

# 硬质合金与 M42 高速钢的激光钎焊组织及性能

尚晓峰<sup>1</sup>, 邓卫东<sup>1</sup>, 王志坚<sup>1,2</sup>, 李喆<sup>1</sup>, 罗帅<sup>1</sup>

(1. 沈阳航空航天大学机电工程学院, 辽宁 沈阳 110136; 2. 中国科学院金属研究所, 辽宁 沈阳 110016)

**摘要:**硬质合金与高速钢的物化性能差异较大,利用高能激光束可有效实现硬质合金与高速钢的焊接。采用负离焦量  $\Delta f = -3$  mm, 激光扫描速度过小 ( $v < 7$  mm/s)、功率过大 ( $P > 1500$  W) 时母材中 Co 的大量散失而产生气孔和微裂纹等组织缺陷;速度过大 ( $v > 7$  mm/s)、功率过小 ( $P < 1100$  W) 时钎料 Cu 与母材不能互溶,接头组织融合不良。选取  $v = 7$  mm/s、 $P = 1100$  W, 钎焊接头形成等轴组织,性能良好,并测定其元素分布及显微维氏硬度。结果显示:母材中,除含 Cu 元素外,还有 Co、Mo、Cr、Fe 等元素分布,表明母材与钎料互溶性良好;接头组织及热影响区显微硬度变化最小,且平均显微硬度最大,分别为 941.7 HV, 778 HV。

**关键词:**激光钎焊;激光工艺参数;微观组织;EDS 分析;显微硬度

中图分类号:TN249 文献标识码:A DOI:10.3969/j.issn.1001-5078.2013.12.04

## Laser brazing organization and properties of hard alloy and W2Mo9Cr4VCo8 high speed steel

SHANG Xiao-feng<sup>1</sup>, DENG Wei-dong<sup>1</sup>, WANG Zhi-jian<sup>1,2</sup>, LI Zhe<sup>1</sup>, LUO Shuai<sup>1</sup>

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China;  
2. Institute of Metal Research Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

**Abstract:** There exists a great difference between hard alloy and high speed steel in physical and chemical properties. The weld between hard alloy and high speed steel can be achieved effectively by using the high-energy laser beam. Using negative defocus amount  $\Delta f = -3$  mm, when laser scanning speed is too small ( $v < 7$  mm/s), and power is too large ( $P > 1500$  W), such tissue defects like the pores and micro cracks will be raised in base metal because of losing a large amount of Co. While laser scanning speed is too large ( $v > 7$  mm/s), power is too small ( $P < 1100$  W), Cu and base metal is immiscible, it will lead to the poor joint tissue fusion. So  $v = 7$  mm/s,  $P = 1100$  W, brazed joint forms equiaxed structure with good performance. Then tests about the distribution of its elements and micro-Vickers hardness are made. The result shows that: except Cu there also exists other elements such as Co, Mo, and Cr including in base metal, which indicates that base metal and solders are well fused. While the micro hardness of joint organization and heat affected zone changes smallest, the maximum average micro hardness of 941.7HV and 778HV are obtained respectively.

**Key words:** laser brazing; laser process parameters; microstructure; EDS analysis; micro hardness

### 1 引言

硬质合金以其高硬度、高强度、耐高温、热膨胀系数小和化学性质稳定等优点,广泛应用于高性能复杂刀具中<sup>[1-2]</sup>。由于硬质合金刀具成本高、制造加工困难,利用焊接方法将硬质合金与报废、破损的

基金项目:沈阳市科技计划项目“基于激光快速成形的复杂切削刀具绿色再制造技术研究”(No. F11-264-1-56)资助。

作者简介:尚晓峰(1972-),男,副教授,主要从事激光快速成形技术设备、控制和工艺及熔池凝固研究等工作。E-mail: xfshang@139.com

收稿日期:2013-04-26

刀具连接起来,特别是对复杂刀具的修复,在提高加工质量和效率的同时,还能有效降低制造成本,为企业节约大量的材料与资金,获得更大的经济效益<sup>[3-4]</sup>。

但硬质合金与钢的熔点、热导率、热膨胀系数等物化性能差异较大,冶金互溶性差,采用熔焊的方法很难得到性能良好的接头组织,而激光的能量、光斑大小和作用位置精确可控<sup>[5-7]</sup>,利用激光钎焊的方法可有效的实现硬质合金与钢的连结。本文以黄铜粉末为钎料,选取合适的激光工艺参数进行高速钢与硬质合金的激光钎焊试验,观察分析钎焊接头的微观组织,并测得接头组织的显微硬度,分析不同激光工艺参数对接头显微组织及性能的影响。

