

# 铝添加剂对激光熔覆硬质合金涂层质量的影响

王志坚<sup>1,2</sup>, 赵青贺<sup>1</sup>, 尚晓峰<sup>1</sup>, 邓卫东<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:**采用高功率激光,在高速钢表面熔覆硬质合金涂层的过程中,由于工艺参数、设备性能和熔覆粉末等原因,会引起熔覆层产生各种缺陷或不足。其中,粉末在熔池的流动性,直接影响熔覆层表面形貌;另外,在熔覆过程中氧的存在会直接导致熔覆层表面气孔产生。通过试验分析可知:在熔覆粉末中加入适量的铝添加剂会有效增加粉末在熔池中的流动性,同时,Al和O结合生成 $Al_2O_3$ 能有效抑制气孔,并保护熔覆层表面,且不降低硬度。实验显示,当在YG12中加入质量分数为1%的Al粉时,熔覆层硬度较高,且比能量合适。

**关键词:**激光技术;铝添加剂;硬质合金涂层;显微组织;显微硬度

**中图分类号:**TN249 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2012.11.009

## Effects of aluminium additives on the quality of hard alloy laser cladding

WANG Zhi-jian<sup>1,2</sup>, ZHAO Qing-he<sup>1</sup>, SHANG Xiao-feng<sup>1</sup>, DENG Wei-dong<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:**In the process of laser cladding, all kinds of defects or deficiencies on the repairing surface will be caused because of the process parameters, equipment performance, cladding powder and other reasons, in which the surface topography of cladding layer will be influenced by the liquidity of powder in the bath directly. In addition, the presence of oxygen will lead to the morphology of spiracle in the surface of cladding layer in the cladding process. Analysis through the experiments shows: the liquidity of powder-pool will increase effectively by adding right amount Al powder in the laser cladding process. Simultaneously,  $Al_2O_3$  generated from the combination of Al and O will protect the surface of the cladding layer and does not reduce the hardness. When the quality score of 1% of Al powder is added in the YG12, cladding layer, the hardness increases, and proportion is appropriate.

**Key words:** laser technique; aluminum additives; hard alloy coatings; the microstructure; micro hardness

### 1 引言

自大功率激光器投入工业使用以来,激光熔覆技术在目前材料表面改性技术中应用较广泛<sup>[1-4]</sup>。尽管,目前激光熔覆技术大多采用真空系统来隔绝空气,很大程度上消除了熔覆层的裂纹和气孔,但是材料内部的裂纹和气孔仍然是制约激光熔覆层质量的重要因素<sup>[5]</sup>。本文采用常用刀具材料W2Mo10Cr4VCo8(M42)高速钢作为基体,在YG12

硬质合金粉末中加入不同质量分数的铝粉作为熔覆粉末,对激光熔覆层结构进行比较分析,探讨铝添加剂的加入对熔覆层质量的影响。

**作者简介:**王志坚(1974-),女,副教授,主要从事有限元,工程流体仿真与分析 and 激光快速成形熔池凝固研究等工作。E-mail: wangzhijian1974@sina.com

**收稿日期:**2012-07-20

## 2 试样制备与实验方法

### 2.1 试样制备

试样基体去除氧化层,用丙酮清洗干净,晾干备用。熔覆粉末选择使用性能与基体熔覆工艺相匹配的含钴 12% (质量分数) YG12 (WC + 12Co) 硬质合金粉末,粒度 325 目,熔点约为 2600 °C。添加质量分数 1%, 2%, 3%, 4% 的 400 目高纯 Al 粉到 YG12 硬质合金粉末中混合均匀,然后加入少量乙醇使其呈糊状,均匀地平铺在基体上,铺粉厚度大约 1 mm。采用 DL-HL-T5000B 型 5 kW 横流 CO<sub>2</sub> 激光器进行单道熔覆实验,熔覆过程中氩气保护。熔覆粉末成分如表 1 所示。

表 1 硬质合金熔覆粉末成分

(wt/%)					
粉末编号	1	2	3	4	5
WC	88	87	86	85	84
Co	12	12	12	12	12
Al	-	1	2	3	4

### 2.2 实验方法

用王水 (HNO<sub>3</sub>:HCl = 1:3) 溶液腐蚀试样,在 OLYMPUS-GX-71 倒直金相型显微镜下进行熔覆层低倍组织形貌观察;利用 SSX-550 扫描电子显微镜 (SEM) 观察熔覆层高倍显微组织形貌;通过 DX-2000X 射线衍射仪分析熔覆层物相组成;采用 HVS-1000 数显试样 (未腐蚀的金相试样) 维式显微硬度。

