

CO₂ 焊电参数与熔滴过渡图像同步采集分析系统

蒋元宁, 陈茂爱, 武传松

(山东大学 材料连接技术研究所, 济南 250061)

摘 要: 基于 LabVIEW 采用高速摄像机和多路传感数据采集系统, 开发了一套 CO₂ 焊短路过渡过程电参数波形与熔滴过渡图像采集分析系统. 通过软件延时弥补电参数采集系统与图像采集系统的启动延迟时间差, 实现了同步采集. 系统可对采集到的电参数进行处理, 得出反映熔滴过渡状态和稳定性的特征参量. 通过焊接试验, 实时采集不同焊接条件下电参数及熔滴过渡图像, 对电参数与短路过渡过程的相关性进行了分析.

关键词: CO₂ 焊; 虚拟仪器; 同步采集

中图分类号: TG44 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2013)02-0063-04



蒋元宁

0 序 言

在 CO₂ 焊短路过渡过程中, 焊接电参数会随着熔滴形态的变化而剧烈变化, 而焊接电参数波形的变化又反过来影响熔滴过渡过程, 研究它们之间的相关性对于优化焊接工艺、改进短路过渡过程具有重要意义. 焊接电参数信号包含了电弧的引燃、正常燃烧、短路及再引燃等整个过程的特征信息^[1]. 高速摄像便于对熔滴和电弧行为进行观察、测试和分析. 将检测到的焊接电参数与熔滴过渡图像在时间上同步起来, 便于有效地分析熔滴和电弧行为与焊接电参数之间的相互影响规律, 揭示短路焊接电弧中的物理现象.

1 系统硬件构成及功能

图1为开发的检测系统硬件组成框图, 系统由主控计算机、电参数采集单元(包括数据采集卡、电流、电压传感器等)、熔滴过渡图像采集单元(由高速摄像机、图像采集卡、氙灯等组成)和焊接系统(包括电源、工作台及控制装置)等四部分构成.

该系统采用 PCI8622 数据采集卡, 通过 A/D 转换将焊接过程中的电弧电压、焊接电流信号转换为数字量并存储到计算机中. 其最大采集频率可达 200 kHz. 通过数据采集卡的开关量输出端口控制焊机、焊接工作台及高速摄像机的启动. 电弧电压(导

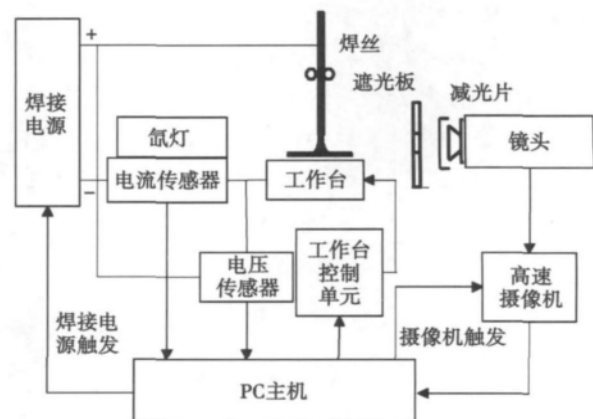


图1 系统硬件组成框图

Fig. 1 Hardware structure diagram of testing system

电嘴端部与工件夹具间的电压) 和焊接电流分别采用电压传感器和霍尔电流传感器进行测量, 以保证良好的测量精度.

采用 FastCam Super-10000C 型高速摄像机采集熔滴过渡图像, 其最高拍摄速度可达 10 000 帧/s. 利用氙灯作为背光灯, 一方面可以形成焊丝及熔滴的投影, 使焊丝及熔滴因氙灯灯光无法透过而形成暗区; 另一方面用于抵消掉焊接过程中的电弧弧光. 通过减光片控制进入摄像机的光强度, 从而获得清晰的熔滴过渡图像.

