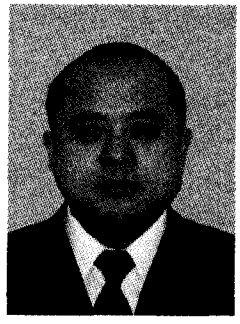
TIG-MIG 间接电弧焊工艺

王 军[1,2]， 冯吉才[1]， 何 鹏[1]， 张洪涛[1]
（1. 哈尔滨工业大学 现代焊接生产技术国家重点实验室，哈尔滨 150001；
2. 佳木斯大学 材料学院，黑龙江 佳木斯 154007）



王 军

摘 要：经过对传统的 TIG 焊接系统进行改造，使电弧在钨极和焊丝之间产生并稳定燃烧，建立了 TIG-MIG 间接电弧焊系统. 以 30CrMnSi 为母材，CuSi3 为焊丝，进行了 TIG-MIG 间接电弧堆焊试验. 通过改变焊接工艺参数，分析了焊接电流和送丝速度对焊接稳定性的影响，分析了钎剂、焊接电流、焊接速度、焊枪距工件表面高度对接头成形的影响. 结果表明，TIG-MIG 间接电弧焊工艺可以在明显提高焊丝熔覆率的同时降低工件的热输入，减小熔覆合金与工件的互溶，抑制有害的泛铁现象，拓展了电弧焊的应用.

关键词：钨极惰性气体保护；熔化极惰性气体保护；间接电弧
中图分类号：TG403 **文献标识码**：A **文章编号**：0253 - 360X(2009)02 - 0145 - 04

0 序 言

随着焊接技术的发展，如何提高电弧焊的生产率、焊接质量以及拓展其应用领域成为关注的焦点[1,2]. 传统电弧焊，电弧在电极与工件之间燃烧，在某些要求母材熔化量低而焊丝熔覆率高的情况下，由于工件接受的热输入过大，其熔化量过多，而使得电弧焊的应用在一定程度上受到了限制. 如在钢基体表面熔覆铜合金[3,4]，不仅要求熔覆层与基体实现冶金结合和很高的结合强度，而且要求很低的稀释率（指由于熔化的母材金属的混入而引起的熔覆合金成分变化的程度，用母材金属在焊缝中所占的百分数表示）[5-7]，即在提高焊丝熔覆速度的同时要求工件的热输入极小. 因此合理分配电弧焊中对母材和焊丝的热输入，已成为近年来电弧焊发展的重要研究方向[8,9]. TIG-MIG 间接电弧焊技术在焊接时工件不接电源，电弧在钨极和焊丝端部之间燃烧，其热量主要加热快速送进的焊丝，由于钨极作为电弧的一极，电弧十分稳定. 焊丝熔化形成的熔滴携带热量到达工件后，在工件表面铺展并将自身热量部分传给工件，在冷却的过程中与工件之间达到原子间冶金结合. 该方法既降低了工件母材的热输入量，同时又提高焊接生产率.

1 试验方法

TIG-MIG 间接电弧焊焊接系统由钨极氩弧焊机、送丝机、钨极氩弧焊枪、CO_2 气体保护焊焊枪及工作台组成，其控制原理如图 1 所示. 通过改造将送丝机送出的焊丝导入 CO_2 焊枪中的导丝管并从焊枪的导电嘴送出. 将氩气同时导入钨极氩弧焊枪和 CO_2 焊枪，将钨极氩弧焊枪的接电端子接在钨极氩弧焊电源的负极，将 CO_2 焊枪的接电端子接在钨极氩弧焊电源的正极. 上述改造既实现了 CO_2 焊枪在传统的 TIG 焊系统中导电、导丝和导气的功能，又保证了电弧在钨极和焊丝之间稳定燃烧. 试验所用焊丝为 ϕ1.2 mm 的 CuSi3 焊丝，母材 30CrMnSi 钢板，板厚为 3 mm.

