

## 自保护硼铝共渗膏剂研究

王海芳, 王引真, 姚海玉, 王 玮

(中国石油大学(华东)机电工程学院材料系, 山东 东营 257061)

**摘 要:** 试验以价格低廉的硼砂为供硼剂, 采用膏剂自保护技术进行了硼铝共渗试验, 试样渗后表面光洁, 解决了硼砂引起的粘结问题。试验结果表明: 粘结剂的含量对膏剂表面状态有很大影响, 调整还原剂和硼砂的比例或者降低硼砂含量可以避免硼砂粘结。为获得耐蚀耐磨性能, 综合考虑致密性、相组成和渗层厚度的影响, 在保证致密性及相组成的情况下, 渗层只要具有一定的厚度就可以, 其结果为研制一种新型能耗低、效率高的硼铝共渗工艺提供了基础。

**关键词:** 自保护; 硼铝共渗; 膏剂; 正交试验

中图分类号: TG156.8

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2006)01-0021-03

### Study on the Self-protective Boron-aluminizing Paste

WANG Hai-fang, WANG Yin-zhen, YAO Hai-yu, WANG Wei

(Department of Materials Science and Engineering of the College of Mechanical and Electronic Engineering, University of petroleum, Dongying Shandong province 257061, China)

**Abstract:** Utilizing inexpensive borax as source of boron and using the technology of self-protective paste, the boron-aluminizing test were carried out. The surface was smooth, the problem of adhesion by borax was solved. The results showed that the content of adhesive agent has great influence to the surface status of paste. Changing the ratio of lucigenin and borax or reducing the content of borax may avoid the adhesion of paste. In order to obtain corrosion and wear resistant parts, and comprehensively consider the effects of compactness, phase composition and thickness of alloying layer, a certain diffusion thickness is available, if compactness and phase composition are suited. These results provided the foundation to develop a relatively new Boron—aluminizing technology with lower consumed energy and higher efficiency.

**Key words:** self-protective; Boron—aluminizing; paste; orthogonal test

### 0 引 言

硼铝共渗首先由前苏联研究成功<sup>[1]</sup>, 由于其不仅能提高钢的表面硬度和耐磨性, 而且还可以改善钢的热稳定性, 因而目前仍是研究的热点。硼铝共渗常见的方法主要有粉末法、液体法及膏剂法。粉末渗硼铝工作环境差, 渗剂用量大, 渗件的尺寸和数量受到限制; 液体熔盐电解渗硼铝由于所用坩埚使用寿命短, 工件表面粘盐不易清理及质量较难控制等问题, 应用较少; 膏剂渗具有设备简单, 操作方便, 渗层厚度均匀等优点, 因此, 近年来膏剂硼铝共渗得到重视<sup>[2,3]</sup>, 但因为工艺不成熟, 没有得到广泛应用, 研究多局限于装箱密封法和在保护气氛中加热。因此, 本试验以价格低廉的硼砂为供硼剂, 采用膏剂自保护技术制备了硼铝渗层, 试样渗后表面光洁, 解决了硼砂引起的粘结问题。自保护

是指渗剂在加热时可自发形成一层保护膜, 膜下的渗剂仍能保持疏松状态, 极易清除, 试验过程中无需装箱密封或保护气氛等繁琐工序, 可以直接在空气中加热, 简化了生产工艺, 因而更易于推广。

### 1 试验材料及方法

试验基材为 35CrMo, 尺寸为  $\phi 28 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 。共渗方法为膏剂法。供渗剂为铝粉、硼砂; 活化剂为冰晶石、氯化镁, 余量为填充剂, 加入自保护层成分并用粘结剂调成膏状渗剂, 均匀涂敷于试样表面, 厚度 4~6 mm, 在炉中烘干。渗剂按正交因素分组配制, 经充分混匀后进行分组正交试验分析; 为选定最佳渗剂配方。共渗参数均为 930  $\times 4 \text{ h}$ , 渗后取出空冷。

显示组织的腐蚀液为三钾试剂(P.P.P试剂)。由黄血盐 $[\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}]$ 、赤血盐 $[\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 、氢氧化钾(KOH)、水( $\text{H}_2\text{O}$ )配成, 腐蚀后, FeB呈深

收稿日期: 2005-11-04; 修回日期: 2005-12-02

作者简介: 王海芳(1980-), 女(汉), 辽宁阜新人, 硕士生。

褐色,  $Fe_2B$ 呈黄色; 如果延长腐蚀时间,  $FeB$ 呈浅蓝色,  $Fe_2B$ 呈棕色。三钾试剂常用于区分 $FeB$ 和 $Fe_2B$ 相, 对基体组织不起作用。经三钾试剂侵蚀后再用 5 % 硝酸酒精液腐蚀即可显示基体显微组织。在 Nikon—EPIPHOT 300 型金相显微镜上观察摄制渗层组织, 放大倍数为 500 倍, 按金相检测自动评定系统测定渗层厚度。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 粘结剂的选择