检测系统要实现焊接电参数与熔滴过渡图像的同步采集. 数据采集卡与高速摄像机对启动信号的响应速度不同, 摄像机的延迟时间显著大于电参数采集单元的延迟时间^[2]. 因此要保证同步采集,

高速摄像机要先于电参数采集单元触发,二者触发时间差等于二者的延迟时间差。延迟时间差需要通过试验来测量。

通过比较起弧点的电参数波形与熔滴过渡图像,可以计算出二者间的延迟时间差。图 2 为起弧时刻附近的电参数和熔滴过渡图像。数据采集卡以 200 kHz 的采集频率交叉采集电流和电压信号,图像采集速度为 5 000 帧/s。由电参数波形看出,在 317.2 ms 处出现起弧,此时电压由空载电压 70 V 迅速下降,电流迅速上升至起弧电流 500 A。而从熔滴过渡图像看出,起弧点对应第 1 505 幅熔滴过渡图像。此时焊丝端部与工件上表面刚刚脱离接触,并产生起弧弧光。以第 1 幅熔滴过渡图像对应为 0 时刻算起,由于每相邻两幅图像间隔时间为 0.2 ms,发生起弧的第 1 505 幅图像对应 300.8 ms 时刻。可以算出,熔滴过渡图像比电参数的采集滞后 16.4 ms。图 2 中还可以看出,电参数波形在 338.6 ms 处,电压快速上升,电流也达到最大值,即电弧重新起燃时刻。此时液态小桥刚刚断开,即对应第 3 612 幅熔滴过渡图像,可以算出,电参数与图像之间的时间差仍为 16.4 ms,说明以起弧点作为参考点对电参数和熔滴过渡图像校正是准确的。延迟时间差是由检测系统自身决定的,并不受焊接条件的影响。

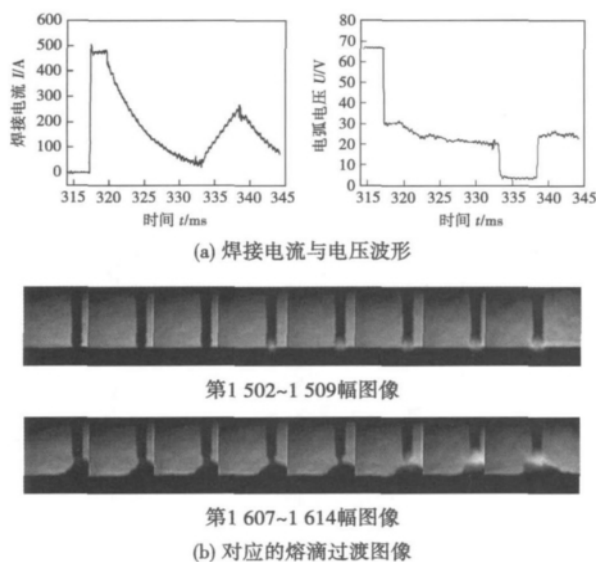


图 2 焊接电参数与熔滴过渡图像的对应

Fig. 2 Synchronizing acquisition of electrical parameters and molten droplet images

2 系统的软件设计

检测系统软件利用虚拟仪器 LabVIEW 进行编

译,程序由数据采集程序和数据处理程序两大部分组成。

数据采集程序由电参数采集模块和开关量控制模块构成。电参数的采集选用直接内存访问(direct memory access, DMA)采集方式,即在该模式下, CPU 只须向 DMA 控制器下达指令,让 DMA 控制器来处理数据的传送,数据传送完毕再把信息反馈给 CPU,从而很大程度上减轻 CPU 资源占有率,同时也避免了 CPU 因处理不及时和速度不匹配造成的数据丢失现象^[3]。

开关量控制利用数据采集卡提供的 LabVIEW 函数接口模块中的 DO 模块,在开关量输出端口产生一个 5 V 左右的电压信号,控制焊机、工作台和高速摄像机相应的启动控制端口短路,实现三者的自动启动,如图 3 所示。焊机和工作台同步启动时,延迟一定的时间 t_p 后再启动图像和电参数采集系统,以得到稳定焊接状态下的电参数及熔滴过渡图像。

