

焊接电弧紫外光谱的分布特征^{*}

韩国明 李俊岳 吴 刚^{**} 柳 刚
(天津大学)

摘要 在电弧物理和光谱学原理的基础上, 利用研制的焊接电弧紫外光谱计算机采集与处理系统, 对 TIG 焊电弧紫外光谱进行了研究。获得了不同焊接规范下的电弧紫外光谱频域分布特征和特定谱线的时间分布特征。结果表明: 电弧紫外光谱的频域分布特征为连续光谱背景下的线光谱, 焊接规范不同, 紫外光谱的分布及幅值会有所不同, 随着焊接电流的增大, 产生波长更短的紫外谱线。在被测波段(205 ~ 280nm)内, 得到了一些比较分立的谱线, 其中 FeII255.50, 其幅值大、线形及重现性好, 以 FeII255.50nm 为特定谱线, 测得 TIG 焊电弧的紫外辐射在时间上为定常分布。从而为利用电弧光谱信息和研究焊接物理过程提供了一定的基础。

关键词: 焊接电弧 紫外光谱 计算机采集 分布特征

0 序 言

随着焊接电弧物理研究的深入, 人们认识到, 除了弄清电弧现象的物理本质外, 更重要的是如何有效地利用电弧, 并实现对焊接电弧的控制。利用焊接电弧光谱作为控制信息, 近年来在国内外已有所报导^[1~3]。目前对焊接光谱的研究多着眼于可见光区, 而焊接电弧弧光不仅是可见光, 也包括红外、紫外光区域。人们往往将紫外区只当作为对人体有害的辐射来进行研究^[4]。而事实上, 当电弧中含有铁原子时, 即通常的焊接电弧情况下, 通过分析谱线和辐射功率的分布认识到, 辐射光谱在紫外波段的功率大大增加。谱线的分布特征也不一样, 作为信息资源加以利用是大有希望的, 是值得深入研究开发的区域。

本文采用由计算机控制的焊接电弧紫外光谱信息采集与处理系统, 对 TIG 焊电弧紫外光谱的分布特征进行了研究。

1 焊接电弧紫外光谱计算机采集与处理系统

为了研究焊接电弧紫外波段的辐射亮度的分布, 建立了如图 1 所示的试验装置。该系统以计算机作为控制平台, 前向通道为前置放大, 将电弧光谱信息经光电转换后的电信号、焊接电流及电压三个模拟量, 经滤波放大, 按一定方式通过 A/D 转换, 进行计算机采集和处理。后向通道为扫描控制部分, 通过主机与单片机通讯, 控制步进电机驱动波长扫描机构和转镜, 完成对电弧光谱沿波长和时空上的扫描, 以便对焊接电弧光谱进行研究。

在光学系统中, 光谱仪的波长范围为 200 ~ 1000nm, 所用光电倍增管的光谱响应区间为 170 ~ 350nm 的紫外区。采集时, 先调整成像透镜及电弧的位置, 使电弧以 1:1 的比例成像于光谱仪的入口狭缝上。然后在电弧像的轴向上选取某一单元部位, 通过调整光谱仪入口狭缝处的切口位置, 实现对电弧轴向(Z 向)扫描采集, Z 方向上的调节精度为 0.01mm。电弧紫外光谱径向分布的采集, 是首先调整光谱仪入口狭缝切口的位置, 选定某一电弧截面, 由电弧像的一侧, 经步进电机 2 驱动