粘结剂应具有易涂、烘干不裂、渗后易清理、成本低等性能, 目前常用的有: 聚乙烯醇、羧甲基纤维素、松香酒精、水玻璃等<sup>[4]</sup>。试验选用聚乙烯醇、羧甲基纤维素作为粘结剂, 比较其粘结性、光洁度等表面状况, 选择性能优异的来调制膏剂。

聚乙烯醇在制备膏剂过程中, 渗剂结块, 有胶状物质产生, 改变其浓度, 上述现象不能消除。原因是膏剂中的硼砂与聚乙烯醇发生化学反应生成凝胶。

羧甲基纤维素制备的膏剂粘性较好, 易涂敷。通过 40 ~ 50 °C 水浴加热, 使其充分溶解。4 种不同百分含量的粘结剂对膏剂烘干后表面状态的影响见表 1。

表 1 粘结剂含量对膏剂表面状态的影响

Table 1 The influence of content of adhesive agent on the surface status of paste

粘结剂百分含量/%	膏剂层表面形态
3	有很多细小裂纹, 表面不平整
5	无裂纹, 表面完整, 光洁
7	无裂纹, 表面完整, 光洁
10	有大裂纹贯穿表面

由以上结果分析, 粘结剂的百分含量对膏剂烘干后的表面状态有很大影响, 粘度小膏剂不易涂敷, 烘干后裂纹细小繁多; 粘度大膏剂成型性好, 但烘干后易形成破坏性的贯穿裂纹。百分含量为 5 % 和 7 % 的羧甲基纤维素涂敷易、成型性好, 都满足试验要求。本试验选用百分含量为 5 % 的羧甲基纤维素作为粘结剂。

### 2.2 渗剂初选

在渗剂组分中, 供铝剂、供硼剂、活化剂及填充剂之间的组分关系对共渗过程的渗层组织结构和渗入速度等都有很大影响, 决定了渗层的质量与性能。为了能选择出最佳渗剂配方, 在使用正交试验优化之前, 根据查阅的相关资料, 对渗剂组分中的供铝剂、供硼剂、活化剂及填充剂的含量进行初选。

在前两组正交试验结果中, 试样表面均出现了不同程度的粘结物, 难于清理, 膏剂不易脱落, 渗层极浅甚至未能渗入, 并且有严重的氧化脱碳现象。分析主要原因有: 造成试样表面出现粘结现象的原因是硼砂的加入量过多。硼砂作为价格低廉的渗硼剂而受到人们的广泛关注<sup>[5,6]</sup>, 但由于渗硼效果不理想和粘结问题使其使用受到限制。调整还原剂和硼砂的比例或者降低硼砂含量可以避免硼砂粘结。造成试样表面脱碳的主要原因在于未形成有效的保护层, 保护层成分含量要进行优选。

### 2.3 正交试验设计结果和膏剂最佳配比确定

在以往对配方多次试验的基础上, 确定试验中温度和时间两个因子为 930 °C、4 h。单独变动供渗剂、活化剂和填充剂的用量, 通过对渗剂初选的直观分析, 降低硼砂含量, 调整保护层的配比, 建立的膏剂配方正交试验及采用极差分析法对试验结果的分析, 见表 2。表中评分标准为: 不紧密—1~3, 较紧密~紧密—4~7, 致密—8~10; 无铝—0, 铝较少—1~2, 铝多—3;  $FeB$ —1~3, 双相—4,  $Fe_2B$ —5~7。评分的差别主要依据相图, 如图 1 所示。图 1 是经三钾试剂侵蚀后再用 5 % 硝酸酒精腐蚀的试样 9 的金相组织照片, 白色区域 A 中呈针条状或小粒状分布的为铝的化合物, 呈棕黄色的 B 区为  $Fe_2B$  相。

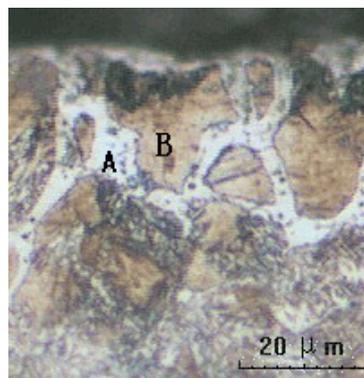


图 1 试样 9 渗层金相照片

Fig.1 Metallograph of Sample 9 alloying layer

表2 膏剂配方正交试验及试验结果

Table 2 Orthogonal test of paste formula composition and analyses of experimental results