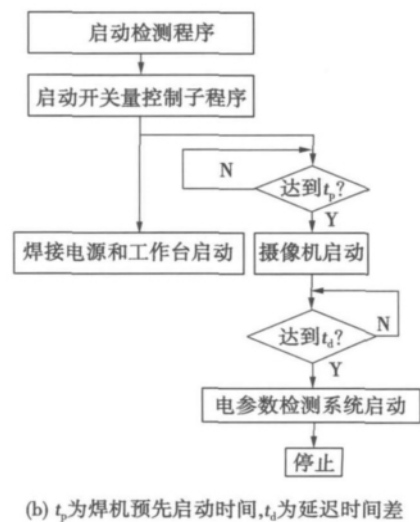


图 3 采集程序的设计原理

Fig. 3 Design principle of acquisition program

为实现电参数与熔滴过渡图像的同步采集,高速摄像机需要比电参数采集模块预先启动 t_d 的时间(16.4 ms)。此系统通过在电参数采集模块前加一时间延迟函数实现了这一功能。采集到的电参数以离散数字量的形式储存到 Excel 电子表格中;熔滴过渡图像先是储存在摄像机的高速缓存内,再利用 ReadCam3.0 软件转存到计算机硬盘中,便于之后的分析。

数据处理程序对数据采集程序采集到的焊接电流和电弧电压信号分 3 部分进行处理。(1) 焊接电流、电弧电压信号滤波处理模块;(2) 电压变化率和

回路电阻的变化曲线计算及显示模块; (3) 短路时间、燃弧时间、短路时间/燃弧时间、过渡周期的计算、储存模块。

实际焊接过程中,由于各种干扰波的存在,采集到的电流、电压信号均带有不同程度的噪声,因此必须对采集到的信号进行滤波处理。系统采用了 LabVIEW 软件自带的滤波器。试验表明,电弧电压采用中值滤波器、焊接电流采用 Chebyshev 滤波器,可以使电流电压信号取得较好的去噪效果。

由于采集到电参数信号均为离散的数字量,采用数值方法计算其变化率。采用二阶中心求导方法将电压变化率计算出来,计算公式为

$$du(m) = \frac{u(m+1) - u(m-1)}{2\Delta t} \quad m=0, 1, 2, 3 \dots$$

式中: u 为电弧电压的瞬时值; m 为采集点数; t 为采样间隔时间。

将对应采样点的电压值除以电流值作为回路电阻的计算值^[4],得到回路电阻随时间的变化。此回路电阻为燃弧时的电弧电阻或短路时的短路液桥电阻、导电嘴与焊丝间接触电阻、焊丝伸出长度电阻及输出回路电缆电阻之和。

短路发生及短路结束均有电弧电压的突变,可以通过对电压变化率的监控找出短路发生及短路结束时刻。此试验采用 LabVIEW 软件中的“波峰检测”子程序测出电压变化率的峰值、谷值出现时刻,对应相减求得到短路及燃弧时间。

3 电参数与过渡稳定性的相关性分析

试验采用直径为 1.2 mm 的普通低碳钢焊丝,在 Q235 低碳钢板上进行平板堆焊,试样尺寸为 200 mm × 70 mm × 4 mm,焊接速度为 300 mm/min,保护气体为 100% CO₂,气体流量为 15 L/min。

图 4 所示预设焊接电流为 140 A、电弧电压为 20.1 V 时,CO₂ 焊短路过渡相应的焊接电流、电弧电压、电压变化率及回路电阻的变化曲线。可以看出,电弧再引燃电压为 25 V 左右,在燃弧期,焊接电流逐渐降低,回路电阻则先增大后趋于稳定,其最大值维持在 0.18 Ω 左右。短路发生后,熔滴末端与熔池上表面接触,导致电弧电压急剧降至 10 V 以下,焊接电流开始逐渐上升,电压变化率出现幅值超过 200 V/ms 的负脉冲,回路电阻由于液态小桥的形成也迅速降低至 0.05 Ω 以下(但不为 0)。随着短路过程的进行,电弧电压趋于稳定,电流以接近指数的趋势上升,导致计算得到的回路电阻呈现下降趋势。短路后期缩颈形成后,电流达到极大值,电弧电压波

