

# 电弧—激光点焊新工艺的研究\*

胡绳孙 孙 栋 路登平 赵家瑞 张绍彬

(天津大学)

(天津自动化仪表公司)

**摘 要** 本文通过电弧—激光双热源相互作用规律的研究,提出了一种崭新的焊接方法电弧—激光点焊。实验证明,这种新工艺可以焊接现有点焊方法难以焊接的点焊接头,例如可点焊厚度比相差很大且上板较厚的搭接接头铜、铝等良导体的接头。

**关键词** 电弧; 激光; 点焊

## 0 序 言

由于电弧能量不够集中,电弧点焊接头往往热影响区大,焊点不美观,不能满足精密工件的点焊要求。

脉冲激光点焊,由于激光能量集中,焊点热影响区小,点焊接头美观。但激光焊能量利用率低,金属材料在室温下,对激光的反射率达80%以上。因此激光点焊只能点焊极薄的黑色金属,激光点焊铝、铜等良导体材料是极困难的。

一般电阻点焊,对于厚度比相差较大的搭接接头以及上板较厚的铝、铜搭接点焊也是极困难的。

为了解决上述工件点焊的困难,以满足精密工件点焊的急需,本文提出电弧—激光双热源点焊新方法。

## 1 电弧—激光相互作用

试验研究发现,电弧—激光共同作用不是简单相加,而是相互作用。

激光可控制电弧,激光能量密度高( $10^7 \text{ w/cm}^2$ )遇到工件,立即将工件表面金属气化,电离,形成高温密度的激光等离子体<sup>[1]</sup>。它有很强的吸引焊接电弧的能力,利用此作用,激光可控制并引导电弧到任意位置和方向,可引导小电流电弧高速移动而不产生飘移。

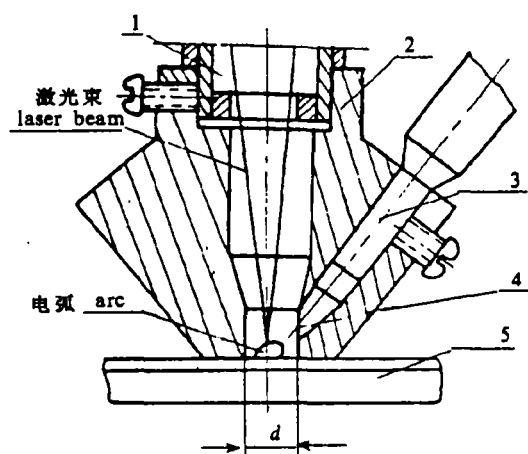
电弧可强化激光焊,在电弧的作用下,可改变工件表面的温度和状态,从而可大大提高工件对激光能量的利用率。

金属搭接点焊要求上板熔透,下板熔化一定深度形成熔核。脉冲激光束有较好的穿透

能力,电弧有很强的熔化金属能力,这两种热源相互作用和配合就可实现优质的点焊接头。

## 2 试验装置

电弧—激光点焊工艺试验装置由一台钕玻璃脉冲固体激光焊机,它的最大能量输出为 20 J,最小脉冲宽度为 1.8ms,一台 NJA-150 开关型晶体管 TIG 焊机和—个电弧—激光双热源点焊枪组成。试验所用的点焊焊枪如图 1 所示。



1. Laser welding torch
2. Conjunctive setup of double torch
3. Torch of arc welding
4. Tungsten electrode
5. Workpiece
- d. Diameter of hole (mm)

图 1 电弧—激光双热源点焊枪

Fig.1 Torch of arc-laser spot welding

## 3 电弧—激光点焊钢材

试验研究表明,电弧—激光点焊钢材的工艺程序应该是:首先用激光束在上板打一个孔径合适的孔,然后通过这个孔,用 TIG 焊电弧同时加热上下板,在短时间内使上下板熔化,形成焊点。

本文对不同厚度的多种钢材进行了试验研究。焊点质量用焊接接头能承受的剪切力  $F$ ,焊点熔核直径  $N$  及接头下板的熔深  $H$  进行检验。

### 3.1 1+5.5mm 不锈钢电弧—激光点焊

试验结果见表 1。由表 1 可见,激光打孔的孔径大小对焊点质量影响很大。当孔径达到 0.6mm 左右,焊接接头承受的剪切力和下板的熔深达到了最佳值。焊接接头承受剪切力约为电弧点焊时的 3 倍。观察焊点剪切试件断面,发现激光打孔的试件是沿焊点周围母材撕裂,而未打孔的电弧点焊试件断在熔核处。图 2 是激光打孔的焊点熔深与未打孔的焊点熔深的金相照片。

