Î¬ÆÕ×ÊÑ¶ http://www.cqvip.com

干扰因素下钢TIG焊电弧光谱的研究

李志勇[1] 王 宝[1] 李 桓[2] 杨立军[2]
1. 中北大学，太原，030051 2. 天津大学，天津，300072

摘要：通过对干扰因素下TIG焊电弧的光谱信息进行采集，研究了气流量变化、焊接试件表面存在锈等干扰因素对焊接过程电弧光谱分布的影响，并基于光谱分布的分析，进一步探讨了不同光谱谱段对干扰因素的反映，寻求实现焊接过程质量在线光谱测控的理论依据。研究结果表明：干扰因素在焊接电弧光谱信号不同谱段（220～300nm、300～430nm、430～520nm、530～680nm、700～900nm、900～1000nm）的分布和变化规律不同，其中220～300nm对应谱段以FeⅡ谱线的影响为主，在700～900nm对应谱段以ArⅠ谱线的影响为主，在此两个谱段干扰因素响应较明显。历史通道采集结果表明，干扰在250～350nm、700～830nm谱段，信号特征非常明显，具有很好的信噪比，并且不同干扰因素在特征谱段的反映具有自身特点，可据此对干扰因素进行分类判识。

关键词：电弧光谱；干扰因素；TIG焊；焊接质量
中图分类号：TG422 **文章编号**：1004—132X(2008)12—1492—04

Study on TIG Welding Arc Light Spectrum of Steel with Disturbing Factor

Li Zhiyong[1] Wangbao[1] Li Huan[2] Yang Lijun[2]
1. North University of China, Taiyuan, 030051
2. Tianjin University, Tianjin, 300072

Abstract: Through collection of TIG welding arc light spectrum of steel with disturbing factor, this paper studied the effect of disturbing factors such as rusty and various gas flow rate on the arc light spectrum distribution. Furthermore, the light radiation of different spectral zones was studied to get the spectral signals that could reflect the disturbing factors which were critical for online welding quality control. The results show that disturbing factor has different distributions and variation in different spectral zones(220～300nm, 300～430nm, 430～520nm, 530～680nm, 700～900nm, 900nm～1000nm). The 220～300nm zone which is dominated by FeII line spectrum and 700～900nm which is dominated by Ar I line spectrum can obviously reflect the disturbing factor during welding process. The history collecting results show that 250～350nm and 700～830nm spectral zones can provide spectral signals with high signal to noise ratio. Different disturbing factors have different signal characteristics which can provide assorting diagnose criterion for disturbing factors.

Key words: arc light spectrum; disturbing factor; TIG welding; welding quality

0 引言

焊接电弧的弧光信息能够反映电弧等离子体的状态，早期的焊接过程电弧光谱研究主要是从电弧防护的角度出发。随着研究的深入，人们逐渐认识到焊接电弧光谱中存在大量的焊接过程信息，可以被用来进行焊接过程的测控。焊接电弧光谱信息目前的主要应用领域包括[1]：用光谱法诊断TIG和MIG/MAG焊电弧的温度场，测定等离子体温度[2]；应用于图像传感方面[3,4]；气体成分及浓度测定与控制[5]；在TIG焊弧长测控[6]和在MIG焊中控制熔滴过渡的应用[7,8]；在水下焊接的研究及在水下等离子体局部热平衡判定等特定领域的应用[9]。

但上述研究很少将光谱信号与焊接质量直接联系起来，随着对高效高质焊接的要求，研究者对于焊接自动化生产中由于干扰因素带来的焊接质量问题越来越重视[10]。传统的电信号在检测中存在一定的局限性，如对MIG焊中的喷射过渡和TIG焊，电信号在测控中的信噪比不高，而光谱信号在此方面有独到的优势。因此，本文针对上述不足进行干扰因素下钢TIG焊电弧光谱的研究，以获取能够反映焊接过程的特征光谱谱段。

