

文章编号: 1001-3806(2012)05-0665-05

激光焊接镀锌钢/冷轧钢异种板材工艺试验研究

董其峰 鄢 铨* 廖先宇

(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: 为了研究镀锌钢/冷轧钢异种板材间激光焊接性能,采用光纤激光器及其配备的机器人对其进行了焊接试验,并对接头进行了显微组织和力学性能分析。在试验的基础上,分析了激光功率、焊接速度、离焦量等主要工艺参量对焊缝性能的影响。结果表明,在一定范围内,随着激光功率的增大和焊接速度的降低,焊缝宽度和熔深增加;焊缝及热影响区硬度均高于母材,焊接接头的强度与母材冷轧钢板相当;为保证焊接接头强度和性能的有效过渡,克服因其物理性质差异所导致的焊缝与拼接中心间的偏离,激光光斑中心宜向冷轧钢板一侧偏移。

关键词: 激光技术;激光焊接;金相组织;异种钢

中图分类号: TG456.7 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1001-3806.2012.05.023

Experimental investigation on laser welding dissimilar materials between galvanized steel and carbon steel plates

DONG Qi-feng, YAN Cuo, LIAO Xian-yu

(State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacture for Vehicle Body, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: Dissimilar metal plates welding between galvanized steel and carbon steel was investigated experimentally. The fiber laser and equipped robot were used in the experiment. The microstructure and mechanical properties of joints were analyzed. Based on the experiment, the influence of parameters variation such as laser beam power, welding speed and defocusing distance on the width and depth of welding seam was studied. The experimental results indicate that the width and depth of welding seam are inclined to be higher with the increase of laser beam power and the decrease of welding speed, and the surface hardness in the welded joint and heat affected zone are higher than that of base materials, and the tensile strength of the welded joint is reasonable equal to that of the carbon steel under the experimental condition. It is advisable that laser beam center offset a bit to the carbon steel side so as to prevent the uncoinciding between the centerline of joint and butt caused by the material physical properties difference, and to keep the continuity of strength and performance in the joint during the laser welding dissimilar materials between galvanized steel and carbon steel.

Key words: laser technique; laser welding; metallurgical structure; dissimilar steel

引 言

随着全球环境和能源危机的不断加剧,“轻量化”和“安全性”作为汽车产业的重要问题已受到人们的重视,节能减排成为新一代汽车设计和制造面临的重要问题。研究表明,减少汽车自身重量是降低燃油消耗、减少尾气排放、节约材料的最有效措施。在不增加成本、维持车身功能与抗冲击安全性的情况下,采用新

型材料以及新的成型方法成为减轻车身重量的重要手段^[1-2]。高强度镀锌钢板是解决上述问题的一种优选材料。激光拼焊作为一种新技术,在现代汽车车身制造成型中得到越来越广泛的应用,通过这种技术可以把不同材质、厚度、强度、表面状况的板材拼焊在一起,从而既可以设计出强度合理、数量尽可能少的车身体件,又可以达到减轻车身重量、减少模具数量、降低生产成本的目的^[3-4]。

作者采用汽车车身制造中的两种异种金属典型板材镀锌钢板和冷轧钢板作为研究对象,研究激光焊接主要工艺参量(激光功率、激光焊接速度、离焦量)对该两种异种板材间的激光拼焊相关性能的影响规律,并分析了焊缝区域强度与硬度分布,为激光焊接技术的深入广泛应用提供技术支持和参考。

基金项目:湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室开放基金资助项目(30975001)

作者简介:董其峰(1987-),男,硕士研究生,主要研究方向为激光焊接工艺。

* 通讯联系人。E-mail: cuoyan@yahoo.com.cn

收稿日期:2012-01-03;收到修改稿日期:2012-02-23

1 试验材料、设备及方法

1.1 试验材料

试验试样是尺寸为 80mm × 40mm × 1.5mm 的平

Table 1 Chemical constitution of materials(mass fraction)

	w(C)	w(Mn)	w(Si)	w(S)	w(P)	w(Zn)	w(Cr)
carbon steel	0.18 ~ 0.28	0.40 ~ 0.70	≤0.30	≤0.05	≤0.045	—	—
galvanized steel	≤0.18	≤0.2	≤0.50	≤0.015	≤0.025	≤0.015	≤0.08

