

DOI: 10.7512/j.issn.1001-2303.2026.02.13

白车身钢制门窗框远程激光焊工艺研究

程 猛, 沈 波, 杨官山*

上汽通用汽车有限公司, 上海 201206

摘 要: 为研究远程激光焊接工艺参数对白车身钢制门窗框焊接质量的影响机制, 采用与实际产品同材质、同厚度的热镀锌低碳钢试片, 模拟门窗框焊接边的搭接结构, 进行远程激光角焊工艺试验。系统分析了焊接搭接错边量、搭接间隙、焊接速度及激光功率等关键参数对焊缝成形与缺陷的影响规律, 并明确各参数的最优控制范围。试验结果表明: 为保证焊缝跟踪稳定性与焊接质量, 搭接错边量应不小于4 mm; 搭接间隙须严格控制在0.5 mm以内, 间隙过大会造成熔融金属填充不足, 导致有效熔宽减小和焊穿缺陷; 焊接速度不宜超过70 mm/s, 过高的速度会导致熔池失稳、飞溅增加及气孔缺陷; 激光功率最优区间为2 100~2 150 W, 过高的功率会加剧锌蒸气逸出, 增大飞溅, 干扰焊缝跟踪。研究证明, 通过优化并控制上述工艺参数, 能够有效抑制气孔、咬边、焊穿等常见缺陷, 获得成形良好、质量合格的远程激光焊接接头。

关键词: 白车身; 钢制门窗框; 远程激光焊; 工艺参数; 焊接质量

中图分类号: TG456.7 文献标识码: A 文章编号: 1001-2303(2026)02-0112-07

Research on Remote Laser Welding Technology for Body in White Steel Door and Window Frame

CHENG Meng, SHEN Bo, YANG Guanshan*

SAIC General Motors Co., Ltd., Shanghai 201206, China

Abstract: This study aims to investigate the influence mechanism of remote laser welding process parameters on the welding quality of steel door and window frames for Body-in-White (BIW). Using galvanized low-carbon steel test coupons with identical material and thickness to the actual product, the lap joint configuration of the window frame welding flange was simulated to conduct remote laser fillet welding experiments. The research systematically analyzed the effects of key parameters—including lap offset, fit-up gap, welding speed, and laser power—on weld formation and defect generation. The experimental results indicate that: to ensure seam tracking stability and welding quality, the lap offset should be no less than 4 mm; the fit-up gap must be strictly controlled within 0.5 mm, as excessive gaps lead to insufficient filler metal from the molten pool, reduced effective weld width, and a tendency for burn-through defects; the welding speed should not exceed 70 mm/s, as higher speeds cause molten pool instability, increased spatter, and porosity; the optimal laser power range is 2 100-2 150 W, with higher power exacerbating zinc vapor ejection, increasing spatter, and interfering with seam tracking. By optimizing and controlling these process parameters, this study successfully suppressed common defects such as porosity, undercut, and burn-through, producing well-formed and qualified remote laser welded joints. The findings provide direct technical guidance for achieving high-quality and efficient remote laser welding in the steel door and window frame areas of BIW.

Keywords: Body in White(BIW); steel door and window frame; remote laser welding; process parameter; welding quality

引用格式: 程猛, 沈波, 杨官山. 白车身钢制门窗框远程激光焊工艺研究[J]. 电焊机, 2026, 56(2): 112-118.

Citation: CHENG Meng, SHEN Bo, YANG Guanshan. Research on Remote Laser Welding Technology for Body in White Steel Door and Window Frame[J]. Electric Welding Machine, 2026, 56(2): 112-118.

