

旋转电弧 GMAW 焊接工艺

孙清洁^{1,2}, 程文倩², 刘一搏^{1,2}, 冯吉才^{1,2}, 蔡春伟^{1,2}, 刘 准²

(1. 哈尔滨工业大学 先进焊接与连接国家重点实验室, 哈尔滨 150001;
2. 哈尔滨工业大学(威海) 山东省特种焊接技术重点实验室, 威海 264209)

摘 要: 采用 Q235 低碳钢板, 研究了旋转电弧 GMAW 焊接旋转频率和焊接速度两个工艺参数对焊缝成形及组织性能的影响。结果表明, 焊接过程中飞溅随着旋转频率的增加而增多, 焊缝成形不美观, 当旋转频率大于 70 r/min, 熔滴短路过渡飞溅显著增大, 焊接过程不稳定, 焊接速度对飞溅影响不大; 焊缝余高随旋转频率的增加先增大后维持一定值, 随着焊接速度的增加而减小; 旋转频率和焊接速度对焊缝熔宽的影响很小; 焊缝截面积不随旋转频率改变而改变, 但随着焊接速度的增加而减小; 焊缝鱼鳞纹间距与旋转频率成反比, 与焊接速度成正比。

关键词: 旋转电弧; GMAW 焊接; 焊接工艺

中图分类号: TG 444 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2015)11-0029-04

0 序 言

随着工业技术的发展, 厚板以及超厚板焊接结构的应用越来越广泛, 传统的焊接方法已经很难满足其对焊接接头的性能要求^[1]。1963 年美国 Battelle 研究所开发了一种窄间隙焊接方法 (narrow gap welding, NGW)^[2,3]。这种方法最大的特点是坡口间隙很小, 厚板焊缝截面积大大减少, 从而降低了焊接工程量和生产成本, 即便在较小焊接工艺参数下, 也可以保证较高的焊接生产率^[4]。目前常见的窄间隙焊接方法有弯曲焊丝电弧摆动、电弧旋转和双丝三种方法。与弯曲焊丝和双丝方法相比, 旋转电弧方法不但可以明显改善焊缝成形, 还能促进熔滴过渡, 因此普遍认为旋转电弧方法是一种更为实用的方法^[5,6]。目前人们对旋转电弧 GMAW 的研究主要集中在高速旋转电弧传感器、熔滴过渡和数值模拟等领域, 对旋转电弧 GMAW 焊接工艺并没有进行深入研究^[7-9]。文中则采用自行设计的旋转电弧窄间隙焊炬, 对旋转电弧 GMAW 平板堆焊旋转频率和焊接速度对焊缝成形的影响进行了探索和研究。

1 试验方法

试验采用自行设计的新型旋转电弧窄间隙焊

炬, 电机带动双偏心转动芯, 驱动导电杆和导电嘴, 围绕设定的旋转原点做双锥摆转动, 焊丝由导电嘴送出, 与窄间隙侧壁接触后引燃电弧, 进行焊接, 新型可控旋转电弧焊炬的原理如图 1 所示。

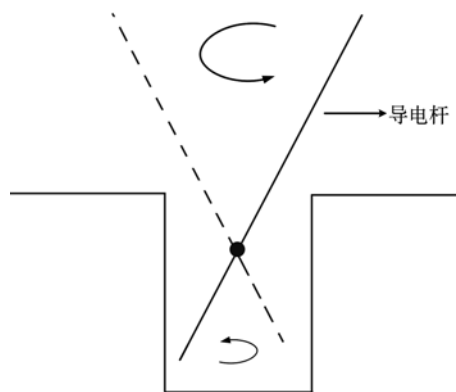


图 1 新型旋转电弧窄间隙焊炬示意图

Fig. 1 Schematic of welding torch in rotating arc welding

母材选用 Q235 低碳钢板, 尺寸为 400 mm × 300 mm × 5 mm, 焊丝牌号为 H08Mn2Si。焊接过程采用直流反接, 焊炬带动焊丝做圆周运动, 焊接平台带动板材做水平直线运动。保护气体为 80% Ar 和 20% CO₂ 的混合气体, 流量为 25 L/min, 电弧电压为 21 V, 焊接电流为 120 A。

