

# 铁基粉末冶金零件 膏剂渗硼的研究

陈嘉权 李逸泰

郭永茂

(广西大学)

(南宁粉末冶金厂)

**〔摘要〕** 本文介绍有关铁基粉末冶金零件膏剂渗硼的研究结果。用扫描电镜、电子探针和光学显微镜观察和分析渗层的显微组织和成分。研究了影响渗层厚度的基本因素,并测定渗层的硬度和耐磨性。试验结果表明,铁基粉末冶金零件膏剂渗硼是一项有价值的化学热处理工艺。

## 引言

化学热处理对提高钢铁零件的使用性能和扩大使用范围起到重要的作用。化学热处理若能广泛用于粉末冶金制品,必将产生显著的技术经济效益。渗硼是提高机械零件耐磨性能的最有效方法之一。它能使零件表面获得一般化学热处理所难以达到的高硬度(Hm1200~2200)。此外,渗硼层还具有良好的耐蚀性和耐热性。有关粉末冶金零件渗硼的研究,据已发表的少量文献介绍,目前多为固体粉末渗硼或液体渗硼,膏剂渗硼极少。然而膏剂渗硼恰恰有很多优点,如渗剂消耗少,易清理,便于局部渗硼等。本文对铁基粉末冶金零件膏剂渗硼的工艺参数,渗层的组织和性能进行了初步的研究。

## 一、试验方法

### 1. 试样的制备

压制和烧结如表1所示的两种成分、三种密度的圆柱形渗硼试样,其外径为 $\phi 20\text{mm}$ ,高为10mm。

### 2. 渗膏和渗硼工艺

渗膏的供硼剂为 $\text{B}_4\text{C}$ ,活化剂为 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 。将两者混合均匀后,加入适量糊精,搅拌成

表1 试样的成分和密度

序号	成分, %	密度, $\text{g/cm}^3$
1	$\text{Fe}+0.6\text{C}$	6.0
		6.3
		6.6
2	$\text{Fe}+1\text{Cu}+0.3\text{C}$	6.0
		6.3
		6.6

渗膏。然后把渗膏均匀涂敷在纸上或布上,厚度为1.5~2mm。按试样渗硼表面尺寸,把渗膏裁成相应大小并贴在试样上。经低温烘干,放进处理罐,装入箱式电阻炉处理。控温仪为EO-2型,精度0.5级。处理温度分别为800、850、900、950 $^{\circ}\text{C}$ ,保温时间为1~6小时。

### 3. 渗硼层观察与分析

在光学显微镜下观察渗层形貌,并测定渗层厚度,以硼化物齿端为测量基准。用扫描电镜观察渗层组织,用电子探针进行成分的点分析、线扫描和面扫描。

### 4. 性能测定

用显微硬度计测定渗层的硬度及硬度梯度曲线。在MM-200型磨损试验机上测定不同试样的耐磨性。试样为外径 $\phi 40$ 、内径 $\phi 16$ ,厚10(mm)的圆环。对磨件尺寸为

60×12×6 mm。材料为 GCr15 钢, 经淬火和低温回火, 硬度为 HRC61~63。

## 二、试验结果与分析

### 1. 渗层观察与分析

图 1 是密度为  $6.3\text{g/cm}^3$  的 Fe-Cu-C 系试样经  $950^\circ\text{C}$  保温 6 小时的显微组织。照片清楚表明, 渗层由硼化物层、过渡区和基体三部分组成, 与致密钢件渗硼层相似。图 2 是渗硼层形貌, 硼化物相呈“手指”状楔入基体中。从着色情况来看, 渗硼层为单相组织, 应为  $\text{Fe}_2\text{B}$  相。为证实观察结果, 用电子探针分析渗层成分, 用扫描电镜观察“手指”形貌。



图 1 渗层全貌硝酸酒精腐蚀 ×50



图 2 渗硼层形貌 P.P.P 溶液腐蚀 ×400

据电子探针定点分析, 硼化物相为  $\text{Fe}_2\text{B}$  相。铁线扫描曲线(图 3)在硼化物区内分布平稳, 不出现突变, 证明只有一相存在。另外从渗层的扫描电镜背反射电子像来看(图 4), 除少数“手指”被黑斑隔断外, 其它“手