1 试验条件及方法

焊接光谱信息的采集和分析采用图1所示的采集系统进行，系统使用荷兰Advantes公司的Avaspec－2048FT－2光纤式数字光谱仪采集光谱信息，光纤双通道输入，可以对200～1100nm波段范围的光谱进行采集，分辨率达0.3nm，盔甲包装的Y字形光纤保证了光谱信号的同步同

收稿日期：2007—06—05
基金项目：国家自然科学基金资助项目(50505048)；山西省青年科学基金资助项目(2006021027)

Î¬ÆÕ×ÊÑ¶ http://www.cqvip.com

点采集；除可以实现光谱谱段的频域采集外，还可实现 8 个特征谱段积分强度的同步采集，便于信号的融合和特征信号的提取。焊接电源使用 WS－100TIG 焊机，纯氩保护，钨极为钍钨极，直径为 2.4mm。试验采用的焊接电流为 100A，弧长 3mm，标准气流量 5L/min。

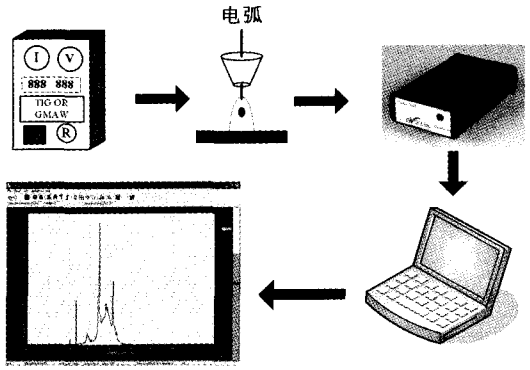


图 1　光谱采集系统示意图

为了进行干扰因素的相关试验，采用以下两种预设干扰因素：①表面存在锈；②不同气流量变化。加上正常焊接条件共三类焊接条件，对其电弧弧光在 200～1100nm 波段范围的光谱进行采集，分析不同焊接条件下光谱的分布特征。通过对其光谱信息的分布研究，提取能够反映干扰因素的特征谱段；并在此基础上，通过在焊接过程中预设同样干扰因素，对特征谱段上光辐射积分强度随时间变化的信号进行了采集，研究干扰因素在特征谱段上的响应，获取能够反映干扰因素的特征信号。

