文章编号:1006-2467(2015)03-0293-04

DOI: 10. 16183/j. cnki. jsjtu. 2015. 03. 001

# 单电源双丝旁路耦合电弧熔化极气体保护焊工艺

石 玗, 周 海, 朱 明, 王桂龙

(兰州理工大学 省部共建有色金属先进加工与再利用国家重点实验室,兰州 730050)

摘 要:针对常规双丝旁路耦合电弧熔化极气体保护焊(GMAW)的控制过程较复杂、焊接成本较高等问题,提出了采用单电源实现双丝旁路耦合电弧 GMAW 的方法,并设计了采用快速原型技术的实验系统.同时,进行了大量焊接工艺实验.实验结果表明:采用单电源的双丝旁路耦合电弧 GMAW 可以稳定焊接,但相对于双电源的双丝旁路耦合电弧 GMAW 其稳定工作区间更窄;通过调节旁路送丝速度快慢的焊接工艺实验,分别找到了在主路电流为 300、350、400、450、500、550A 时旁路送丝速度的稳定工艺区间.

关键词:单电源;双丝;旁路耦合电弧焊;熔滴过渡

中图分类号: TG 409 文献标志码: A

# Welding Process of Consumable Double–Electrode GMAW with Single Power Supply

SHI Yu, ZHOU Hai, ZHU Ming, WANG Gui-long
(State Key Laboratory of Advanced Processing and Recycling of Nonferrous Metals,
Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: To decrease the welding costs, an innovation was proposed to realize a stable consumable double-electrode gas metal arc welding process with single power supply. Based on the xPC target system with real-time target environment, welding experiments were conducted. The results show that a stable welding process was realized; the stable welding parameter of bypass wire feed speed were also acquired when the main welding current was 300,350,400,450,500 or 550A.

Key words: single power supply; double-electrode; gas metal arc welding; metal transfer

高效、优质、低耗是当前制造业对焊接技术提出的迫切要求,也是焊接技术发展的方向[1].企业为了提高其市场竞争力,都在致力于提高生产效率,降低产品的生产成本<sup>[2]</sup>.因此,如何进一步提高生产效率,成为当前焊接工作者研究的热点问题<sup>[3]</sup>.国内外相关的研究人员已提出了多种新型双丝高效 MIG/MAG(Metal-Inert Gas Welding/Metal Active-Gas Welding)方法,如 Tandem、Twins 焊接方法等,并

在一些产品中得到了成功应用<sup>[4]</sup>. 然而, Tandem、Twins 等都是焊丝与母材同电流的焊接方法, 随着焊接电流的增大,以上焊接方法的母材热输入也越来越大,引起焊缝晶粒粗大,造成母材韧性的下降和残余应力的提高.

针对母材电流增大这一问题,美国肯塔基大学提出了双丝旁路耦合电弧熔化极气体保护焊(Gas

收稿日期:2014-07-03

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)前期研究专项项目(2014CB6608107),国家自然科学基金项目(51305189),陇原青年创新人才扶持计划项目,甘肃省自然科学基金项目(145RJZA119),兰州理工大学红柳杰出青年项目(J201201)资助

作者简介:石 玗(1973-),男,甘肃省兰州市人,教授,博士生导师,主要从事焊接物理、先进焊接方法、焊接自动化与焊接数值模拟等方面的研究.电话(Tel.): 0931-2976682;E-mail: shiyu@lut.cn.

Metal Arc Welding,GMAW)方法,可以同时实现高焊丝熔化率和低母材热输入的焊接[5-7]. 近年来,国内外学者就双丝旁路耦合电弧 GMAW 方法展开了大量的研究,文献[8]中理论分析了该方法适用于高效焊接,并建立了双丝旁路耦合电弧 GMAW 的动态数学模型. 文献[9]中提出了通过旁路送丝速度控制旁路弧长从而保证焊接过程稳定性、通过控制旁路电流调节流经母材电流的双变量解耦控制方案并进行了模拟与分析,证明可以通过控制旁路送丝来实现对母材热输入的控制,从而达到高效率、高质量、低热输入可控的焊接.

