

文章编号: 1001-3806(2007)06-0571-04

CO₂ 激光焊接高强度镀锌板的试验研究

伍 强^{1,3}, 徐兰英², 陈根余³, 龚金科^{3*}, 李力钧³

(1. 广东技术师范学院 机电学院, 广州 510635; 2. 华南理工大学 机械工程学院, 广州 510641; 3. 湖南大学 汽车车身先进设计制造国家重点实验室, 长沙 410082;)

摘要: 为了研究汽车专用高强度镀锌钢板的 CO₂ 激光焊接性能, 采用侧吹保护气体的方法, 进行了大量的焊接试验, 并对焊缝进行了显微组织分析和相关的机械性能试验。在试验的基础上, 选择了焊接保护气体的种类, 分析了热输入工艺参数对材料深熔焊接熔化特性的影响, 解决了因锌的蒸发及环境中水分等因素的影响下, 在激光焊接时焊缝中易于形成气孔的问题。结果表明, 在侧吹保护气体的条件下, 激光深熔焊接能有效地避免高强度镀锌钢热影响区的软化和控制焊缝气孔及焊接接头裂纹的产生。

关键词: 激光技术; 激光焊接; 高强度镀锌钢; 等离子体; 接头性能

中图分类号: TG456.7 **文献标识码:** A

Experimental study about CO₂ laser welding of galvanized sheet

WU Qiang^{1,3}, XU Lan-ying², CHEN Gen-yu³, GONG Jin-ke³, LI Li-jun³

(1. School of Mechanical & Electronic Engineering, Guangdong Polytechnic University, Guangzhou 510635, China; 2. School of Mechanical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China; 3. State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacture for Vehicle Body, Hunan University, Changsha 410082, China;)

Abstract: Based on many experiments of CO₂ laser welding of zinc coated high strength steel to vehicle body, joint microstructure and stress-strain curve of specimen were acquired. In the course of experiments, the sort of welding protective gas was selected, the influence of technological parameter on material melting characteristic of deep penetration welding was analyzed. By adopting blowing side protective gas, the problem that gas hole was easy to form owed to evaporation of zinc and moisture of circumstances in laser welding was solved. The experimental result indicated that deep penetration laser welding could effectively avoid softening heat affecting zone, control the gas hole and restrain joint flaw of welding of zinc coated high strength steel by blowing side protective gas.

Key words: laser technique; laser welding; welding zinc coated high strength steel; plasma; joint performance

引 言

“轻量化”和“安全性”作为汽车产业的重要问题已越来越受到人们的重视。在围绕车门等覆盖件与悬挂件进行轻量化的项目中, 采用新材料以及新的成形方法是减轻车身质量的重要方法: 所开发的新型材料主要有高强度钢板、超高强度钢板、轻金属材料如镁、铝合金、塑料以及复合材料等; 新的成形方法主要有拼焊板成形、液压成形以及针对轻金属材料开发的半固态成形等^[1,2]。近年来, 超轻超薄高强度钢板的品质和性能大

大提高, 预计到 2010 年, 其在汽车上的使用率将超过 70%。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^[3]。为此, 高强度镀锌钢板成为汽车车身“安全件”的首选材料。

激光焊接具有许多优点^[4,5], 其狭窄的焊缝使得高强度镀锌钢板的耐腐蚀性和深冲性能几乎不受焊接影响。因此, 激光焊接的车身整体性好, 对减重、减震、安全都有利。作者采用 1500W 连续 CO₂ 激光器, 对汽车专用高强度镀锌钢板进行了深熔焊接试验, 获得了较好的焊接效果。

1 试验条件

1.1 试验装置

实验布置如图 1 所示。所用的激光器为 PHC-

基本项目: 国家自然科学基金资助项目 (50575070)