收稿日期: 2025-05-30 修回日期: 2025-10-09

作者简介: 程 猛(1967—), 男, 正高级工程师, 主要从事白车身焊接技术及质量控制的研究。E-mail: meng_cheng@saic-gm.com。

通讯作者: 杨官山(1969—), 男, 正高级工程师, 主要从事汽车制造技术的研究。

0 引言

随着乘用车的不断普及,人们对乘用车的舒适性要求越来越高,乘员对门车窗视野的体验度要求提高,需要更开阔的视野体验,增大门车窗视野范围成为汽车业面临的问题。传统乘用车钢制门窗框多采用电阻点焊工艺,受焊枪电极帽尺寸与焊接可达性限制,窗框焊接边需设计较大的搭接宽度;而远程激光焊技术在门窗框区域的应用,能有效减小门窗框焊接边搭接宽度,在增大门窗框洞面积、提升乘员视野体验的同时,实现车身减重与轻量化设计,还能通过优化窗框截面结构进一步提升其刚性^[1-7]。门窗框示意如图1所示^[4]。文章就远程激光焊技术在乘用车白车身钢制门窗框区域应用工艺的研究进行介绍。

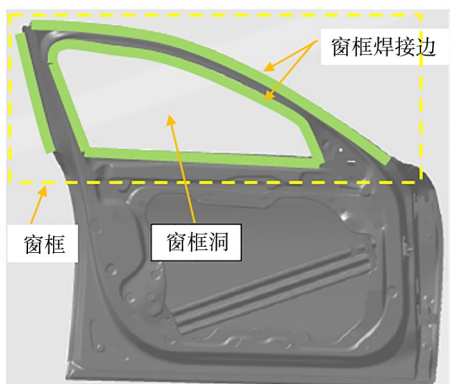


图1 门窗框示意

Fig. 1 Door and window frame diagram

1 激光焊接原理

金属材料具有很高的吸能系数,金属工件在激光束作用下吸收光束能量,工件温度迅速升高并发生局部熔化。根据焊接过程中是否产生了小孔,可将焊接方式分为深熔焊和热导焊。当作用于金属表面激光强度在 $10^3 \sim 10^5 \text{ W/cm}^2$ 范围内,金属工件吸收热量并开始熔化,热量传递到工件内部,使更多的金属熔化逐渐形成熔池,在此过程中工件只发生了熔化并没有汽化形成小孔,这种焊接方式称为热导焊。当激光强度大于 10^6 W/cm^2 时,熔池中由于反冲压力的作用形成了焊接小孔,激光束直接作用于小孔壁面上,这种焊接方式称为深熔焊。两种模式

的焊接示意如图2所示。小孔的形成是因为高密度引发熔池部分液态金属汽化,汽化产生的反冲压力挤压熔池,导致液/气或固/气界面压力突然升高。焊接初始时刻在工件表面形成一个较宽的熔池,随着液态气体的快速蒸发,沿着焊接路径形成一个窄而深的焊缝区域,如图2b所示。随着激光束的移动,金属蒸汽不断喷发出来,液态金属会流向熔池后方,形成又窄又深的焊缝^[11]。

