

文章编号: 1001-3806(2016)06-0825-05

汽车板激光扫描焊接工艺研究

祁小勇^{1,2}, 李道金^{1,2}, 叶兵^{1,2}, 王爱华^{1,2}

(1. 激光先进制造技术湖北省重点实验室, 武汉 430223; 2. 武汉华工激光工程有限责任公司, 武汉 430223)

摘要: 为了研究激光扫描焊接汽车板的工艺方法, 采用4kW 光纤激光器对0.7mm 镀锌板与0.8mm 冷轧板 SPCC 两类汽车板的激光扫描焊接工艺进行了理论分析和实验验证, 得到了板间间隙、激光功率、扫描速率等对焊缝成形及强度的影响规律。结果表明, 当选取板间间隙0.1mm~0.2mm、激光功率3000W~3400W、焊接速率不小于3m/min 等适当参量进行焊接时, 焊缝质量可满足电子束及激光焊接接头欠缺质量分级指南 C 级标准, 且强度高于母材。选取合适的工艺参量时, 激光扫描焊接在无保护气的作用下可得到高质量的焊缝。

关键词: 激光技术; 激光扫描焊接; 汽车板; 激光功率**中图分类号:** TG456.7 **文献标志码:** A **doi:**10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2016.06.011

Laser scanner welding processing of automobile panels

QI Xiaoyong^{1,2}, LI Daojin^{1,2}, YE Bing^{1,2}, WANG Aihua^{1,2}

(1. Hubei Key Laboratory of Laser Advanced Manufacture Technology, Wuhan 430223, China; 2. Wuhan Huagong Laser Engineering Co. Ltd., Wuhan 430223, China)

Abstract: In order to research the process of laser scanner welding, the laser scanner welding process of 0.7mm galvanized sheet and 0.8mm cold-rolled sheet (SPCC) with a 4kW fiber laser was analyzed in theory and verified in experiments. The influence of the gap between the sheets, laser power and scanning speed on macro-morphology and strength were obtained. The results show that the welded seams achieved by laser parameters of plate gap 0.1mm~0.2mm, laser power 3kW~4kW and welding speed 3m/min have the strength higher than the base metal, and can satisfy the C-class of electron and laser beam welded joints (levels guidance for quality imperfection). Laser scanner welding can get a high quality welding seam without shielding gas when selecting right parameters.

Key words: laser technique; laser scanner welding; automobile panels; laser power

引言

激光扫描焊接(laser scanner welding, LST)是一种高效焊接技术。与传统的激光焊接区别在于激光束的定位方法不一样, LST 通过激光束入射到扫描振镜的 x 轴、 y 轴两个反射镜上, 系统控制反射镜实现激光束的任意偏转, 使具有一定功率密度的激光聚焦在加工工件表面的不同位置, 实现焊接功能。由于聚焦镜聚焦距离长, 反射镜小角度偏转即可实现激光束在焊缝之间可快速切换, 其定位时间几乎为零。将机械手与扫描焊接技术配合, 被称作机器人扫描焊接, 利用机械手多个自由度的灵活移动, 可以将振镜扫描头定位到空间任意一点和任意角度, 针对大零件、复杂曲面零件进

行快速的多点焊接。该焊接系统还可以实现“飞行焊接”, 即机械手在保持运动的状态下进行焊接的过程, 这也被誉为当前最为高效的焊接方式^[1-3]。

在汽车车身制造领域, 传统的激光焊接方法已相当成熟, 高速发展的汽车制造业对激光焊接效率的要求也越来越高, 促使了激光扫描焊接技术在汽车行业的大力发展^[4-5]。

在汽车白车身制造中, 多采用镀锌板材料, 且多个汽车零部件间多以搭接接头形式进行焊接, 镀锌板的激光焊接也曾是一大难题。镀锌板搭接焊时, 搭接板间隙中的锌蒸汽将流向熔池部位, 干扰熔池液相流动, 造成飞溅和气孔等缺欠。国内外学者经过大量研究解决了这一问题^[6-9]。COLOMBON 等人对镀锌板的激光扫描焊接提出了新颖的数据分析方法, 通过间隙不同带来的焊接过程变化进行控制^[10]。而 ERDOS 等人则针对汽车车门激光扫描焊接的轨迹优化进行了分析, 以获得最为高效的飞行焊接方式^[11]。当采用激光扫描焊接进行镀锌板叠焊时, 因激光扫描焊接的扫描范

