

文章编号: 1001-3806(2010)06-0729-04

激光入射角度对车身用镀锌板焊接性能的影响

陈根余^{1,2}, 王祖建¹, 梅丽芳¹, 李时春¹

(1. 湖南大学 汽车车身先进设计制造国家重点实验室, 长沙 410082; 2. 湖南大学 激光研究所, 长沙 410082)

摘要: 为了研究激光入射角变化对车身用镀锌板的焊接性能的影响, 首先采用正交试验, 通过对焊接件外观形貌分析和进行拉剪试验, 得出了激光垂直入射时较理想的焊接参量, 然后在该理想参量下进行了不同入射角度下的镀锌板焊接试验, 分析了入射角改变对焊接件外观形貌、焊缝截面、焊缝板间连接宽度以及所承受的拉剪载荷的影响。结果表明, 激光入射角小于 30° 时焊缝外观形貌良好, 能承受较大的拉剪载荷且拉剪试验均断裂在母材区; 焊缝板间连接宽度对抗拉剪载荷有重要影响; 板间间隙微小变化对临界入射角值有较大的影响。

关键词: 激光技术; 激光焊接; 入射角; 正交试验; 镀锌板; 车身

中图分类号: TG456.7 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2010.06.003

Effect of laser incident angles on welding performance of galvanized sheet for vehicle body

CHEN Gen-yu^{1,2}, WANG Zu-jian¹, MEI Li-fang¹, LI Shi-chun¹

(1. State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Body, Hunan University, Changsha 410082, China; 2. Laser Research Institute, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: In order to study effect of laser incident angles on welding performance of galvanized sheet, firstly orthogonal test was adopted to obtain ideal welding parameters at normal incidence through analyzing the weld topography, tension and shear load. Then galvanized sheet welding tests at different incident angles were carried out under the same ideal parameters at vertical incidence. The transverse weld topography, the connect width between plates and tension and shear load were analyzed when the incident angle changed. The research results show that fine weld topography and greater tension and shear load can be obtained at incident angle less than 30°; the connect width between plates has a significant influence on tension and shear load; slight change of the gap between plates will bring large effect on the critical incident angle.

Key words: laser technique; laser welding; incident angle; orthogonal test; galvanized sheet; vehicle body

引言

镀锌板因其耐腐蚀性在汽车车身上应用越来越广泛, 从腐蚀电化学原理上来看, 由于镀锌钢板作为大范围的锌阳极, 腐蚀一般不会发生在狭窄的焊缝上, 故其能较好地满足车身的抗腐蚀性能, 成为汽车车身的主要用材^[1-3]。在汽车车身薄板焊接方面, 激光焊接具有明显的技术优势而逐步取代传统的焊接方式^[4-6], 采用激光焊接车身可降低车身重量、增加车身刚度, 提高车

辆安全性, 成为先进汽车制造商关注的高新技术^[7]。

但是, 应用激光焊接车身时, 焊接头不同于电阻点焊焊枪, 其尺寸比较大, 经常会和车身零部件及工装夹具产生干涉, 使焊接过程无法顺利进行。如果激光焊接头偏转一定角度, 可以很大程度上避免上述干涉。然而, 目前关于激光焊接入射角度对焊接质量的影响的文献并不多见。本文中对不同激光入射角度下的焊接质量进行了试验研究, 为激光焊接在汽车车身上的应用与研究提供了参考。

1 实验设备与方法

试验所用的机床为意大利普瑞玛数控 5 轴设备, 激光器是德国罗芬生产的 DC025 型板条式 CO₂ 激光器。最大输出功率 2500W, 连续输出的激光模式为 TEM₀₀, 输出能量近似高斯分布。光束发散半角 $\alpha < 0.15\text{mrad}$, 抛物反射镜聚焦, 焦距 $f = 200\text{mm}$, 焦斑直径 0.4mm。

基金项目: 国家八六三高技术研究发展计划资助项目 (2007AA042006); 湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室自主研究课题资助项目 (60870004); 教育部长江学者与创新团队发展计划资助项目 (531105050037)

