

不同焊接材料对 6008-T7 铝合金 焊接接头组织和性能的影响

李 欢, 齐芃芃, 周金旭, 金 鑫, 金文福, 邓 鑫
(辽宁忠旺集团有限公司, 辽宁 辽阳 111003)

摘 要: 为了研究 ER5087 和 ER5356 两种铝合金焊丝对 6008-T7 铝合金 MIG 焊焊接接头微观组织与性能的影响, 通过拉伸试验、弯曲试验、硬度检测以及微观金相组织观察等方法, 对两种不同铝合金焊丝焊接接头的性能进行了分析研究。结果显示, 两种焊丝的焊接接头拉伸性能相当, 且都具有良好的弯曲性能; 同时, 二者的硬度分布趋势也相近, 都沿焊缝中心对称分布, 硬度最低值均出现在热影响区内; 两种焊接接头的热影响区和熔合区组织相似, 焊缝区组织形貌相近, 但 ER5087 焊丝的焊缝区组织更加细化。研究表明, 在无其他特殊要求的前提下, ER5087 和 ER5356 焊丝在实际生产中均可用于 6008-T7 铝合金产品的焊接。

关键词: 铝合金; 焊缝; 热影响区; 焊接接头; 晶粒细化

中图分类号: TG457.14

文献标识码: A

DOI: 10.19291/j.cnki.1001-3938.2022.03.006

Effect of Different Welding Materials on Microstructure and Properties of 6008-T7 Aluminum Alloy Welded Joints

LI Huan, QI Pengpeng, ZHOU Jinxu, JIN Xin, JIN Wenfu, DENG Xin
(Liaoning Zhongwang Group Co., Ltd., Liaoyang 111003, Liaoning, China)

Abstract: In order to study the effects of ER5087 and ER5356 aluminum alloy welding wire on the microstructure and properties of 6008-T7 aluminum alloy MIG welded joints, the properties of the welded joints of two different 5-series aluminum alloy welding wires were analyzed and studied by means of tensile test, bending test, hardness test and metallographic structure observation. The results show that the tensile properties of the welded joints of the two kinds of welding wire are the same, and both have good bending properties. At the same time, their hardness distribution trends are also similar, they are symmetrically distributed along the weld center, and the lowest hardness values both appear in the heat affected zone. The microstructure of heat affected zone and fusion zone of the two welded joints is similar, and the microstructure of weld zone is similar, but the microstructure of weld zone of ER5087 welding wire is more refined. The test shows that ER5087 and ER5356 welding wires can be used to weld 6008-T7 aluminum alloy products in actual production without other special requirements.

Key words: aluminum alloy; weld; heat affected zone; welded joints; grain refinement

0 前 言

6008 铝合金属于 Al-Mg-Si 系可热处理强化型中等强度铝合金, 具有良好的热成型性、抗蚀性、冷变形性、焊接性、抗疲劳性和韧

性, 其由 6005A 合金发展而来, 两者的不同之处主要是 6008 合金中加入了 0.05%~0.15% 的钒^[1-3]。由于 6008 铝合金在受到小规模冲击时只发生微小变形, 而在受到大规模冲击时发生折叠变形, 目前已被广泛应用于汽车防撞梁、吸能

盒等部件。

MIG 焊作为铝合金焊接常用的方法，在焊接过程中易产生气孔、裂纹等缺陷，且接头软化严重，选择合适的焊接材料有利于提高焊接接头的性能。6008 铝合金在焊接过程中，通常采用 5 系铝合金焊丝作为填充材料。目前关于采用不同型号的 5 系铝合金焊丝焊接 6008 铝合金的研究较少，因此，根据母材的成分和性能，本试验选用了 ER5087 和 ER5356 两种与母材成分相近、强度相当的 5 系铝合金焊丝进行手工 MIG 焊接，研究这两种不同的 5 系铝合金焊丝对 6008-T7 铝合金焊接接头微观组织与力学性能的影响，为今后 6008 铝合金的实际生产应用提供数据积累及理论依据。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

