

金刚石圆锯片的激光焊接设备与工艺研究

朱海红 唐霞辉 朱国富 陈清明 李家镛

(华中理工大学激光技术与工程研究院,武汉 430074)

摘要:介绍了一种金刚石圆锯片的激光焊接系统,该系统采用半自动方式,由约束放电激励 CO₂ 激光器、三工位光路转换器、焊接工作台及工装夹具组成。采用该系统进行金刚石锯片的激光焊接,研究了激光焊接工艺参数及其对焊缝弯曲强度、焊缝外观、金相组织及显微硬度分布的影响。

关键词:激光焊接 金刚石圆锯片 三工位 工艺参数

Study of equipment and technology of laser welding for diamond saw-blades

Zhu Haihong, Tang Xiaohui, Zhu Guofu, Chen Qingming, Li Jiarong

(Institute of Laser Technology & Engineering, HUST, Wuhan 430074)

Abstract: In this paper, a system for laser welding diamond saw-blades is introduced. The system is made of CO₂ laser source excited by confined discharge, a three-position workbench for laser beam transformation, a welding worktable and welding fixtures. The system has been experimentally used to select the process parameters, and we found that the optimum laser power was in the range of 800W ~ 930W, the welding speed was from 20mm/s to 30mm/s.

Key words: laser welding saw-blade three-worktable process parameters

引 言

金刚石圆锯片广泛用于石材加工、建材等行业,用量极大。对于 $\varnothing 500\text{mm}$ 以下直径锯片,传统的连接方法采用钎焊或冷压烧结,其结合强度,特别是高温强度较低,在高速切削过程中,时有金刚石刀头飞出的事故发生。激光焊接金刚石锯片焊接强度高,提高了锯片使用的安全性,热影响区小,对金刚石没有影响,焊后锯片变形小,无需校正;可以实现焊接过程自动化,生产效率高,成本低^[1]。国外的锯片市场,特别是 $\varnothing 500\text{mm}$ 将全部采用激光焊接制造^[2],国内高速公路的切缝及部分石材加工行业已采用激光焊接锯片。为了成功高速地生产激光焊接锯片,必须有以下条件作保证:适合锯片焊接的激光焊接系统;其次是基体及刀头的过渡层材料要有较好的可焊性;再次是必须认真选择合适的烧结工艺及焊接工艺。

我们对以上问题进行了系统的分析与研究,介绍了一种新型实用的金刚石圆锯片激光焊接系统,该系统采用约束放电激励 CO₂ 激光器,光束质量好,能长时间稳定可靠地工作,三个工位可以单独或连续作业,生产效率高,选用半自动的装夹方式,方便实用。整个生产线国产化,价格约为进口同类产品的 1/3 ~ 1/4,而性能可与进口产品相当。在该系统上进行了工艺参数的优化试验,所焊锯片全部达到 DSA 标准,产品远销欧美。

1 激光焊接系统

如图1所示,该系统由激光器、三工位光路转换器、工作台及工装夹具组成。激光器发出的光将通过三工位光路转换器的反射镜的不同组合到达各个工位,焊接工作台带动锯片旋转,并可以调整一定的倾角,以满足焊接倾角的需要;工装夹具起定位和夹紧刀头的作用。系统工作过程如下:激光器光闸开启后,激光到达反射镜1,反射镜1将激光反射到激光吸收堆并被吸收;假设在A工位焊接,按下开启开关,接通保护气体,延时2s后气缸动作,反射镜1在气缸的驱动下离开光轴,激光进入A工位的45°反射镜中,经聚焦透镜聚焦后到达工件进行激光焊接,回转工作台同时旋转一周,即完成锯片一面焊接,然后停光、气、工作台,其它工位即可工作,这种操作系统既能联动工作又能单独工作,并且以工人的操作快慢定开光先后,简便灵活。

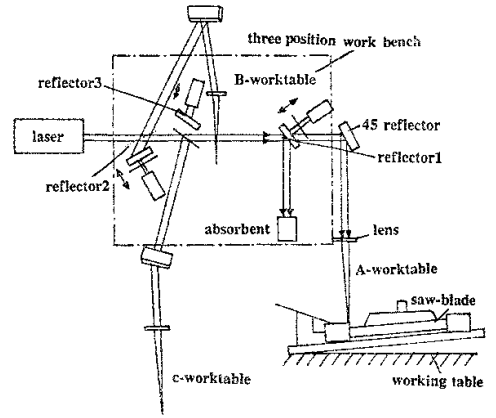


Fig.1 Setup of the welding system

激光器采用约束放电激励技术,光束质量好,稳定可靠,效率高,消耗低^[3]。系统的主要技术指标:

