

硼铬稀土共渗对提高钢的耐磨粒 磨损性能的试验研究^{*}

许 斌 冯承明 宋月鹏

(山东农业大学)

摘 要 研究了采用固体硼铬稀土共渗工艺(一种新的金属表面硬化工艺),得到硬化层——硼铬稀土共渗层的组织,脆性和耐磨粒磨损特性均得到改善。并进行了应用试验。结果表明,硼铬稀土共渗层在保留了渗硼层高硬度的同时,明显降低了脆性,可使共渗层的耐磨粒磨损性能比渗硼层提高 0.31~0.68 倍,且应用效果显著。研究结果对农业机械零件表面硬化工艺的选择具有指导作用。

关键词 硼铬稀土共渗 磨粒磨损 脆性 应用

磨损失效是农机件的主要失效形式,据统计,其中 70%~80% 是磨粒磨损失效。因此,提高农机件的耐磨粒磨损性能具有十分重要的意义。固体渗硼是一种方便易行的金属表面热处理工艺,渗硼层具有的高硬度($> 1500 \text{ HV}$)和一定的耐蚀性使渗硼工艺比较适合某些农机件的表面硬化。它比常规处理 65Mn 钢的耐磨粒磨损性能提高 4~7 倍,故一些农机件的固体渗硼已列入国家或行业标准^[1,2]。然而,由于渗硼层脆性大、在高应力磨粒作用下易开裂和剥落,造成其抗磨作用不能得到充分发挥。因此,应设法保留渗硼层硬度并降低脆性,才能有效阻止显微裂纹的产生和扩展,充分挖掘其耐磨潜力。研究表明,硼的多元共渗是降低渗硼层脆性的有效途径,共渗元素可选择电负性较铁小的过渡族和稀土元素。

在研究固体硼铬稀土共渗工艺的基础上,本文探讨了硼铬稀土共渗层(以下简称共渗层)的磨粒磨损特性,并且进行了现场应用试验,同时与渗硼层进行了比较。目的是寻找更为适宜某些农机件的表面强(硬)化工艺,推进金属表面热处理新技术在农机制造中的应用。

1 试验材料和方法

把 45 钢检测和磨损试样分别进行 850 $\times 4 \text{ h}$ 固体硼铬稀土共渗和渗硼处理。检测试样渗后正火,磨损试样渗后水淬、低温回火。共渗剂为粉末状,其主要成分为工业硼砂、高碳铬铁粉、氯化稀土、石墨以及活化剂和还原剂;渗硼剂为粒状硼砂型。

利用 MM 200 型磨损试验机进行磨粒磨损试验。试样接触形式如图 1 所示。下试样为被

收稿日期: 1997-03-16

^{*} 山东省科委资助项目

许斌, 硕士, 副教授, 泰安市岱宗大街 61 号 山东农业大学工程技术学院, 271018

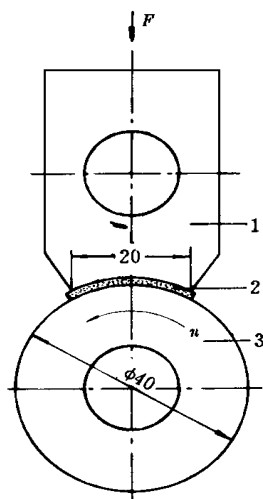
测试样, 在上试样的内圆柱面上用快固结构胶(工作温度 < 150)粘固 100 目碳化硅或氧化铝砂纸, 属两体磨粒磨损。试验时下试样转速 $n = 200 \text{ r/min}$ ($v = 0.42 \text{ m/s}$), 所加载荷 $F = 300 \sim 1250 \text{ N}$, 用油冷却兼润滑 (10 mL/min HQB-10 号机油)。为尽量避免由于部分砂粒脱落引起的试验误差, 每间隔 4 min 更换一次粘固新砂纸的上试样。用分度值为 0.1 mg 的 1712MP8 型电子天平称量被测试样磨损前后失重, 并以此计算出磨损率 W 。

把按现标准、共渗和渗硼工艺处理的锤片安装在 FQ-40 型饲料粉碎机上粉碎玉米, 进行现场应用试验。

2 试验结果

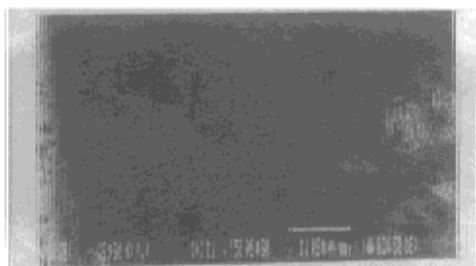
2.1 共渗层组织、脆性和显微硬度

与渗硼层相比, 共渗层组织比较致密(图 2)。这主要表现在两个方面: 共渗层表层疏松较轻, 而渗硼层表层有相对较大的孔洞; 共渗层中硬度低的齿间组织少。X 射线衍射和能谱分析表明, 共渗层中没有出现硬脆的 FeB 相, 而是由铬及稀土元素溶入 FeB 的单相组成, 这与表层出现少量 FeB 相的渗硼层不同。由于稀土元素在共渗中还具有催渗作用, 使共渗层明显增厚。在本试验条件下, 共渗层厚度可达 $83 \mu\text{m}$, 而渗硼层只有 $60 \mu\text{m}$ 。



