

冷金属过渡焊接技术的研究及应用

岳彩月¹ 卜峰¹ 罗添元² 郝瑞¹ 王东阳¹ 王雷¹

(1. 中车长春轨道客车股份有限公司国铁事业部, 130062, 长春;

2. 中国第一汽车集团有限公司研发总院, 130062, 长春)

摘要 [目的]为研究铝合金材料焊接变形程度与焊接方式之间的关系,特进行此项研究,旨在探索不同焊接工艺对铝合金焊接变形的影响。[方法]通过对比 CMT(冷金属过渡焊接技术)与熔化极 MIG(惰性气体保护焊)技术的焊接性能,详细论述了 CMT 焊接工艺的特点及其应用。实验过程中,针对厚度为 3 mm 和 8 mm 的铝板,分别采用 CMT 和 MIG 两种焊接工艺进行焊接,并观察记录焊接变形情况。[结果及结论]对于厚度为 3 mm 的铝板,使用 CMT 焊接后铝板几乎没有变形,而使用 MIG 焊接后铝板出现了 4 mm 焊接变形;对于厚度为 8 mm 的铝板,虽然两种焊接工艺均会产生一定的变形,但 CMT 焊接后的变形量明显小于 MIG 焊接后的变形量。此外,使用 CMT 和 MIG 焊接工艺均能形成均匀美观的焊缝,且焊缝熔深均为 0.5 mm,无显著差异。因此,CMT 焊接工艺在控制铝合金焊接变形方面具有显著优势,适用于对焊接变形要求较高的铝合金零部件的焊接。**关键词** 轨道交通车辆;冷金属过渡焊接技术;惰性气体保护焊;焊接工艺;焊接变形

中图分类号 P755.1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.02.023

Research and Application of Cold Metal Transfer Welding Technology

YUE Caiyue¹, BU Feng¹, LUO Tianyuan², HAO Rui¹, WANG Dongyang¹, WANG Lei¹

(1. National Railway Division, CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China; 2. R & D Institute, China FAW Group Co., Ltd., 130062, Changchun, China)

Abstract [Objective] It is aimed to investigate the relationship between the welding deformation degree of aluminum alloy materials and the welding methods, with the purpose of exploring the effects of different welding processes on aluminum alloy welding deformation. [Method] By comparing the weldability of CMT (cold metal transfer) welding technology with that of MIG (metal inert gas) welding, the characteristics and applications of the CMT welding process are discussed in detail. During the experiment, aluminum plates with thicknesses of 3 mm and 8 mm are welded using CMT and MIG welding

processes respectively, and each resulting welding deformation is observed and recorded. [Result & Conclusion] For 3 mm thick aluminum plates, only minimal deformation is observed after CMT welding, whereas MIG welding led to significant welding deformation of 4 mm. For 8 mm thick aluminum plates, although both welding methods result in some deformation, the deformation with CMT welding is notably less than that with MIG welding. Additionally, both CMT and MIG welding processes produce uniform and aesthetically pleasing welds, with a weld penetration depth of 0.5 mm and showing no significant difference between the two. Consequently, the CMT welding process has a significant advantage in controlling welding deformation of aluminum alloys, making it suitable for welding aluminum alloy components that require strict control over deformation.

Key words rail transit vehicles; CMT; MIG; welding process; welding deformation

CMT(冷金属过渡焊接技术)是一种创新的焊接方法,其显著特点是能够完全避免焊渣飞溅。该技术的核心在于通过数字控制实现对短电弧与焊丝换向送丝机制的精确管理。具体而言,其换向送丝系统由前后两组协同工作的焊丝输送机构组成,实施间断式的焊丝供给。在这一系统中,后送丝机构以恒定速度推送焊丝,而前送丝机构则根据控制系统的指令,以 70 Hz 的频率进行脉冲式的焊丝输送^[1]。

CMT 的基本原理:当电弧处于燃烧阶段时,焊丝向熔池方向移动;一旦焊丝与熔池接触,电弧即刻熄灭,焊接电流随之减小;此时,焊丝的回抽动作会促使熔滴从焊丝上脱落,从而维持一个极低的短路电流状态。随后,焊丝再次向熔池方向移动,这一过程循环往复,形成了冷金属过渡的特有模式^[2]。

