

固体法稀土—硼共渗研究*

张家春 白书欣 赵清海

(国防科技大学)

乔明俊 王 蓉

(长沙交通学院)

摘 要 本文研究了固体法稀土—硼共渗层的组织性能,并与单渗硼层进行了比较,结果表明,稀土—硼共渗提高了渗硼层的耐磨性,降低了渗硼层的脆性,改善了渗层的组织。文中还用现代分析测试手段分析了渗层中的稀土元素,发现稀土元素可渗入到40Cr钢中800 μm 深处。本文对稀土—硼共渗的机理及稀土元素的作用做了初步的分析探索。

关键词 稀土—硼共渗, 组织, 性能

分类号 TQ128. 3

近年来,稀土元素在化学热处理中的应用越来越广。在渗碳或碳氮共渗过程中加入少量的稀土可使渗速提高25%,并使渗层性能得到改善^[1]。稀土—硼共渗可以改善渗硼层的组织结构,提高渗硼速度,降低渗硼层的脆性。稀土—硼共渗工艺有多种,本文从固体法入手,对稀土—硼共渗进行了较为全面的研究。

1 实验材料、方法及设备

实验采用8 \times 15 \times 120、5 \times 14 \times 19、5 \times 10 \times 15三种规格的40Cr钢试样,分别用于脆性测试、X射线相分析和金相显微测试。渗剂为自配的稀土—硼共渗剂和市售的CB—1型粒状渗硼剂,工艺规范为950 $^{\circ}\text{C}$ \times 6hr.,空冷。渗后的试样在显微镜下进行组织结构、显微硬度分析测试,利用自制的试验机进行磨损实验,利用声发射仪和三点弯曲试验测试渗层的脆性,利用离子探针和能谱仪分析渗层中的稀土元素。

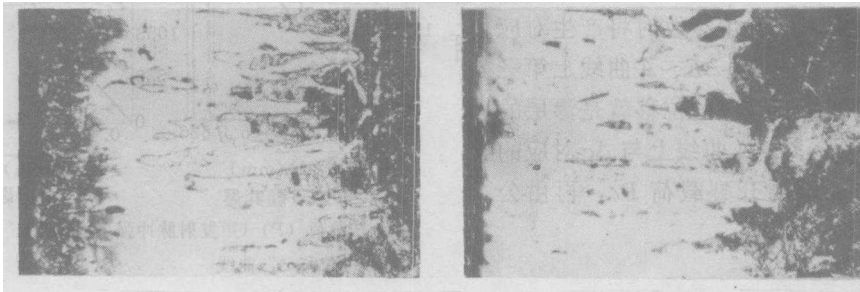
2 实验结果

2.1 渗层的组织结构

图1为渗层的金相组织照片,其中a)为稀土与硼共渗层,b)为单渗硼层。从中可见稀土与硼共渗层由FeB和Fe₂B两相组成,图中靠边界的深色组织即为FeB相,X射线衍射分析表明,共渗层中还有其它相,极有可能是稀土元素与钢中杂质元素S、Si等反应生成的相;单渗硼层中未见FeB相。比较两种渗层的微观结构,发现稀土—硼共渗层外

* 1991年5月11日收稿

部结构较疏松，中部结构致密， Fe_2B 相的针齿细密，齿状渗层齿根深度与齿尖深度之比 h_g/h_i 为 0.66；单渗层外部结构致密，中部与基体相接邻， Fe_2B 相针齿较粗大，间距大，齿根深度与齿尖深度之比 h_g/h_i 为 0.56。因此，稀土—硼共渗层仍保持了单渗硼的组织特征，只是比单渗层更致密，尤其是渗层的中间部分。



a) 稀土—硼共渗 ×320

b) 单渗硼 ×320

图1 渗层的显微组织

2.2 渗层的显微硬度

图2为渗层硬度分布曲线。可见，共渗层外部显微硬度较中部低，这从另一个方面说明了共渗层外部结构疏松。从整个渗层显微硬度分布来看，共渗层的硬度梯度小，对提高渗层与基体的结合力十分有利，在使用过程中渗层不易剥落。