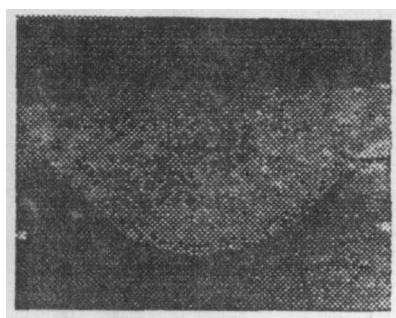
### 3.2 0.8+1.5mm 低碳钢和 0.5+1mm 硅钢电弧—激光点焊

为了了解激光打孔的作用,本文用 0.8+1.5mm 低碳钢和 0.5+1.0mm 硅钢进行激光

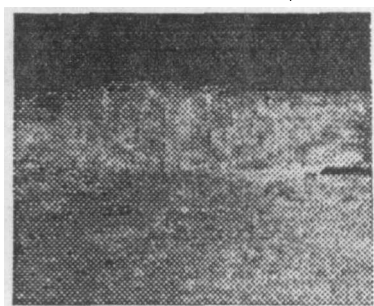
表1 1+5.5mm 不锈钢电弧-激光点焊结果

Table 1 Results of 1+5.5mm stainless steel joint welded by arc-laser spot welding

| Material   | Plate thickness (mm) | Diameter of hole punched by impulse laser beam (mm) | TIG welding arc current (A) | Shearing force $F$ (N)   | Penetration (mm) |
|------------|----------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------|
| LCr18Ni9Ti | 1+5.5mm              | 0.3                                                 | 108                         | $\frac{2983-3087}{3080}$ | 0.3              |
|            |                      | 0.6                                                 | 108                         | $\frac{7938-8520}{8232}$ | 1.5              |
|            |                      | 0                                                   | 135                         | $\frac{2499-2841}{2664}$ | 0.1              |



(a)



(b)

图2 电弧-激光点焊接头下板溶深(a)与TIG电弧点焊接头下板溶深(b)照片(1×10)

Fig.2 Penetration of arc-laser spot welding joint(a) and penetration of arc spot welding joint (b)

打孔与不打孔的点焊对比试验,结果见表2。由表2可见二者明显差异。实验表明,0.8+1.5mm 低碳钢打孔的点焊接头比未打孔的点焊接头所承受的剪切力约高3倍。0.5+1.0 mm 硅钢板激光打孔的点焊接头所承受的剪切力比未打孔的接头高2.5倍。

表2 碳钢、硅钢电弧-激光点焊结果

Table 2 The results of soft steel and silicon steel joints by arc-laser spot welding

| Materials     | Plate thickness (mm) | Diameter of the hole punched by impulse laser beam (mm) | TIG welding arc current (A) | Shearing force $F$ (N)   | Depth of the welding pool (mm) |
|---------------|----------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Soft steel    | 0.8+1.5              | 0.5                                                     | 92                          | $\frac{4018-4116}{4067}$ | 0.9                            |
|               |                      | 0                                                       | 92                          | $\frac{931-1127}{1029}$  | <0.4                           |
| Silicon steel | 0.5+1                | 0.7                                                     | 70                          | $\frac{2397-2695}{2615}$ | 0.8                            |
|               |                      | 0                                                       | 70                          | $\frac{920-1120}{1020}$  | <0.3                           |

试验研究证明:对于一定厚度的上板,存在一个最佳孔径范围,偏离此范围就会使点焊接头质量下降。上述关系如图3所示。

#### 4 电弧-激光点焊铝、铜

由于铝、铜的导热导电性能良好,因此单独使用TIG点焊厚度较大的铝、铜搭接接头时,由于能量密度低以及氧化膜的存在难以实现。单独使用激光焊时,因材料在低温状态下的高反射率,将大大降低激光的熔深,上板不能熔透。

电弧-激光点焊是利用电弧预热作用使金属材料表面达到熔化温度,再输出激光,使激光脉冲从开始就具有较大的吸收率。此外,激光还具有破碎铝氧化膜的作用。

0.8+0.8mm纯铝板的电弧-激光点焊试验结果见表3。

钨极氩弧焊采用直流正接极性,由于无阴极雾化作用,在通常情况下因铝、镁及其合金表面存在氧化膜很难熔化进行焊接。本试验结果表明,若控制激光使之在TIG电弧的燃烧过程中输出,在激光脉冲与电弧的共同作用下,可使上下板熔化形成焊点。剪切试验表明,试件沿焊点周围线材断裂。