图 3 FeKa 线扫描

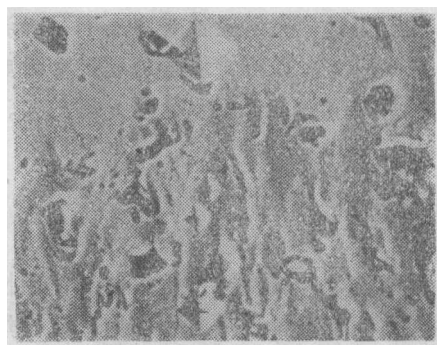


图 4 渗层的背反射电子象

指”几乎贯穿整个硼化物层, 观察不到两相组织的双层“手指”形貌。据多数文献报导,  $\text{Fe}_2\text{B}$  相的显微硬度在  $\text{Hm}1200\sim1600$  间。根据我们测量渗层硬度分布结果, 所得数值有些略低, 但多数处在上述范围内。从上述分析, 可以确认本工艺所得渗层由单相  $\text{Fe}_2\text{B}$  组成。 $\text{Fe}_2\text{B}$  相比  $\text{FeB}$  相塑性较好, 脆性低, 是工业应用所望获得的组织。

仔细观察图 2, 就会发现铁基粉末冶金零件渗层显微组织与致密钢件的渗硼层组织有两处明显差别: 表面疏松层厚; 渗层上分布有大小不等的黑斑。

有关渗硼层表面存在疏松层, 以及疏松层由小孔洞和夹杂物组成的情况, 文献[1、2]已有论述。至于疏松层厚的原因, 可能有三点: (1) 试样密度低。本身存在的大量微小孔洞, 为孔洞的形成和长大创造了十分有利的条件, 而无需象致密钢件那样, 依靠“空位聚集”形成“孔核”; (2) 渗硼过程是一个气相反应过程, 某些气体不可避免地

进入表层的孔隙,加剧孔洞的产生;(3)因是膏剂渗硼,渗箱中存在相当数量的空气,加热到高温,空气中的氧必然与试样表面发生作用。图5是疏松层的背反射电子象,试样表面已氧化,次表层的渗层被孔洞切割,呈现出渗硼层与孔洞交替分布的形貌。



图5 疏松层的背反射电子象

渗层上分布的黑斑无疑是尺寸较大的孔洞,这点从图2和图3可以清楚看出。为从另一方面证实黑斑是孔洞,我们对试样进行了Alk $\alpha$ 面扫描。这是出于如下考虑:制取金相试样时,采用Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>为抛光剂,如果是孔洞,其中必有Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>残存。扫描结果正如所预想的,对应孔洞处出现表征铝存在的花白色斑点。

疏松层和黑斑是渗硼缺陷,影响渗层的性能。从实质来说,两者都是孔洞,只不过前者聚集,后者分散。在外载荷作用下,孔洞起缺口作用,成为有害的应力集中源。它既是裂纹萌生点,又可成为裂纹扩展的有利通道,从而引起渗层碎裂和剥落。为提高零件使用的耐磨性,有人建议把疏松层磨掉。

## 2. 影响渗硼层厚度的因素

研究了处理温度、保温时间和试样密度对渗层厚度的影响。以“手指”顶端为渗层厚度的边界。

### (1) 处理温度

将密度为6.3g/cm<sup>3</sup>的Fe-C系和Fe-Cu-C系两组试样,分别加热到800、850、900、

950℃,保温6小时。之后制成金相试样,用光学金相显微镜测定渗层厚度,结果如图6所示。从图可知,随处理温度的升高,渗层厚度明显增加,呈线性关系。其变化规律与致密钢件渗硼相似<sup>[3]</sup>。图中Fe-Cu-C系试样的渗层厚度略小于Fe-C系试样,这是因为铜的加入阻碍硼在试样中的扩散,使渗层厚度减薄。

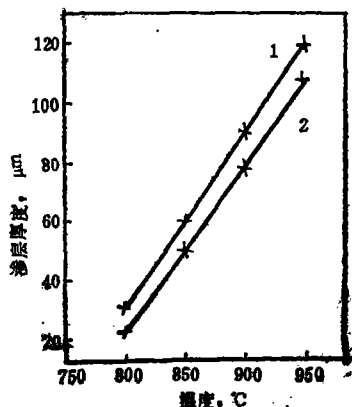


图6 渗层厚度与处理温度的关系

1. Fe-C系; 2. Fe-Cu-C系

### (2) 保温时间

以密度为6.3g/cm<sup>3</sup>的Fe-C系和Fe-Cu-C系两组试样进行试验。处理温度为900℃,保温时间2~6小时。图7为试验结果。渗层厚度随保温时间的延长迅速增加,超过4小时后渗速减慢,其变化规律也与致密钢件渗硼大致相同。