形出现一个上凹的拐点后开始急剧上升,电压变化率则出现幅值超过 200 V/ms 的正脉冲。此时在电磁收缩力作用下,液态小桥断面面积急剧减小,再加上焊丝伸出长度部分在较大电流下充分加热,回路电阻开始迅速上升。

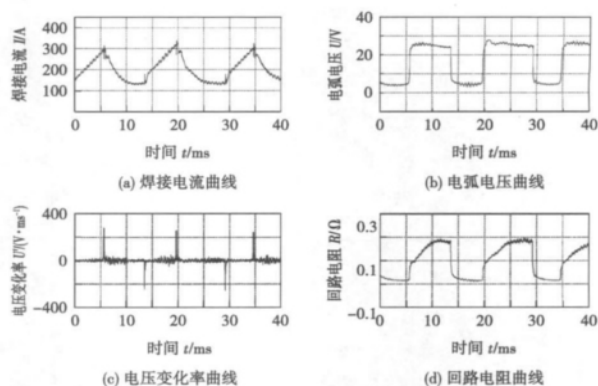


图4 各焊接电参数的变化曲线

Fig. 4 Various welding process parameter waveforms acquired by system developed

按照表 1 设定的 10 组焊接工艺参数进行试验,在焊接稳定后采集焊接电流及电弧电压。图 5 所示为各工艺参数下的平均短路时间(t_s)、平均燃弧时间(t_a)、平均短路时间与平均燃弧时间之比(t_s/t_a)以及平均过渡周期(t_c)。由图 5 可以看出, t_a 的变化范围较大,且在焊接电流 120 A 下出现谷值,距离此工艺参数越远, t_a 值越大。可见随着焊接热输入的增加,燃弧时间呈现先减小后增大的变化趋势。 t_s 的变化范围较小,大体上随着电流的增大而增大。可见随着焊接热输入的增加,短路时间不断增大。由于 t_s 在电流小于 120 A 范围内呈上升趋势, t_a 则不断下降,故 t_s/t_a 在电流 120 A 之前增长较快,之后 t_a 的明显上升导致 t_s/t_a 值稍有下降。可见随着

表 1 试验所用工艺参数
Table 1 Test specifications

组别	焊接电流 I/A	电弧电压 U/V	送丝速度 v/(m·min ⁻¹)
1	70	18.2	1.6
2	80	18.2	1.7
3	90	18.5	1.9
4	100	19.0	2.2
5	110	19.5	2.5
6	120	19.6	2.7
7	130	19.8	3.0
8	140	20.1	3.4
9	150	20.4	3.8
10	160	20.8	4.3

焊接热输入的增加,短路时间占过渡周期的比重增大。 t_c 的变化规律则与 t_a 极为相似,120 A 的电流参数下达到最小值,可见短路周期的长短基本由燃弧时间决定。

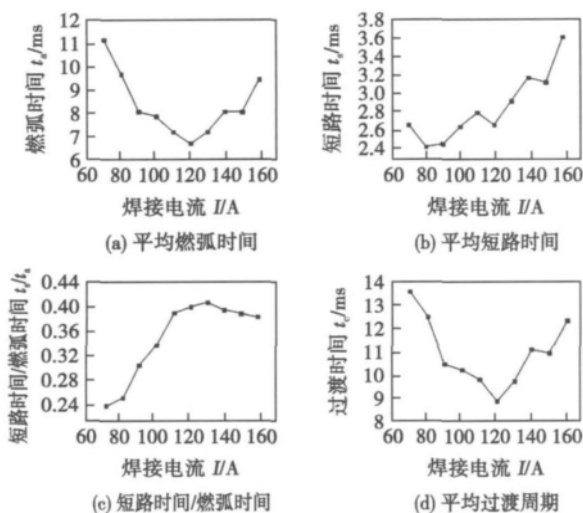


图 5 不同工艺参数下 CO_2 短路过渡过程基本参数的变化曲线

Fig. 5 Effect of welding current on arcing time, short-circuit time and period of short-circuiting transfer

短路周期的倒数即为过渡频率,而有效过渡频率的大小是评价短路过渡稳定性的重要标准^[5]。一般而言,有效过渡频率越高,过渡的熔滴尺寸越小,短路过渡焊接过程越稳定。由此可见,120 A 工艺参数下得到的短路周期最小,短路频率也最高,焊接过程最稳定。