作者简介: 伍 强 (1967-), 男, 博士研究生, 现主要从事激光加工技术的研究。

* 通讯联系人。E-mail: gongjinke@163.net

收稿日期: 2006-10-24; 收到修改稿日期: 2007-01-24

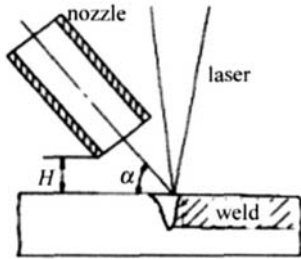


Fig 1 Experimental set-up

1500折叠式准封离型 CO_2 激光器,连续输出的激光模式为 TEM_{01} ,波长为 $10.6\mu\text{m}$,其光束发散角(半角) α 为 1mrad ,焦深 z 为 3mm ,聚焦元件的焦距 f 为 127mm 的硒化锌透镜,聚焦前的光束直径约 $\varnothing 28\text{mm}$ 。

1.2 试验材料

焊接材料是瑞典生产的汽车专用高强度镀锌钢板(DOGAL 800DP),材料化学成分见表1。母材的显微金相组织是铁素体+珠光体,如图2所示。抗拉强度为

Table 1 Composition of tested materials/%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Al
≤ 0.18	≤ 0.5	≤ 2.0	≤ 0.026	≤ 0.015	≤ 0.8	≥ 0.01

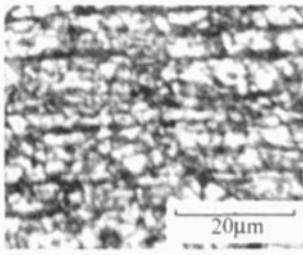


Fig 2 Original structure of material

$800\text{MPa} \sim 900\text{MPa}$,屈服强度为 $500\text{MPa} \sim 650\text{MPa}$ 。试验用工件尺寸为 $100\text{mm} \times 30\text{mm} \times 1.5\text{mm}$,对接焊接方式。

1.3 试验夹具

采用自制的夹具装夹工件,如图3所示。调整压

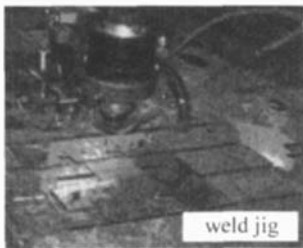


Fig 3 Diagrammatic sketch of weld jig

板位置,保证工件接缝均匀平整。为使焊缝表面不致下凹影响外观质量,又有利于排气,间隙控制在 $0.10\text{mm} \sim 0.15\text{mm}$ 之间。

1.4 检测分析装置

激光焊接后,利用MM-6卧式金相显微镜对焊接件作了金相分析和显微硬度测试;在WDW-100微机控制电子万能试验机上对试件进行了拉伸试验。

2 试验结果与讨论

2.1 光致等离子对焊缝成型的影响及控制

研究发现,孔外等离子体与孔内等离子体对焊缝成型的作用效果不同。孔外等离子体对焊缝成型的主要影响在于“钉头”状焊缝的形成,降低焊缝的深宽比;而孔内等离子体基本不削弱激光的穿透能力。试验表明:孔内等离子体有利于焊接小孔的稳定。因此,试验时以驱除孔外等离子体为主。

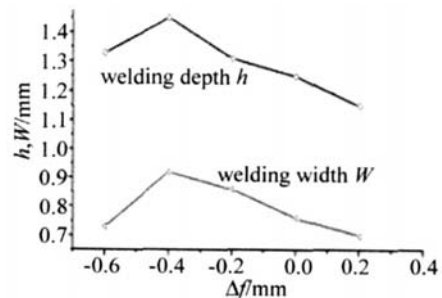
等离子体的控制是解决高功率 CO_2 激光焊接的关键技术之一,其主要方法有两类:一类是抑制等离子体的产生,但操作困难;另一类是采用侧吹辅助气体,将等离子体压缩在熔池沟槽内^[6]。试验采用侧吹辅助气体的方案进行焊接,并调整等离子体控制气的流量及侧吹气体的角度,获得了良好的控制效果。

2.2 焊接保护气体的选择

焊接保护气体的主要作用是防止焊接过程中工件表面氧化,以及去除高功率深熔焊接过程中产生的对激光能量有吸收和散射作用的等离子体云。当等离子体浓度不太高时,选择合适的保护气体对于抑制等离子体具有一定效果。在使用 N_2 和 Ar 气作为侧吹辅助气体时,发现其最大熔深并无多大区别,但是接头的硬度、韧性和焊接件的杯突值却有比较大的差异。试验发现,采用 N_2 气作为保护气体,接头的硬度偏高,韧性下降,杯突值只相当于母材的78%;如果采用 Ar 气作为保护气体,则可达到97%,深冲性能更好。因此,试验时选择 Ar 气作为焊接保护气体。