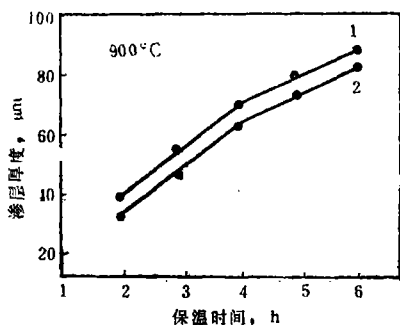


图7 渗层厚度与保温时间的关系

1. Fe-C系; 2. Fe-Cu-C系

### (3) 密度

文献〔4〕用液体法进行铁基粉末冶金制品渗硼的研究, 得出密度对渗层厚度无明显影响的结论。我们试验的三种密度(6.0, 6.3, 6.6g/cm<sup>3</sup>)所得结果与此相似。但从6.0g/cm<sup>3</sup>试样中发现个别试样不形成“手指”状硼化物相, 仅得到较厚的块状渗硼区。经测定, 该区白亮组织的显微硬度, 靠近试样外表处为Hm<sub>0.5</sub> 500左右, 其余为Hm<sub>0.5</sub> 350上下。显微硬度比基体高出很多, 说明已有硼原子渗入。文献〔5〕曾报导, 铁基粉末冶金制品渗碳, 密度为6.0g/cm<sup>3</sup>时, 不形成渗碳层, 仅出现穿透渗碳现象。我们对比观察了块状渗硼区的二次电子象(图8)和与该

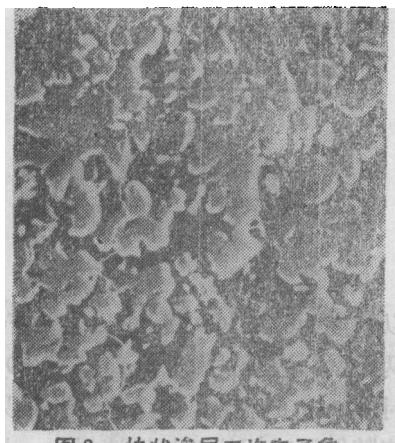


图8 块状渗层二次电子象

区相对应的经抛光而不腐蚀的金相组织(图9)。发现试样过于疏松, 大小孔洞分布密集。这就为硼原子向内扩散创造极为有利的条件。由此, 初步认为是穿透渗硼。

### 3. 渗层硬度

测量了不同密度和不同成分的渗硼层硬度, 发现它们之间无明显差别, 均在Hm<sub>0.1</sub> 1150~1540之间。原因可能是: (1) 影响硬度的主要因素是组织结构, 现各试样的渗硼层都是Fe<sub>2</sub>B相, 并无质的差别; (2) 试样密度虽有不同, 但对Fe<sub>2</sub>B相的致密度不会产生多大影响; (3) 部分试样含有铜, 但CuKα面扫描结果表明(见图10), 在Fe<sub>2</sub>B



图9 未经腐蚀的显微组织 ×400



图10 CuKα面扫描

相区内, 铜以孤立颗粒状存在, 而基体中的铜溶入铁中, 起着强化基体的作用。

图11是Fe-Cu-C系试样加热至950℃, 保温6小时的渗层显微硬度梯度曲线。硬度梯度曲线较陡, 分布规律先低后高, 转而急剧下降。靠近表面处硬度稍低是受疏松层的影响, 中间凸起部分对应于Fe<sub>2</sub>B相区域, 而

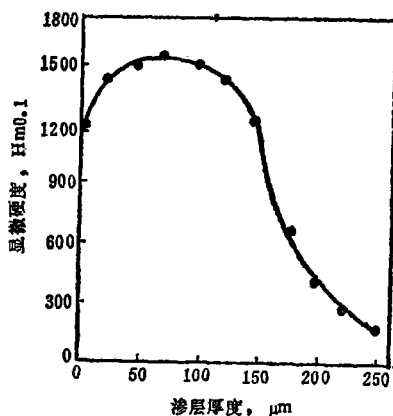


图11 渗层硬度梯度曲线

后通过过渡层迅速下降至基体硬度。硬度梯度曲线较陡,对渗层的使用性能有不利影响,应设法提高基体强度,以保证高硬度渗硼层充分发挥其耐磨性。而通过合金化或提高零件密度可以达到。

### 三、膏剂渗硼对提高耐磨性的作用

磨损试验在MM-200型磨损试验机上进行。试样密度分  $6.6\text{g/cm}^3$  和  $6.3\text{g/cm}^3$  两种,外圆表面渗硼。磨损试样尺寸及对磨件尺寸和性能见前。试验规范:转速为  $200\text{r/min}$ ,负荷  $200\text{N}$ ,干滑动摩擦。用失重法衡量不同试样的耐磨性,称重用感量为万分之一克的精密天秤。称重前先用压缩空气清除表面的残留磨屑。

试验结果见图12。图中各曲线表明,渗硼能大大降低粉末冶金材料滑动磨损的失重量。渗硼试样的失重量仅为渗硼试样的  $1/20 \sim 1/10$ 。对于密度较低,基体强度不高的粉末冶金材料,渗硼也是一种提高耐磨性的有效手段。试验结果还表明,粉末冶金材料的耐磨性与成分和密度有关。 $\text{Fe-Cu-C}$ 系高于 $\text{Fe-C}$ 系,密度高的试样耐磨性也高。这是基体强度不同带来的结果。高硬度的耐磨表面,需要强硬的基体支撑。基体强度低,承受压应力的能力差,表层易碎裂剥落,使高硬度表面失去作用。此外,密度低的试样,渗层中孔洞大而多,反之则少而小。孔洞破坏了渗层的连续性,起缺口效应的作用,是裂纹萌生源之一。在外载荷作用下,促使裂纹萌生和

