

中厚板 6082 铝合金激光-MIG 复合焊工艺与力学性能研究

王鸿光
(长沙理工大学汽车与机械工程学院)

摘 要 采用激光-MIG 复合焊工艺对中厚板 6082 铝合金进行焊接,焊接完成后,对焊缝进行了显微组织观察、硬度测试以及拉伸性能检测。结果表明,当激光功率为 4.5 kW,焊接速度为 1.2 m/min,离焦量为 5 mm,送丝速度为 8 m/min 时,焊缝表面成形良好;焊缝熔合区显微组织均为等轴枝晶,晶粒较小,热影响区较窄,并且焊缝上部的组织相较于焊缝下部较为细小密集;焊接接头的热影响区硬度较母材和焊缝中心最高;焊缝的平均抗拉强度为 251.9 MPa,接近于母材。

关键词 6082 铝合金;激光-MIG 复合焊接;显微组织;力学性能

中图分类号 TG146.22;TG456.7 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.05.009

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Process and Mechanical Properties of Laser-MIG Hybrid Welding Joint
of 6082 Aluminum Alloy for Medium and Heavy Plate

Wang Hongguang

(School of Automobile and Mechanical Engineering, Changsha University of Science and Technology)

Abstract: The laser-MIG hybrid welding process was used to weld 6082 aluminum alloy medium and thick plates. After the welding was completed, the microstructure observation, hardness test and tensile performance test of the weld were carried out. The results show that with the laser power of 4.5 kW, the welding speed of 1.2 m/min, the defocus of +5 mm, and the wire feed speed of 8 m/min, the weld surface presents desirable. The microstructure of the weld fusion zone is uniformly equiaxed dendrites with smaller grains, narrow heat-affected zone, and the structure of the upper part of the weld is smaller and denser than that of the lower part of the weld. Meanwhile, the hardness of the heat-affected zone of the welded joint is higher than that of the base metal and the center of the weld. The average tensile strength of the joint reaches 251.9 MPa, which is close to the base material.

Key Words: 6082 Aluminum Alloy, Laser-MIG Hybrid Welding, Microstructure, Mechanical Properties

铝合金由于其密度低、耐腐蚀性好、比强度高、热稳定性好等特点,在汽车制造、航空航天、轨道交通、电子等行业有着广阔的应用前景^[1~3]。发展较为成熟的传统弧焊,由于其热输入量过大,焊接速度慢,使得焊接过程中变形量较大,严重影响了后续的装配精度,并且加工效率低。而激光-MIG(Melt Inert-gas)复合焊^[4],结合了激光焊和 MIG 焊二者的优势,引起了研究者的广泛关注。

吴虎等^[4]采用激光-MAG(Melt Active Gas Arc)复合焊工艺对 10 mm 厚的 Q345B 钢进行焊接,重点研究了焊接接头的显微组织和力学性能,分析得出激光-MAG 复合焊接接头的各项性能均满足使用要求。靳佳霖等^[1]采用 ER5356 和 ER5087 两种焊丝,对 12 mm 厚的 6082-T6 铝合金进行 MIG 焊接,主要研究焊丝成

分对焊接接头组织和性能的影响,发现采用 ER5087 焊丝的焊接接头的晶粒更细,力学性能优于 ER5356 焊丝焊接的接头。白利兵^[5]采用光纤激光-MIG 复合焊方法对 A6082 铝合金进行焊接,得出了不同焊接工艺参数对焊缝成形的影响规律,并对复合焊接接头显微组织和力学性能进行了研究。张林等^[6]采用激光-MIG 复合焊对 7A52 铝合金实施焊接,发现相比于传统电弧焊接,复合焊焊接效率得到了较大的提升,并且发现在焊接过程中,由于激光和电弧两种热源的作用区域不同,因而力学性能方面也有所差异。本课题针对 6082-T6 铝合金中厚板,采用光纤激光-MIG 复合焊接工艺,对焊接接头的显微组织、维氏硬度和拉伸性能进行了测试分析,为其应用提供参考。

收稿日期:2020-12-17;修改稿收到日期:2021-01-13
作者简介:王鸿光,男,1987 年出生,硕士研究生,长沙(410000),E-mail:1037894487@qq.com
引用格式:王鸿光. 中厚板 6082 铝合金激光-MIG 复合焊工艺与力学性能研究[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(5):567-569.
WANG H G. Process and mechanical properties of laser-MIG hybrid welding joint of 6082 aluminum alloy for medium and heavy plate[J].
Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(5):567-569.

