

金刚石锯片的激光焊接工艺参数试验研究

史晓强

(五邑大学机电工程系 江门 529020)

李力钧

(湖南大学激光研究所 长沙 410082)

提要 采用 800 W 基模 CO₂ 激光器对金刚石锯片进行了激光焊接研究。试验并研究了激光功率、焊速、离焦量及偏移量等工艺参数对金刚石锯片的激光焊接质量的影响,获得了焊接的最佳工艺参数,焊缝深宽比约为 2 mm,焊接熔合深度约为 1.2 mm。激光焊接的金刚石锯片显著地提高了其结合强度及承载能力。

关键词 金刚石,锯片,激光焊接,工艺参数,结合强度

1 引 言

金刚石锯片是在钢材刀体上焊接一些由金刚石颗粒与粘结金属烧结在一起的刀头,其焊接属于不同材料、不同组织之间的异种金属焊接,焊接的关键在于其结合强度的高低。

金刚石锯片的传统焊接方法是烧结焊及钎焊,此两种方法焊接焊缝的结合强度(尤其是高温时)不够高,锯切过程中易发生刀头飞崩伤人等事故,锯片的安全可靠性不好。激光焊接的金刚石锯片是中、小型金刚石锯片的发展方向。激光焊接使金刚石锯片的结合强度大大增加,能最大限度地满足其各种需要,焊接工艺先进、可靠。激光焊接的金刚石锯片取代中、小直径的传统焊接片势在必行。欧共体更是明文规定只能使用激光焊接锯片。

美、德、意、日等国自 80 年代起开始了对金刚石锯片的激光焊接研究^[1],并已逐渐用激光焊接取代传统的工艺。由于国产激光器的模式大多不好,聚焦功率密度不足以保证可靠的深熔焊接,焊接质量不过关,因而,国内很难见到品质优良的激光焊接的金刚石锯片。

2 试验设备和方法

激光焊接装置由激光器、导光系统、聚焦系统、配气系统、冷却系统、工件装夹装置及工作台等部分组成。

因金刚石锯片刀头(厚 2.2 mm)不易做切片试验,其焊缝形状及组织无法分析,本试验采用的是试验刀头,该种刀头材料由金刚石锯片的过渡层材料组成,焊接后沿径向切割,做切片试验,以利于分析。为更好地研究激光器功率、焊接速度及离焦量等对焊接的影响,试验多用激光在刀体(厚 1.2 mm)上扫描,以深入研究焊接熔合的深度、宽度等数值。

3 焊接工艺试验

影响激光焊接质量的因素主要有:激光器功率、焊接速度、离焦量、横向偏移量、焊件间配合尺寸、工件装夹及表面状态、保护气体等^[1,2]。本文对其中主要的工艺参数进行了试验研究。

3.1 激光功率

激光功率是影响焊接的最重要因素,一定的功率对应一定的功率密度,决定一定的熔深。产生小孔效应、进行深熔焊接的前提是聚焦激光焦点有足够高的功率密度^[2]。



图 1 有机玻璃烧斑照片

Fig. 1 Photo of cross section of laser welding in plexiglass

激光器采用的是自己研制的、已获国家专利的 800 W 准封离型折叠式基模 CO₂ 激光器。此激光器输出以基模为主,模式稳定。有机玻璃烧斑(孔)的侧面图像如图 1 所示。

试验采用激光在刀体上扫描的方法。试验中,其他参数固定不变,观测激光功率对焊接结果(熔合深度、熔合宽度、焊缝形状)的影响。其他试验参数:焊接速度为 1 m/min,激光焦点在试件表面,保护气体