## 2 试验材料与工艺方法

### 2.1 试验材料

试验基材为 W2Mo9Cr4VCo8 (M42) 高速钢,熔点约为 1520℃,尺寸为 30mm × 20mm × 3mm;激光钎焊接头部分为含 Co8% (质量分数) 的 WC + 8Co (YG8) 硬质合金,熔点约为 2600℃,尺寸为 30mm × 10mm × 3mm。由于 Cu 塑性较好,能有效吸收钎焊产生的内应力<sup>[8]</sup>,实验选用 200 目 H62<sup>[9]</sup> 黄铜粉末作为钎料,熔点约为 934℃,其主要成分如表 1 所示。

表 1 H62 黄铜粉末的主要成分 (wt/%)

材料	Cu	Zn	Fe	Pb	其他
H62	62.4	36.8	0.34	0.16	0.3

### 2.2 工艺方法

基材准备时,为使钎料能更好地渗透到焊缝中,用线切割先将高速钢基体和硬质合金切出约 5° 倾角的坡口,并打磨去除氧化层,然后用丙酮洗净。激光钎焊试验利用 DL-HL-T5000B 型 5kW 横流 CO<sub>2</sub> 激光器在 ZKXT-300 型卧式真空系统中进行,通氩气保护。在试验过程中,钎料干燥后通过摆针刮吸式送粉器、四孔式同轴送粉喷嘴实现同轴送粉。

利用日立 S-3400N 扫描电子显微镜 (SEM) 观察钎焊接头的微观组织形貌,接头组织成分采用扫描电子显微镜所附能谱仪 (EDS) 测定,采用 HX-1000 数显显微硬度计测定接头组织的显微维式硬度。

## 3 试验结果与分析

激光钎焊过程中,当离焦量为负时,光粉可充

分耦合,熔池散热条件较好,熔凝组织硬度最高,离焦量增大或者减小都使硬度的降低,熔凝组织的硬度在较小负离焦状态下达到最大值<sup>[10]</sup>。故本试验均采用负离焦量 ( $\Delta f = -3\text{mm}$ ),送粉量为 1.2 g/min,通过改变扫描速度、激光功率等激光工艺参数分 A、B 两组进行试验,主要工艺参数如表 2 所示。

表 2 激光钎焊试验工艺参数选用

	激光功率 $P/W$	扫描速度 $v/(mm \cdot s^{-1})$	离焦量 $\Delta f/mm$	送粉量 $(g \cdot min^{-1})$
A	1100	5-9	-3	1.2
B	800-1500	7	-3	1.2

### 3.1 钎焊接头的微观组织

A 试验组激光工艺参数:离焦量  $\Delta f = -3\text{mm}$ 、激光功率  $P = 1100\text{ W}$ ,不同扫描速度钎焊接头的微观组织如图 1 所示。

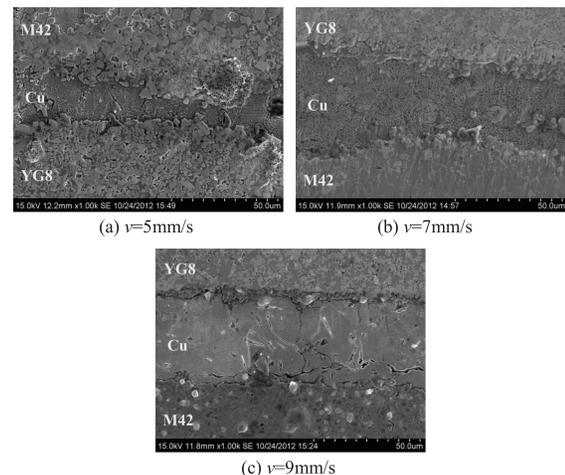


图 1 不同扫描速度的接头微观组织 (1000 ×)

由图 1,扫描速度为 7 mm/s 时的接头组织较好,黄铜粉末与硬质合金和高速钢形成了良好的冶金结合,钎焊组织两侧无缺陷;图 1 (a)、(c) 扫描速度为 5 mm/s、9 mm/s 时,钎焊组织均出现裂纹、气孔及融合不良等缺陷。主要原因:激光功率一定,扫描速度较小时,输入的能量密度较大,钎焊过程中高热能使激光熔池对流加剧致使硬质合金和高速钢中的 Co 相气化散失,易产生气孔、微裂纹等组织缺陷,如图 1 (a);随着扫描速度的增大,激光能量密度减小,熔池温度梯度增大,由于各材料的性能差异较大,熔池凝固速度过大而导致传热不均,凝固组织存在较大内应力,从而产生裂纹,且 Cu 与母材结合处易出现融合不良现象,如图 1 (c) 所示。

