

附加补偿保护气体对高速脉冲 MIG 焊焊缝的影响

董昌文^{1,2}, 薛家祥¹, 徐 敏¹, 朱 强¹

(1. 华南理工大学 机械与汽车工程学院, 广州 510641; 2. 贵州民族大学 理学院, 贵阳 550025)

摘 要: 针对高速脉冲 MIG 焊易出现咬边、驼峰焊道等焊接缺陷, 首次采用附加补偿保护气体方法, 在靠近脉冲 MIG 焊焊枪喷嘴保护气罩的后端专门构建保护气体支路, 通过该支路三通气阀控制补偿保护气体流量, 对刚脱离焊枪喷嘴的高温固液态焊缝实施人工干预成形和焊缝表面二次气体保护。以 18-8 型奥氏体不锈钢薄板为母材作平板堆焊试验, 结果表明, 引入适量附加补偿保护气体后, 既能明显改善焊缝成形, 又能对焊缝表面实施及时跟踪保护, 对抑制单丝高速脉冲 MIG 焊时易出现的焊接缺陷改善效果明显, 焊接效率可实现较大提升, 在理论和工艺实践上具有进一步研究价值。

关键词: 补偿保护气体; 高速焊; 人工干预; 焊缝成形; 抑制缺陷

中图分类号: TG 446⁺.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2015)12-0085-04

0 序 言

提高焊接生产率的重要途径之一就是提高焊接速度, 基本出发点是提高焊接速度的同时增大焊接电流, 以维持焊接热输入在一个合理的水平。但实践证明, 仅依靠提高焊接速度和焊接电流并不能实现高速焊接的目的。因为随着焊接速度的提高会带来一些与常规速度焊接时不同的问题, 其中最主要的问题是焊缝成形差, 出现咬边、驼峰焊道等焊接缺陷, 无法投入生产实际应用^[1,2]。

一般认为气体保护焊中的保护气体主要作为电弧介质, 并保护电弧、熔化金属及焊接高温区金属而存在的^[3-5], 但对保护气体直接改善焊缝成形方面的研究则不多。文中提出延长焊缝气体保护时间和人工干预焊缝成形的附加补偿保护气体新方法。该方法通过改进现有焊接设备, 在焊枪喷嘴部位构建补偿保护气体新支路, 为高温固液态焊缝提供补偿性保护气体, 实现人工干预焊缝成形和焊缝保护双重功能。经大量工艺试验证明, 该方法能有效抑制高速焊接过程中咬边和驼峰焊道等焊接缺陷, 是实现低成本下气体保护单丝焊向高速焊接目标靠近的有效方法。

1 补偿保护原理及设计

焊缝保护气体补偿方法的基本原理是以现有气

体保护焊接技术为基础, 侧重关注刚脱离电弧及保护气体的区域, 但仍处于高温固液态焊缝一次成形不良和较早暴露于空气环境的问题, 专门为高温的固液态焊缝构建单一、稳定、保护气体多参数可控可调的焊缝补偿保护气体支路, 实现对脱离电弧区焊缝进行人工干预成形、气体及时跟踪保护的目的。按照该原理对目前应用广泛的脉冲熔化极惰性气体保护 MIG 焊装置实施改造。该装置以自行研制的数字化弧焊电源为核心^[6], 通过适当的电路、气路改造, 实现了补偿保护气体对焊缝的再保护与人工干预成形。焊缝补偿保护气体原理示意图如图 1 所示。

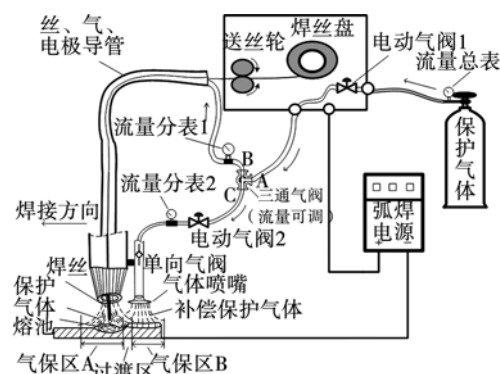


图1 焊缝补偿保护气体原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of operating principles of compensation shielding gas for welding seams

