

车身用铝合金板激光-MIG 复合焊接多因素交互优化研究

郭紫威^① 陈哲群^②

(^①长春汽车工业高等专科学校,吉林 长春 130013;^②汕头职业技术学院,广东 汕头 515078)

摘 要:实验采用了激光-MIG 复合焊接方法对汽车铝合金件激光-MIG 焊接过程中的激光功率、焊接电流和光丝距,以及三者间的交互作用进行多因素交互优化,研究了各个参数交互作用对焊接接头熔深和相对熔化率的影响。实验结果表明:在不考虑光丝距影响的前提下,激光功率对接头熔深的影响十分显著,而焊接电流对接头熔深的影响并不显著;在不考虑焊接电流影响的前提下,激光功率和光丝距对接头熔深的影响均较显著;在不考虑光丝距和不考虑焊接电流影响两种不同的前提下,随着激光功率的增加,接头熔深均显著增加。

关键词:激光-MIG 复合焊接;铝合金;多因素交互

中图分类号: TG456.7 **文献标识码:** A

DOI:10.19287/j.cnki.1005-2402.2020.09.033

Multi-factor interaction optimization of laser-MIG hybrid welding for aluminum alloy plate for automobile body

GUO Ziwei^①, CHEN Zhequn^②

(^①Chang Chun Automobile Industry Institute, Changchun 130013, CHN;

^②Shantou Polytechnic, Shantou 515078, CHN)

Abstract: In the experiment, the laser-MIG hybrid welding method was adopted to systematically optimize the laser power, welding current, optical wire distance and the interaction among the three factors in the laser-MIG welding process of aluminum alloy parts for automobiles. The effects of interaction of various parameters on the penetration depth and relative melting rate of welded joints were also studied. The experimental results show that the laser power has a significant effect on the joint penetration without considering the influence of the optical distance while the welding current barely has influence on the penetration depth of the joint. However, on the premise of not considering the impact of welding current, the effects of the laser power and the optical fiber distance on the joint penetration are both significant. Additionally, without considering the influence of the optical wire distance and the welding current, the penetration depth of the joint increases significantly with the increase of the laser power.

Keywords: laser-MIG-hybrid welding; aluminum alloy; multifactor interaction

5xxx 铝合金板由于具有高比强度、优良的耐腐蚀性能、成形性能和焊接性能以及可回收利用、轻量化等特点,广泛应用于汽车制造领域^[1-3]。现如今铝合金车体焊接仍然是以 MIG 焊为主,但是传统电弧焊接的热输入量大,容易产生焊接气孔、裂纹、接头软化等问题^[4]。激光-MIG 复合焊接的发展为克服两种单一热源的缺点提供了一条行之有效的解决途径。激光与电弧不限方式组合而成的复合热源,具有焊接效率高、工艺稳定性强、对装配间隙适应性强等优点,得到的复合

焊接接头缺陷明显减少,性能明显改善^[5-7]。

韩晓辉^[8]等研究了不同复合方式对铝合金型材性能的影响,激光-MIG 复合焊接接头间隙适应性最佳,极限疲劳强度最高。季卫东等^[9]采用双层激光-MIG 复合焊接方法对 10 mm 厚铝合金进行了焊接,复合焊接头的抗拉强度较传统 MIG 焊提高了 20%。Casalino 等^[10]采用了激光-MIG 复合焊接方法焊接了 AA5754 铝合金,结果表明,焊接时激光功率和电弧功率的协同作用提高了焊接性能,更高的激光功率使得



焊接稳定性得到了提高。综合上述研究结果,激光-电弧复合焊接铝合金有着较高的技术优势,但复合焊接中存在众多协同工艺参数,焊接接头形貌直接关系着焊接质量。本文采用激光-MIG 复合焊接对汽车用 5083-O 铝合金板进行复合焊接试验,对汽车铝合金件激光-MIG 焊接过程中最主要的激光功率、焊接电流和光丝距,以及三者间的交互作用进行多因素交互优化,研究了各个参数交互作用对接头熔深和相对熔化率的影响,为车身铝合金激光-MIG 复合焊接实际应用提供了指导。