2　光谱分布采集结果及分析

2.1　试件表面存在锈的电弧光谱分布

TIG 焊接电弧光谱的整体分布如图 2 所示。

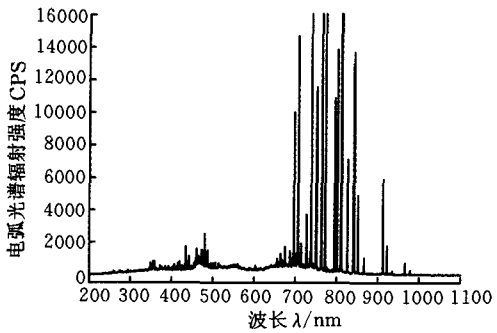


图 2　钢 TIG 焊光谱分布

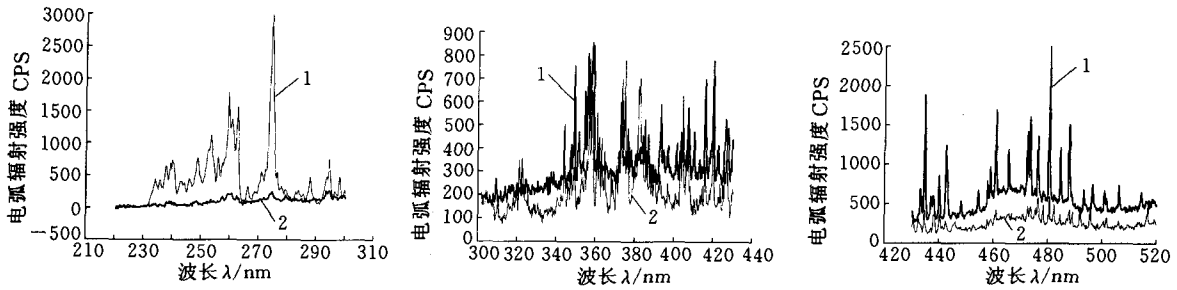
TIG 焊接电弧光谱在不同谱段分布特征不同，基本上是连续辐射基础上存在线谱。

为了详细分析各区段，按照各区段的特征，将不同试验条件下的对应特征谱段进行对比分析（图 3），分析的特征谱段包括：220～300nm、300～430nm、430～520nm、530～680nm、700～900nm、900～1000nm（图略）。从图 3 不同谱段的分析可以看出，在 220～300nm 区段，有锈板的辐射明显高于正常焊接状态下的辐射，此处以 FeⅡ谱线为主，存在 FeⅡ谱线的聚集区间有：238～241nm 间的 FeⅡ 238.203（1000）、FeⅡ 238.86289（200）、FeⅡ 239.56254（700）、FeⅡ 239.92413（200）、FeⅡ 240.48858（500）；259～262nm 间的 FeⅡ 2598.3692（400）、FeⅡ 2599.3956（700）、FeⅡ 2607.0871（300）、FeⅡ 2611.8736（400、FeⅡ 2613.8243（200）；273～277nm 间的 FeⅡ 2739.5474（400）、FeⅡ 2749.3216（400）、FeⅡ 2755.7365（500）。而在此区间的 FeⅠ谱线却没有明显的辐射，如在 FeⅠ 2483.2708（1000）线谱附近没有明显的谱线峰值。300～430nm 谱段，辐射强度没有明显差别，特征元素的线谱分布较杂乱；在 430～520nm 谱段，正常焊接状态下的谱线高于有锈板的谱线，这里主要存在一些 ArⅡ谱线，但谱线强度不是太强；在 530～680nm 谱段，正常焊接状态下的谱线高于有锈板的谱线，但差别不大（通过纵坐标数值对比）；在 700～900nm 谱段，存在大量的 ArⅠ谱线，强度较大的线谱有：ArⅠ7635.106（700）、ArⅠ8014.786（700）、ArⅠ8115.311（1000），存在的主要谱线聚集区在 750～820nm 间，在线谱位置呈现相似的分布，图 3f 的谱线放大表明，在线谱位置正常焊接状态的谱线强度高于有锈板；在 900～1000nm 谱段，线谱较少，除在 ArⅠ9122.967（1000）、ArⅠ9224.499（400）、ArⅠ9657.786（700）的线谱外，以黑体辐射为主，差别不大。

2.2　气流量变化的谱线分布

同样将不同气流量下的光谱信息分布进行对比分析，分析对应特征谱段，如图 4 所示。本试验采用了气流量由 10L/min 到 1L/min，每次向下调节 1L/min 测量光谱分布的变化。研究结果表明，在气流量较大时，能够满足 TIG 焊保护的需要，光谱谱线差别不大（因此仅在图 4a、图 4f 给出气流量为 1L/min、5L/min、7L/min 的光谱分布，其他给出 1L/min、5L/min 的光谱分布），仅在 700～900nm 谱段氩对应的谱线位置，可以通过谱线看出随气流量减小，谱线逐渐降低（图 4f），但当气流量较低时，如降到 2L/min 以下，不能满足保护的需要，电弧光谱就会出现明显的变化。这与一些研究者的早期研究认为气流量变化对光谱影响不大的结果存在差别[11]。