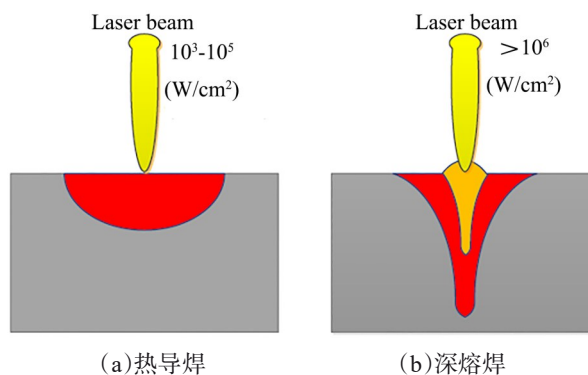


图2 焊接示意

Fig. 2 Welding diagram

激光焊接常见的焊接缺陷有气孔、咬边、焊穿、飞溅等,而熔池的动态行为对焊接缺陷的形成有直接影响。

激光深熔焊接以在热源下方熔池内部存在匙孔为主要特征,也被称为匙孔模式激光焊接,整个焊接过程涉及的物理现象包括:激光材料交互、热传导、熔化、蒸发、羽辉形成、流体流动和自由表面形成等。在激光深熔焊熔池行为的数值模拟方面,Zhao等^[12]建立的模型考虑了等离子体、液态金属、固态金属的三种相,发现匙孔壁前方的液态金属沿匙孔底部流向匙孔后方,熔池顶部的液态金属从高温区域流向低温区域,且焊接过程中匙孔始终处于动态波动状态;当匙孔深度突然降低,则在熔池底部形成焊接气泡,这也是气孔缺陷形成的主要原因。飞溅产生的主要驱动力是小孔内蒸发蒸汽反冲压力和高速喷射的金属蒸汽/等离子体对小孔壁的摩擦力,两者共同驱动熔融金属向上流动至小孔开口周围形成熔融金属“皇冠”甚至局部金属液柱,进一步在高速膨胀的孔外金属蒸汽/等离子体的剪切作用下,熔融金属向上运动的动能超过其表面张力能,从而脱离熔池产生飞溅。飞溅颗粒在穿过孔

外金属蒸汽/等离子体云时有一个“加速过程”。下表面飞溅呈上开口抛物线轨迹落在后方焊缝表面^[13]。

2 白车身钢制门窗框区域焊接技术

目前乘用车钢制前、后门的门窗框区域最常用的连接方法是电阻点焊,该工艺因设备投资成本较低、工艺成熟度高、产线适配性强等优势被广泛采用。电阻点焊是通过焊枪电极帽对板材施加压力并通以电流,利用接触电阻产生的热量实现板材熔接,但受电极帽结构尺寸与焊接可达性的限制,为避免边缘焊点失效、保证焊接连接强度,窗框焊接边需设计较大的搭接宽度。

远程激光焊又称激光飞行焊、激光振镜扫描焊接,属于激光深熔焊,是近年来在汽车制造领域快速应用的高效非接触式焊接技术^[8]。该技术通过机器人搭载激光焊接头,使用相对较长的聚焦光纤和扫描镜,以控制工件上的聚焦光束,利用扫描振镜实现快速的移动焊接。远程激光焊焊接时激光头与板材焊接面不接触,利用远程激光焊进行焊接的窗框焊接边宽度可以比电阻点焊的小,图3、图4分别为电阻电焊、远程激光焊窗框焊接截面示意^[9]。远程激光焊在门窗框区域的应用具备多重技术优势:其一,焊接边搭接宽度的缩减可直接增大门窗框洞的有效面积,显著提升乘员的视野体验,同时减少板材耗材实现车身减重,契合汽车工业轻量化与节能减排的发展需求;其二,在缩减搭接宽度的同时,可优化设计门窗框截面结构并增大截面积,有效提升门窗框的整体刚性与结构承载能力^[4,9];其三,高速振镜扫描实现了焊接过程的高节拍作业,

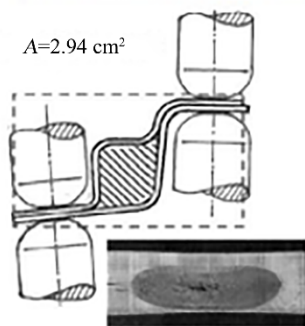


图3 电阻点焊焊接窗框截面示意

Fig. 3 Resistance spot welding window frame cross-section diagram

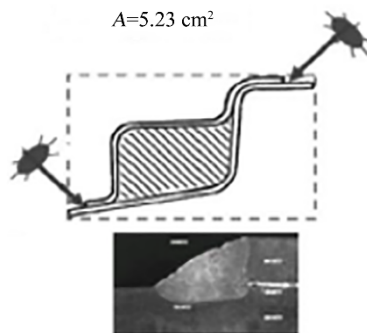


图4 远程激光焊焊接窗框截面示意

Fig. 4 Remote laser welding window frame cross-section diagram

提升了白车身门窗框区域的焊接生产效率。工程应用数据表明,传统电阻点焊在部分车型的钢制车门窗框区域的最小搭接边宽度需 ≥ 11 mm,而远程激光焊接的最小搭接边宽度可控制在 ≤ 6 mm^[1-2,6]。该工艺已在奥迪A8等高端车型中成功工程化应用,其门窗框内板焊接法兰边长度较传统工艺减少约27%,整车节能减排效率提升约24%^[14],展现出良好的技术应用前景。

