

旋摆 TIG-MIG 复合热源堆焊焊缝成形研究

黄俊¹, 徐望辉², 刘静¹, 易耀勇²

(1. 江西理工大学 机电工程学院, 江西 赣州 341000; 2. 广东省焊接技术研究所(广东省中乌研究院) 广东省现代焊接技术重点实验室, 广东 广州 510650)

摘要: 采用自主设计旋摆 TIG-MIG 复合热源焊枪和 $\phi 1.2$ mm 的 JQ. MG50-6 焊丝在 Q235 母材上进行堆焊, 研究了电流大小、旋摆速度和钨极-焊丝间距等参数对焊缝成形的影响。结果表明, 当 TIG 电流小于 MIG 电流时, TIG 电流的增大对熔宽、熔深的增加有促进作用, 对余高作用不明显。MIG 电流的增大有利于熔宽和熔深的增加, 余高则略增加。随着旋摆速度的增大, 熔宽减小, 而余高和熔深略增加。焊丝间距在 5~7 mm 内增大时, 熔宽增加, 而余高减小, 焊丝间距超过 7 mm 时, 熔宽随着焊丝间距的增加而减少, 余高则增加, 而熔深一直是随着焊丝间距的增大而稍微增加。旋摆 TIG-MIG 方法有利于实现高熔敷率、大熔宽、小余高的焊缝成形。

关键词: 旋摆 TIG-MIG; 复合热源; 焊缝成形

DOI: 10.14158/j.cnki.1001-3814.20192512

中图分类号: TG444^{*}.74

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2020)05-0049-04

Research of Weld Forming of Swing TIG-MIG Composite Heat Source Surfacing

HUANG Jun¹, XU Wanghui², LIU Jing¹, YI Yaoyong²

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Advanced Welding Technology, Guangdong Welding Institute (China-Ukraine E. O. Paton Institute of Welding), Guangzhou 510650, China)

Abstract: The surfacing on the Q235 base metal was carried out by using the self-designed rotary TIG-MIG hybrid welding torch and $\phi 1.2$ mm JQ. MG50-6 welding wire, the effects of current, swing speed, distance between tungsten and welding wire on the weld formation were studied. The result shows that when the TIG current is less than the MIG current, the increase of the TIG current has a promoting effect on the increase of the melting width and the penetration depth, and has little effect on the reinforcement. The increase of MIG current is beneficial to the increase of melting width and penetration depth, and the reinforcement increases slightly. As the swing speed increases, the melt width decreases, while the reinforcement and penetration depth increases slightly. When the pitch of welding wire increases within 5-7 mm, the melt width increases, and the reinforcement decreases. When the pitch of welding wire exceeds 7 mm, the melt width decreases as the pitch of welding wire increases, and the reinforcement increases, and the penetration depth always increases slightly as the pitch of welding wire increases. The rotary TIG-MIG method is advantageous for the formation of welds with high deposition rate, large melting width and small residual height.

Key words: rotary TIG-MIG; hybrid heat source; weld formation

随着工业技术的不断发展和高端设备升级换代的速度不断加快, 金属结构件向着大型化、专业化的方向发展, 这对焊接效率和焊接质量提出了更高的要求。传统弧焊由于电弧热源分布的特性, 已经越

来越难以满足高效率、高质量的要求, 对现有弧焊热源进行调整优化显得尤为重要。基于这一目的, 国内外学者开发了多种方法, 比如多热源复合、外加约束、电流形式等, 其中复合热源无疑为最直接、最有效的方式之一。TIG-MIG 复合焊综合了 TIG 焊高质量和 MIG 焊高效率的优势, 具有焊接适应性好、接头质量高、过程稳定、效率高等诸多优势, 在堆焊、高速焊、异种材料连接等多个领域具有很好的应用前景^[1-3]。

杨涛等人^[4]采用 PID 算法对 TIG-MIG 复合热源进行恒流、恒压闭环控制, 在低碳钢实验中, 发现 TIG 电弧对 MIG 电弧有稳弧效果, 对熔滴有加热作用, 复合热源可有效降低飞溅, 利于焊缝成形。陈姬