* 国家自然科学基金资助项目, 编号: 59572105。

** 吴刚现在北京电力科学研究院金属所工作。

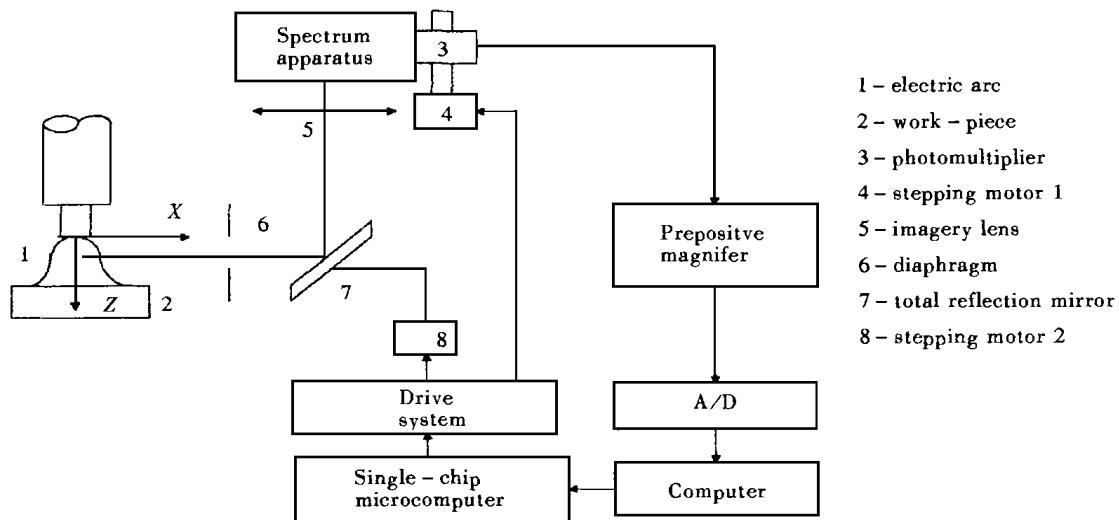


Fig. 1 Construction of computerized collecting and treating of arc ultraviolet spectrum

的全反射转镜的偏转, 实现电弧径向(X 向)扫描, 每步扫描宽度为 0.186mm。电弧辐射光通过光谱仪入口狭缝进入光谱仪, 经光谱仪内的色散棱镜分光成按波长分布的谱线, 在出口狭缝处成像于像焦平面上, 再由光电倍增管接收响应进行光电转换, 通过前置放大器及 A/D 接口, 由计算机采集处理, 由步进电机 1 驱动光电倍增管实现沿波长的扫描。

试验中采用经中国计量科学院标定的标准紫外光源进行标定, 以便获得电弧紫外光谱辐射亮度, 并对光路系统进行了激光准直, 确保试验的精度及可靠性。

2 试验方法

利用上述的试验装置, 进行了 TIG 焊电弧紫外光谱分布的研究。试验中采用直流钨极氩弧焊, 极性为正接(钨极接负), 保护气流量为 6 L/min, 试件为厚度 6mm 的低碳钢 Q235, 钨极直径为 2.4mm, 端部为尖锥形。

为了获得 TIG 焊电弧紫外光谱的分布, 进行了全窗口波长扫描和定波长时间扫描。全窗口波长扫描是在光谱仪出口狭缝处对所确定的波长范围内各点依次采集, 获得在所确定波长范围内的频域分布。定波长时间扫描是对所选定的某一波长在一定时间内对其进行采集, 采集一次约需 $120\mu\text{s}$, 分别采集 216 次, 整个采集时间为 25.8ms。利用计算机将电弧紫外光谱信息、焊接电流及电弧电压同步采集, 通过显示器对焊接过程和采集过程实时监测, 直观反映焊接电弧紫外光谱在各种条件下的分布特征与焊接规范参数的关系, 并根据光谱学原理将采集获得的电弧紫外光谱数字信息进行变换处理。

3 试验结果

3.1 全窗口沿波长扫描的试验结果

为了将采集的电弧紫外光谱信号处理成电弧紫外光谱辐射亮度在波长上的分布, 依照标准紫

外光源氘灯的光谱辐射亮度, 将试验中获得的光电倍增管对光谱辐射量的响应换算成电弧紫外光谱辐射亮度 L_λ , 从而得到在 205~280 nm 波长范围内光谱辐射亮度的扫描结果, 如图 2、图 3 所示。因为电弧紫外辐射亮度 Le 与电弧光谱辐射亮度 L_λ 之间存在以下关系, 即

$$Le = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_\lambda d\lambda \quad (1)$$

