

# 1 mm 薄钢板激光焊接实验研究

孙同坤

(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

**提要** 用激光焊接 0.8~1.0 mm 的镀锌钢板及冷轧钢板获得了良好效果。拉伸性能超过母材, 杯突值平均为母材的 87%。

**关键词** 钢板, 激光焊接

## Experimental research on laser welding of 1 mm steel sheet

SUN Tongkun

(Institute of Mechanics, Academia Sinica, Beijing 100080)

**Abstract** Good results are obtained in welding 0.8~1.0 mm galvanized and low-carbon steel sheet with laser. The tensile property of the welded sheet surpassed that of the base material. The average value of cupping test is 87% of the base material.

**Key words** steel sheet, laser welding

大多数金属用激光焊接时,焊接是通过小孔(Key hole)效应来完成的。一束高功率激光束经聚焦后,其功率密度可达  $10^5 \sim 10^7 \text{ W/cm}^2$ 。照射到金属表面上,激光能量被金属表面吸收,表面温度迅速上升而达到熔点,部份气化,在金属中形成一个小孔。在这个小孔内充满电离了的金属蒸气。这个蒸气空腔是一个有效吸收器,呈圆柱状。激光功率的 95% 被吸收。因此该圆柱形小孔是一个温度特别高的热源,热量从小孔向周围区域传递。而不是象常规工艺,热能由金属表面向内部传递。这样在小孔周围形成一个熔化区即所谓熔池。当光束移动时,熔化了金属就充填小孔并固化形成焊接<sup>[1~3]</sup>。

本文报道了为高级轿车特宽底板国产化进行的薄钢板激光焊接工艺的实验研究结果。

## 1 实验条件

1.1 实验使用 GJ-2 型 CO<sub>2</sub> 激光器和 Sj3 型激光加工机。

1.2 试件材料及尺寸:镀锌钢板:1×100×150 mm 及 1×163×800 mm; 冷轧钢板:0.8×100×150 mm 及 0.8×100×800 mm; 热轧钢板:1.5×100×100 mm。

## 2 实验结果

实验参数和结果见表 1、表 2。1 mm 镀锌钢板选择比较合理的工艺参数,功率为 1300 W,焊接速度为 1~1.2 m/s 时,焊接后钢板焊缝杯突平均值为 8.74 mm,是母材的 87%(见图 1)。同样冷轧钢板其杯突平均值为 7.56 mm,是母材的 77.2%。

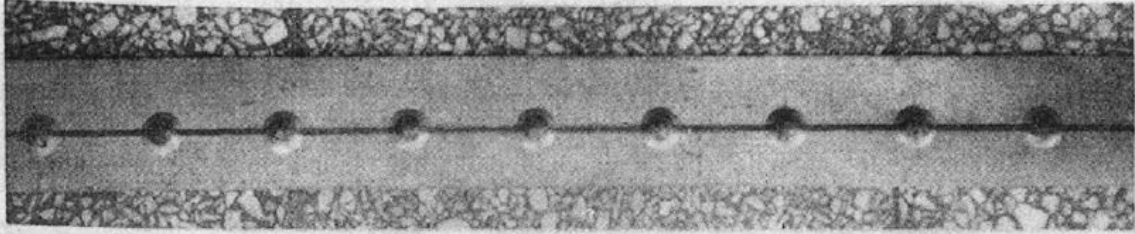


Fig. 1 Results of cupping test to a size of 1×330×800 mm galvanized steel sheet with laser welding

Table 1 Test results of the laser welded 1 mm galuanized steel sheet

Sample	Power (W)	Welding velocity (m/min)	Gap-width (mm face/rear)	Cupping value (mm)	Remark
01	1200	0.8	1.3/0	6.81	not good of laser mode
02	1200	0.8	1.6/1.1	8.71	
03	1200	0.8	1.75/1.2	7.74	
04	1300	0.8	8.4		
05	1300	1.0	1.26/1.1	8.83	
06	1300	1.2	1.2/0.65	9.02	
07	1300	1.2	1.4/0.7	8.20	
08	1300	1.0		8.88	
09	1300	1.0	1.2/0.4	8.73	
10	1300	1.0	1.1/1.2	8.44	
11	1300	1.0		8.35	
12	1300	1.0	0.9/0.7	9.05	
13	1300	1.2	1.1/0.55	9.15	
14	1300	1.2	1.2/0.5	8.75	
15	1300	1.5	1.0/0.2	8.6	
16	1300	1.5	1.1/0.45	8.2	
17	1300	1.8	0.95/0.35	7.9	
18	1300	1.0	1.26/0.77	8.2	
20				10.05	raw material