2.3 焦点位置的影响

焦点位置对焊缝的影响很大^[7]。图4表示了在激



光功率 $P = 1300\text{W}$,焊接速度 $v = 0.9\text{m/mim}$,焦距 $f = 127\text{mm}$ 时,焊缝熔深 h 和熔宽 W 随焦点位置 Δf 变化而变化的试验结果。当焦斑在工件表面之下(负离焦)一定位置 $\Delta f = -0.4\text{mm}$ 时,可得到最大的熔深及最大的深宽比 (h/W)。因为当焦点位置处于工件表面之上 ($\Delta f > 0\text{mm}$) 时,工件上的光斑面积较大致使能量密度较小;当焦点位置处于工件表面 ($\Delta f = 0\text{mm}$) 时,

虽光斑面积小,但是向空间辐射较多;当焦点位置处于工件表面以下时 ($\Delta f < 0\text{mm}$),焦点处的高能量密度致使产生激光深熔焊时小孔内的壁聚焦效应,光束可在小孔侧壁反射后向孔底传播并进行二次聚焦,使小孔内部维持较高的功率密度,而且工件表面与气体喷嘴端部距离较近,保护气体因流动路径的缩短而挺度增加,有利于更进一步消除等离子体,从而加大熔深。但 Δf 过小,如焦点位置 $\Delta f = -0.6\text{mm}$ 时,焊接光斑直径大,同时光束到达焦点聚焦之前,已经在传播过程中(工件中)被工件所吸收,此时吸收的能量因功率密度不能达到深熔焊要求的阈值,从而熔深变小。

图 5 为两种不同离焦量对焊缝成形的影响。可以看出,焦点位置过低时焊缝的下表面出现熔穿凸出的现象。

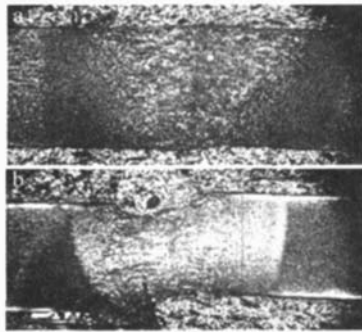


Fig 5 Welding seam chart of different defocusing amount
a— $\Delta f = -0.4\text{mm}$ b— $\Delta f = -0.6\text{mm}$

2.4 激光功率和焊接速度对熔深和熔宽的影响

激光功率和焊接速度对焊接深度和宽度的影响如图 6 a、图 6 b 所示。工艺参数如下:离焦量为 $\Delta f =$

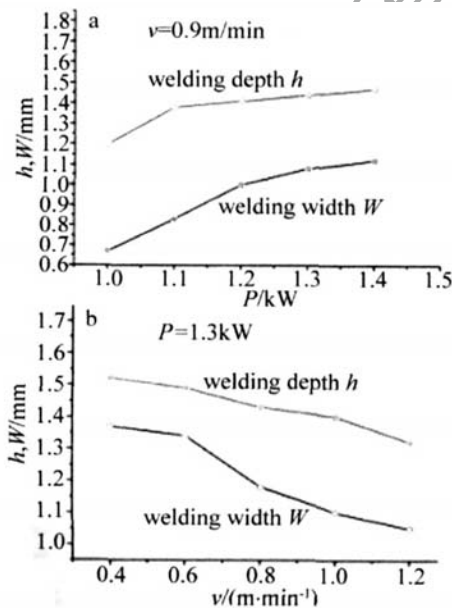


Fig 6 Relation curve of penetration, width and welding velocity
a— $v=0.9\text{m/min}$ b— $P=1.3\text{KW}$

-0.4mm ,同轴保护气体 Ar 气流量为 $2.5\text{m}^3/\text{h}$ 。当焊接速度 $v=0.9\text{m/min}$ 时得到激光功率和熔深、熔宽关