收稿日期: 2019-08-26

基金项目: 广东省科技项目(2017A070701026); 广州市科技项目(201807010035); 广东省科技计划项目(2014B070705007); 广东省科学院科技项目(2017GDASCX-0119); 山东省重点研发计划项目(2017GGX30134)

作者简介: 黄俊(1994-), 男, 江西赣州人, 硕士研究生, 主要研究方向: 高效化焊接; 电话: 15679701301; E-mail: 626908107@qq.com

通讯作者: 徐望辉(1986-), 男, 主要研究方向: 高能束焊及高效弧焊; E-mail: xuwanghui@126.com

等人^[5]利用低电流 TIG 电弧辅助 MIG 进行高速焊接实验, TIG 低电流能有效抑制 MIG 高速焊中咬边缺陷的产生。王军等人^[6]提出 TIG-MIG 间接电弧技术, 降低了母材热输入量, 提高了焊丝熔敷率和焊接效率, 实现了薄板连接。石珂等人^[7]增加 TIG 焊耦合旁路, 实现双旁路耦合电弧 MIG 焊, 旁路 TIG 电弧可降低 MIG 电弧压力和母材热输入, 提高焊接效率和焊接质量。Miao 等人^[8]提出了旁路电流双面电弧焊工艺, 旁路增加焊丝熔化效率, 使焊接变得更加稳定, 实现了高效化和优质化的焊接。根据以上文献可知, 现有的 TIG-MIG 复合焊熔池具有长条状特征, 即焊接方向的熔池要明显大于熔宽方向的, 容易造成咬边、指状熔深等缺陷。为了进一步优化复合热源分布, 扩大应用领域, 本文提出旋摆 TIG-MIG 复合热源焊接技术, 将横向摆动的 TIG 电弧与 MIG 电弧复合, 解决熔宽过小、咬边及指状熔深等缺陷, 也为进一步在窄间隙焊接领域的应用奠定基础。

1 实验方法与设备

旋摆 TIG-MIG 复合焊枪原理如图 1 所示。电机带动齿轮来回旋转, 齿轮轴下端与弯曲导电杆相连接, 由于钨极固定于导电杆下端, 因此钨极中轴线与齿轮轴中轴线形成一定角度, 最终实现钨极端部的来回旋摆。MIG 焊丝与钨极竖轴线的夹角为 30° 。 d 是钨极端部与焊丝端部的间距。 TIG 焊枪采用直流正接, MIG 焊枪采用直流反接且电流采用脉冲模式。在平板上堆焊时 TIG 焊枪在前, MIG 焊枪在后, 首先 TIG 电弧在母材上形成熔池, 再启动伺服控制系统使钨极旋摆, 最后再启动 MIG 电弧进行焊接。

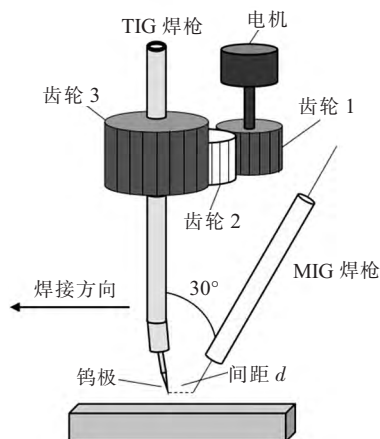


图 1 旋摆 TIG-MIG 复合电弧焊炬示意图
Fig.1 Schematic diagram of the rotary TIG-MIG composite arc torch

焊接电源为德国 EWM 系列的 Alpha Q 521 puls cold Arc MIG 焊机和 Tetrix 521 AC/DC activeArc TIG 焊机。实验采用的堆焊母材为 Q235 低碳钢, 焊丝为 $\phi 1.2\text{mm}$ 的 JQ.MG50-6 焊丝, 保护气成分为 99.99% 纯度的氩气, TIG 焊枪和 MIG 焊枪的气流量为 15 L/min。表 1 是焊接过程采用的实验参数。