为氩气(流量为 2.5 m³/h)。不同激光功率焊接试验的焊接断面照片如图 2,由此测得的熔合深度、宽度和深宽比如表 1 所示。

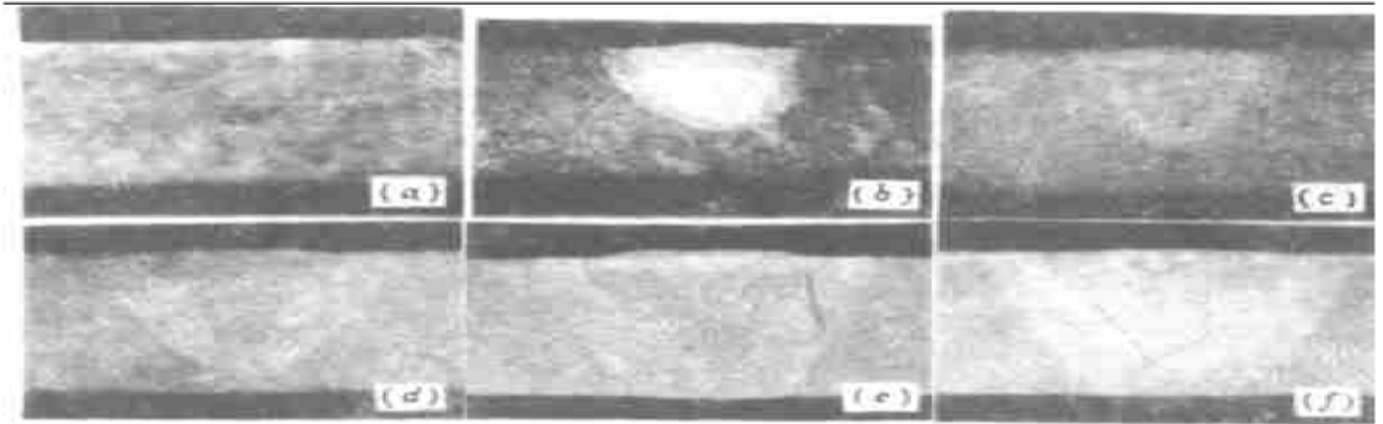


图 2 功率 P 不同时的焊接断面组合照片

Fig. 2 Composite photos of cross sections of welds at different powers
(a) 470 W; (b) 550 W; (c) 580 W; (d) 630 W; (e) 680 W; (f) 730 W

表 1 功率 P 不同时的熔合参数

Table 1 Welding parameters at different powers

P/W	470	550	580	630	680	730
welding depth/mm	0.10	0.54	0.73	0.93	0.99	1.00
welding width/mm	0.14	0.36	0.48	0.65	0.74	0.91
mm depth/width	0.71	1.50	1.52	1.43	1.34	1.10

试验结果表明:激光功率越低,熔深及焊接宽度越小;反之,则越大。若激光器功率过小($P < 500$ W),由于其功率密度不够,不能产生小孔效应,为热传导型焊接,其熔深及深宽比都很小。所用的 CO₂ 激光器输出激光的模式好,以基模为主,即使功率不到 600 W,聚焦后功率密

度也足够高, 可进行基于小孔效应的深熔焊接。采用 680 W 的激光单面焊接可获得较好的焊接结果; 若采用双面焊接, 则可完全焊透。

3.2 焊接速度

焊接速度直接影响焊接的穿透深度。在深熔焊接中, 焊速因小孔效应受到限制。

采用激光在刀体上扫描的方法, 试验中只改变焊速。其他试验参数: 激光功率为 680 W, 焦点在试件表面, 采用氩气保护(流量为 $2.5 \text{ m}^3/\text{h}$)。试验得出不同焊速的焊接断面照片如图 3, 由此测得的熔合深度、宽度和深宽比如表 2 所示。