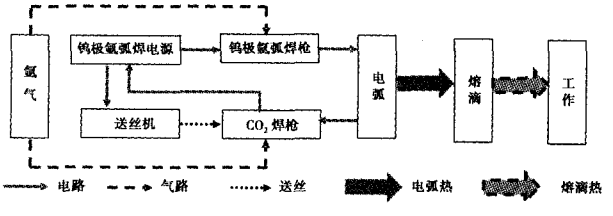


图 1 TIG-MIG 间接电弧焊系统原理图

Fig. 1 Schematic diagram of TIG-MIG indirect arc welding system

收稿日期：2008 - 09 - 16
基金项目：哈尔滨工业大学优秀团队计划资助项目（2006）

2 试验结果及分析

2.1 系统工艺稳定性试验

过渡熔滴的大小、形状、过渡频率决定电弧的稳定性,对焊接操作及焊缝质量构成影响. 熔滴过渡尺寸过大或不一致,使熔滴过渡时电弧变化增大,电弧不稳;熔滴过渡频率过快或过慢都可能造成严重的飞溅. 在 TIG-MIG 间接电弧焊接系统中,很多工艺因素如焊丝的种类、保护气体流量、两焊枪夹角、电流和送丝速度等都对该焊接工艺的稳定性产生影响,但焊接电流和与之相匹配的送丝速度是影响焊接稳定的决定因素.

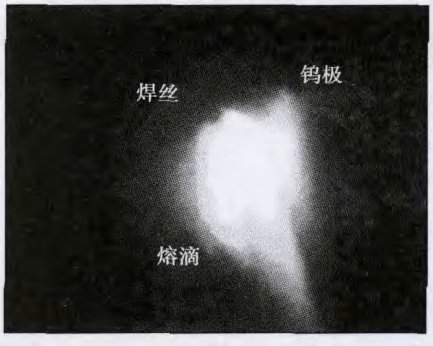
2.1.1 焊接电流的影响

如图 2 所示,焊接电流过小时,熔滴单位时间所接受的电弧热量较少,形成的熔滴不断长大,直到能够突破阻碍熔滴过渡的力,最终形成大滴排斥过渡,使得熔滴过渡频率较低. 由于过渡熔滴指向性不好,因此无法形成美观的焊缝,同时电弧在大滴与钨极之间燃烧,极不稳定,不适合焊接. 随着焊接电流的增大,熔滴过渡形式发生改变,电弧燃烧稳定,熔滴单位时间接受电弧热量足够多,瞬间熔滴能够突破阻力,快速过渡到工件表面. 熔滴尺寸减小,过渡频率加快,过渡指向性好,可携带部分热量进入工件表面实施焊接.

2.1.2 送丝速度的影响

在确定焊接电流后,焊丝的送丝速度必须与焊接电流相匹配. 当送丝速度较小时,如图 3a,焊丝的干伸长小,焊丝端部与钨极端部的距离大,焊丝的送进不足以维持电弧的稳定燃烧,电弧不稳定. 速度过小还会造成断续熄弧现象. 两束电弧开始偏向焊丝一侧. 熔滴过渡指向性差,无法通过投影仪观测熔滴的过渡,不适于焊接. 当送丝速度过大时,如图 3c,电弧在钨极端部与熔滴临近的一小段焊丝之间燃烧. 焊丝干伸长较大. 这是由于送丝速度加快,电弧不足以瞬间熔化焊丝,未熔化而被加热的焊丝继续送进,直到焊丝端部熔化形成熔滴并脱落. 这一过程中焊丝的受热最不充分,焊丝有时不能充分熔化. 熔滴较大,呈不规则形状向工件过渡. 通过投影仪无法观察到熔滴脱离焊丝的情况,施焊难度较大. 送丝速度适中时,如图 3b,电弧明亮,焊丝的干伸长适中,焊丝端部与钨极端部的距离最近,焊丝的送进足以维持电弧的稳定燃烧,电弧稳定. 未