B 试验组激光工艺参数:离焦量  $\Delta f = -3\text{mm}$ 、

扫描速度  $v = 7 \text{ mm/s}$ , 观察不同激光功率对钎焊接头微观组织的影响, 如图 2 所示。

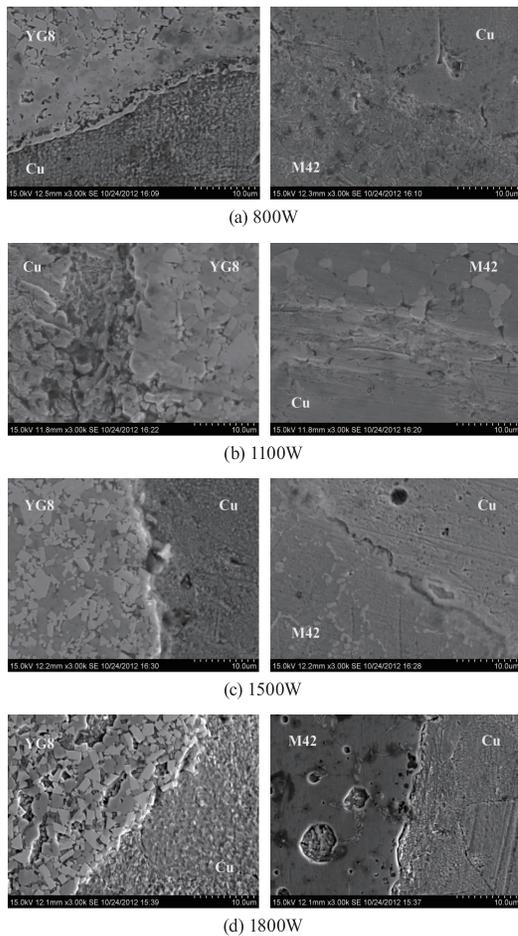


图 2 不同激光功率的接头微观组织(3000 $\times$ )

图 2(a) 中可看出, 激光功率为 800 W 时, 由于激光功率较小、能量密度较低, 熔池凝固过快、温度梯度过大而产生较大内应力, 黄铜与硬质合金之间有明显的裂纹, 高速钢一侧碳溶于  $\alpha - \text{Fe}$  中并以晶内夹杂物为形核核心形成针状铁素体, 降低组织强度、硬度, Cu 与母材未形成良好的冶金结合。图 2(b)、(c) 中激光功率为 1100 W、1500 W 时, 焊缝组织为性能较好的等轴组织, 无明显缺陷, Cu 与硬质合金和高速钢均有不同程度的互熔, 形成良好的冶金结合。激光能量密度增大, 硬质合金白色 WC 相有长大趋势, 深暗色粘结 Co 相的含量增加, 有利于提高接头组织的韧性; 高速钢一侧有网状碳化物存在, 由于组织过热, 奥氏体沿晶界析出并结成网, 强度降低、韧性和塑性提高。图 2(d) 激光功率为 1800 W 时, 母材与 Cu 渗透性较好, 但由于能量密度过大, 剧烈的熔池对流使得硬质合金和高速钢中的 Co 相大量散失, 易产生气孔、裂纹。

### 3.2 接头组织能谱分析

图 3 是激光工艺参数为  $\Delta f = -3 \text{ mm}$ 、 $P = 1100 \text{ W}$ 、 $v = 7 \text{ mm/s}$  时, 对接头组织进行的 EDS 分析。