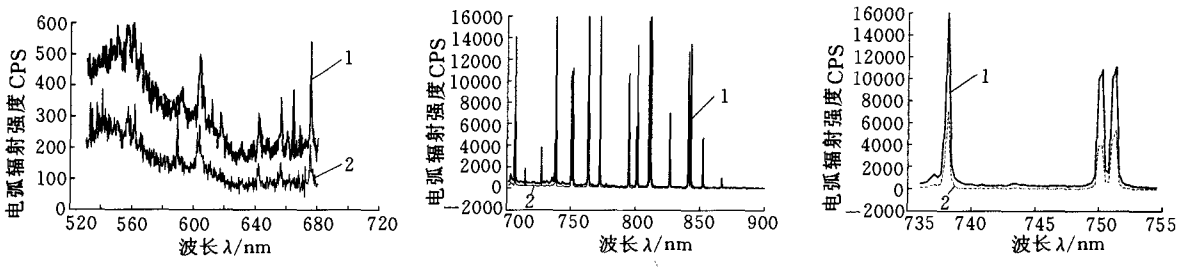
Î¬ÆÕ×ÊÑ¶ http://www.cqvip.com



1. 锈板　2. 正常试板
(a)220～300nm

1. 正常试板　2. 锈板
(b)300～430nm

1. 正常试板　2. 锈板
(c)430～520nm

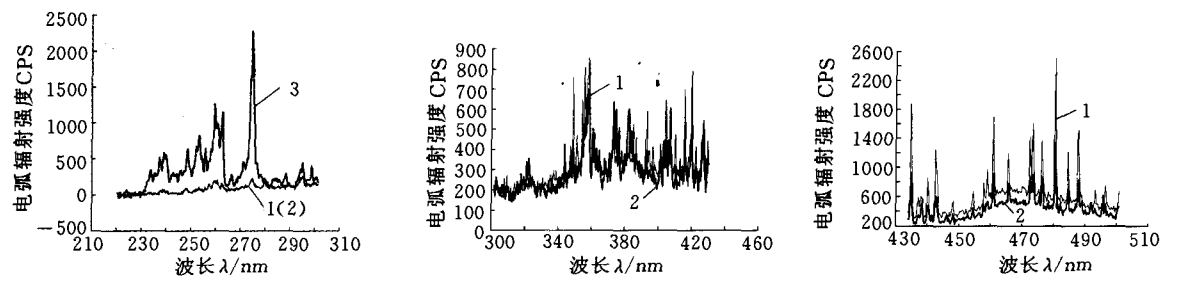


1. 正常试板　2. 锈板
(d)530～680nm

1. 正常试板　2. 锈板
(e)700～900nm

1. 正常试板　2. 锈板
(f)700～900nm 间谱线放大

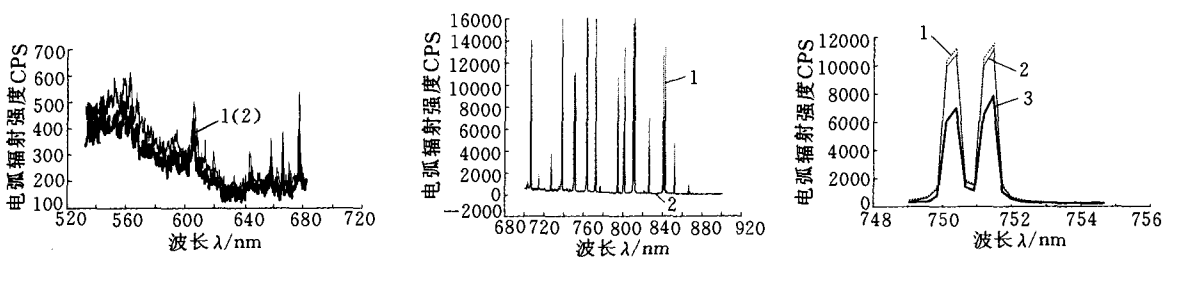
图 3　锈板干扰因素下焊接电弧光谱分布的特征



1. 气流量 7L/min(2. 气流量 5L/min)
3. 气流量 1L/min
(a)220～300nm

1. 气流量 5L/min　2. 气流量 1L/min
(b)300～430nm

1. 气流量 5L/min　2. 气流量 1L/min
(c)430～520nm



1. 气流量 5L/min(2. 气流量 1L/min)
(d)530～680nm

1. 气流量 5L/min　2. 气流量 1L/min
(e)700～900nm

1. 气流量 7L/min　2. 气流量 5L/min
3. 气流量 1L/min
(f)700～900nm 间谱线放大

图 4　不同气流量下焊接电弧光谱分布特征

