

文章编号 :1007 - 649X(2001)02 - 0107 - 03

# 钢的低温渗硼剂的研制

余煜玺<sup>1</sup>, 朱世杰<sup>1</sup>, 马庆勇<sup>2</sup>, 陈瑞路<sup>2</sup>

(1. 郑州工业大学材料科学与工程系, 河南 郑州 450002; 2. 郑州锅炉厂, 河南 郑州 450052)

摘 要: 在经过初步选择渗剂的基础上, 采用正交试验优化选择研制了低温渗硼剂的最佳配方. 通过金相分析、显微硬度测定等实验, 分析了低温渗硼层的显微组织、硬度分布. 结果表明, 正交试验能有效减少试验次数, 获得最佳渗剂配方. 该低温渗硼剂能较好地实现低温渗硼, 渗硼层呈梳齿状, 致密、疏松孔洞少, 硼化物前沿没有明显的过渡区, 也无明显的富碳区. 渗硼层显微硬度梯度比较平缓, 渗层与基体结合较好.

关键词: 正交优选; 渗硼剂; 低温

中图分类号: TG 156.87 文献标识码: A

## 0 引言

低温渗硼, 实际上就是指在钢临界点( $A_1$ )以下的温度进行渗硼<sup>[1]</sup>, 特别是在钢回火温度下进行渗硼, 不仅能改善渗层性能, 降低能耗和减少工件变形, 进一步扩大渗硼工艺的应用, 而且还能简化工艺, 具有明显的经济效益. 而要较好地实现低温渗硼, 则必须有优良的渗硼剂. 本文以 45 钢固体渗硼为例, 通过添加稀土, 采用正交试验方法, 探索实现低温渗硼的渗剂配方.

## 1 试验方法及步骤

(1) 低温渗硼方法: 试样材料为 45 钢, 其处理步骤为: 配方→清洗试样→烘干试样→试样装罐密封→罐入炉渗硼→罐出炉清理.

(2) 相同的处理温度、保温时间的前提下, 对低温渗硼中的渗剂各组分进行初步优化.

(3) 对初步优化的组分用正交试验方法进行渗剂优选, 以渗层层深、渗层组织、渗剂松散度、工件表面粘结情况为标准, 选择最佳配方.

(4) 制作金相试样, 拍摄金相照片, 分析渗层金相组织.

(5) 测试渗层显微硬度.

## 2 试验结果与分析

### 2.1 渗剂组分的初步选择

渗剂组分中, 供硼剂、活化剂、催渗剂之间的组分关系对渗硼速度、渗层组织结构和表面硬度有很大影响, 决定了渗层的质量与性能. 为了能选择出最佳渗剂配方, 在优化渗剂之前, 对渗剂组分中的供硼剂、活化剂以及催渗剂的量进行初选. 初选试验中, 供硼剂为  $B_4C$ , 活化剂为  $KBF_4$ , 催渗剂为氯化稀土, 填充剂为  $SiC$  与活性碳.

由初选试验得出: 供硼剂的选量在 15% 左右, 催渗剂大致在 5% ~ 10% 之间, 活化剂可以适当地大一点. 为了找出最佳渗剂配方, 减少试验次数, 以此为依据利用正交表进行正交试验, 进行优选.

### 2.2 渗剂优选

优选出的最佳渗剂配方, 必须能使渗硼后的工件有较深的层深, 同时渗剂松散不粘结工件. 在选定渗剂五组分中,  $SiC$  作为填充剂含量最多, 其含量在一定范围内变化对渗硼质量影响较小. 而  $B_4C$ 、 $KBF_4$ 、活性碳和氯化稀土的百分含量对渗硼质量影响较大. 故以其四组分作为因子, 选用三水平四因子正交表进行正交试验<sup>[2]</sup>. 相应的因子和水平见表 1.

计算各因子在 3 种水平下渗层层深的平均值. 以此数据作水平层深图 1. 从图 1 可以看出, 渗剂各组分含量的变化对层深都有影响, 只是不

收稿日期: 2001 - 01 - 30; 修订日期: 2001 - 02 - 30

基金项目: 河南省科技攻关项目(991130117)

作者简介: 余煜玺(1974 - ), 男, 湖南省攸县人, 郑州工业大学硕士研究生.

