

# 激光焊接金刚石锯片焊缝强度的研究

朱海红 唐霞辉 朱国富

(华中理工大学激光加工国家工程研究中心, 武汉, 430074)

摘要: 从材料、工艺两个方面较详细地分析了影响激光焊接金刚石锯片焊缝强度的几个主要因素, 分析了这些因素对焊缝强度产生影响的原因, 并就如何提高焊缝强度作了讨论。

关键词: 激光焊接 金刚石锯片 焊接强度

## Research of welded seam strength of laser welded diamond saw

Zhu Haihong, Tang Xiahui, Zhu Guofu

(National Engineering Research Center for Laser Processing, HUST, Wuhan, 430074)

**Abstract:** This article proposes the three major factors influencing the welded seam strength of laser welded diamond saw: (1) selecting proper and well weldable substrate materials; (2) selecting sintering procedure parameters, such as sintering temperature of 650°C~750°C, synthetic pressure of 20 MPa, temperature holding time of 4 min; (3) selecting welding parameters, such as welding power 1kW, welding speed 1m/min, shift amount 0.1~0.25mm.

**Key words:** laser welding diamond saw welding line strength

### 引 言

金刚石锯片已广泛应用于石材加工行业和建材行业, 它是在钢的基体上焊接一种由金刚石颗粒与胎体材料组成的复合烧结体, 常称之为刀头。目前, 国内采用的连接方法主要是钎焊和冷压烧结。冷压烧结主要用于小片, 钎焊锯片的基体、刀头结合面靠钎料熔化渗透而连接, 抗弯强度低, 其弯曲强度仅为 350~600N/mm<sup>2</sup>, 承载能力差, 特别是干切时, 锯片由于受热到高温时钎料软化, 常导致刀头脱落, 而引起伤害操作人员的危险, 所以, 国外从 80 年代后期就发展激光焊代替钎焊。激光焊与钎焊比较, 有许多显著优点, 由于激光受热面积小, 热影响区小, 故大大减少了应力和基体的变形; 对金刚石没有影响, 保证了产品的最佳性能, 特别是激光焊属于熔化焊, 结合强度高, 其弯曲强度达 1800N/mm<sup>2</sup>, 可应用于干切场合<sup>[1]</sup>。由于金刚石锯片材料的特殊性, 并且是异种材料的焊接, 所以给激光焊接带来一定难度。在我国, 近几年来也有少数几家单位从事这方面的研究探索工作, 但有关这方面的报道还不多, 作者已从事激光焊接金刚石圆锯片的研究和应用开发工作多年, 取得了一定成绩。激光焊接金刚石锯片的焊缝强度是决定锯片质量的一个重要参数, 影响焊缝强度的原因很复杂, 因素繁多, 包括材料、工艺、焊前准备、焊接设备及焊接工艺参数等等, 我们主要讨论材料、刀头烧结工艺及焊接工艺参数对焊缝强度的影响, 并就如何得到高的焊缝强度作了分析与讨论。

### 一、材 料 的 影 响

材料是影响焊缝强度和质量的第一要素, 材料的可焊性直接关系到焊接质量的好坏。

1. 基体材料 锯片工作时受强烈冲击和震动, 所以, 基体材料必须强度高, 不易变形, 耐

冲蚀。在我国,主要是由含碳量高的 65Mn 或工具钢制成,这两种材料含碳量高,焊接性能都不好,用 65Mn 作基体,焊后常在热影响区产生裂纹而断裂,这是因为 65Mn 属高碳钢,在快速加热冷却过程中,热影响区产生了大量的高脆性的高碳马氏体,虽然采用预热、焊后保温可以保证焊缝韧性,但是给焊装夹具,生产过程带来很大不便,所以不用<sup>[2]</sup>。后来发展用 45<sup>#</sup> 钢、40Cr 作激光焊片基体,虽然有较好的焊接性,但由于基体强度不够,易变形,所以,生产出来的金刚石锯片切缝宽,浪费石材,不受客户欢迎。用作激光焊接的基体材料必须是高强度的特种低合金钢。

2. 刀头材料的影响 由于金刚石在高温下易石墨化,激光焊接时会在焊缝中出现空洞,故刀头必须设置 1mm~ 1.5mm 的过渡层,如图 1 所示。

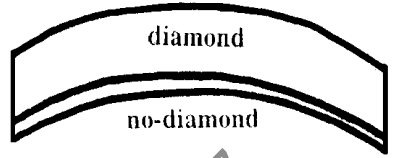


Fig. 1 Laser welding diamond saw segment

过渡层材料对焊缝强度、外观、性能均有很大影响。实践证明:钴粉有很好的焊接性,但由于价格昂贵,所以,一般选用特殊的钴混合物。在试验中还发现,Wc 的含量严重影响着焊缝性能,Wc 虽能增加焊缝和过渡层的耐磨性,但含量过高会导致空洞及夹渣等严重焊接缺陷,严重时还会引起脆断。为解决过渡层较金刚石层易磨损、在切削过程中常先断裂的矛盾,在过渡层材料中加入少量的 Mn 和 Cr,不仅能产生固溶强化,增加耐磨性,而且能减少气孔。