表 1 焊接实验参数
Tab.1 Welding experiment parameters

TIG 电流 /A	MIG 电流 /A	送丝速度 / $(\text{m}\cdot\text{min}^{-1})$	焊接速度 / $(\text{mm}\cdot\text{min}^{-1})$	摆动速度 / $(^\circ\cdot\text{s}^{-1})$	间距 d /mm
80~110	80~140	2.6~4.5	200	80~318	5~11

2 实验结果与分析

2.1 TIG 电流对焊缝成形的影响

在旋摆 TIG-MIG 复合电弧焊接中, TIG 电流对焊接母材和焊丝都有预热作用, 且在 MIG 电弧热量不足的情况下可以提供部分热量来达到焊接目的。图 2 是不同 TIG 电流下所得到的焊缝成形图和焊缝截面图, 可以看出, 在小电流变化的范围内, 随着电流的增加, TIG 电弧热输入增加, 焊缝表面逐渐变得光滑。

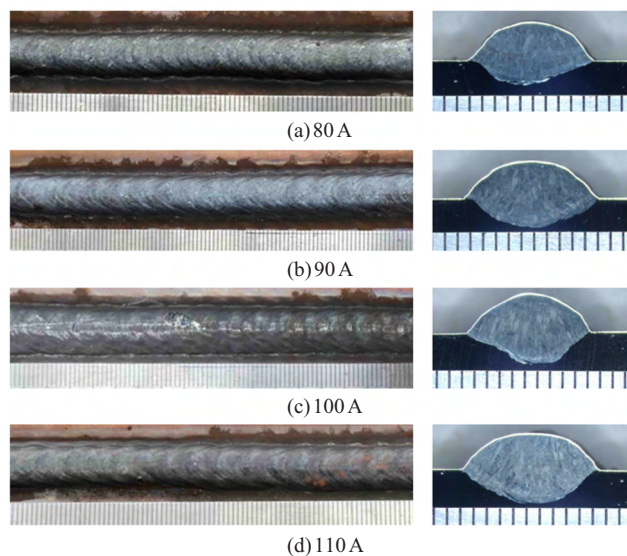


图 2 不同 TIG 电流下的焊缝成形和焊缝截面
Fig.2 Weld forming and weld cross section under different TIG currents

图 3 给出了 TIG 电流对焊缝截面尺寸的影响规律。当 TIG 电流为 80 A 时, 熔宽为 10.00 mm, 当电流增大到 110 A 时, 熔宽增加为 10.33 mm, 因此 TIG 电流有利于熔宽的增加。TIG 电流对于焊缝余高的影响不明显。随着 TIG 电流的增加, 焊缝的熔

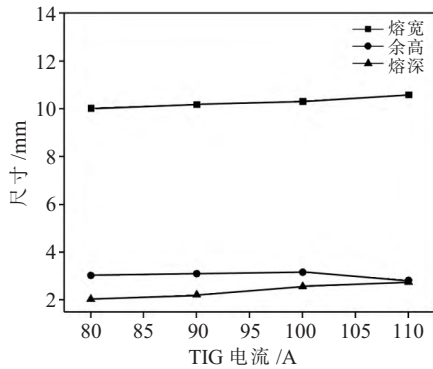


图3 TIG 电流对焊缝截面尺寸的影响
Fig.3 Effect of TIG current on cross-section size of weld

深显著增加。其原因是随着 TIG 电流的增加整体热输入增加, 旋摆参数不变, 因此熔池宽度稍有增加, 更为主要的是由于 TIG 电弧安置于焊接方向, 其电流的增加会导致直接作用于母材的热量增加, 使得焊缝熔深增大。