焊后对每块金相试样的余高、熔宽和焊缝面积进行测量和计算。维氏硬度试验以焊缝中心线为基准线, 垂直于熔合线从焊缝向母材每隔 0.5 mm 依次打点, 如图 2 所示。

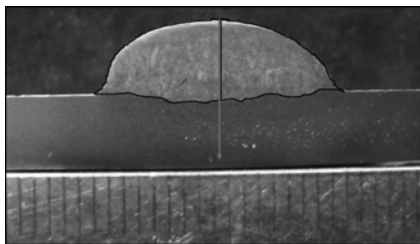


图 2 维氏硬度试验选点示意图

Fig. 2 Schematic of site selection in Vickers hardness test

2 试验结果与分析

2.1 旋转频率对旋转电弧焊接工艺的影响

焊接速度为 90 mm/min, 依次改变旋转频率进行试验. 焊缝鱼鳞纹间距随旋转频率的增大而减小, 旋转频率大于 70 r/min 时, 鱼鳞纹间距不明显, 熔滴短路过渡飞溅增大, 焊接过程不稳定, 焊缝余高存在一定起伏, 焊缝成形不美观, 如图 3 所示. 这是由于当旋转频率增加时, 熔池金属的重熔次数会相应增多, 熔池金属的温度升高, 增加了熔池高温的停留时间, 同时离心力随着旋转频率的增加而增大, 使得焊接过程不稳定, 余高存在一定起伏.

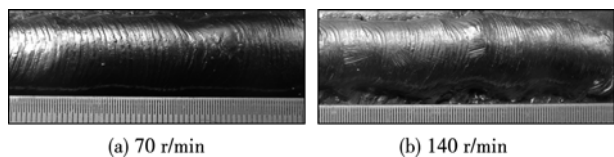


图 3 不同旋转频率下的焊缝外观形貌

Fig. 3 Weld bead at different rotation frequency

焊缝余高、熔宽和旋转频率的关系如图 4 所示. 当旋转频率小于 50 r/min 时, 余高随着旋转频率的增加而增大, 当旋转频率超过 50 r/min 后, 余高无明显变化. 这是由于随着旋转频率的增加, 熔滴过渡频率增加, 单位时间内熔化的金属增多, 余高增加. 但同时随着旋转频率的增加, 电弧的离心力也逐渐增大, 液态金属会在偏离焊缝中心处冷却结晶, 因此当旋转频率大于 50 r/min 时, 焊缝余高不再继续增大, 维持稳定. 旋转频率对熔宽的影响不大. 旋转频率为 10 r/min 出现的特殊点是由于旋转频率较低, 液态金属在某一点的高温停留时间过长, 导致过多的液态金属在旋转圆周上冷却结晶, 熔宽较大. 旋转频率对焊缝面积的影响不大, 极差仅为 0.090 1, 如图 5 所示.

