

# 活性剂对氩弧熔覆硼化物涂层耐磨性的影响

刘歆妍, 刘歆侯, 刘思阳, 柳凤恩

(辽宁工程技术大学 机械工程学院, 辽宁 阜新 123000)

**摘要:**在 Q235 钢表面进行氩弧熔覆, 并添加活性剂  $\text{SiO}_2$  进行活性氩弧熔覆的研究。采用活性氩弧熔覆技术工艺, 制备出添加 8%  $\text{B}_4\text{C}$  的熔覆层。采用光学显微镜观察了熔覆层的显微组织, 测定了熔覆层的相组成, 分析了硬质相的物质组成和熔覆层的硬度, 测试了熔覆层的耐磨性。结果表明, 添加活性剂后的熔覆层组织结构发生了改变, 其耐磨性与未添加活性剂的相比提高了近 1 倍。

**关键词:**活性剂; 氩弧熔覆; 耐磨性;  $\text{B}_4\text{C}$

**DOI:** 10.14158/j.cnki.1001-3814.2015.06.036

**中图分类号:** TB333

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-3814(2015)06-0121-04

## Effect of Active Agent on Wear Resistance of Boride Coating Made by Activity TIG Cladding

LIU Xinyan, LIU Xinyu, LIU Siyang, LIU Feng'en

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

**Abstract:** The layer was prepared by active argon arc cladding process using the addition of  $\text{SiO}_2$  and 8%  $\text{B}_4\text{C}$ . The microstructure of the cladding layer was observed, the phase composition of the layer was measured, the substance of the hard phase composition was analyzed, the hardness of the cladding layer and abrasive wear were tested. The results show that, after adding the active agent, the microstructure of the cladding layer is changed, its wear resistance increases one time compared with the active agent.

**Key words:** active agent; argon arc cladding; wear resistance;  $\text{B}_4\text{C}$

磨损是机械零部件最常见的一种失效形式<sup>[1]</sup>, 氩弧熔覆技术已成为工程机械领域中修复的重要手段之一。氩弧熔覆制备的涂层具有冶金结合、熔覆层较厚、无需前期处理、操作简单、可以实现自动化和野外作业的优点, 是一种极有发展前途的金属表面改性新技术, 已广泛用于刀具、犁铧等机械工程领域<sup>[2-3]</sup>。为提高 TIG 焊的焊接效率, 乌克兰巴顿焊接实验室于 20 世纪 60 年代研究出了增加焊接熔深的方法<sup>[4]</sup>。目前关于活性氩弧焊(A-TIG)的研究多为单纯钢板的对接, 所采用的活性剂大多为氧化物和氯化物<sup>[5-6]</sup>。活性焊接技术作为一种新型的焊接技术被广泛地研究, 并且目前国内已经开始在实际生产中得到应用。

但是关于活性熔覆技术的研究至今未见到相关报道。本文利用氩弧在 Q235 钢基材表面氩弧熔覆 8wt% $\text{B}_4\text{C}$  的 Fe 基复合涂层( $\text{Fe}+\text{B}_4\text{C}$ )。由于还原铁粉熔点较高, 工艺性能比较差, 熔化速度较慢, 加入适

量的熔剂, 可以有效地去除粉料表面的氧化物, 降低其熔点, 改善流动性, 使脱渣容易, 可促使熔覆层与基体形成牢固的冶金结合, 提高表面成形质量。在熔覆材料表面添加与不添加活性剂( $\text{SiO}_2$ ), 研究活性剂对熔覆层的组织形貌及耐磨性影响。

## 1 实验方法及设备

### 1.1 实验材料

基体材料选用 Q235 钢, 实验中的合金粉末成分为 8% 的  $\text{B}_4\text{C}$ , 5% 的硼砂及还原铁粉, 采用  $\text{SiO}_2$  做为活性剂进行活性氩弧熔覆。

### 1.2 熔覆层制备方法

将 10g 混合合金粉倒入研钵中, 研磨至合金粉末均匀, 添加少许水玻璃作为粘接剂, 搅拌后放入事先做好的模具中, 采用 WE-30 液压式万能试验机将混合合金粉末压成 80mm×10mm×2mm 的块, 作为预置涂层块。将 2g 的  $\text{SiO}_2$  粉末倒入 10mL 的丙酮中摇匀, 用胶头滴管将混好的溶液均匀滴于预置块表面, 阴干 24h, 放入烘干箱中, 升温至 150℃ 烘干 3h, 备用。采用 WS-500 逆变式直流氩弧电焊机进行熔覆, 氩弧熔覆工艺参数为焊接速度 120mm/min, 焊接电