本试验选用 6008-T7（过时效状态）铝合金挤压型材，加工成 300 mm×150 mm×2 mm 的试板，选用 ER5087 和 ER5356 两种常用的 5 系铝合金焊丝，焊丝直径均为 1.2 mm。两种焊丝同属 Al-Mg 系不可热处理强化铝合金，都具有较好的焊接性、抗脆性和抗蚀性，常用于焊接 5 系、6 系铝合金，其主要差异为 ER5087 焊丝中加入了能够细化晶粒的 Zr 元素，且 Mn 元素的含量相对较多，因而力学性能稍好于 ER5356 焊丝。6008-T7 铝合金与 ER5087 和 ER5356 焊丝的化学成分、力学性能分别见表 1 和表 2。

表 1 6008-T7 铝合金及 ER5087 和 ER5356 焊丝化学成分

材料	化学成分/%											
	w(Si)	w(Fe)	w(Cu)	w(Mn)	w(Mg)	w(Cr)	w(Zn)	w(Ti)	w(Be)	w(Zr)	w(V)	w(Al)
6008-T7	0.62	0.19	0.15	0.09	0.53	0.011	0.03	0.03	—	—	0.078	余量
ER5087	0.25	0.40	0.05	0.70~1.10	4.50~5.20	0.050~0.250	0.25	0.15	0.000 3	0.1~0.2	—	余量
ER5356	0.25	0.40	0.10	0.05~0.20	4.50~5.50	0.050~0.200	0.25	0.06~0.20	0.000 3	—	—	余量

表 2 6008-T7 铝合金及 ER5087 和 ER5356 焊丝力学性能

材料	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	断后延伸率/%
6008-T7	266	279	13.1
ER5087	132	274	13.6
ER5356	125	250	15.5

1.2 焊接过程

本试验采用的接头形式为对接，使用的焊机为福尼斯 TPS5000 手工 MIG 焊机。为最大限度地保证焊缝熔透，减小焊接电流，防止出现焊接缺陷，焊前进行开坡口处理，坡口形式为 V 形坡口，坡口角度为 70°，坡口尺寸如图 1 所示。焊前使用丙酮清理母材表面油污、灰尘等污染物，吹干后用气动钢丝刷打磨坡口及两侧 30 mm 区域

内的氧化膜，直至露出金属光泽，然后将处理好的母材在工作台上用夹具固定，为了保证焊接质量，组对时应尽量无错边。最后使用酒精清理打磨后的区域，吹干后进行焊接^[4]。在分别使用两种不同的焊丝焊接时保持电弧稳定，无较大飞溅，且焊缝成形良好，均无表面气孔、夹杂、咬边等焊接缺陷。焊接过程中所使用的焊接参数见表 3。

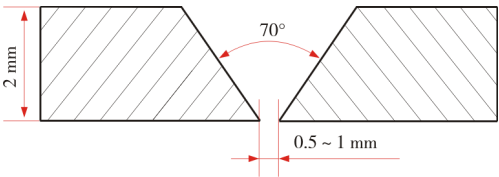


图 1 坡口尺寸示意图

表 3 6008-T7 铝合金焊接工艺参数

焊接电流/A	焊接电压/V	焊接速度/(cm·min ⁻¹)	弧长修正/%	气体流量/(L·min ⁻¹)	保护气体
70	17.4	35~40	0	20~25	纯度 99.99% 的氩气

1.3 试样检测方法

使用岛津 AG-X 100KNH 型电子万能试验机进行横向拉伸试验，加载速率为 10 mm/min，拉伸试样厚度为 2 mm，每组测试 2 个试样，取平

均值作为测试结果。使用岛津 AG-X 100KNH 型电子万能试验机进行正面弯曲和背面弯曲试验，每组测试 2 个试样，弯曲试样厚度为 2 mm。使用 FV-810 型维氏显微硬度计对焊接接头进行硬

度测试,测试点在焊缝横截面中心与焊缝正面平行排列,沿焊缝中心两侧各 30 mm,每隔 1 mm 打一个硬度测试点。使用蔡司 M2m 光学显微镜对焊接接头不同位置进行金相观察。

