

活性化 TIG 电弧光谱分布的特征 *

刘凤尧 杨春利 林三宝 吴林 张清涛

(哈尔滨工业大学现代焊接生产技术国家重点实验室, 哈尔滨 150001)

摘 要 逐点测试了活性化 TIG 焊 (A-TIG) 电弧光谱的频域及空间分布, 分析了 A-TIG 电弧光谱的构成. A-TIG 光谱的频域分布为连续光谱背景下的线光谱; Ar 和活性剂粒子分布在整個电弧空间, 其中活性剂元素谱线在电弧中部最强, 其次是钨极前方, 在熔池上方最弱; 活性剂元素谱线线形及重现性好; 与常规 TIG 焊相比, 电弧中的 Fe 谱线明显增多, 大多数分布在熔池上方和电弧中部区域; 电弧周围分布着很多活性剂粒子; 电弧中心 Ar 谱线强度提高说明电弧中心温度有所提高.

关键词 A-TIG 焊, 光谱特征, 活性剂

中图法分类号 TG444

文献标识码 A

文章编号 0412-1961(2003)08-0875-04

SPECTRAL DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF A-TIG WELDING ARC

LIU Fengyao, YANG Chunli, LIN Sanbao, WU Lin, ZHANG Qingtao

National Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001

Correspondent: LIU Fengyao, Tel: (0451)6418775, E-mail: liufengyao@163.com

Supported by the Scientific Research Foundation of Heilongjiang Province (No.LC01714)

Manuscript received 2002-07-26, in revised form 2003-03-03

ABSTRACT The spectrum configurations of A-TIG welding arc are analyzed by bit-by-bit testing the cross-spectrum distribution of arc spectrum during A-TIG welding. The results show that the welding arc spectrum is linear-like one distributed at background; In the whole welding arc region the argon and activating flux particles appear, the strongest spectrum of activating flux is in the middle of arc region, the next in the front of tungsten electrode and the weakest at the top of melting pool. Well linear shape and reappearance of activating flux spectrum is another feature of A-TIG welding arc. Compared with the conventional TIG welding, the spectrum lines of iron, distributeing at the top of melting pool and in the middle of arc region, are remarkably increased. There are many particles of activating flux around the arc, and the increase of Ar spectrum intensity in the middle of the arc shows the temperature increasing in the region.

KEY WORDS A-TIG welding, spectrum characteristic, activating flux

常规 TIG 焊生产效率低, 单层焊可焊厚度小. 活性化 TIG 焊 (A-TIG) 时, 在合适的活性剂成分及涂敷量下, 可以增加焊接熔深、提高焊接效率, 使 TIG 焊应用范围得以扩展, 这方面的研究很多有报道^[1-3]. A-TIG 焊熔深增加机理方面的研究, 多年来逐步形成了电弧收缩和熔池表面张力流的观点^[4-6]. 目前该研究尚缺乏对电弧收缩的确切证明, 只以对电弧形态和熔池阳极斑点运动的观察来说明电弧收缩并不充分, 而且电弧中负离子的存在问题一直没有得到证实, 电弧收缩可能存在其它机制.

Dunn^[7] 虽然在母材种类和成分、电极材料、极性 (正

接和反接) 对光谱影响方面做了大量工作, 但是并非针对 A-TIG 焊. 为了进一步研究 A-TIG 焊熔深增加的机理, 需要对焊接电弧内部的物理过程及现象进行更为充分的研究以获取更多的信息. 焊接电弧中含有丰富的光谱信息, 它是认识焊接物理过程的丰富源泉^[8-10]. 从 A-TIG 电弧的光谱特征中发现电弧光谱与焊接电弧过程之间的关系, 从而为后继工作提供理论指导. 因此研究 A-TIG 焊电弧光谱特征具有重要的理论和实际意义.

