 一系列处理后的图像

Fig. 6 Images after a series of image processing

4 复合焊熔池背面宽度及偏移量的实时检测

图 7 是激光功率为 2 kW, 电弧平均电流为 140 A, 焊接速度为 15 mm/s, 对接焊得到的焊缝背面成形图。图 8 是检测的熔池宽度和坡口间隙宽度随时间变化的曲线。其中也给出了焊缝实际的宽度, 可以看到, 检测宽度和实际宽度能够很好地对应起来, 误差小于 0.4 mm。另外, 图中的检测熔宽均大于坡口间隙宽度, 这可以作为稳定熔透的判据。因此,



图 7 焊缝背面图像

Fig. 7 Backside formation of weld

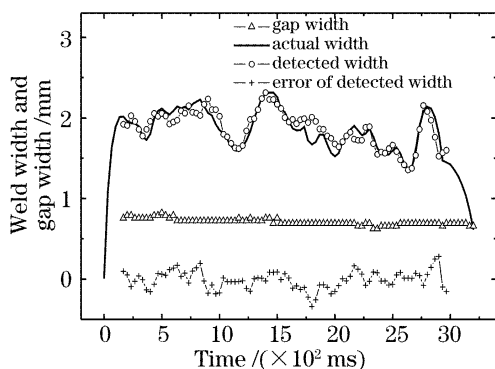


图 8 间隙检测宽度、熔池检测宽度和焊缝实际宽度对比

Fig. 8 Detected gap width, backside width of molten pool comparing with actual root width of weld

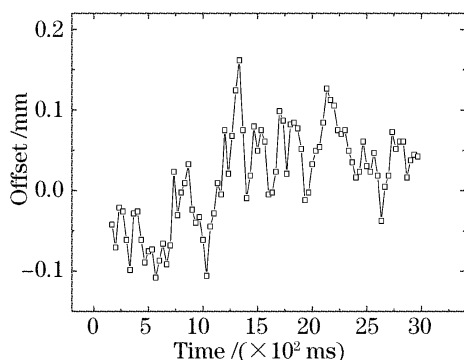


图 9 熔池相对坡口中心偏移量

Fig. 9 Molten pool offset from gap center

由图像得到的熔宽和坡口宽度的数据可作为实时控制焊缝熔透情况的输入信号。图 9 是熔池相对坡口中心沿焊接方向的偏移量随时间变化的曲线, 偏移量为正表示熔池在图 7 中偏向上方。该数据可作为焊缝跟踪的输入信号。

5 结 论

通过在工件背面拍摄并使用辅助光源主动照明的方法, 实时得到了激光-电弧复合焊过程中清晰的熔池背面图像。开发了一套图像处理算法, 提取了图像中熔池的边界, 并计算出熔池的宽度、坡口间隙宽度以及熔池相对坡口中心偏移量。图像处理的结果表明熔池检测宽度和实际焊缝宽度有很好的对应关系, 为复合焊背面成形实时控制和焊缝跟踪创造了条件。

参 考 文 献

- 1 T. Graf, H. Staufner. Laser hybrid welding drives VW improvements [J]. *Welding J.*, 2003, **82**: 42~48
- 2 Petteri Jernstrom. Hybrid welding of hollow section beams for a telescopic lifter [C]. *SPIE*, 2003, **4831**: 353~356
- 3 Chen Wuzhu, Jia Lei, Zhang Xudong *et al.*. Coaxial vision sensing system and detection of penetration status in CO₂ laser welding [J]. *Applied Laser*, 2004, **24**(3): 130~134
陈武柱, 贾磊, 张旭东等. CO₂ 激光焊同轴视觉系统及熔透状态检测的研究 [J]. *应用激光*, 2004, **24**(3): 130~134
- 4 Wuzhu Chen, Xudong Zhang, Lei Jia. Penetration monitoring and control of CO₂ laser welding with coaxial visual sensing system [C]. *SPIE*, 2005, **5629**: 129~140
- 5 Yan Zhihong, Zhang Guangjun, Qiu Meizhen *et al.*. Monitoring and processing of weld pool images in pulsed gas metal arc welding [J]. *Transactions of The China Welding Institution*, 2005, **26**(2): 37~40
闫志鸿, 张广军, 邱美珍等. 脉冲熔化及气体保护焊熔池图像的检测与处理 [J]. *焊接学报*, 2005, **26**(2): 37~40
- 6 Chen Yanbin, Chen Jie, Li Liqun *et al.*. Properties of arc and weld in laser-TIG hybrid process [J]. *Transactions of The China Welding Institution*, 2003, **24**(1): 55~60
陈彦宾, 陈杰, 李俐群等. 激光与电弧相互作用时的电弧形态及焊缝特征 [J]. *焊接学报*, 2003, **24**(1): 55~60
- 7 Satoru Uchiumi, Jingbo Wang, Seiji Katayama *et al.*. Penetration and welding phenomena in YAG laser-MIG hybrid welding of aluminum alloy [C]. *Proc. ICALEO*, 2004, Section Hybrid Laser Welding: 76~85