### 3 实验结果与分析

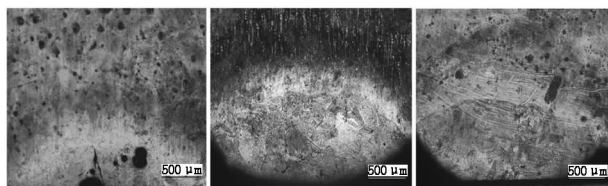
激光熔覆实验参数:激光功率为 2.5 kW,扫描速度为 2 mm/s,离焦量 20 mm,预置粉末厚度 1 mm,通过对熔覆层宏观形貌的观察熔覆层的平均高度如表 2 所示。

表 2 熔覆层平均高度

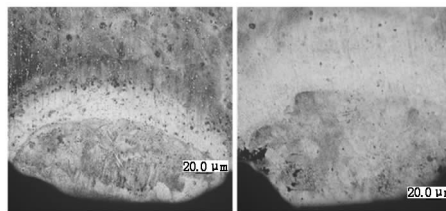
粉末编号	1	2	3	4	5
熔覆层平均高度 h/mm	0.3	0.8	0.7	0.5	0.5

#### 3.1 低倍形貌

YG12 及添加不同质量分数 Al 粉的熔覆层放大 50 倍时低倍显微组织如图 1 所示。



(a) YG12 (b) YG12 + 1Al (c) YG12 + 2Al



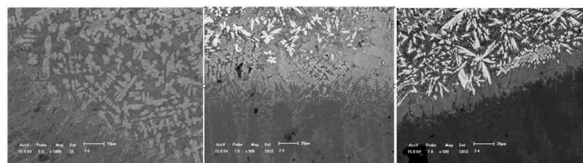
(d) YG12 + 3Al (e) YG12 + 4Al

图 1 不同激光熔覆的低倍显微组织

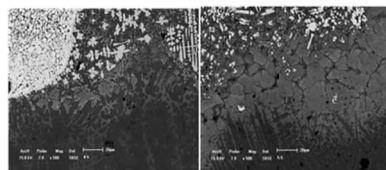
由图 1 可以看出熔覆层组织分为四个区域:由下到上依次为基体区、热影响区、结合区及熔覆区。在熔覆区与热影响区之间存在一条“白色亮带”,表明熔覆层与基体实现了良好的冶金结合。加入 Al 粉后的 YG12 熔覆层中裂纹和气孔明显减少,组织更加均匀致密,能够获得良好的熔覆层。图 1(b) ~ 图 1(d) 中添加质量分数 1%, 2%, 3% 的 Al 粉,未出现大量的气孔和裂纹,且有明显的组织变化区域,说明 Al 粉的加入明显消除了熔覆层中部分气孔和裂纹;而图 1(e) 中熔覆层组织更加细密均匀,但结合区域较宽,说明熔覆时比能量偏大,造成基体过多熔化,使熔覆层过度稀释,对熔覆层组织形成影响,不利于提高熔覆层硬度。

#### 3.2 金相显微组织分析

YG12 及添加不同质量分数 Al 粉的熔覆层金相显微组织如图 2 所示。



(a) YG12 (b) YG12 + 1Al (c) YG12 + 2Al



(d) YG12 + 3Al (e) YG12 + 4Al

图 2 不同激光熔覆的金相显微组织

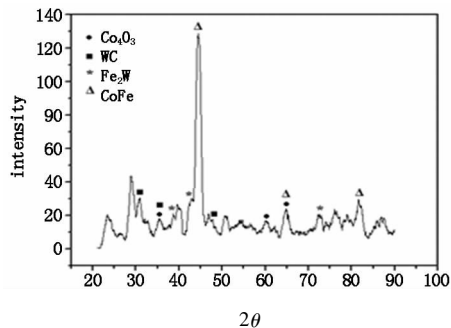
由图 2 可见:YG12 熔覆层组织为长枝晶,枝晶间有粉末中 WC 被大量分解,与基体熔化出来的 Fe 等元素生成小颗粒硬质相熔覆层出现粗大气孔和裂纹。加入 Al 粉的硬质合金熔覆层显微组织得到明显改善,熔覆层中分布很多高纯 W 化合物颗粒,保证了熔覆层硬度,但熔覆层出现的细小气孔和裂纹,没有完全被消除。当加入 4% Al 粉末时,熔覆层分布大量白色硬质相,出现气孔和组织偏析,结合区受