以上双丝旁路耦合电弧 GMAW 过程均采用两个电源供电,分别为主路电源和旁路电源,这样的多电源供电系统导致其控制过程较复杂、焊接成本较高. 为了简化控制过程、降低焊接成本,本文采用单电源双丝旁路耦合电弧 GMAW 方法,并对其焊接工艺进行了研究.

### 1 实验原理及系统

#### 1.1 实验原理

单电源的双丝旁路耦合电弧 GMAW 原理如图 1 所示. 焊接系统中,主路焊炬与旁路焊炬接在同一个焊接电源上. 主路焊丝接电源正极,旁路焊丝接电源负极. 焊接过程中熔化主路焊丝的电流在电弧弧柱区分为两部分:一部分为流经母材的电流  $I_{\rm bm}$ ; 另一部分为旁路电流  $I_{\rm bp}$ ,主路电流为  $I_{\rm main}$ ,并且  $I_{\rm bm}$  =  $I_{\rm main}$  —  $I_{\rm bp}$ ,使得用于熔化焊丝的电流较高,有利于提高焊丝的熔敷率. 而通过旁路焊炬分流了一部分流入母材的焊接电流,用来熔化旁路焊丝,这样在保证了熔敷率的同时,还减小了母材的热输入.

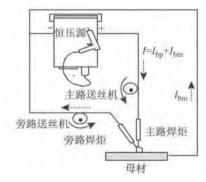


图 1 单电源的双丝旁路耦合电弧 GMAW 原理

Fig. 1 Schematic diagram of single power supply of consumable DE-GMAW

#### 1.2 实验系统

通过单电源实现双丝旁路耦合电弧 GMAW,需要有电源供电,即需要选用恒压源或恒流源来供

电. 选用恒流特性电源时,虽然焊接电流稳定,但是主、旁路弧长都需要对送丝速度控制来保证焊接过程的稳定性,控制过程比较复杂;采用恒压源,由于其电弧自调节特性不需要对其送丝速度进行控制,简化了控制过程,因此文中选用平特性电源进行双丝旁路耦合电弧 GMAW 的工艺实验.

同时,采用快速原型技术,开发了如图 2 所示的单电源下双丝旁路耦合电弧 GMAW 实验系统.整个系统的硬件主要包括一台数字化恒压焊机、单轴焊接工作台、西门子变频器控制行走小车,两台工控机分别用于控制工作台和显示电信号,高速摄像采集系统采集熔滴过渡行为,研华 ADAM-3014 标准电压隔离模块以及霍尔电流传感器 CSM500FA/100 mA 用于实时采集电流信号.

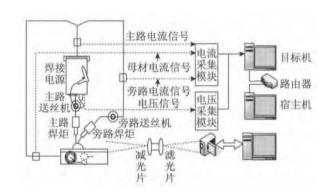


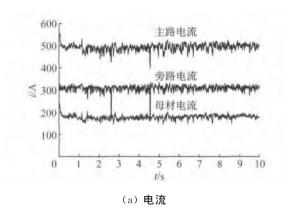
图 2 单电源双丝旁路耦合电弧 GMAW 实验平台 Fig. 2 Test platform of single power supply of consumable DE-GMAW

# 2 实验结果及分析

#### 2.1 实验

采用已建立的快速原型实验系统,进行了单电源双丝旁路耦合电弧 GMAW 的实验. 实验材料为8 mm 厚的 Q235 低碳钢板,主路保护气体为纯氩气,气体流量 15 L/min;旁路保护气体为 80% Ar+20% CO<sub>2</sub> 混合气体,气体流量 15 L/min;使用直径为 1.6 mm,牌号为 LHER50-6 的碳钢焊丝;旁路送丝速度为 8.5 m/min,焊接速度为1.0 m/min,焊接方式为平板堆焊. 采集到的焊接电信号结果如图 3(a)所示,从图中可以看出,电流信号相对比较稳定,焊缝形貌如图 3(b)所示,从图中可以看出焊缝成形良好,焊接过程比较稳定. 因此,采用单电源的双丝旁路耦合电弧 GMAW 可以实现稳定焊接.