2 试验结果与分析

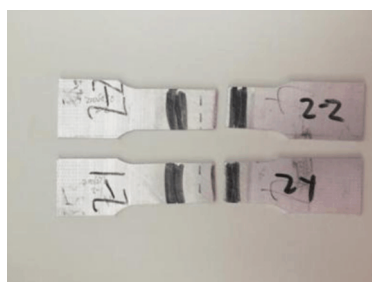
2.1 焊接接头拉伸性能

依据标准 ISO 4136—2001《金属材料焊缝破坏性试验 横向拉伸试验》对焊接接头进行了拉伸试验,拉伸测试结果见表 4,不同焊丝焊接接头拉伸后试样如图 2 所示。结果表明,ER5087 焊丝焊接接头的抗拉强度平均值与

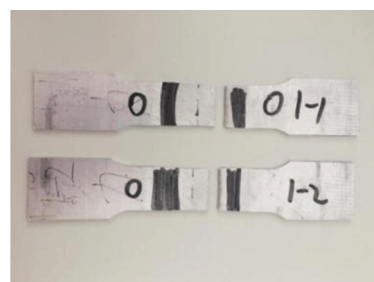
ER5356 焊丝焊接接头相差不大,且试样均断裂在热影响区处,说明焊接接头的最薄弱处均在热影响区内。这是由于热影响区中的晶粒在焊接热循环的作用下会出现明显的长大现象,严重降低了热影响区的力学性能,使其成为整个焊接接头的最薄弱处。

表 4 拉伸试验结果

焊丝 型号	屈服 强度/MPa	抗拉 强度/MPa	断后 延伸率/%	抗拉强度 均值/MPa	断裂 位置
ER5087	134	196	5.8	195	HAZ
	119	194	7.9		HAZ
ER5356	130	192	6.7	190.5	HAZ
	122	189	6.4		HAZ



(a) ER5087 焊丝



(b) ER5356 焊丝

图 2 不同焊丝焊接接头拉伸试样

2.2 焊接接头弯曲性能

依据标准 ISO 5173—2009《金属材料焊缝破坏性试验 弯曲试验》对焊接接头进行了弯曲测试,弯曲试验结果见表 5,弯曲试样如图 3 所示。由结果可知,两种焊接接头的弯曲试样均未出现断裂且表面都不存在大于 3 mm 的裂纹,说明 ER5087 和 ER5356 焊丝的焊接接头都具有良好的弯曲性能。

表 5 弯曲试验结果

编号	焊丝 类型	弯曲 类型	弯曲 角度/(°)	压头 直径/mm	试验 结果
1-1	ER5087	面弯	180	40	合格
1-2	ER5087	面弯	180	40	合格
1-3	ER5087	背弯	180	40	合格
1-4	ER5087	背弯	180	40	合格
2-1	ER5356	面弯	180	40	合格
2-2	ER5356	面弯	180	40	合格
2-3	ER5356	背弯	180	40	合格
2-4	ER5356	背弯	180	40	合格



图 3 不同焊丝焊接接头弯曲试样

2.3 焊接接头硬度检测

依据标准 ISO 9015-1—2011《金属材料焊缝破坏性试验 硬度试验第 1 部分:弧焊接头的硬度试验》对两种焊丝的焊接接头进行硬度检测,检测结果如图 4 所示。由试验结果可知,ER5087 焊丝焊接接头与 ER5356 焊丝焊接接头的硬度分布趋势相似,均沿焊缝中心对称分布,硬度最低值均出现在热影响区。在焊缝区内,ER5087 焊丝的硬度高于 ER5356 焊丝,这是由

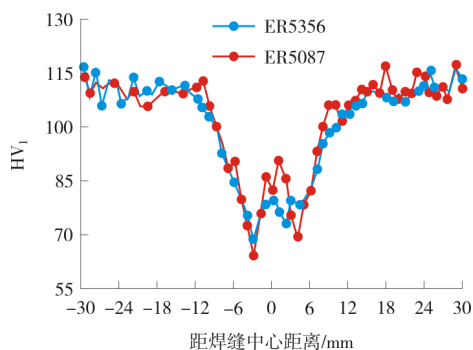


图4 不同焊丝焊接接头显微硬度分布图

于焊缝区主要为焊丝成分，其中 ER5087 焊丝相对于 ER5356 焊丝添加了微量的 Zr 元素，在熔池凝固过程中 Zr 元素容易与 Al 结合形成纳米级的 Al_3Zr 粒子， Al_3Zr 粒子为 Al 的形核提供条件，促进非均匀形核，从而细化晶粒。晶粒尺寸减小，晶界对位错滑移的阻滞效应明显，导致位错塞积，从而提高了强度^[5-8]。