作者简介: 陈根余 (1965-), 男, 教授, 博导, 主要研究方向为激光加工技术。

E-mail: hdgychen@163.com

收稿日期: 2010-01-06; 收到修改稿日期: 2010-02-19

试验材料为宝钢生产的 DC56D + ZF, 工件尺寸为 $100\text{mm} \times 30\text{mm} \times 1.2\text{mm}$ 和 $100\text{mm} \times 30\text{mm} \times 0.8\text{mm}$, 搭接焊接方式, 材料成分见表 1, 其中, ZF 锌铁合金镀层重量是 $45/45\text{g}/\text{m}^2$, 为了减少焊接缺陷, 焊前用丙酮清洗焊接部位, 去除油污。试验原理图见图 1。

Table 1 Chemical composition of DC56D + ZF (mass fraction)

grade of steel	C	Si	Mn	P	S
DC56D + ZF	0.014	0.008	0.118	0.014	0.012

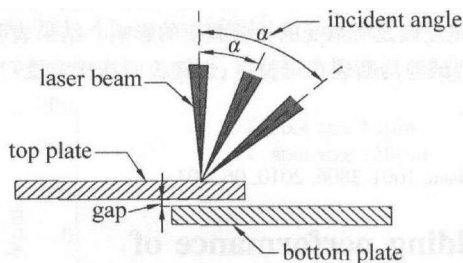


Fig. 1 Experimental principle

Table 2 Welding parameters

group	laser power/W	welding speed/($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$)	gas-flow rate/($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)	gap/mm	defocusing distance/mm
1.2mm + 1.2mm	1800	800	10	0.3	0
0.8mm + 0.8mm	2000	1700	5	0.2	+0.4

2 试验结果及分析

2.1 焊缝外观形貌

焊缝外观形貌是激光焊接性能的重要影响因素。

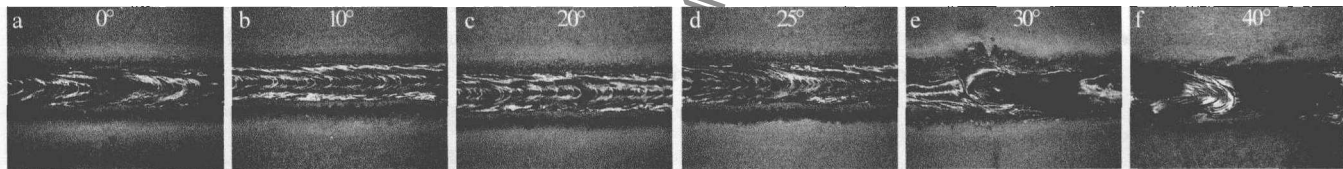


Fig. 3 Weld topography of different incident angles

焊缝均匀连续, 外观良好, 无明显的气孔、裂纹等缺陷存在, 接头变形小。入射角达到 30° , 开始出现气孔, 飞溅增多。 40° 时, 产生大量气孔, 飞溅和塌陷严重。这是因为激光倾斜入射和同轴保护气体方向倾斜吹出使得更多的热量偏向远离焊接头一侧, 造成焊接小孔熔池的不稳定, 进而使得焊接过程不稳定, 焊接质量变差, 见图 4。同时, 入射角的增大, 焊接区域光斑从圆