从图 4 的图谱可以看出：在 220～300nm 区段，气流量较小时(1L/min)，辐射明显高于保护气流量较大的正常焊接状态，而气流量为 5L/min 和 7L/min 的谱线基本接近；在 300～430nm 谱段，辐射没有明显差别；在 430～520nm 谱段，保护气流量较大的正常焊接状态下的谱线高于保护气流量较小的谱线，这里主要存在一些 Ar Ⅱ 谱线；在 530～680nm 谱段，正常焊接状态下的谱线略高于气流量小的谱线，但差别不大(通过纵坐标数值对比)；在 700～900nm 谱段，存在大量的氩谱线，在线谱位置呈现相似的分布，图 4f 谱线放大表明，可通过谱线明显看出随气流量减小，谱线

Î¬ÆÕ×ÊÑ¶ http://www.cqvip.com

逐渐降低。

3　干扰因素下焊接过程在特征谱段的响应

通过对比分析表面存在锈时，气流量变化在不同谱段的分布特征，可以看出不同谱段上光谱对干扰因素的响应不同。为了进一步研究在特征谱段光谱信号对干扰因素的响应特点，在历史通道中设置 8 个谱段，谱段区间如表 1 所示，通过在焊接过程中预设缺陷，采集 8 个谱段光谱强度随焊接时间的变化规律，探求干扰因素在不同谱段的响应，为光谱在线检测提供理论依据。

表 1　历史通道中预设的积分谱段　　nm

F1	F2	F3	F4
250～300	300～340	350～400	430～500
F5	F6	F7	F8
520～590	600～690	700～830	835～930

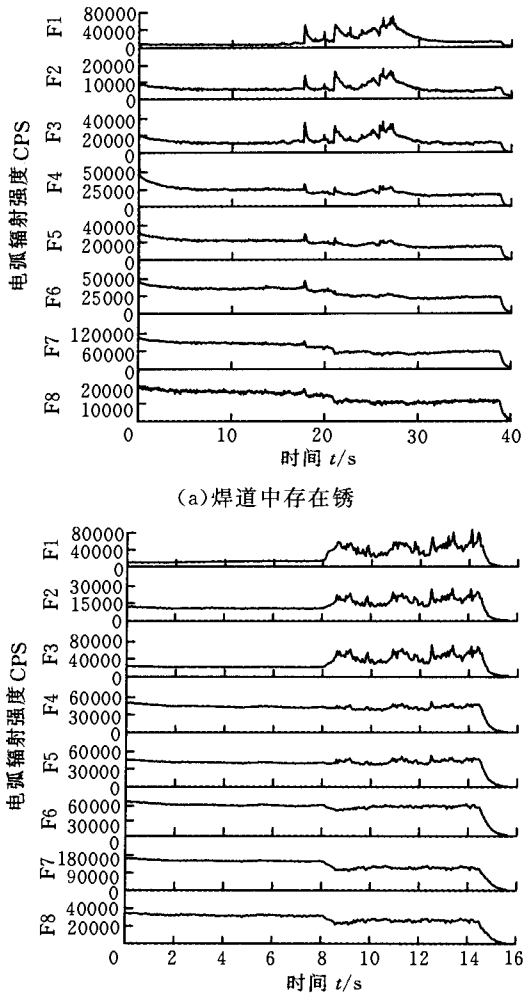
3.1　试板部分存在锈的焊接过程

通过在试板的中央预制一部分存在锈的焊道，从起焊并正常焊接一段时间后进入存在锈的区域，经过有锈的焊道，再次进入正常焊接状态，焊接速度为 14cm/min。对 8 个谱段的光谱信号积分随时间变化的过程进行了同步采集，采集采用光谱仪提供的历史通道功能进行。不同谱段的信号变化特征如图 5 所示。

