

光束偏移量对金刚石锯片激光焊接质量的影响

夏锦华* 殷 声

(北京科技大学, 北京, 100083)

叶宏煜 胡恩良

(深圳森达超硬材料有限公司, 深圳, 518000)

摘要: 光束偏移量是金刚石锯片激光焊接的一个重要的工艺参数, 它直接影响焊缝中的气孔、成分及其分布和组织。

关键词: 激光焊接 金刚石工具 光束偏移量

Effect of beam alignment on laser welding quality of diamond saw blade

Xia Jinhua, Yin Sheng

(Beijing University of Science and Technology, Beijing, 100083)

Yie Hongyu, Hu Enliang

(Shenzhen Shenda Superhard Material Co., Ltd., Shenzhen, 518000)

Abstract: The diamond impregnated segments and steel core were welded by a high power laser in horizontal arrangement to achieve the very high bond strength. The theoretical and experimental study show that the beam alignment or beam shift will significantly effect the welding quality, such as the pore density in seams, microstructure, composition distribution of the seams. It is proved that the 0.1mm beam shift to steel substrate is the best to obtain the high bond strength.

Key words: laser welding diamond tool beam alignment

* 现在北京市电加工研究所工作。

用相位信息板(KPP)等束匀化技术可控制单光束的光强分布, 随着光束间能量或功率不平衡、光束指向误差、球靶不完善程度的降低, 球靶的辐照均匀性不断提高, 实现激光直接驱动聚变所要求的辐照均匀性是有希望的。

参 考 文 献

- 1 Mccrory R, Verdon C. Inertial Confinement Fusion. Compositori, Italy: Bologna, 1989: 183
- 2 Skupsky S, Lee K. J A P, 1983; 54(7): 3662~ 3671
- 3 肖 峻, 吕百达, 袁晓东 *et al.* 强激光与粒子束, 1998; 10(2): 234~ 238
- 4 Schmitt A J. A P L, 1984; 44(4): 399~ 401
- 5 Murakami M, Nishara K, Azechi H. J A P, 1993; 74(2): 802~ 808
- 6 Eimerl D, Rothenberg J, Key M *et al.* SPIE, 1995; 2633: 170~ 182

作者简介: 肖峻, 男, 1958 年出生。副教授, 在职博士生。现主要从事光束的传输变换研究和教学工作。

引 言

金刚石锯片的激光焊接是 80 年代出现的新技术, 焊接强度, 尤其是高温强度大大高于传统的钎焊锯片^[1]。国外中小型锯片($\phi 100\text{mm} \sim \phi 350\text{mm}$) 的焊接已逐步采用激光焊接。锯片的激光焊接属于异种材料间的焊接。焊缝的气孔, 成分和组织对锯片焊接质量有重要的影响。光束偏移量是指焊接时激光光斑中心相对于焊件对接线位置的距离, 它对焊缝的气孔、成分和组织有很大的影响。

1 试验方法

将刀头胎体粉末和过渡层粉末装入石墨模具中热压, 热压温度 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$, 压力 20MPa , 时间 10min 。刀头胎体材料为 45% 6-6-3 青铜, 粒度 - 200 目, 纯度 99.5%; 40% 钴, 粒度 - 200 目, 纯度 99.7%; 10% 碳化钨, 粒度 - 200 目, 纯度 99.5%; 15% 镍, 粒度 - 200 目, 纯度 99.8%。在刀头底部待焊处设厚约 1.0mm 的过渡层(为改善焊接性), 其成分为 Fe, Ni。锯片基材为 40Cr 钢。试验采用 5kW 横流电激励连续 CO_2 激光器, 工艺参数为: 光束模式: TEM_{01} ; 激光功率: 2kW ; 焊接速度: $20\text{mm}/\text{min}$; 离焦距: -0.5mm (焦平面以下); 光束倾角: 8° 。焊接系统见图 1。