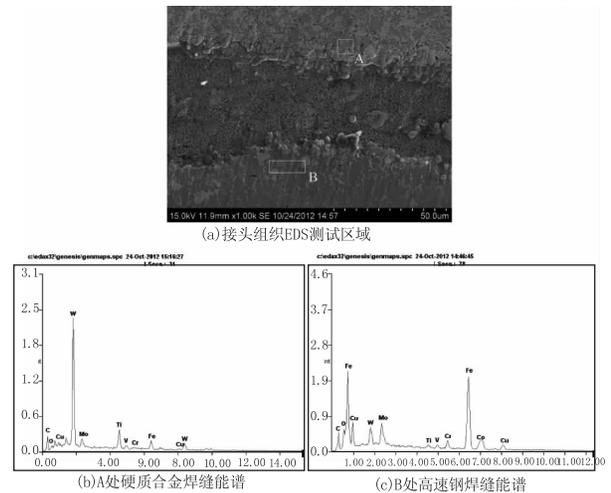


图 3 接头组织 EDS 分析

由图 3(b)、(c) 对母材的近焊缝处进行 EDS 能谱分析得出: A 处硬质合金, 除自身的 W、Co 元素, 还含有 Cu、Cr、Mo、Fe、Ti 等元素, 表明 Cu 和 M42 高速钢的部分合金元素与 YG8 硬质合金互溶, 其中含有 Ti 元素, 是由于试验过程中送粉器内残留的微量试验用 Ti 粉不能完全清除, 掺杂于钎料黄铜粉末中而无法避免; B 处高速钢一侧, 含有 M42 高速钢自身元素以外的 Cu、Ti 元素(原因同上), 说明 Cu 与高速钢相互渗透, 形成良好的冶金结合。

### 3.3 显微硬度

采用 HX-1000 数显显微硬度计测定试样钎焊截面显微维氏硬度, 测量载荷为 5 kg, 加载时间为 15 s。测量方法: 沿钎焊组织截面中心线方向, 依次分隔 13 个区域, 每个区域取 3 个测试点并计算结果平均值, 将结果绘制成显微硬度分布曲线, 如图 4 所示。

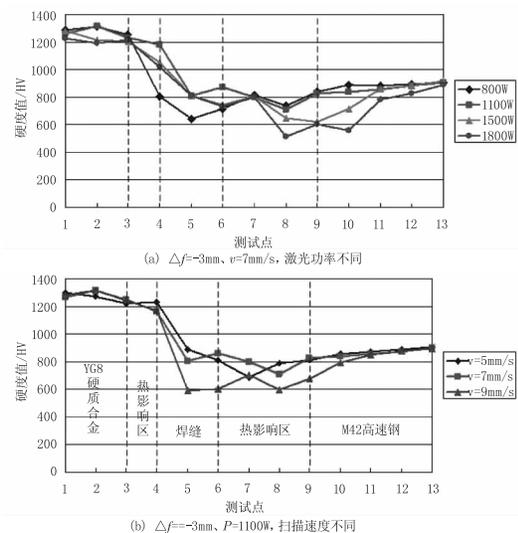


图 4 不同激光工艺参数钎焊截面的显微硬度曲线

图 4(a) 中显示, 激光功率  $P = 1100 \text{ W}$  时接头组织的平均显微硬度最大(平均值为  $951.7 \text{ HV}$ ), 且热影响区的显微硬度变化趋缓, 组织性能良好。激光功率为  $800 \text{ W}$  时, 由于能量密度小, 母材与  $\text{Cu}$  没有互溶, 接头组织(4~6 测试点)的显微硬度较小, 平均显微硬度为  $719 \text{ HV}$ ; 激光功率为  $1100 \text{ W}$ 、 $1500 \text{ W}$  和  $1800 \text{ W}$  时, 接头组织的显微硬度变化趋同, 平均显微硬度为  $951.7 \text{ HV}$ 、 $866.3 \text{ HV}$  和  $850.7 \text{ HV}$ , 在高速钢一侧硬度略高, 原因是激光钎焊熔池的快速凝固相当于激光淬火, 使硬度值增大, 但热影响区(7~9 测试点)的显微硬度随激光功率增大而减小, 显微硬度平均值分别为  $779 \text{ HV}$ 、 $689 \text{ HV}$  和  $637.3 \text{ HV}$ 。

图 4(b) 为不同扫描速度下截面的显微硬度曲线, 扫描速度  $v = 7 \text{ mm/s}$  时, 接头组织及热影响区的平均显微硬度均最大, 显微硬度平均值分别为  $941.7 \text{ HV}$ 、 $778 \text{ HV}$ , 且  $\text{Cu}$  与母材互溶性较好, 显微硬度变化最小。扫描速度  $v = 5 \text{ mm/s}$  时, 能量密度较大, 母材组织中  $\text{Co}$  大量散失而使显微硬度偏高, 但在高速钢一侧  $\text{Cu}$  较多渗入母材组织中而使显微硬度降低; 扫描速度为  $9 \text{ mm/s}$  时熔池的凝固速度过快, 导致硬质合金和高速钢与  $\text{Cu}$  互溶较差, 造成接头组织的显微硬度偏低。

#### 4 结 论

(1) 扫描速度为  $7 \text{ mm/s}$  时, 输入的能量密度合适, 使  $\text{Cu}$  与  $\text{WC}$  等能够充分互溶, 且  $\text{Co}$  未大量散失, 接头组织的焊接质量较好。扫描速度过大、过小均出现组织缺陷。