由于刀头是粉末冶金材料,不可避免地存在孔隙,且极易吸附空气中的水分以及内含的挥发性的填充物都会使焊接时出现气孔,严重时连成片成为孔洞,严重降低焊缝强度,影响外观质量。在实验中我们发现,Mn, Si, Cr, Ni 等几种金属元素在一定范围内能有效降低气孔倾向,显著提高焊缝强度,这是因为这些元素与烧结刀头中的氧元素发生反应,降低了气孔倾向,增加了焊缝有效承载面积,另一方面是因为在焊缝结晶组织中,产生了固溶强化、细化晶粒的结果。此外,切削层和过渡层的成分如果差别太大,则在两层交接处由于受热受力的不均匀而产生断裂,因此,刀头成分不仅要顾及焊接性能,而且还要照顾金刚石层的切削性能以及与金刚石能良好结合。

## 二、工艺的影响

1. 刀头烧结工艺 刀头烧结工艺对刀头性能及随后的焊接性能都有很大影响,致密而机械性能较好的刀头较疏松而机械性能差的刀头在相同的条件下有更好的焊接性。刀头的性能不仅与中间过渡相、骨架相有关,还与缺陷有关。在材料一定时,要使刀头性能优良,关键在于设法消除和减少其内部相结构中的缺陷,即孔隙,这可用增大合成压力、选择理想的烧结条件以改善粉末的收缩过程、用净化和细化粉末等方法来达到目的<sup>[3]</sup>。随着压力和烧结温度的提高,粉末体孔隙由大到小,孔隙数量由多到少,孔隙由连通孔隙变化到封闭孔隙,这时刀头密度增加,粉末颗粒间作用面积不断增大,粉末颗粒之间不断咬合、绞结,形成很强的粉末颗粒间联结力,从而使刀头的硬度、强度增大,具有较好的机械性能。孔隙的缩小、粉末间的相互扩散、相互作用是需要一定时间的,在实验中我们发现,保温时间太短,刀头很难满足焊接要求,保温时间太长,生产率低,浪费水电,成本加大。一般地,保温时间只要大于 2~ 3min 即可满足要求。此外,保温压力也有很重要的影响,在理论上,保温压力越大,刀头的密度越高,但是受石墨模具的限制,过大的压力将使石墨模具的寿命变短甚至损坏。烧结温度对金刚石强度影响较大,温度越高,金刚石强度越低,人造金刚石的碳化温度为 740℃~ 838℃,因此,从金刚石强度的角度来考虑,烧结刀头时在保证刀头物理及机械性能的前提下,应尽量降低烧结温度。刀

头的密度是不能达到理论值的,刀头内不可避免地存在孔隙,但是合适的压力、温度以及保温时间、粉末混合时间都是保证刀头致密和均匀的重要条件,从而保证有良好的焊接性能。我们所有试验用刀头都是在郑州磨具磨料磨削研究所生产的 RYJ-15 型热压机上烧结的。该机最大成形压力 15T,可预设温度与保温时间。试验表明,当单位压力在 20MPa 左右,温度在 650℃~750℃之间,保温时间为 4min 时,即可得到既能满足激光焊接需要、又不损坏模具、金刚石性能的刀头。

2. 焊接工艺 从某种意义上说,焊接工艺是决定焊缝强度的关键,焊前准备、焊接功率、焊接速度、焦点位置、偏移量及保护气体流量等都对焊接质量产生重要影响。刀头与基体在焊前均应除油、清洁、除水,以减少气孔的产生,此外,刀头的磨弧也是很重要的一环,由于激光焦点极小(通常在 0.4mm 以下),保证刀头与基体吻合良好是好的焊接质量的前提,基体与刀头的配合间隙应在 0.1mm 以下,以减少漏光损失,得到高的焊接质量。(1) 激光功率: 决定焊缝穿透深度的主要参数,激光功率越高,允许焊接的板厚越大,速度越快,生产率高,但激光器一次性投资大。在锯片规格一定时,功率太低,熔深浅,不能焊透,强度低;功率太高,熔池翻转,焊缝产生一波一波的凸起和孔洞,严重削弱了焊缝有效承载面积,强度降低,并严重烧损过渡层的合金元素,过渡层热影响区晶粒粗大,呈疏松状,降低了过渡层的物理和机械性能。1000W 的激光功率,在焊速约为 1m/min,双面焊接基体厚 2mm 的锯片时,可得到比较好的焊接效果。(2) 焊接速度: 当焊接功率一定时,焊接速度成为影响焊缝强度的主要因素。焊接速度太快,气体来不及逸出,焊缝中易产生气体,且熔深浅,不能焊透;焊接速度太慢,生产率低,成本高,热影响区常因过热晶粒粗大而脆断,工件变形也大。(3) 偏移量: 激光焊接金刚石锯片时,由于刀头比基体厚,且由于是粉末冶金材料,焊接时极易产生气孔,所以,常采用激光适当偏向基体一侧并带有一定角度,以产生角焊效果。激光入射点与焊缝中心线的距离,我们称之为偏移量,偏移量的大小对焊缝强度也会产生很重要的影响。偏移量太大,焊缝外观很漂亮,但刀头未焊上或焊得很少,实为假焊;偏移量太小,气孔多,影响外观质量,也降低焊缝强度。合适的偏移量可使焊缝外观平整,无明显的焊接缺陷,抗弯检验时,焊缝弯曲强度高于或等于母材。为获得最好的角焊效果,激光的入射角一般选在  $4^\circ \sim 11^\circ$  左右,偏移量约为 0.1mm~0.25mm。另外,焦点位置同样对焊接质量产生重要影响,一般采用负离焦,焦点距基体表面的距离约为板厚的 1/3,如图 2 所示。(4) 保护气体流量: 在激光焊接中,保护气体的流量也起着重要作用。保护气体不仅用来保护焊接区不被氧化,而且还用来保护聚焦透镜。气流量太小,起不到保护作用,焊缝氧化,呈脆性;气流量太大,吹翻了熔池,焊接过程不稳定,易产生凹凸不平的焊缝,并常吹成空洞,焊缝强度低。保护气体流量与喷嘴口径、喷嘴与工件距离都有关。常用氩气作保护气体。