收稿日期: 2014-08-29

作者简介: 刘歆妍(1993-), 女, 辽宁阜新人, 电话: 18241892526;

E-mail: 535970199@99.com

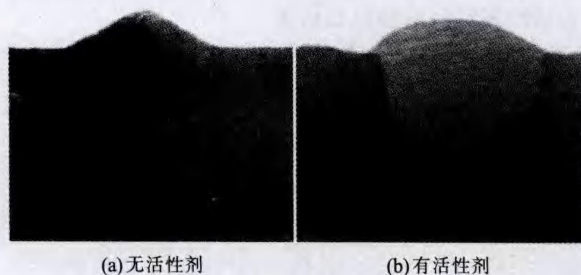
流 145 A, 氩气流量 6 L/min。熔覆时预置块尽量水平, 焊枪与预置块成 120°, 熔覆后空冷。

采用线切割的方式垂直于涂层切取试样, 利用 XJL-02A 立式金相显微镜观察熔覆层的显微组织。用 D/max-Rc 型 X 射线衍射仪测定熔覆层的相组成。采用 HR-150A 硬度计测定熔覆层的宏观硬度 (HRC)。采用 ML-100 型磨损试验机进行磨损实验, 实验载荷 70 N, 转速 200 r/min。所选用的砂纸为 180 目 SiC 水磨砂纸, 每个试样的的磨损时间为 30 min。黏着磨损是在 ML-10 磨损试验机上进行的, 对磨材料为白口铸铁, 硬度 52~56 HRC, 用 150 N 的压力进行 30 min 的磨损实验, 实验时用油润滑后擦拭干净。冲蚀磨损是在冲蚀磨损试验机上进行的, 主要是采用水和 40~70 目石英砂在 800 r/min 的高速转动下进行的冲蚀磨损, 冲蚀转动时间 60 min。磨损质量损失越小, 其耐磨性越好。

## 2 实验结果与分析

### 2.1 活性剂对熔覆层形貌的影响

由图 1 可以看出, 涂有活性剂熔覆层的熔宽和熔深明显增加。这是由于焊接过程中, 从熔池表面到底部存在着温度梯度。开始熔覆时, 熔池表面温度最高, 但随着电弧的移动, 熔池中心温度达到最高, 四周温度相对较低。这时, 温度较高的中心要向向外散发热量, 而温度较低的区域从高温处吸收热量, 从而形成两种对流。这两种对流交汇不利于形成窄而深的熔池。因而, 增加温度较低区域热量的吸收有利于形成窄而深的熔池。SiO<sub>2</sub> 能降低熔池表面的张力, 有利于负温度梯度的形成, 从而能形成较深的熔池。由此可知, 在熔覆材料表面添加活性剂, 可改变熔覆层的熔深。



(a) 无活性剂 (b) 有活性剂

图 1 熔覆层截面图

Fig.1 Sections images of cladding layer

### 2.2 活性剂对熔覆层组织结构的影响

对添加活性剂和不添加活性剂两种涂层试样进

行 SEM 扫描电镜和 XRD 射线衍射分析, 结果如图 2、3 所示。



图 2 SEM 形貌(3%的硝酸酒精)

Fig.2 SEM morphology (3% nitric acid alcohol)

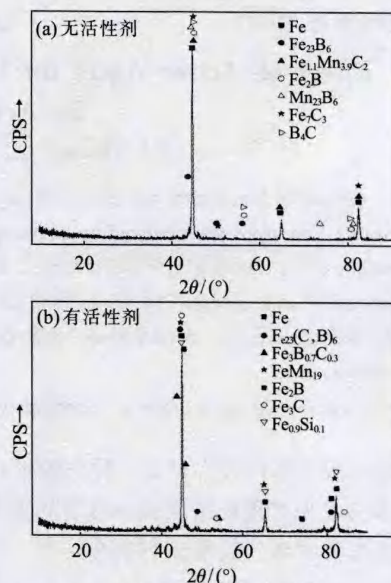


图 3 截面 XRD 分析

Fig.3 Section XRD analysis

通过对图 2 观察可发现, 未加入活性剂的涂层中存在大量片状珠光体, 并且有少量微小的碳化物、硼化物相, 而加入活性剂的涂层形貌结构中, 出现了大量的体积巨大的块状的新相, 这很可能是新生成的碳化物、硼化物等硬质相, 而且越是靠近熔覆层硬质相分布越是比较致密, 片状珠光体的形貌也更加均匀平整。