3 试验结果与分析

3.1 白车身钢制门窗框远程激光焊工艺参数及试验方法

白车身钢制门窗框远程激光焊的工艺参数主要涉及产品设计和焊接工艺两类。对于远程激光焊角焊缝,产品设计参数主要包括焊接边搭接错边量和搭接间隙,焊接参数主要包括焊接速度、激光功率等。上述参数的匹配性直接决定焊缝成形质量与焊接稳定性,因此本研究以各参数对焊接质量的影响规律及最优控制范围为目标,开展系列模拟试验。

试验采用与某款车型门窗框同材质、同厚度的热镀锌低碳钢试片,模拟实际生产中门窗框焊接边的搭接结构开展远程激光角焊试验,远程激光焊作业原理如图5所示^[10],门窗框焊接试片的实际搭接形式如图6所示。试片的具体材质与厚度参数如表1所示。

3.2 焊接搭接边错边量对焊缝质量的影响

选取60 mm/s和70 mm/s两种常用的焊接速度,控制搭接间隙为0 mm,在焊接试片设置搭接边错边

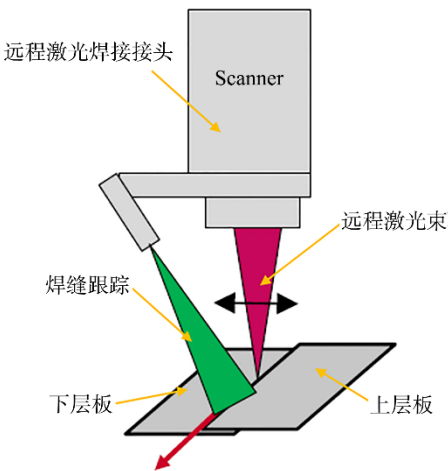


图 5 远程激光焊示意

Fig. 5 Remote laser welding diagram

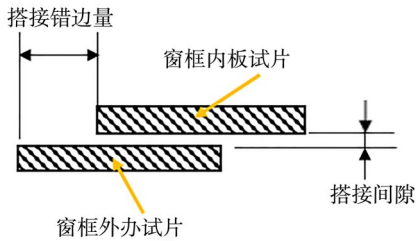


图 6 门窗框焊接边搭接形式

Fig. 6 Welded lap joint of window frame

表 1 试片组合信息

Table 1 Test coupon stack-up information

试片	材质	厚度/mm
窗框内板试片	热镀锌低碳钢	0.70
窗框外板试片	热镀锌低碳钢	0.85

量分别为 5 mm、4 mm、3 mm、2 mm、1 mm, 利用远程激光焊进行焊接, 验证搭接错边量对焊缝质量的影响。其中焊接速度 60 mm/s 所采用的激光功率为 2 100 W, 焊接速度 70 mm/s 所采用的激光功率为 2 150 W。在试验中, 保持焊接速度和激光功率不变, 改变搭接边错边量, 对不同的搭接边错边量的试片进行焊接, 焊缝质量检查结果如表 2 所示。

试验结果表明, 当搭接错边量为 5 mm、4 mm 时, 无论焊接速度为 60 mm/s 还是 70 mm/s, 焊缝均成形良好、无明显缺陷, 焊接质量保持稳定。搭接错边量为 4 mm 的焊缝外观照片如图 7 所示, 焊缝无缺陷, 其截面金相形貌如图 8 所示, 熔宽、熔深等金相尺寸均满足工程设计要求。随着搭接错边量的减小, 当错边量为 3 mm、2 mm、1 mm 时, 焊缝跟踪系统不稳定, 易造成焊缝缺陷的产生, 焊缝出现气

表 2 搭接错边量对焊缝质量的影响

Table 2 The influence of lap offset length on welding quality

试验	序号	焊接速度 /(mm·s ⁻¹)	激光功率 /W	搭接间隙 /mm	错边量 /mm	焊缝 质量
试验 1	1	60	2 100	0	5	合格
	2	60	2 100	0	4	合格
	3	60	2 100	0	3	气孔
	4	60	2 100	0	2	咬边
	5	60	2 100	0	1	气孔
试验 2	1	70	2 150	0	5	合格
	2	70	2 150	0	4	合格
	3	70	2 150	0	3	气孔
	4	70	2 150	0	2	气孔
	5	70	2 150	0	1	咬边