因此利用式(1)通过积分可求出波长为 205~280 nm 范围内的电弧辐射亮度 Le 。

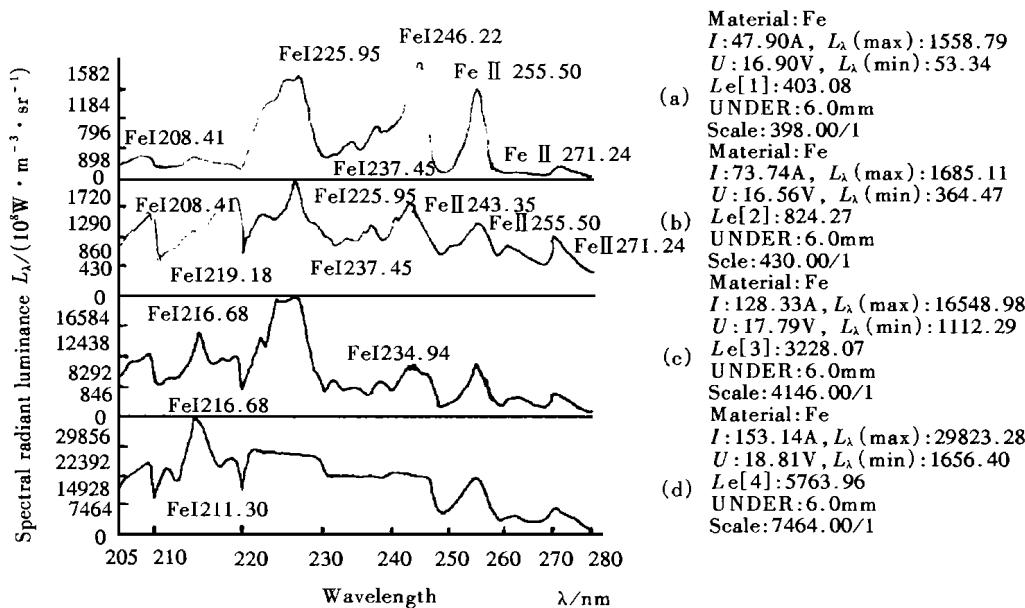


图 2 电弧中心 6mm 处单元面积上的紫外光谱分布

Fig. 2 Ultraviolet spectrum distribution on unit area of arc center at 6mm

图 2a~d 是选取电弧中心距钨极端部为 6mm 截面处的中间单元面积上, 改变焊接电流得到的紫外光谱辐射亮度 L_λ 沿波长的分布。图中所示的焊接电流是由计算机实时采集到的电流, 而试验中调节焊接电流的名义值为 50A、75A、125A、150A。由图可以看出, TIG 焊电弧的紫外光谱是连续谱背景下的线谱结构。因为在焊接电弧的高温条件下, 电弧气氛中各种气体均处于受激状态, 气体粒子(原子、电子、离子)在不同能级之间的跃迁中, 发射出能量不同的光量子, 使电弧成为一个辐射光源。根据粒子跃迁的不同形式, 产生韧致辐射、复合辐射和激发辐射。前两种辐射是由电子的自由—自由跃迁和电子的自由—束缚跃迁而产生的, 由于电子能量的任意性, 得到的是连续光谱。而激发辐射是原子中处于激发态的束缚电子从高能级向低能级跃迁产生的, 电子在这种辐射中具有一定的能量, 便得到了一定频率的线光谱。由于组成电弧气氛的各种原子可以被激发到各个能级上, 并且有足够的能量产生电离, 从而获得了连续谱背景下不同频率和辐射亮度的分立紫外光谱。在所测焊接电流范围内, 改变焊接电流时, 线光谱的分布大体相似, 但并不完全相同。在不同的焊接电流下, 出现了几条明显分立的谱线, 它们是: FeI208.41、FeI216.68、FeI225.95、FeI237.45、FeI246.22、FeII255.50 和 FeII271.24。这些谱线在试验条件下, 其光谱辐射亮度随着电流的增加而增大, 而且, 有的谱线如 FeI216.68 在电流大于 125A 后其幅值才较明显。说明随着焊接电流的增大, 由于焊接电弧能量的增大, 温度增高, 受激辐射的铁蒸汽的原子、离子、电子被激发到不同高能级的粒子数增多, 激发跃迁时, 在波长较短的紫外光谱上产生了新的紫外辐射谱线; 还可以看出, 不少谱线的幅值远高于连续谱的幅值, 作为测控信息用时是很有利的。特别是有的谱线在不同的电

流下皆出现,而且分立性好,即较为孤立,邻线干扰小,如 FeII255.50,其幅值大,线形也好。这些谱线可选为一种测控用的特征谱线。在电流分别为 50A、75A、125A 和 150A 时,在波长为 205~280 nm 范围内,电弧辐射亮度 L_e 分别为 430.08、824.27、3228.07、5763.96 W/m²sr,即随着焊接电流的增大,整个被测波段的平均辐射亮度 L_e 迅速增加。