本文主要研究 Cr_2O_3 , AlF_3 和 CaCl_2 3 种活性剂 A-TIG 焊光谱的频域分布与空间分布特征、活性剂金属元素在电弧中的分布以及活性剂对电弧中心氩谱线强度的影响, 为研究 A-TIG 焊熔深增加的机理奠定基础.

1 A-TIG 焊电弧光谱测量装置及实验方法

1.1 测量装置及原理

A-TIG 电弧局部光谱实验系统如图 1 所示. 通过光

* 黑龙江省留学回国基金项目 LC01714 和哈尔滨工业大学校基金项目 HIT.2001.20 资助

收到初稿日期: 2002-07-26, 收到修改稿日期: 2003-03-03

作者简介: 刘凤尧, 男, 1972 年生, 博士生

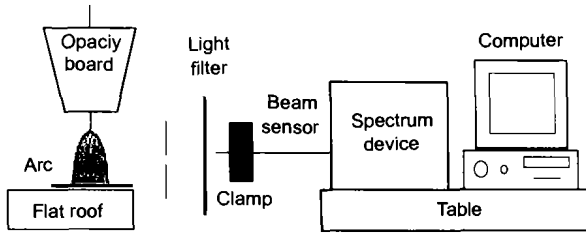


图1 A-TIG 电弧局部光谱实验系统

Fig.1 The experimental system of part spectrum in A-TIG welding

纤传感器将弧光传送到 Spectra Pro-500i 光谱仪, 光谱仪选用合适的光栅、狭缝大小和曝光时间采集弧光光谱, 并实时地将采集到的光谱信息传输计算机进行存储. 光纤传感器和焊枪连成一体, 实验中保持相对位置不变.

将电弧近似看成一个圆锥体, 对电弧进行逐点采样. 光纤传感器靠近电弧, 并在光纤传感器前面加上挡光板, 挡光板中心留一个直径 0.2 mm 的小孔用于透光, 小孔和光线传感器保持严格对准并固定在一起, 用两个微调螺旋装置对挡板进行上下左右精确调节, 以检测电弧的不同部位. 选择距试件表面的高度分别为 0.5, 1.5 和 2.5 mm, 水平方向以 1 mm 步长移动, 得到电弧不同部位的光谱.

实际的 TIG 电弧形状呈圆锥状, 弧光发射率较高的部分近似为钟罩形, 靠近钨极的部分发射率较高, 但发光体的半径较小; 靠近熔池的部分谱线发射率较小一些, 所以电弧的等效发光体近似为一圆锥体 (如图 2 所示). 本实验系统中, 在电弧轴线部分, 透光小孔所覆盖的电弧范围不变, 厚度从上到下增大, 其等效的发光体是沿圆锥体轴线、测量范围为小孔直径 3 倍大的圆柱.

1.2 实验方法和步骤

实验用 0Cr18Ni9 不锈钢试件成分 (质量分数, %) 为: Cr 17.0~19.0, Ni 8.0~11.0, Si $\leq$ 1.0, Mn $\leq$ 2.0, 余为 Fe. 尺寸为 200 mm $\times$ 40 mm $\times$ 3 mm. 采用砂纸打磨, 然后使用酒精擦洗表面以去除油污等有机物, 并烘干以防止水分对实验结果产生影响, 然后称试件的重量并清零. 将活性剂和丙酮溶剂混合均匀, 用毛刷将活性剂溶液均匀地涂敷在试件的整个表面上, 其厚度以看不到母材表面为标准. 等到丙酮完全挥发以后, 再用电子分析天平 (精度为