试验号	Al粉/%	硼砂/%	活化剂/%	填充剂1*/%	致密性	评分	相组成	评分	渗层厚度/ $\mu\text{m}$	试验指标/分			综合分
										致密性	相组成	渗层厚度	
1	A1	B1	C1	D1	较紧密	4	单相 FeB, 铝多	6	44.224	0.00	0.50	0.00	0.150
2	A1	B2	C2	D2	紧密	6	双相, Fe <sub>2</sub> B相较多, 铝较少	5	44.782	0.50	0.25	0.07	0.382
3	A1	B3	C3	D3	较紧密	5	单相 Fe <sub>2</sub> B, 铝多	8	46.172	0.25	1.00	0.24	0.474
4	A2	B1	C2	D3	较紧密	6	双相, Fe <sub>2</sub> B相较多, 铝多	7	48.720	0.50	0.75	0.56	0.581
5	A2	B2	C3	D1	较紧密	6	双相, 铝多	7	47.238	0.50	0.75	0.37	0.562
6	A2	B3	C1	D2	致密	8	单相 FeB, 铝少	4	47.100	1.00	0.00	0.36	0.636
7	A3	B1	C3	D2	较紧密	4	双相, Fe <sub>2</sub> B相较多, 铝多	7	47.432	0.00	0.75	0.40	0.265
8	A3	B2	C1	D3	紧密	7	双相, FeB 相较多, 铝较少	6	47.436	0.75	0.50	0.40	0.640
9	A3	B3	C2	D1	致密	8	双相, FeB 相较多, 铝少	4	52.292	1.00	0.00	1.00	0.700
K1	1.006	0.996	1.426	1.412									
K2	1.617	1.584	1.663	1.283									
K3	1.605	1.810	1.301	1.695									
R	0.611	0.814	0.362	0.412									
		因素主次								BADC			
		最优方案								A2B3C2D3			

注：\* 剩余含量为填充剂 2

试验目的是为了得到耐磨耐蚀的渗层, 耐磨件应该为一定厚度而且致密的硼化物层, 原则上应为 Fe<sub>2</sub>B 单相型; 当渗层为双向时, FeB 相厚度应占总厚度的 1/3 ~ 1/2。抗蚀件渗层可为单相或双相, 但必须致密, 只允许轻微的疏松度<sup>[7]</sup>。因此耐磨耐蚀件必须致密, 可为单相 Fe<sub>2</sub>B 或双相。应用实践表明, 渗层厚度只要达到 30 ~ 50  $\mu\text{m}$ , 就可提高工件表面质量, 使用寿命提高<sup>[8,9]</sup>。根据以上分析把渗硼铝效果的 3 个指标按其重要程度排列如下: 渗层越致密越好; 相组成以单相的 Fe<sub>2</sub>B 为好; 渗层厚度越厚越好。对于耐蚀耐磨渗层, 应首先考虑致密性, 其次考虑相组成和渗层厚度, 所以, 应该按致密性确定各因素的主次, 但由于相组成和渗层厚度也有一定影响, 所以, 选定致密性的权重系数为 0.6, 相组成的权重系数为 0.3, 渗层厚度的权重系数为 0.1。

由以上分析可见, 综合考虑致密性、相组成和

渗层厚度的影响, 在保证致密性及相组成的情况下, 渗层只要具有一定的厚度就可以。通过综合评分法, 确定 4 个因素对渗层 3 个指标的影响主次顺序为 BADC, 即供硼剂是影响渗层综合性能指标的主要因素, 最优方案为 A2B3C2D3。

### 3 结论

(1) 粘结剂的百分含量对膏剂烘干后的表面状态有很大影响, 选用百分含量为 5% 的羧甲基纤维素作为粘结剂作试验比较合适。

(2) 调整还原剂和硼砂的比例或者降低硼砂含量可以避免硼砂粘结。

(3) 为获得耐蚀耐磨性能, 在保证致密性及相组成的情况下, 渗层只要具有一定的厚度就可以。因此, 因素对渗层 3 个指标的影响主次顺序为 BADC, 最优方案为 A2B3C2D3。

参考文献:

(下转第 27 页)

(上接第 27 页)

- [1] . 里霍维奇. 多元共渗 [M]. 李贻锦, 赵鹭华译. 北京:机械工业出版社, 1983:96-282.
- [2] 金秋云,徐柏林,等. 稀土硼铝共渗膏的研制及生产应用[J].应用能源技术, 2000, 60(2):4-5.
- [3] 陈九磅,刘少光,束德林,等. 5CrMnMo 钢膏剂硼铝共渗层的高温磨损特性 [J]. 金属热处理, 2001 (2):8-10.
- [4] 欧雪梅,倪振尧. 膏剂渗硼不装箱法的工艺研究与分析 [J]. 中国矿业大学学报, 1998, 2(27):200-203.
- [5] 章为夷,等. 硼砂型固体渗硼剂的应用 [J]. 金属热处理, 1996 (4):10-12.
- [6] 陶锡麒,刘小林. 膏剂渗硼剂的研究 [J]. 机械工程材料, 1999, 23(2):44-46.
- [7] 吉泽升. 多元渗硼技术及其应用 [M]. 北京 :机械工业出版社, 2004:1-10.
- [8] 金秋云,等. 稀土硼铝共渗膏的研制及生产应用 [J]. 应用能源技术, 2000 (2):4-5.
- [9] 唐明华. 模具钢稀土硼铝共渗的研究和应用 [J]. 材料保护, 2003, 36(3):42-44.

作者地址：山东省东营市北二路 271 号 257061

Tel: (0546) 8392378; E-mail:whfang3@126.com