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2012BAF08B02)

作者简介: 祁小勇(1987-), 男, 工学学士, 助理工程师, 从事激光焊接技术及其工程应用的研究。

E-mail: qxy52160@126.com

收稿日期: 2015-10-27; 收到修改稿日期: 2015-11-26

围大,焊接速率快,使得保护气体很难准备,很难实时有效保护熔池,且激光并不总是垂直入射到工件上面,影响了焊接熔池的空间形状,导致焊缝成形差,再加上镀锌板焊接时锌蒸汽的挥发,更使得焊缝成形变差^[12-13]。目前国内激光扫描焊接的应用正在被推广,工艺研究亟待完善。

本文中主要采用激光扫描焊接的方法,选择汽车制造中常用的冷轧板 SPCC 与镀锌板,研究了板件间隙、激光功率、焊接速率对其叠焊质量的影响,获得了满足工程应用的激光工艺。

1 实验设备、材料及方法

1.1 实验设备

实验中采用的激光扫描焊接系统,如图 1 所示。该系统搭载 4000W 罗芬 (Rofin) 光纤激光器 (波长 1080nm),传导光纤芯径 100 μ m,并采用施肯拉公司 (Scanlab) 的动态扫描振镜,扫描焊接头焦距 470mm,最高扫描速率 40m/min,可实现 70mm 内的空间焦点自动补偿。检测设备如表 1 所示。

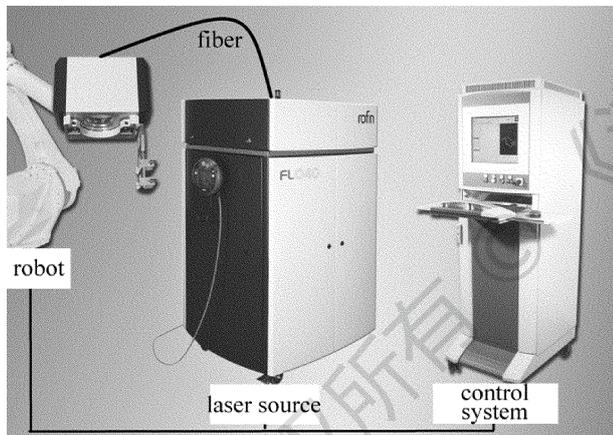


Fig. 1 Laser scanner welding system

Table 1 Testing equipment

test items	testing equipment	model No.
macro-morphology and defect size	portable microscope	Dino Capture
microstructure	microscope	XJL-03
strength	tensile tester	WDW-200E

1.2 实验材料

实验中选取两类汽车板作为焊接材料,0.7mm 镀

Table 2 Chemical composition of experimental material

material	chemical composition (mass fraction)					
	C	Si	Mn	P	S	Ti
galvanized sheet (DC54D + ZF)	0.0012	0.0050	0.0060	0.0010	0.00045	0.0030
SPCC sheet	0.0010	0.0005	0.0050	0.00035	0.00025	—

锌板的抗拉强度为 280MPa,延伸率 45%; 0.8mm SPCC 板的抗拉强度为 330MPa,延伸率 40%。材料成分如表 2 所示。

1.3 实验方法

将两类材料制成长宽为 100mm × 75mm 的试板,采用丙酮清洗,除去试板表面的油污等杂质,将镀锌板与 SPCC 板叠加,镀锌板在上,其间用一定规格薄片 (0.1mm, 0.2mm, 0.3mm, 0.4mm) 控制叠加间隙,然后使用压条压紧后进行焊接,焊缝长度 55mm。分别对板间间隙、激光器功率、扫描速率进行单因素实验。采用便携式电子显微镜对焊缝宏观形貌进行观察,并测量焊缝缺欠尺寸 (包括气孔、未焊满、底部收缩) 以及焊缝熔合面宽度,采用金相显微镜观察焊缝横断面微观组织结构。实验参量如表 3 所示。