到组织偏析影响,过渡区域组织不均。

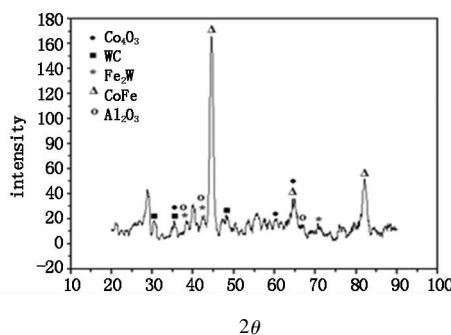
### 3.3 相结构

为了验证熔覆粉末中加入 Al 粉后,熔覆层相结构的变化,利用 DX - 2000X 射线衍射仪分别对 YG12 熔覆层和 YG12 + 1Al 熔覆层进行相结构分析。

图 3(a)为 YG12 熔覆层 X 射线衍射谱,熔覆层中包含 WC,  $\text{Co}_4\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{W}$ , CoFe 等相,其中 Fe 是由基体熔化而来,氧化钴存在说明熔池中一部分钴被氧化。图 3(b)为 YG12 + 1Al 熔覆层 X 射线衍射谱,与图 3(a)图显著区别是熔覆层出现  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,说明活性高的 Al 与熔池中的 O 结合生成化学性质稳定的陶瓷  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,阻止 O 与熔池中的 C 结合,抑制气孔的产生。



(a) YG12 熔覆层

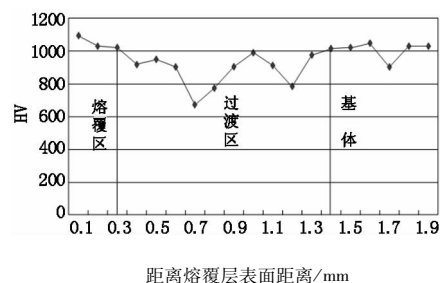


(b) YG12 + 1Al 熔覆层

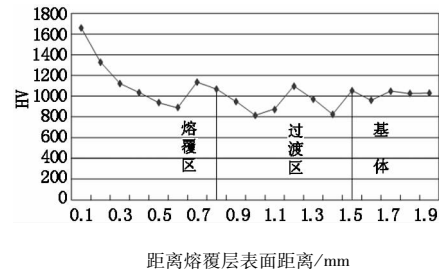
图 3 熔覆层 X 射线衍射图谱

### 4 显微硬度

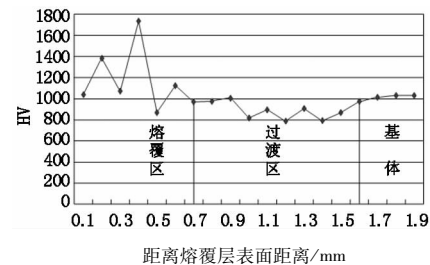
不同熔覆层截面显微硬度分布曲线如图 4 所示。



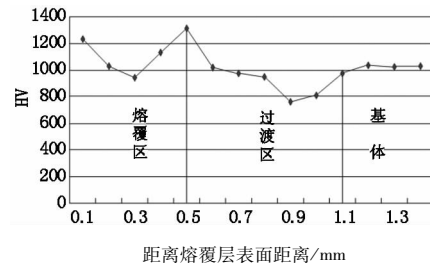
(a) YG12 熔覆层截面显微硬度曲线



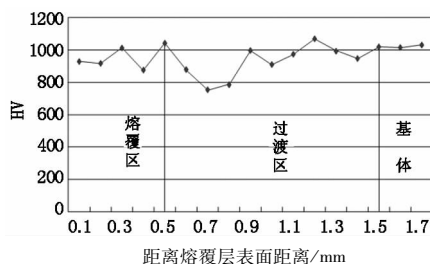
(b) YG12 + 1Al 熔覆层截面显微硬度曲线



(c) YG12 + 2Al 熔覆层截面显微硬度曲线



(d) YG12 + 3Al 熔覆层截面显微硬度曲线



(e) YG12 + 4Al 熔覆层截面显微硬度曲线

图 4 熔覆层截面显微硬度分布曲线

由图 4 可以看出 YG12 硬质合金粉末熔覆层显微硬度基本达到了基体硬度水平<sup>[6]</sup>,最高达到 HV1093;通过对比发现,加入质量分数 1%, 2% 和 3% Al 粉的硬质合金粉末熔覆层都很好的提高了基体硬度,其中 YG12 + 1Al 和 YG12 + 2Al 熔覆层最高的显微硬度高达 HV1659 和 HV1766,而 WC 颗粒本身硬度高达 HV1800<sup>[7]</sup>,这说明两种熔覆层中存在着未分解的 WC 颗粒,极大地提高了熔覆层的硬度。而加入质量分数 4% Al 粉硬质合金粉末熔覆层硬度比基体硬度略低,由于粉末中 Al 粉的增多,WC 含量相对的减少,熔覆层硬度也会相应的降低,熔覆层硬度已达不到基体硬度要求,所以 Al 粉的含量应控制在 4% 以内。通过观察熔覆层硬度分布曲线还会