额定输出功率: $P \geq 2000\text{W}$

焊接范围: $\varnothing 105 \sim \varnothing 450\text{mm}$

光束模式: $\text{TEM}_{00} + \text{TEM}_{01}$

旋转速度: $0.2 \sim 10\text{r/min}$

2 试验条件

2.1 材料的选择

在我国,常采用65Mn, T12等高碳钢作钎焊或烧结锯片基体,这类材料在激光焊条件下极易开裂,这是因为焊后的快速冷却使其淬火产生高碳马氏体。所以,国内外均采用低碳合金钢作基体。刀头的过渡层成分对焊接效果亦有较大影响,本试验选用Co基合金、Fe基合金、Cu基合金、Ni基合金4种材料作过渡层,并分析了不同焊接条件下的焊缝强度。

2.2 焊缝检验与分析条件

首先目测焊缝的外观成形和焊接缺陷,然后在美国LECO公司的M-400-H₁型显微硬度计上检测显微硬度,用金相显微镜观察焊缝成形和金相组织,并在自制的金刚石锯片弯曲强度仪上检测焊缝弯曲断裂强度。

3 焊接工艺试验

激光功率 激光功率是决定焊缝穿透深度的主要参数,在一定的焊接功率下,有一最大板厚。功率越高,允许的焊接速度越快,生产效率高,但激光器一次投资大。过高的焊接功率会使飞溅增加,焊缝表面形成一波一波的凸起和孔洞。一般地,规格越小,基体越薄,所需的激光功率越小。表1为部分规格金刚石锯片在本试验条件下的最佳工艺参数范围。

焊接速度 焊速越快,焊缝及热影响区越窄,熔深变浅。一定的激光功率下,为焊透一定

Table 1 Summary of laser welding parameter for some specifications diamond saw-blade

	specification(mm)					
	Ø105	Ø230	Ø300	Ø350	Ø400	Ø500
steel thickness(mm)	1.3	1.8	2.0	2.2	2.8	3.2
laser power(W)	720 ~ 800	800 ~ 930	920 ~ 1000	1050 ~ 1200	1200 ~ 1350	1400 ~ 1600
welding speed(mm/s)	35 ~ 50	20 ~ 30	12 ~ 18	12 ~ 15	9 ~ 12	7 ~ 10

板厚,有一最大焊速。焊速太慢,刀头材料烧损严重,热影响区宽,焊接强度降低。

焦点位置 一般采用负离焦,焦点与被焊材料表面的距离约为板厚的 1/3,因刀头是粉末冶金材料,焊接时易产生飞溅污染透镜,所以激光应偏向基体侧 0.1mm 左右,又由于是角焊缝,故入射激光应倾斜 5°~15°左右,如图 2。

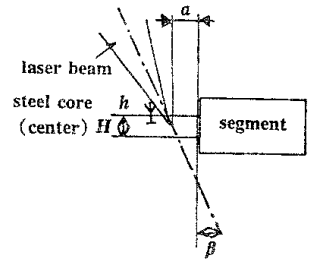


Fig.2 The beam focus point position and the workpiece
 a—offset(0.1mm) h—focus point height(H/3) H—material thickness
 β—incident angl(5°~15°)

4 焊接质量分析

4.1 焊缝强度

以 Ø230mm 锯片为例,分析了焊缝强度与被焊材料、激光功率、焊接速度之间的关系。Ø230mm 锯片的技术参数为:基体厚度:1.8mm,刀头高度:8mm,刀头厚度:

2.4mm,刀头长度:40mm。焊缝强度与被焊材料有很大的关系,由于基体材料一定,所以,过渡层材料的成分就显得非常重要,表 2 为 Co 基、Fe 基、Ni 基、Cu 基 4 种合金材料焊后的侧弯试验结果。焊接条件如下:激光功率 880W,焊接速度 25mm/s,离焦量约为 0.2mm,双面焊接。共检测了 10 个试样,断裂几乎都发生在刀头,少数发生在焊缝,焊缝的弯曲强度计算式为:
 $\sigma \geq 6M/EL^2$ 式中, M 为最大断裂弯矩, E 为基体厚度, L 为刀头的长度。

Table 2 Welding strength of some materials(N/mm²)

materials	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	average
Co alloy	1078	1303	830	1009	993	852	955	1030	1020	980	1005
Fe alloy	839	803	617	779	856	689	953	827	902	745	801
Ni alloy	666	599	756	668	566	716	784	813	656	696	693
Cu alloy	664	791	726	748	708	626	759	780	690	708	656

由表 2 可见,Co 基合金材料有最好的弯曲强度,平均达 1000 N/mm² 以上,最高可达 1300N/mm² 以上,Fe 基、Ni 基、Cu 基合金材料只要合理选择合金元素,亦能有较高的焊接强度,虽不及 Co 基合金材料,但经我们实际使用,也能满足使用要求,这为降低成本和解决过渡层及金刚石层结合强度低的矛盾提供了很好的途径。强度分布的不均匀性,估计与焊缝中气孔的分布形态和数量有关。

