

6061 铝合金 MIG/TIG 焊接接头性能对比研究

刘礼军^{1,2}, 鄢江武^{1,2}, 燕翔^{1,2}, 朱序^{1,2}, 朱婷婷^{1,2}, 冷明³

(1. 湖北三江航天红阳机电有限公司, 湖北 孝感 432100; 2. 先进焊接技术湖北省重点实验室, 湖北 孝感 432100; 3. 湖北航宇嘉泰飞机设备有限公司, 湖北 襄阳 441057)

摘要:针对 6061 铝合金分别开展了 3 mm 厚板 MIG 焊和 TIG 焊的焊接试验, 并对焊接接头进行了强度测试和金相组织观察。结果表明, 在所选取合适的焊丝和焊接工艺参数下, 均获得了性能优良的焊接接头, 其中 TIG 焊接头由于热输入量较大生成了粗大的铸态组织, 从而导致 MIG 焊接头强度要略高于 TIG 焊接头的强度。

关键词:6061 铝合金; MIG; TIG; 金相组织

中图分类号: TG457.14 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7235(2014)10-0054-04

Contrastive study on properties of TIG/MIG weld joints for 6061 aluminum alloy

LIU Li-jun^{1,2}, YAN Jiang-wu^{1,2}, YAN Xiang^{1,2}, ZHU Xu^{1,2}, ZHU Ting-ting^{1,2}, LENG Ming³

(1. Hubei Sanjiang Aerospace Hongyang Electromechanical Co., Ltd., Xiaogan 432100, China;

2. Hubei Province Key Laboratory of Advanced Welding Technology, Xiaogan 432100, China;

3. Hubei Hangyu Jiatai Aircraft Equipment Co., Ltd., Xiangyang 441057, China)

Abstract: 6061 aluminum alloy plates (3mm thickness) were separately welded by MIG and TIG methods, and the strength test and microstructure observation were carried on the welding joints. The results show that perfect performances of weld joints can be obtained with proper welding wires and processing parameters. The strength of the joint welded by MIG is a little bit higher than that by TIG because the TIG method inputs more heat and produces coarser as-cast microstructure.

Key words: 6061 aluminum alloy; MIG; TIG; metallographic structure

6061 铝合金属 Al-Mg-Si 系, 该合金具有良好的成形性和焊接性, 且具有密度小、比强度高和无磁性、无低温脆性转变等特点, 同时退火后仍具有较好强度和良好加工性能。6061 铝合金在航空、船舶、铁路、航天等各类结构件制造中逐渐得到了日益广泛的应用^[1]。

目前, 6061 铝合金的焊接国内外广泛采用熔化极惰性气体保护焊 (MIG) 和钨极惰性气体保护焊 (TIG)^[2]。探讨 6061 铝合金焊接工艺, 获得合理可行的焊接工艺方法及参数, 具有十分必要的意义。本试验分别采用 MIG 焊和 TIG 焊对 6061 铝合金进

行焊接, 并对焊接接头的组织进行了对比分析研究。

1 试验过程

1.1 试验材料

本试验采用 6061 铝合金板材, T6 状态, 尺寸为 300 mm × 100 mm, 化学成分见表 1。

表 1 6061 铝合金板材化学成分 (质量分数/%)
Tab.1 Chemical compositions of base material
of 6061 aluminum alloy (wt/%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0.4~0.8	0.7	0.15~0.4	0.15	0.8~1.2	0.04~0.35	0.25	0.15	余量

收稿日期: 2014-04-20

第一作者简介: 刘礼军 (1981-), 男, 湖北大冶人, 工程师。

1.2 焊接材料选择

在一般情况下,6061 铝合金 MIG 焊接焊丝一般采用 ER4043 和 ER5356,化学成分见表 2。比较 ER4043 和 ER5356 焊丝化学成分可知,ER4043 焊丝由于 Si 元素含量高,金属液态流动性能好,抗腐蚀性

好、抗热裂能力强,但 Mg 元素含量低,金属延性不足,特别是当用于焊接 Al-Mg-Si 合金时,焊接脆性较大^[1]。因此,根据 6061 铝合金材料成分及焊缝力学性能要求,MIG 焊焊丝选用 ER5356,而 TIG 焊焊丝直接选用化学成分与 ER5356 相近的 HS331。

表 2 焊丝化学成分(质量分数/%)

Tab. 2 Chemical compositions of the welding wire (wt/%)