然而,焊接过程中主路电弧燃烧时,旁路电弧不稳定将导致耦合电弧波动,因此旁路送丝速度的匹配会对单电源下的双丝旁路耦合电弧高效 GMAW 过程产生很大的影响.





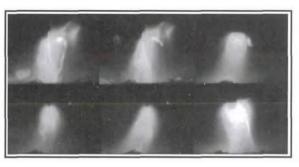
(b) 焊缝形貌

图 3 双丝旁路耦合电弧 GMAW 的焊接工艺实验 Fig. 3 Welding experiments of consumable DE-GMAW

#### 2.2 不同送丝速度下的焊接工艺实验

单电源供电时,满足双丝旁路耦合电弧GMAW稳定条件匹配更为严格,同时满足主路、旁路熔化速度与送丝速度的稳定工作区间变窄.为了得到单电源供电时的双丝旁路耦合电弧 GMAW的稳定焊接区间,设计了在不同的主路电流下逐渐增加旁路送丝速度的焊接实验.主路电流设定在约350 A,保证其他焊接参数不变,只改变旁路送丝速度,通过高速摄像系统采集到的焊接过程图像及快速原型信号采集系统采集到的电流电压信号可知旁路送丝速度匹配关系有3种.

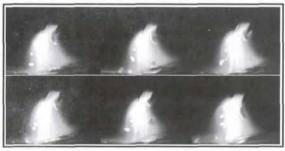
- 2.2.1 旁路送丝慢 如图 4 所示,当旁路焊丝由于无法及时送进,旁路电弧会逐步拉长直至熄灭.从图 4(a)中的耦合电弧照片可以发现旁路电弧有明显的熄弧状态;图 4(b)中采集到的电流、电压信号也并不稳定;同时图 4(c)中的焊缝成形较差,而且飞溅较大.
- 2.2.2 旁路送丝匹配 如图 5 所示,焊接过程电弧比较稳定,熔滴过渡方式为射流过渡,比较稳定, 所采集到的电信号也比较稳定,焊缝成形良好.
- 2.2.3 旁路送丝快 如图 6(a)所示,焊丝送丝速度过快,旁路焊丝直接插入熔池中燃烧,对耦合电弧的稳定性带来较大的影响;同时图 6(b)中的电流信号波动较大;图 6(c)中的焊缝成形也较差.
- 2.2.4 工艺匹配范围 在旁路送丝速度与主路电流匹配的范围内,分别以主路电流为 300、350、400、450、500、550 A 时,通过改变旁路送丝速度进行了大量焊接实验,得到不同主路电流下稳定的旁路送

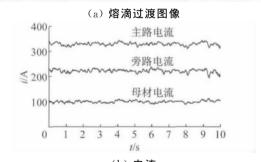


(a) 熔滴过渡图像 ±路电流 300 200 → 旁路电流 100 100 → 房路电流 100 100 (b) 电流



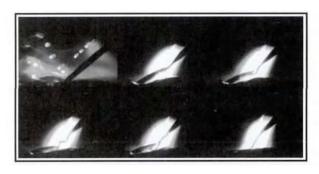
(c) 焊缝形貌 图 4 旁路送丝速度慢时的焊接工艺实验 Fig. 4 Slower bypass wire feed speed of welding process



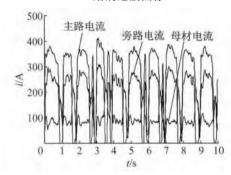




(c) 焊缝形貌 图 5 旁路送丝速度匹配时的焊接工艺实验 Fig. 5 Matching bypass wire feed speed of welding process



(a) 熔滴过渡图像



(b) 电流



#### (c) 焊缝形貌

图 6 旁路送丝速度快时的焊接工艺实验 Fig. 6 Faster bypass wire feed speed of welding process

丝速度的匹配范围的实验结果. 对实验结果进行统计分析,得到单电源下的双丝旁路耦合电弧GMAW的稳定工作区间,如表1所示.