用1mmH62黄铜与4mm1Cr18Ni9Ti不锈钢的电弧-激光点焊也同样获得满意的效果。

#### 5 仪器仪表弹性元件的电弧-激光点焊

电弧-激光点焊具有焊接电流小,焊接时间短,激光能量密度高,穿透能力强等优点。利用这两种热源的相互配合,相互补充作用,点焊了某仪表厂仪器仪表中的精密小巧且对热敏感的弹性元件,焊点强度与外观均达到国外同类产品水平。

“量程动块”是仪表中的弹性元件,体积约为10mm×5mm×5mm。上板为弹性合金Ni36CrTiAl,对热敏感,厚度 $\delta=0.6\text{mm}$ 。下板为1Cr18Ni9Ti,厚度为 $\delta=5\text{mm}$ 焊接时先用激光打孔,再用TIG焊点焊。

实验结果表明,本方法焊点强度高,焊点外形美观。焊接质量可与国外同类产品相比美,外形如图4所示。

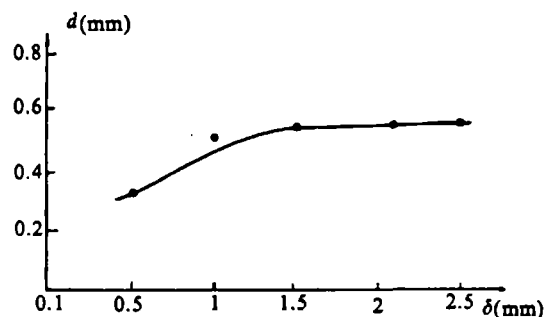


图3 激光打孔合适时孔径 $d$ 与上板厚度 $\delta$ 间的关系

Fig 3 Relationship between suitable diameter of hole  $d$  and thickness of upper steel plate

表3 纯铝板电弧-激光点焊试验结果

Table 3 Experimental results of aluminum plates of arc-laser spot welding

| Material | Thickness (mm) | Laser power (J) | Welding current (A) | Shearing force (N)       | Depth of the welding pool (mm) |
|----------|----------------|-----------------|---------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Al       | 0.8+0.8        | 20              | 120                 | $\frac{1225-1372}{1274}$ | 0.8                            |
|          |                | 20              | 130                 | $\frac{1176-1323}{1225}$ | 0.8                            |

## 6 结 论

(1)利用电弧—激光双热源的相互配合,补充作用可以点焊用传统方法难以焊接的接头。通过大量实验证明,点焊黑色金属,激光脉冲应加在电弧引燃之前;点焊有色金属,激光脉冲应加在电弧引燃之后。

(2)电弧—激光点焊钢材时,激光打孔的孔径与上板厚度有关。为了保证焊接质量,上板越厚,孔径要相应加大。

(3)利用电弧的预热作用可提高金属对激光能量的吸收率,可以增强激光的穿透能力,增加焊点熔深。因此,可以用于焊接采用单独激光难以焊接的铝、铜材料。

(4)电弧—激光双热源点焊新工艺用于焊接仪器仪表的热敏感弹性合金,焊点强度高,外观漂亮。



图4 仪器仪表弹性元件电弧—激光点焊试件  
Fig.4 Specimens of elastic elements of instrument and meter welded by arc-laser spot welding

(1992年11月15日收到修改稿)

## 参 考 文 献

- 1 ① ② 沃道瓦托夫等,激光在工艺中的应用,北京:机械工业出版社,1980.3

## New welding method—arc—laser spot welding

Hu Shengsun, Sun Dong, Lu Dengping and Zhao Jiarui

(Tianjin University)

Zhang Shaobin

(Tianjin Automatic Instrument Company)

**Abstract** A new welding method—arc—laser spot welding, based on the study of the interaction of arc and laser dual power source, is proposed in this paper. Experiments have proved that this new method can weld the joints which are difficult to be welded by ordinary spot welding. For instance, it can spot weld the lap joints of thicker upper plates with large plate thickness ratio as well as joints made up of copper, aluminum and other highly conductive materials.

**Key words** arc; laser; spot welding