孔、咬边等缺陷。图 9 为搭接错边量为 3 mm 的焊缝外观照片, 焊缝有气孔缺陷。图 10、图 11 为搭接错边量为 2 mm 的焊缝外观照片, 焊缝有咬边、气孔缺陷。

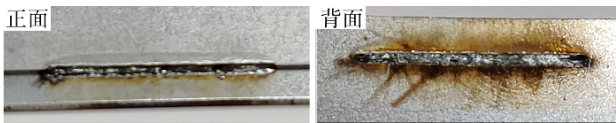


图 7 错边量 4 mm 的焊缝外观照片

Fig. 7 Appearance photo of welding seam with 4 mm offset length

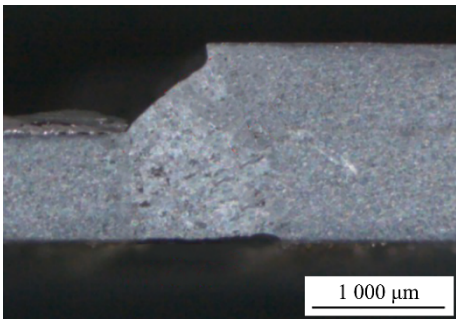


图 8 错边量 4 mm 的焊缝截面金相图

Fig. 8 Metallographic diagram of welding cross-section with 4 mm offset length

3.3 焊接搭接边搭接间隙对焊接质量的影响

根据基于 3.2 节试验结果, 选取最小有效错边量 4 mm 为固定参数, 探究搭接间隙对焊缝质量的影响。试验设置搭接间隙分别为 0.1 mm、0.2 mm、0.3 mm、0.4 mm、0.5 mm 和 0.6 mm, 仍采用 60 mm/s (2 100 W)、70 mm/s (2 150 W) 两种焊接速度, 保持其他参数恒定, 不同搭接间隙下焊缝质量检查结果如表 3 所示。

试验结果表明, 当搭接间隙 ≤ 0.5 mm, 两种焊接

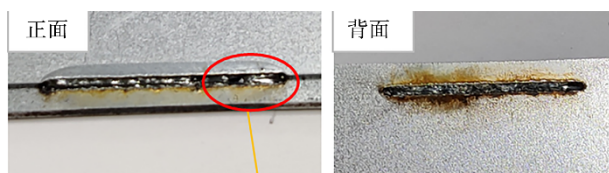


图9 错边量3 mm的焊缝外观照片

Fig. 9 Appearance photo of welding seam with 3 mm offset length



图10 错边量2 mm的焊缝外观照片(焊接速度60 mm/s)

Fig. 10 Appearance photo of welding seam with 2 mm offset length (welding speed 60 mm/s)

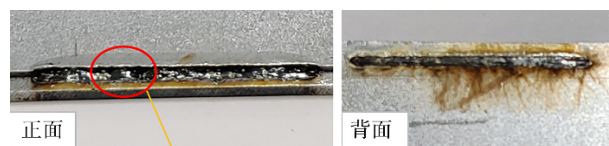


图11 错边量2 mm的焊缝外观照片(焊接速度70 mm/s)

Fig. 11 Appearance photo of welding seam with 2 mm offset length (welding speed 70 mm/s)

速度下的焊缝均无缺陷,焊缝质量稳定。图12为搭接间隙为0.5 mm的焊缝外观照片,焊缝外观无缺陷,其截面金相形貌如图13所示,熔宽和熔深均满足要求。

当搭接间隙增大至0.6 mm时,两种焊接速度下,焊缝均出现明显的焊穿缺陷,如图14所示。这是因为搭接间隙过大时,上板熔融金属不足以填充间隙,导致有效熔宽降低,激光束易直接穿透搭接间隙作用于母材非焊接区域,同时熔池的液态金属因重力作用向下流失,最终形成焊穿缺陷。