表 1 单电源实现双丝旁路耦合电弧 GMAW 的工艺实验结果

Tab. 1 Results of DE-GMAW process with single power supply

主路电流/A	旁路电流/A	旁路送丝匹配范围/(m • min <sup>-1</sup> )
300	$135\sim\!220$	2.9~4.2
350	$160 \sim 240$	4.1~7.0
400	$220 \sim 290$	6.8~11.2
450	$230 \sim 300$	7.2 $\sim$ 14.0
500	$250 \sim 320$	7.8~14.5
550	$280 \sim 340$	8.5~15.0

# 3 结 论

- (1) 针对常规的双丝旁路耦合电弧 GMAW 的控制系统复杂、设备成本较高等不足,提出了采用单电源实现双丝旁路耦合电弧 GMAW 的方法并设计了相应的实验系统.
- (2) 实验证明,采用单电源的双丝旁路耦合电弧 GMAW 可以稳定焊接,但相对于双电源的双丝

旁路耦合电弧 GMAW 其稳定工作区间更窄.

(3) 通过大量的焊接工艺实验,分析了不同旁路送丝速度对单电源双丝旁路耦合电弧 GMAW 过程稳定性的影响,同时,得到了主路电流为 300、350、400、450、500、550 A 时稳定焊接的工艺范围.

#### 参考文献:

- [1] 石玗,李妍,黄健康,等. 高效 MIG/MAG 焊的研究与发展[J]. 电焊机,2008,38(12):6-10.
  SHI Yu,LI Yan, HUANG Jian-kang, et al. Research and development of high-effective MIG/MAG welding [J]. Electric Welding Machine,2008,38(12):6-10.
- [2] 冯雷,陈树君,殷树言. 高速焊接时焊缝咬边的形成机理[J]. 焊接学报,1999,20(1):16-20. FENG Lei, CHEN Shu-jun, YIN Shu-yan. Mechanism of undercut phenomenon in high speed welding [J]. Transactions of the China Welding Institution, 1999,20(1):16-20.
- [3] Li Ke-hai. Double-electrode gas metal arc welding: the process, sensing, modeling and control[D]. Lexington: University of Kentucky, 2007.
- [4] 殷树言. 高效弧焊技术的研究进展[J]. 焊接,2006 (10): 7-14.

  YIN Shu-yan. Research advance of high effective arc welding technique [J]. Welding & Joining, 2006(10): 7-14
- [5] Zhang Y M, Jiang M, Lu W. Double electrodes improve GMAW heat input control [J]. Welding Journal, 2004, 83(11): 39-41.
- [6] Li Ke-hai, Wu Chuan-song. Mechanism of metal transfer in DE-GMAW[J]. Journal of Material Science and Technology, 2009, 25(3):415-418.
- [7] 高忠林, 胡绳荪, 殷凤良, 等. GMAW 电弧电流与弧长的滑模变结构控制仿真[J]. 焊接学报, 2007, 28 (6):53-56.
  GAO Zhong-lin, HU Sheng-sun, YIN Feng-liang, et al. Simulation of feedback linearization and slide mode
  - al. Simulation of feedback linearization and slide mode control in GMAW systems [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2007, 28(6):53-56.
- [8] 石玗,朱明,黄健康,等. 双丝旁路耦合电弧 MIG 焊方法及控制系统[J]. 焊接学报,2012,33(3):17-20. SHI Yu,ZHU Ming, HUANG Jian-kang, et al. Study on control system for high efficiency double-electrode MIG welding [J]. Transactions of the China Welding Institution,2012,33(3):17-20.
- [9] 朱明,石玗,樊丁,等. 双丝旁路耦合电弧高效熔化极 气体保护焊过程模拟及控制[J]. 机械工程学报,2012, 48(10):45-49. ZHU Ming,SHI Yu,FAN Ding,et al. Simulation and control of consumable DE-GMAW process [J]. Chi-

45-49.

nese Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48 (10):