Table 3 Laser parameters of experiment

laser power P/W	3200 ~ 4000
welding speed $v/(m \cdot min^{-1})$	2.2 ~ 3.8
plate gap t/mm	0 ~ 0.4

1.4 焊缝质量评价标准

焊缝成形评价标准如下:采用金相显微镜观察焊缝组织,并测量焊缝正面未焊满缺欠尺寸 d_1 及焊缝底部收缩尺寸 d_2 ,当 d_1 与 d_2 缺欠尺寸满足电子束及激光焊接接头欠缺质量分级指南 (第一部分:钢) C 级标准^[14]时,计算 $D = d_1 + d_2$,如图 2 所示。以 D 值表征焊缝成形, D 值越小,焊缝越饱满,焊缝质量越高。

焊缝强度评价标准如下:采用金相显微镜测量焊后两板间有效熔合面宽度 L ,以 L 值表征焊缝强度, L 值越大,焊缝强度越高。测量方法如图 2 所示。

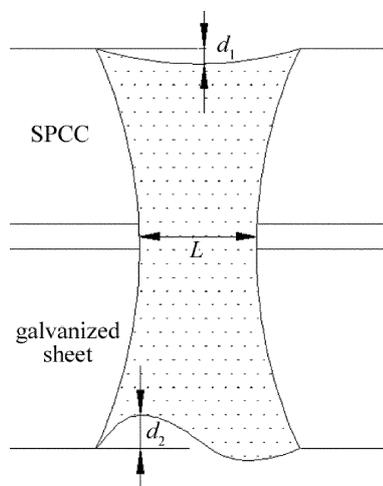


Fig. 2 Schematic diagram of measurement

2 实验结果及分析

2.1 板间间隙对焊缝成形的影响

恒定 $P = 3200W$ 和 $v = 3.4m/min$,针对板间间隙 t

进行实验,焊缝宏观形貌结果如图 3 所示。

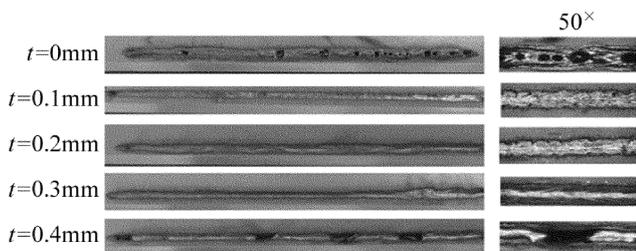


Fig. 3 Morphologies of different plate gaps

从图 3 可以看出,零间隙与 0.4mm 间隙的两组参量焊缝存在明显的表面气孔与塌陷凹坑,因为当两板之间为零间隙时,由于底板为镀锌板,焊接时镀锌层挥发的锌蒸汽无法从两板之间逃逸出去,只能沿熔池向上逸出,不仅影响了熔池小孔效应的发生,还导致焊缝产生大量表面气孔;而当两板间隙达到 0.4mm 时,熔池填充熔合区时消耗大量上板金属,导致上板下塌过大,甚至使上板直接焊漏。间隙为 0.1mm, 0.2mm, 0.3mm 的焊缝宏观形貌较好,对其焊缝截面进行观察、测量缺欠尺寸,如图 4 所示。

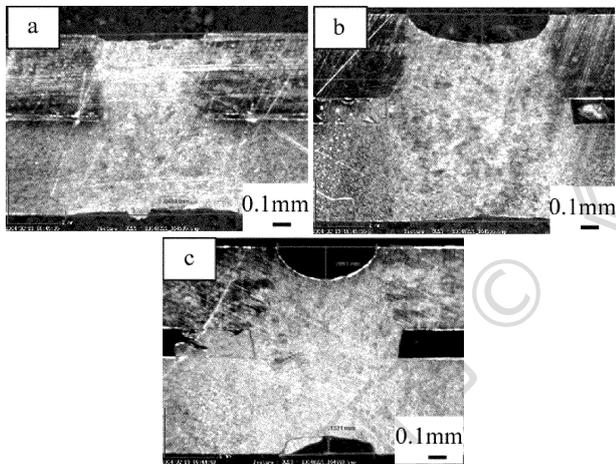


Fig. 4 Morphologies of different cross-sections
a—0.1mm gap b—0.2mm gap c—0.3mm gap

