

工艺参数对 TIG-MIG 复合电弧焊接过程的影响

毕学松 马瑞芳 孙 潇

(唐山开元焊接自动化技术研究有限公司, 河北 唐山 063000)

摘要 搭建 TIG-MIG 复合焊试验平台, 分别改变焊接电流、焊枪夹角及电弧间距等参数进行系列焊接试验, 研究了该复合焊工艺特点。结果表明, TIG-MIG 复合焊能够实现纯氩气保护下的稳定焊接, 并且 TIG 弧的电流需要大于 MIG 弧电流; 焊枪夹角对焊接过程和焊缝成形影响不明显; 电弧间距影响焊缝成形特点, 试验确定间距约为 5 mm 时焊接效果最佳。

关键词: TIG-MIG 复合焊 电弧 焊接电流 焊缝成形

中图分类号: TG444

0 序 言

提高焊接效率和焊缝质量一直是焊接领域研究的重点方向之一。复合热源焊接技术是实现高效和高质焊接有效途径之一, 近年来相关研究较多, 如激光-电弧复合焊, 等离子-MIG 复合焊, TIG-MIG 复合焊等^[1-2]。其中 TIG-MIG 复合电弧焊技术能够克服传统 TIG 和 MIG 焊接的局限性, 表现出焊缝质量高和焊接效率高的特点, 具有广阔的应用前景。

针对多种工程应用场合, 已出现了多种 TIG 电弧和 MIG 电弧复合焊接方法。王军等人^[3]提出 TIG-MIG 间接电弧技术, 在降低了母材热输入同时提高了焊接效率。石玟等人^[4-5]将 TIG 电弧旁路耦合在 MIG 电弧一侧或两侧, 旁路 TIG 电弧的分流作用使 MIG 电弧压力和母材热输入显著降低, 提高焊接速度。哈尔滨工业大学通过基于 PID 闭环控制实现 TIG-MIG 电弧复合, 能够有效降低焊接飞溅, 改善焊缝成形, 实现了高效化和优质化的焊接^[6]。近年来, 国内外学者直接将 TIG 电弧和 MIG 电弧复合在一起进行试验研究, 发现由于电弧间的相互作用, 两电弧指向发生偏转, 电弧压力减小, 可显著提高焊接速度, 改善焊缝质量^[7-8]。

文中将 TIG 电弧与 MIG 电弧直接复合进行焊接, 认识两电弧之间的相对位置及电流匹配关系对 TIG-MIG 复合焊接过程的影响。

1 试验方法与试验平台

TIG-MIG 复合电弧焊接装置主要由钨极氩弧焊枪、熔化极氩弧焊枪、焊接电源、工作台及工件组成, 如图 1 所示。其中 TIG 电源为恒流电源, 型号为松下 YC-500WXP, 直流正接, MIG 为恒压电源, 型号为松下 YD-500GL3, 直流反接。采用 6 mm 厚的 SUS304 奥氏体不锈钢作为焊接工件, 焊丝为 $\phi 1.2$ mm 的 ER308LSi 焊丝, 保护气体为纯氩气。焊接时 TIG 电弧在前, MIG 电弧在后, 首先启动 TIG 电弧, 在表面形成熔池后再启动 MIG 电弧进行焊接。

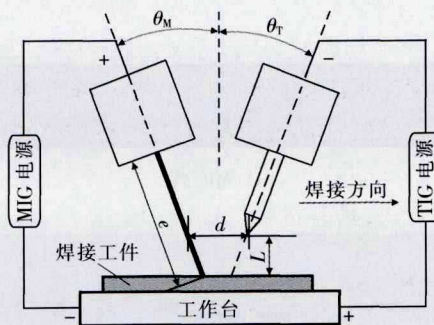


图 1 试验装置原理图

改变 TIG 和 MIG 焊枪的几何位置进行试验, 观察焊缝表面成形以及熔深、熔宽和余高的变化特点, 观察焊接电弧特征。其中 θ_M 和 θ_T 分别为 MIG 焊枪和 TIG 焊枪与竖直方向的夹角; d 为钨极尖端到焊丝的水平距离; L 为钨极弧长; e 为 MIG 的焊丝伸出长度。表 1 列出了试验过程中的主要预置参数。

表 1 TIG-MIG 试验参数表

类别	焊接方法	焊接电流 I/A	焊接速度 $v/(mm \cdot min^{-1})$	MIG 焊丝伸出长度 e/mm	焊枪夹角 $(^\circ)$	保护气体(纯 Ar) $Q/(L \cdot min^{-1})$
试验值	TIG 焊	300	350	15	30	15
	MIG 焊	200	350	15	30	15
标准值	TIG 焊	180 ~ 350	350	15	15 ~ 45	15
	MIG 焊	160 ~ 280	350	15	15 ~ 45	15

