

耦合电弧钨极 TIG 焊电弧压力的测量与分析

黄 勇^{1,2}, 郝延召², 瞿怀宇², 刘瑞琳²

(1. 兰州理工大学 甘肃省有色金属新材料省部共建国家重点实验室, 兰州 730050;

2. 兰州理工大学 有色金属合金及加工教育部重点实验室, 兰州 730050)

摘 要: 开发了一种耦合电弧钨极, 可显著降低电弧压力, 消除咬边和驼峰焊道等缺陷, 实现较高速度的 TIG 焊接。针对这种钨极进行了 TIG 电弧压力测量, 研究了主要工艺参数对电弧压力分布的影响规律。结果表明, 与传统 TIG 电弧相比, 在相同参数下耦合电弧钨极 TIG 电弧压力峰值明显降低, 并且随着弧长的增加、钨极伸出长度的增加、焊接电流的减小、电极槽宽的增大以及钨极直径的增大, 耦合电弧钨极 TIG 焊的电弧压力峰值减小。对电弧压力的影响由大到小依次为焊接电流、钨极伸出长度、弧长和钨极直径、电极槽宽。

关键词: 耦合电弧钨极; 电弧压力; 焊缝成形; 高速焊接

中图分类号: TG403 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2013)12-0033-04



黄 勇

0 序 言

钨极氩弧焊(TIG)是一种应用广泛的高品质焊接方法。将其应用于高速焊接时, 为维持焊接热输入不显著降低, 随着焊接速度增大需同时提高焊接电流, 但由于电弧压力同时增大, 并不能实现稳定焊接, 将出现咬边及驼峰焊道等焊缝成形缺陷^[1]。

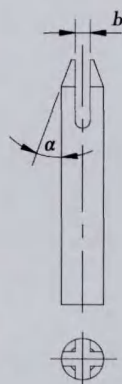
一些研究者提出了几种降低 TIG 电弧压力的方法, 其中效果比较明显的有 空心钨极氩弧焊方法^[2] 和双钨极氩弧焊方法^[3], 国内外学者关于空心钨极^[4] 和双钨极^[5] 的电弧压力也做了相关研究, 发现空心钨极和双钨极 TIG 焊与相同总电流下的传统 TIG 焊相比, 电弧压力明显减小, 可以实现较高速焊接, 消除咬边和驼峰焊道等缺陷, 获得良好的焊缝成形。

在空心钨极的基础上课题组设计出了一种新形式的钨极——耦合电弧钨极, 同样可以实现电弧压力的明显减小, 在高速焊接时获得良好的焊缝成形。该方法将大大提高焊接生产效率, 而且钨极加工与空心钨极相比更容易, 成本更低, 与双钨极方法相比, 所需焊接设备少, 焊枪更紧凑。根据驼峰焊道形成机理, 高速焊接时电弧压力在垂直于焊缝方向和水平方向各有一个分力, 对液态金属起到挖掘作用

和后排作用, 由于焊接速度较快, 导致液态金属无法在短时间回流而形成驼峰焊道^[6]。文中对耦合电弧钨极 TIG 焊电弧压力进行了测量, 以分析其应用于高速焊接的可行性。

1 试验方法

试验采用自行设计的耦合电弧钨极进行 TIG 焊电弧压力测量, 钨极端部沿纵向加工出十字形槽, 电极槽宽为 b , 外侧打磨成一定角度 α , 如图 1 所示。焊接起弧以后, 每根电极上产生有一个小的电弧, 由于电弧之间电磁力的作用, 四个电弧相互吸引, 从而



(a) 示意图



(b) 实物图

图 1 耦合电弧钨极示意图

Fig. 1 Schematic of coupling arc electrode

实现电弧耦合。

采用静态小孔法^[7]测量耦合电弧钨极 TIG 焊的电弧压力,测量装置如图 2 所示。阳极采用水冷铜板,其上开一个直径为 0.8 mm 的导气孔,通过压力导管将电弧压力传至压力传感器,把压力信号转变为电信号,最后再由计算机将电信号转换成压力值。文中通过测量电弧压力随焊接电流、弧长、钨极伸出长度、电极槽宽以及钨极直径的变化,从而得出各工艺参数对耦合电弧钨极 TIG 电弧压力的影响规律,电弧压力测量的基础工艺参数如表 1 所示。在每组测量试验中,其中一个工艺参数作为变量,其它参数保持不变。

