

新型磁控-TIG 电弧熔-钎焊技术

陈 杰¹, 王小明², 张振兵², 冯建平², 刘树权²

(1.重庆市特种设备质量安全检测中心, 重庆 401121; 2.重庆大学 机械传动国家重点实验室, 重庆 400030)

摘要:磁控-TIG 电弧熔-钎焊是一种全新的焊接方法,是在常规的 TIG 电弧熔-钎焊基础上进行改进的一种新型工艺。简述了磁控-TIG 电弧熔-钎焊的基本原理和特点,并对目前国内外的电弧熔钎焊技术进行全面分析,展望磁控技术的发展趋势,对异种金属焊接方法的发展起到了促进作用。

关键词:磁场; 电弧熔钎焊; 技术发展

中图分类号: TG444.9

文献标识码: A

文章编号: 1001-2303(2012)06-0129-04

A new TIG-brazing welding technique by electromagnetic controlling

CHEN Jie¹, WANG Xiao-ming², ZHANG Zhen-bin², FENG Jian-ping², LIU Shu-quan²

(1.Chongqing Special Equipment Quality Safe Inspection Center, Chongqing 401121, China; 2.State Key Lab of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: The TIG-brazing welding technique by electromagnetic controlling is a new welding method. The new welding can improve quality of the conventional TIG arc welding brazing welding joint. This paper outlines the basic principles and characteristics of TIG-brazing welding technique by electromagnetic controlling and carried out comprehensive analysis to arc welding-brazing technology at home and abroad. It will play a key role to the development of dissimilar metals welding.

Key words: electromagnetic field; TIG-brazing welding; development

0 前言

在实际使用过程中,零部件各部分所承担的载荷不一致,使得零件某一部分的工作条件较差,可能接近材料许用应力的极限值,而零件另一部分的工作条件可能只承受很小的应力。在这种情况下,应用异种金属焊接技术就比较合适,因为它能充分发挥不同材料的性能优势,最大限度地利用材料各自的优点。将不同性能的材料焊接成复合零部件,既能满足各种性能的要求,又可节约各种贵重材料,降低成本^[1]。

异种金属的电弧熔钎焊是异种金属焊接研究的一个热门方向。该方法充分利用两种金属熔点的差异,严格控制焊接热输入,在保证高熔点母材金

属不发生熔化的前提下让低熔点母材熔化,熔化的低熔点母材金属与填充金属一起在高熔点母材表面铺展,与之形成熔钎焊连接,焊接过程兼备熔焊和钎焊的双重特点^[2]。

目前主要的电弧熔钎焊的方法有:激光-脉冲 MIG 复合热源熔-钎焊、CMT 熔-钎焊、钨极氩弧 (TIG) 熔-钎焊等^[3-5]。然而在电弧动态加热过程中,电弧加热时间短,温度分布不均匀,液态钎料在钢表面润湿铺展性差,难以实现两者的有效连接。

磁控-TIG 电弧熔-钎焊是一种全新的焊接方法,是在常规的电弧熔-钎焊基础上进行改进的一种新型工艺。通过外加磁场在焊接区产生电磁力,推动液态金属在母材表面铺展,并对液态金属起到一定的搅拌作用,细化焊缝组织。在此深入分析了磁控电弧熔钎焊的基本原理和特点,为异种金属焊接技术的发展起到很好的促进作用。

收稿日期: 2012-05-05

作者简介: 陈 杰(1966—),男,重庆人,学士,主要从事特种设备质量安全管理科研工作。

1 磁控-TIG 电弧熔-钎焊技术的基本原理与特点

磁控-TIG 电弧熔-钎焊是在焊炬上安装同轴空心圆柱励磁线圈,产生磁场,通过连续送进焊丝填充接头,在熔点低的母材侧为熔化焊结合,在熔点高的母材侧为钎焊结合,其实质是液态钎料与高熔点的母材通过界面反应结合在一起,焊接过程兼备熔焊和钎焊的双重特点。为了进一步提高钎料在母材侧的润湿性,可以在高熔点母材侧涂上合适的焊剂,其工作原理如图 1 所示。