牌号	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	其他		Al
									每种	合计	
ER4043	4.5~6.0	0.8	0.3	0.05	0.05		0.1	0.20	0.05	0.15	余量
ER5356	0.25	0.4	0.1	0.5~0.2	4.5~5.5	0.05~0.2	0.1	0.06~0.20	0.05	0.15	余量
HS331	0.25	0.4	0.1	0.5~1	4.7~5.5	0.05~0.2	0.25	0.05~0.20	0.05	0.15	余量

1.3 焊接试验

试验全部采用平板对接形式进行焊接,单面焊双面成形,并采用工装夹具进行夹持,其中 MIG 焊试验采用半自动焊的方式进行焊接,TIG 焊采用手工送丝焊接。焊接参数见表 3^[3]。

表 3 MIG 焊和 TIG 焊的焊接工艺参数

Tab. 3 MIG and TIG welding parameters

焊接方法	焊接电流/A	焊接电压/V	焊接速度/m/h	焊丝直径/mm	保护气体	气体流量/L/min
MIG	115	20.5	23.7	1.2	Ar	14~18
TIG	130	16.8	8.4	2.4	Ar	8~12

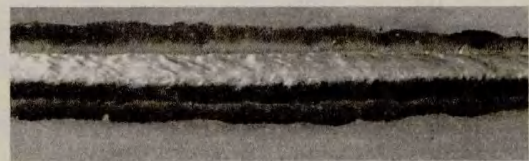
试验板焊接完毕后,将其制成拉伸试样,进行力学性能测试;在 MM6 金相显微镜下对两种焊接接头进行金相显微观察。

2 试验结果及分析

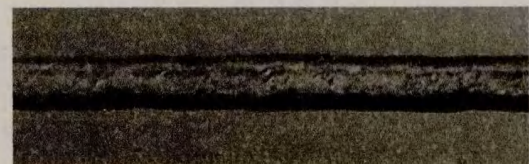
2.1 焊缝表观质量

试验板焊接后的 MIG 焊和 TIG 焊焊缝表观质量如图 1~图 2 所示。

由于 MIG 焊电流密度大、线能量集中、电弧穿透能力较强,同时焊接速度较快,且为自动送丝焊接,焊缝表观质量较好,表面光洁,且正反面焊缝宽度、焊缝余高均匀一致(图 1 所示)。而 TIG 焊的焊接热输入量相对较大、焊接速度慢,在焊缝及其附近产生了较高的峰值温度和较宽的热影响区(MIG 焊焊缝中心距离断裂处距离约为 11 mm,而 TIG 焊的约为 13 mm),焊缝正面出现参差不齐的鱼鳞纹和余高,表面不够光洁,相对 MIG 焊而言,焊缝背面表观质量较差,焊缝宽度较宽,焊缝余高不一致,如图 2 所示。



a-正面焊缝



b-背面焊缝

图 1 MIG 焊缝

Fig. 1 The welding of MIG



a-正面焊缝



b-背面焊缝

图 2 TIG 焊缝

Fig. 2 The welding of TIG

2.2 力学性能对比分析

拉伸试验按照 GB 2651—2008《焊接接头拉伸试验方法》标准的规定,测出 6061 铝合金 TIG 焊接

头、MIG 焊接头和母材静载力学性能,见表 4。

表 4 6061 铝合金母材及 TIG/MIG
焊接头力学性能测试

Tab. 4 Base material of 6061 aluminum alloy and
mechanical properties of its welding joints of TIG/MIG

焊接方法	编号	$R_m/(N \cdot mm^{-2})$	$R_{p0.2}/(N \cdot mm^{-2})$	$A/\%$
母材		315	295	14
TIG	T-1	205	159	6.5
	T-2	210	158	9.5
	T-3	215	161	8.5
平均值		210	159.3	8.1
MIG	M-1	230	184	10
	M-2	225	173	8
	M-3	225	168	9.5
平均值		226.7	175	9.2

由表 4 中可以看出,6061 铝合金采用不同的焊接方法和焊丝时均获得了性能优良的焊接接头,其中 MIG 焊接头的抗拉强度略高于 TIG 焊接头的,是母材强度的 71.9%。这是因为 6061 铝合金采用 TIG 焊进行焊接时,焊接速度相对较慢,焊接的热输入量较大,在焊缝及其附近产生了较高的峰值温度和较宽的热影响区,使焊缝金属和附近母材产生时效,从而造成焊接接头强度和硬度的降低。当采用 MIG 焊时,电流密度大、线能量集中、电弧穿透能力强,同时焊接速度较快,焊缝及热影响区的晶粒细小。由于热影响区较窄,提高了材料的滑移形变抗力,抑制循环滑移带的形成和开裂,增加裂纹扩展的晶界^[2]。