在实际生产中我们还发现,少量的、不连续的微观气孔并不影响锯片的使用性能,但焊缝中的裂纹则显著降低焊缝强度。

### 三、结 论

1. 基体材料与刀头材料对焊接强度有决定性的影响,作为激光焊接的基体材料,必须是焊接性能良好、特殊的高强度低碳钢,刀头材料并不是唯一的,一般选用特殊的 Co 混合物。

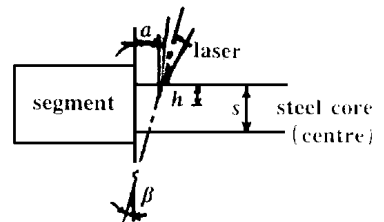


Fig. 2 Position of laser-work  
 $\beta$  - beam angle  $a$  - offset  $h$  - focal point height  $s$  - material thickness

# 板条激光器 VRM 光腔输出激光光束质量实验比较\*

吕百达 冯国英 孔繁龙 蔡邦维  
(四川大学激光物理与化学研究所, 成都, 610064)

摘要: 针对磷酸盐钕玻璃板条激光器, 采用含不同 VRM 的不同谐振腔型对输出激光光束质量进行了实验比较研究, 与普通平凹腔的光束质量也作了比较。测量系统经过数据校核, 结果是正确的, 所得测量结果对 VRM 在板条激光器中的应用有参考价值。

关键词: 磷酸盐钕玻璃板条激光器 变反射率镜 光束质量因子  $M^2$

## Experimental comparison of the output beam quality for the Nd: glass slab laser with VRM

*L Baida, Feng Guoying, Kong Fanlong, Cai Bangwei*  
(Institute of Laser Physics and Chemistry, Sichuan University, Chengdu, 610064)

**Abstract:** By using different types of resonators with different VRMs for the Nd glass slab laser, the experiments have been performed and the output beam quality has been compared. A comparison with plane-concave resonator has been made too. The diagnostic system has been tested and verified, the measurement results are correct, the results obtained in this paper would be useful for the application of VRM to the slab laser.

**Key words:** Nd: glass slab laser variable reflectivity mirror (VRM) beam quality factor  $M^2$

### 引 言

变反射率镜 (VRM) 可消除硬边光阑效应, 改变谐振腔损耗的空间分布, 提高腔的横模鉴

\* 国家高技术强辐射重点实验室基金项目(H-96-1)资助。

2. 刀头的烧结工艺是影响焊缝强度的重要因素之一, 烧结温度、合成压力、保温时间等工艺参数, 不仅影响着刀头的使用性能, 而且影响焊接性能。

3. 焊接工艺是影响焊缝强度的另一重要参数, 其中焊接功率、焊接速度、偏移量是影响焊缝强度的关键因素, 合适的焊接工艺参数才能得到强度高、外观质量好的焊缝, 也才能得到高质量的锯片。

### 参 考 文 献

- 1 Schneider W. Industrial Diamond Review, 1985; (5): 242
- 2 唐霞辉, 朱海红, 朱国富. 中国机械工程, 1997; (7)
- 3 李晓星, 王 柱, 王少阶. 磨料、磨具与磨削, 1988; (1): 24~ 26
- 4 Mosca E, Marchetti A, Lampugnani U. Laser welding of PM materials. Proceedings PM- 82, International Powder Metallurgy Conference 1982, Florence, Italy, Associazione Italiana di Metallurgia, Milano, Italy, 101

作者简介: 朱海红, 女, 1968 年 3 月出生。硕士, 讲师。现从事高功率激光加工的研究应用开发工作。

收稿日期: 1997-07-29