

6061 铝合金 CMT 与 MIG 焊接头组织及性能研究

董 颖, 于建明, 康 铭, 邓 鑫, 杨振东

(辽宁忠旺集团有限公司, 辽阳 111003)

摘要: 采用冷金属过渡 (CMT)、MIG 焊接技术对 2 mm 厚 6061 铝合金进行焊接, 研究了这两种焊接接头的力学性能、拉伸断口形貌及接头不同位置的微观组织。研究表明, 冷金属过渡焊接头的抗拉强度好于 MIG 焊接头, 达到母材的 74%, 焊缝组织更为细小。两种焊接接头断裂位置均为热影响区, CMT 焊接接头为韧性断裂。

关键词: 冷金属过渡 (CMT); MIG; 微观组织; 力学性能

中图分类号: TG457.14

文献标识码: A

文章编号: 1005-4898 (2021) 02-0070-03

doi: 10.3969/j.issn.1005-4898.2021.02.17

0 前言

近年来, 随着全球工业化的不断发展, 环境污染和能源短缺问题日益突出。在充分满足使用要求的前提下, 如果能够大量采用轻金属替代钢铁等密度较大的金属材料, 就可使结构轻量化。铝合金因其质量轻、强度高以及优良的加工性能被广泛应用于航空航天、交通运输和建筑等领域^[1-3]。6061 属于 Al-Mg-Si 系可热处理强化型铝合金, 因其具有中等强度、可成型性、可焊性、耐蚀性良好等优点广泛应用于具有一定强度要求且抗蚀性高的各种工业构件, 如新能源汽车、城铁客车、塔式建筑或固定装置等^[4-5]。

铝合金焊接技术主要包括熔化极惰性气体保护焊 (MIG)、激光焊、搅拌摩擦焊等^[6]。由于可热处理强化铝合金在熔焊时产生的较大热输入会导致接头的热影响区产生强度损失, 从而降低接头质量, 因此合理控制热输入量在一定程度上会改善接头质量。CMT (冷金属过渡技术) 在焊接时采用抽拉丝的方式控制热输入, 熔滴在熄弧状态下过渡到焊缝, 从而降低了焊接热输入量。本文选用 MIG 焊和 CMT 焊对 2 mm 厚的 6061 铝合金进行对比性工艺研究, 对两种焊接接头的表面成形、力学性能、接头微观组织进行了对比分析。

1 试验材料及方法

试验母材为 6061-T6 可热处理强化铝合金, 尺

寸为 300 mm × 150 mm × 2 mm。填充材料为 ER5356, 焊丝直径为 1.2 mm。保护气体为 Ar, 纯度 >99.99%, 母材和焊丝化学成分如表 1 所示, 母材力学性能如表 2 所示。焊缝采用对接不开坡口形式, 焊前使用丙酮清理母材表面油污、灰尘等, 用气动钢丝刷打磨焊缝及其两侧 25 mm 区域内氧化膜直至露出金属光泽, 并用酒精对待焊部位进行清理。装配压紧后, 在焊前再次使用酒精清洗焊接部位。

表 1 6061 铝合金和 ER5356 焊丝化学成分 (质量分数/%)

材料	Si	Mg	Fe	Cu	Mn	Ti	Zn	Al
6061	0.4~0.8	0.8~1.2	0.6	0.15~0.4	0.08	0.10	0.15	余量
ER5356	0.25	4.5~5.5	0.4	0.1	0.05~0.2	0.06~0.2	0.25	余量

表 2 6061 铝合金母材力学性能

编号	抗拉强度 Rm/MPa	平均抗拉强度 /MPa	A _{50mm} /%
C1	278.360	277.341	14.60
C2	276.322		13.40
M1	269.044	271.576	15.67
M2	274.108		13.67

试验采用 Fronius CMT 5 000 焊机及 KUKA KR90 机器人等设备进行焊接。CMT 焊接工艺中的送丝速度与焊接电流及电压为一元化调节方式, 即通过选择送丝速度来设置焊接电流和电弧电压, 电弧状态可以通过弧长修正进行调节^[7]。焊接工艺参

作者简介: 董颖 (1984-), 女, 辽宁省辽阳市人, 工程师, 主要从事航空航天领域铝合金新产品的开发研制工作。

收稿日期: 2020-11-06

数如表 2 所示。

表 3 焊接工艺参数

焊接方法	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(m·s ⁻¹)	送丝速度/(m·min ⁻¹)	装配间隙/mm
CMT	70~80	14.2~14.9	0.008~0.012	3.5~3.8	0~0.2
MIG	85~90	17.1~17.8	0.008~0.012	5.1~5.3	0~0.2