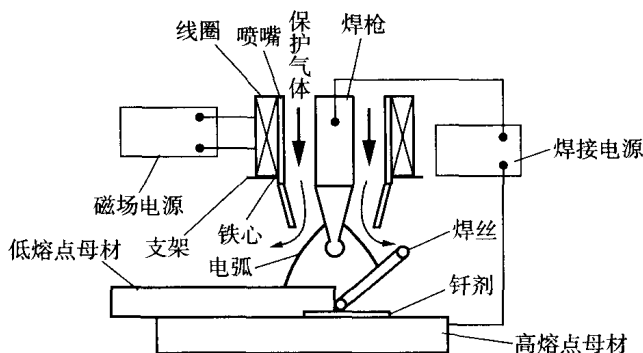


图 1 电弧熔钎焊的工作原理

外加磁场在焊接区产生电磁力,对液态金属起到一定的搅拌作用,在焊接区域使用外加交变磁场控制焊接电弧的特性,对电弧熔-钎焊的液态钎料熔池进行电磁搅拌与电磁激励强化的辅助作用,促进液态钎料有序流动及其在熔点较高的金属材料表面破膜、润湿、铺展与扩散,促进液态钎料与熔点较低金属材料熔化的母材充分地混合,提高钎焊焊缝成分的均匀化程度,减少焊接缺陷,优化钎焊焊缝组织与性能,提高钎焊接头质量,并且该设备结构简单,应用灵活,成本较低,效果较好。

磁控-TIG 电弧熔-钎焊的主要特点^[6-9]:

(1)外加磁场在焊接区产生电磁力,在电磁力的推动作用,液态金属可以在润湿母材表面之前先在母材表面铺展开来,这样可以有效提高钎料的润湿铺展能力,尤其是对润湿性较差的母材效果更明显。

(2)可以在较小的热输入情况下,实现焊丝良好的铺展性,从而避免母材的过多溶蚀,形成很厚的金属间化合物。

(3)外加磁场装置由电源和电磁线圈两部分组成,各部分具有独立的结构,设备体积比较小,便于携带,适用于野外作业,使用简单灵活。外加磁场的种类较多,形式较丰富,能够较好地满足多种工况

条件下对焊接工艺的要求,受限制较少。

(4)外加磁场所需功率一般不大,电能消耗很少;外加磁场强度较小、频率较低,对环境不产生电磁污染;无接触控制,无噪声,是一种环保型的焊接技术。

2 电弧熔-钎焊技术在国内外的现状

近年来,在国内外电弧熔-钎焊主要应用于铝/钢异种金属的连接上,如哈尔滨工业大学杨春利、林三宝、张洪涛等^[10-13]人利用氩弧做热源,成功地实现了铝/钢的焊接。利用激光及其复合热源做热源在最近几年也是研究热点,哈尔滨焊接研究所雷振、秦国梁等人^[14]采用激光-电弧复合热源焊接方法,成功地实现了 5A02 铝合金板与镀锌钢板的高效连接。研究表明,接头钢母材未发生熔化,焊缝与钢母材为钎焊连接,接头断裂于铝合金母材热影响区,接头的抗拉强度与铝合金电弧熔焊接头强度相当,还提出了可实现铝与钢熔钎连接的大光斑激光-电弧复合热源焊接方法。哈尔滨焊接研究所林尚扬、游爱卿等人^[15]发明了一种适合于铝与钢异种金属激光与 MIG 复合熔-钎焊的专用钎剂,研究发现 Zn、Sn 等活性元素可以增强钎料在钢表面的流动性,Sb 可以提高接头的强度,稀土中 La 可以改善金属间化合物的塑性。冯吉才、石常亮等人^[16]采用 CMT 技术对纯铝和镀锌钢板异种材料进行了熔-钎焊连接,研究发现接头界面区组织为 α -Fe 和 FeAl_3 化合物混合层,接头断裂于铝母材的热影响区,最高抗拉强度达 72.09 MPa。董红刚等人^[17]用四种不同的钎料对铝钢异种金属进行搭接电弧熔钎焊。研究表明由于硅元素能够抑制铁元素的扩散,钎料的含硅量越高金属间化合物的尺寸越小,抗拉强度越大。