1 试验材料与条件

焊接材料选用厚度为 10 mm 的 6082 铝合金板材，其化学成分见表 1。采用直径为 1.2 mm 的 ER5087 气体保护焊丝。焊前母材经表面氧化膜打磨、酒精清洗以及吹干等程序，以保证工件表面清洁、无油污。

表 1 焊接材料的化学成分

材料	w _B								%
	Si	Mg	Cr	Ti	Cu	Zn	Fe	Mn	
6082-T6	0.7~1.3	0.6~1.2	0.25	0.10	0.10	0.20	0.50	0.4~1.0	余量
ER5087	0.25	5.0	0.08	0.12	0.05	0.25	0.40	0.8	余量

激光-MIG 复合焊接设备采用 IPG-6000 光纤激光器，在焊接过程中，激光在前，电弧在后，并且光丝间距为 2 mm，焊丝干伸长量为 13 mm，见图 1。电焊机型号为 TPS-27004R/Z，保护气选用纯度为 99.999% 的氮气。经过多次焊接工艺优化试验，选用的激光-MIG 复合焊工艺参数见表 2。

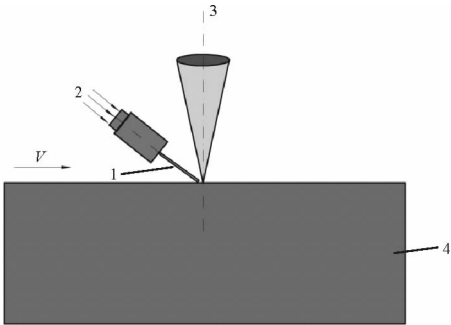


图 1 激光-MIG 复合焊接试验设备示意图
Fig.1 Schematic diagram of laser-MIG hybrid welding test equipment
1.焊丝 2.保护气 3.光纤激光束 4.6082-T6 铝合金

表 2 焊接工艺参数
Tab.2 Welding process parameters

激光功率/kW	离焦量/mm	焊接速度/(m·min ⁻¹)	送丝速度/(m·min ⁻¹)	焊接电流/A	电弧电压/V
4.5	5	1.2	8	178	220

焊接结束后，将焊接板通过电火花切割机沿焊缝横截面切割，得到适合镶样尺寸的焊接接头，进而经过镶样、打磨、抛光后，使用 Keller 试剂腐蚀，放置于 BX3M 型金相显微镜下观察。使用 HVS-1000 维氏硬度计测量硬度，载荷为 3 N，加载时间为 15 s。通过电火花切割标准拉伸试样，使用 CMT5105 型电子万能试验机，拉伸速率为 1 mm/min。

2 试验结果与分析

2.1 焊缝表面成形

图 2 为激光-MIG 复合焊缝宏观形貌。可以看出，

激光-MIG 焊接接头熔宽约为 5 mm，焊缝表面呈鱼鳞状，成形较为饱满，焊缝表面无明显缺陷。激光-MIG 复合焊焊缝横截面见图 3。可以看出，焊缝横截面呈“酒杯”状，焊缝余高较小，焊缝两侧关于焊缝中心对称。另外，焊缝中存在一定数量的气孔，并且气孔大多集中于焊缝的上表面。一方面是由于焊接速度较快，熔池中的气体来不及逸出，另一方面是由于激光功率过大，焊接小孔稳定性下降，向外喷发的金属蒸气冲击孔壁使得小孔受力不均匀，造成小孔坍塌，最终形成工艺性气孔^[7]。