2.2 MIG 电流对焊缝成形的影响

改变 MIG 电流的大小, 保持其它焊接参数不变, 得到的焊缝表面成形和焊缝截面如图 4 所示。图 5 给出了 MIG 电流对焊缝截面尺寸的影响规律。从图中可以看出, 当 MIG 电流由 80 A 增加到 140 A 时, 焊缝熔宽从 11.01 mm 增加到 15.17 mm, 焊缝熔宽会随着 MIG 电流的增加而显著增加。MIG 焊接电流的增加对焊缝余高的影响有限, 焊缝余高随着 MIG 电流的增加稍有增加。焊缝熔深则随着 MIG 电流的增加显著增加, 由 80 A 的 1.46 mm 增加到 140 A 的 3.04 mm。这是由于焊接电流的增加导致了

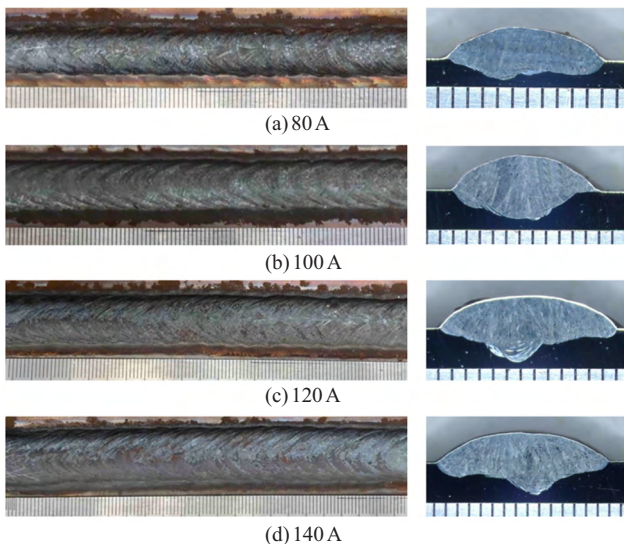


图4 不同 MIG 电流下的焊缝成形和焊缝截面
Fig.4 Weld forming and weld cross section under different MIG currents

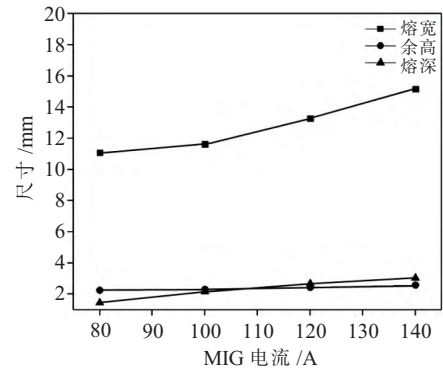


图5 MIG 电流对焊缝截面尺寸的影响
Fig.5 Effect of MIG current on cross-section size of weld

焊丝熔化速度的增大, 导致单位时间液态金属的填充量增加, 从而焊缝熔宽增加; 同时焊接电流的增加也会加大母材的熔化热量, 获得较大的熔深。由于采用旋摆 TIG, 填充金属量的增加更多的表现为熔宽的增加, 故 MIG 电流对余高的影响并不明显。

2.3 旋摆速度对焊缝成形的影响

通过伺服电机控制系统来调整旋摆速度, 不同旋摆速度下得到的焊缝表面成形和焊缝截面如图 6 所示。相对于钨极不旋摆, 钨极旋摆的焊缝熔深具有非对称的特征, 熔深峰值在左右两侧出现这主要是由 TIG 旋摆且在两侧停留导致两侧热输入增加造成的。钨极不旋摆时熔宽为 11.93 mm, 钨极以 80(°)/s 速度旋摆时, 熔宽增加到 12.56 mm, 说明钨极电弧的旋