由图 2 可以看出,当两板存在间隙时,熔池形成时需要消耗母材金属,而间隙越大,消耗母材金属就越多,因此焊缝的未焊满及底部收缩缺欠尺寸就越大。当间隙达到 0.3mm 时,焊缝未焊满等缺欠尺寸过大,超出了电子束及激光焊接接头欠缺质量分级指南(第一部分:钢)C 级标准的要求,因此在进行该类接头激光焊时,控制板间间隙尺寸在 0.1mm ~ 0.2mm 是保证焊缝成形的关键,可避免焊缝出现表面气孔和过大塌陷。

2.2 焊接速率对焊接质量的影响

恒定 $P = 3200\text{W}$ 和 $t = 0.1\text{mm}$, 针对焊接速率进行实验,焊缝缺欠尺寸测量结果如图 5 所示。

从图 5 可以看出,随着焊接的速率提升, D 值与 L

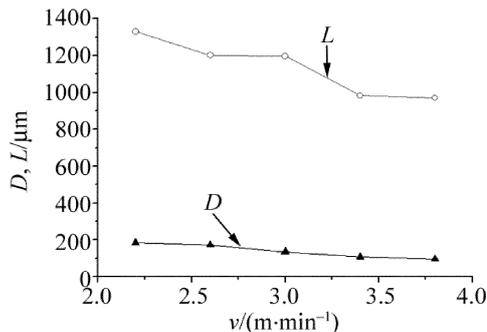


Fig. 5 Influence of welding speed on D & L

值均减小,变化较显著。主要是因为激光焊接时,激光照射工件表面,表面熔池会产生飞溅,由于填充金属不够,表面出现未焊满缺欠,熔化的金属会填充两板间的间隙,焊缝金属膨胀,当熔池金属冷却时,焊缝金属收缩,母材会限制其变形,产生拉应力,焊缝底部出现缺口,形成根部收缩的缺欠。而当焊接速率提升时,焊接输入的线能量减小,飞溅减小,熔池金属损失减小,熔化区域减小,因此未焊满缺欠尺寸和熔合面宽度缩小,同时由于熔化区域的缩小,焊缝金属冷却时收缩产生的拉应力减小,根部收缩尺寸也随之减小。虽然焊接速率提升时,焊缝缺欠尺寸 D 减小,焊缝成型较好,但影响强度的 L 值也随之减小,所以当焊缝强度满足要求时,应尽量提高焊接速率以保障焊缝的成型,而要满足电子束及激光焊接接头欠缺质量分级指南(第一部分:钢)C 级标准,焊接速率应不低于 $3\text{m}/\text{min}$ 。

2.3 激光功率对焊接质量的影响

恒定 $v = 3.4\text{m}/\text{min}$ 和 $t = 0.1\text{mm}$, 针对激光功率进行实验,对焊缝缺欠尺寸进行测量结果如图 6 所示。

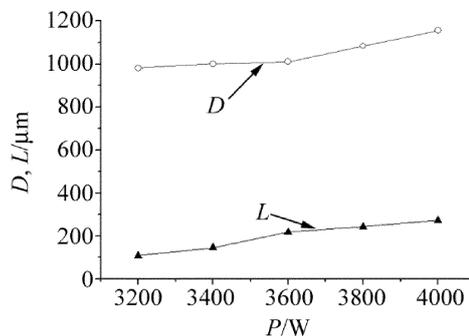


Fig. 6 Influence of laser power on D & L

从图 6 可以看出,随着功率的增大,焊接热输入增加,无保护气的状态下熔池形成过程会更加剧烈,表面飞溅程度增加,导致焊缝未焊满缺欠值 d_1 增大,而同时焊缝熔化区域变大,板间熔合面宽度增加,即 L 值增大,随着熔化区域的增大,焊透的状态下会引起底部收缩缺欠值 d_2 变大,故当功率增大时, D 与 L 都随之增大。按电子束及激光焊接接头欠缺质量分级指南(第一部分:钢)C 级标准的规定,当功率超过 3400W 时,