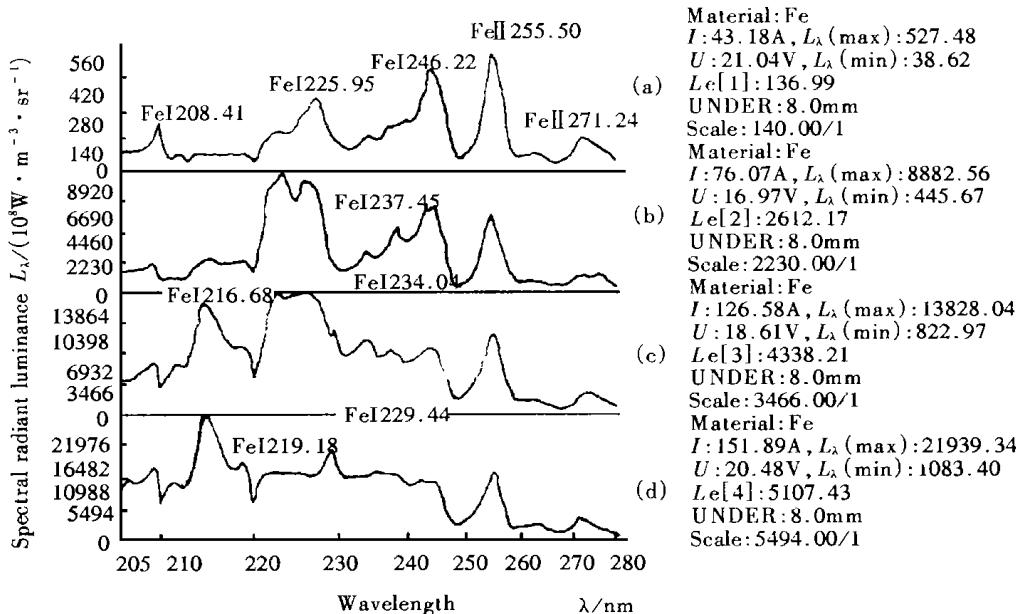


图 3 电弧中心 8mm 处单元面积上的紫外光谱分布

Fig. 3 Ultraviolet spectrum distribution on unit area of arc center at 8mm

图 3a~d 是选取电弧中心距钨极端部 8mm 截面处的中间单元面积上,即该截面接近焊接电弧与熔池表面的交界处,改变焊接电流获得的紫外光谱分布。与图 2 对比可以发现,虽然所选扫描单元面积的部位不同,但在相同电流下,紫外光谱的分布规律大体相同,产生了波长相同的线光谱,但连续谱和分立谱线的幅值有所变化。在各试验焊接电流下的电弧辐射亮度 L_e 分别为 136.99、2612.17、4338.21、5107.43 W/m²sr。可见,在 8mm 截面处的中间单元面积上,在波长 205~280 nm 范围内,电弧辐射亮度也随电流的增加而增大。由以上试验结果可知,在被测波段(205~280nm)内,改变焊接规范,得到了一些比较分立的谱线,如 FeI216.68、FeI246.22、FeII255.50 和 FeII271.24。这些谱线分立性好,干扰小,可选为测控用的特征谱线。尤其是 FeII255.50,其幅值大,线形好,重现性好。

3.2 定波长时间扫描的试验结果及分析

以 FeII255.50 为特定谱线,在此波长下进行时间扫描,结果如图 4 所示。这是在电弧中心距钨极端部 4mm 截面的单元面积上,焊接电流为 100A,电弧电压为 17.5V 时的扫描结果。

由图 4 可知,随着时间的变化,紫外谱线辐射亮度在时间上的分布虽然有微小的波动,但可以认为基本上是稳定的。由于 TIG 焊电弧稳定性好,没有熔滴过渡的扰动,而且在焊接规范、周围条件保持不变的情况下,电弧的能量及某一截面上的能量密度保持一定。电弧气氛中的电子、离子、中性粒子的能量传递在时间上是相对平衡的,使得电弧气氛中的铁的电离和铁原子被激发到高能级的粒子数在单位时间内基本不变。因而表现在电弧紫外光谱辐射亮度在时间上具有稳定性,其值基本保持不变。在试验中,通过在其它紫外波长下进行时间扫描,虽然紫外辐射亮度值不同,但