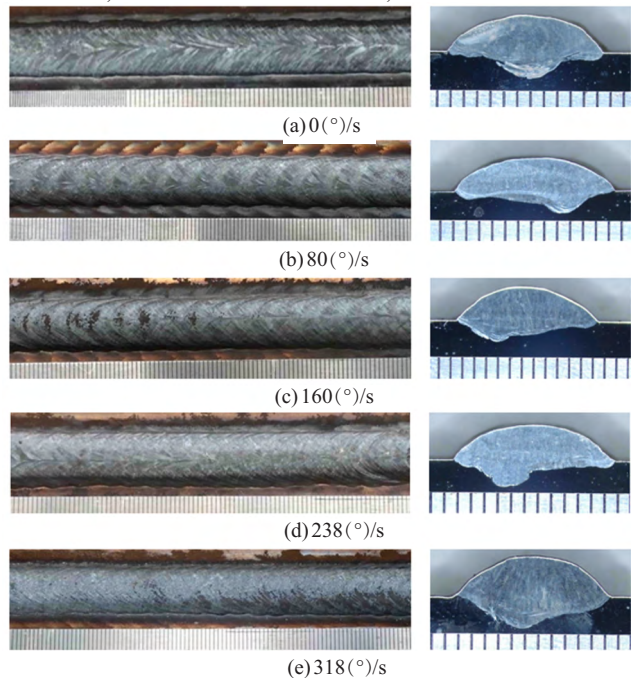


图6 不同旋摆速度下的焊缝成形和焊缝截面
Fig.6 Weld forming and weld cross section under different swing speeds

摆对熔宽有明显的促进作用。熔深从不旋摆的 2.15 mm 减小到旋摆时的 1.64 mm, 钨极旋摆后的熔深减小。

随着旋摆速度的增大, 焊缝表面出现波纹形态, 并随着旋摆速度的增加波纹间距减少, 焊缝表面逐渐变得光滑。图 7 给出了旋摆速度对焊缝截面尺寸的影响规律。由图 7 可知, 熔宽是随着旋摆速度的增加而显著减小。而旋摆速度对余高的影响较小, 余高随着旋摆速度的增大而稍有增大。熔深随着旋摆速度的增大而稍有增大。这是由于钨极的旋摆促进了熔池向两侧铺展, 利于熔宽增加, 但旋摆速度的增大, 单位时间内旋摆次数增加, 增加热量散失, 熔宽减小, TIG 电弧经过焊接中心区域的次数增加, 增加了对中心区域热量的输入, 增加了电弧对焊接底部的穿透力, 导致熔深稍有增大。

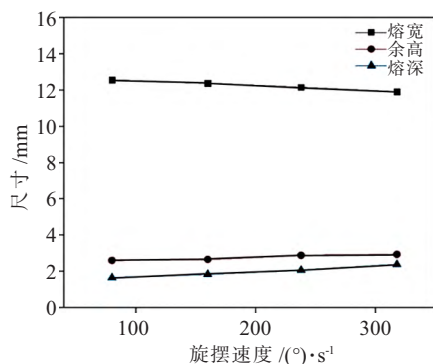


图 7 旋摆速度对焊缝截面尺寸的影响

Fig.7 Effect of swing velocity on cross section size of weld

2.4 钨极与焊丝的间距对焊缝成形的影响

在旋摆 TIG-MIG 复合电弧焊接过程中, 钨极与焊丝的距离直接影响 TIG 电弧对 MIG 熔池的作用, 焊接过程中随着钨极与焊丝距离的增加, 飞溅数量增加, 焊缝熔深的形态逐渐由不对称向对称变化。图 8 是在不同的钨极与焊丝间距下得到的焊缝表面成形和截面图。

图 9 给出了钨极与焊丝的间距对焊缝截面尺寸的影响。由图可知, 钨极与焊丝的间距在 5~7 mm 时, 熔宽与钨极与焊丝间距正相关, 余高与钨极与焊丝间距呈负相关。而当间距在 7~11 mm 时, 熔宽则与钨极与焊丝间距负相关, 钨极与焊丝间距增大, 余高增加。熔深随着间距的增大而稍有增加。这是因为间距在 5~7 mm 时, TIG 电弧对熔池的作用逐渐增强, 利于熔池向两侧铺展, 使得熔宽增大。当距离超过 7 mm 时, TIG 电弧与 MIG 电弧距离的增加, 旋摆