2 试验结果与分析

2.1 焊缝成形情况

图 1 所示分别为 CMT、MIG 焊缝外观形貌, 图 2 为二者的宏观形貌。从图 1 中可看出 CMT 焊接接头表面光滑, MIG 焊缝表面存在均匀的鱼鳞纹。从试验结果可知, 在合理的焊接工艺下两种焊接方法均取得了较好的表面成形, 未发现宏观裂纹、气孔等缺陷, 焊接接头内部质量良好。

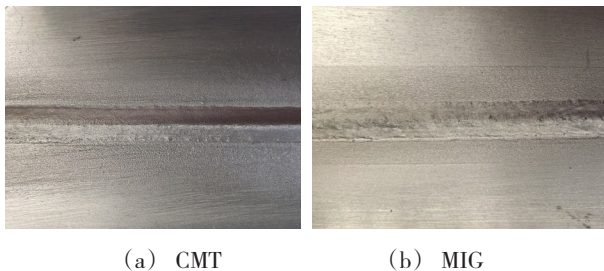


图 1 焊缝外观形貌

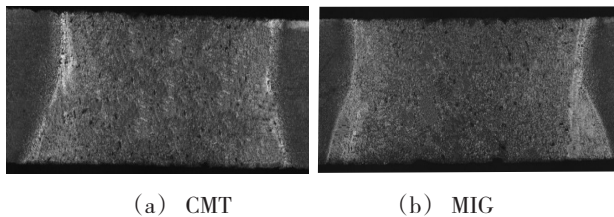


图 2 焊缝宏观形貌

2.2 拉伸性能分析

对拉伸试样的焊接接头进行横向拉伸破坏性试验, 其结果见表 4。由表中数据可知, 试样断裂位置为焊接接头的热影响区, CMT、MIG 焊接接头的平均抗拉强分别为 205.671 MPa 和 195.710 MPa, 分别达到实际母材抗拉强度的 74% 和 72%。

CMT 焊接试件的抗拉强度略高于 MIG 焊接试件, 这可能是 CMT 特有的冷技术过渡技术造成的。在焊接过程中的熔滴过渡时, 电弧呈熄灭状态, 熔滴短路过渡, 有效地减少了对焊缝的热输

入, 进而形成不同性能的焊缝热影响区。

表 4 接头拉伸试验结果

试样编号	焊接方法	抗拉强度 Rm/MPa	平均抗拉强度/MPa	断裂位置
C1	CMT	203.823	205.671	HAZ
C2		207.520		HAZ
M1	MIG	196.224	195.710	HAZ
M2		195.196		HAZ

2.3 弯曲性能分析

对焊接接头进行弯曲测试, 其结果如表 5 和图 3 所示。结果表明: 6061-T6 铝合金 CMT 焊接和 MIG 焊接接头弯曲性能良好, 弯曲试验合格。

表 5 弯曲试验结果

编号	焊接方法	弯曲类型	弯曲角度/(°)	压头直径/mm	试验结果
C-3	CMT	面弯	180	24	合格
C-4		背弯	180	24	合格
C-5		面弯	180	24	合格
C-6		背弯	180	24	合格
M-3	MIG	面弯	180	24	合格
M-4		背弯	180	24	合格
M-5		面弯	180	24	合格
M-6		背弯	180	24	合格

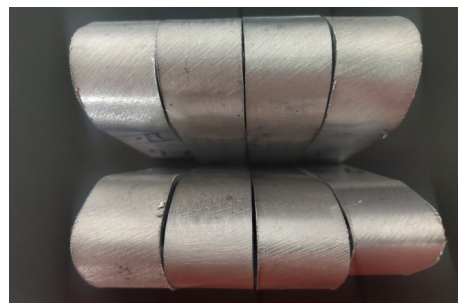
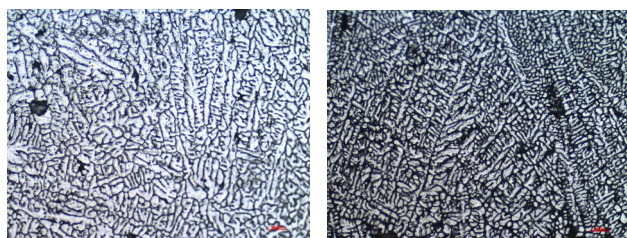