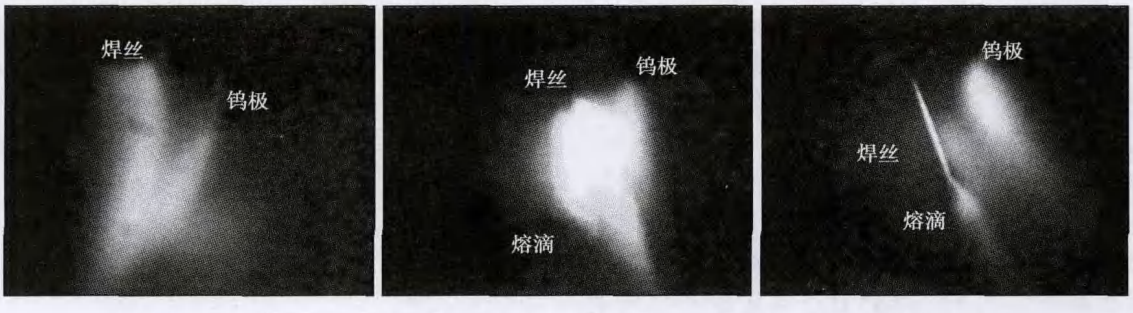
(a) 90 A



(b) 130 A

图 2 电流对熔滴过渡的影响

Fig.2 Effect of current on drop transfer



(a) 6.0 m/min (b) 7.0 m/min (c) 8.0 m/min

图 3 送丝速度对熔滴过渡的影响(焊接电流 130 A)

Fig.3 Effect of feeding wire speed on drop transfer(welding current 130 A)

出现断续熄弧现象．熔滴尺寸较小，过渡频率高，可均匀向工件过渡，熔滴过渡指向性良好，可通过投影仪观测熔滴的过渡，适于焊接．

2.2　不同焊接工艺参数对堆焊焊缝成形的影响

2.2.1　钎剂

图 4 示出，在其它工艺参数相同条件下，从上到下分别是焊前在钢板上没有预涂钎剂、少量涂钎剂和足量涂钎剂的焊缝形貌，每个子图中所显示的百分数为堆焊焊缝的稀释率．试验发现，不预涂钎剂的堆焊接头，焊缝高度大，焊缝宽度小；涂钎剂的焊缝高度小，焊缝宽度大．预涂钎剂的焊缝平直美观，表面光亮；不预涂钎剂的表面不光滑，且为黑灰色．预涂钎剂的稀释率低，为 0.12%；不预涂钎剂的稀释率高，为 3.86%．这是因为熔滴进入到工件表面后，钎剂的加入可以清除钎料和母材的表面氧化膜，改善润湿，有利于熔滴的铺展；并使其携带热量快速分散地传递给工件，从而减少工件的熔化量且有利于降低工件的稀释率．

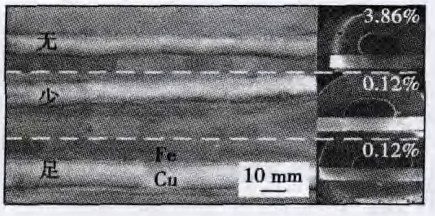


图 4　钎剂对焊缝成形的影响

Fig.4　Effect of flux on weld formation

2.2.2　焊接电流和送丝速度

对于一定的焊接电流，为保持熔滴持续稳定过渡，要求送丝速度与之相对应，因此将这两个参数联系在一起研究它们对焊缝宏观形貌的影响．图 5 示出，在其它工艺参数相同条件下，电流较小时，焊缝高度较大，焊缝宽度较小，稀释率较大；电流较大时，焊缝宽度加大，焊缝高度减小，稀释率减小．这是因为电流较大时，焊丝熔化速度相对较高，单位时间铜合金的熔覆量增大，液态熔覆合金温度下降较慢，有利于金属向两侧铺展，因此稀释率减小．电流较小时，单位时间铜合金的熔覆量减少，液态熔覆合金温度下降较快，未等铜合金向两侧铺展，即发生凝固，因此稀释率较大．