2.4 微观金相组织观察

使用光学显微镜分别对两种焊接试样的热影响区、熔合区、焊缝区进行微观金相组织观察，检测结果如图 5 和图 6 所示，可以看出两种焊丝的热影响区组织相似。熔合区分为半熔化区和未混合区，靠近母材一侧存在已熔化的液相组织和未熔化的母材，都呈粗大的胞状枝晶组织，此区域为半熔化区；靠近焊缝一侧，母材与焊丝已全部熔化，但还未混合，呈柱状晶组织，此区域为未混合区。两个区域的分界线为熔合线^[9]。焊缝区均为等轴晶组织，ER5087 焊丝焊缝区与 ER5356 焊丝相比，组织更加细化，这是由于 ER5087 焊丝中的 Zr 元素在焊缝凝固过程中与 Al 基体结合形成了少量的 Al_3Zr 粒子， Al_3Zr 粒子与 Al 基体的晶体结构匹配度高，可作为非均匀形核的中心，形成细小的等轴晶从而促进非均匀形核，起到细化晶粒的作用^[10]。

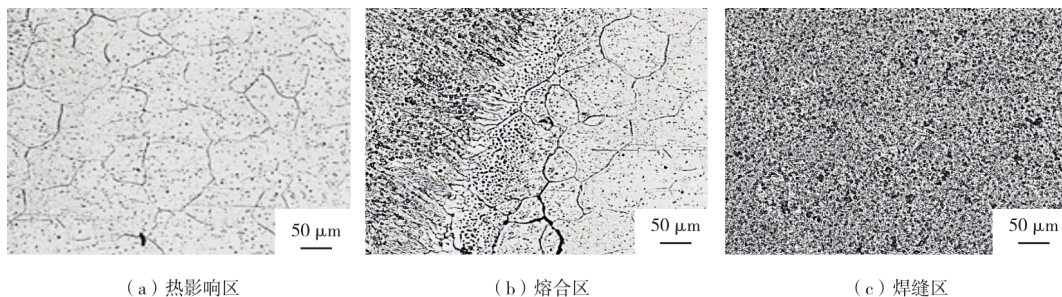


图5 6008-T7 铝合金焊接接头的显微组织 (ER5087 焊丝)

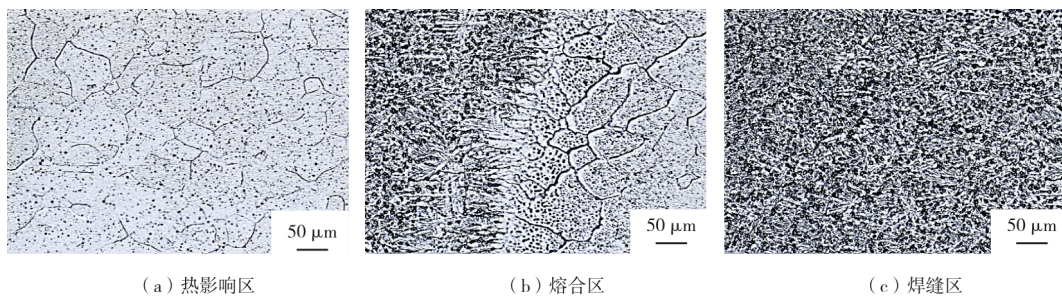


图6 6008-T7 铝合金焊接接头的显微组织 (ER5356 焊丝)

3 结 论

(1) 分别采用 ER5087 焊丝和 ER5356 焊丝焊接 6008-T7 铝合金焊接接头抗拉强度相当，无显著差异，其焊接接头均具有良好的弯曲性能；焊接接头硬度分布趋势相近，均沿焊缝中心对称分布，硬度值最低点均出现在热影响区

内，且 ER5087 焊丝的焊缝区硬度高于 ER5356 焊丝。

(2) ER5087 焊丝和 ER5356 焊丝焊接 6008-T7 铝合金的焊接接头热影响区和熔合区显微组织相似，但由于 ER5087 焊丝中 Zr 元素的作用，使其焊缝区组织更加细化。

(下转第 40 页)