3.4 不同焊接速度对焊缝质量的影响

根据以上试验结果,选取最优设计参数组合(错边量4 mm),分别匹配最小搭接间隙(0 mm)与最大

表3 搭接间隙对焊缝质量的影响

Table 3 The influence of overlap gap on welding quality

试验	序号	焊接速度 /(mm·s ⁻¹)	激光功率 /W	错边量 /mm	搭接间隙 /mm	焊缝 质量
试验1	1	60	2 100	4	0.1	合格
	2	60	2 100	4	0.2	合格
	3	60	2 100	4	0.3	合格
	4	60	2 100	4	0.4	合格
	5	60	2 100	4	0.5	合格
	6	60	2 100	4	0.6	焊穿
试验2	1	70	2 150	4	0.1	合格
	2	70	2 150	4	0.2	合格
	3	70	2 150	4	0.3	合格
	4	70	2 150	4	0.4	合格
	5	70	2 150	4	0.5	合格
	6	70	2 150	4	0.6	焊穿

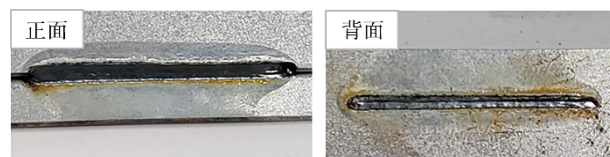


图12 搭接间隙0.5 mm焊缝外观照片

Fig. 12 Appearance photo of welding seam with 0.5 mm overlap gap

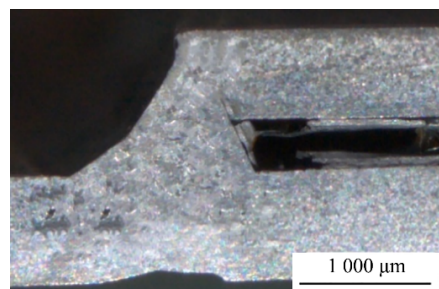


图13 搭接间隙0.5 mm焊缝截面金相组织

Fig. 13 Metallographic diagram of welding cross-section with 0.5 mm overlap gap

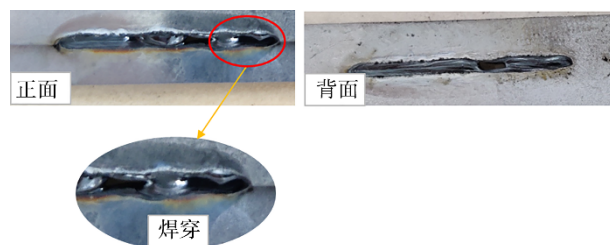


图14 搭接间隙0.6 mm焊缝外观照片

Fig. 14 Appearance photo of welding seam with 0.6 mm overlap gap

有效搭接间隙(0.5 mm),探究焊接速度对焊缝质量的影响规律。试验设置焊接速度为60 mm/s、70 mm/s、80 mm/s,为保证焊缝熔深,各速度匹配对应的激光功率:60 mm/s对应2 100 W、70 mm/s对应2 150 W、

80 mm/s 对应 2 250 W,不同焊接速度下的焊缝质量检测结果如表4所示。

表4 焊接速度对焊缝质量的影响

Table 4 Influence of welding speed on welding quality

序号	搭接错边量 /mm	搭接间隙 /mm	焊接速度 /(mm·s ⁻¹)	激光功率 /W	焊缝 质量
1	4	0	60	2 100	合格
2	4	0.5	60	2 100	合格
3	4	0	70	2 150	合格
4	4	0.5	70	2 150	合格
5	4	0	80	2 250	气孔
6	4	0.5	80	2 250	跳焊