同水平下,影响的趋势不同:碳化硼组分,随其含量的增加,层深先是减小,而后增大;氟硼酸钾组分,随其含量增加,层深一直减小;氯化稀土组分,随其含量的增加,层深先是增加而后减小;活性碳组分,随含量的增加,层深一直增加。

表 1 渗剂组分的正交试验  $L_9(3^4)$

Table 1 The orthogonal experiment  $L_9(3^4)$  of composition

序号	碳化硼/%	氟硼酸钾/%	氯化稀土/%	活性碳/%	碳化硅/%	渗层层深/ $\mu\text{m}$
1	10	10	5	10	余量	27.65
2	10	15	7.5	15	余量	34.34
3	10	20	10	20	余量	34.00
4	15	15	10	10	余量	26.03
5	15	15	10	10	余量	13.29
6	15	20	5	15	余量	13.13
7	20	10	10	15	余量	27.65
8	20	15	5	20	余量	33.44
9	20	20	7.5	10	余量	30.03

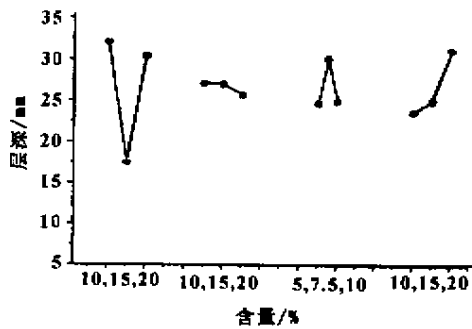


图 1 45 钢水平层深图

Fig.1 The relation between level and depth for 45 steel

为了更确切地找出渗剂组分中各因子对渗层的影响程度大小,对上述正交试验进行方差分析。根据统计原理,取检验水平  $\alpha = 5\%$ ,则  $F_{0.95}(2, 18) = 3.55$ ,得方差分析结果,见表 2。

表 2 正交试验方差分析

Table 2 The noticeability analysis of orthogonal experiment

方差名称	$S$	$f$	$\bar{S} = S/f$	$F$	显著性
碳化硼	1130.1	2	565.05	7434.9	***
氟硼酸钾	9.092	2	4.55	59.9	*
氯化稀土	173.47	2	86.74	1141	**
活性碳	289.3	2	144.65	1903	***
误差	1.37	18	0.076	-	-

总结水平层深图与方差分析结果,得渗剂优

表 3 渗硼后的显微硬度值

Table 3 Microhardness of boronization layer

距表面距离/ $\mu\text{m}$	20	30	40	50	65	80	100
显微硬度/数据	1648.8	1543.6	1283.2	802.4	259.6	256.8	210.2

选的配方结果:10%  $\text{B}_4\text{C}$  + 10%  $\text{KBF}_4$  + 7.5% 氯化稀土 + 20% 活性碳 +  $\text{SiC}$ 。

2.3 金相组织分析

在优选渗剂下低温渗硼,金相组织如图 2 所示。由图 2 可以看到,优选渗剂下低温渗硼,硼确已渗入钢内形成硼化物层,并且渗硼层呈梳齿状。这是由于渗硼时,硼在两种铁硼化合物中的扩散都是沿 C 轴较快<sup>[3]</sup>,沿 C 轴的择优扩散使晶粒沿扩散方向迅速生长,形成深深楔入基体且垂直于表面的“指状”结构。但在优化渗剂下低温渗硼,硼齿变短,表层更加致密,疏松孔洞也少。

