

# 稀土对45钢固体硼氮共渗过程的影响<sup>\*</sup>

朱世杰 郭喜云 杨凯军 楼南金 楼华 杜明伟  
(郑州工业大学材料科学与工程系) (郑州工业大学机械厂)

**摘要** 研究了稀土对45钢固体硼氮共渗工艺、渗层成分、组织、耐磨性及断口形貌的影响。试验结果表明,稀土的加入使渗速增大,渗层中B、N含量特别是N的含量增加,硼化物针齿变得细密、直长;且FeB的相对含量减少,Fe<sub>2</sub>B相增加,渗层耐磨性提高,同时稀土增加了过渡区厚度,减少裂纹源。生产应用证明,稀土硼氮共渗可使烟机配件的使用寿命大幅提高。

**关键词** 稀土硼氮共渗;组织;耐磨性

**中图分类号** TG 251

## 0 引言

我国稀土资源丰富,各行各业在稀土的应用研究方面都取得了丰硕的成果。在化学热处理领域,稀土更具有独特的作用:催渗作用和合金化作用<sup>[1]</sup>。本文将稀土化合物应用于45钢固体硼氮共渗过程,取得了很好的效果:硼氮共渗速度提高,渗层成分和组织得到明显改善,疲劳磨损抗力增加,已应用于烟机配件、摩擦片和模具的生产中。

## 1 试验材料和方法

试验材料为45钢,渗剂由硼氮共渗剂和稀土化合物按一定比例配制而成,设备为箱式电阻炉及BN共渗箱。

试验方法:(1)用正交试验法选取共渗温度、时间和稀土加入量。(2)用金相显微镜、X射线衍射分析仪和俄歇能谱仪分析渗层的成分、组织、相结构和观察断口形貌。(3)用显微硬度计和磨损试验机测渗层的硬度和耐磨性。(4)进行生产应用跟踪检验。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 稀土对硼氮共渗工艺过程的影响

表1为稀土硼氮共渗正交试验结果,表中数据表明在硼氮共渗剂中添加一定比例的稀土化合物能使渗速明显增加。在900℃时,不加稀土渗5h层深为133μm,而加入2%稀土后只需4h,层深可达133μm;在930℃时不加稀土渗4h,层深为133μm;而加2%稀土后渗3h,层深为143μm,渗5h层深为173μm;催渗效果非常明显。随温度升高或时间延长渗层加厚。

对正交试验结果进行方差分析如表2。给定 $\alpha=5\%$ 查F分布表得 $F_{0.95}(2,2)=19$ ,3个F值均大于19,表明温度、保温时间和稀土加入量对渗层均有显著影响。从试验中发现温

\* 河南省科技攻关项目(921110505)

收稿日期:1998-04-29

第一作者 男 1966年9月生 硕士学位 工程师

度过高、时间过长易引起工件变形及基体晶粒粗化,而稀土加入量到2%时,渗层孔洞增多,渗剂有粘结工件现象,渗后试样表面质量不好。因此选择最佳工艺温度900℃,保温5.0h,加入1%的稀土化合物,并用该工艺处理组织和性能分析试样。

## 2.2 稀土对渗层微区成分及B、N含量的影响

用扫描俄歇能谱仪上微探针

对渗层微区成分进行定性分析和半定量分析,稀土硼氮共渗试样与不加稀土时成分基本一致,只是加入稀土后表面出现了K元素的富集区。半定量分析结果如表3,表中数据显示加入稀土后

渗层中B、N元素的含量增加,特别是N元素的含量增加较大。N含量的增加将有助于提高渗层的韧性和硼化物层与基体的结合力。

表3 渗层成分的半定量分析结果(at%)

| 试样 | 溅射深度(A) | B    | N    | C    | O    | K   | Fe   |
|----|---------|------|------|------|------|-----|------|
| 稀土 | 0       | 23.9 | 10.6 | 24.3 | 21.6 | 3.7 | 15.9 |
| 硼氮 | 250     | 36.0 | 6.5  | 10.8 | 8.1  | 3.5 | 35.1 |
| 试样 | 2000    | 45.6 |      |      | 1.3  |     | 53.0 |
| 硼氮 | 0       |      |      | 26.6 | 41.8 |     | 31.6 |
| 试样 | 300     | 32.9 | 8.9  | 9.4  | 9.3  |     | 41.5 |
|    | 2000    | 43.8 |      |      | 2.0  |     | 54.5 |

