

## 镀锌板激光焊接工艺及锌行为研究

熊建钢 胡伦骥 刘建华 胡席远 郭利峰

(华中理工大学材料科学与工程系, 武汉, 430074)

**摘要:** 进行了镀锌板激光焊接工艺研究, 讨论了激光焊接过程中锌的气化蒸发对等离子体形成的影响。结果表明, 光束模式与等离子体控制是影响焊接质量的重要因素。使用合适的焊接工艺, 可获得成型良好、无缺陷且性能与母材相当的接头。

**关键词:** 镀锌板 激光焊接 锌行为 等离子体

### Study on laser welding of zinc coated steel and the effects of zinc vaporization

Xiong Jiangang, Hu Lunji, Liu Jianhua, Hu Xiyuan, Guo Lifeng

(Department of Materials Science & Engineering, HUST, Wuhan, 430074)

**Abstract:** This paper report an investigation of laser beam butt welding of zinc coated sheet for automobile use. The effects of the vaporization of zinc on the plasma formation are discussed. It is shown that the laser beam mode and the plasma controlling gas flow rate are the most important parameters for obtaining a high quality joint. Successful butt joint beads with similar mechanical property to that of the base metal were obtained.

**Key words:** zinc coated sheet laser welding the effects of zinc vaporization plasma formation

### 引 言

近年来, 世界上各主要汽车制造厂家越来越重视提高汽车的使用寿命, 因而对车身用钢板质量的要求也日益提高。为满足车身抗腐蚀性性能, 镀锌板得到广泛使用。由于目前钢厂生产的薄板宽度不能够达到高档轿车及多数其它车辆车身和底板的要求, 因此在冲压成型前必须将几块钢板拼焊成符合规定尺寸的整板。而一般常用焊接工艺难以满足车身制造对接头质量的要求, 激光焊接工艺成为许多著名汽车制造商竞相采用的新技术<sup>[1]</sup>。这是因为, 激光焊焊速高, 焊缝及热影响区窄, 镀锌层烧损少, 且无变形, 无需真空, 自动化程度高。

为促进我国轿车材料生产国产化, 扩大钢厂生产薄板的品种和市场, 我们进行了镀锌板激光拼焊工艺研究。

#### 一、试验条件及方法

试验材料为武汉钢铁公司生产的热镀锌板, 试板厚度 0.7mm, 全部试样尺寸均为 200mm × 150mm。

试验用设备为国产 HGL-81 型 2kW 横流 CO<sub>2</sub> 激光器和美国产 EFA-51 型 1.5kW 快速轴流 CO<sub>2</sub> 激光器。材料的化学成分见表 1。

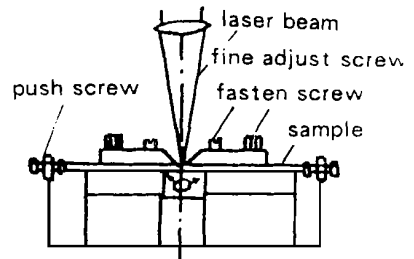


Fig. 1 Drawing of clamping device

试样的被焊端面进行机加工并在焊前用丙酮清洗, 采用专门的焊接夹具(如图 1)。夹具

Table 1 Chemical composition of tested material(wt. %)

material	elements				
	C	S	Mn	P	S
zinc coated steel	0.003	0.012	0.11	0.006	0.003

的上压板各有 6 个微调压紧螺钉,以使试板平整对齐,避免错边;夹具两侧有顶紧装置,可调整板间间隙。焊接时采用 Ar 气作为保护气和等离子体控制气。

二、试验结果及讨论

1. 等离子体形成及控制与焊缝成型

激光焊接时,形成等离子体是其基本特征之一。等离子体会改变聚焦条件并阻碍焊件对光束能量的吸收,影响焊缝表面成型,因此必须采取适当措施对其加以抑制或驱除。

形成等离子体的前提是材料加热至气化。焊接镀锌板时,因锌的气化温度低(906℃),蒸气压高(比铁高 8 个数量级),因此有文献认为<sup>[2]</sup>, 锌的蒸发将加剧等离子体的产生并可能导致焊缝中形成气孔。实际上,激光焊接镀锌板时,尽管必须控制等离子体,但与激光焊接其他钢板无明显不同,或者说锌的蒸发并不对等离子体的形成有特殊贡献。下面的讨论将证实这一观点。

在激光束的照射下,材料被加热至气化,材料表面蒸气密度  $n_m$  与气化温度  $T_v$  有如下之关系<sup>[3]</sup>:

$$n_m \propto \{[AI - (2\pi T_v K)/[r_c \arctg(\delta \alpha t/t)]]\}$$
 (1)