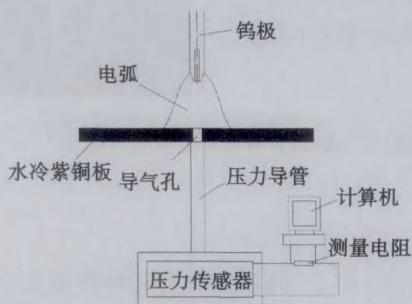


图2 耦合电弧钨极 TIG 焊电弧压力测量系统

Fig. 2 Measuring system of TIG welding arc pressure with coupling arc electrode

表1 耦合电弧钨极 TIG 焊基础工艺参数

Table 1 Basic parameters of TIG with coupling arc electrode

电流 I/A	钨极伸出长度 L_1/mm	弧长 L_2/mm	钨极直径 d/mm	电极槽宽 b/mm	氩气流量 $q/(L \cdot \min^{-1})$
240	3	4	4	1.2	12

2 试验结果及分析

2.1 耦合电弧钨极 TIG 焊电弧形貌

图3为耦合电弧钨极 TIG 焊和传统 TIG 焊电弧形态。耦合电弧钨极的4个脚起弧以后,由于电磁力的作用而相互吸引,导致电弧在4个脚的内侧燃起,并沿内侧向上攀爬。

2.2 耦合电弧钨极 TIG 焊电弧压力分析

2.2.1 耦合电弧钨极 TIG 焊与传统 TIG 电弧压力对比

耦合电弧钨极 TIG 与传统 TIG 电弧压力比较,如图4所示。在相同条件下,耦合电弧钨极 TIG 焊的电弧压力峰值比传统 TIG 焊明显降低。传统钨

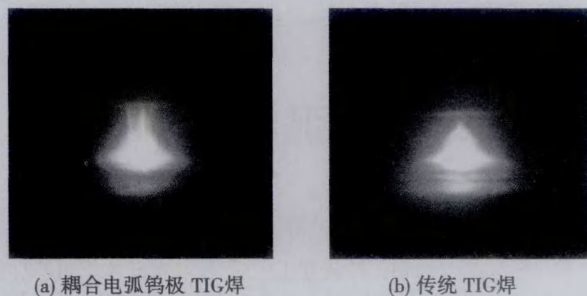


图3 电弧形态

Fig. 3 Arc shape

极 TIG 焊的电弧压力峰值为 581 Pa,而耦合电弧钨极 TIG 焊为 137 Pa,约降低为传统钨极 TIG 焊的 23.6%。相同电流下,耦合电弧钨极 TIG 焊具有更低的电弧压力值,因此可以使用较大电流而不会产生过大的电弧压力。这两种方法的电弧压力分布半径差别不大。

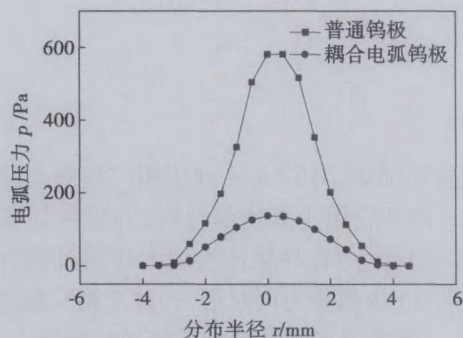


图4 耦合电弧钨极 TIG 与传统 TIG 电弧压力比较

Fig. 4 Comparison of arc pressure between coupling arc electrode TIG welding and traditional TIG welding