## 2.3 稀土对渗层金相组织及相结构的影响

如图1为45钢的渗层组织,加稀土后渗层的金相组织与不加稀土时相似,主要由硼化物层、过渡区及心部组织组成,不同的是加入稀土后硼化物针齿细密、直长、组织细化。经X射线衍射分析没有发现新相,表层为 $Fe_2B+FeB$ (少量),过渡区为碳的富集区( $Fe_3C$ )和氮的富集区( $\epsilon-Fe_{2\sim 3}N$ ),但加入稀土后 $Fe_2B$ 和 $FeB$ 相的相对含量发生变化, $Fe_2B$ 相增加, $FeB$ 相减少,且 $Fe_2B$ 相在 $[002]$ 方向上择优取向程度增加。 $Fe_2B$ 相的增加和择优生长对于提高渗层的使用性能非常有利。

## 2.4 扫描俄歇断口分析(SAM)

经处理后的试样在真空条件下打断,其断口形貌如图2,其中图2(a)中断口明显分为两部分,A区为沿晶断裂,这是硼氮共渗层,B区为解理+撕裂的混合型断口,这是基体组织,两区之间有一过渡薄层,该层使渗层与基体分离,为明显的裂纹源;图2(b)为稀土硼氮共渗试样断口,A区也为沿晶断口,为稀土硼氮共渗层,存在粗、细晶区,细晶区向内延伸为微晶

表1 正交试验结果

| 炉号 | 温度(℃) | 时间(h) | 稀土量(%) | 层深( $\mu m$ ) |
|----|-------|-------|--------|---------------|
| 1  | 870   | 3     | 0      | 66            |
| 2  | 870   | 4     | 1      | 93            |
| 3  | 870   | 5     | 2      | 133           |
| 4  | 900   | 3     | 1      | 106           |
| 5  | 900   | 4     | 2      | 133           |
| 6  | 900   | 5     | 0      | 133           |
| 7  | 930   | 3     | 2      | 143           |
| 8  | 930   | 4     | 0      | 133           |
| 9  | 930   | 5     | 1      | 173           |

表2 方差分析表

| 方差名称 | S    | f | S    | F  | 显著性 |
|------|------|---|------|----|-----|
| 温度   | 3611 | 2 | 1805 | 95 | **  |
| 时间   | 3030 | 2 | 1515 | 80 | **  |
| 稀土量  | 757  | 2 | 379  | 20 | *   |
| 误差   | 38   | 2 | 19   |    |     |

区即B区,二者之间由于微晶的堆积掩盖了渗层区与微晶区的交界,在微晶区与基体交界处的断裂特征为沿晶断裂小面十解理,在两交界处都没有发现裂纹源。这说明加入稀土后过渡区厚度增加,硼化物层与基体结合力增强,减少裂纹源,有利于提高表面接触疲劳磨损抗力<sup>[2]</sup>。

## 2.5 稀土对硼氮共渗层硬度和耐磨性的影响

用显微硬度计对渗层的显微硬度进行测量,结果两试样的显微硬度值基本相同,即HV 0.1 值为1400~1900。在MM 200型磨损试验机上进行耐磨性能试验,试验时采用两

(a) 硼氮共渗试样 (b) 稀土硼氮共渗试样

图1 45钢渗层的金相组织照片(900℃×4h)100×

表4 耐磨性试验结果(磨损量 mg)

| 转数(×10 <sup>3</sup> 转) | 5    | 15   | 20   | 25   | 30    | 35    | 45    | 55    |
|------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| RE 上试样                 | 9.3  | 20.2 | 21.7 | 22.9 | 25.8  | 30.1  | 38.9  | 164.1 |
| BN 下试样                 | 20.2 | 48.1 | 60.5 | 71.1 | 87.9  | 107.7 | 161.7 | 673.5 |
| BN 上试样                 | 16.3 | 24.6 | 32.8 | 61.1 | 123.9 | 269.7 |       |       |
| RE 下试样                 | 23.7 | 32.1 | 32.9 | 60.5 | 105.4 | 216.7 |       |       |