对金相试样进行显微观察, 在低倍镜下 (100×) 观察微观组织, 发现当旋转频率大于 70 r/min 时, 焊

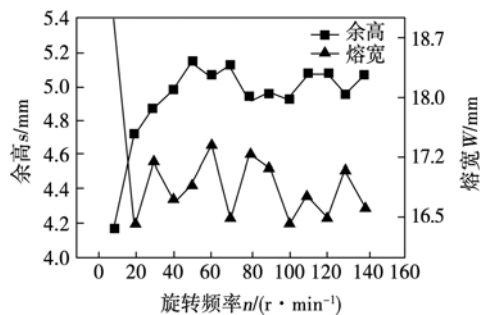


图 4 旋转频率对余高熔宽的影响

Fig. 4 Effect of rotation frequency on reinforcement and penetration

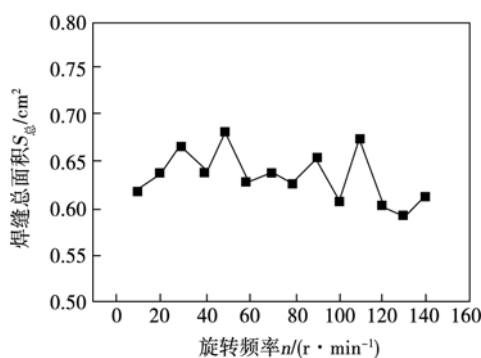


图 5 旋转频率对焊缝总面积的影响

Fig. 5 Effect of rotation frequency on section area of weld

缝熔合线附近普遍出现较大裂痕, 即出现未熔合缺陷, 如图 6 所示. 这是由于随着旋转频率的增加, 电弧离心力增大, 母材金属未得到充分熔化就被液态金属覆盖, 从而形成未熔合缺陷.

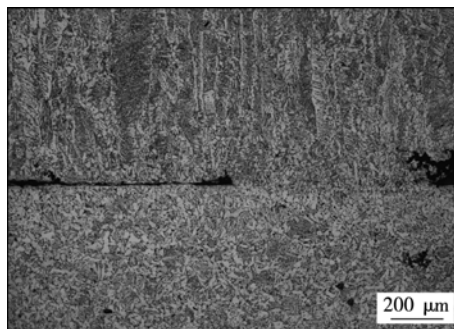


图 6 旋转频率 70 r/min 的熔合线微观组织

Fig. 6 Microstructure in fusion lines of 70 r/min

取焊缝成形良好且熔合较好的四组焊缝进行维氏硬度分析, 这四组焊缝所对应的旋转频率分别为 20, 30, 40 和 50 r/min. 不同旋转频率下焊接接头的显微硬度如图 7 所示, 旋转电弧 GMAW 焊的焊接接头的硬度分布不均, 有淬硬区和软化区, 其中最大值出现在热影响淬硬区, 这与此区域的马氏体组织有

关. 比较四条曲线可知旋转频率对热影响区硬度影响不大.

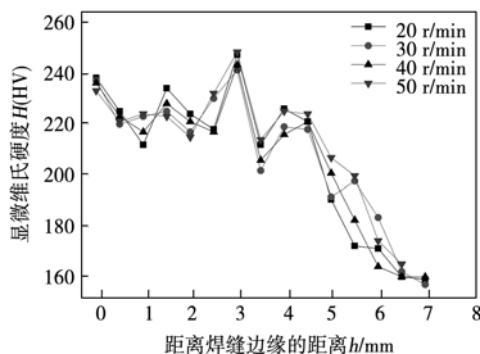


图 7 不同旋转频率下焊接接头的显微维氏硬度

Fig. 7 Micro-hardness of different rotation frequency

2.2 焊接速度对旋转电弧焊接工艺的影响

旋转频率为 30 r/min, 依次改变焊接速度进行试验. 焊接过程中焊接速度对焊接过程的飞溅无明显影响, 整个过程飞溅较小. 当焊接速度低于 70 mm/min 时, 液态金属在母材表面明显铺展不开, 焊道两侧过渡很陡. 随着焊接速度的增加液态金属在母材表面的铺展情况逐渐改善, 焊缝表面余高逐渐降低, 但当焊接速度大于 130 mm/min 时, 鱼鳞纹间隙过大, 焊缝成形变差, 如图 8 所示.

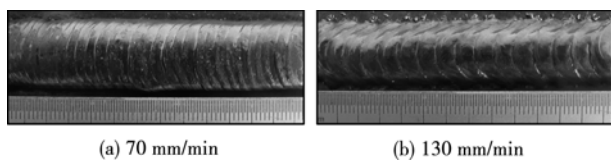


图 8 不同焊接速度下的焊缝外观

Fig. 8 Weld bead at different welding speed

焊缝余高、熔宽及焊缝总面积和焊接速度的关系如图 9 和图 10 所示, 随着焊接速度的增加, 焊缝的余高、熔宽及焊缝总面积都会逐渐减小, 其中焊接速度对焊缝的余高和焊缝的总面积影响比较明显, 对焊缝的熔宽影响比较小.