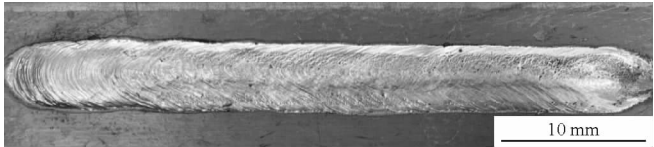


图 2 焊缝宏观形貌
Fig.2 Macro morphology of weld joint

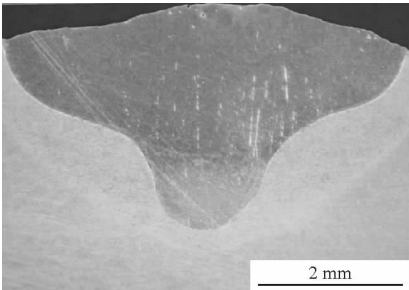


图 3 焊缝横截面形貌
Fig.3 Cross-sectional appearance of weld joint

2.2 焊缝微观组织

图 4 和图 5 为激光-MIG 复合焊焊缝的显微组织。可以看出，焊缝的熔合区、热影响区以及母材的组织区别很明显，并且热影响区较窄。激光-MIG 复合焊焊缝熔合区主要为等轴枝晶，晶粒尺寸较小且形态不一。而从熔合区到热影响区直至母材，晶粒尺寸逐渐增大，并且存在柱状枝晶(见图4)。这是由于受到激光和电弧

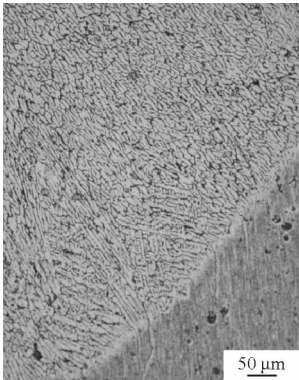


图 4 焊缝分界处微观组织
Fig.4 Microstructure at the weld boundary

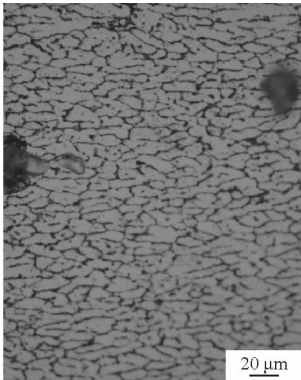


图 5 焊缝中心微观组织
Fig.5 Microstructure of weld center

两种热源的影响,热输入量增大,温度梯度较大,导致凝固速率减慢,晶粒更易形核和长大^[6]。从图 5 可以看出,熔合区区域内的晶粒分布较为均匀,排布也十分紧密,但由于焊接过程中,熔融的金属化合物与水反应产生氢气,并且,焊接速度太快,从而导致金属蒸气未能及时逸出,最终形成气孔。

2.3 显微硬度分析

图 6 为激光-MIG 复合焊焊缝横截面的显微硬度。可以看出,激光-MIG 复合焊接热影响区显微硬度(HV)为 96.5,高于熔合区和母材的显微硬度。这是由于热影响区的粗晶粒受到热循环的影响,并且焊缝熔合区存在较多的气孔,导致焊缝中心硬度较低。激光-MIG 复合焊焊缝中心区域平均显微硬度(HV)为 92.8,母材平均硬度(HV)为 84.8,焊缝中心硬度高于母材区域,这是由于焊丝的填充,使得焊缝中心的硬度得到了提高^[8]。

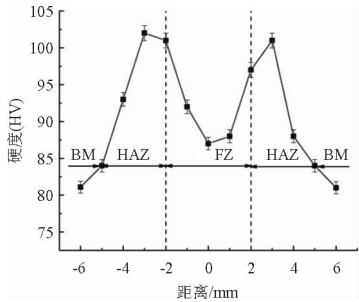


图 6 激光-MIG 复合焊接接头的显微硬度

Fig.6 Microhardness of laser-MIG composite welding joint

2.4 拉伸性能分析

通过横向拉伸试验,10 mm 厚的 6082 铝合金抗拉强度见表 3。激光-MIG 复合焊接的平均抗拉强度为 258 MPa,伸长率为 6.7%。母材的抗拉强度为 335 MPa。激光-MIG 复合焊接的焊缝抗拉强度达到母材的 77%,激光-MIG 复合焊接试样拉伸断裂的位置都在焊缝。主要原因是由于气孔的存在,使焊缝的致密度不如母材。