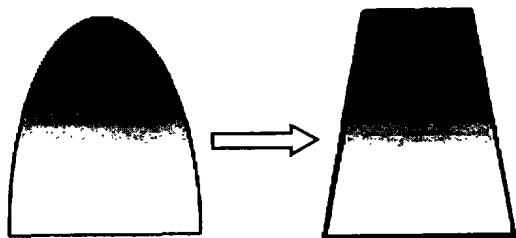


图2 电弧的等效发光体

Fig.2 Equivalent illuminant of arc

0.1 mg) 称量活性剂的重量, 并由此计算出单位面积上的活性剂涂敷量. 整个实验过程采用平板堆焊, 在焊接过程中严格保持焊接参数恒定. 光谱参数为: 光栅 $g=300$ mm, 曝光时间 $t=0.05$ s, 狭缝宽度 $b=0.01$ mm, 光谱范围 $\lambda=200\sim600$ nm. 焊接参数为: 焊接电流 $I=120$ A, 焊接速度 $v_w=200$ mm/min, 弧长 $L=3$ mm, 钨极直径 $d=3.2$ mm, Ar 气流量 $q_v=10$ L/min, 钨极角度 $\theta=60^\circ$.

2 实验结果与分析

2.1 A-TIG 焊电弧光谱的频域分布特征

图 3 为电弧中不同截面的光谱曲线, 参数 h 代表所测试的电弧截面距工件表面的高度. 所测得的焊接电弧光谱分布表明, A-TIG 焊电弧光谱分布表现出的特征为: 在连续辐射背景上叠加分布着线光谱, 连续光谱主要由韧致辐射产生; 线光谱由束缚辐射产生^[11]. 因此 A-TIG 焊电弧光谱不是某一种基本辐射的光谱, 它是由基本辐射光谱复合而成的. 原因如下:

焊接电弧是一种低温等离子体, 电弧粒子的激发和跃

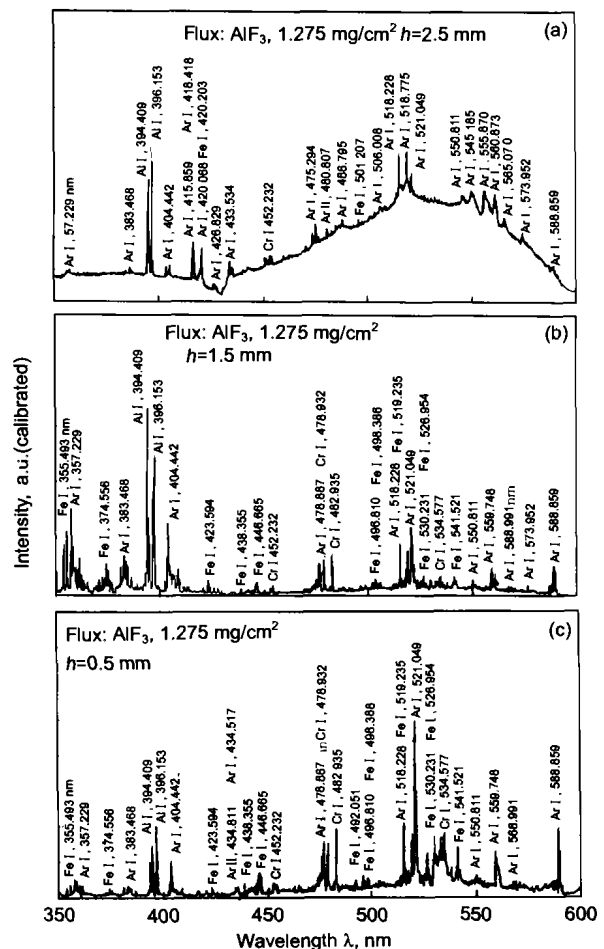


图3 A-TIG 电弧光谱的频域分布

Fig.3 Cross-spectrum distribution in A-TIG arc spectrum at arc top, $h=2.5$ mm (a), arc middle, $h=1.5$ mm (b) and arc bottom, $h=0.5$ mm (c) (Flux: AlF_3 , 1.275 mg/cm^2)

迁产生了线光谱,在焊接电弧的粒子密度和温度范围内,线光谱的强度可达到相当可观的数值;同时现有的研究表明,焊接电弧等离子体具有一定的“光学薄”性质,因此在上述两种因素的共同作用下,A-TIG 焊电弧光谱中出现了大量的线光谱。