1 试验材料及方法

1.1 试验设备

采用德国 Trumpf (HL4006D) Nd:YAG 激光器、松下(Panasonic YM-350AG2) MIG 焊机与 KUKA 机器人组成的焊接系统, YAG 激光波长 $\lambda = 1\ 064\ \text{nm}$,最大输出功率 $P = 4.0\ \text{kW}$,激光器光束质量 $BPP = 25\ \text{mm/mrad}$,激光束通过芯径为 $600\ \mu\text{m}$ 的光纤传输到 KUKA KR30HA 机器人第六轴端部,经过焦距 $f = 200\ \text{mm}$ 的聚焦镜聚焦后,激光束焦点位置光斑直径 $D = 0.6\ \text{mm}$ 。激光束采用垂直入射, MIG 焊枪与铝合金板平面成 60° ,激光束与焊枪夹角为 30° 。

1.2 试验材料

试验采用 $10\ \text{mm}$ 的 5083-O 铝合金板,此牌号铝合金属于铝镁系防锈铝,具有良好的焊接性、塑性和耐腐蚀性。通过 DK7740C 电火花数控线切割机床将铝合金板制成尺寸为 $100\ \text{mm} \times 50\ \text{mm} \times 10\ \text{mm}$ 的平板堆焊试样。由于铝合金材料表面有油污和水气,阻碍了母材的熔化和熔合,并且极易在焊缝中形成气孔和夹渣,因此焊接前用丙酮对试样擦拭去除表面粉尘及油污^[11-12]。铝合金平板堆焊的填充材料选用 ER5087 焊丝,焊丝直径 $1.2\ \text{mm}$ 。母材及焊丝的化学成分见表 1。通过氢氟酸腐蚀焊缝截面,测得余高 h 、焊缝宽度 w ,如图 1 所示。

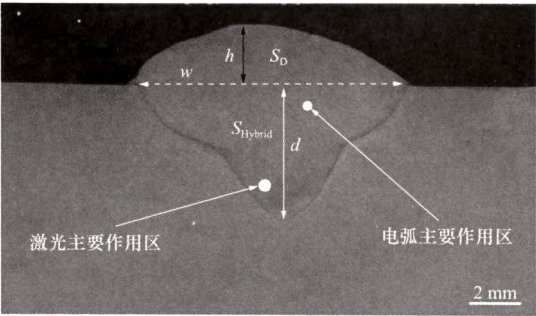


图1 焊缝截面形貌基本参数标定

表 1 试验材料及填充焊丝化学成分(质量分数/%)

材料	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zr	Zn	Ti	Al
5083	0.40	0.40	0.10	0.4~1.0	4.0~4.9	0.05~0.25	-	0.25	0.15	Bal.
ER5087	0.022	0.15	0.005	0.9	4.8	-	0.082	-	-	Bal.

2 铝合金激光-MIG 复合焊接过程多因素交互优化方法

为了弥补单因素优化过程无法考虑多因素交互作用对实验结果的影响,在单因素优化试验的基础上,选择部分优化,对铝合金激光-MIG 焊接过程中最主要的激光功率、焊接电流和光丝距,以及三者间的交互作用进行多因素交互优化。利用 JMP 试验优化设计软件,选择 3 因素 5(或 7)水平进行多因子交互试验优化,其试验参数和试验结果分别见表 2 和表 3。

表 2 铝合金激光-MIG 复合焊接多因子试验优化设计参数表

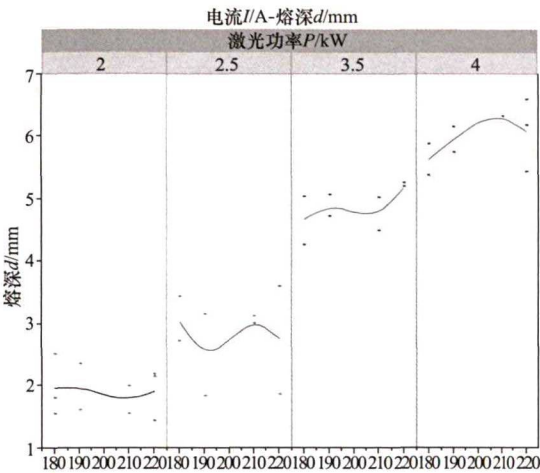
序号	激光功率 P/kW	焊接电流 I/A	电弧电压 U/V	光丝距 D_{LA}/mm	离焦量 $\Delta f/\text{mm}$	焊接速度 $v/(\text{m/min})$	焊枪气体流量 $f_{\text{枪}}/(\text{L/min})$
1	2.5	190	20.8	-6	-2	1.0	20
2	4	220	21.2	-6	-2	1.0	20
3	2	220	21.2	6	-2	1.0	20
4	2	180	20.6	6	-2	1.0	20
5	4	220	21.2	6	-2	1.0	20
6	2	210	21	-6	-2	1.0	20
7	4	190	20.8	2	-2	1.0	20
8	3.5	210	21	-6	-2	1.0	20