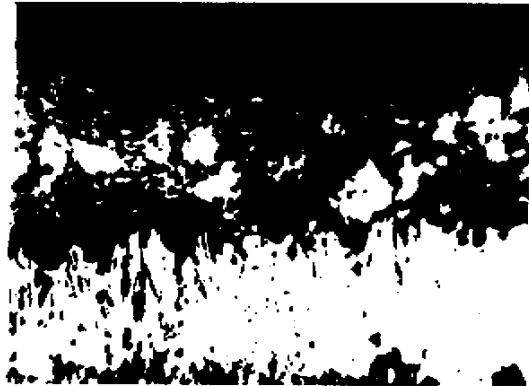


图 2 45 钢金相组织

Fig.2 Metallograph structure for 45 steel

由图 2 也可以看到,渗硼层与基体之间没有明显的过渡区,未出现黑色组织。渗硼时,  $\text{FeB}$  和  $\text{Fe}_2\text{B}$  相中,碳几乎都不能固溶,渗硼层中的含碳量必定要低于钢中原始含碳量。随着钢中硼化铁相层逐渐向基体的纵深延伸,碳原子通过扩散逐步被驱至硼化铁相层下的次层。由于碳原子的不断堆积,在渗硼层下较易形成一个富碳区。而在本渗剂下低温渗硼,铁素体溶碳甚少,渗硼后的冷却过程中不发生共析转变,不出现晶粒粗大的伪共析或过共析组织的过渡区,但硼化物不溶碳,渗层部位的碳同样要被挤向硼化物前端的基体,因此硼齿前端或齿间仍会出现富碳区,但由于温度低,碳的扩散系数比较小,因此低温渗硼层前沿的富碳过渡区比较窄,甚至是难以分辨。

2.4 显微硬度

本渗剂下低温渗硼后,表层到基体的显微硬度值见表 3。

为了便于直观分析 ,以显微硬度值(  $HV_{0.1}$  )为纵坐标 ,距表面距离为横坐标 ,得硬度曲线如图 3 所示 .

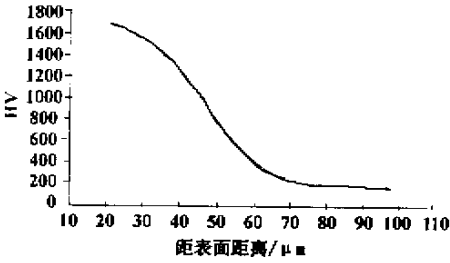


图 3 45 钢的显微硬度曲线

Fig.3 Microhardness curve of 45 steel

由图中可以看出 ,表面硼化物层硬度极高 .随着向基体推移 ,硬度值开始缓慢下降 .降的比较平缓是因为得到的渗层中硼化物比较致密 ,而且也很少有疏松和孔洞 .硼化物的前端 ,硬度值已变得小于 802.4HV ,这是因为在前端 ,硼化物层的分布比中间部分要稀疏 .硼化物层与基体接触的地方 ,

硬度值降得很快 ,这说明此处为一个富碳区 ,但富碳区比较窄 .这与前面金相分析结果相吻合 .

### 3 结论

( 1 )采用正交试验法研制低温渗硼剂 ,减少试验次数 ,获得了合理渗剂配方 .

( 2 )在低温渗硼剂下低温渗硼 ,渗硼层呈梳齿状 ,但致密 ,疏松孔洞少 .

( 3 )在优选的渗剂作用下 ,渗硼层显微硬度梯度比较平缓 ,渗层与基体结合较好 .

### 参考文献 :

- [ 1 ] 钟华仁 . 钢的稀土化学热处理[ M ] . 北京 :国防工业出版社 ,1998 .23 - 25 .
- [ 2 ] 汪荣鑫 . 数理统计[ J ] . 西安 :西安交通大学出版社 ,1996 .68 - 70 .
- [ 3 ] 孔德淳 . 化学热处理原理[ M ] . 南昌 :航空工业出版社 ,1992 .32 - 35 .

## Study on Low Temperature Boronizing Supply Agent

YU Yu - xi<sup>1</sup> , ZHU Shi - jie<sup>1</sup> , MA Qing - yong<sup>2</sup> , CHEN Rui - lu<sup>2</sup>

( 1 . Department of Material Science & Engineering , Zhengzhou University of Technology , Zhengzhou 450002 , China ; 2 . Zhengzhou Boiler Plant , Zhengzhou 450052 , China )

**Abstract :** After selecting a better pack material , it deals with orthogonal optimum seeking of a best composition of low temperature pack boriding medium . By examinations of metallograph , microhardness , X - ray diffraction , the author determines the boriding layer ' s microstructure and hardness curve . The result shows that the orthogonal optimum seeking can reduce the time for experiment and obtain the best supply agent , and the low temperature boronizing supply agent is effective , the boriding layer is tooth - like , but it becomes compact in texture and less loose and porous , in the front of boriding layer there is no obvious transition region and full of carbon region . Moreover , the gradient of microhardness of the boriding layer is quite gently , the combination of the boriding layer with basic structure is better .

**Key words :** orthogonal optimum seeking ; boronizing supply agent ; low temperature