从图 5a 可以看出：在 250～300nm 区段，进入锈区后，整体辐射明显增强，并且存在明显的辐射波动，表明试件状态对电弧在此区段辐射的稳定性造成明显的影响。在 300～340nm、350～400nm 区段，进入锈区后响应与 250～300nm 区段基本一致，但与 250～300nm 区段相比，虽然波形的波动状态相似，平均辐射强度却没有 250～300nm 变化那么明显。在 430～500nm、520～590nm 谱段，辐射强度在锈板区出现适当下降，但波动幅度较低，没有明显的信号特征。在600～690nm、700～830nm、835～930nm 谱段，进入锈区后，都出现了不同程度的下降，但下降并非一次造成，而且在有锈段并不稳定。对比分析几个谱段的特征发现，在进入有锈区的瞬间，各个区间都有明显的瞬时变动信号，但出锈区时，上述变动信号在某些谱段很小或没有。对正常焊接过程的不同谱段光谱信息的采集表明，随着焊接过程的进行，在 250～350nm 谱段，信号会逐渐增强，然后趋于稳定；而在 700～900nm 谱段，信号会逐渐减弱，然后趋于稳定；这与焊件热状态发生变化，造成金属辐射的增强，并使得氩谱线减弱有关。

3.2　存在气流量突变的焊接过程

为了验证上述不同谱段特征信号对气流量变化的响应，预制了气流量突变干扰因素的焊接过程（稳定焊接进行过程中，迅速将气流量由 5 L/min调整为1L/min），历史通道采集结果如图 5b 所示。从图 5b 中可以看出，随气流量的突变，焊接状态发生明显变化，与锈板类似，在 250～300nm、300～340nm、350～400nm 等短谱段，表现出明显的特征信号，但其信号的波动方式和平均辐射强度变化（通过纵坐标轴可以看出）与锈板存在明显的不同。在 430～500、520～590nm 谱段，信号没有明显变化。在 600～690、700～830、835～930 谱段，气流量的减小在谱线上得到明显反映，其中 700～830 反应最明显；与锈板引起的此区段强度下降相比，气流量变化后保持平稳，而锈板存在波动。



(a)焊道中存在锈

(b)气流量突变

图 5　干扰因素下不同光谱谱段信号变化曲线

4　结论

(1)不同干扰因素下 TIG 焊接电弧光谱分布在不同谱段的影响存在较大差别。在研究的特征谱段：220～300nm、300～430nm、430～520nm、

（下转第 1504 页）

Î¬ÆÖ×ÊÑ¶ http://www.cqvip.com

油缸位移)没有发生变化,即行驶状态保持较好。

7 结束语

本文设计了用三通比例减压阀控制流量放大阀组成的线控转向系统及具有力反馈特性、转向灵敏度可调的电子转向盘子系统。把原有的开环速度控制系统变为闭环位置控制系统,同时把原系统中流量放大阀的流量控制变为压力控制,提高了控制精度,并改善了控制特性。在装载机上采用该技术后,可以解决装载机作业效率与高速行走稳定性之间的矛盾,即在提高作业效率的同时降低操作人员的劳动强度。

参考文献:

[1] 陈善华,魏宏,李文辉,等.汽车电子转向技术发展与展望[J].汽车技术,2003(1):1-7.

[2] Dominke Peter and Ruck Gerhard. Electric Power Steering—the First Step on the Way to "Steer by Wire"[J]. SAE Technical Paper Series,1999-01-0401.

[3] Shoji Asai, Hiroshi Kuroyanagi. Development of a Steer—by—wire System with Force Feedback Using a Disturbance Observer[J]. SAE Technical Paper Series,2004-01-1100.