2 试验结果与分析

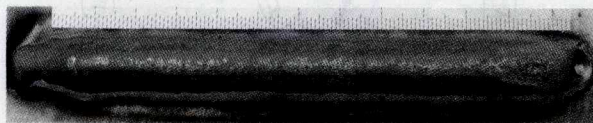
2.1 TIG-MIG 复合电弧焊接不锈钢

图 2 为分别采用纯氩气保护的 MIG 焊和 TIG-MIG 复合电弧焊的典型焊缝照片。采用纯氩气保护时, MIG 电弧在母材一侧阴极斑点不稳定, 引起电弧漂移和弧长不规则变动, 导致焊接过程不稳定, 产生大量飞溅, 焊接不能连续进行。此时所得焊缝焊趾不齐, 四周斑点清理范围较大且不均匀, 成形较差, 不能满足实际工程要求, 如图 2a 所示。因此实际工程中, 焊接不锈钢一般需要采用含有 1% ~ 5% O_2 或 CO_2 的富氩气体作为保护气体, 通过熔池表面形成氧化物稳定阴极斑点, 实现稳定焊接。然而由于焊缝金属中加入氧元素, 焊缝性能受到影响, 如冲击韧性下降等^[9-10]。

采用纯氩气保护的 TIG-MIG 复合电弧焊接时, 阴极斑点漂移现象消除, 焊接过程稳定, 无飞溅产生。获得焊缝焊趾整齐, 四周没有出现阴极清理作用产生的痕迹, 表面有光泽, 焊缝成形美观, 典型焊缝照片如图 2b 所示。



(a) MIG 焊



(b) TIG-MIG 复合电弧焊

图 2 焊缝表面照片

在复合焊过程中, TIG 电弧一方面加热 MIG 的焊丝尖端, 改变了传统 MIG 焊接的熔滴过渡形式, 使单独 MIG 焊接时的短路过渡改变为滴状过渡, 从而显著降低了焊接过程飞溅。另一方面, TIG 电弧在工件表面形成液态熔池, 表明高温液态金属的热电子发射能力明

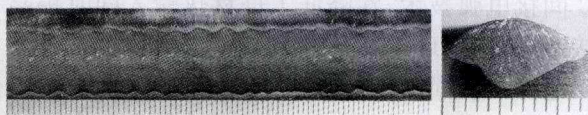
显提高, 为后续的 MIG 电弧提供了稳定的导电通道, 从而稳定了 MIG 电弧的阴极斑点。

2.2 电流匹配关系影响

在 TIG-MIG 复合电弧焊接过程中, TIG 电弧和 MIG 电弧的电流匹配关系对焊接过程及焊缝成形具有重要影响。其他参数保持为表 1 中基本参数的情况下, 仅改变 TIG 电流和 MIG 电流进行系列试验。试验发现, 当 TIG 电流大于 MIG 电流时, MIG 电弧斑点无漂移现象, 复合焊接过程稳定, 无飞溅产生, 此时形成焊缝焊趾平齐, 焊缝成形良好, 典型焊缝照片如图 3a 所示。而当 MIG 电流大于 TIG 电流时, MIG 电弧阴极斑点不稳定, 出现不规则移动现象, 焊接飞溅增加, 形成的焊缝边缘不齐, 焊趾呈锯齿状, 典型照片如图 3b 所示。



(a) TIG: 320 A, MIG: 200 A



(b) TIG: 200 A, MIG: 260 A

图 3 电流匹配关系对焊缝影响

电流匹配关系对 TIG-MIG 复合电弧焊具有明显影响, 其原因与 MIG 电弧阴极斑点作用范围有关。当 TIG 弧电流较大时, 母材上形成的高温液态熔池范围较大, 而后面 MIG 电弧阴极斑点作用范围较小, 由于高温金属热电子发射能力较强, 使 MIG 弧阴极斑点被稳定在 TIG 弧形成的熔池表面, 焊接过程稳定。而 MIG 电弧较大时, MIG 电弧作用范围超出了 TIG 电弧在母材上形成熔池的范围, 其阴极斑点在熔池边缘的固态金属上不规则移动, 引起焊接飞溅增加, 形成的焊缝焊趾不整齐。可见, TIG-MIG 复合电弧焊接过程中, 焊接过