拉伸实验的试件尺寸为:镀锌钢板为 1×30×200 mm,冷轧钢板为 0.8×30×200 mm,焊缝均在中间。冷轧钢板共做了 14 件,其中 9 件焊缝强度大于母材,5 件低于母材,但屈服强度与母材相同。镀锌钢板拉伸结果表明焊缝强度全部大于母材(见图 2)。

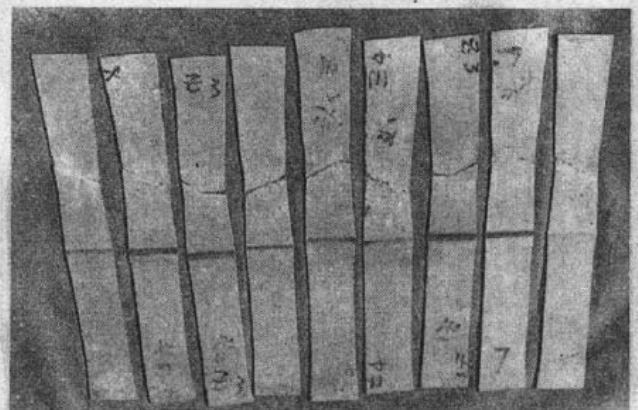


Fig. 2 Specimens of welded galvanized steel sheet after tensile test

Table 2 Test results of the laser welded 0.8 mm low-carbon steel sheet

Sample	Power (W)	Welding velocity (m/min)	Gap-width (mm face/rear)	Cupping value (mm)	Remark
01	1160	0.53	1.4/0.7	1.0	not good of laser mode
02	1150	0.5	1.4/0.7	7.86	
03	1200	0.41	1.4/0.7	8.3	blowing N <sub>2</sub> gas
04	1200	0.41	1.4/0.7	7.7	blowing N <sub>2</sub> gas
05	1200	0.41		6.4	
06	1200	0.41		7.9	improved laser mode
07	1300	1.2		7.85	improved laser mode
08	1300	1.2		7.9	
09				9.8	raw material

### 3 讨论与分析

#### 3.1 激光器输出光束模式、功率及焊接速度对焊接的影响

在实验中曾遇到这样情况,在焊 0.8 mm 厚冷轧钢板时,激光器输出的模式很好,接近基模,输出功率 0.9 kW,而在焊接过程中形成小孔效应不稳定,而且焊接速度也很低(0.5 m/s)。因为激光器输出功率虽然近千瓦,但先后经过四个反射镜及一个透镜。最后照射到工件上的功率损失了不少,也就是说有效功率不够,使小孔效应不稳定。另外若采用多模输出的横流激光器,输出功率虽然为 1.2 kW,但由于聚焦性能不好,形成不了小孔效应,尽管也能焊透,但速度很低(0.4 m/s)。

我们改进了激光器的谐振腔,使输出模式有所改善,在同样的功率情况下,小孔效应焊接速度提高了三倍。

#### 3.2 透镜焦距对焊接的影响

我们曾选用  $f = 60, 80, 100, 127$  mm 四种不同焦距的 GaAs 及 ZnSe 透镜,焦点位置在工件表面下方 0.3~0.5 mm 处。实验结果表明,在上述范围内,焊接效果无明显差别。焊缝宽度在 1.0~1.4 mm 范围内。当然焊缝的宽窄不完全取决于  $f$  值,也与焦点的位置、焊接速度等参数有关。在不影响焊接效果情况下,透镜的焦距不宜太短。焦距短虽然聚焦斑点小,但焦深也短,则焦点与工件的相对位置也较难控制。同时对保护透镜也不利,所以  $f$  值应大于 100 mm。