在低倍镜下 (100×) 观察金相试样, 当焊接速度小于 70 mm/min 时, 熔合线附近出现未熔合缺陷, 如图 11 所示.

取焊缝成形良好且熔合较好的四组焊缝进行维氏硬度分析, 这四组焊缝所对应的焊接速度分别为 80, 90, 100 和 110 mm/min. 不同焊接速度下焊接接头的显微硬度结果如图 12 所示, 随着焊接速度的增大, 热影响区硬度先减小后增大, 这是由于当焊接速

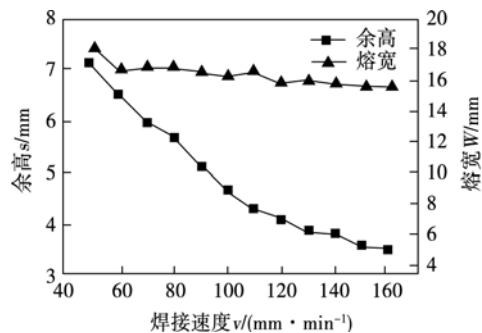


图 9 焊接速度对余高熔宽的影响

Fig. 9 Effect of welding speed on reinforcement and penetration

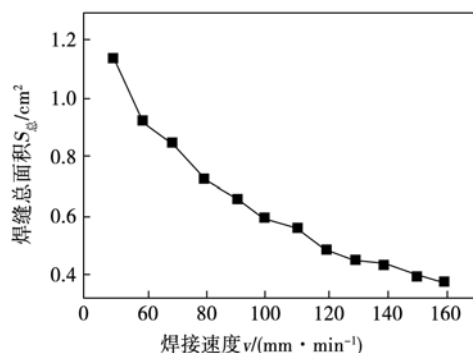


图 10 焊接速度对焊缝总面积的影响

Fig. 10 Effect of welding speed on section area of weld

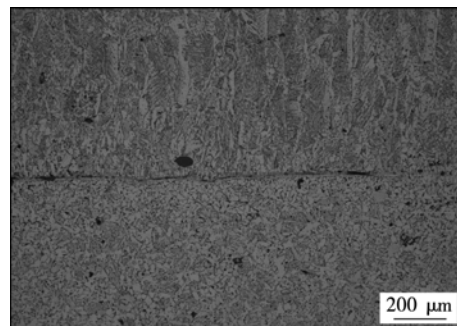


图 11 焊接速度 70 mm/min 熔合线处微观组织

Fig. 11 Microstructure in fusion lines of 70 mm/min

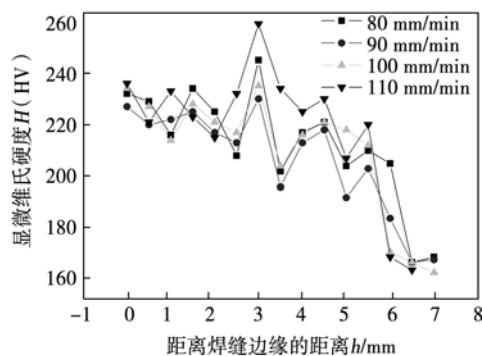


图 12 不同焊接速度下焊接接头的显微维氏硬度

Fig. 12 Micro-hardness at different welding speed

度较小时,热输入量大,容易形成魏氏体组织,并且碳化物大量析出长大,硬度较大;当焊接速度增大时,马氏体有了一定程度的长大,同时有少量的下贝氏体组织生成,硬度有所下降;当焊接速度过大时,热输入量不足,热影响区为低碳马氏体组织,硬度最高。

3 结 论

(1) 研究了旋转电弧 GMAW 焊接工艺,分析了旋转频率和焊接速度对焊缝成形及力学性能的影响,获得了最佳焊接工艺参数范围。

(2) 旋转频率对焊缝余高有明显作用。随着旋转频率的增加,余高先增大后维持稳定。旋转频率大于 70 r/min 时,鱼鳞纹间距不明显,熔滴短路过渡飞溅显著增大,焊接过程不稳定,余高存在一定起伏,焊缝成形不美观,焊缝熔合线附近出现未熔合缺陷。