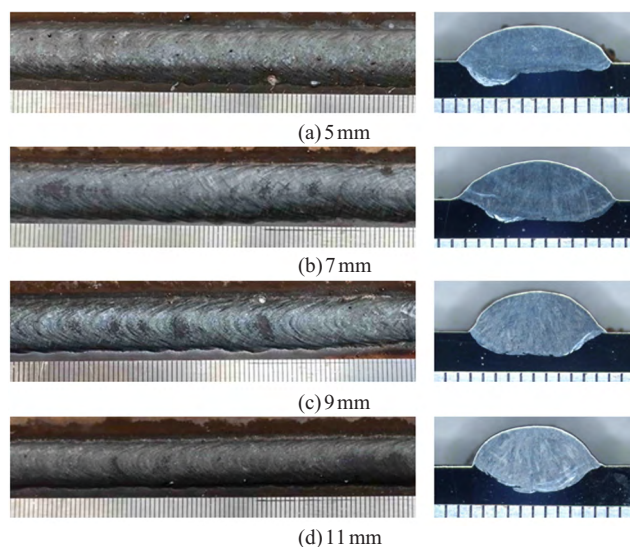


图 8 不同钨极与焊丝间距下的焊缝成形和焊缝截面
Fig.8 Weld forming and weld cross section under different distances between tungsten electrode and welding wire

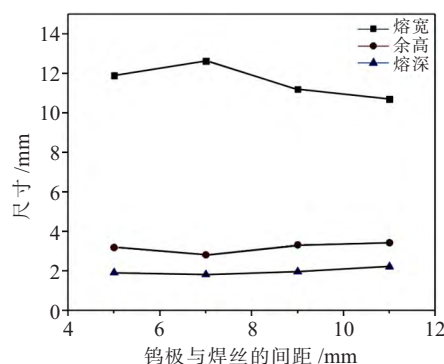


图 9 钨极与焊丝间距对焊缝截面尺寸的影响

Fig.9 Effect of distance between tungsten electrode and welding wire on cross section size of weld

TIG 电弧作用于熔池能力减弱, 导致熔池向两侧铺展量减少, 熔宽随着距离的增大而减小。间距的增大, 熔池铺展量的减少, 减少熔池热量向两侧流失, 增加了电弧对堆焊底部的穿透力, 导致熔深轻微增大。当间距为 11 mm 时, 两熔池共熔的范围很小, 焊缝熔深逐渐表现出对称状态。得到最佳间距区间为 5~7 mm。

3 结论

(1) 旋摆 TIG-MIG 复合热源焊接过程稳定, 在合适的参数下能得到较好的焊缝成形。

(2) 旋摆 TIG-MIG 的焊缝熔深具有非对称特征, 这主要是由于 TIG 旋摆且在两侧停留, 增加了两侧的热输入。旋摆 TIG 改变了热量分布形状, 增加了宽度方向的热输入, 有利于增加熔(下转第 56 页)

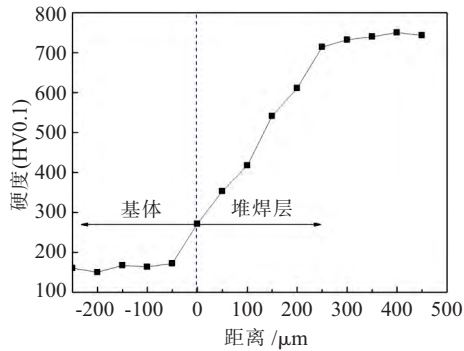


图5 堆焊层截面显微硬度变化曲线

Fig.5 Microhardness change curves of cross-section of surfacing layer

相 Al_2O_3 , 这些硬质相弥散分布在堆焊层中, 起到弥散强化作用, 从而显著提高了堆焊层的硬度。

3 结论

(1) 利用 TIG 焊方法成功地制备了 FeAlNbB 堆焊层, 堆焊层组织均匀, 结构致密, 无气孔及裂纹等缺陷, 与基体实现了良好的冶金结合。堆焊层由金属间化合物、氧化物和部分未溶颗粒组成。