2.3 渗层的耐磨性能

渗后的试样在自制的磨损试验机上进行实验，实验条件为

载荷：30kg；摩擦形式：滑动干摩擦；摩擦速度：18.9m/min；对偶件：GCr15 淬火+低温回火。

实验结果列于表1中。由于共渗试样和单渗试样具有完全相同的实验条件，所以表中的试样失重量就体现了渗层耐磨性的好坏。对表中数据做线性回归处理，得出两种渗层的试样在磨损过程中单位时间内的失重为：

单渗硼：0.15mg/min；稀土—硼共渗：0.12mg/min。

因此，从总体来讲，稀土—硼共渗层的耐磨性优于单渗硼层。进一步分析表中的数据可发现，在磨损的初始阶段，单渗硼的耐磨性优于稀土与硼共渗层，磨损十分钟后，单渗硼试样的失重为2.6mg，而稀土—硼共渗试样的失重却达4.2mg；在10~30分钟之间，两种渗层的耐磨性相近。但在30分钟之后，稀土—硼共渗层表现出了较单渗硼层优异的耐磨性。出现这种现象的原因是由于稀土—硼共渗层外部结构疏松，硬度较低。

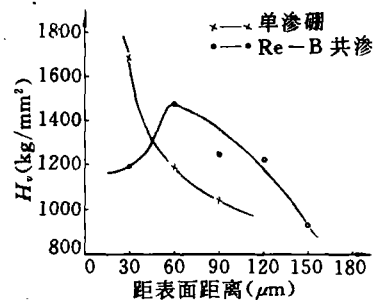


图2 渗层中显微硬度分布

表1 不同时间下的磨损失重 (mg)

时间(min)	单渗硼层	稀土—硼共渗层
5	0.9	2.6
10	2.6	4.2
15	2.9	5.5
20	3.4	6.2
30	5.7	7.5
40	7.6	7.8
50	8.8	8.1
60	9.3	8.9
70	10.7	11.2
80	12.1	12.0
90	14.0	12.3

2.4 渗层的脆性

实验采用三点弯曲声发射监测表层开裂的方法测量渗层的脆性, 测量结果如图 3 所示。根据声发射原理, 试样在弯曲过程中表面产生裂纹时将产生对应的声发射脉冲^[2], 在 $\Delta E \sim \Delta$ 曲线上第一个声发射脉冲所对应的位移就是渗层的开裂位移 Δ_c , $P \sim \Delta$ 曲线上与 Δ_c 对应的载荷即为渗层的开裂载荷 P_c , 再由公式^[2]

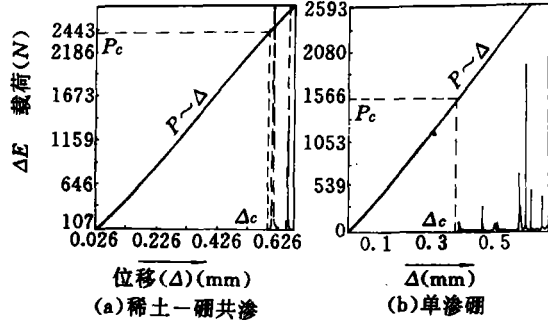


图 3 “载荷 (P) (声发射脉冲强度 (ΔE))
—位移 Δ ” 曲线

$$\sigma_c = 1.5 \frac{P_c L}{bh^2}; \quad A = \frac{1}{2} P_c \Delta_c$$

计算出开裂应力 σ_c 和开裂功 A 。上式中 L 为三点弯曲的跨距, b 为试样的宽度, h 为试样的高度。渗层的脆性可用 Δ_c 、 σ_c 和 A 三个指标来衡量。脆性测试及计算结果列于表 2 中。对比两种渗层的 Δ_c 、 σ_c 和 A , 可以得出结论, 稀土与钡共渗层的脆性比单渗钡层小, 因而稀土与钡共渗较好地克服了渗钡层脆性大的缺点, 为扩大渗钡工艺的应用提供了一条有效的途径。