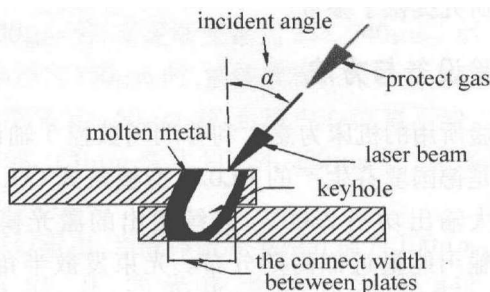


Fig. 4 Sketch of oblique incidence weld

形变成了椭圆形, 光斑面积将增大, 由于光源为圆偏振光, 入射角改变对吸收率没有影响^[8], 这就使得激光

采用自制的焊接夹具装夹工件, 如图 2 所示, 调整

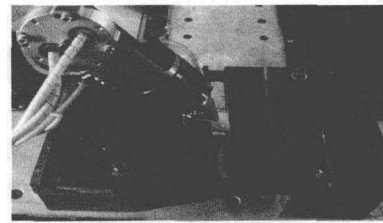


Fig. 2 Experimental set-up

压板位置, 保证工件间隙均匀平整。采用氩气作为焊接保护气体和等离子控制气体, 为了避免侧吹装置和车身零部件和夹具的干涉, 保护方式为同轴保护。先进行激光垂直入射下的正交试验, 得出较理想试验参量, 见表 2。然后在该参量下采用不同激光入射角进行焊接试验, 用体式显微镜和电子万能试验机对焊接工件进行分析检测, 得出符合质量要求的激光临界入射角度。

采用表 2 所示参量进行入射角偏转试验。图 3 所示为厚度为 $1.2\text{mm} + 1.2\text{mm}$ 焊接工件在入射角分别为 0° , 10° , 20° , 25° , 30° 和 40° 时体式显微镜下焊后工件的焊缝外观形貌。从图中可以看出, 激光小角度入射时,

功率密度降低和更多的锌被蒸发。激光的倾斜入射, 还使得实际焊接板材厚度增加, 而此时激光功率和焊接速率不变, 激光穿透能力降低, 激光功率密度不足以穿透板材, 焊接质量变差且不稳定。图 5 是入射角 40° 时背面未焊透图。

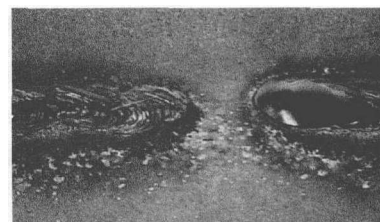


Fig. 5 The back non-through weld topography at incident angle 40°

图 6 所示为入射角为 0° 和 25° 时焊缝形貌图。入射角为 0° 时, 焊缝两侧热影响区几乎没有差别; 而入射角为 25° 时, 远离焊接头一侧出现大量黄色物质氧化铁, 热影响区较大, 烧损严重。这是因为激光倾斜入射使得远离焊接头一侧热量积累较多, 热量的不平衡

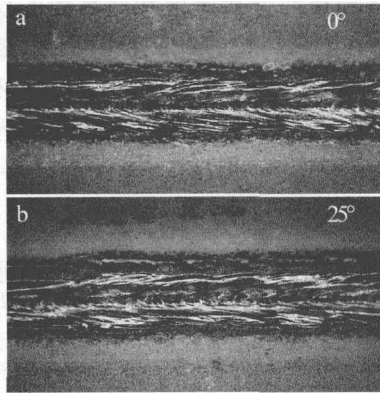


Fig. 6 Weld topography at incident angle 0° and 25°

分布使得焊缝两侧热影响区不一致。另外,保护气体倾斜吹出没有对远离焊接头一侧进行很好的保护,氧化较严重。

2.2 焊缝截面

图7所示为厚度为1.2mm+1.2mm焊接工件在入射角分别为0°,10°,20°,25°,30°和40°时体式显微镜下焊后工件的焊缝截面图。由于焊接头的偏转,光束的倾斜入射,焊缝也倾斜了一定角度,倾斜趋势和焊接头倾斜角度一致。图8所示为上下板连接处的焊缝板间连接宽度随入射角的变化曲线。板间连接宽度是指上下板处焊缝熔宽,如图4所示。当入射角增大时,焊缝板间连接宽度先增大后减小,在25°左右时宽度最大。这是因为在一定入射角范围内,随着入射角的增大,焊接区域光斑面积增大,焊缝板间宽度也随之增大。但入射角增大的同时激光功率密度减小,当角度增大到一定的程度,使得激光穿透能力降低,焊缝板间连接宽度开始减小。