表 3 铝合金激光-MIG 复合焊接多因子试验优化设计参数表

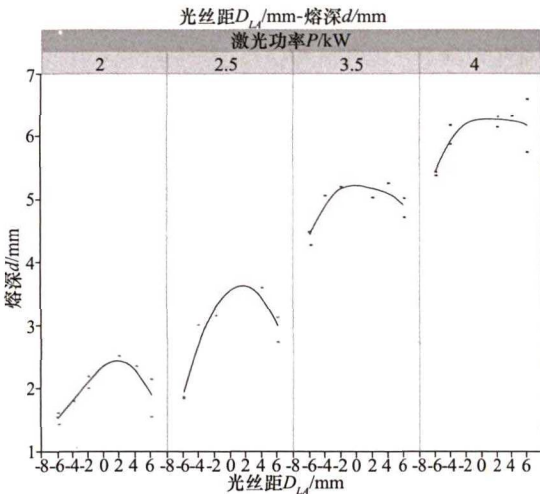
序号	熔宽 w $/\text{mm}$	熔深 d $/\text{mm}$	余高 h $/\text{mm}$	余高面积 S_D/mm^2	熔化面积 $S_{\text{Hybrid}}/\text{mm}^2$	相对熔化率 $\varepsilon/(\%)$
1	8.97	1.85	1.82	11.99	8.24	1.73
2	11.76	5.44	1.99	14.29	28.81	24.72
3	7.84	2.16	2.48	15.49	9.71	61.83
4	6.23	1.57	2.06	11	5.38	29.64
5	10.44	6.6	2.43	18.97	36.84	81.84
6	9.09	1.57	2.25	14.44	7.95	15.55
7	9.86	6.16	2.03	15.34	32.73	65.22