从图3和图4可以看出,耦合电弧钨极 TIG 焊电弧与传统 TIG 焊相比,由于电极槽宽 b 较小,以及钨极各个脚上电弧之间的电磁吸引力作用,使得电弧下底面直径没有明显变化^[8]。电弧中电磁力对等离子流的作用方向垂直于该处电流线方向指向电弧中轴线,如图5所示, F 为电磁力, F_1 为电磁力沿垂直试板方向的分力,且有公式

$$F_1 = |J \times B| \cos \beta \quad (1)$$

式中: J 为电弧中某一处的电流密度; B 为该处的磁通量密度; $|J \times B|$ 为电磁力 F 的大小; β 为 J 与 B 的夹角。由于 F_1 的作用使得等离子流加速,冲击试板表面从而产生电弧压力。电弧上底面直径增大,导致电流密度 J 减小,因此电磁力 F 及其分量 F_1 减小。同时电弧上底面直径增大,而下底面直径不变, F 和 F_1 的夹角 β 将增大,电磁力 F 的减小和夹角 β

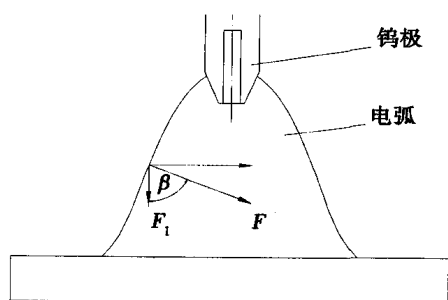


图 5 电弧压力分析示意图

Fig. 5 Schematic of arc pressure analysis

的增大导致电磁力轴向分力 F_1 减小,等离子流速度减小,从而电弧压力减小。

2.2.2 电流对耦合电弧钨极 TIG 焊电弧压力分布的影响

图 6 为焊接电流对耦合电弧钨极 TIG 电弧压力分布的影响。随着焊接电流的增加,电弧压力峰值显著增大,压力分布半径增大。产生这种变化的原因是,随着电流增大,电弧功率增大,弧柱截面积增大,分布半径和电流密度都增大,等离子流速增大,从而导致电弧压力的增大^[9]。电流由 200 A 增大到 240 A 再到 280 A,电弧压力峰值分别为 61.5, 127 和 191.5 Pa,增大趋势比较明显。

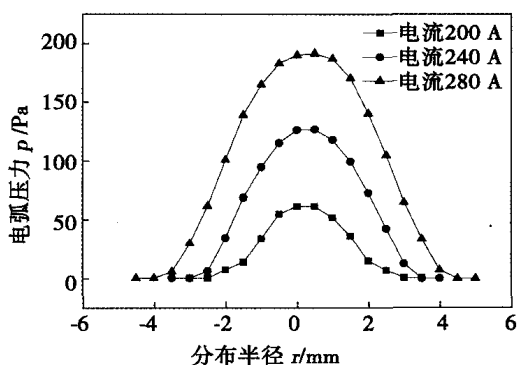


图 6 焊接电流对耦合电弧钨极 TIG 电弧压力分布的影响

Fig. 6 Influence of current on distribution of coupling arc electrode TIG welding arc pressure

2.2.3 弧长对耦合电弧钨极 TIG 电弧压力的影响

弧长对电弧压力的影响见图 7,随着弧长的增大,电弧压力峰值降低,压力分布半径不变。造成这种现象的原因是随着弧长的增大,电弧下底面直径不变,距离试板相同高度处的电弧截面直径将增大,而此处电流密度将减小,导致电磁力 F 及其分量 F_1 减小,同时电磁力方向与垂直试板方向夹角 β 将增大,电磁力分量 F_1 的减小和夹角 β 的增大将导致电弧等离子流速度降低,使得电弧压力峰值降低。