扩展,引起渗层断裂。因此,欲充分发挥渗硼层的高耐磨性,必须仔细考虑服役条件,使服役条件与零件的密度、成分和组织保持优化配合。

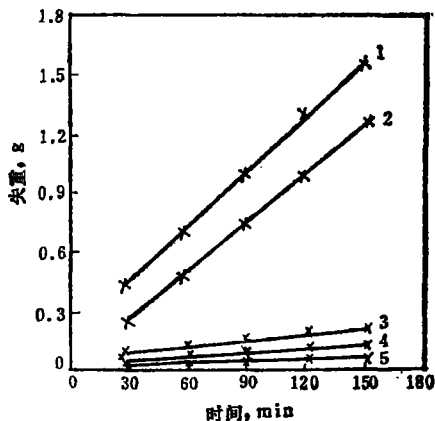


图12 磨损试验结果

1.  $\text{Fe-C}$ 系,  $6.3\text{g/cm}^3$ ;
2.  $\text{Fe-Cu-C}$ 系,  $6.6\text{g/cm}^3$ ;
3.  $\text{Fe-C}$ 系, 渗硼,  $6.3\text{g/cm}^3$ ;
4.  $\text{Fe-C}$ 系, 渗硼,  $6.6\text{g/cm}^3$ ;
5.  $\text{Fe-Cu-C}$ 系, 渗硼,  $6.6\text{g/cm}^3$

### 四、结论

1. 以 $\text{B}_4\text{C}$ 为供硼剂、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 为活化剂的膏剂渗硼,可使铁基粉末冶金零件获得单相的 $\text{Fe}_2\text{B}$ 渗层。
2. 渗硼能大幅度提高铁基粉末冶金零件的耐磨性,为扩大使用范围创造有利条件。
3. 研究结果表明,铁基粉末冶金零件膏剂渗硼工艺是一项有价值的化学热处理工艺。

### 参 考 文 献

- [1] 谢泽嘉,理化检验(物理分册),1985,1:16~20
- [2] 吴鲁周等,金属热处理,1987,2:9~13
- [3] Л.Г.瓦格石宁,钢和铸铁的渗硼,国防工业出版社,1984,52~67
- [4] 涉谷佳男等,国外金属热处理,1986,7:19~26
- [5] 张廷楷等,金属热处理,1986,7:42~44

## A STUDY OF PASTY BORONIZING OF IRON BASE P/M PARTS

Chen Jiaquan, Li Yitai

Guo Yongmao

(Guangxi University)

(Nanning P/M Plant)

**ABSTRACT** The present paper describes the research results concerning the pasty boronizing of iron base P/M parts. The microstructure and composition of boronizing layer were observed and analyzed with scanning electronic microscope, electronic probe and optical microscope respectively. The basic factors influencing the thickness of boronizing layer were studied, meanwhile the hardness and wear-resistance of the layer were determined. The experimental results show that the pasty boronizing of iron base P/M parts is an useful technology of chemical heat treatment.

## 中国机械工程学会组织机构及职务中英文统一名称

中国机械工程学会 CHINESE MECHANICAL ENGINEERING SOCIETY (CMES)

理事会

COUNCIL

常务理事

STANDING COUNCIL

理事长

PRESIDENT

副理事长

VICE-PRESIDENT

秘书长

GENERAL SECRETARY

常务理事

MEMBER OF STANDING COUNCIL

理事

MEMBER OF COUNCIL

中国机械工程学会 × × 专业学会

× × INSTITUTION, CMES

管理委员会

GOVERNING COMMITTEE

常务委员会

STANDING COMMITTEE

主任委员

CHAIRMAN

副主任委员

VICE-CHAIRMAN

总干事

EXECUTIVE DIRECTOR

副总干事

DEPUTY EXECUTIVE DIRECTOR

常务委员

MEMBER OF STANDING COMMITTEE

委员

MEMBER OF GOVERNING COMMITTEE

干事

STAFF MEMBER

中国机械工程学会 × × 专业学会 × × 专业委员会

× × TECHNICAL COMMITTEE, × × INSTITUTION, CMES

主任委员

DIRECTOR

副主任委员

DEPUTY DIRECTOR

中国机械工程学会 × × 专业学会 × × 专业委员会 × × 学组

× × TECHNICAL GROUP, × × TECHNICAL COMMITTEE,

× × INSTITUTION, CMES

〔中国机械工程学会粉末冶金专业学会秘书处供稿〕(以本期刊载为准)