由图 3 可以看到, XRD 图中有 Fe<sub>2</sub>B、Fe<sub>3</sub>C 和 Fe<sub>23</sub>(C,B)<sub>6</sub> 等的衍射峰, 这表明熔覆层的硬质相主要由 Fe<sub>2</sub>B、Fe<sub>3</sub>C 和 Fe<sub>23</sub>(C,B)<sub>6</sub> 等组成。一般认为, Fe<sub>23</sub>(C,B)<sub>6</sub> 在室温下是不存在的, 但添加活性剂后的熔覆层表面却存在, 这可能是由于在电弧的作用下, B<sub>4</sub>C 在熔池中发生熔化解, 从而导致 C 和 B 溶解于液相 Fe 之中, Fe 和 B 为强碳化物形成元素, 在熔池中发生如下反应: 3Fe+C↔Fe<sub>3</sub>C, 2Fe+B↔Fe<sub>2</sub>B, 生成了 Fe<sub>3</sub>C 和 Fe<sub>2</sub>B 颗粒。加入活性剂后, B、C、Fe 元素依然是形

成新相的主要成分,而在Fe-B-C三元系中,活性剂的加入促进了 $B_4C$ 溶解后分解成的C、B元素与Fe发生反应,形成稳定的 $Fe_2B$ 、 $FeB$ 和 $Fe_3(C,B)$ 等新相,新相属增强颗粒,呈颗粒状。其中的原因是,首先活性剂促进熔池液体流动,推动了碳化硼的分解,所以添加活性剂后熔池中含碳量增高,促进了共晶反应和包晶转变的发生,生成含硼的渗碳体,如 $Fe_{23}(C,B)_6$ 和 $Fe_3(B,C)$ 等;再一个原因是因为Si的加入使C在Fe中的溶解度下降,这样造成大量的C原子析出,熔池中C元素的含量大幅增加,促使更多的碳化物、硼化物等硬质相的形成<sup>[7]</sup>。

### 2.3 活性剂对熔覆层硬度的影响

试样从基体到熔覆层的硬度采用打折线的方法测定,具体位置如图4所示。

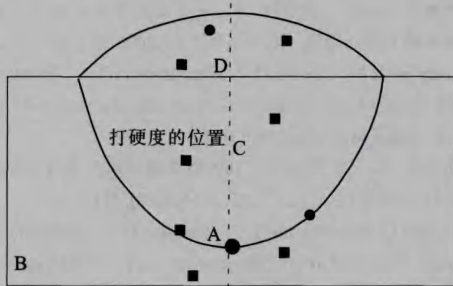


图4 硬度打点位置图  
Fig.4 Hardness measuring location

图5为活性剂对试件熔覆层硬度变化影响的曲线。由图5可以看出,活性剂的加入明显增加了熔覆层的硬度,这是因为活性剂对熔池的流动起到推动作用,液体流动性增强,使成分分布更加均匀,冶金反应更充分,硼化物、碳化物的形成变得更容易,硬质相的数量增多;并且由于在熔覆过程中,活性剂改变了熔池的热量分布,使热量更为集中,从而导致在相同电流下的热量更为集中,有利于 $B_4C$ 的分解;此外Si的加入使C在Fe中的溶解度下降,这样造