Table 2 Mechanical properties of materials

	yield strength /MPa	strength of extension /MPa
carbon steel	200 ~ 225	260 ~ 280
galvanized steel	250 ~ 270	310 ~ 350

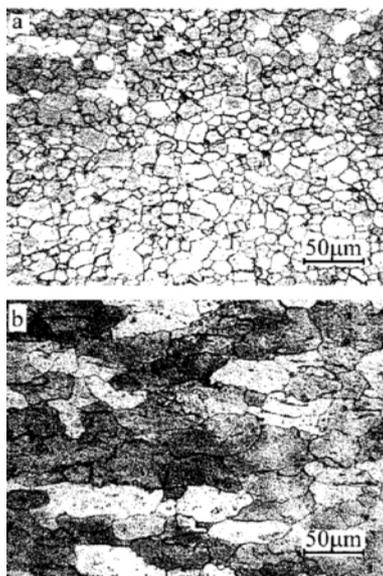


Fig. 1 Metallurgical structure of materials
a—galvanized steel b—carbon steel

1.2 试验设备

试验中所用激光器为 IPC YLR-4000 光纤激光器, 激光参量见表 3。该激光器具有电光转换效率高、光束质量好、结构紧凑等特点, 控制接口方便, 能够满足机器人在 3 维立体空间工作的要求^[5]。试验中采用自制的焊接夹具固定工件, 保证工件的焊缝均匀平整, 板材间隙被控制在 0.10mm ~ 0.15mm 以内, 易于 Zn 和 S 等低熔点元素的挥发, 避免产生气孔。

Table 3 Laser specifications

parameters	numerical value
maximum power	4kW
wavelength of laser	1.06µm
spot diameter	0.4mm
beam mode	TEM ₀₀
output mode	continuous
angle of divergence (half-angle)	1mrad

1.3 试验方法

试验装置原理如图 2 所示, 焊前用丙酮将试件表

板, 其金相组织如图 1 所示。镀锌钢板的母材金相组织为铁素体 + 珠光体, 冷轧钢板的母材金相组织为铁素体 + 碳化物, 其材料成分及力学性能分别如表 1 和表 2 所示。

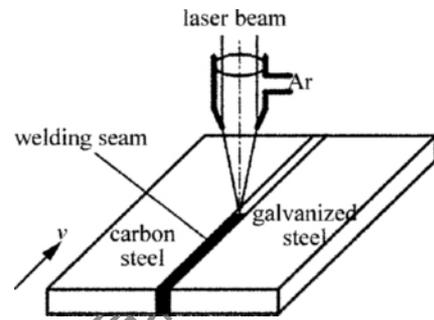


Fig. 2 Principle diagram of experiment setup

面特别是焊接面清洗干净, 以除去表面的杂物、污渍等。拉伸试样按 GB6397-86 标准制备, 焊缝垂直于拉伸方向且位于拉伸试样中间位置, 具体规格及焊缝位置见图 3, 焊后将焊接试样用线切割机在焊缝处横向切开, 经过研磨、抛光、腐蚀后制备焊缝观察试样, 用金相显微镜观察焊缝质量及组织变化, 并用于测量焊缝宽度、熔深等参量; 同时在万能试验机上对焊接试件进行拉伸试验, 研究焊缝及其附近硬度分布情况。

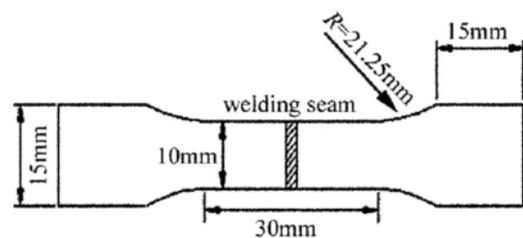


Fig. 3 Specimen dimensions for tensile test

2 试验结果及分析

2.1 激光功率对焊缝尺寸的影响

保持焊接速率为 35mm/s, 离焦量为 -1mm, 同轴保护气体 (Ar) 流量为 20L/min 不变, 改变激光功率进行试验, 并对焊接试样接头横截面焊缝表面宽度及熔深 (如图 4 所示) 尺寸分别进行测定, 绘制得到如图 5 所示的变化曲线。从图 5 可以发现, 在其它参量不变的情况下, 随着激光功率的增加, 焊缝宽度及熔深都不断增加, 这是由于随着功率的不断提高, 单位体积材料热输入相应增加, 熔化区域因此不断扩大。