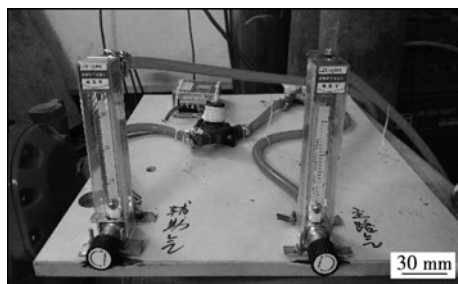
该方法相比传统气体保护焊而言, 突破现有保护气体局限于焊枪喷嘴覆盖区域的界限, 达到了 3

个目的:(1) 引入人工干预焊缝成形概念,使高速焊接条件下抑制咬边、未熔合、驼峰焊道等焊接缺陷成为可能。(2) 延长高温固液态焊缝保护时长,一定程度上可改善焊缝物理化学性能,提高焊接质量。(3) 对于常规速度焊接而言,可以大幅度减轻前端设备焊接参数匹配压力,为非匹配参数下的恶劣焊缝提供了有效的修复措施。

图 1 中保护气瓶、焊接电源、送丝机作为气体保护焊的“源”部分,分别为保护气源、焊接能量源、焊材粘接材料源,三部分均有各自通路和伺服机构。装置改造对象主要集中在气源部分,即根据焊缝成形和保护需要,改造送丝机气路结构,增加三通气体可调阀门,增加 B 支路(入焊枪导管的保护气体支路)和 C 支路(附加补偿保护气体支路)气体流量表,增加电动气阀 2 和单向阀门,增加紧靠焊枪喷嘴的补偿保护气喷嘴头,构成了与原有焊接设备有机融合、各支路气体流量大小可调,流量可读的新气路系统。该新增气流系统工作原理是位于气瓶处的气源经气体导管进入送气支路的电动气阀 1,该电动气阀由焊枪手柄处按钮控制。当焊接开始时,该气阀打开,保护气经阀门进入送丝机内气体导管,该导管穿过送丝机机箱,连到三通气体可调阀门 A 端。三通气体可调阀通过调节旋钮,可实现对总路来的气体实现大小分配,使 B、C 出气管道输出适量的气体。C 支路气流即为新增补偿气体气流,它从三通阀门口 C 输出,由电动气阀 2 控制气流通断,再经单向阀门后从补偿气体喷嘴喷出。单向阀门用于防止空气回流滞留于导管内,影响保护气体纯度。经补偿气体喷嘴喷出的气流覆盖在刚脱离电弧区的焊缝上,使原本应暴露于空气中的焊缝获得了稳定、持续的气体保护,气流同时对未及凝固的熔滴和熔池具有搅拌调整作用,可改善焊缝外观成形,提高焊缝质量。按照焊缝补偿保护气原理示意图 1,设计了主辅两路保护气流通路控制装置并改造焊枪喷嘴,如图 2 所示。

2 试验结果及分析

选择 18-8 型奥氏体不锈钢作平板堆焊工艺试验,焊接瞬时电参数通过自制的小波分析仪采集,通过除补偿保护气体因素外,保持其它焊接参数一致的方式,进行了大量工艺试验,焊接电源采用 POWER PULSE-II 型直流脉冲弧焊电源,试验主要参数为脉冲峰值电流 $I_p = 347.8$ A,峰值时间 $t_p = 8$ ms,脉冲基值电流 $I_b = 217.4$ A,基值时间 $t_b = 7$ ms,平均电流公式为^[7]