程稳定,焊缝成形良好的必要条件之一是 TIG 弧电流大于 MIG 弧电流。

2.3 焊枪夹角影响

在其他参数保持为表 1 中基本参数不变的情况下,仅改变焊枪夹角 θ_M 和 θ_T 进行系列试验,认识其对 TIG-MIG 复合焊接过程和焊缝成形的影响。

观察焊接过程的电弧,焊枪夹角在较大范围内变化时,复合电弧形态相似,焊接过程都比较稳定,基本无飞溅产生。三种典型焊枪夹角下获得的焊缝照片如图 4 所示,可以看出,各个焊缝表面均比较光滑,焊趾整齐,成形良好,焊缝截面形状和尺寸也都比较相似,熔深均为 3 mm 左右。以上试验结果表明,在 TIG-MIG 复合焊接过程中,焊枪夹角对复合电弧特征以及焊缝成形影响不明显。

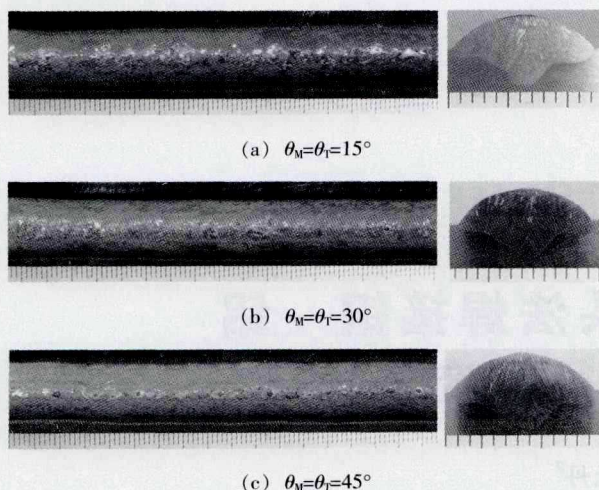


图 4 焊枪夹角对焊缝成形的影响

焊缝成形与电弧形态及电弧力指向密切相关。在常规 MIG 焊接过程中,焊丝前倾角越大(即相当于 θ_M 越小),电弧力对熔池金属向后排出的作用越小,熔池底部液体金属层越厚,因此熔深减小,与熔宽增大,余高减小。而在 TIG-MIG 复合电弧焊接过程中,一方面 TIG 电弧为后续 MIG 电弧提供稳定的阴极斑点, MIG 弧更加稳定不会发生明显移动。另一方面由于电弧间的相互作用,两电弧指向均发生偏转,因此焊枪夹角发生变化时, MIG 电弧形态和电弧力指向均不能明显改变,因此不会引起复合焊电弧稳定性及焊缝成形的明显改变。

2.4 电弧间距影响

在其他参数保持为表 1 中基本参数不变的情况下,仅改变电弧间距 d 进行试验,观察焊道截面形状。

结果显示电弧间距 d 对焊缝成型有较为明显影响,如图 5 所示。

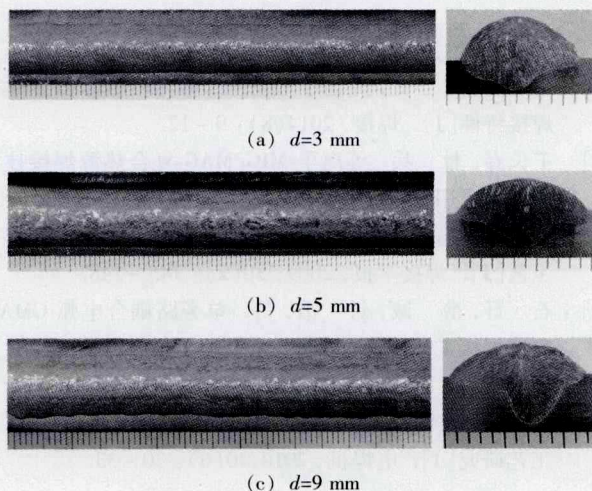


图 5 焊枪间距对焊缝成型的影响

d 较小时,复合焊焊缝余高较大,形成“凸”形状的窄焊缝,典型照片如图 5a 所示。对于焊缝形成“凸”形状的原因,与 MIG 熔滴向熔池过渡的角度相关。当距离较近时,两电弧排斥力影响增大,在排斥力的作用下, MIG 熔滴的角度有最初的前倾角变小,甚至变为后退角,因此形成了“凸”形状的焊道。

而电弧距离过大时, MIG 电弧和 TIG 电弧几乎完全分离,复合焊接过程不稳定,飞溅变大。可见,电弧间距 d 既不能太小也不能太大,通过试验确定, d 约为 5 mm 时复合焊接过程稳定和焊缝成形良好,典型照片如图 5b 所示。