[4] Sanket Amberkar,Farhad Bolourchi. A Control System Methodology for Steer by Wire System[J]. SAE Technical Paper Series,2004-01-1106.

[5] Salem H. Fault—tolerent Electrohydraulic Steer—by—wire Control System for Articulated Vehicles [D]. Chicago: University of Illinois at Chicago, 2003.

[6] 许仰曾,刘忠华,张天福,等.液压转向器的电控与信息化发展趋势[J].流体传动与控制,2004(3):1-3.

[7] 陈扼西,冯培锋,贡凯军,等.装载机工作装置电液比例控制系统研制[J].中国机械工程,2005,16(4):295-298.

[8] 王同建.装载机线控转向技术研究[D].长春:吉林大学,2006.

(编辑 何成根)

作者简介:胡静波,男,1965年生。长春工程学院机电工程学院副教授,吉林大学机械科学与工程学院博士研究生。研究方向为机电控制。发表论文6篇。王同建,男,1973年生。吉林大学机械科学与工程学院副教授。罗士军,男,1972年生。装甲兵技术学院基础部讲师。张子达,男,1942年生。吉林大学机械科学与工程学院教授、博士研究生导师。

(上接第1495页)

530～680nm、700～900nm、900～1000nm中,220～300nm对应谱段以FeⅡ谱线的影响为主,在700～900nm对应谱段以ArⅠ谱线的影响为主;对干扰因素能够得到较明显响应。

(2)对干扰因素下历史通道中设置8个谱段的响应表明,干扰因素在光谱信号中能够得到反映,尤其是在250～350nm、700～830nm谱段,信号特征非常明显,具有很好的信噪比,并且不同干扰因素在特征谱段的反映具有自身特点,可以据此对干扰因素进行分类判识。

参考文献:

[1] Li J Y,Li Z Y,Li H,et al. Basic Theory and Method of Welding Arc Spectrum Information[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2004, 17(2): 315-318.

[2] 蒋力培,张甲英,李鸿辉.双波长滤光片式红外测量焊接温度场系统[J].焊接学报,2001,22(3):1-4.

[3] Sforza P,De B D,On—line Optical Monitoring System for Arc Welding[J]. NDT&E International, 2002,35:37-43.

[4] 闫志鸿,张广军,邱美珍,等.脉冲熔化极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.

[5] 宋永伦.焊接电弧等离子体的光谱诊断法及其应用的研究[D].天津:天津大学,1990.

[6] Li P J,Zhang Y M. Analysis of an Arc Light Mechanism and Its Application in Sensing of the GTAW Process[J]. Welding Journal,2000,9:252-260.

[7] 杨运强.熔化极脉冲焊熔滴过渡的光谱在线传感器与控制的研究[D].天津:天津大学,2002.

[8] 韩国明,吴钊,柳刚.焊接电弧紫外光谱信息的获取与分析[J].中国机械工程,2000,11(4):446-449.

[9] 潘存海,杜素梅,李桓,等.水下等离子弧局部热力学平衡态的判定[J].机械工程学报,1997,33(5):12-16.

[10] 李志勇,王宝,宋丽,等.干扰因素下药芯焊丝CO_2焊焊接过程特征电信号的提取与分析[J].焊接,2007(1):25-27.

[11] Li P J,Zhang Y M. Robust Sensing of Arc Length. IEEE[J]. Transactions on Instrumentation and Measurement,2001,50(3):697-704.

(编辑 何成根)

作者简介:李志勇,男,1972年生。中北大学材料学院副教授、博士。主要研究方向为焊接电弧物理、焊接过程控制及焊接材料。发表论文18篇。王 宝,男,1937年生。中北大学材料学院教授。李 桓,男,1955年生。天津大学材料学院教授。杨立军,男,1966年生。天津大学材料学院副教授。