2.3 试样接头宏观形貌对比分析

从图 3 中拉伸试样断裂处来看,除 T-1#试样断裂在焊缝处之外,其余的均断裂在热影响区,表明 6061 铝合金无论是采用 MIG 焊,还是采用 TIG 焊,均能获得性能优良的焊接接头。随后专门对 T-1#试样进行了金相检测分析,发现导致该试样焊缝出现断裂的原因是由于焊缝内部存在少许细小的气孔缺陷。少许细小气孔存在对焊缝的抗拉强度和屈服强度影响较小,但对焊缝的伸长率影响较大。

另外,6061 铝合金焊接接头拉伸断口的宏观形貌和断口微观形貌如图 4 所示。由图 4 可以看出,两种接头断口断面上出现了明显的颈缩,断口呈韧窝状,且韧窝较深,从断口两侧来看,材料发生了剧烈的塑性流动^[4],表明两种焊接方法均获得了性能优良的接头。

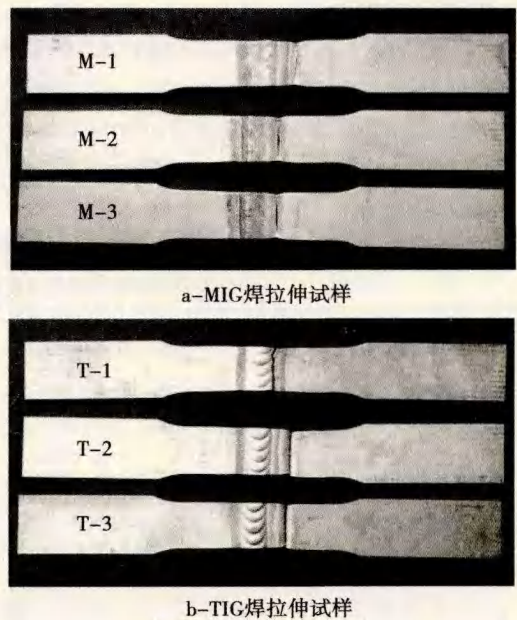


图 3 拉伸试样

Fig. 3 The tensile samples of MIG and TIG welding

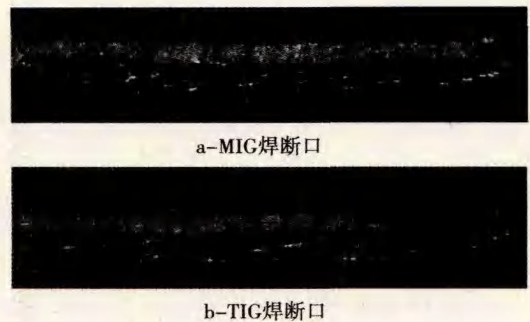


图 4 MIG 焊和 TIG 焊断口

Fig. 4 The fracture cross sections of MIG and TIG welding

2.4 焊缝显微组织分析

下面针对不同焊接方法及不同焊丝,对试验板焊缝、热影响区及母材进行金相分析。图 5a、b 为 MIG 焊接头焊缝中心区及热影响区的组织形貌,焊丝为 ER5356。从图 5a 可以看出,焊缝中存在少许气孔,经测量气孔最大直径约为 0.06 mm,完全满足焊缝 I 级要求。图 5c、d 为 TIG 焊接头焊缝中心区及热影响区的组织形貌,焊丝为 HS331。图 5e 为母材的组织形貌。

切取焊接接头和母材金相试样,经磨制、抛光后用低浓度混合酸溶液浸蚀后放置在金相显微镜下观察。焊接头分为焊缝区、熔合区、热影响区和母材区。在焊缝区,多元低熔点共晶组织呈网状分布于枝晶间。对比 MIG 和 TIG 焊缝,MIG 焊缝枝晶网更

细小,枝晶界更薄,MIG 焊的熔合区(图 5b 左侧)宽度较窄,晶粒尺寸较小;而在 TIG 焊熔合区(图 5d 右侧),晶粒尺寸比 MIG 焊的粗大,可见晶界明显的加粗特征,在三角晶界处有低熔点共晶聚集。在焊缝热影响区,MIG 焊(图 5b 右侧),晶粒粗大呈等轴状,在晶界上有明显的第二相析出;TIG 焊(图 5d 左侧)晶粒尺寸较 MIG 焊的大,晶界粗化特征更明显。母材区域呈退火平衡态组织,强化相呈弥散分布于 α