测得电弧压力峰值随着弧长每增加 1 mm 电弧压力峰值减小幅度约为 10% ~ 15%。

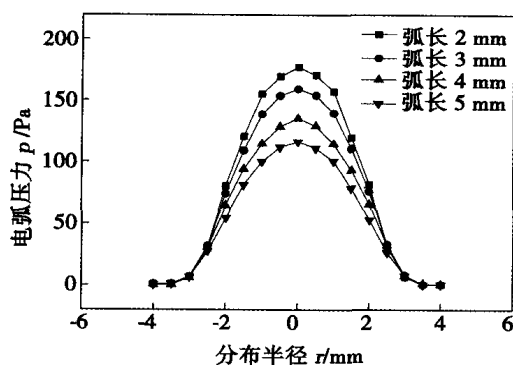
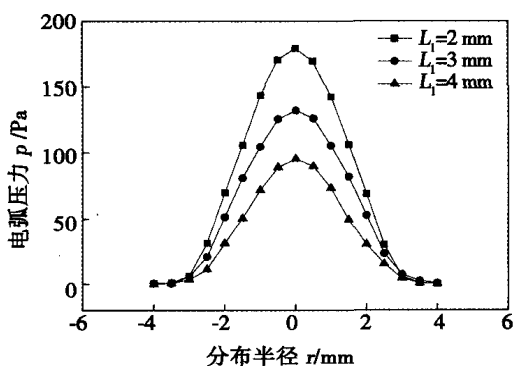


图 7 弧长对耦合电弧钨极 TIG 电弧压力分布的影响

Fig. 7 Influence of arc length on distribution of coupling arc electrode TIG welding arc pressure

2.2.4 钨极伸出长度对耦合电弧钨极 TIG 焊电弧压力分布的影响

图 8 为 L_1 对电弧压力的影响,随着钨极伸出长度的增加,电弧压力峰值明显减小。这是因为随着钨极伸出长度的增加,电弧离喷嘴距离越大,保护气体流速减小,气体对电弧的冷却作用随之减弱,电弧收缩效果减弱,使得电弧截面积随着钨极伸出长度的增加而变大,造成了电弧的电流密度减小,从而使得电弧压力减小。比较图 7 和图 8 可知,钨极伸出长度对电弧压力的影响比弧长的影响大,钨极伸出长度每增加 1 mm,压力峰值减小幅度分别为 26.5% 和 27.7%。

图 8 L_1 对耦合电弧钨极 TIG 焊电弧压力分布的影响Fig. 8 Influence of L_1 on distribution of coupling arc electrode TIG welding arc pressure

2.2.5 耦合电弧电极槽宽对电弧压力分布的影响

电极槽宽对电弧压力的影响如图 9 所示,随着槽宽的增加,电弧压力减小。因为随着电极槽宽的增大,四个电弧之间的间距增大,耦合电弧上底面截面

积增大,电流密度减小,而下底面截面积不变,由图6可知,夹角 β 将增大,根据式(1),电弧压力减小。由于电极槽宽可变化范围不大,因此对电弧压力的影响相对于弧长和钨极伸出长度的影响较小,电极槽宽每增加0.2 mm,电弧压力峰值减小幅度约为8.8%和10.8%。

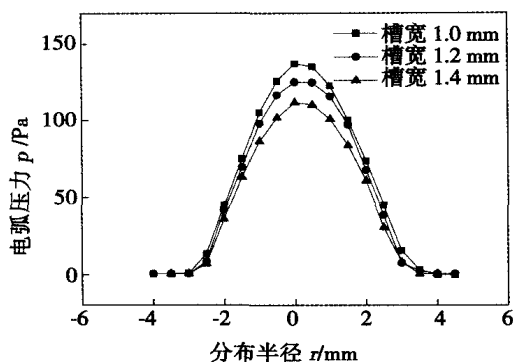


图9 电极槽宽对耦合电弧钨极 TIG 电弧压力分布的影响
Fig. 9 Influence of electrode gap width on distribution of coupling arc electrode TIG welding arc pressure

2.2.6 耦合电弧钨极直径对电弧压力分布的影响

钨极直径对电弧压力的影响见图10,随着耦合电弧钨极直径的增加,电弧压力减小。这是因为在焊接电流较大时,电弧顶部会沿钨极各脚向上攀爬,大直径钨极尖端处外侧斜面区域大于小直径钨极,产生的电弧比小直径钨极具有更大的电弧截面积,因此使用大直径钨极的电弧电流密度较小,电弧对试板的轴向推力减小,从而导致电弧压力的降低。