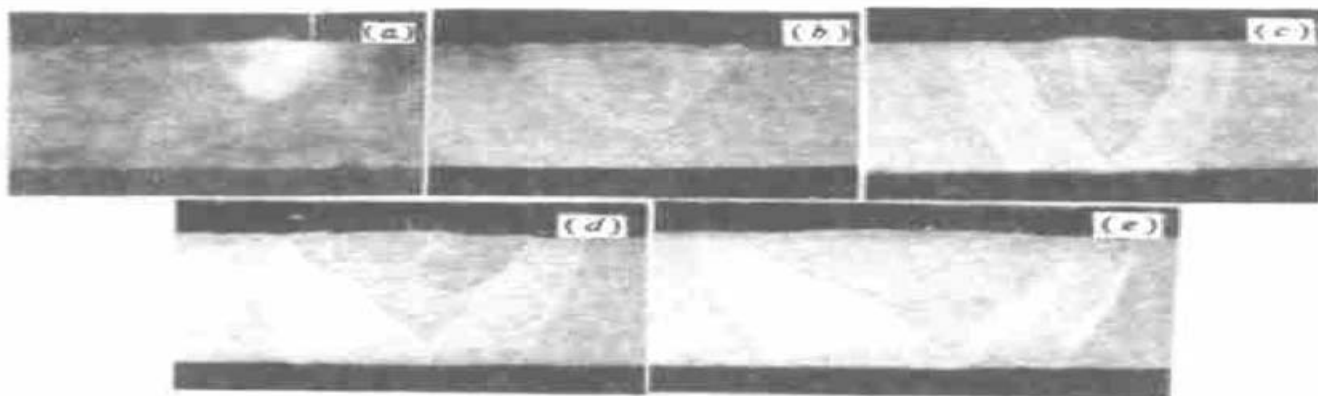


图 3 焊速 V 不同时的焊接断面组合照片

Fig. 3 Composite photos of cross sections of welds at different rates V

(a) 3428 mm/min; (b) 1714 mm/min; (c) 1142 mm/min; (d) 857 mm/min; (e) 692 mm/min

表 2 焊速 V 不同时的熔合参数

Table 2 Welding parameters at different rates V

V /mm/min	3428	1714	1142	857	692
welding depth/mm	0.40	0.76	1.03	0.94	0.99
welding width/mm	0.28	0.55	0.53	0.78	1.02
depth/width	1.43	1.38	1.94	1.21	0.97

试验结果表明: 在一定的激光功率下, 提高焊速, 线能量(单位长度焊缝输入能量)下降, 熔深减小; 反之, 熔深则增加, 但有极限, 当焊速过低时, 熔深不会再增加, 而焊缝变宽。因而, 在一定的速度范围内, 功率一定, 焊接深度及宽度随焊速的加快而减小, 焊缝热影响区也会随焊速的降低而变大。试验可得, 在激光功率为 680 W 的单面焊接中, 采用 1142 mm/min 的焊速可获得良好的焊接结果。

3.3 离焦量

激光束的焦点功率密度并不等于作用于工件的光斑功率密度, 后者还取决于焦点平面与工件表面的相对位置(离焦量), 此位置对激光焊接过程有显著的影响。

试验采用激光在刀体上扫描的方法, 激光功率为 680 W, 焊速为 1071 mm/min, 其他参数不变, 焦点每次垂直于工件表面沿 z 方向移动 1 mm, 在不同高度的位置上进行正、负离焦(焦点位置在工件上表面以下为负)焊接, 用氩气保护(流量为 $2.5 \text{ m}^3/\text{h}$)。试验得出的不同离焦量的焊接断面照片如图 4, 由此测得的熔合参数如表 3 所示。

因试验条件(装置、测试仪器及手段)所限, 试验时聚焦激光束焦点零位(正常焦)的准确位置无法精确测定。由于激光深熔焊接是通过小孔效应来完成的, 小孔的形成伴有明显的声、光