(3) 焊接速度对余高和焊缝总面积及热影响区硬度有明显影响。随着焊接速度的增加,焊缝余高和焊缝总面积逐渐减小,焊接速度对焊接飞溅无明显影响。焊接速度低于 70 mm/min 时,液态金属在母材表面明显铺展不开,焊道两侧过渡很陡,产生未熔合缺陷。焊接速度大于 130 mm/min 时,鱼鳞纹间隙过大,焊缝成形变差。热影响区硬度随焊接速度的增加先减小后增大。

参考文献:

- [1] 王加友, 国宏斌, 杨 峰. 新型高速旋转电弧窄间隙 MAG 焊接[J]. 焊接学报, 2005, 26(10): 65-67.
Wang Jiayou, Guo Hongbin, Yang Feng. A new rotating arc process for narrow gap MAG welding[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2005, 26(10): 65-67.
- [2] 赵 博, 范成磊, 杨春利, 等. 高速旋转电弧窄间隙 MAG 焊缝成形的分析[J]. 焊接学报, 2008, 29(9): 109-112.
Zhao Bo, Fan Chenglei, Yang Chunli, *et al.* Influence of welding parameters on bead formation in high-spin-arc narrow gap MAG[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2008, 29(9): 109-112.
- [3] 黄 晖, 贾剑平, 黎和昌. 基于 ANSYS 平台的旋转电弧传感器焊接热过程模拟[J]. 南昌大学学报: 工科版, 2007, 29(1): 22-24.
Huang Hui, Jia Jianping, Li Hechang. Simulating technology for welding thermal process of the rotating arc sensor based on ANSYS[J]. Journal of Nanchang University (Engineering & Technology Edition), 2007, 29(1): 22-24.
- [4] Nomura H, Sugitani Y, Kobayashi Y. Development of automatic fillet welding process with high speed rotating arc[J]. Transactions of the Japan Welding Society, 1987, 18(2): 26-34.
- [5] Kodama M, Goda H, Wabuchi H I. Simultaneous control of torch aiming and deposition rate to groove gap with high-frequency oscillation arc sensor[J]. Welding International, 2002, 16(3): 196-204.
- [6] 卢振洋, 黄鹏飞, 蒋观军, 等. 高速熔化极气体保护焊机理及工艺研究现状[J]. 焊接, 2006(3): 16-20.
Lu Zhenyang, Huang Pengfei, Jiang Guanjun, *et al.* Study status of techniques and mechanism of high-speed MIG/MAG welding[J]. Welding & Joining, 2006(3): 16-20.
- [7] 郭 宁, 林三宝, 张亚奇, 等. 旋转电弧横向 GMAW 接头组织及成形特点[J]. 焊接学报, 2009, 30(8): 101-104.
Guo Ning, Lin Sanbao, Zhang Yaqi, *et al.* Impact ductility of rotating arc narrow gap horizontal GMAW joint[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2009, 30(8): 101-104.
- [8] 范成磊, 梁迎春, 杨春利, 等. 2519 高强铝合金双丝 GMAW 焊接工艺[J]. 焊接学报, 2006, 27(10): 15-18.
Fan Chenglei, Liang Yingchun, Yang Chunli, *et al.* Tandem GMAW procedure of 2519 high strength aluminum alloy[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2006, 27(10): 15-18.
- [9] Sugitani Y, Murayama M, Etoh S, *et al.* Development of articulated arc welding robot with high speed rotating arc process[J]. Nippon Kokan Technical Report Overseas, 1989(57): 111-117.

作者简介: 孙清洁,男,1980 年出生,博士,副教授。主要从事厚板窄间隙、复合电弧及高效化焊接方面的研究工作。发表论文 20 余篇。Email: qjsun@hit.edu.cn

通讯作者: 刘一博,男,博士。Email: liuyb0701@hit.edu.cn