(Al) 基体,晶界无沉淀带。6061 属 Al-Mg-Si-Cu 系列可强化热处理锻造铝合金,合金的基体相为 α (Al),主要强化相为 β (Mg_2Si)。通过对比 6061 铝合金的 MIG 和 TIG 焊缝、熔合区及热影响区组织,MIG 焊焊缝组织更为细小,低熔点共晶引起的晶界粗化特征较少,由此可知 MIG 焊焊缝较 TIG 具有相对更高的力学性能。

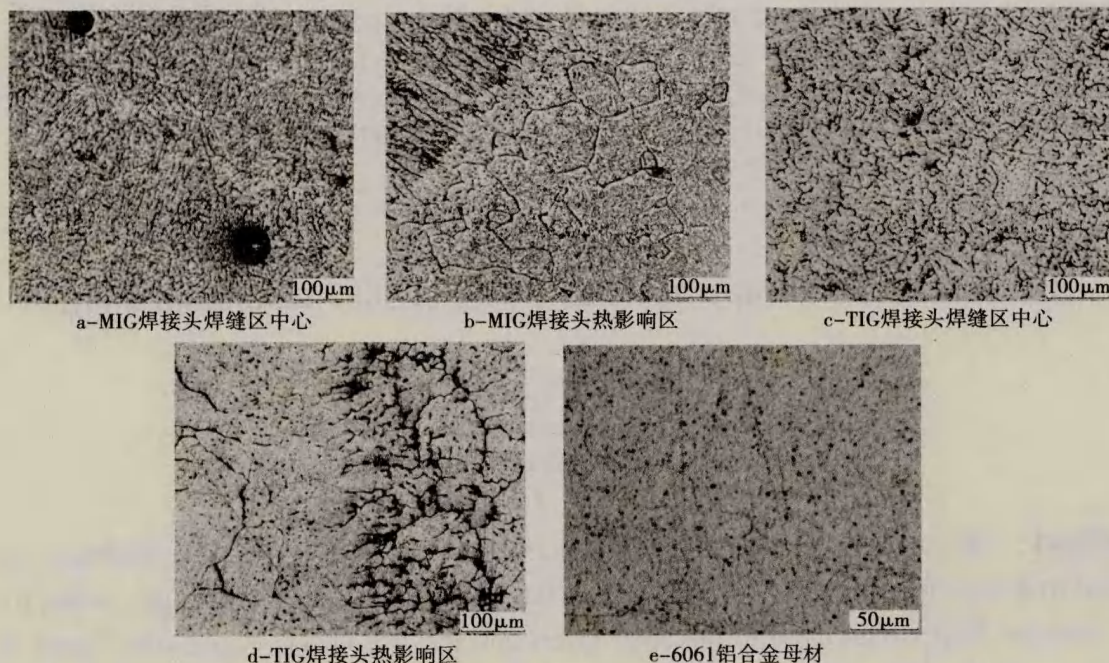


图5 焊缝及母材的微观组织

Fig. 5 Microstructure of the welding and the base material

3 结 论

1) 在焊丝成分相近的条件下,6061 铝合金板材采用两种不同的焊接方法及不同焊接工艺参数均获得了性能良好的焊接接头。

2) 与 TIG 相比,MIG 焊电流密度大、线能量集

中、电弧穿透能力较强,同时焊接速度较快,因此,MIG 焊焊接接头的力学性能要略高于 TIG 焊的,且焊缝热影响区较 TIG 焊的窄。

3) 焊缝中存在少许细小气孔缺陷对接头强度影响较小,但对接头伸长率影响较大。

参考文献:

- [1] 周万盛,姚君山. 铝及铝合金的焊接[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [2] 李敬勇,马建民. 焊接工艺方法对 6061-T6 铝合金焊接接头疲劳性能的影响[J]. 航空材料学报,2004,24(3):52-57.
- [3] 田 博,周友龙,陈 舟,张 滕. 6061 铝合金 FSW 接头与 MIG 焊接头对比试验[J]. 焊接技术,2012(2):4-6.
- [4] 常艳君,董俊慧,张毅. 6061 铝合金焊接接头的组织与性能分析[J]. 焊接,2006(1):21-26.