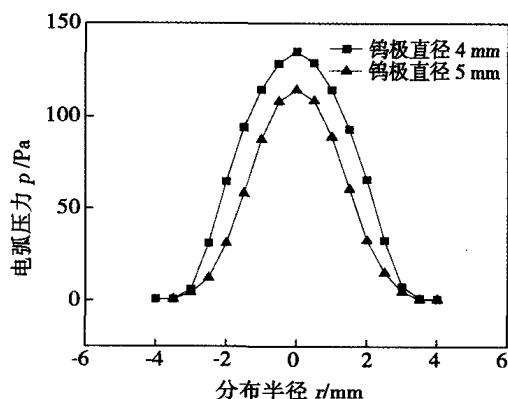


图10 钨极直径对耦合电弧钨极 TIG 电弧压力分布的影响
Fig. 10 Influence of electrode diameter on distribution of coupling arc electrode TIG welding arc pressure

3 结 论

(1) 在相同焊接参数下,耦合电弧钨极 TIG 焊

的电弧压力比传统单弧的电弧压力有显著降低,并且随焊接电流的减小、弧长的增大、钨极伸出长度的增大、电极槽宽的增大以及钨极直径的增大电弧压力的峰值减小。

(2) 焊接参数对电弧压力的影响由大到小依次为焊接电流、钨极伸出长度、弧长、电极槽宽。钨极直径对电弧压力的影响与弧长近似。

(3) 与传统 TIG 相比,耦合电弧钨极可应用于较高速度 TIG 焊接,能够避免驼峰焊道的形成,显著改善焊缝成形。

参考文献:

- [1] 胡志坤, 武传松. 高速 MAG 电弧焊驼峰焊道产生过程的实验研究[J]. 金属学报, 2008, 44(12): 1445-1449.
Hu Zhikun, Wu Chuansong. Experimental investigation on forming process of humping bead in high-speed arc welding[J]. Acta Metallurgica Sinica, 2008, 44(12): 1445-1449.
- [2] Tashiro S, Tanaka M, Nakatani M, et al. Numerical analysis of energy source properties of hollow cathode arc[J]. Surface and Coatings Technology, 2007, 201(9/11): 5431-5434.
- [3] Kobayashi K, Yamada M, Fujishima K, et al. Development of high efficiency twin-arc TIG welding method (SEDAR-TIG) [C]// Technical Trends and Future Prospectives of Welding Technology for Transportation, Land, Sea, Air and Space, Osaka University, Japan, 2004, 1669-1671.
- [4] Nerovnyi V M, Khakhalev A D. Hollow cathode arc discharge as an effective energy source for welding processes in vacuum[J]. Journal of Physics D: Applied Physics, 2008, 41(3): 1-8.
- [5] Zhang G J, Leng X S, Wu L. Physics characteristic of coupling arc of twin-tungsten TIG welding[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2006, 16(4): 813-817.
- [6] 安腾弘平. 焊接电弧现象[M]. 北京: 机械工业出版社, 1985.
- [7] 范红刚, 史耀武. TIG 焊电弧压力影响因素的试验分析[J]. 焊接技术, 1995(5): 3-5.
Fan Honggang, Shi Yaowu. Arc pressure of TIG welding influencing factors analysis[J]. Welding Technology, 1995(5): 3-5.
- [8] 张广军, 赵琳琳, 冷雪松, 等. 双钨极氩弧焊焊缝成形的数值模拟[J]. 焊接学报, 2008, 29(8): 29-31.
Zhang Guangjun, Zhao Linlin, Leng Xuesong, et al. Numerical simulation on weld formation of twin-electrode GTAW welding[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2008, 29(8): 29-31.
- [9] 贾昌申, 肖克民, 殷威青, 等. 焊接电弧的等离子流力[J]. 焊接学报, 1994, 15(2): 101-106.
Jia Changshen, Xiao Kemin, Yin Xianqing, et al. The plasmas flow force of welding arc[J]. Transactions of the China Welding Institution, 1994, 15(2): 101-106.

作者简介: 黄 勇,男,1972 年出生,博士,副教授. 主要从事高效焊接技术研究. 发表论文 40 余篇. Email: hyorhot@lut.cn