4 结 论

(1) 采用虚拟仪器 LabVIEW 建立了 CO_2 焊短

路过渡过程的采集分析系统,利用软件延时法修正了图像采集系统和电参数测量系统的延迟时间差,实现了同步采集。

(2) 此系统可通过表征熔滴状态的电压变化率来计算短路时间、燃弧时间、短路周期等表征短路过渡状态和稳定性的参数,并通过计算焊接过渡平均周期来预测焊接过程的稳定性。

参考文献:

- [1] 胡连海,李 桓,郭 胜,等. CO_2 焊短路过渡过程的同步多信息分析及试验[J]. 焊接,2004(8): 17-20.
Hu Lianhai, Li Huan, Guo Sheng, et al. Analysis of synchronous electrical parameters transfer images in short-circuiting transfer CO_2 welding & Joining[J]. Welding & Joining, 2004(8): 17-20.
- [2] 陈茂爱,吕云飞,武传松. 基于 LabVIEW 的熔滴过渡过程参数检测系统的方案设计[J]. 山东大学学报,2005,35(6): 103-107.
Chen Maoai, Lü Yunfei, Wu Chuansong. A LabVIEW-based acquisition system for electrical parameters and metal transfer image [J]. Journal of Shandong University (Engineering science), 2005, 35(6): 103-107.
- [3] 林 静,林振宇,郑福仁. LabVIEW 虚拟仪器程序设计从入门到精通[M]. 北京: 人民邮电出版社,2010.
- [4] 朱志明,吴文楷,陈 强. 短路过渡 CO_2 焊接短路历程分析与控制[J]. 中国机械工程,2005,16(21): 1970-1973.
Zhu Zhiming, Wu Wenkai, Chen Qiang. Analysis and control of short-circuit process in CO_2 welding [J]. China Mechanical, 2005, 16(21): 1970-1973.
- [5] 殷树言. 气体保护焊工艺基础[M]. 北京: 机械工业出版社,2007.

作者简介: 蒋元宁,男,1987 年出生,硕士研究生. 主要从事新型无铅钎料、短路过渡 CO_2 焊控制方面的研究工作. 发表论文 2 篇.
Email: jyn1104sdu@163.com

通讯作者: 陈茂爱,男,教授. Email: chenmaoi@sdu.edu.cn

SiO₂ , TiO₂ , CaF₂ , Cr₂O₃ and BaCl₂. The mechanism to increase weld penetration was analyzed by considering the change of arc shape in A-TIG welding process. The experimental results indicate that all the above activating fluxes improve weld penetration. The most remarkable effect is obtained when the flux is SiO₂ , but the effect of CaF₂ on penetration is not obvious. The weld appearance is poor when the base metal is coated with SiO₂ , while good weld appearance can be obtained when the flux of TiO₂ is used. The phenomenon of arc contraction is not remarkable when the arc moves into the flux zone. The significant improvement of weld penetration may be the result of increase in heat input caused by the change of resistance in conducting channel.

Key words: aluminum alloy; A-TIG; activating flux; weld morphologies

Analysis of bending property of dissimilar steels welded joints

WANG Rui¹ , WANG Fenghui² , TIAN Huaming³ , ZHI Derui¹ , SUN Jie³ , DU Jianfeng³ , WANG Xibao² (1. School of Science , Tianjin University of Commerce , Tianjin 300134 , China; 2. School of Materials Science and Engineering , Tianjin University , Tianjin 300072 , China; 3. The Tianjin University Beiyang Chemical Equipment Co. , Ltd , Tianjin 300072 , China) . pp 58 – 62

Abstract: The dissimilar steel welded joints were made between Q235-B carbon steel and 316L stainless steel by submerge arc welding using Y and I patterns of welding groove. Based on the observation and analysis of the microstructure , elements distribution and micro hardness in the weld fusion zone near the Q235-B base metal , the hard and brittle transition layer would form in the fusion area near the carbon structural steel , when the dissimilar steels were welded. The decrease of width of brittle transition layer is the most important to improve the bending property of the dissimilar steels welded joint. Furthermore , the influences of different welding procedures on the bending property of the welded joint were investigated. The process of Y pattern groove and Ni-riched welding wire can minimize the width of brittle transition layer and raise the bending property of the welded joint. Besides , this welding procedure also avoids the welding fault of burning through when the butt joint of the dissimilar thin steel was welded by submerged arc welding on the double sides.