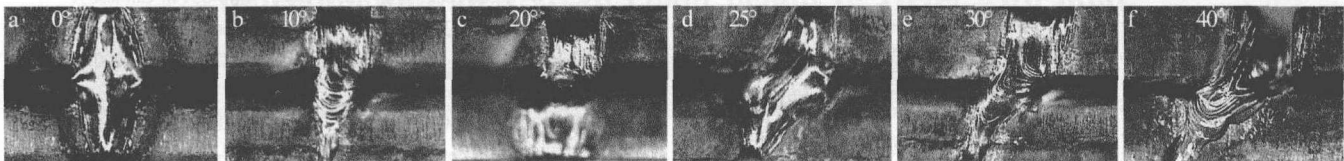


Fig. 7 The cross sections of different incident angles

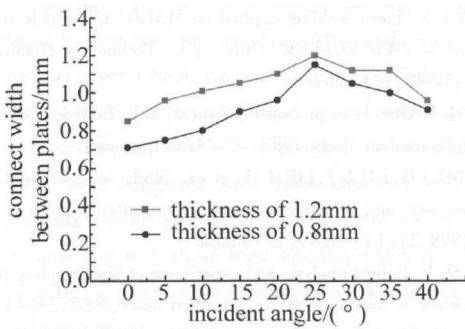


Fig. 8 The connect width between plates vs. incident angle

2.3 抗拉剪试验分析

图9所示是厚度组合为1.2mm+1.2mm时所承

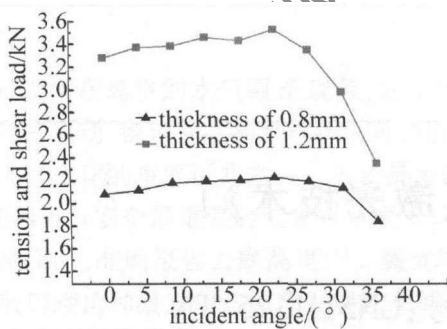
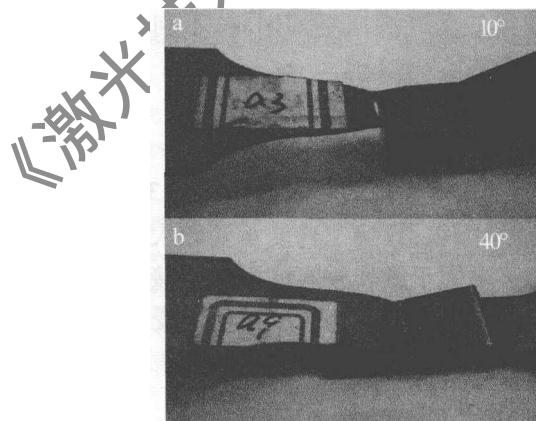


Fig. 9 The tension and shear load vs. incident angle

受的拉剪载荷和入射角度的关系曲线图。从图中可以看出,随入射角的增大,拉剪载荷先缓慢增大后减少。在25°时拉剪载荷最大,30°之前变化并不大,且均大于激光垂直入射时所承受的拉剪载荷。结果表明:在入射角小于35°之前断口都是在母材区,图10所示为厚度组合为1.2mm+1.2mm在10°(见图10a)和40°



时的拉剪断裂图,分别断裂在母材和热影响区。对比图8和图9可知,当激光入射角增大时,工件所承受的拉剪载荷变化规律和焊缝板间连接宽度变化规律一致。焊缝成型良好时,焊缝板间连接宽度对工件所承受的拉剪载荷有重要影响。板间连接宽度的增加使得拉剪时受力面积增大,能承受更大的载荷。然而随着入射角的继续增大,焊接过程变得不稳定,开始出现气孔、塌陷,焊缝整体强度降低。所以,虽然入射角40°时的板间连接宽度大于入射角为5°的板间连接,但整体焊接质量较差,所承受的拉剪载荷却远小于入射角为5°时的拉剪载荷。

图11是厚度组合为0.8mm+0.8mm时不同板间间隙下改变入射角所承受的拉剪载荷的曲线。其它参量不变,只改变两板之间的间隙,分别为0.15mm和0.2mm,进行了一系列试验,发现板间间隙微小变化对