焊接时热输入过高,焊缝未焊满等缺欠尺寸会超过 C 级标准的要求,即焊缝成型较差,因此功率应尽量保持在 3000W ~ 3400W 的区间,以获得较好的焊缝成型和较高的焊接速率。

2.4 焊缝组织

对焊缝金相组织进行观察,如图 7 所示。

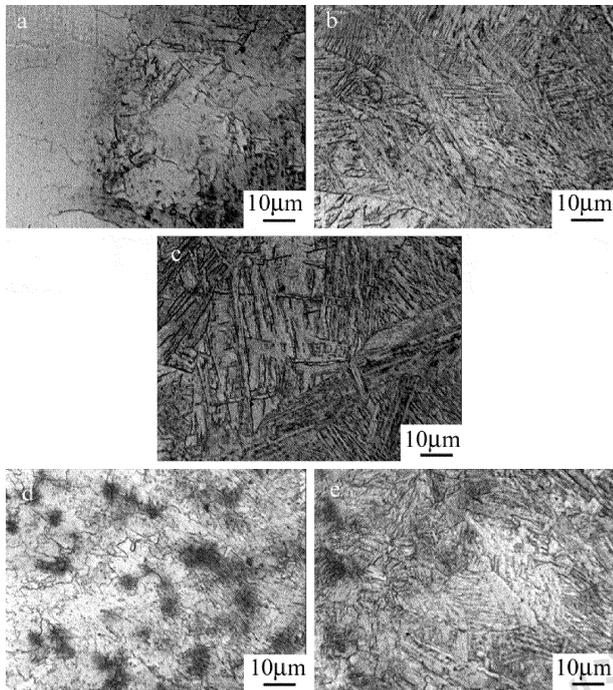


Fig. 7 Microstructure of laser-welding seams

a—heat affected zone on galvanized sheet b—welding seam on galvanized sheet c—fused zone of the sheets d—heat affected zone on SPCC sheet e—welding seam on SPCC sheet

从图 7 中可以看出,镀锌板与 SPCC 板焊缝区域均为板条马氏体,晶粒细小,因此也使得焊缝具有良好的强度和韧性。

2.5 焊缝强度测试结果

因为激光扫描焊接无保护气体,焊接熔池不稳定,所以拉伸试验选取满足电子束及激光焊接接头欠缺质量分级指南(第一部分:钢)C 级标准的焊接试板中熔宽 L 值最小的与缺欠指标 D 值最大的试样,即选取理论上强度最弱的试样进行试验,取样方式如图 8 所示。

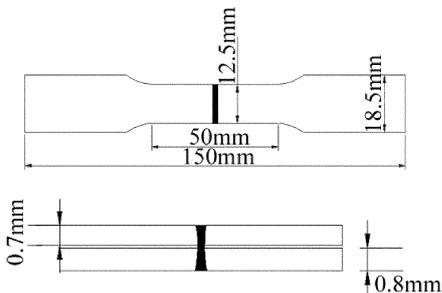


Fig. 8 Dimension of tensile test specimen

试验后焊缝断裂位置及拉伸曲线如图 9 和图 10

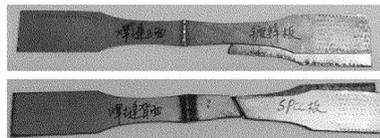


Fig. 9 Morphology of fractured tensile test samples

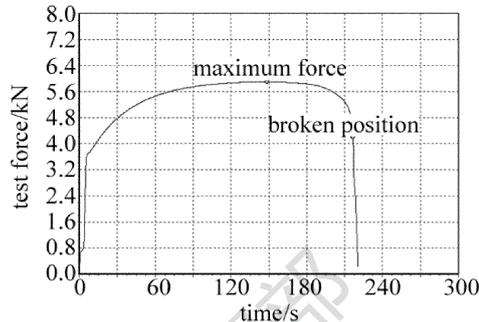


Fig. 10 Tensile curve of specimen

所示。

从图 9 可以看出,断裂位置发生在母材,且位于 SPCC 板,但 SPCC 板的抗拉强度是高于镀锌板的,这主要是因为 SPCC 普板和镀锌板的延展性不一样,镀锌板略高于 SPCC 普板,故断裂发生于 SPCC 板母材位置。通过图 10 换算抗拉强度为 320MPa,高于镀锌板,与 SPCC 板强度相当。所选取拉伸的两组试样为焊缝成型最差和熔合面宽度最小的,而其断裂位置均在母材,因此试验中各参量的焊缝强度均高于母材,焊缝成型是衡量焊缝质量的关键因素。