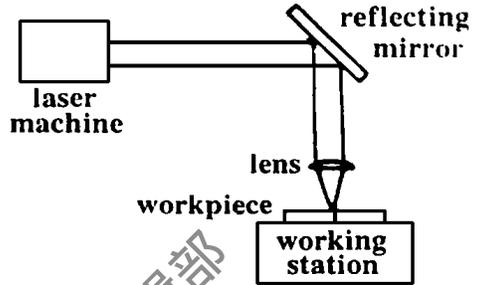


Fig. 1 Schematic diagram of laser welding

2 结果与讨论

2.1 偏移量对焊缝气孔的影响

试验初期, 激光束直接作用于试样对接处, 结果发现焊缝中存在气孔, 经分析, 气孔是由于刀头过渡层孔隙中的气体引起的。因此, 考虑将光束偏向钢基侧, 以减少焊缝中的气孔, 试验表明, 焊缝中的气孔对光束偏移量十分敏感, 当偏移量由负变到正时(该光束偏于刀头, 偏移量为负; 偏向钢基侧, 偏移量为正), 焊缝中的气孔尺寸由大到小, 数量由多变少, 图 2a, 图 2b 分别是偏移量为 0 和 $+0.10\text{mm}$ 时焊缝的 SEM 形貌相片。正的偏移量降低焊缝中的气孔的原因可解释如下: 假设焊缝中刀头过渡层材料所占体积为 V_1 , 孔隙度为 θ , 钢基材料所占体积为 V_2 , 钢基为致密材料, 孔隙度为零, 熔池中既无外界气体卷入也无内部气体逸出, 焊后焊缝的气孔率 θ'

$$\theta' = V_1\theta / (V_1 + V_2) = \theta / (1 + V_2/V_1) \quad (1)$$

从(1)式中可见, 随着 V_1 减少, V_2 增大(偏移量增大), θ' 减小, 即焊缝中的气孔率下降。

2.2 偏移量对焊缝成分的影响

表 1 列出不同偏移量下焊缝

的 Cr, Ni 含量的检测结果, 随着正偏移量的增加, 焊缝中 Cr 含量增加, 而 Ni 含量减小。可以

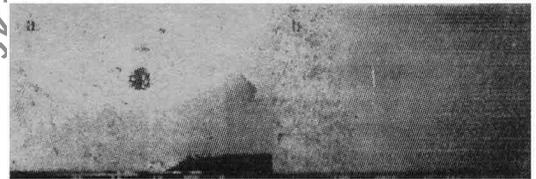


Fig. 2 The effect of beam alignment on pores in welded seam a—no alignment b—alignment to steel bank 0.1mm

Table 1 Compositions of Ni, Cr in welded seam under the condition of different beam alignments

beam alignment (mm)	- 0.10	0	0.05	0.10	0.15
Ni (wt%)	8.83	7.67	4.98	2.61	0.93
Cr (wt%)	0.16	0.18	0.56	0.67	0.83

用“熔合比”的概念来解释这一结果。熔合比是指母材中合金元素在焊缝成分中所占比例,它与许多因素有关。当其它条件一定时,光束偏移量直接决定了熔合比的大小。熔合比 γ 由母材在焊缝成分中所占的比例确定^[2]: $\gamma = F / (F_{\text{钢}} + F_{\text{刀头}})$ (2)

式中, $F_{\text{钢}}$ 为熔化的钢基在焊缝截面上所占面积, $F_{\text{刀头}}$ 为熔化的刀头在焊缝截面上所占面积。

设熔池直径为 d (近似认为与光斑直径等值), 则(2)式可演变为(3)式

$$\gamma = \frac{(d/2 + \Delta l) h_2}{(d/2 + \Delta l) h_2 + (d/2 - \Delta l) h_1} \quad (3)$$

式中, Δl 为光束偏移量, h_1 为刀头厚度, h_2 为钢基厚度, 见图3。

Fig. 3 Schematic diagram for determining solution rate and composition of welded seam

焊缝中某种合金元素的含量 X_M , 用(4)式计算, 便可求出不同偏移量 Δl 对应的焊缝成分(见表2):

$$X_M = (1 - \gamma) X_b + \gamma X_s \text{ (不计元素的烧损量)} \quad (4)$$

式中, X_b , X_s 分别为刀头材料、钢基材料中某合金元素的含量。已知: $h_1 = 2.2\text{mm}$, $h_2 = 1.8\text{mm}$, $d = 0.4\text{mm}$, $X_{b_{\text{Ni}}} = 10\%$, $X_{b_{\text{Cr}}} = 0$, $X_{s_{\text{Ni}}} = 0.35\%$, $X_{s_{\text{Cr}}} = 0.8\% \sim 1.16\%$ 。

Table 2 Calculated composition in different beam alignment

beam alignment (mm)	- 0.10	0	0.05	0.10	0.15
solution rate γ	0.21	0.45	0.58	0.71	0.85
X_{Ni} (wt%)	7.93	5.65	4.43	3.04	1.78
X_{Cr} (wt%)	0.17~ 0.24	0.36~ 0.50	0.46~ 0.63	0.57~ 0.78	0.68~ 0.94
X_{C} (wt%)	0.07~ 0.09	0.17~ 0.20	0.21~ 0.26	0.26~ 0.31	0.31~ 0.38