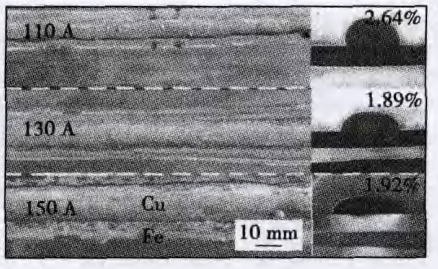


图 5　焊接电流对焊缝成形的影响

Fig.5　Effect of welding current on weld formation

2.2.3　焊接速度

图 6 示出，在其它焊接参数相同的情况下，焊接速度较小时，焊缝高度较小，焊缝宽度很大，单位时间铜合金的熔覆量增大，液态熔覆合金温度下降较慢，有利于金属向两侧铺展，稀释率较小．焊接速度较大时，焊缝宽度减小，焊缝高度增大，单位时间铜合金的熔覆量减少，液态熔覆合金温度下降较快，未等铜合金向两侧铺展，即发生凝固，稀释率较高．

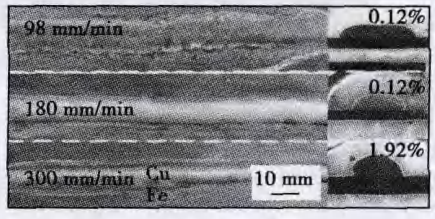


图 6　焊接速度对焊缝成形的影响

Fig.6　Effect of welding speed on weld formation

2.2.4　钨极尖端距工件表面距离

图 7 示出，在其它工艺参数相同条件下，距离较大时，焊缝高度较大，焊缝宽度较小，稀释率较大；距离较小时，焊缝宽度增大，焊缝高度减小，稀释率减小．但稀释率变化并不明显．距离较小时，电弧预热作用加强，使得工件表面温度升高，液态熔覆合金有利于金属向两侧铺展，稀释率下降．距离较大时，电弧预热作用减弱，液态熔覆合金未等铜合金向两侧铺展，即发生凝固，稀释率升高．

总之，在 TIG-MIG 间接电弧焊中，钎剂的加入、焊接电流的增大、焊接速度的减小以及钨极距离工件表面距离的减小都可以增强熔覆金属在工件表面的润湿铺展，从而起到增加焊缝宽度，减小稀释率的作用．

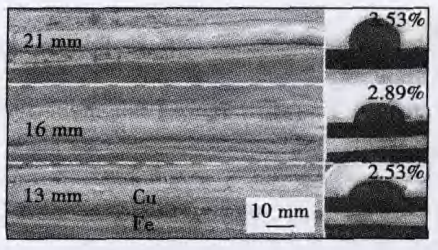
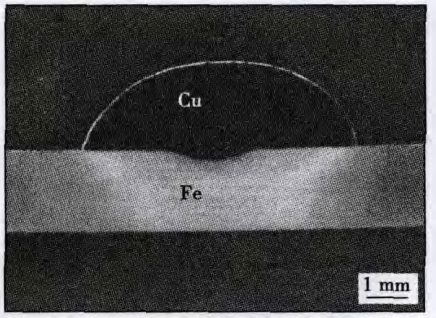


图 7　钨极距工件距离对焊缝成形的影响

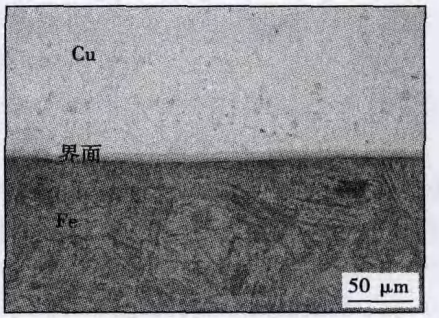
Fig.7　Effect of distance between tungsten and base metal on weld formation

2.3 接头组织分析

在对 TIG-MIG 间接电弧焊焊接工艺研究的基础上，采用光学显微镜对接头组织进行了研究. 如图 8a所示，基体和堆焊金属间界限明显. TIG-MIG 使母材的热输入量低，导致钢基体的熔化量很少，不能与铜合金堆焊金属大量混合. 由图 8b 可知，堆焊金属中除靠近界面处存在零星分布的黑色 Fe-Si 化合物外，大多数为黄色的铜基固溶体. 界面很薄，大约 8 μm 左右，均匀分布，这说明界面处的反应并不活跃. 微观结果显示，采用 TIG-MIG 方法能够抑制泛铁现象. 微观组织分析说明采用 TIG-MIG 可以明显提高焊丝熔覆率，同时能够减小母材的热输入量，该工艺方法在提高焊接生产率同时降低工件热输入方面具有优势.