Key words: welded point; dissimilar steel; brittle transition layer; bending property

Synchronous acquisition and analysis of metal transfer images and electrical parameters in CO₂ arc welding

JIANG Yuanning , CHEN Maoai , WU Chuansong (Institute for Materials Joining , Shandong University , Jinan 250061 , China) . pp 63 – 66

Abstract: By using high speed camera and multi-channel sensing and data acquisition system , a LabVIEW-based system was developed to acquire metal transfer images and electrical parameters in short circuiting CO₂ arc welding. The difference in startup delay time between data acquisition system and high speed camera was calibrated by experiment , and the offset by

software method to realize synchronous acquisition. The system was used to analyze the electrical parameters and metal transfer images. Metal transfer under different welding conditions was investigated and the correlation between electrical parameters , metal transfer image and the stability of short-circuiting transfer process was analyzed with the developed system.

Key words: CO₂ arc welding; virtual instrument; synchronous acquisition

Growth mechanism of in situ Ti(C_yN_{1-y}) particles in laser deposited coating

QI Yongtian¹ , ZOU Zengda² (1. Inner Mongolia Baotou Vocational and Technical College , Baotou 014030 , China; 2. School of Materials Science and Engineering , Shandong University , Jinan 250061 , China) . pp 67 – 70

Abstract: A new in-situ synthesis method was used to prepare the composite coating reinforced by Ti(C_yN_{1-y}) particles through CO₂ laser cladding technology. Scanning electron microscope (SEM) and electron probe microscopy analyzer (EPMA) were used to analyze the phases in the composite coating. The results show that Ti(C_yN_{1-y}) particles are formed by an in-situ metallurgical reaction of TiN particle and graphite powder during laser cladding process. The nucleation and growth mechanism of the formation of Ti(C , N) particles have close relationship with the original titanium nitride (TiN) . When the size of the original titanium nitride particles is small (< 5 μm) , a great deal of energy absorbed by the cladding material may cause the dissolution of the original titanium nitride (TiN) particles to form the titanium carbonitride Ti(C_yN_{1-y}) particles , whose shapes are rhombus. If the size of original titanium nitride particles is big (> 5 μm) , energy absorbed by the cladding material is limited , so it only causes the outer marginal dissolution of the original titanium nitride (TiN) particles. Finally , the annular structure ceramic particles named titanium carbonitride Ti(C_yN_{1-y}) are synthesized by a solid-solution metallurgical reaction in the laser cladding process.

Key words: Ti(C_yN_{1-y}) ; in-situ formation; laser cladding; microstructure

Microstructure evolution of TLP bonding interface for Ti₃Al based alloy

JING Yongjuan , LI Xiaohong , HOU Jinbao , YUE Xishan (Beijing Aviation Manufacturing Engineering Research Institute , Beijing 100024 , China) . pp 71 – 74

Abstract: With Ti-37. 5Zr-15Cu-10Ni (%) amorphous foil as the brazing filler metal , the microstructure evolution of the TLP(Transient liquid phase) diffusion bonding interface for Ti₃Al-based alloys was studied. The Ti and Nb elements diffuse into the brazing filler and the Ni , Cu , Zr elements diffuse into the matrix to drive the interface evolution. At 930 °C the metallurgical bonding is achieved after holding time of 5 min. The Ti-Ni₃(Cu , Zr) compound in the shape of strip is precipitated after holding time of 15 min. This compound will get refined and dispersed with the holding time being longer. When the holding time lasts until to 120-200 min , the interface microstructure evolved to the coarse and homogeneous Widmanstatten structure. Since the compound character is affected by the holding time , it can be an effective method to control the microstructure and