系曲线(见图 6a)。固定激光功率 $P=1300\text{W}$,得到焊接速度与熔深、熔宽关系曲线(见 6b)。由图 6 可知,随着激光功率的增大或焊接速度的减小,焊接熔深 h 逐渐增大,焊缝 w 也随之加大。这是因为,激光功率越大,焊接速度越小,则热输入量越大。因此,以线能量(功率与焊速之比)检测激光功率与焊接速度对熔化性的影响时,线能量或热输入量大,显然焊缝深、宽均增大。

2.5 焊缝组织的性能检测

在 MM-6 卧式金相显微镜上观测焊缝的微观组织,发现其热影响区的金相组织是上贝氏体 + 低碳马氏体 + 铁素体;熔池区的金相组织是上贝氏体 + 低碳马氏体。微观组织中出现少量的低碳马氏体,反映了激光焊接高强度镀锌钢薄板时加热冷却速度快的特点。如图 7 所示。

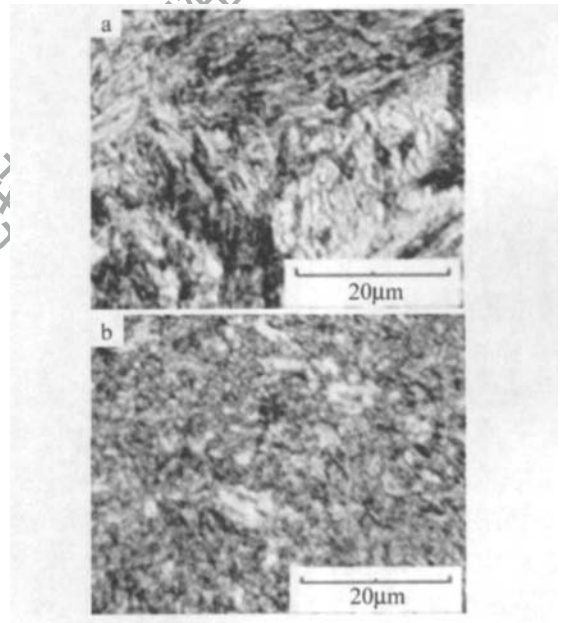


Fig 7 Joint microstructure ($500\times$) ($P=1300\text{W}$, $v=0.96\text{m/min}$, $\Delta f=-0.4\text{mm}$, $\alpha=30^\circ$)
a—melting zone b—heat affecting zone

一般认为高强钢激光焊接时接头硬度过高是接头出现裂纹的一个主要原因^[8]。焊接速度超过一定值时,接头裂纹敏感性增大,这一焊接速度极限值与激光功率、板厚等因素有关。可见,优化焊接工艺参数对防止激光焊接接头裂纹是十分必要的。从图 7 可以看到,在优化的工艺条件下,焊接接头没有出现裂纹现象。

在负载 400g,保持载荷时间 5s 的条件下,在 MM-6 卧式金相显微镜上得到了焊缝不同区域的显微硬度。如表 2 所示。从表中可以看出,热影响区的显微硬度约为母材区的 1.5 倍,这是由于接头微观组织中出现少量低碳马氏体所致。

Table 2 Rigidity distributing of joint

rigidity of molten bath/HV	rigidity of HAZ/HV	rigidity of material/HV
418	421	271

激光焊接普通钢板,一般不会出现软化现象。但对于 800MPa 级的高强度镀锌钢的激光焊接,工艺参数处理不当会使焊接接头出现软化。在 WDW-100 微机控制电子万能试验机上,对焊试件作了拉伸试验。在优化的工艺条件下,所焊试件的抗拉强度一般在 800MPa~950MPa 之间,与高强度镀锌钢的强度相当,没有出现接头的软化现象。拉伸试件断裂裂纹一般从热影响区产生并向母材区扩展,有的试件直接断裂在母材区。其主要原因是激光焊接冷却速度快,熔池组织结构细小,强度高;热影响区硬度高、缺陷多而易于断裂。图 8 为拉伸试件断裂局部图。