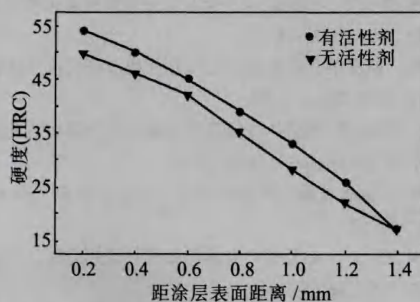


图5 活性剂对硬度的影响  
Fig.5 Effects of active agents on hardness

成大量的C原子析出,熔池中C元素的含量大幅增加,促使了更多的碳化物、硼化物等硬质相的形成,硬度增大。

### 2.4 活性剂对熔覆层磨粒磨损性能的影响

表1为熔覆层的磨粒磨损数据。可观察到:基体的磨损质量损失最大,其次是不加活性剂的涂层,磨损质量损失最少的是加入活性剂的涂层。这是由于 $B_4C$ 的加入会促使堆焊层形成碳、硼化物硬质相,并且碳、硼化物硬质相的形态与分布对材料的耐磨性具有很大的影响。一般认为,粗大的碳、硼化物硬质相相对材料的耐磨性不利。同时,活性剂的加入促进了焊缝冶金进行,使得表面形成了较多的坚硬组织,使得生成的硬质相多在熔覆层的表面,并且在表面分布较为均匀,因此质量损失比较少,进而其耐磨性相对更好。由此可见,添加 $B_4C$ 后熔覆层的耐磨性提高,并且添加活性剂后的涂层耐磨性也比未添加活性剂的要好。

表1 磨粒磨损实验数据  
Tab.1 The experimental data of abrasive wear

质量损失 / mg	基体	无活性剂	有活性剂
$\Delta m_1$	62.61	31.60	17.94
$\Delta m_2$	46.74	20.54	13.82
$\Delta m_3$	28.86	13.25	9.75
相对耐磨性	1.0	2.11	3.33

### 2.5 活性剂对熔覆层黏着磨损性能的影响

表2为熔覆层的粘着磨损数据。可看到:基体的粘着磨损质量损失最高,进行氩弧熔覆的碳化硼涂层试样质量损失远小于基体。同时,利用活性剂进行的活性氩弧熔覆的试样,其耐磨性能又比未添加活性剂的涂层好些。

表2 磨损每两次的磨损质量损失(mg)  
Tab.2 Wear mass loss of every twice (mg)

基体	无活性剂	有活性剂
5.42	2.41	1.92
5.28	2.25	1.67
5.51	2.52	1.78
1.0	2.26	3.02

由表2可知,基体的耐磨性最差,采用活性焊接的试样磨损质量损失比普通氩弧焊接的试样要耐磨一些,说明活性剂的加入提高了试样的耐黏着磨损的性能,比基体的耐磨性高出很多,大约提高了3倍。产生这种现象的原因是活性剂的加入促进了熔池冶金进行,并且生成了较多的硼化物。对于含有

活性剂的熔覆层来讲,形成了  $\alpha$ -Fe-Fe<sub>2</sub>B-Fe<sub>3</sub>(B,C)包晶相以及 FeB、Fe<sub>2</sub>B 等硬质相,使得熔覆层内部晶界数量急剧增加,阻碍位错的运动。在摩擦副相对滑动过程中,表层发生弹-塑性变形,使得位错的运动受阻,产生加工硬化,从而导致含有活性剂的熔覆层耐磨性提高,并且熔覆层次表面碳、硼硬质相分布均匀,也有利于耐磨性的提高。

### 2.6 活性剂对熔覆层冲蚀磨损性能的影响

冲蚀磨损主要是考虑了一些在流体等环境下作业的工件。实验时对每个试样都精确地测量质量,最终将两次冲蚀磨损掉的质量列于表 3。可看出,基体 Q235 的冲蚀质量损失最大,含有熔覆层的试样冲蚀磨损质量损失小于基体,同时含有活性剂的熔覆层的质量损失也小于未添加活性剂的熔覆层。添加活性剂后,熔覆层的整体硬度增加,并且组织均匀,使熔覆层在受到冲击粒子的作用时,表层的抗挤压能力提高;并有大量的硬质颗粒存在,有利于减少冲击粒子的犁铧作用,使材料表面保持原有的表面形貌,减少腐蚀介质的作用,从而提高熔覆层的耐冲蚀磨损性能。

表 3 冲蚀磨损质量损失数据  
Tab.3 Corrosion wear of loss

试样	基体	无活性剂	有活性剂
质量损失 / mg	7.92	2.80	2.23
相对耐磨性	1.0	2.82	3.55

(上接第 120 页)