首先分别建立了激光功率与焊接电流、激光功率与光丝距、及焊接电流与光丝距对接头熔深影响的规律图。其中激光功率与焊接电流、激光功率与光丝距

对接头熔深影响的规律图较显著,如图2所示;而焊接电流与光丝距对接头熔深影响的规律图不显著,故忽略。



(a) 激光功率与焊接电流对接头熔深影响规律图



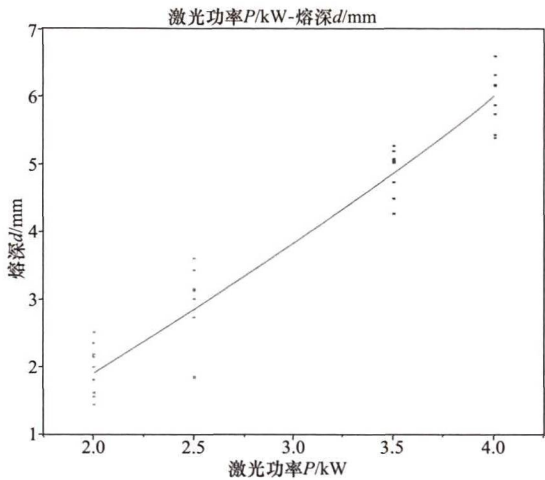
(b) 激光功率与光丝距对接头熔深影响规律图

图2 热源参数对焊接接头熔深的影响规律图

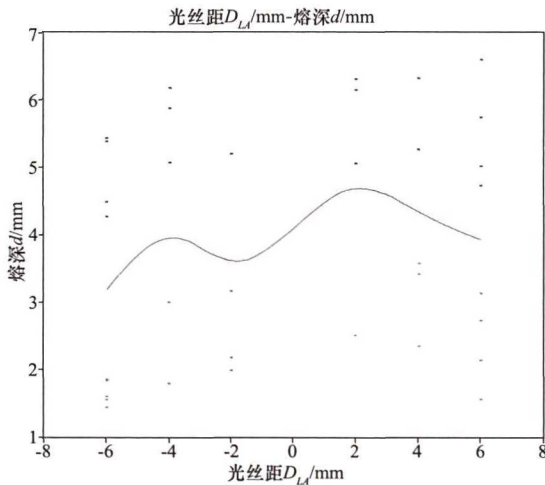
由图2a可知,在不考虑光丝距影响的前提下,激光功率对接头熔深的影响十分显著,而焊接电流对接头熔深的影响并不显著;由图2b可知,在不考虑焊接电流影响的前提下,激光功率和光丝距对接头熔深的影响均较显著。在不考虑光丝距和不考虑焊接电流影响两种不同的前提下,随着激光功率的增加,接头熔深均显著增加,如图3a所示。

在不考虑焊接电流影响的前提下,在不同激光功率时,随着光丝距的增加,接头熔深均出现了先增加后减小的趋势。当激光功率 $P \leq 2.5$ kW时,最优光丝距均出现在2 mm附近;当激光功率 $P \geq 3.5$ kW时,最优光丝距的范围出现了扩大,约为-2~4 mm。通过对不考虑激光功率和焊接电流两种因素影响时,光丝距对接头熔深的影响规律进行拟合发现,随着光丝距的增

加,接头熔深出现了先增加后减小,再增加再减小的规律,如图3b所示。



(a) 激光功率对接头熔深影响规律图

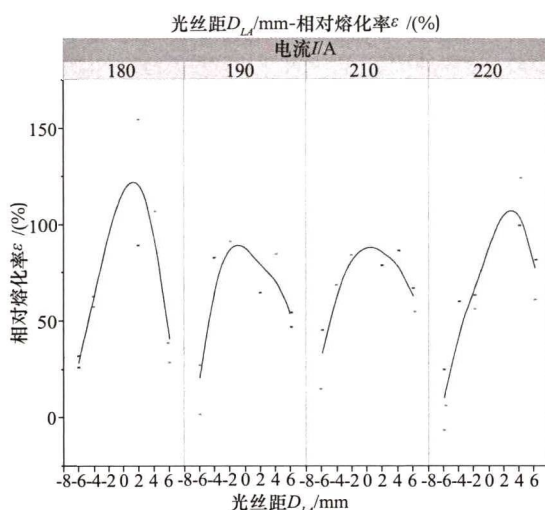


(b) 光丝距对接头熔深影响规律图

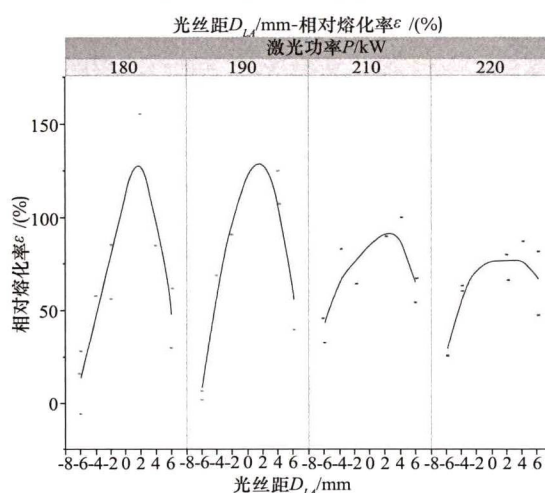
图3 工艺参数对复合焊焊接接头熔深的影响规律图

然后,分别建立了激光功率与焊接电流、激光功率与光丝距、及焊接电流与光丝距对复合焊相对熔化率影响的规律图。其中焊接电流与光丝距、激光功率与光丝距对复合焊相对熔化率影响的规律图较显著,如图4所示;而激光功率与焊接电流对复合焊相对熔化率影响的规律图不显著,故忽略。

由图4可知,在不考虑激光功率影响的前提下,光丝距对复合焊相对熔化率的影响十分显著,而焊接电流对复合焊相对熔化率的影响并不显著;在不考虑焊接电流影响的前提下,光丝距对复合焊相对熔化率的影响仍十分显著,而激光功率对复合焊相对熔化率的影响并不显著。在不考虑激光功率和不考虑焊接电流影响两种不同的前提下,随着光丝距的增加,复合焊相对熔化率均呈现先增加后减小的趋势,如图5所示。