式中,  $A$  为材料对激光的吸收率,  $I$  为功率密度,  $r_c$  为光斑半径,  $t$  为辐照时间。

锌与铁的部分热物理参数如表 2 所示。

Table 2 Physical property data of zinc and iron<sup>[3,4]</sup>

metal	$T_v(^{\circ}\text{C})$	$K(\text{W}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1})$	$\alpha(\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1})$	$A$	$U(\text{eV})$
Zn	907	1.22	0.45	0.027	9.36
Fe	3000	0.835	0.28	0.035	7.83

Note:  $T_v$ —boiling temperture;  $K$ —heat transfer coefficient;  $\alpha$ —abstract heat coefficient;  $A$ —laser absorption of material;  $U$ —energy of electre-ionization

将光斑半径  $r_c$  取  $5\times 10^{-3}\text{m}$ , 功率密度  $I$  取  $10^{10}\text{W}/\text{m}^2$ , 作用时间取 0.1s, 用(1)式计算可发现,在相同的条件下,锌的蒸气密度比铁约小 25%。而锌的电离能(9.36eV)比铁(7.83eV)大,所以,在被光束加热气化的金属蒸气中,锌并不比铁优先电离,从而锌蒸气并不加速等离子体的形成。正是因为锌蒸气不易电离,使得在焊接过程中可观察到大量锌蒸气的存在。锌的气化,将导致焊缝及热影响区镀锌层的破坏或含锌量减少。锌蒸气对激光能量的传递与吸收的影响还有待进一步研究。

试验结果表明,采取与焊其它金属材料相似的等离子体控制方法,就可以获得较满意的镀锌板激光焊缝。不过此时等离子体控制气流量稍大。吹气喷嘴角度(与水平面夹角)以 35° 为佳,气流量为 0.8~ 1.0m<sup>3</sup>/h 效果最好。气流量过小,不能驱离等离子体和锌蒸气,对焊缝及镜片的保护效果也不好;气流量过大,带走大量热能,且对熔池有搅拌作用,易造成焊缝缺陷。图 2 分别是气流量为 0.3m<sup>3</sup>/h 和 0.8m<sup>3</sup>/h 时焊缝外观。从图 2a 可看出,等离子体形成与消失具有周期性。其产生过程是:金属蒸气吸收光束能量,造成雪崩式电离而形成等离子体,若此时等离子体控制气流量过小,不能将其驱离熔池上方,它将吸收光束能量并可改变光束聚焦条件,它使到达工件的总能量减少,从而金属蒸发量减少,直至等离子体消失。等离子体本身具有很高温度,

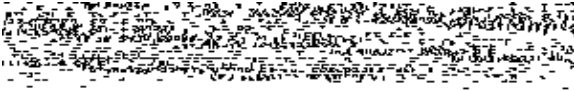


Fig. 2 The effect of plasma controlling gas flow rate on weld bead shape a-  $l=0.3\text{m}^3/\text{h}$  b-  $l=0.8\text{m}^3/\text{h}$

它有一部分能量辐射至工件,可导致焊缝变宽(背面未焊透),出现图中所示的“弧坑”。

2. 工艺参数与焊缝成型

焊接结果见表 3。结果表明,光束模式是影响焊接质量的主要因素。在激光功率相当的条件下,使用基模输出的激光器,焊接速度是多模的 4~ 7 倍,而焊缝宽度则是多模时的 1/3~ 1/4。这是因为高阶模激光束发散角大,光斑直径也大,这样不仅使形成深熔小孔焊要求的功率提高,而且为保证焊合单位长度焊缝的线能量,焊速也不得不降低,同时焊缝宽度随之增大,接头性能也较差。

Table 3 Results of laser welding tests

No.	thick (mm)	power (kW)	speed (m/min)	$\Delta F$ (mm)	bead width(mm)		gas flow rate(m <sup>3</sup> /h)	laser besm mode
					top	bottom		
01	0.7	1.2	5.0	+ 2	0.48	0.31	1.0	TEM <sub>00</sub>
02	0.7	1.1	5.0	2	0.49	0.25	1.0	
03	0.7	1.1	5.0	1.5	0.49	0.30	1.0	
04	0.7	1.3	5.0	2	0.72	0.37	1.0	
05	0.7	1.1	3.5	2	0.52	0.36	1.0	
06	0.7	1.1	4.0	2	0.54	0.34	1.0	
07	0.7	1.1	3.5	1.3	0.69	0.29	1.0	
08	0.7	1.1	3.5	1.8	0.66	0.30	1.0	
09	0.7	1.2	0.7	- 1	1.77	1.52	1.0	multimode
10	0.7	1.2	0.7	1	1.75	1.20	1.0	
11	0.7	1.2	1.2	- 1	1.02	0.83	1.0	
12	0.7	1.2	1.2	1	1.10	0.91	1.0	
13	0.7	1.2	1.2	0	1.12	1.05	1.0	