本文旨在通过对比分析 CMT 与 MIG(惰性气体保护焊)的焊接性能,深入探讨 CMT 工艺的特点及其潜在的应用领域。

1 CMT 工艺研究

1.1 CMT 焊机概述

传统 MIG 焊机采用短路过渡方式,即利用短路

时的电流促使熔滴过渡。在熔滴与工件短路的瞬间,焊接电压近乎为零,而焊接电流则迅速上升,借助短路时产生的大电流来爆断熔滴缩颈,从而实现熔滴向熔池的过渡。然而,这一过程伴随着较大的热输入量和飞溅现象。相比之下,CMT焊机在熔化金属过渡时,通过焊丝的回抽动作“甩开”熔滴,实现过渡,并同时运用数字控制技术,使得熔滴过渡时的电流几乎为零,从而有效降低了热量的输入,减少了焊接变形和焊穿的风险。

CMT焊机功能多样,既可进行单纯的CMT焊接或普通的MIG焊接,也可通过复合普通MIG脉冲焊接,在减少热输入的同时,实现普通MIG焊接的高效性。因此,CMT技术在铝合金薄板焊接中发挥着不可替代的作用。其主要优势体现在以下几个方面:

1) CMT焊弧长控制更为精确,电弧稳定性更高。CMT过渡过程中,电弧频繁地燃烧与熄灭,每秒高达70多次的高频率,且每次电弧重新引燃时都会进行修正,确保电弧的稳定性。即使在干伸长或焊接速度发生变化的情况下,电弧长度也能保持一致。这种高度的稳定性确保了即使在极高的焊接速度下,也不会出现断弧现象。

2) CMT具有更低的热输入量,变形更小,焊缝更美观。CMT实现短路过渡所需的最小参数远低于传统短路过渡所需的参数。传统焊机在焊接电流小于96 A、电压小于13.3 V时,无法维持电弧的稳定;而CMT焊接只需84 A的电流和11.1 V的电压。此外,CMT焊接过程中还实现了冷-热交替焊接,显著降低了焊接热输入量。在相同的焊接速度下,CMT的热输入量可降低约30%。焊丝的回抽动作还使得焊工无需进行焊枪的摆动,即可获得均匀细腻的焊缝波纹。

3) CMT可实现钢与铝的异种焊接。钢与铝CMT焊接的原理是在钢板一侧采用钎焊工艺,而在铝板一侧则采用熔焊工艺。通过低热输入量,将钢和铝之间产生的脆性化合物控制在 $2\text{ }\mu\text{m}$ 以内,从而达到足够的强度。该试验表明,焊缝的强度高于铝材的强度。钢与铝CMT焊接实景图如图1所示。

1.2 CMT工艺性分析

为验证CMT焊机与MIG焊机在表面成型、背部成型、焊接变形及熔深等方面的差异,专门设计并实施了一系列工艺试验。通过这些试验,深入分

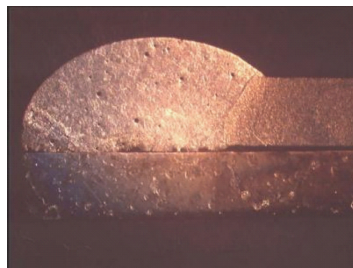


图1 钢与铝CMT焊接实景图

Fig. 1 Photo of steel and aluminum CMT welding

析并比较两者的焊接工艺性能。

1.2.1 铝合金薄板焊接变形对比

通过铝合金薄板角接的焊接方式研究CMT和MIG焊接工艺对焊接变形的影响,焊接前通过焊接点固的方式使两块板材(厚度3 mm)相互垂直,如图2所示。



图2 板材相互垂直实景图(厚度3 mm)

Fig. 2 Photo of boards perpendicular to each other (thickness 3 mm)