C.Dharmendra 等人^[18]采用激光电弧熔-钎焊焊接了(DP600)钢和(AA6016)铝合金,主要从激光能量、送料速度、焊接速度等方面进行接头的宏观和微观组织的分析。研究表明,随着焊接速度的改变,界面层的金属间化合物层的厚度在 3~23 μm 内变化。最高显微硬度为 348 HV,焊接线能量在 60~110 J/mm 内时,接头的抗拉强度达到 220 MPa,焊接速度在 0.5~0.8 mm/min 变化时,金属间的化合物厚度为 8~12 μm 。

德国的 Vranakova 等人^[19]通过试验证明采用 MIG 氩弧焊方法,同时填充 AlSi5 合金焊丝,通过控制焊接热输入,可以连接铝合金 AlMg0.4Si1.2/镀锌钢

板 DX53Z 异种金属接头。接头实质上由两个部分组成,一是与铝板相连的熔焊接头,二是与钢板相连的钎焊接头。通过拉剪试验测试接头的静力强度,焊接接头无论断裂在母材还是断裂在焊缝金属上,其抗拉强度都超过了 150 MPa,大部分接头都断裂在铝母材的热影响区处。

日本大阪大学的 Murakami 等人^[20]采用 MIG 电弧钎焊方法成功连接了冷轧普通碳钢板和纯铝板搭接接头,在钢板和熔化金属的界面上生成了矩阵状的 α -Al、网状的 Al-Si 共晶体和片状的 Al-Fe-Si 金属间化合物 $\text{Al}_{17}\text{Fe}_2\text{Si}$ 。当金属间化合物层的厚度小于 2.5 μm 时,接头的结合性能良好,其横向拉伸强度约为 80 MPa,断裂位于铝母材的热影响区处。

3 磁控焊接技术的发展现状

在焊接过程中引入磁场控制成为一种先进焊接技术,这种技术被称作电磁搅拌焊接技术、电磁作用焊接技术或磁控电弧焊接技术。

在 20 世纪 70、80 年代,国外的学者对磁场与电弧的相互作用进行了研究,如 Tseng 和 Savage 等人^[21]深入研究了在 TIG 焊时电磁搅拌对微观组织和性能的影响,发现在电磁作用下焊接高强钢时,降低了热裂纹的敏感性。前苏联的基辅工业大学^[22]研究了纵向磁场作用下的薄板脉冲 TIG 焊接的熔池流动和细化晶粒规律,通过电场和磁场共同作用控制熔池凝固结晶过程。

从 20 世纪 80、90 年代开始,国内的学者对磁场在焊接领域中的应用也进行了卓有成效的研究^[23]。重庆大学罗键教授等针对外加纵向磁场对 GTAW 电弧形态^[24-25]、熔池流动^[26]、焊缝中气孔的形成^[27]和焊缝中组织的影响^[28]进行了深入而全面的研究。结果表明,外加磁场不仅可以改变电弧的形态,还对焊接熔池产生附压,控制熔池的流动,改变焊接熔池熔体的结晶条件,细化焊缝金属的一次结晶组织明显改善,还可以改变焊丝金属的过渡特性,在适当的焊接参数下可以有效的抑制焊缝中气孔的形成。

4 发展趋势

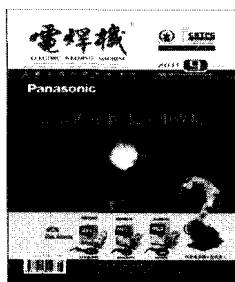
由于采用外加磁场控制焊接质量,具有附加装置简单、投入成本低、效益高、耗能少等特点。近年来,电磁作用电弧焊技术得到了快速发展,应用日益广泛。积极开展外加磁场与电弧和焊接熔池相互作用机制的研究,从本质上认识电磁作用电弧和熔池的