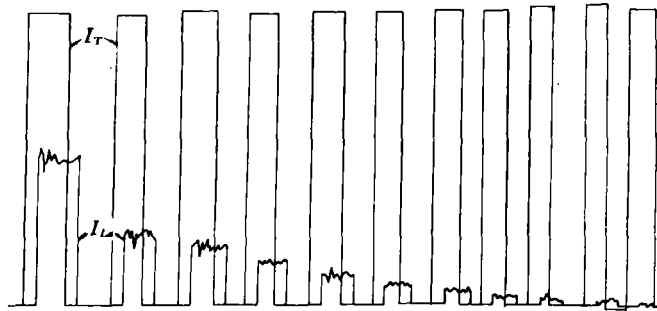
表 2 脆性测试计算结果

渗层	试样尺寸(mm)			开裂载 荷 P_c (N)	开裂位 移 Δ_c (mm)	开裂应力 σ_c (N/m ²)	开裂功 A (J)
	跨距 L	宽度 b	高度 h				
单渗钡	100	15.10	8.16	1540	0.35	2.30×10^8	0.27
稀土—钡共渗	100	14.98	8.16	2404	0.59	3.62×10^8	0.71

2.5 渗层中的稀土元素

(1) 离子探针分析

用离子探针仪从试样边界起对共渗层进行定点分析, 每隔 $100\mu\text{m}$ 测一个点, 测试结果如图 4 所示。图中给出了所测各点的全离子流强度 I_T 和元素 La 的特征离子流强度 I_{La} 。 I_{La}/I_T 值的大小反映了元素 La 的相对含量, 计算出各点的 I_{La}/I_T 值并



实验条件: 离子流 O_2^+ 能量 10Kev 束流 $2\mu\text{A}$ 束径 $66\mu\text{m}$

图 4 离子探针分析图谱

绘制成曲线,就得到如图 5 所示的渗层中 La 的浓度分布曲线。由图足见,稀土元素 La 在钢表层中呈梯度分布,即稀土元素的含量随深度的增加而逐渐减小,这就表明,钢表层中的稀土元素是通过渗剂中的稀土元素原子被钢表层吸收进而向内部扩散而来的,因此,在稀土-硼共渗过程中,稀土元素的确渗入到了钢表层中,在 950℃保温 6hr. 的条件下,La 元素渗入到 40Cr 钢中的深度为 800 μm (见图 5)。

(2) X 射线衍射分析

图 6 为稀土-硼共渗层的 X 射线衍射图谱。标定后发现渗层中除了含有 FeB、Fe₂B、SiC 相外 (SiC 为渗剂中的填充剂),还含有 La₂S₃ 和 LaSi_{2-n} 等相,这就进一步表明,稀土元素渗入到了钢表层中,并与其中的 S、Si 等杂质元素生成了新相,这些新相具有较高的熔点,从而消除了 S 与 Si 的有害作用,提高了渗层的机械性能。应该指出,渗层中并不含有 SiC 相,此处出现 SiC 的衍射峰是由于试样表面粘附有少量渗剂所致。