得到与图4相似的分布特征,可以认识到TIG焊电弧紫外光谱在一定的焊接条件下,其分布在时间上是定常分布。

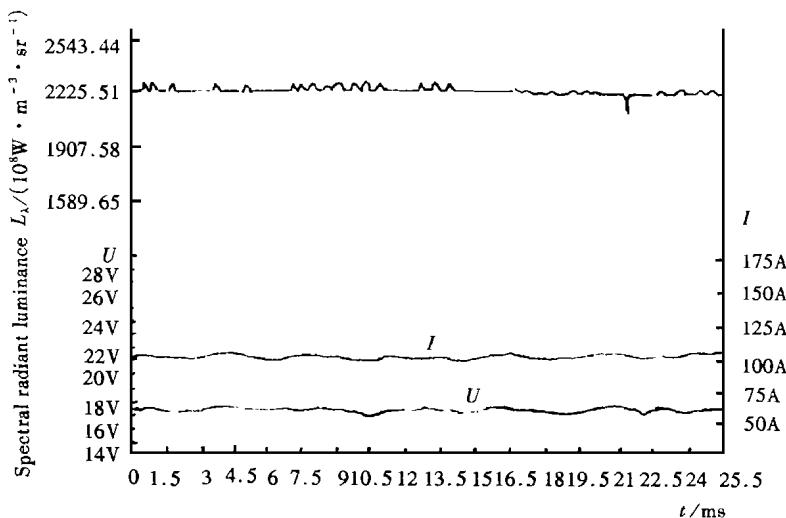


图4 在FeII 255.50波长下电弧紫外光谱时间分布特征

Fig. 4 Time distribution feature on FeII 255.50 of arc ultraviolet spectrum

4 结 论

(1) 本研究建立了一套焊接电弧紫外光谱计算机采集与处理系统,可对TIG焊电弧紫外光谱频域分布特征和时间分布特征进行研究。

(2) 电弧紫外光谱的频域分布特征为连续光谱背景下的线光谱。焊接规范不同,连续背景下的线光谱的分布及幅值会有所不同,随着焊接电流的增大,产生波长更短的紫外谱线。

(3) 随着焊接电流的增加,TIG焊电弧的紫外辐射亮度迅速增加。

(4) 在所研究的波段内可选取FeI 216.68、FeI 246.22、FeII 255.50及FeII 271.24为测控用的特征谱线,其中以FeII 255.50为最佳。以电弧紫外谱线辐射亮度的变化为信息,可对焊接过程施以控制或对电弧物理过程进行深入研究。

(5) 以FeII 255.50 nm波长为特定谱线进行测量的结果表明,在稳定的焊接条件下,TIG焊电弧的紫外辐射在时间上为定常分布。

(6) 在试验条件下,得到的紫外线谱均为铁的谱线,谱线辐射亮度往往比连续谱的辐射亮度高出许多,这在研究电弧紫外辐射对有机体的损伤时是值得考虑的。

(1998—10—28 收到初稿, 1999—09—16 收到修改稿)

参考文献

- 1 Shea J E, et al. Spectroscopic measurement of hydrogen contamination in weld arc plasma. *J. Appl. Phys.* 1983, 54 (9): 4928s~4938s.
- 2 宋永伦. 焊接电弧等离子体的光谱诊断法及应用的研究: [博士论文]. 天津: 天津大学, 1990.
- 3 Li Junyue, et al. Spectral information of arc and welding automation. *Welding in the World.* 1994 (34): pp317~324.
- 4 Simpon P J, et al. Reducing ozone and ultraviolet emissions from GMAW welding. *Welding and Metal Fabrication.* April 1993, 141~145.
- 5 Wiese W I, et al. Wavelength and transition probabilities for atoms and atomic Ions. *U. S. Nat. Bur. Stand.* 1980, 379~382.

Distribution Feature of Welding Arc Ultraviolet Spectrum

*Han Guoming, Li Junyue, Wu Zhao, Liu Gang
(Tianjin University)*

Abstract In this paper, based on the principles of the arc physics and optical spectroscopy, the research on TIG welding arc ultraviolet spectrum has been done, utilizing a system of welding arc ultraviolet spectrum controlled by computer. Distribution feature of arc ultraviolet spectrum in different welding parameters and time distribution feature on some special line of arc ultraviolet spectrum have been acquired. The results show that the distribution feature of welding arc ultraviolet spectrum is linear at background of continuous spectrum. Ultraviolet spectrum distribution and amplitude are different in different welding parameters. With welding current increasing, some shorter wavelength of ultraviolet spectrolines appeared. In measurement range(205~280nm), some separated spectrolines have been observed, and among them the Fe II 255.50' s amplitude is high, and its shape and reappearance is well. At the Fe II 255.50 nm, the measured ultraviolet radiation of the TIG welding arc is steady distribution in time domain. This provided a basis for utilizing arc spectrum information and researching welding physical process.

Key words welding arc, ultraviolet spectrum, computerized collecting, distribution feature

作者简介 韩国明, 男, 1947年生, 1970年毕业于天津大学机械工程系。现为天津大学机械工程学院副教授、硕士研究生导师。主要从事焊接电弧物理及自动控制、焊接工艺方法及设备的研究和教学工作。发表论文20余篇。