(a) 焊接电流与光纤距对复合焊相对熔化率影响规律图



(b) 激光功率与光纤距对复合焊相对熔化率影响规律图

图4 热源参数对复合焊接头相对熔化率的影响规律图

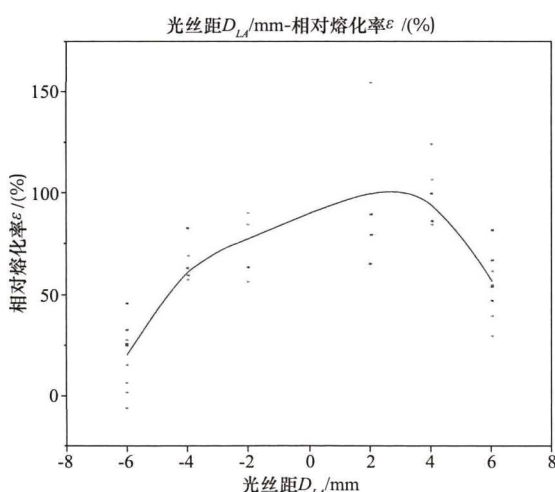


图5 光纤距对复合焊相对熔化率影响规律图

3 结语

(1)在不考虑光纤距和不考虑焊接电流影响两

种不同的前提下,随着激光功率的增加,接头熔深均显著增加,这与在同时不考虑光纤距和焊接电流两种因素影响前提下所得到的结果一致。在不考虑焊接电流影响的前提下,在不同激光功率时,随着光纤距的增加,接头熔深均出现了先增加后减小的趋势。通过对不考虑激光功率和焊接电流两种因素影响时,光纤距对接头熔深的影响规律进行拟合发现,随着光纤距的增加,接头熔深出现了先增加后减小,再增加再减小的规律,这与光纤距单因素优化时所得到的规律类似。

(2)在不考虑激光功率和不考虑焊接电流影响两种不同的前提下,随着光纤距的增加,复合焊相对熔化率均呈现先增加后减小的趋势。这与在同时不考虑激光功率和焊接电流两种因素影响前提下所得到的结果一致。

参 考 文 献

- [1]郭成,李宝绵,张海涛,等.高强耐蚀 5xxx 系铝合金的研究现状及发展趋势[J].稀有金属,2018,42(8):878-884.
- [2]张翔.高速列车用 A6N01-T5 铝合金激光-MIG 复合焊接头疲劳性能研究[J].热加工工艺,2017,46(7):64-67,71.
- [3]周逸凡,陈根余,张焱,等.5A06 铝合金光纤激光-MIG 电弧复合焊接研究[J].应用激光,2016,36(2):156-164.
- [4]路浩,邢立伟,梁志敏.铝合金活性 MIG 焊接电弧行为及微观组织分析[J].焊接学报,2014,35(11):1-4,113.
- [5] Zhang F, Liu S, Liu F, et al. Stability evaluation of laser-MAG hybrid welding process[J]. Optics & Laser Technology, 2019, 116:284-292.
- [6]雷振,常云峰,徐富家,等.高速列车 6N01 铝合金型材激光-MIG 复合填丝焊接技术[J].焊接,2019(5):18-22.
- [7]樊丁,董丽娟,余淑荣,等.激光-电弧复合焊接的技术特点与研究进展[J].热加工工艺,2011,40(11):164-166.
- [8]韩晓辉,李帅贞,毛镇东,等.高速列车用 6106-T6 铝合金型材激光-电弧复合焊接工艺及接头性能[J].中国激光,2019(12):78-86.
- [9]季卫东,陈辉.10mm 厚 6005A 铝合金激光-MIG 复合焊接[J].电焊,2014,44(9):128-132.
- [10] Casalino G, Mortello M, Leo P, et al. Study on arc and laser powers in the hybrid welding of AA5754 Al-alloy[J]. Materials and Design, 2014,61:191-198.
- [11]张翔.高速列车用 A6N01-T5 铝合金激光-MIG 复合焊接头疲劳性能研究[J].热加工工艺,2017,46(7):64-67,71.
- [12]徐贺年,雷正平.5083-O 铝合金管材生产工艺研究[J].轻合金加工技术,2008(3):37-38,56.

第一作者:郭紫威,男,1989 年生,讲师,主要研究方向为车辆工程。

(编辑 李 静)

(收稿日期:2020-03-13)

文章编号:20200936

如果您想发表对本文的看法,请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。