图 3 焊接接头弯曲试样

2.4 焊接接头金相组织

接头焊缝区及熔合区的微观组织如图 4 和图 5 所示。由图可见, 在两种焊接方法的焊缝区中, 多元低熔点共晶组织呈网状分布在枝晶间^[8]。相对于 MIG 焊来说, CMT 焊缝枝晶网更小, 晶粒分布均匀。熔合区附近的母材处于熔化和半熔化状态, 伸向焊缝金属内的枝晶生长缓慢, 呈柱状, 且释放出来的凝固热量都向热影响区的固相方向散去。两种焊接方法下的晶粒均发生长大, MIG 焊接 (图 4 (b)) 相对于 CMT 焊 (图 4 (a)) 晶粒尺寸略大, 并且在晶界上有明显的第二相析出。CMT 焊缝组织更为细小, 低熔点共晶引起的晶界粗化特征较小, 因此



(a) CMT

(b) MIG

图4 焊接接头焊缝区显微组织

CMT焊缝具有相对较高的力学性能。

3 结论

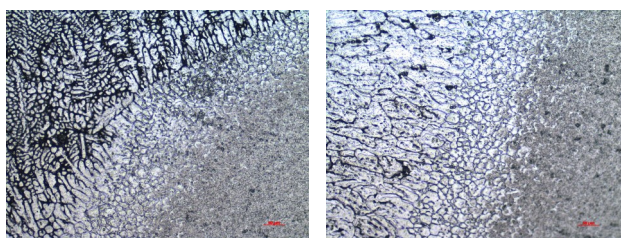
(1) 6061-T6 铝合金通过 CMT 和 MIG 焊均能得到较好的焊缝成形, 且焊缝金属表面均匀、无缺陷。

(2) CMT 和 MIG 焊接接头的平均抗拉强分别为 205.671 MPa 和 195.710 MPa, 试样断裂位置为焊接接头的热影响区, CMT 焊接接头的抗拉强度略好于 MIG 焊接接头。

(3) 焊缝区存在明显的等轴树枝晶, 熔合线靠近焊缝一侧为粗大的柱状晶, 靠近母材一侧晶粒长大, CMT 焊缝组织更为细小。

参考文献

- [1] 李明伟. 6005A 铝合金激光填丝焊接特性研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2019



(a) CMT

(b) MIG

图5 焊接接头熔合区显微组织

- [2] 徐勇, 靳鹏飞, 田亚强, 等. 铝合金局部热处理技术及其在板材成形中的应用发展现状[J]. 材料工程, 2018, 46 (5): 44-55
- [3] 周广宇, 董博, 胡皓. 固溶处理对 6082 铝合金挤压棒材组织与性能的影响[J]. 铝加工, 2020 (4): 11-15
- [4] 孟冬凝. 均匀化热处理工艺过程对 6061 铝合金组织和性能的影响[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2015
- [5] 刘方军, 陈超广, 王阳, 等. 基于相图计算的汽车车身用 Al-Mg-Si 系合金成分设计[J]. 装备制造技术, 2020 (5): 13-16
- [6] 陈国庆, 柳峻鹏, 树西, 等. 铝合金焊接工艺的研究进展[J]. 焊接, 2017 (9): 7-12+68
- [7] 刘礼军, 鄢江武, 燕翔, 等. 6061 铝合金 MIG/TIG 焊接接头性能对比研究[J]. 轻合金加工技术, 2014, 42 (10): 54-57
- [8] 农琪, 谢业东. Al-Mg-Si 铝合金 6061 焊接接头组织软化与强化机理[J]. 热加工工艺, 2012, 41 (9): 148-150

Study on microstructure and properties of CMT and MIG welded joint of 6061 aluminum alloy

Dong Ying, Yu Jianming, Kang Ming, Deng Xin, Yang Zhendong
(Liaoning Zhongwang Group Co., Ltd., Liaoyang 111003, China)

Abstract: Cold metal transition and MIG welding technology were used to weld 6061 aluminium alloy with thickness of 2 mm. The mechanical properties and fracture morphology of the two welded joints were studied. The microstructures of the two welded joints at different positions were observed by optical microscopy. The results show that the tensile strength of cold metal transition welded joints is better than that of MIG welding joints, which reaches 74% of the base metal, and the weld microstructure is finer. The fracture locations of the two welded joints are heat affected zone. The CMT welded joints are ductile fracture.

Keywords: CMT; MIG; microstructure; mechanical properties