试验结果表明,当焊接速度 ≤ 70 mm/s时,无论搭接间隙为0 mm还是0.5 mm,焊缝均成形良好、质量合格,焊缝无缺陷。70 mm/s焊接速度下的焊缝外观如图15所示,表面平整、飞溅量少,其截面金相形貌如图16所示,熔池稳定、熔融金属填充充分,金相指标均满足要求。当焊接速度提升至80 mm/s时,焊接质量发生明显劣化:当搭接错边量为4 mm,搭接间隙为0 mm时,焊缝出现大量气孔缺陷,如图17所示;搭接间隙为0.5 mm时,焊缝直接出现跳焊缺陷,如图18所示。究其原因,一方面,焊接速度过快会导致激光束与母材的作用时间大幅缩短,熔池受热不充分,匙孔动态波动加剧,易形成气孔;另一方面,为保证熔深而提升激光功率后,热镀锌低碳钢中的锌层会快速汽化,锌蒸气大量逸出引发飞溅剧增,干扰焊缝跟踪精度;同时,高速焊接下熔融金属的生成与流动速度无法匹配焊接进度,在存在搭接间隙时,熔融金属无法及时填充间隙,最终形成跳焊缺陷。

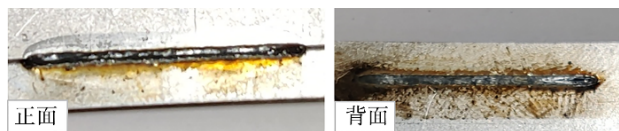


图15 焊接速度70 mm/s焊缝外观照片

Fig. 15 Appearance photo of welding seam with 70 mm/s welding speed

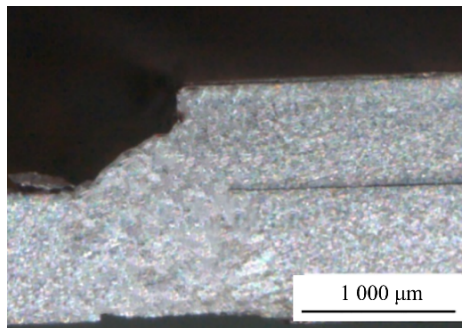


图16 焊接速度70 mm/s焊缝截面金相图

Fig. 16 Metallographic diagram of welding cross-section with 70 mm/s welding speed

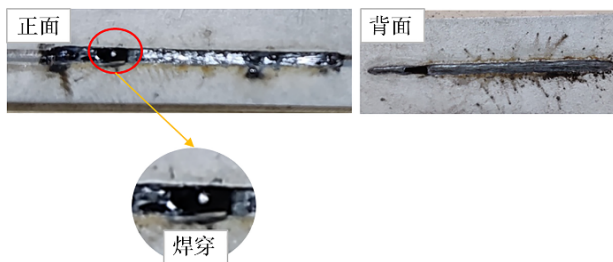


图17 焊接速度80 mm/s焊缝外观照片(搭接间隙0 mm)

Fig. 17 Appearance photo of welding seam with 80 mm/s welding speed (0 mm overlap gap)



图18 焊接速度80 mm/s焊缝外观照片(搭接间隙0.5 mm)

Fig. 18 Appearance photo of welding seam with 80 mm/s welding speed (0.5 mm overlap gap)

激光功率4个关键参数对焊缝成形、缺陷演化及焊接稳定性的影响规律,为该工艺在白车身钢制门窗框生产中的工程化落地提供了具体的工艺依据与技术支持。主要研究结论如下:

(1)在焊接速度为60~70 mm/s的状态下,焊接搭接边错边量应不小于4 mm,以保证在一定速度下能够稳定跟踪焊缝位置,保证焊缝质量;当搭接错边量较小时,影响焊缝跟踪,同时易导致焊缝出现气孔、咬边、跳焊等缺陷。

(2)搭接间隙应控制在0.5 mm以内,间隙过大,熔池内来自上板的熔融金属不足以填充间隙,有效熔宽降低,导致焊缝出现焊穿缺陷。

(3)焊接速度应控制在70 mm/s以内,过快的焊接速度会缩短激光与母材的作用时间,造成焊接熔

4 结论

针对乘用车白车身钢制门窗框远程激光焊工艺优化,分析了搭接错边量、搭接间隙、焊接速度及

池受热不充分、不稳定,飞溅加剧,气孔增多;若为保证焊缝熔深盲目提高激光功率,会进一步加速热镀锌层的锌蒸气逸出,既增大飞溅量又干扰焊缝跟踪,在存在搭接间隙的工况下,还会因熔融金属填充不及时形成跳焊缺陷。适配本试验基材与搭接结构的激光功率最优区间为2 100~2 150 W。