焊接电弧光谱的上述分布特征,为开展对 A-TIG 焊电弧的测控提供了有利条件.由于线光谱与元素具有对应可分辨性,因此利用大量出现的线光谱,可实现对 A-TIG 焊电弧内部成分及过程的选择性检测,实现对光谱信号的降维处理,提高信号品质。

2.2 A-TIG 焊电弧光谱的空间分布特征

图 3 给出了 A-TIG 焊电弧中,位于电弧上部距母材表面 2.5 mm、电弧中部距母材表面 1.5 mm 和电弧下部距母材表面 0.5 mm 3 个截面弧柱中心的光谱分布。

(1) 在 $h=2.5$ mm 的图 3a 中,27 条线光谱中 Ar 谱线占 22 条,另 5 条线光谱中有 2 条活性剂元素谱线 (Al I 394.4 nm 和 Al I 396.2 nm)、2 条 Fe 谱线、1 条 Cr 谱线.此现象说明该区域主要为 Ar 粒子所占据。

(2) 在 $h=1.5$ mm 的图 3b 中,28 条线光谱中 Ar 谱线占 11 条,另 14 条线光谱中有 2 条活性剂元素谱线 (Al I 394.4 nm 和 Al I 396.2 nm)、11 条 Fe 谱线、4 条 Cr 谱线.此现象说明有较多的铁粒子进入该区域。

(3) 在 $h=0.5$ mm 的图 3c 中,30 条线光谱中 Ar 谱线占 12 条,另有 2 条活性剂元素谱线 (Al I 394.4 nm 和 Al I 396.2 nm)、12 条 Fe 谱线、4 条 Cr 谱线.意味着此区域 Fe 蒸汽浓度进一步提高。

比较 TIG 焊和 A-TIG 焊的光谱可以看出:活性剂的加入使电弧中 Fe 蒸汽浓度明显提高,而且出现了 Cr 谱线;Ar 和活性剂粒子分布在整個电弧空间,活性剂元素谱线线形及重现性很好;与常规 TIG 焊相比,电弧中的 Fe 谱线明显增多,大多数分布在熔池上方和电弧中部区域.因此对于 A-TIG 焊电弧,光谱的空间分布表现出了差异性,Fe 成分主要分布于近熔池区. A-TIG 焊电弧光谱空间分布的差异性是其成分分布差异性的反映,利用该特点可实现对 A-TIG 焊电弧的空间选择性研究。

2.3 活性剂在电弧空间的分布

图 4 为活性剂在电弧空间的分布,可以发现在每种活性剂金属元素的特征谱线中,最强的谱线出现在电弧轴心的中间高度 (1.5 mm) 处,其次是钨极的下方区域 (2.5 mm),最弱的谱线是熔池上方的区域 (0.5 mm).说明活性剂在电弧空间的分布是中间多,上下部分相对较少,熔池上方特别少,这和 TIG 焊中母材金属元素主要分布在熔池上方这个事实大相径庭,有力地表明了 A-TIG 焊中活性剂在电弧中的表现和母材元素的差异性。