铝合金薄板两种焊接工艺参数如表1所示。

表1 铝合金薄板焊接工艺参数

Tab. 1 Parameters of aluminum alloy thin board welding processes

焊接工艺	板材厚度/mm	焊缝形式	电压/U	电流/A
CMT	3	a3角焊缝	19.7	176
MIG	3	a3角焊缝	23.1	176

铝合金薄板焊接后的铝板变形情况如图3所示。



a) CMT焊接

b) MIG焊接

图3 铝合金薄板焊后变形情况实景图

Fig. 3 Photos of aluminum alloy thin plate post-weld deformation situation

由图 3 可知:在铝合金薄板焊接,特别是单层单道焊中,使用 CMT 焊接时,铝板几乎没有发生变形;而使用 MIG 焊接时,铝板则出现了 4 mm 的焊接变形。

1.2.2 铝合金厚板焊接变形、熔深及表面成型对比

本研究通过铝合金厚板的角接焊接方式,探究了 CMT 和 MIG 焊接工艺对焊接变形和熔深的影响。在焊接前,采用焊接点固的方法确保两块板材相互垂直,以便进行准确的焊接操作。两块板材相互垂直实景图(厚度 8 mm)如图 4 所示。



图 4 两块板材相互垂直实景图(厚度 8 mm)

Fig. 4 Photo of two boards perpendicular to each other (thickness 8 mm)

铝合金厚板的两种焊接工艺参数如表 2 所示。

表 2 铝合金厚板的焊接工艺参数

Tab. 2 Parameters of aluminum alloy thick plate welding processes

焊接工艺	板材厚度/ mm	焊缝形式	焊缝道数	电压/U	电流/A
CMT	8	a8 角焊缝	第一道	21.7	240
			第二道	20.9	210
			第三道	20.1	186
MIG	8	a8 角焊缝	第一道	24.1	240
			第二道	23.7	210
			第三道	23.3	186

铝合金厚板焊接后的铝板变形情况如图 5 所示。由图 5 可知:在铝合金厚板焊接中,使用 CMT 焊接方法时,铝板在第一道焊接后的变形量为 4 mm,第二道焊接后变形量增至 9 mm,第三道焊接后则达到 18 mm;而使用 MIG 焊接方法时,铝板在第一道焊接后的变形量为 6 mm,第二道焊接后变形量增至 13 mm,第三道焊接后则达到 22 mm。通过对比发现,在设定相同焊接电流的条件下,CMT 焊接工艺所需的电压更低,且对铝板造成的焊接变形量也相对较小。

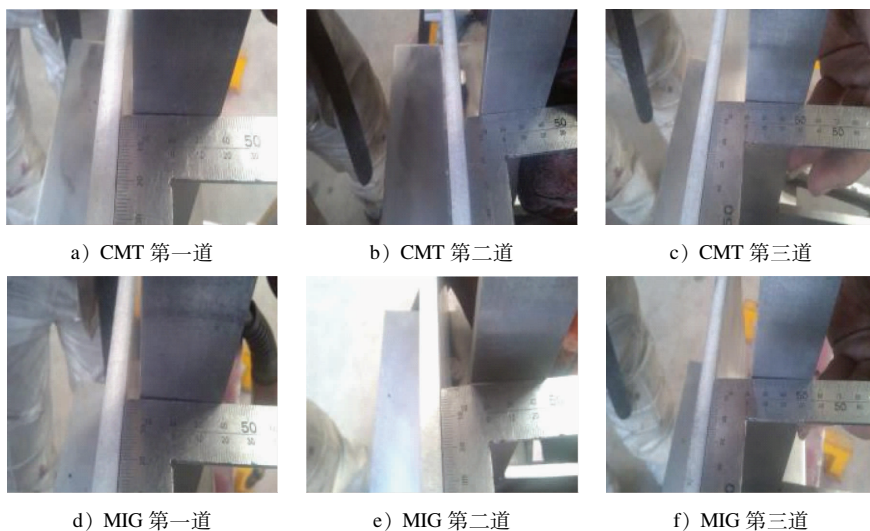


图 5 铝合金厚板焊后变形情况实景图

Fig. 5 Photos of aluminum alloy thick plate post-weld deformation situation

1) 在焊缝表面成型方面,使用 CMT 和 MIG 焊接工艺均能焊出均匀且美观的焊缝。这是因为焊工在进行 MIG 焊接时,能够稳定且均匀地摆动焊枪,从而使熔池获得良好的焊缝波纹。而进行 CMT 焊接时,由于焊丝本身具有回抽的特性,即使在不摆动焊枪的情况下,也能产生细腻的波纹。两种焊接工艺下焊缝表面成型的实景图如图 6 所示。