(2) 激光功率为  $1100 \text{ W}$  时, 钎焊接头组织无明显缺陷。硬质合金组织  $\text{WC}$  相有长大趋势, 深暗色  $\text{Co}$  相的含量增加, 韧性提高; 高速钢组织奥氏体沿晶界析出结成网状碳化物, 韧性和塑性提高。

(3) 激光工艺参数:  $\Delta f = -3 \text{ mm}$ 、 $P = 1100 \text{ W}$ 、 $v = 7 \text{ mm/s}$ , 接头组织为等轴组织, 无裂纹、气孔及融合不良等缺陷, 钎焊接头性能较好。

(4) 在结论(3)的激光参数下, 对接头组织进行 EDS 分析, 硬质合金和高速钢组织中含有  $\text{Cu}$ 、 $\text{Co}$ 、 $\text{Mo}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Fe}$  等元素, 钎料与母材渗透良好, 形成良好的冶金结合; 显微硬度变化最小, 且与其他工艺参数相比, 接头组织及热影响区的平均显微硬度最大, 分别为  $941.7 \text{ HV}$ 、 $778 \text{ HV}$ 。

#### 参考文献:

[1] Zhang Wenyu. Latest development of coated cemented carbide tools[J]. Rare Metals and Cemented Carbides

2008, 36(1): 59-63. (in Chinese)  
 张文毓. 硬质合金涂层刀具研究进展[J]. 稀有金属与硬质合金, 2008, 36(1): 59-63.

[2] Liu Yong. Application and development prospect of hard alloy[J]. China Metal Bulletin, 2010, 31: 36-37. (in Chinese)  
 刘咏. 硬质合金应用与发展前景[J]. 中国金属通报, 2010, 31: 36-37.

[3] Chen Guoqing, Zhang Binggang, Wu Zhenzhong, et al. Research status on welding of cemented carbide to steel[J]. Cemented Carbide, 2012, 29(6): 387-392. (in Chinese)  
 陈国庆, 张秉刚, 吴振中, 等. 硬质合金与钢焊接技术的研究现状[J]. 硬质合金, 2012, 29(6): 387-392.

[4] Zhu Jinglei, Huang Jihua, Zhang Hua, et al. Progress in research on welding of cemented carbide with steel[J]. Welding & Joining, 2008, 2: 15-19. (in Chinese)  
 朱警雷, 黄继华, 张华, 等. 硬质合金与钢异种金属焊接的研究进展[J]. 焊接, 2008, 2: 15-19.

[5] Xiao Rongshi, Dong Peng, Zhao Xudong. Progress in laser fusion welding-brazing of dissimilar Alloys[J]. Chinese Journal of Lasers, 2011, 38(6): 0601004. 1-7. (in Chinese)  
 肖荣诗, 董鹏, 赵旭东. 异种合金激光熔钎焊研究进展[J]. 中国激光, 2011, 38(6): 0601004. 1-7.

[6] Won-Bae Lee, Byoung-Dae Kwon, Seung-Boo Jung, et al. Effects of  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  on the microstructure and mechanical properties of the brazed joints between  $\text{WC-Co}$  and carbon steel[J]. International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, 2006, 24(3): 215-221.

[7] Lee WB, Kwon BD, Jung S B. Effect of bonding time on joint properties of vacuum brazed  $\text{WC-Co}$  hard metal/carbon steel using stacked  $\text{Cu}$  and  $\text{Ni}$  alloy as insert metal[J]. Mater Sci Technol, 2004, Vol. 20(2): 1474-1478.

[8] Ge Yangang, Zhang Xudong, Liu Wen-jin, et al. Microstructure of laser beam brazing joint of YG8 cemented carbide[J]. Applied Laser, 1999, 19(5): 282-284. (in Chinese)  
 葛廷刚, 张旭东, 刘文今, 等. YG8 硬质合金激光钎焊接头显微组织的研究[J]. 应用激光, 1999, 19(5): 282-284.

[9] Wang Di, Yang Yongqiang, Shi Wenqing. Investigation on laser welding process and structure characteristics of H62 copper[J]. Applied Laser, 2009, 6: 203-206. (in Chinese)  
 王迪, 杨永强, 师文庆. H62 黄铜激光焊接工艺与组织特征研究[J]. 应用激光, 2009, 6: 203-206.

[10] Shi Gaolian, Shi Shihong, Zhang Jia. The influence of defocusing amount of hollow beam on the quality of single cladding channel[J]. Applied Laser, 32(6): 505-509. (in Chinese)  
 石皋莲, 石世宏, 张甲. 中空光离焦量对单熔道质量的影响[J]. 应用激光, 2012, 32(6): 505-509.