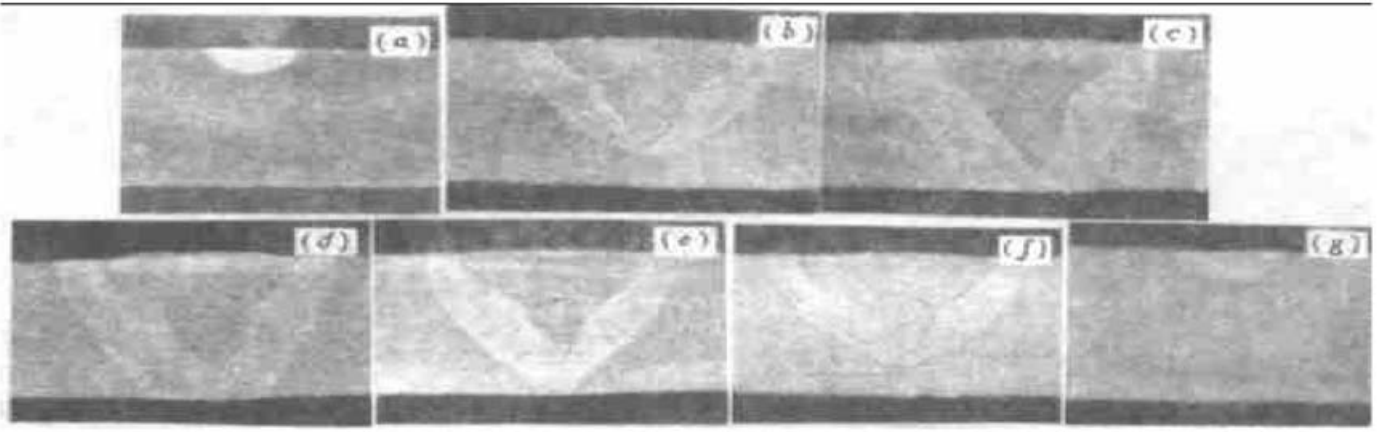
图 4 离焦量 Z 不同时的焊接断面组合照片

Fig. 4 Composite photos of cross sections of welds at different vertical focal points Z
 (a) - 3 mm; (b) - 2 mm; (c) - 1 mm; (d) 0; (e) + 1 mm; (f) + 2 mm; (g) + 3 mm

表 3 离焦量 Z 不同时的熔合参数Table 3 Welding parameters at different vertical focal points Z

Z /mm	- 3	- 2	- 1	0	1	2	3
welding depth/mm	0.18	0.86	1.11	0.99	0.82	0.88	0.16
welding width/mm	0.26	0.74	0.80	0.74	0.71	0.75	0.21
depth/width	0.69	1.16	1.39	1.34	1.15	1.17	0.76

特征。激光焊接钢件未生成小孔时,工件表面的火焰是橘红色或白色,一旦生成小孔,火焰变成蓝色,并伴有爆裂声(由等离子体喷出小孔产生)。所以,实践中总结出这样一种方法:先将工作台上的待焊工件在激光束作用下产生小孔效应的纵向上、下位置范围确定出来(以试验出蓝光、有爆裂声为准);取此位置范围的中间点作为焦点零位置的近似点(即认为此时激光束的焦斑平面正好在工件表面上);再以这个位置为起点,改变工件在工作台的上、下位置(离焦量大小)进行激光焊接;定量分析焊接结果,从而找出对待焊工件合适的离焦量数值。这种方法较准确地描述了实际情况,实践中,取得了很好的效果。

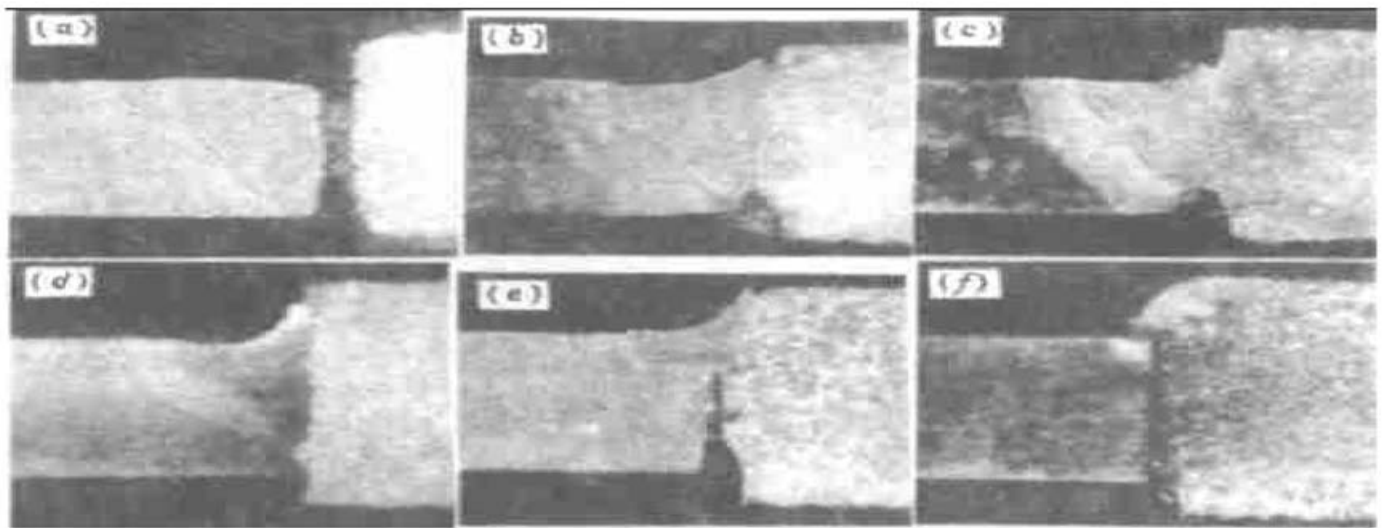
从图表中可看出,当焦斑远离工件表面或过于深入工件表面内部时,焊缝熔深不够,深宽比较小;当焦斑深入工件表面以下一适当距离(0~ 1 mm)时,方能得到熔深最大、缝宽较窄的理想焊缝,即此时合适的离焦量 Z 为 0~ - 1 mm。