#### 3.3 保护气体对焊接的影响

在激光焊接时通常都要用保护气体。其作用是:1)对一些合金材料,防止在焊接过程中金属被氧化;2)保护透镜不被污染;3)吹除小孔中的等离子羽,增加对激光的吸收。

对于低碳钢来说,防止氧化不是主要目的。在深熔焊时,保护气体的种类对焊接质量是有影响的。当激光通过保护气体时,会很快使气体电离,在焊区上方形成等离子体羽,对激光有些屏蔽作用,影响焊接效果。氦气不容易电离,对激光透过率高,其次是氩气。在我们实验中使用过氦气、氩气、氮气三种。三种气体效果差别并不明显,在同样条件下均能获得相同的结果。这与文献[3]的实验结果一致。原因是薄板焊接,焊接熔池浅,等离子体羽的影响不如深熔焊那么严重。

#### 3.4 焊接前工件装夹对焊接质量的影响

汽车底板要求平接对焊。激光焊接对钢板焊前装夹精度要求较严格,因激光束的聚焦斑点



很小,又不加任何填料,焊缝全部由母材熔化后凝固形成。钢板对接间隙不能过大,同样对接时钢板之间高低不平也需严格控制,它直接影响焊后的平整及焊接质量。如两钢板对接高低不平部分占母材厚度的 10%,则两块钢板实际重合部分只有 80%,当然焊接强度就要下降。在我们实验中钢板对接间隙控制在 0.06 mm 以内,为母材厚度的 6%。高低不平很难测量,通常用手感来判断,一般手指感觉不出不平即可。

### 3.5 焊缝金相组织

观察了镀锌钢板激光焊接焊缝的金相组织状态(见图 3)。从金相组织来看,焊缝及热影响区的晶粒比母材稍大些。但比激光深熔焊即穿透深度大的焊接的晶粒要小些。所以薄钢板的激光焊接焊缝能承受较大的冷冲压变形。

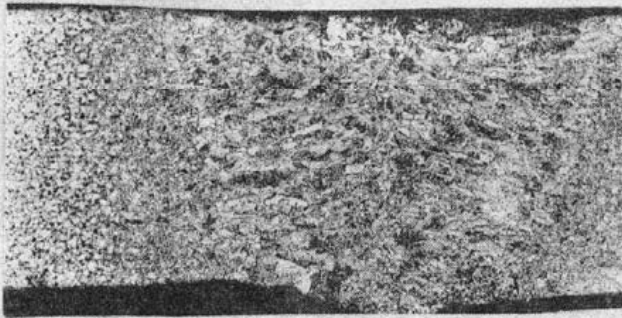


Fig. 3 Metallographic structure of laser welded galvanized steel sheet ( $\times 50$ )

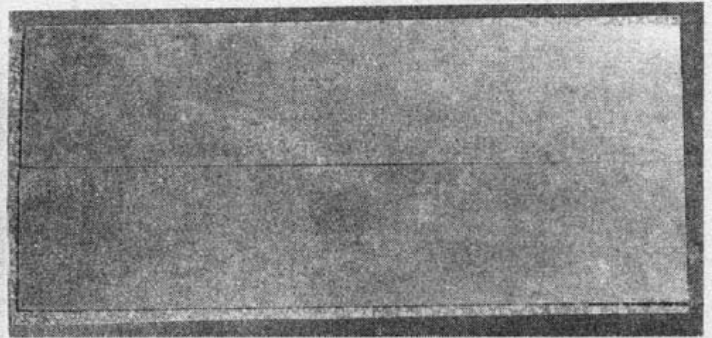


Fig. 4 No deformation occurred 1  $\times$  330  $\times$  800 mm galvanized steel sheet after laser welding

### 3.6 激光焊接薄钢板可以做到基本不变形

由于能量集中,与常规焊接工艺相比,输入到工件上总的热能少,再加上应用合理的工夹具把工件夹紧,激光焊接后,无论是小试件还是大板料变形均很小。尤其是大尺寸的板料几乎看不出变形,不必校平完全可以直接进行冷冲压加工(见图 4)。

值得指出的是,焊接时工件的反射热容易把喷气嘴烧坏。要设计结构合理适用于焊接的喷气嘴。

参加本实验工作的还有李旭昌、孙传香、姜在英等同志。

在实验过程中曾得到邓树森、季汉庭、韩景岩等同志的支持和帮助,表示谢意。

### 参 考 文 献

- 1 Richard Walker, *Laser and Application*, 4, 61~69(1984)
- 2 M. Cantello, D. Cruciani *et al.*, *Proc. SPIE*, 801, 185~187(1987)
- 3 赵仲黑, 李力钧 *et al.*, *中国激光*, 20(2), 132~135(1993)