(a) 主辅两路保护气通路控制板



(b) 经改造后的焊枪喷嘴

图 2 局部装置改造图

Fig. 2 Some part reform figure

$$I_a = \sqrt{(1-\delta)I_b^2 + \delta I_p^2} \quad (1)$$

式中: δ 为占空比,由式 $\delta = \frac{t_p}{t_p + t_b}$ 可得,平均电流约为 294.23 A。

母材厚度为 2.5 mm;焊丝选用不锈钢实芯焊丝 308,成分为 0Cr19.03Ni10.05Mn1.84Si0.75,直径为 1.6 mm;主路和支路保护气体均为 99.99% 氩气,主路和补偿支路保护气体流量均为 15.0 L/min;焊接速度为 2 000 mm/min,送丝速度 4 330 mm/min。经小波滤波后的焊接瞬时电流波形如图 3 所示,试验所得焊缝对比如图 4 所示。

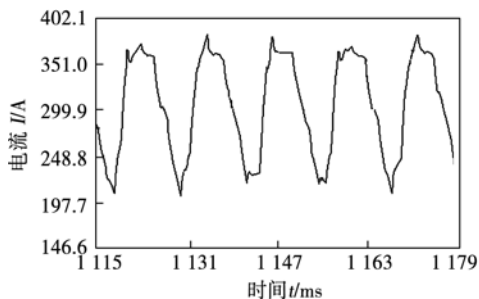


图 3 小波滤波后的瞬时电流波形

Fig. 3 Instantaneous current waveforms after wavelet filtration

试验中小车带动焊枪近似作匀速运动,故可视为全程等速焊接;主、支路气流量近似为恒定气流;送丝速度及焊接电流、电压在允许的波动范围内。焊接电源采用 DSP 芯片控制的恒流输出模式,由

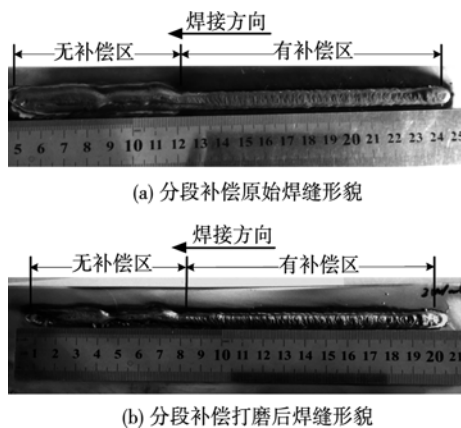


图 4 焊接速度为 2 000 mm/min 分段补偿焊缝成形对比
Fig. 4 Comparison between seam sections resulted from welding speed of 2 000 mm/min

图 3 波形可知,电流脉冲按程序设定参数发生变化,并由小波分析仪进行滤波处理,脉冲峰值、基值及时间稳定. 图 4a 所示为原始焊缝,在有补偿保护气体作用时,焊缝熔宽较宽且平直,焊缝整体匀称,焊缝两旁炭黑较深;撤除保护气段焊缝成形不好,且焊缝周边出现蓝绿色条纹,呈现出高温氧化迹象,这明显区别于附加了保护气体的区域. 图 4b 所示为经打磨后的焊缝形貌,焊缝整体呈现银白光泽. 加补偿气部分焊缝平直匀称,无咬边及驼峰现象;撤除附加保护气部分则出现明显驼峰现象,表明熔滴在凝固过程中是不均匀堆积,中间部分因熔滴张力作用而几乎呈中断状态,焊缝成形较差. 整体来看该焊缝除补偿保护气体差异外其它参数可认为相同,但所得焊缝外观形状差异较大,加补偿保护气体段焊缝明显优于不加保护气体焊缝.

为进一步提高焊接速度,改变脉冲电流参数,取脉冲峰值电流 $I_p = 360$ A,峰值时间 $t_p = 8$ ms,脉冲基值 $I_b = 250$ A,基值时间 $t_b = 7$ ms,则通过计算得输出平均电流约为 313.5 A,热输入输出增大,送丝速度调节到 7 920 mm/min,分别提高焊接速度到 2 700 mm/min 和 3 150 mm/min,经小波滤波后的焊接瞬时电流电压波形如图 5 所示. 分段补偿保护气体焊缝对比如图 6 所示.