产生这种分布特征是由于母材表面的活性剂在焊接过程中蒸发到电弧中,到达电弧的顶部,也即是钨极的近下方,然后在等离子流力的作用下,活性剂又被卷入到电

弧的中心,形成如图 5 所示的运动轨迹,在电弧的中间高度处,活性剂非常集中,密度变大。

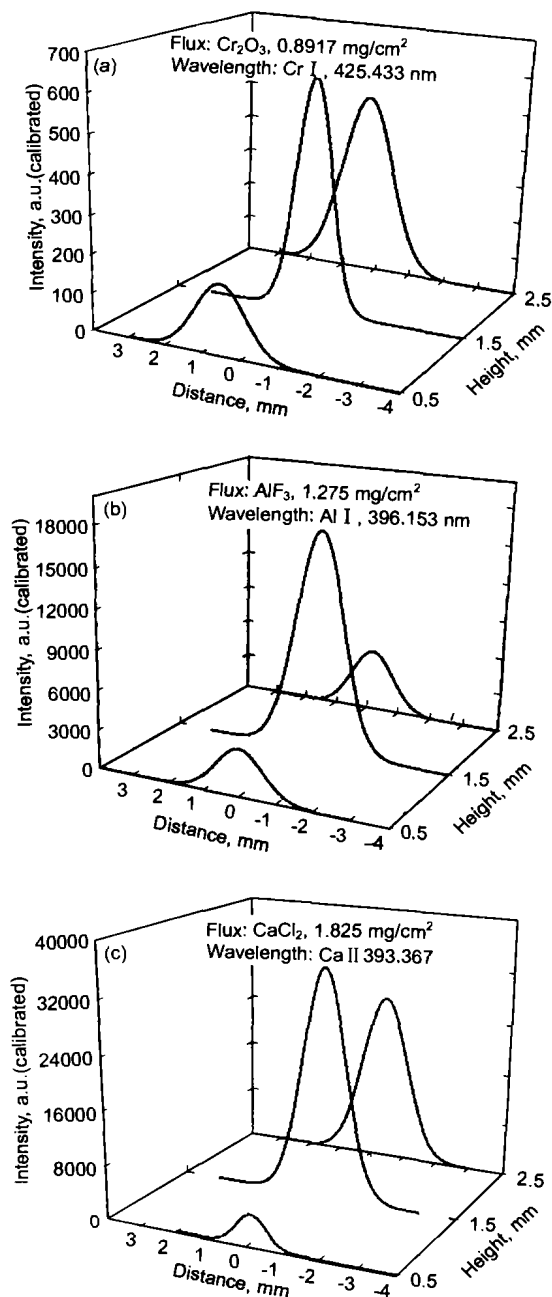


图 4 A-TIG 电弧的空间分布
Fig.4 Space distribution of fluxes in A-TIG arc

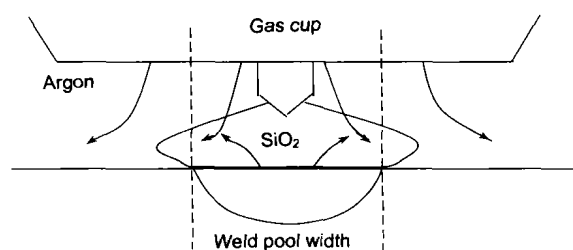


图 5 活性剂在电弧中的运动
Fig.5 Movement of fluxes in the arc

对于活性剂金属元素的同一条谱线来说,越靠近电弧中心,谱线强度越大;在电弧的边缘,所有元素的谱线强度都急剧降低。这是因为电弧中心处于等离子体状态,温度非常高,使得粒子的电离度很大,所以谱线强度也很大;

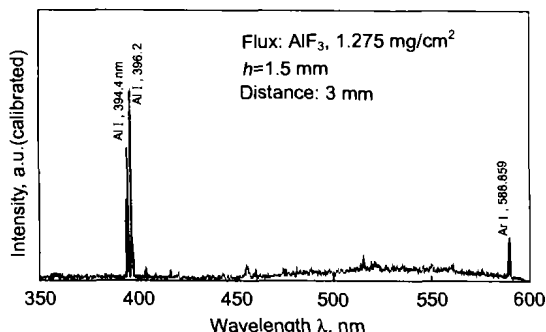


图6 活性剂金属元素谱线在 A-TIG 焊电弧边缘的分布
Fig.6 Distribution of metal spectrum of fluxes at edges of A-TIG arc