(4)远程激光焊工艺在门窗框区域的应用,可缩减焊接边搭接宽度,在实现车身轻量化、提升乘员视野体验的同时,还能优化窗框截面结构并提升其刚性,契合汽车工业节能化、高舒适性、高结构性能的发展趋势。本研究确定的工艺参数体系,不仅适用于乘用车白车身钢制门窗框的远程激光焊生产,也可为同类热镀锌低碳钢构件的远程激光焊工艺设计与优化提供参考。

参考文献:

- [1] Matthias Graudenz, Marco Heitmanek. Laser Tools in the Manufacturing Process[J]. Laser Technik Journal, 2012(4):24-27.
- [2] 胡德志,周帅帅.激光飞行焊技术在汽车车身上的应用[J].汽车实用技术,2019(12):60-67.
HU D Z, ZHOU S H. Application of Laser Flight Welding Technology to Automobile Body [J]. Automobile Applied Technology, 2019(12):60-67.
- [3] Scansonic, Remote Laser Welding-Adaptive[R]. 2014.
- [4] Rittmeier S, Pangerl M. STANDARD-BASED SYSTEM OF THE 1 AND THE 3, BMW[R]. 2019.
- [5] Oefe F, Roos C. REMOTE LASER BEAM WELDING WITH INLINE SEAM TRACKING[R]. 2014.
- [6] 董功杰,王晓隼,陈聪,等.激光焊接在白车身制造中的应用和发展[J].汽车工艺与材料,2021(11):1-9.
DONG G J, WANG X J, CHEN C, et al. Application and Development of Laser Welding in BIW Manufacturing[J]. Automobile Technology & Material, 2021(11):1-9.
- [7] 姜海涛.激光飞行焊技术在汽车焊接领域的应用[J].金属加工(热加工),2017(16):10-12.
- JIANG H T. Application of Laser Flight Welding Technology to Automobile Body Welding [J]. MW Metal Forming, 2017(16):10-12.
- [8] 肖广志,陈云,徐娟.激光钎焊与激光熔焊在白车身制造中的应用[J].电焊机,2019,49(2):99-102.
XIAO G Z, CHEN Y, XU J. Application of laser brazing and welding in body manufacture[J]. Electric Welding Machine, 2019, 49(2):99-102.
- [9] 张妍.激光焊接在白车身上的应用现状[J].电焊机,2016,46(3):122-126.
ZHANG Y. Application status of laser welding technology in BIW [J]. Electric Welding Machine, 2016, 46(3):122-126.
- [10] Bea M, Brockmann R, Havrilla D. Remote laser welding in automotive production[J]. Industrial Laser Solutions, 2011, 26(5):8-10.
- [11] 谢锡贵.激光深熔焊熔池动力学及孔隙形成机理研究[D].浙江:温州大学,2021.
XIE X G. Study on Molten Pool Dynamics and Mechanism of Porosity Formation in Laser Deep Penetration Welding[D]. Zhejiang: Wenzhou University, 2021.
- [12] 邓集权.激光深熔焊接小孔和熔池动态行为的模拟与试验研究[D].湖南:湖南大学,2016.
DENG J Q. Numerical Simulation and Experiment Study on the Dynamic Behaviors of Keyhole and Weld Pool during Deep Penetration Laser Welding [D]. Hunan University, 2016.
- [13] 张明军.万瓦级光纤激光深熔焊接厚板金属蒸汽行为与缺陷控制[D].湖南:湖南大学,2013.
ZHANG M J. Study on the Behavior of Metallic Vapor Plume and Defects Control during Deep Penetration Laser Welding of Thick Plate Using 10 kW Level High Power Fiber Laser[D]. Hunan: Hunan University, 2013.
- [14] Weberpals J P, Demirbas T. Economical Aspects of the Laser Beam Remote Welding In Serial Production Potential and Approaches from the Perspective of the Processing Tool[R]. AUDI AG, Precitec GmbH & Co.KG, 2019.