(2) 堆焊层组织主要为铁素体基体上弥散分布着金属间化合物, 熔合线附近有少量魏氏体组织形成, 热影响区出现了少量贝氏体组织。堆焊层主要由 α -Fe、 Fe_3Al 、 $FeAl$ 相组成, 并含有少量的 Al_2O_3 相。

(3) 堆焊接头的显微硬度自基体到堆焊层表面呈明显的梯度分布。堆焊层的平均硬度为 736HV0.1

左右, 较基体有明显提高, 有利于改善材料的耐磨损性能。

参考文献:

- [1] 班劲明, 刘洪波, 肖景金. 单齿辊碳化钨合金耐磨堆焊[J]. 焊接技术, 2007, 36(5):73-73.
- [2] 王小范, 姚建华, 张群莉. 激光表面堆焊技术的应用及展望[J]. 兵器材料科学与工程, 2005, 28(4):68-70.
- [3] 刘瑜. 冶金机械设备维修中的堆焊技术分析 [J]. 化工管理, 2015(30):193-193.
- [4] 熊忠琪. 针对腐蚀和磨损的激光堆焊修复技术实验研究 [D]. 上海:上海交通大学, 2009.
- [5] 李玉龙, 禹业晓. TIG 堆焊技术研究进展 [J]. 电焊机, 2012, 42(12):70-76.
- [6] 杨凤琦. 钨极氩弧堆焊 Fe 基金粉末熔覆层组织和性能研究[D]. 济南:山东建筑大学, 2013.
- [7] 汤文明, 唐红军, 郑治祥, 等. Fe-Al 金属间化合物基复合材料的研究进展[J]. 中国有色金属学报, 2003, 13(4):811-826.
- [8] Li C J, Wang H T, Yang G J, et al. Characterization of high-temperature abrasive wear of cold-sprayed FeAl intermetallic compound coating [J]. Journal of Thermal Spray Technology, 2011, 20(1/2):227-233.
- [9] Xu K, Zhang S Q. Microstructure analysis of laser bonding welding on steel-aluminum [J]. Materials Science Forum, 2018, 911:28-33.
- [10] 宫文彪, 杨帅, 刘威, 等. 氩弧堆焊 $Cr_3C_2/Fe-Al$ 堆焊层的组织与性能[J]. 金属热处理, 2008(11):66-69.
- [11] 邹因素, 刘俊友, 刘杰, 等. TIG 焊 Fe 基非晶合金堆焊层的组织和性能[J]. 热加工工艺, 2013, 42(1):160-162.

(上接第 52 页)宽, 有效地解决咬边、指状熔深等缺陷, 易于获得大熔宽、小熔深及高熔敷率的焊接。

(3) 旋摆 TIG-MIG 复合热源焊接的熔宽及熔深与 TIG 及 MIG 电流呈现正相关性, 旋摆速度的增加会导致熔深的增加, 而熔宽尺寸则会减小。在旋摆速度一定的情况下, 随着间距的增大, 飞溅数量逐渐增加, 焊缝熔深逐渐由不对称向对称改变。

参考文献:

- [1] 孙茂龄, 宋昌洪, 吉荣亮, 等. TIG-MIG 复合焊研究现状与展望[J]. 焊接, 2016(12):33-36.
- [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.

- [3] 左为. TIG-MIG 复合电弧增材制造散热器用铝合金工艺及组织与性能研究[D]. 太原:太原理工大学, 2018.
- [4] 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.
- [5] 陈姬, 魏建华, 周倩, 等. 低电流 TIG 电弧辅助 MIG 高速焊咬边缺陷抑制机理及措施的研究 [J]. 机械工程学报, 2018, 54(2):55-61.
- [6] 王军, 冯吉才, 何鹏, 等. TIG-MIG 间接电弧焊工艺[J]. 焊接学报, 2009, 30(2):145-148.
- [7] 石玕, 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.
- [8] Miao Yugang, Xu Xiangfang, Wu Bintao, et al. Effects of bypass current on the stability of weld pool during double sided arc welding [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2014, 214(8):1590-1596.