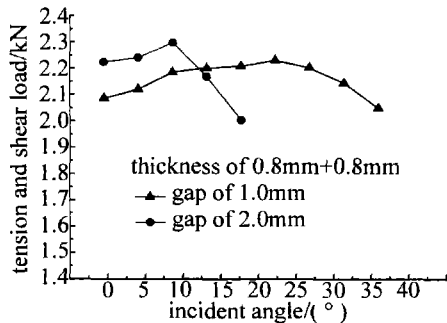


Fig. 11 The tension and shear load vs. incident angle and different gap

临界入射角值影响较大。间隙为 0.15mm 时,临界入射角为 15°,此时开始出现飞溅和气孔。20°之后焊缝飞溅和塌陷严重,气孔很多,入射角继续增大,所承受的拉剪载荷快速下降且焊接稳定性很差。间隙为 0.2mm 时,最大临界入射角为 30°,此时开始出现气孔和飞溅,焊缝质量变差。入射角大于 35°后,所承受的拉剪载荷快速下降,气孔和飞溅较多,塌陷严重,合格率极低。这是由于锌沸点为 906℃,易挥发,锌的蒸发可能导致产生气孔^[9],而合适的板间间隙是排除焊接过程中产生的锌蒸气的关键^[10]。入射角增大,焊接区域面积增大,更多的锌蒸气被蒸发,同时板间熔融物也随之增多,使得锌蒸气逃逸更加困难,不利于焊缝成型,焊接质量变差。

3 结 论

通过一系列试验发现激光入射角小于 30°能得到成型良好的焊缝形貌,焊接工件能承受较大的拉剪载荷,焊接性能甚至优于激光垂直入射时焊接质量。焊缝成型良好时,焊缝板间连接宽度对所承受的拉剪载荷有重要影响,它们皆随入射角的增大先增大后减小,

25°左右时焊缝板间连接宽度和所承受的拉剪载荷最大。入射角小于 35°,拉剪载荷相差不大,断口且都在母材区。在其它工艺条件相同情况下进行不同间隙入射角试验对比,发现间隙微小变化对临界入射角值影响非常大。

参 考 文 献

- [1] CUI H Y, ZUO T Ch. CO₂ laser welding of zinc coated steel sheets [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2004, 25 (5): 67-74 (in Chinese).
- [2] HUANG Z J, HU L J, LIU J H, et al. Research on zinc distribution and corrosion resistance of laser welding joint of galvanized steel [J]. Welding & Joining, 2004 (5): 17-20 (in Chinese).
- [3] WU Q, XU L Y, CHEN G Y, et al. Corrosion property of the laser welded joint of high-strength galvanized sheet [J]. Laser Technology, 2008, 32 (3): 334-336 (in Chinese).
- [4] WANG J Ch. Development and expectation of laser welding technology [J]. Laser Technology, 2001, 25 (1): 48-53 (in Chinese).
- [5] LIU J Ch, LI L J, ZHU X D, et al. Discussion on laser welding combined with other heat resources [J]. Laser Technology, 2003, 27 (5): 486-489 (in Chinese).
- [6] SUI B, DU D, CHANG B H, et al. Visual information model for assembly process of body-in-white [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2003, 24 (5): 25-28 (in Chinese).
- [7] HAN L J. Laser welding applied on MAGOTAN vehicle body manufacture of FAW-VOLKSWAGEN [J]. Technology Highlights, 2008 (8): 32-40 (in Chinese).
- [8] LI L J. Modern laser process equipment [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1993: 23-24 (in Chinese).
- [9] XIONG J G, HU L J, LIU J H, et al. Study on laser welding of zinc coated steel and the effects of zinc vaporization [J]. Laser Technology, 1998, 22 (1): 26-29 (in Chinese).
- [10] XI Sh Y. Robust analysis and experiment of laser welding process parameters on overlap joint [J]. Applied Laser, 2008, 28 (4): 297-300 (in Chinese).

· 简 讯 ·

请向邮局订阅 2011 年度《激光技术》!

国内邮发代号:62-74;国内统一刊号:CN51-1125/TN