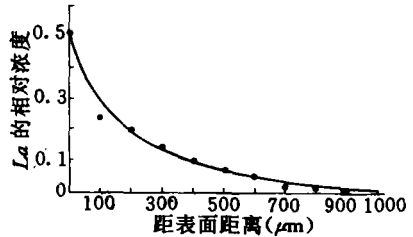


图 5 渗层中 La 的浓度分布

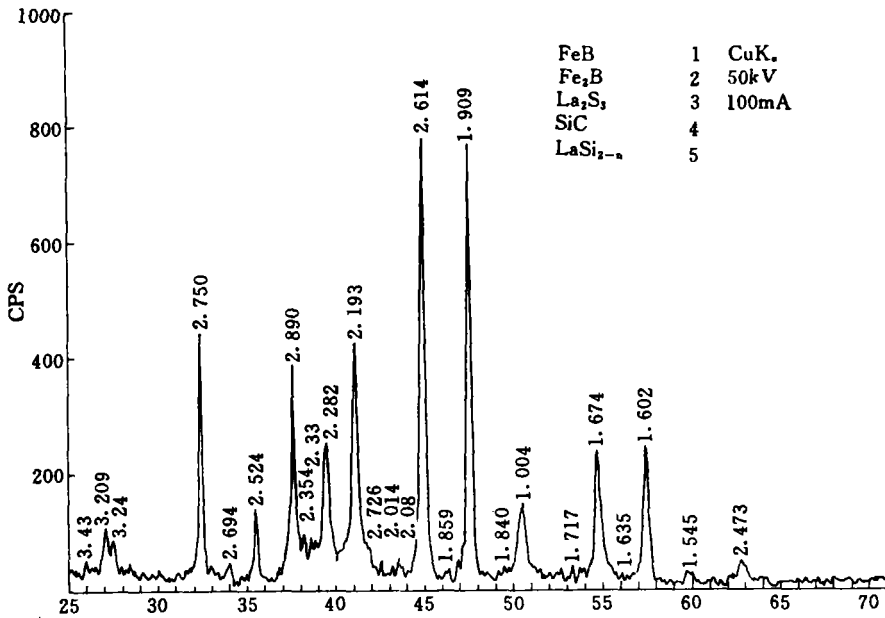
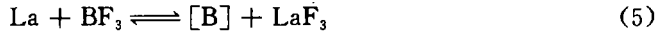
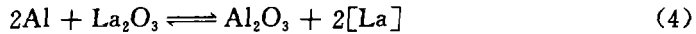
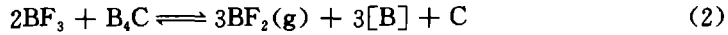
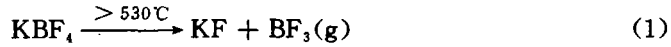


图 6 渗层的 X 射线衍射图谱

3 关于稀土-硼共渗机理及稀土元素作用的讨论

实验中采用的稀土-硼共渗剂由 SiC、KBF₄、B₄C、La₂O₃ 和铝粉组成。在高温下,渗剂中将发生如下反应:



由此产生的活性硼原子和活性稀土原子被钢表层吸附、吸收，然后向钢内部扩散，形成稀土与硼的共渗层。值得注意的是并非所有的活性原子都能被吸收，由于活性稀土原子对硼原子有较强的亲合力，因此将有反应(6)发生，生成的 LaB_4 可以起到控制硼势的作用，防止出现过多的 FeB 相，这对降低渗层脆性十分有利。

稀土元素除了在渗剂中所起的作用外，还有如下作用：一是它的晶界净化作用，稀土元素渗入到钢中之后，和偏聚在晶界上 S、Si 等杂质元素生成高熔点化合物，消除了不利影响；二是它的合金化作用，由于稀土原子半径比铁大 25%，渗入之后将引起基体发生较大的点阵畸变，起到强化作用；三是它可以细化渗层组织（见图 1）。

总之，稀土—硼共渗是一种十分有前途的新工艺，其中的许多理论问题有待进一步研究。通过本文研究可得以下结论：

(1) 固体法可以实现稀土与硼的共渗，稀土元素 La 可以渗入到 40Cr 钢表层 800 μm 深处。

(2) 稀土—硼共渗层具有比单渗硼优异的机械性能。

(3) 渗入到钢中的稀土元素可以改善渗层的组织，消除杂质元素 S、Si 等的有害作用。

参 考 文 献

- 1 韦永德等. 中国稀土学报, 1986, (3)
- 2 袁振明等. 声发射技术及其应用. 机械工业出版社, 1985, (3)

Study on Powder RE—boroning

Zhang Jiachun Bai Shuxin Zhao Qinghai
(National Univeresity of Defense Technology)

Qiao Mingjun Wang Rong
(Changsha Communication College)

Abstract

The structure and properties of powder RE—boronizing Layer are studied and compared with boronizing layer, It follows that RE—boronizing layer possesses higher wear—resistance, lower brittleness and finer structure. It also shows that RE—atoms can be absorbed by the surface of steel, and migrate to the depth of 800 μ with the aid of advanced analyzing methods. Besides, the mechanism of RE—boronizing and the effects of RE.

Key words RE—boronizing, wear—resistance, brittleness