TEM<sub>00</sub>—the fast axial gas flow laser multimode—the transverse laser

试验所得焊接试板均无气孔、裂纹等缺陷,焊接变形极小。焊缝正反面均有下凹,这是对  
接焊时不可避免的(无填充金属),但必须将其控制到尽可能小。两种  
激光器焊得的焊缝截面如图 3 所示。



Fig. 3 Weld bead shape of different laser device  
a—P= 1.1kW, v= 2.5m/min, ΔF= + 1, TEM<sub>00</sub>  
b—P= 1.2kW, v= 0.5, ΔF= - 1, multimode

3. 接头性能

用 01~ 08 号工艺所得试板进

行力学性能试验及杯突试验。结果表明,接头拉伸强度达 410~ 460MPa, 超过母材强度  
(405MPa)。反弯次数达 50~ 59 次,断裂于母材。杯突值达 7.6mm,为母材的 80%。焊缝及  
热影响区的镀锌层烧损量为 95%~ 10%,因其宽度很窄,不影响接头的抗腐蚀性能。

三、结 束 语

- 1. 镀锌板激光焊时,等离子体直接影响焊缝成型,但锌的蒸发对等离子体的形成没有特殊作用。等离子体控制气流量有一最佳值,为 0.8~ 1.0m<sup>3</sup>/h。
  - 2. 激光器光束模式是决定焊接质量的重要因素。使用输出基模光束的激光器,可以获得焊接速度高、焊缝窄、拉伸性能及深冲性能(杯突)与母材相当的接头。
- 感谢李志远教授提供有关资料及有价值的讨论。

# 光学谐振腔的分数傅里叶变换表示<sup>\*</sup>

孔繁龙 吕百达

(四川大学激光物理与化学研究所, 成都, 610064)

代 明 林菊平

(西南技术物理研究所, 成都, 610041)

**摘要:** 用矩阵方法研究了多元件光腔, 特别是含透镜腔和望远镜腔的分数傅里叶变换特性, 然后从广义惠更斯-菲涅耳衍射积分公式出发, 推出了光腔的分数傅里叶变换的二维衍射积分表达式和分数傅里叶变换的矩阵表示式, 并作了讨论。

**关键词:** 光学谐振腔 分数傅里叶变换  $ABCD$  矩阵

## Expressions of fraction Fourier transforms for multielement optical resonators

*Kong Fanlong, Lü Baida*

(Institute of Laser Physics and Chemistry, Sichuan University, Chengdu, 610064)

*Dai Ming, Lin Juping*

(Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu, 610041)

**Abstract:** The characteristics of multielement optical resonators, in particular, the resonator with an internal lens and telescopic resonator which can be represented in terms of fractional Fourier transforms (FRFTs) have been studied by means of the  $ABCD$  matrix method. Then, starting from the generalized Huygens-Fresnel diffraction integral, the two-dimensional diffraction integral of optical resonators expressed as FRFTs has been derived and the corresponding matrix formulation has been given and discussed.

**Key words:** optical resonator fractional Fourier transforms (FRFTs)  $ABCD$  matrix

\* 本工作得到国家高技术强辐射重点实验室基金(No. H96-1)支持。

## 参 考 文 献

- 1 Irving B. Welding Journal. 1994; (2): 31~ 35
- 2 Heyden J, Nilsson K, Magnusson C. Laser welding of zinc coated steel. Proc 6th Int Conf Laser in Manufacturing, May 1989: 93~ 104
- 3 李力钧. 现代激光加工及其装备. 北京: 北京理工大学出版社, 1993: 122~ 123
- 4 Silsby H A. Introduction to physical metallurgy. New York: McGraw-Hill Book Company, 1974

作者简介: 熊建钢, 男, 1965 年 4 月出生。讲师, 博士研究生。现从事材料焊接及激光加工方面的研究。  
胡伦骧, 男, 1940 年出生。教授。现从事激光加工及激光与材料的相互作用等领域的研究。  
刘建华, 男, 1946 年 7 月出生。副教授。现从事材料焊接及激光加工方面的科研和教学工作。