对于熔深,随着焊炬间距 d 增加焊缝深度也增大,其原因可能有两方面,一方面可能是距离较大时排斥力减小,熔滴过渡倾角减小,利于形成较大熔深。另一方面是焊炬间距增大后, TIG 弧对 MIG 焊丝预热效果减小,并且对 MIG 电弧的干扰减弱,使得电弧力和熔滴冲击力变大,更利于大熔深。

3 结 论

(1) TIG-MIG 复合焊能够在纯氩气保护的情况下实现不锈钢的稳定焊接,焊缝成形良好。

(2) TIG-MIG 复合焊接过程稳定,焊缝成形良好时,需要 TIG 弧电流大于 MIG 弧电流。

(3) 焊枪夹角在较大范围内变化时, TIG-MIG 复合焊接过程稳定程度及焊缝成形都没有发生明显变化。

(4) TIG-MIG 复合焊中,电弧间距 d 较小时,焊缝

截面形状趋于“凸”形, d 过大时复合焊过程不稳定,试验确定 d 约为5 mm时复合焊效果良好。

参 考 文 献

- [1] 王旭友,徐 良,陈晓宇. 激光-熔化极电弧复合热源焊接特性[J]. 焊接, 2014(8): 9-12.
- [2] 王长春,杜 兵. 等离子-MIG/MAG 复合热源焊接技术研究与应用[J]. 焊接, 2009(12): 62-64.
- [3] 王 军,冯吉才,何 鹏,等. TIG-MIG 间接电弧焊接工艺[J]. 焊接学报, 2009, 30(2): 145-148.
- [4] 石 玟,薛 诚,钟 浩,等. 单旁路耦合电弧 GMAW 高速焊接工艺[J]. 上海交通大学学报, 2010, 44(S1): 50-53.
- [5] 石 玟,石铭霄,薛 诚,等. 双旁路耦合电弧 MIG 焊工艺研究[J]. 电焊机, 2010, 40(6): 30-33.

- [6] 杨 涛,张生虎,高洪明,等. TIG-MIG 复合焊电弧特性机理分析[J]. 焊接学报, 2012, 33(7): 25-28.
- [7] Shuhei, Tomoak, Toyoyuk, et al. Study for TIG-MIG hybrid welding process[J]. Weld World, 2014(58): 11-18.
- [8] 姜小飞,陈茂爱,武传松,等. 高速 TIG-MIG 复合焊缝驼峰及咬边消除机理[J]. 焊接学报, 2014, 35(8): 87-90.
- [9] 中国机械工程学会焊接学会编. 焊接手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008: 434-463.
- [10] 王爱民,荆 文. ZG0Cr13Ni5Mo 不锈钢不同比例保护气体焊接工艺研究[J]. 焊接, 2013(3): 55-57.

作者简介: 毕学松,1983 年出生,博士,工程师。主要从事焊接新技术与新工艺研发工作,已发表论文 10 余篇。

基于实船对过渡接头法焊接钢-铝 异种金属进行探究

谭安全¹ 刘元丹²

(1. 中国船级社重庆分社,重庆 401121; 2. 中船黄埔文冲船舶有限公司,广州 510715)

摘要 从钢-铝异种金属焊接现状和钢-铝结构过渡接头性能特点出发,介绍了钢-铝过渡接头结构形式、焊接接头连接形式和相关节点设计要求。结合多艘次铝合金船舶建造检验,对过渡接头结构形式、结构尺寸、焊接工艺参数优化和选取、实际焊接要求等予以分析。船舶建造完成后及营运过程中未发现过渡接头复合界面出现分层缺陷,其设计和工艺对其它船舶有一定指导意义。

关键词: 钢-铝过渡接头 铝合金 焊接工艺
中图分类号: TG443

0 序 言

铝及铝合金以其优良的物理、化学特性已广泛应用于交通运输工具的各个领域。由于其密度小、无磁性、可焊接、易加工成形、无低温脆性、耐海水腐蚀等特

性,其作为船舶结构可减轻船舶重量,增加载重量,提高航速和船舶平稳性^[1]。铝合金在海运业上应用已有较长的历史,并取得了优异的效果,从大型水面舰船构件、上千吨的全铝海洋研究船、远洋商船和客船的建造到旅客渡船、双体客船、水翼艇、气垫船、交通艇、登陆艇等各类高速客船和军用快艇上都有使用铝合金^[2]。

在船舶建造中,铝合金与钢材异种金属的焊接至

收稿日期: 2016-06-21