发现:①熔覆层硬度波动较大,这是由于在激光熔覆过程中熔覆层组织形成偏析,造成硬质相和黏结相分布不均匀,影响熔覆层硬度均匀分布;②在过渡区组织硬度先下降后上升,这是因为在激光熔覆过程其实也相当于对基体的淬火过程,在高温下结合区一部分组织转变成奥氏体,而在冷却过程中奥氏体转变成残留奥氏体和马氏体,所以熔覆层硬度在过渡区都出现了先下降后上升现象,这使基体与熔覆层的硬度呈现梯度过渡,对熔覆层十分有利;③过渡区宽度不同,可反映出熔覆层的稀释率是否合理。为了控制熔覆层的稀释率,过渡区宽度不能过宽,由于稀释率主要受比能量影响,所以通过熔覆层过渡区宽度也可以考察所选择工艺参数是否合理。通过比较发现,YG12 + 1Al 和 YG12 + 3Al 熔覆层过渡区宽度较为合理,说明熔覆层所对应的比能量是合适的。

通过表 3 可知 YG12 + 2Al 熔覆层平均硬度最高,达到 HV1169,但是其硬度值波动较大,过渡区较宽,说明工艺参数还需要进一步优化。相比之下 YG12 + 1Al 熔覆层硬度分布较均匀,其平均显微硬度达到 HV1145,过渡区宽度较窄,比能量合适。

表 3 熔覆层截面平均显微硬度

熔覆层	YG12	YG12 + 1Al	YG12 + 2Al	YG12 + 3Al	YG12 + 4Al	基体
平均显微硬度/(HV)	1047	1145	1169	1133	955	1030

## 5 结 论

(1) YG12 熔覆层与基体都形成了良好的冶金结合。

(2) 熔覆层组织上存在着的四个区域:基体区、热影响区、结合区及熔覆区。熔覆层中分散着白色颗粒状硬质相。

(3) 熔覆粉末加入 Al 粉后,熔覆层有  $Al_2O_3$  相生成,说明 Al 吸收了一部分 O,抑制了 C 与 O 的结合减少了气体的产生。

(4) 加入质量分数 1% 的 Al 粉 YG12 熔覆层的

硬度较高,过渡区较窄,比能量合适。

## 参考文献:

- [1] Yang Ning, Yang Fan. Effect of laser cladding parameters on the quality of cladding layer[J]. Treatment Technology and Equipment, 2010, 31(4): 17-19. (in Chinese)  
杨宁, 杨帆. 激光熔覆工艺及熔覆材料进展[J]. 铜业工程, 2010, 31(4): 17-19.
- [2] Genzhe Huang, Zenghui Li, Jianyin Tang. Effect of laser surface modification and tempering process on microstructure and hardness profiles of roll materials [C]//Advanced Manufacturing Technology. Part1. Guangzhou (CN): Trans Tech Publications, September, 16-18, 2011: 1871-1876.
- [3] A K Nath. High power CO<sub>2</sub> laser an incredible tool in surface engineering [C]//Surface Modification Technologies XXIII. Chennai (Madras), India: Valar Docs, 2009: 617-626.
- [4] Yan Zhiqiao, Cai Yixiang, Chen Feng. Surface hardening techniques of P/M titanium alloys[J]. Materials Review, 2009, (9): 65-68. (in Chinese)  
闫志巧, 蔡一湘, 陈锋. 钛合金表面强化技术[J]. 材料导报, 2009, (9): 65-68.
- [5] Wang Wei, Tong Ming, Wang Xingliang, et al. The design of anti-oxidation vacuum system for laser rapid prototyping [J]. Machinery Design & Manufacture, 2010, 4(4): 42-43. (in Chinese)  
王维, 佟明, 王兴良, 等. 激光快速成型防氧化真空系统设计[J]. 机械设计与制造, 2010, 4(4): 42-43.
- [6] Lijun Pang, Xiaofeng Shang. Principles of metal chips [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2009. (in Chinese)  
庞丽君, 尚晓峰. 金属切屑原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.
- [7] Huang Weijue. Tool materials handbook [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2011, 2. (in Chinese)  
黄伟九主编. 刀具材料速查手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011, 2.