表 3 激光-MIG 复合焊接接头拉伸试验结果

Tab.3 Tensile test results of Laser-MIG composite welding joint			
序号	抗拉强度/MPa	平均抗拉强度/MPa	断裂位置
1	251	258	FZ
2	260		
3	264		

3 结 论

(1)6082-T6 铝合金激光-MIG 复合焊焊缝的熔宽较窄,焊缝表面成形较为美观,但焊缝上部存在一定数量的气孔。

(2)6082-T6 铝合金激光-MIG 复合焊接接头的热影响区较窄,在焊缝熔合区,大部分为等轴枝晶,热影响区为狭长的树状晶和柱状晶。

(3)6082-T6 铝合金激光-MIG 焊接接头热影响区显微硬度最高,平均硬度(HV)为 96.5,这是因为热影响区的粗晶粒受到热循环的影响。

(4)6082-T6 铝合金激光-MIG 复合焊接的焊缝平均抗拉强度为 258 MPa,可达基体的 77%。

参 考 文 献

[1] 靳佳霖,徐国富,李耀,等. 焊丝成分对 6082-T6 铝合金焊接接头组织和性能的影响[J]. 中国有色金属学报, 2020, 30(1):7-14.

[2] 季卫东,陈辉.10 mm 厚 6005A 铝合金激光-MIG 复合焊接[J].电焊机,2014,44(9):128-132.

[3] TAN C, YANG J, ZHAO X, et al. Influence of Ni coating on interfacial reactions and mechanical properties in laser welding-brazing of Mg/Ti butted joint[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2018, 764: 186-201.

[4] 吴虎.中厚板 Q345B 钢激光复合焊接接头微观组织与力学性能研究[J].焊接技术,2020,49(9):10-12,167.

[5] 白利兵.薄板铝金光纤激光-MIG 复合焊工艺与性能研究[J].焊接技术,2020,49(4):29-34.

[6] 张林,冯曰海,刘思余,等. 7A52 厚板铝合金激光-MIG 复合焊接组织与性能研究[J]. 热加工工艺, 2019, 48(3):19-23.

[7] 史鹏飞. 5083 铝合金激光-MIG 复合焊接过程稳定性与气孔缺陷研究[D].上海:上海交通大学,2018.

[8] 杨喜昌,刘佳,张继彬,等.不同焊接方法对铝合金焊缝成形及力学性能的影响研究[J].应用激光,2016,36(5):553-558.

(编辑:栗万仲)

蔚来(合肥)电动汽车产业园区开工

4月29日,蔚来汽车“NeoPark 新桥智能电动汽车产业园区”在合肥市经开区举行开工仪式。

NeoPark 将打造世界级智能电动汽车产业集群,开展整车、核心零部件、自动驾驶等创新性研发,打造具有全球竞争力、引领性的创新链;引入数百家关键配套企业,形成完整与高度聚集的产业链。

据了解,NeoPark 产业园占地 16 950 亩,建设包括 3 个区域——智能制造区、研发生活社区及生态文化区。预计该产业园初期投入 500 亿元,建成后年产值超 5 千亿元,年产整车 100 万辆,电池 100 GWh,并汇聚全球 5 万以上优秀人才,成为世界范围内智能电动汽车产业链高地。

此外,蔚来汽车还宣布与合肥签订进一步合作框架协议。根据合作框架协议,合肥市将加大对智能电动汽车产业的支持力度,引进更多产业链优质企业入驻园区,并提供建设、资金、人才等方面配套政策支持。蔚来则围绕园区进行长期发展规划与布局,在园区建立研发与制造、营销与管理团队,助力合肥进一步引进产业链企业。

(摘自压铸周刊)