2.2 焊接速度对焊缝尺寸的影响

同理, 固定激光功率为 1.4kW, 离焦量为 -1mm,

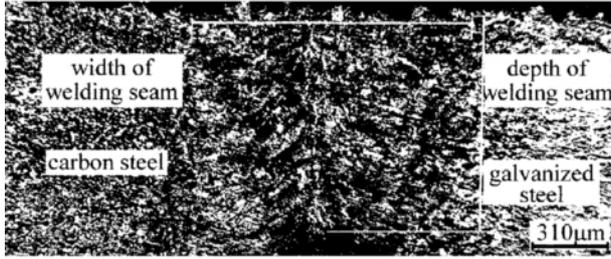


Fig. 4 Dimensions of welding seam in cross section(32×)

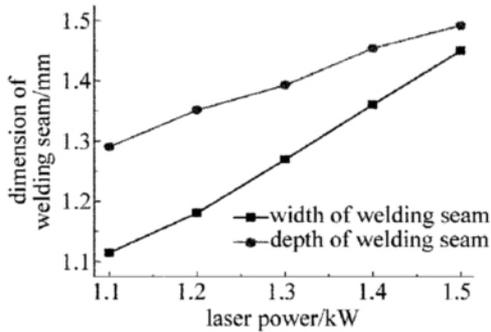


Fig. 5 Laser power-dimensions of welding seam relationship

同轴保护气体(Ar)气流量为20L/min,可以测定并绘制焊缝宽度及熔深在不同焊接速率下的变化曲线(如图6所示)。从图6中可以看出,在该试验条件下,随着焊接速率的增加,单位体积材料热输入下降,焊缝宽度变窄,熔深变浅。

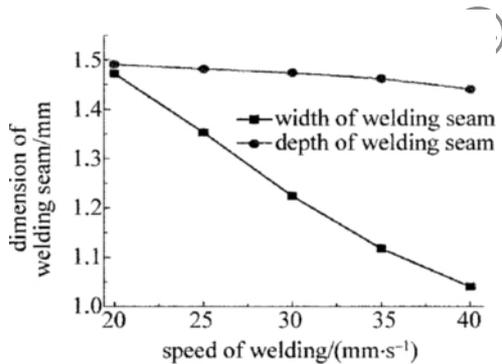


Fig. 6 Welding speed-dimensions of welding seam relationship

2.3 离焦量对焊缝尺寸的影响

图7是在功率为1.4kW、焊接速率为35mm/s、同轴保护气体(Ar)流量为20L/min的条件下获得的离焦量对焊缝宽度及熔深的影响曲线(焦平面处于工件上表面内,离焦量为0,高于工件上表面为正离焦,低于为负离焦)。图7显示,离焦量从-2mm向2mm过渡,焊缝宽度逐渐变窄,而熔深先增加后减小,当离焦量为-1mm时,焊缝熔深达到最大。同时焊缝金相表明,离焦量再减小,接头部分材料不能完全熔化,焊缝的连续性下降^[6]。在离焦量为-1mm时,焊缝熔深较大,能获得的焊缝质量较好。

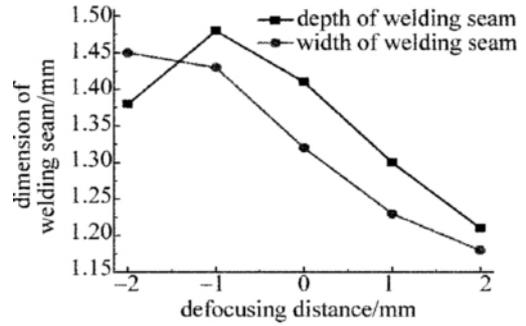


Fig. 7 Defocusing distance-dimensions of welding seam relationship

3 焊接接头性能分析

在WDW-E200微机控制电子万能试验机上对试样进行拉伸试验,得到如图8所示的断裂试样。试验结果表明,试样全部断裂在冷轧钢板一侧,远离焊缝。经测定,试样的力学性能指标如表4所示(取其中5个试样)。与表2比较,可以看出,试样焊接接头的强度比母材镀锌钢的强度低,与母材冷轧钢的相应值相当。这是由于激光束能量密度高,焊接冷却速度快的特点,使得原来经冷轧连续退火含碳量相对较低的母材,而焊接接头获得了韧性较好的非平衡组织,同时所存在大量的位错,较好地阻碍了拉伸过程中裂纹的扩展,从而在宏观上表现出焊接接头强度与母材冷轧钢相当^[6]。