焊接技术的机理,为了电磁作用电弧焊接技术的工程应用提供理论借鉴,所以其研究和应用前景非常乐观,必将成为日后发展的一个重要方向。

参考文献:

- [1] 马 琰,陈 兰.异种金属焊接技术的应用实践[J].中国新技术产品,2011(19):159.
- [2] 宋建岭,林三宝,杨春利,等.铝与钢异种金属电弧熔-钎焊研究与发展现状[J].焊接,2008(6):6-9.
- [3] 雷 振,秦国梁,王旭友,等.铜/镀锌钢异种金属 Nd:YAG 激光脉冲 MIG 复合热源钎接焊[J].焊接学报,2007(12):18-25.
- [4] 张洪涛,冯吉才,何 鹏,等.镀锌层对铝/镀锌钢板 CMT 熔-钎焊电弧加热行为的影响[J].焊接学报,2009(8):37-40.
- [5] S B Lin, J L Song, C L Yang, et al. Brazability of dissimilar metals tungsten inert gas butt welding brazing between aluminum alloy and stainless steel with Al-Cu filler metal[J]. Materials and Design, 2010(31):2637-2642.
- [6] 罗 键,贾 涛,殷咸青,等.GTAW 外加间接交变磁场的数值计算及其对焊接行为的影响[J].金属学报,1999(3):330-333.
- [7] 罗 键,王向杰,赵国际,等.CO₂+电磁搅拌复合堆焊梯度功能层的微观组织及性能研究[J].金属学报,2009(12):1487-1492.
- [8] J Luo, H B Leng, J F Xiang, et al. Study on the new joining technology of aluminum alloy/Q235 steel dissimilar metal by the longitudinal electromagnetic hybrid TIG welding-brazing method[C]. Conference Publications, 2011(7):1698-1701.
- [9] 罗 君,刘政军,苏允海,等.纵向直流磁场对 AZ31 镁合金 TIG 焊焊接接头组织及性能的影响[J].焊接学报,2007(7):53-56.
- [10] 林三宝,宋建岭,马广超,等.铝合金与不锈钢异种金属铝硅药芯焊丝 TIG 熔钎焊接头组织及性能[J].焊接学报,2009(7):9-12.
- [11] 张洪涛.铝/镀锌钢板 CMT 熔-钎焊机理研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2008.
- [12] 宋建岭,马广超,杨春利.铝合金与不锈钢异种金属铝硅药芯焊丝 TIG 熔钎焊[J].焊接学报,2010(7):10-12.
- [13] 雷 振,秦国梁,林尚扬.铝/钢异种金属 Nd:YAG 激光 MIG 复合热源熔-钎焊工艺[J].焊接,2006(6):35-37.
- [14] 雷 振,秦国梁,林尚扬,等.基于激光-MIG 复合热源的 5A02 铝合金/镀锌钢熔-钎焊[J].机械工程学报,2009(3):94-98.
- [15] 林尚扬,雷 振,游爱卿.一种用于大光斑激光电弧复合热源连接异种金属的钎剂[P].中国:国家发明专利. CN101088696A.
- [16] 石常亮,何 鹏,冯吉才.铝/镀锌钢板 CMT 熔钎焊界面组织与接头性能[J].焊接学报,2006(12):61-64.