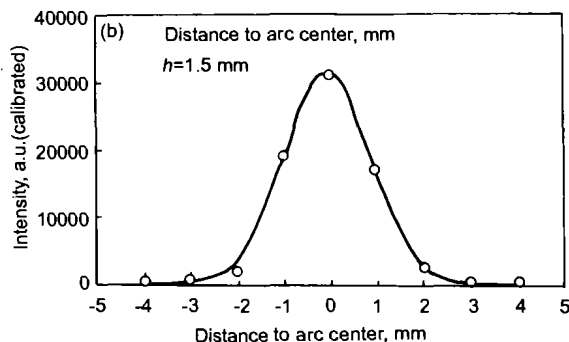
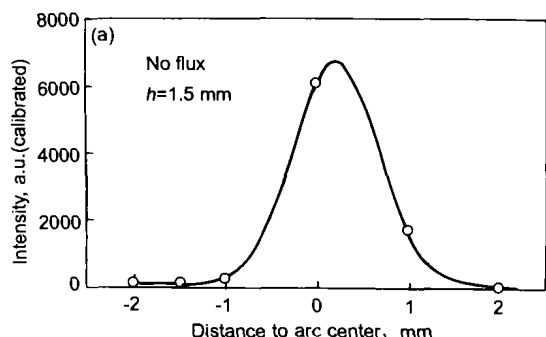


图7 活性剂对电弧中心 Ar 谱线强度的影响
Fig.7 Effect of flux on intensity of argon spectrum at arc center

而电弧边缘不再处于等离子体状态,温度陡然下降,粒子的电离度大幅度下降,导致谱线强度也相应下降。

在卤化物和 Cr_2O_3 的电弧边缘,所有元素的谱线强度都比电弧中心低;但在谱线波长检测范围内,活性剂金属元素的谱线强度却远远超过 Ar 和其它元素,如图 6 所示。表明在电弧的周围,大部分是活性剂金属元素,这通过减光片观察 A-TIG 电弧的结果是相吻合的。

图 7 为电弧中部 (1.5 mm 处) 弧柱中心常规 TIG 焊和 A-TIG 焊的 Ar 谱线强度对比。从图中可以看出,在参数 (焊接参数和光谱参数) 相同的情况下, A-TIG 焊的谱线强度显著提高,说明有活性剂的电弧等离子体温度有所提高,和活性剂提高电弧电压的结论相吻合。本文弥补了对 A-TIG 焊电弧光谱的认识,指出了 A-TIG 焊电弧光谱的应用方向。

3 结论

- (1) A-TIG 焊电弧光谱的分布特征为连续辐射背景下的线光谱结构,活性剂金属元素谱线线形及重现性好,可以对 A-TIG 电弧进行选择研究。
- (2) A-TIG 焊电弧光谱的空间分布表现出明显的差异性, Ar 粒子在电弧上部最多,活性剂粒子在电弧中部最多, Fe 粒子主要分布在近熔池区。
- (3) 活性剂粒子在电弧空间的分布具有中间多、上下少的特征,电弧周围充满了活性剂粒子。
- (4) 引入活性剂后,电弧中心温度有所提高。

参考文献

- [1] Paulo J. *J Mater Proc Technol*, 2000; 99(9): 260
- [2] Lucas W, Howse D. *Weld Met Fabrica*, 1996; 64(1): 11
- [3] Paskell T, Lundin C. *Weld J*, 1997; 76(4): 57
- [4] Hailer C R, Roper J R. *Weld J*, 1982; (4): 97-s
- [5] Takeuchi Y, Takagi R, Shinoda T. *Weld J*, 1992; 71(8): 283-s
- [6] Panton B E. *Paton Weld J*, 2000; (1): 5
- [7] Dunn G J. *Metall Trans*, 1985; 26: 262
- [8] Li J Y, Song Y L. *Weld World*, 1994; 34: 317
- [9] Li J Y, Song Y L. *Weld Res Abroad*, 1989; 35(6): 2
- [10] Li J Y, Yang Y Q. *Chin Eng Sci*, 2001; 3(7): 7
- [11] Liu G, Li J Y. *Chin J Mech Eng*, 2000; 36(5): 5