(a) 硼氮共渗试样

(b) 稀土硼氮共渗试样

图2 45钢渗层的断口形貌(真空下打断)340×

尺寸完全相同的环形试样高速对磨,磨损到上、下两种试样均出现麻点或剥落为止。由于上下两试样转速不同,有10%的相对滑动,是一种滚滑结合方式,试验结果如表4,表中数据显示在同样条件下,稀土硼氮共渗试样(RE 试样)的磨损量小于硼氮共渗试样(BN 试样),即稀土硼氮共渗试样耐磨性较好。

## 3 稀土硼氮共渗在生产上的应用

将稀土硼氮共渗工艺应用于烟机配件如烟枪、拉条、烟舌、盖板、刀片以及模具的生产过程中,能显著提高零件的使用寿命,如表5。

表5 不同工艺在烟机配件生产上的应用效果

| 工艺方法   | 工艺和性能特点                       | 实际生产特点                  | 失效方式 | 使用寿命       |
|--------|-------------------------------|-------------------------|------|------------|
| 渗碳     | 时间短, 渗层深, 但硬度不高, 耐磨性差         | 淬火易变形, 成品率低, 生产成本高      | 磨损   | 连续使用约1个月   |
| 渗氮     | 时间长, 渗层浅, 硬度和耐磨性比渗碳好, 但比硼氮共渗差 | 温度低, 变形小, 但生产周期长, 生产成本高 | 磨损   | 连续使用2~3个月  |
| 稀土硼氮共渗 | 时间短, 渗层浅, 但硬度高, 耐磨性好          | 变形小, 生产周期短, 成品率高, 生产成本低 | 磨损   | 连续使用12个月以上 |

稀土硼氮共渗对设备无特殊要求, 是一种通用型新工艺, 能够提高渗速, 提高劳动生产率, 降低生产成本。

## 4 结论

4.1 稀土对硼氮共渗具有明显的催渗作用。

4.2 稀土使渗层中B, N含量特别是N的含量增加。硼化物齿变得细密直长、组织细化, Fe<sub>2</sub>B相增加, FeB相减少且Fe<sub>2</sub>B相在[002]方向上择优取向程度增加。

4.3 断口分析和耐磨性测试表明稀土增加过渡区厚度, 硼化物层与基体的结合力增强, 裂纹源减少, 渗层的耐磨性提高。

4.4 稀土硼氮共渗使烟机配件的使用寿命大幅度提高。

## 参考文献

- 1 刘志儒. 稀土化学热处理的研究与生产应用前景. 材料保护, 1990, 123(1, 2): 112~116
- 2 高彩桥, 刘家浚. 金属的粘着磨损与疲劳磨损. 北京: 机械工业出版社, 1989. 117~132

## Effects of Rare Earth Element on the Boronitriding Process of 45 Steel

Zhu Shijie Guo Xiyun Yang Kaijun Lou Nanjin Lou Hua Du Mingwei  
(Zhengzhou University of Technology)

**Abstract** The effects of rare-earth on the pack boronitriding process, concentration, microstructure, wear-resistance and fracture appearance of boronitrided case of 45 steel are studied. The experimental results show that, owing to the addition of RE into the medium, the diffusing rate and the contents of B and N increas, the boride teeth become finer, longer, and more straight, the relative content of the FeB phase decrease and that of the Fe<sub>2</sub>B phase increase, the transistional zone becomes deeper and the origin of crack is lessened. The expectation life of some tobacco-machine fitting by RE-boronitriding is raised considerrably.

**Keywords** RE-boronitriding; microstructure; wear-resistance