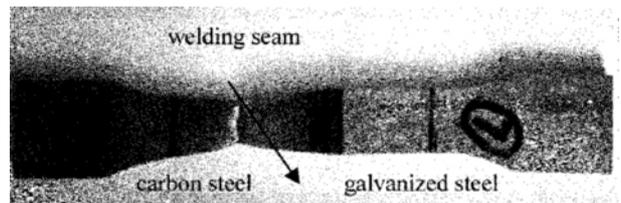


Fig. 8 Macro-morphology of fracture samples

Table 4 Mechanical property of tailor-welding sheet

number of tailor-welded sheet	σ_s /MPa	σ_b /MPa
1	210.20	280.27
2	206.02	275.38
3	200.56	267.64
4	201.87	269.02
5	214.87	286.44

图9是在功率为1.4kW、焊接速率为35mm/s、离

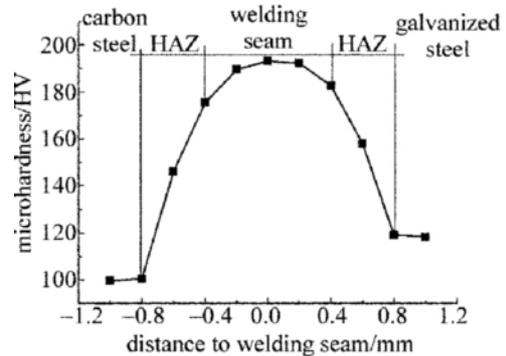


Fig. 9 Micro-hardness distribution along the welding seam

焦量为 -1mm 、同轴保护气体(Ar)流量为 $20\text{L}/\text{min}$ 的条件下,试样表面焊缝及热影响区(heat affected zone, HAZ)的显微硬度分布。可以发现,焊缝区硬度均高于两种母材的硬度,平均硬度值达到 193HV ,而热影响区硬度稍低于焊缝硬度,但仍然高于母材硬度。没有出现热影响区软化现象。

4 焊接接头组织分析

4.1 焊缝形貌

图10是在激光功率为 1.4kW 、焊接速率为 $35\text{mm}/\text{s}$ 、离焦量为 -1mm 、同轴保护气体(Ar)流量为 $20\text{L}/\text{min}$ 的条件下,焊接试样焊缝表面形貌图。改变激光光斑的偏移量,其中图10a是激光光斑位于接头中心,图10b是激光光斑向冷轧钢一侧偏移约 0.2mm 。结合该图可以看出,当激光光斑处在接头中心时,焊缝中心向镀锌钢一侧偏移,这是由于镀锌钢的导热系数低于冷轧钢,激光作用在两种材料内的温度场分布均匀性不一致,焊接时在镀锌钢一侧传热慢,热积累量大的原因。两种材料的物性参量见参考文献[7]和参考文献[8]。当激光光斑向冷轧钢一侧偏移约 0.2mm 时,焊缝中心位于两种材料的几何结合中心,几乎没有发生偏移。试验中还发现,焊缝越宽,偏移量越大,图10b形式接头的抗拉强度大于图10a。因此,在进行激光焊接等厚镀锌钢板与冷轧钢板异种材料时,光斑宜略向冷轧钢板一侧偏移。

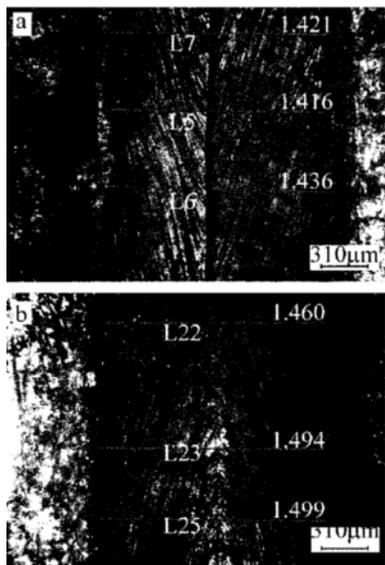


Fig. 10 The surface morphology of welding seam($32\times$)

a—laser beam center located in the joint center of the galvanized / carbon steel b—laser beam offsets to carbon steel 0.2mm