3.4 横向偏移量

金刚石锯片的激光对焊焊接的是厚度不同的两种材料,属于角焊,因此光斑横向位置(偏移量)及激光入射方向对焊接质量有较大影响。

角焊时,为避免发生激光束垂直入射时光束被凸起刀头遮挡现象,减少刀头烧结体中易挥发成份的溅射,激光光束应偏离垂直工件的位置,斜向照射被焊工件,激光束入射锯片的光轴角一般为 5° ~ 11° ,本试验为 10° ;对金刚石锯片的角焊焊接,光斑横向位置应偏离焊缝结合面,朝刀体有一定的偏移量 Δ (0.15~ 0.30 mm),以保证刀头与刀体间有足够的熔合深度。

试验中进行了不同偏移量的激光焊接(偏移量由焊缝偏向刀体时为负值)。其他试验参数:激光功率为 680 W,焊速为 1 m/min,焦斑在试件表面,采用氩气保护(流量为 $2.5 \text{ m}^3/\text{h}$)。试验得出不同偏移量时的焊缝断面照片如图 5,测得的焊缝刀头与刀体的熔合深度如表 4 所示。

图 5 偏移量 Δ 不同时的焊缝断面组合照片Fig. 5 Composite photos of cross sections of welds at different offset Δ

(a) - 0.60 mm; (b) - 0.45 mm; (c) - 0.30 mm; (d) - 0.15 mm; (e) 0; (f) + 0.30 mm

表 4 偏移量 Δ 不同时的焊缝参数Table 4 Welding parameters at different offset Δ

Δ /mm	- 0.60	- 0.45	- 0.30	- 0.15	0	0.30
welding depth/mm	0.10	0.90	1.00	1.15	0.40	0.10

因而,刀头与刀体的焊接过程为:焦斑偏向刀体,刀体材料首先熔化而产生熔池,熔融刀体材料使刀头内侧一层也熔化,从而把刀体与刀头冶金结合在一起。偏移量 Δ 的变动应控制在 ± 0.05 mm 内,需严格控制夹具和锯片的精度。

试验研究表明,焊件间配合尺寸、工件装夹及表面状态、保护气体和锯片材料等对激光焊接质量有不同的影响。试验所得的金刚石锯片的抗弯强度为 1525 N/mm^2 ,最高可达 1800 N/mm^2 ,比钎焊值($350\sim 600 \text{ N/mm}^2$)高几倍。

参 考 文 献

- 1 Vanderwert T. Low Power (1 kW and below) Laser Welding. Industrial Laser Annual Handbook, 1986. 58~ 68
- 2 Lijun Li. Modern Laser Machining and Equipment. Beijing: Publishing House of Beijing Institute of Technology, 1993. 194~ 214 (in Chinese)

Experimental Study of Technological Parameters Laser Welding on the Diamond Tools

Shi Xiaoqiang

Li Lijun

(Wuyi University, Jiangmen 529020) (Hunan University, Changsha 410082)

Abstract A CO_2 laser of 800 W and TEM₀₀ mode has been successfully used for welding of the diamond tools. Through numerous experiments, a study of the effect of technological parameters, such as laser power, welding rate, vertical focal point and offset, upon welding quality of diamond tools is made and the optimal technological parameters of laser welding are obtained. The depth/width ratio being about 2 mm, and the maxium penetration depth about 1.2 mm are reached. The bond strength and the loading capacity of the diamond tools are greatly increased by the laser welding.

Key words diamond, tools, laser welding, technological parameters, bond strength