(a) 焊缝截面形貌



(b) 界面组织分析

图 8 堆焊接头组织形貌

Fig.8 Macrostructure and microstructure of weld

3 结 论

(1) TIG-MIG 间接电弧焊方法可以实现电弧在钨极与焊丝熔化极之间的稳定燃烧，当超过一定电流值并配以合适的送丝速度时，可以使熔滴快速、稳定、均匀地向工件表面过渡并实施焊接.

(2) 在 TIG-MIG 间接电弧焊中，钎剂的加入、焊接电流的增大、焊接速度的减小以及钨极距离工件表面距离的减小都可以增强熔覆金属在工件表面的润湿铺展，从而起到增加焊缝宽度，减小稀释率的作用.

(3) 接头组织分析结果表明，基体和堆焊金属间界限明显. 母材的熔化量很少，未与铜合金大量混合. 除存在少量零星分布的黑色 Fe-Si 化合物外，未出现泛铁现象. 可以证明 TIG-MIG 间接电弧焊可以在提高焊丝熔覆率的同时明显减少母材的热输入量.

参考文献：

[1] 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册：焊接方法及设备(第 1 卷)[M]. 2 版. 北京：机械工业出版社，2001.

[2] Anon. Shielded metal arc welding: the workhorse of welding processes [J]. Welding Journal, 1998, 77(5): 45 - 47.

[3] Malin V. Development of mold solidification welding for depositing non-ferrous alloys onto steel [J]. Welding Journal, 1992, 71(5): 35 - 36.

[4] 王克鸿，徐越兰，余 进. 无熔深堆焊铜技术研究[J]. 机械设计与制造工程，2002，31(1)：58 - 59.
Wang Kehong, Xu Yuelan, Yu Jin. The technique research for deposit copper welding without penetration into the steel layer[J]. Machine Design and Manufacturing Engineering, 2002, 31(1): 58 - 59.

[5] 王克鸿，徐越兰，王建平. 弹带熔覆扩散焊接技术研究[J]. 兵器材料科学与工程，2002，25(3)：34 - 36.
Wang Kehong, Xu Yuelan, Wang Jianping. Research of copper rotating band remelt deposit welding[J]. Ordnance Material Science and Engineering, 2002, 25(3): 34 - 36.

[6] 王克鸿，徐越兰，余 进. 无熔深熔覆铜工艺[J]. 焊接学报，2001，22(6)：69 - 72.
Wang Kehong, Xu Yuelan, Yu Jin. Weld method of deposit copper without penetration on the surface of steel [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2001, 22(6): 69 - 72.

[7] 宋永伦，Oliveria J F. 不锈钢表面超薄铜层的激光熔覆[J]. 焊接学报，1998，19(2)：88 - 92.
Song Yonglun, Oliveria J F. Laser cladding of thin copper layer on stainless steel [J]. Transactions of the China Welding Institution, 1998, 19(2): 88 - 92.

[8] 邹增大. 双芯焊条及单弧焊接工艺：中国，CN1322605A[P]. 2001 - 11 - 21.

[9] 曹梅青，邹增大，曲仕尧. 双丝间接电弧氩弧焊的熔滴过渡[J]. 焊接学报，2006，27(1)：45 - 48.
Cao Meiqing, Zou Zengda, Qu Shiyao. Metal transfer of twin-win indirect arc argon welding[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2006, 27(1): 45 - 48.

作者简介： 王 军，男，1975 年出生，硕士，讲师. 从事电弧焊及异种材料连接研究工作. 发表论文 10 余篇.

Email: wangjtcywkx@126.com