4.2 显微组织分析

图11为在上述相同工艺参量下,试样在MM6卧式显微镜下观察得到的激光拼焊接头的微观组织照片。

从图中可以看出,焊缝没有出现气孔、裂纹等缺陷,镀锌钢板一侧的热影响区的金相组织为上贝氏体+珠光体+铁素体+碳化物;焊缝的金相组织为上贝氏体+珠光体;冷轧钢板一侧的热影响区转变成了比母材组织细小的铁素体。在激光深熔焊接过程中,材料剧烈膨胀产生的压力将熔融材料抛出,形成小孔,这时液相金属产生快速的对流混合作用,因此,尽管拼焊板两边的材料不同,但是焊缝区具有相同的金相组织^[9-10]。

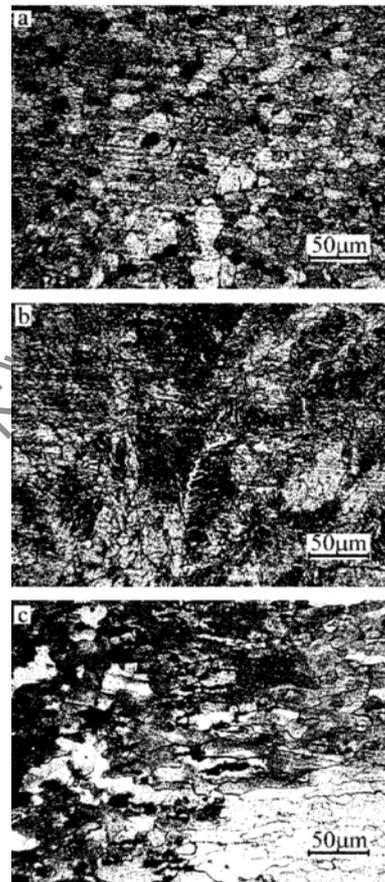


Fig. 11 Metallurgical structure of tailor-welding seam($200\times$)

a—heat-affected zone in galvanized steel b—fusion zone c—heat-affected zone in carbon steel

5 结论

(1) 在一定范围内,随着激光功率的增大和焊接速度的降低,焊缝宽度和熔深都增加。

(2) 在进行镀锌钢板与冷轧钢板异种板材间激光焊接时,激光光斑中心宜向冷轧钢板一侧偏移,以克服因其物理性质差异所导致的焊缝与拼接中心间的偏离,保证焊接接头强度和性能。

(3) 通过观察试样的显微组织,发现焊缝的金相组织不同于母材,热影响区组织细小,接头硬度高于母材,没有出现气孔、裂纹和热影响区软化等现象。拉伸试验结果试样断于冷轧钢板一侧,焊接接头的强度与母材冷轧钢板相当。

参 考 文 献

- [1] WANG J Ch. Development and expectation of laser welding technology [J]. *Laser Technology*, 2001, 25(1): 48-51(in Chinese) .
- [2] WU Q, XU L Y, CHENG G Y, *et al.* Experimental study about CO₂ laser welding of galvanized sheet [J]. *Laser Technology*, 2007, 31(6): 571-572(in Chinese) .
- [3] LIU Q B. Industrial application of high-power CO₂ laser welding [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 1997(8): 55-58(in Chinese) .
- [4] ZHANG J B, MA Zh W, SUN Ch W, *et al.* Application & development of high-power laser welding [J]. *Hot Working Technology*, 2005, 34(3): 64-67(in Chinese) .
- [5] XU Zh H. Experimental research of laser welding automobile body-in-white galvanized steel with robot [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2010: 21-25(in Chinese) .
- [6] WU M, YU G, LIU Zh, *et al.* Deep penetration laser welding dissimilar metal of K418 and 42CrMo [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2006, 33(8): 1122-1126(in Chinese) .
- [7] SUN Y F. Iron and steel material handbook [M]. Beijing: China Machine Press, 2009: 52-62(in Chinese) .
- [8] ZHANG W Y. Heat transfer theory in welding [M]. Beijing: China Machine Press, 1987: 24-40(in Chinese) .
- [9] ZHENG Q G, GU J H, WANG T, *et al.* Investigation on melting pool behavior and defects of laser welding [J]. *Laser Technology*, 2000, 24(2): 91-94(in Chinese) .
- [10] LI Y J, WAN J, LIU P, *et al.* Dissimilar and difficult welding material and application [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 72-80(in Chinese) .

版权所有 © 《激光技术》编辑部