Fig 8 Tensile specimen

在辅助气体的保护下,焊接过程虽然在空气中进行,但由于激光焊接热作用时间极短,当离焦量较小,焊接速度较快时,接头表面并无氧化现象。

2.6 锌对激光焊接的影响

激光焊接速度快,熔池固化速度快,焊缝断面深宽比大,气体不易释放出来,镀锌钢板在焊接过程中因锌的挥发而易于产生气孔^[9]。同时,附着在焊件表面及大气中的水分,一经高温加热即分解,产生氢,这也可能导致焊缝中出现气孔。改进焊接工艺前,焊缝中出现了一定量的气孔,严重影响了焊接质量。

为抑制气孔的产生,在试验中保持环境空气干燥,去除工件表面水分的同时,设置夹具的排气通道,以减少因锌的急剧汽化而产生的蒸气压力。采用对焊缝侧吹保护气,以抑制焊接中锌等离子体的形成,同时也在一定程度上抑制了铁的等离子体形成。对高强度镀锌钢板,板厚 1.5mm,镀锌层厚度约 10 μ m~20 μ m,锌含量约 1% 左右,应用侧吹保护气体的方法后,锌对激光焊接的影已降低到很弱的程度。图 7 是在 MM-6 卧式金相显微镜下放大 500 倍时,焊接接头的微观组织。可以看出,气孔得到了明显的控制。

锌的汽化将导致焊缝及热影响区镀锌层的破坏或

含锌量的减少,导致汽车用高强度镀锌钢的保护层的破坏。试验发现,试件的镀锌层的烧蚀范围一般不会超过 0.4 mm,焊缝附近的镀锌层的烧蚀区宽度与焊接热影响区的宽度基本相同,这是因为锌的蒸发温度与钢的奥氏体—铁素体相变点基本相同。盐水腐蚀试验表明,激光焊接的焊缝和母材具有同等的抗腐蚀能力。

3 结论

采用侧吹辅助气体的方法对高强度镀锌钢板进行了大量的焊接试验。试验发现,采用 N₂ 气作为保护气体,接头的硬度偏高,韧性下降,杯突值只相当于母材的 78%;如果采用 Ar 气作为保护气体,则可达到 97%,深冲性能更好。研究了焦点位置对焊缝成形及热输入工艺参数对材料熔化特性的影响规律。锌的蒸发及环境中的水分等,在激光焊接时容易形成气孔。在优化的工艺条件下,用 CO₂ 连续激光深熔焊接高强度镀锌钢没有出现热影响区的软化,有效地抑制了焊缝气孔的产生和防止激光焊接接头的裂纹出现,获得了较好的焊接效果,所焊试件在上海大众车车门安全件上得到了成功的应用。

参考文献

- [1] TIAN H B, L N J P, L U R T *et al* A Review on ultra-light auto body and related forming technologies [J]. *Automotive Engineering*, 2005, 27(3): 381~384 (in Chinese).
- [2] CHEN T, WANG Zh Y, CHEN K Laser materials processing technology applied in large scale autobody [J]. *China Mechanical Engineering* 2002, 13(1): 8~11 (in Chinese).
- [3] 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).
- [4] WU Sh K, ZHANG Zh W, CAO N *et al* Investigation on Ultrasonic crossjet for laser welding [J]. *Laser Technology*, 2006, 30(2): 145~147 (in Chinese).
- [5] ZHOU Y Y, HU Ch K, CHEN P F The laser welding of the double-linked gear in automobile gear-box [J]. *Laser Technology*, 2004, 28(4): 445~448 (in Chinese).
- [6] TANG X H, ZHU H H, ZHU G F *et al* Laser-induced plasma absorption and control for CO₂ laser deep-penetration welding [J]. *China Mechanical Engineering*, 2000, 11(7): 741~744 (in Chinese).
- [7] WANG H L, HUANG W L, ZHOU Zh Y *et al* Laser welding of 8mm thick stainless steel plates [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2003, 30(5): 463~466 (in Chinese).
- [8] CHEN L, HU X Y, HU L J Characteristics on laser beam welded high strength steel [J]. *Applied Laser*, 2003, 23(1): 19~22 (in Chinese).
- [9] LIL J. *Modern laser material processing and equipment* [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1993. 213~214 (in Chinese).