激光功率与焊接速度也对焊缝强度有很大的影响,图 3 为 Fe 基合金的激光功率及焊接速度与缝强度的关系曲线,由图可见,速度一定时,焊缝强度有一临界区,当功率低于其下限 750W,强度随着功率增加而增加,这是因为随着功率增加,熔深增加结合强度增加的缘故;当功率大于临界区的上限 950W 时,强度反而随功率增加而降低,这可以解释为:过高的功率烧损了焊

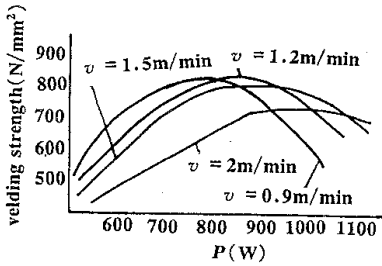


Fig. 3 The relationship of laser power and welding speed with welding strength (Fe alloy, $\varnothing 230\text{mm}$ steel thickness :1.8mm)

但焊缝中的微观气孔不管如何改变工艺参数,仍难以避免,这是因为暴露在空气中烧结的刀头内的孔隙吸附了大量的空气,在激光焊接条件下,来不及逸出而残留在焊缝中形成气孔。

图4是焊缝区的显微硬度分布。由图可见,焊缝区的硬度略高于基体材料,这是由于在快速凝固条件下焊缝区组织细化的结果;刀头的过渡层硬度比基体低,是因为刀头是粉末冶金材料,内含大量孔隙,致密性差^[4]的缘故。同样的条件下,Ni基材料的硬度最高,而Cu基材料稍软,整个焊缝区无明显的软化区存在,不影响锯片的耐磨性。

4.3 焊缝外观

焊缝表面未发现夹杂、裂纹、咬边等明显缺陷,但在有的焊缝中有少量的孔洞存在,这是由于刀头在空气中烧结,合金元素被氧化,氧化物对激光能量的吸收率比纯净合金元素大得多,因过热产生孔洞。高速焊接易出现缺口,对 $\varnothing 230\text{mm}$ 而言,在本试验条件下,当速度大于 35m/s 时,缺口明显,在强度检验中,缺口处产生应力集中而使焊接强度降低。

5 结 论

(1)该系统能很好地满足激光焊接金刚石锯片的要求,光束质量好,效率高。(2)Co基合金、Fe基合金、Ni基合金、Cu基合金作刀头的过渡层材料都能满足锯片切割要求,但以Co基合金的焊接效果最好。(3)每一规格锯片都有一最佳工艺参数范围,就 $\varnothing 230\text{mm}$ 而言,在本试验条件下,最佳焊接工艺参数为:激光功率 $800\text{W} \sim 930\text{W}$,焊接速度范围 $20\text{mm/s} \sim 30\text{mm/s}$ 。

参 考 文 献

- 1 Weber G. Industrial Diamond Review, 1991 (3):126 ~ 128
- 2 唐霞辉,朱海红,朱国富. 中国机械工程, 1997 (7):110 ~ 112
- 3 卢宏,胡菁,陈清明. 激光技术, 1998, 22(3):161 ~ 163
- 4 宋守今. 粉末冶金工艺学. 北京:科学普及出版社, 1987:9

作者简介 朱海红,女,1968年3月出生。硕士,讲师。现从事宏观材料的激光加工工艺及设备的研究开发工作。

缝区的合金元素,使焊缝的强度和机械性能下降,也因为高的焊接功率使焊缝成形恶化,表面孔洞增多,强度下降。过高的焊接速度会使强度降低,这是因为焊缝中的气孔增多,有效承载面积减少从而使强度降低。

4.2 金相分析

将上面 $\varnothing 230\text{mm}$ 锯片做金相分析和显微硬度分析,结果表明:在功率为 $800\text{W} \sim 930\text{W}$,速度为 $20\text{mm/s} \sim 30\text{mm/s}$ 时,刀头与基体材料熔合良好,焊缝呈双酒杯形,无裂纹、未焊透等焊接缺陷存在,

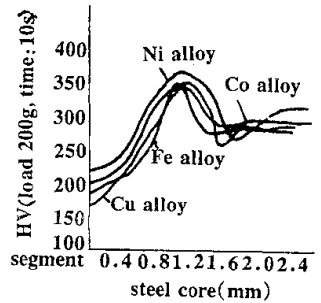


Fig. 4 The hardness distribution of welding seam ($\varnothing 230\text{mm}$, 880W , 25m/s)