层表面光滑,没有出现明显的腐蚀现象,耐蚀性较好,这是由于该电压下形成的氧化膜层较为致密,并且成分均匀,缺陷较少。图 3(c)中形成了明显的疏松的“脊状”结构,说明该电压下形成的膜层硬度较低,耐蚀性较差,综合分析,电压在 20V 下的氧化膜层不仅硬度较高,并且耐蚀性也较好。

## 3 结论

(1) 铝合金的氧化膜层厚度随温度的升高逐渐减小,这是因为电解液温度升高,加速了对氧化膜层的溶解,所以制备氧化膜层的电解液温度不宜过高,一般-3℃左右较为合适。

(2) 电解液的电压对氧化膜层的质量有一定的影响,电压为 20V 时,氧化膜层的质量较高,表面光滑且硬度较高。

(3) 不同电压下,生成的氧化膜层的耐腐蚀性也不同,电压为 20V 时氧化膜层的表面光滑,没有明显的腐蚀现象,耐蚀性最好。


## 3 结论

(1) 采用乌极氩弧熔覆方式制备的涂层与基体可以形成良好的冶金结合。

(2) 添加活性剂可以改善熔覆层的宏观熔覆形貌,并且熔覆层的微观组织发生了改变,熔覆层中形成了较为复杂的 B、C 化合物组织。

(3) 氩弧熔覆涂层的耐磨性能优于基体,而添加活性剂后,熔覆层的耐磨性能优于未添加活性剂的涂层,相比于基体提高了近 3 倍。

### 参考文献:

- [1] 张景德,尹衍升,李静,等. 陶瓷涂层材料的应用与发展[J]. 机械工程材料,2002,26(11):5-7.
- [2] 刘喜明. 氩弧熔覆 Fe-Cr-Si-B 系熔覆层的物相分析[J]. 金属热处理,1998(12):22-25.
- [3] 郝建军,马跃进,李建昌,等. 氩弧熔覆原位合成 Ni 基耐磨层在犁铧上的应用[J]. 农业工程学报,2006,22(12):117-120.
- [4] Gurevich S M, Zam kov V N, Kushm ienko NA. Increase in the efficiency of penetration of titanium alloys in argon-arc welding [J]. AutomatSvarka,1965(9):1-4.
- [5] 费丽爽,肖小亭,胡永俊. 718H 模具钢等离子熔覆涂层的组织和性能研究[J]. 热加工工艺,2014,43(8):151-153.
- [6] Martini C, Palombarini G, Prandstraller G. Sliding and abrasive wear behaviour of boride coatings [J]. Wear,2004 (256):608-613.
- [7] 陈冰泉. 45 钢表面 Fe<sub>2</sub>B 增强层的氩弧反应合成研究 [J]. 中国机械工程,2003,14(14):1255-1257. 

### 参考文献:

- [1] 高云震. 铝合金表面处理[M]. 北京:冶金工业出版社,1991:125-127.
- [2] 王艳芝. 铝及其合金阳极氧化技术研究的进展[J]. 材料保护,2001,34(9):22-23.
- [3] 王艳芝. 铝及铝合金阳极氧化膜着色技术研究进展[J]. 电镀与涂饰,2001,23(3):20-21.
- [4] Yerokhin A L, Leyland A. Plas maele trollysis for surface engineering [J]. Surface and Coatings Technology, 2012,19(9):73-79.
- [5] 邓志威,薛文斌,汪新福,等. 铝合金表面微弧氧化技术[J]. 材料保护,1996,29(2):15-16.
- [6] 王艳芝. 铝及铝合金阳极氧化膜着色技术研究进展[J]. 电镀与精饰,2001,23(3):21-22.
- [7] 曾凌三,张宏涛,彭绍林. 提高阳极氧化着色膜耐光性的研究[J]. 电镀与环保,1994,14(2):25-26.
- [8] 卢燕平. 金属表面防蚀处理 [M]. 北京:冶金工业出版社,1995:160-162.
- [9] 崔昌军,彭 乔. 铝及铝合金的阳极氧化研究综述[J]. 金属腐蚀控制,2002,16(6):12-16.
- [10] 徐瑞功,王军丽,薛方勤,等. 铝合金常温脉冲硬质阳极氧化膜性能的研究[J].材料保护,2003,36(9):34-35. 