- [17] Dong H G, Hu W J, Duan Y P, *et al.* Dissimilar metal joining of aluminum alloy to galvanized steel with Al-Si, Al-Cu, Al-Si-Cu and Zn-Al filler wires[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2012(2): 458-464.
- [18] C Dharmendra, K P Raoa, J Wildenb, *et al.* Study on laser welding brazing of zinc coated steel to aluminum alloy with a zinc based filler[J]. Materials Science and Engineering A, 2011(5): 1497-1503.
- [19] R Vranakova, U Fussel, J Zschetzsch, *et al.* Arc welding of joints between zinc-coated steel and aluminum[J]. Welding in the World, 2005(6): 105-109.
- [20] Murakami Taichi, Nakata Kazuhiro, Hong Jun Tong. Dissimilar metal joining of aluminum to steel by MIG arc brazing using flux cored wire[J]. ISIJ International, 2003(10): 1596-1602.
- [21] Jayarjan, Jackson. Magnetic control of gas tungsten-arc welding process[J]. Welding Journal, 1972(8): 377-385.
- [22] Manabe Yukio, Wada Hirokazu, Zenitani Satoru, *et al.* Investigation on TIG Welding Using 2 Filler Wires with Electromagnetically Controlled Molten Pool Process in Horizontal Position[J]. Quarterly Journal of the Japan Welding Society, 2000(1): 40-50.
- [23] 韦尚戟. 载流无限长螺线管磁场的分析[J]. 河池师专学报, 1994(3): 39-41.
- [24] 罗 键, 贾昌申, 王雅生, 等. 外加纵向磁场 GTAW 焊接机理 I 电弧特性[J]. 金属学报, 2001(2): 212-216.
- [25] 罗 键, 贾昌申, 王雅生, 等. 外加纵向磁场 GTAW 焊接机理 II 电弧特性[J]. 金属学报, 2001(2): 217-220.
- [26] 罗 键, 贾昌申, 王雅生, 等. 外加纵向磁场惰性气体保护钨极电弧焊接熔池流动模型[J]. 上海交通大学学报, 2001(5): 660-663.
- [27] 贾昌申, 罗 键, 贾 涛, 等. 外加间歇交变纵向磁场对 GTAW 焊缝中气孔的抑制[J]. 科技成果学术论文, 1999(3): 26-28.
- [28] 罗 键, 马 杰, 王向杰, 等. 外加磁场对镁合金焊缝组织与裂纹影响机制的研究[J]. 稀有金属材料与工程, 2009(3): 215-219.



2012年 电焊机® 征订启事

中文核心期刊

中国科技论文引文统计源期刊(中国科技核心期刊)

焊接设备·切割设备·材料·工艺·辅配件·元器件

邮发代号: 62-81 国内刊号: CN51-1278/TM 定价: 10.00元/月(月刊) 全国各地邮局均可订阅

- 温馨提示**
- 在邮局订阅的读者, 请记住我刊的邮发代号: 62-81;
 - 本刊备有大量焊接类专业技术书籍, 欲购的读者请来电咨询;
 - 如需过期杂志, 请直接与我刊发行部联系。

- ◆ 中文核心期刊
- ◆ 中文核心期刊(遴选)数据库
- ◆ 英国《科学文摘》(SA, INSPEC)
- ◆ 俄罗斯《文摘杂志》(AJ, VINITI)
- ◆ 美国《剑桥科技文摘》(CSA, MI)
- ◆ 波兰《哥白尼索引》(IC)
- ◆ 《机械制造文摘焊接分册》
- ◆ 中国科学引文数据库
- ◆ 万方数据资源系统数字化期刊群
- ◆

**重要
收录**

杂志简介

《电焊机》杂志(月刊)创刊于1971年, 由国家科委批准, 成都电焊机研究所主办, 是国内外公开发行的国家级综合性应用技术刊物。她以报道焊接切割设备技术为基本特色, 内容涵盖焊接切割领域的所有技术和信息, 包括焊接基础理论、焊接切割设备、焊接物理、材料、工艺、工程应用、检验、质量与标准、焊接生产、卫生与安全、人才培养、焊接辅配件、元器件等技术及行业信息。

2007年起, 中国电器工业协会电焊机分会会刊《焊接界》随杂志同刊出版发行。她专注于国内外行业动态、先进技术和厂商动态等信息报道, 是电焊机分会发布信息、报道新闻的唯一指定媒体。

联系方式

地址: 四川省成都市二环路东一段29号(610051)

电话: 028-83289008(编辑部) 028-83282678(广告部) 028-83278528(网络部)
028-83267908(发行部) 028-83262878(传真)

E-mail: bj@toweld.com; cddhjz@sc.cninfo.net http://www.toweld.com