对比表1和表2, 发现计算值与实际值大体上一致。

2.3 焊缝成分的控制

为了获得优质焊接接头, 焊缝的成分必须控制在一定的范围。既然光束偏移量对焊缝成分有很大影响, 那么就可以通过光束偏移量来控制成分。焊缝中的碳含量对焊缝的组织 and 性能影响很大, 碳含量过高, 焊后焊缝中会出现中、高碳马氏体组织, 焊缝脆化; 碳含量过低, 焊缝强度将受影响。下面以焊缝中的碳含量为指标 ($X_{\text{C}} < 0.25\%$) 来计算光束偏移量。未加填充金属时, 焊缝中的含碳量 X_{C} , 可用下式计算:

$$X_{\text{C}} = X_{\text{C}_1} \gamma + X_{\text{C}_2} (1 - \gamma) \quad (5)$$

式中, X_{C_1} 是40Cr钢基的碳含量 ($X_{\text{C}_1} = 0.37\% \sim 0.45\%$); X_{C_2} 是刀头过渡层的碳含量, 近似为零; γ 是熔合比。

假定碳在焊接时的损失可忽略不计, 则 $X_{\text{C}} = X_{\text{C}_1} \gamma$, 已知 X_{C_1} , X_{C} , 便可求出 γ , 结合(3)式进而可求出偏移量 $\Delta l = 0.04 \sim 0.09\text{mm}$ 。考虑到偏移量对气孔的影响, 试验中取 $\Delta l = 0.1\text{mm}$ 。在此条件下, $X_{\text{Cr}} = 0.57\% \sim 0.78\%$, $X_{\text{Ni}} = 3.04\%$ 。

2.4 偏移量对焊缝组织的影响

图4是不同偏移量下获得的焊缝组织, 随着偏移量的增大, 焊缝中马氏体量减小, 而铁素

体量增多。马氏体形态也有所变化,从板条马氏体向片状马氏体转化。从 Schaeffler 状态图中可以看出^[3],在靠近过渡层侧(富 Ni, 贫 Cr),组织为马氏体加少量先共析铁素体,见图 4b;在靠近钢基侧(富 Cr, 贫 Ni),组织为枝状先共析铁素体加马氏体组织,见图 4c。

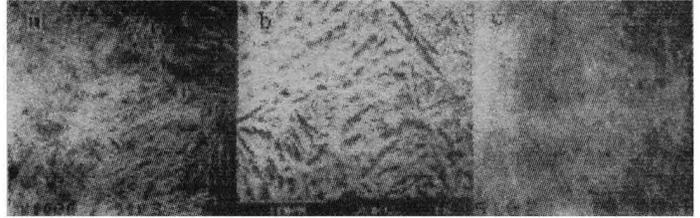


Fig. 4 The microstructure of welded seam for different beam alignments
a—beam alignment - 0.15mm b—no beam alignment c—beam alignment 0.15mm

2.5 偏移量对焊接接头机械性能的影响

试验测试了在相同焊接条件下,不同偏移量的焊接接头的三点抗弯强度。试样尺寸为 20mm × 8.0mm × 2.0mm,图 5 是光束偏移量与抗弯强度的关系曲线。图中可见,随着偏移量的增加,抗弯强度呈线性增加,这与前面提及的焊缝中的气孔及组织有关;光束偏移量也不宜过大,否则会导致强度的下降。

3 结 论

(1) 对于金刚石锯片的激光焊接,光束偏移量对焊缝中的气孔有很大的影响,当光斑中心偏向钢基(0.1mm),可减少焊缝中的气孔。

(2) 光束偏移量会影响焊缝的成分,通过调整光束偏移量可控制焊缝成分。

(3) 焊缝组织对光束偏移量敏感,在合适的光束偏移量下($\Delta l = 0.1\text{mm}$),焊缝可获得性能较好的铁素体与马氏体的混合组织控制焊缝成分。

(4) 当光束偏移量 $\Delta l \leq 0.1\text{mm}$ 时,焊接接头可获得最大的强度。

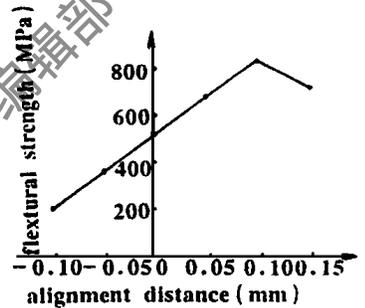


Fig. 5 Diagram of flexural strength v. s. beam alignment

参 考 文 献

- 1 Weber G. Industrial Diamond Review, 1991; (3): 126
- 2 何康生,曹雄夫. 异种金属焊接性. 北京:机械工业出版社,1986
- 3 依斯特林格 K. 焊接物理冶金导论. 北京:机械工业出版社,1989

作者简介:夏锦华,男,1967年12月出生。工程师。现从事材料激光加工方面的工作。
殷声,男,1945年8月出生。教授。现从事陶瓷材料及其加工技术方面的研究。

收稿日期:1998-08-24 收到修改稿日期:1998-11-30