2) 在焊缝熔深方面,CMT 和 MIG 这两种焊接工艺下的焊缝熔深均为 0.5 mm,未表现出显著差异。两种焊接工艺下焊缝熔深的实景图如图 7 所示。

2 CMT 工艺应用

CMT 焊接工艺在焊缝表面成型方面表现出色,



a) CMT 焊接



b) MIG 焊接

图6 焊缝表面成型实景图

Fig. 6 Photos of weld surface forming



a) CMT 焊接



b) MIG 焊接

图7 焊缝熔深情况实景图

Fig. 7 Photo of weld penetration depth

余高合理,波纹细腻均匀,背部成型良好,且焊接变形量较小。因此,该工艺可广泛应用于以下3种非承重结构类铝合金零部件的焊接:

1) 薄板件的正常焊接。这类零部件的母材板厚均小于3 mm,焊接时需严格控制焊接电流与速度,以避免焊穿和变形。CMT焊接工艺能显著降低对焊工技能的要求,适用于CRH5型车的天线座、受电弓座及车顶小件,智能型动车组项目司机室蒙皮,以及城铁项目中原本采用TIG(钨极氩弧焊)的小件等焊接任务。

2) 薄板件的单面焊双面成型或母材边缘的角接焊缝。这类结构要求焊缝熔透,且背部无支撑保护,属于铝合金焊接中的难点。CMT焊接工艺凭借稳定的电弧控制和较低的热量输入,能实现与TIG焊相当的背部成型效果,且效率更高。在城铁项目和CRH5型车中,这类结构尤为常见,如车顶、底架部位管的焊接,端角柱的折弯处焊接,端墙过线孔堵板及车顶型腔盖板的焊接等。

3) 距边缘较近的焊缝焊接。这类结构多为嵌入件或型腔端部的封堵板,主要起密封作用。然而,MIG焊的高热输入量往往导致堵板边缘熔化,形成锯齿状咬边,影响焊缝美观。相比之下,CMT焊接工艺更适合此类焊接任务,如CRH5型车底架上的穿线管焊接,智能型动车组项目侧墙门板及门柱的焊接等。

3 结语

在相同焊接电流设置下,CMT焊接工艺所需的电压低于MIG焊接工艺,且对薄、厚两种铝板造成的焊接变形量均较小。CMT和MIG焊接工艺均能产生均匀美观的焊缝,且焊缝熔深无显著差异。因此,CMT焊接工艺可广泛应用于薄板件的正常焊接、单面焊双面成型或母材边缘的角接焊缝焊接,以及距边缘较近的焊缝焊接。

参考文献

- [1] 贾剑平,毕凯强,刘丹.冷金属过渡技术的研究现状与展望[J].热加工工艺,2015(44):6.
JIA Jianping, BI Kaiqiang, LIU Dan. Research status and prospects of cold metal transition technology[J]. Hot Processing Technology, 2015 (44): 6.
- [2] 柳军,郭小辉,何刚,等.CMT焊接技术在钛合金方面的应用研究[J].材料开发与应用,2013(4):60.
LIU Jun, GUO Xiaohui, HE Gang, et al. Research on the application of CMT welding technology in titanium alloys[J]. Materials Development and Application, 2013(4): 60.

· 收稿日期:2024-08-05 修回日期:2024-09-05 出版日期:2025-02-10
Received:2024-08-05 Revised:2024-09-05 Published:2025-02-10
· 通信作者:岳彩月,高级工程师,68203221@qq.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license