3 结论

(1)激光扫描焊接镀锌板与 SPCC 板时,0.1mm ~ 0.2mm 的板间间隙为保证焊接质量的关键,过大会导致焊缝产生气孔,过大会导致焊缝塌陷甚至焊漏。

(2)随着焊接速率的增大,焊缝成形逐渐改善,熔合面宽度减小,而随着功率的增加,焊缝成形变差,熔合面宽度变差,为得到满足电子束及激光焊接接头欠缺质量分级指南(第一部分:钢)C 级标准的焊缝,焊接速率应该不低于 3m/min,功率选择范围为 3000W ~ 3400W。

(3)0.7mm 镀锌板与 0.8mm SPCC 板的激光扫描焊接接头组织为板条马氏体。

(4)焊接接头的强度高于母材,拉伸时断裂位置在母材,因镀锌板与 SPCC 板的延展性不一致,断裂发生在 SPCC 板母材。

参考文献

[1] YANG Y Q, WANG D, YANG B, et al. Research situation and application prospect of the laser scanner welding[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2010, 39(9):13-17(in Chinese).
 [2] UM J Y, STROUD I A. Total energy estimation model for remote laser welding process[J]. Procedia CIRP,2013, 7:658-663.

- [3] BRUNREUTHER S, HAMMERSTINGL V, SCHWEIER M, *et al.* Welding joint detection by calibrated mosaicking with laser scanner systems[J]. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2015, 10:16-23.
- [4] NAGESHA I, KWABENAB A K. Sliding mode observers for plasma signal identification in remote laser welding [J]. *IFAC-Papers on Line*, 2015, 48(3):1924-1929.
- [5] CEGLAREK D, COLLEDANI M, VÁNCZA J, *et al.* Rapid deployment of remote laser welding processes in automotive assembly systems [J]. *Annals-Manufacturing Technology of the CIRP*, 2015, 64(1): 389-394.
- [6] BLEY H, WEYAND L, LUFT A. An alternative approach for the cost-efficient laser welding of zinc-coated sheet metal [J]. *Annals-Manufacturing Technology of the CIRP*, 2007, 56(1):17-20.
- [7] GRAHAM M G, HIRAK D M, KERR H W, *et al.* Nd:YAG laser welding of coated sheets steel [J]. *Journal of Laser Application*, 1994, 6(4): 212-222.
- [8] HUANG H J, XI Sh Y, DING J J. The research on laser welding processes of zinc-coated steel of car body for improving the influence of zinking layer [J]. *Applied Laser*, 2005, 25(5):306-308 (in Chinese).
- [9] XIE J, DENNE P. Galvanized steel joined with lasers [J]. *Welding Journal*, 2001, 80(6):59-61.
- [10] COLOMBON D, COLOSIMO B M, PREVITALI B. Comparison of methods for data analysis in the remote monitoring of remote laser welding [J]. *Optics and Lasers in Engineering*, 2013, 51(1):34-46.
- [11] ERDOS G, KEMÉNY Z, KOVÁCS A, *et al.* Planning of remote laser welding processes [J]. *Procedia CIRP*, 2013, 7:222-227.
- [12] ROOS C, SCHMIDT M. Remote laser welding of zinc coated steel sheets in an edge lap configuration with zero gap [J]. *Physics Procedia*, 2014, 56:535-544.
- [13] KIM C H, CHOL W H, PARK K Y. Application of laser remote welding to an aluminum automotive part [J]. *Materials Science Forum*, 2010, 654/656: 966-969.
- [14] STANDARDIZATION ADMINISTRATION OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA. Electron and laser beam welded joints-guidance on quality levels for imperfections—Part 1: Steel [S]. Beijing: China Standard Press, 2009:1 (in Chinese).