图 5 为经小波分析仪采集的焊接瞬时电流波形,相比图 3 瞬时电流波形,可以看出峰值电流和基值电流增大,峰值电流时间和基值电流时间保持不变,即占空比不变. 参数变化反映了输出热输入的增大,主要考虑焊接速度增加到 2 700 mm/min 和 3 150 mm/min,比图 3 采用的焊接速度 2 000 mm/min 分别提高了 35% 和 57.5%. 图 6 与图 4 相比,未加补偿保护气体段因焊接速度进一步增加,液态熔滴

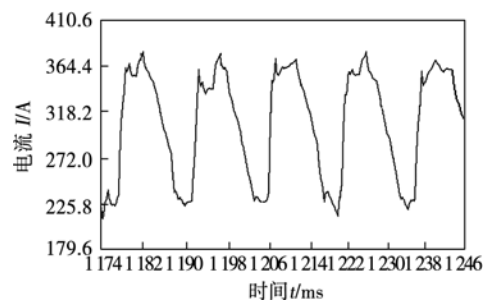


图 5 小波滤波后的瞬时电流波形

Fig. 5 Instantaneous currents after wavelet filtration

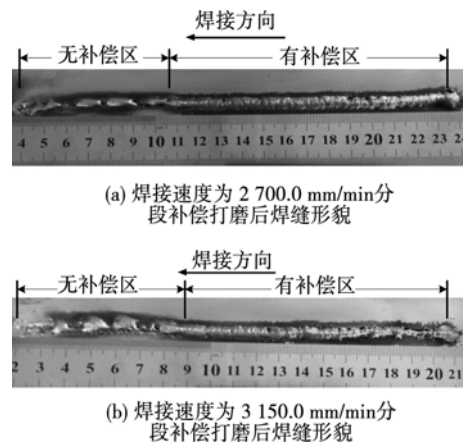


图 6 不同焊接速度分段补偿保护气体焊缝成形对比

Fig. 6 Comparison between seam sections resulted from different welding speeds and gas shielding

在表面张力作用下向中间收缩直至断裂,出现明显弧坑. 图 6a 与图 6b 对比可以看出在相同热输入输出条件下,若焊接速度过大,会加重不良焊缝修复难度,如图 6b 的附加补偿气体保护段焊缝从起始位置至约 50 mm 处焊缝成形不好. 经比较可知采用附加补偿保护气体方法可以使焊接缺陷得到明显矫正,并延长了高温固液态熔滴隔绝空气和水分的時間.

3 结 论

- (1) 焊缝保护气体范围扩大、保护时间延长,可使焊缝物理冶金性能得到一定程度优化.
- (2) 对因焊接参数匹配不好而导致成形不好或成形一般的焊缝改善作用明显.
- (3) 相比目前脉冲 MIG 焊技术水平,单丝薄板焊接速度可提高到 3 000 mm/min 以上,实现节能增效.

参考文献:

- [1] 黄石生,蒋晓明,薛家祥,等. 双丝高速软开关脉冲 MAG 焊

- 装备[J]. 焊接学报, 2007, 28(3): 5-8.
- Huang Shisheng, Jiang Xiaoming, Xue Jiaxiang, *et al.* High-speed soft-switching twin-wire pulsed MAG welding equipment [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2007, 28(3): 5-8.
- [2] 娄小飞, 陈茂爱, 武传松, 等. 高速 TIG-MIG 复合焊焊缝驼峰及咬边消除机理[J]. 焊接学报, 2014, 35(8): 87-90.
- Lou Xiaofei, Chen Maoai, Wu Chuansong, *et al.* Humping and undercutting suppression mechanism for high-speed TIG-MIG hybrid welding[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2014, 35(8): 87-90.
- [3] 殷树言. 气体保护焊工艺基础及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [4] 王积昌, 许鸿吉, 焦建强, 等. 双层气体保护焊的试验研究[J]. 大连铁道学院学报, 1992, 13(3): 88-93.
- Wang Jichang, Xu Hongji, Jiao Jianqiang, *et al.* Study on double-layer gas shielded arc welding[J]. Journal of Dalian Railway Institute, 1992, 13(3): 88-93.
- [5] 陆善平, 李冬杰, 李殿中, 等. 双层气流保护 TIG 焊接方法[J]. 焊接学报, 2010, 31(2): 21-24.
- Lu Shanping, Li Dongjie, Li Dianzhong, *et al.* Double shielded TIG welding method[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2010, 31(2): 21-24.
- [6] 黄石生. 弧焊电源及其数字化控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [7] 杨明轩, 丛宝强, 齐铂金, 等. 脉冲电流参数对奥氏体不锈钢电弧行为的影响[J]. 焊接学报, 2012, 33(10): 67-70.
- Yang Mingxuan, Cong Baoqiang, Qi Bojin, *et al.* Influence of pulse current parameters on arc behavior by austenite stainless steel [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2012, 33(10): 67-70.

作者简介: 董昌文,男,1976 年出生,博士研究生,高级实验师. 主要从事仪器设备检测及制造教学科研工作. 发表论文 10 余篇. Email: dcwyesok@sina.com

通讯作者: 薛家祥,男,博士,教授,博士研究生导师. Email: mejiaxue@scut.edu.cn

[上接第 34 页]

机参数寻优,进行主成分分析降维后对焊缝宽度进行预测,可以得到较好的预测结果,为激光焊接状态监控提供试验依据.

致谢:

感谢日本大阪大学接合科学研究所片山实验室提供的焊接试验帮助.

参考文献:

- [1] 高向东,刘永华. 激光焊接不锈钢微间隙焊缝偏差小波变换检测法[J]. 焊接学报, 2015, 36(3): 1-4.
- Gao Xiangdong, Liu Yonghua. Detection of micro-gap seam offset based on wavelet transformation during high-power fiber laser welding[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2015, 36(3): 1-4.
- [2] Vishnuvaradhan S, Chandrasekhar N, Vasudevan M, *et al.* Intelligent modeling using adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS) for predicting weld bead shape parameters during A-TIG welding of reduced activation ferritic-martensitic (RAFM) steel [J]. Transactions of the Indian Institute of Metals, 2013, 66(1): 57-63.
- [3] Kuhl M, Neugebauer R, Mickel P M. Methods for a multi sensor system for in-line process and quality monitoring of welding seams using fuzzy pattern recognition[C]// The 12th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, Univ Patras, Patras, 2007: 1-3.
- [4] 申俊琦, 胡绳荪, 冯胜强, 等. 基于支持向量机的焊缝尺寸预测[J]. 焊接学报, 2010, 31(2): 103-106.
- Shen Junqi, Hu Shengsun, Feng Shengqiang, *et al.* Bead geometry prediction based on SVM[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2010, 31(2): 103-106.
- [5] Kim I S, Son J S, Park C E, *et al.* An investigation into an intelligent system for predicting bead geometry in GMA welding process [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2005, 159(1): 113-118.
- [6] Zhou J, Li X B, Shi X Z, *et al.* Predicting pillar stability for underground mine using Fisher discriminant analysis and SVM methods[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2011, 21(12): 2734-2743.
- [7] Guo Z Q, Wang H Q, Liu Q. Financial time series forecasting using LPP and SVM optimized by PSO[J]. Soft Computing, 2013, 17(5): 805-818.
- [8] Gao X D, You D Y, Katayama S. Seam tracking monitoring based on adaptive kalman filter embedded elman neural network during high-power fiber laser welding[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2012, 59(11): 4315-4325.

作者简介: 高向东,男,1963 年出生,教授,博士研究生导师. 主要从事焊接自动控制研究工作. 发表论文 200 余篇. Email: gaoxid666@126.com