1. 上试样 2. 砂纸 3. 下试样
图 1 磨粒磨损试验
试样接触形式

Fig 1 Schematic diagram of contact for abrasive wear test



a 共渗层



b 渗硼层

图 2 两种渗层的组织 (SEM)

Fig 2 SEM micro-graphs of layers

采用“显微硬度结合声发射法”测量两种渗层脆性。因为该方法有较强的可靠性、可比性和实用性^[3]。它用 71 型显微硬度计和 4010 系列声发射仪在平行于渗层表面方向上测出渗层在不同负荷 F 下的声发射能量累积计数值 E_n , 因 E_n 与 F 呈线性关系, 故以直线斜率 K 衡量渗层脆性。表 1 是渗后正火后两种试样渗层的脆性比较, 可见, 共渗层脆性低。经计算, 共渗层脆性比渗硼层下降了 41.8%。

由图 3 可知, 渗硼层硬度稍低于共渗层。分析认为其原因是: 渗硼层表层虽有 FeB 相, 但疏松较重; 渗硼层中低硬度的齿间组织较多; 铬、稀土元素的溶入可使共渗层产生固溶强化。同时还发现, 由于共渗层过渡区中碳含量较高, 致使共渗层至过渡区的硬度梯度相对平缓。因此, 有理由认为, 在淬火、低温回火状态下, 支撑共渗层的基础应比渗硼层牢固。

表 1 两种 45 钢渗层脆性比较

Tab 1 Comparison with the brittleness of layers on 45 steel

渗层	F	E_n	K
共渗层	10	4.5	0.207
	25	8.0	
	50	14.1	
	100	23.2	
	200	42.5	
渗硼层	10	5.1	0.361
	25	9.3	
	50	19.5	
	100	35.7	
	200	72.4	

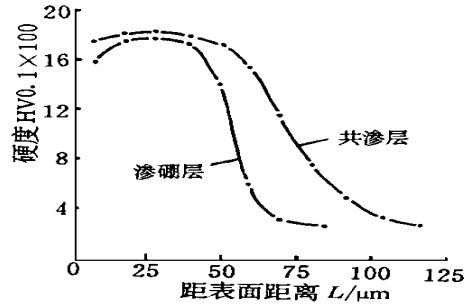


图 3 两种渗层的显微硬度分布

Fig 3 Relationship curves between the micro-hardness and the depth of layers

2.2 载荷对共渗层磨损率的影响

图 4 是共渗层和渗硼层经磨合后在不同载荷下滑动 500 m 后的磨损率大小。显然, 共渗层在试验条件下的磨损率均较小, 而且共渗层在磨损率明显上升之前所能承受的载荷较大。出现载荷与磨损率的非线性关系说明这两种渗层均为脆性材料, 各存在一临界压入载荷, 超过此载荷后, 渗层会发生压痕断裂。这种压痕断裂会发展成垂直于表面的辐射状中线裂纹和压痕附近的横向无出口裂纹。当裂纹互相交叉和扩展到表面时, 则造成渗层剥落, 导致磨损率急剧上升。共渗层临界载荷较大的事实说明共渗层脆性小于渗硼层。

碳化硅磨粒由于硬度高致使它对渗层的磨损率高于氧化铝(图 4)。

2.3 共渗层的磨损曲线

由图 5 可知: 共渗层在任何阶段的磨损率均低于渗硼层; 由于表面疏松的缘故使初始阶段的磨损率稍高; 滑动距离分别超过 2 km 和 3 km 后, 渗硼层和共渗层的基体逐渐暴露造成磨损率明显增加(因为, 此时的磨损面硬度仅为 650 HV 左右)。以稳定磨损阶段渗层平

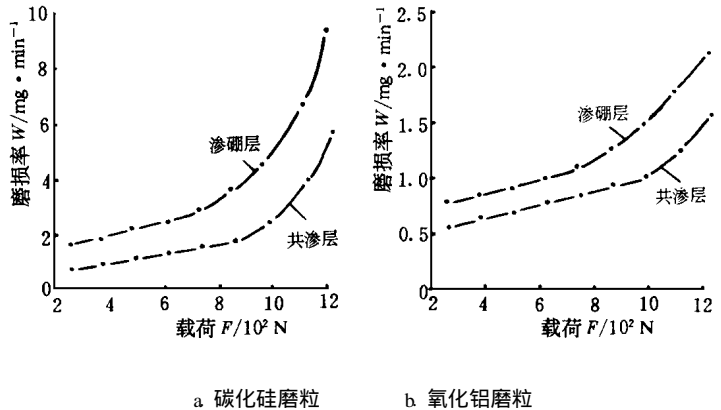


图 4 载荷与两种渗层磨损率的关系

Fig 4 Relationship curves between load and the wear rate of layers

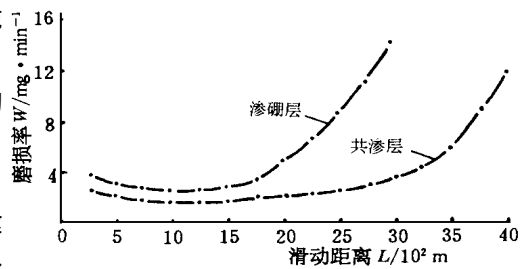


图 5 两种渗层的磨损曲线
(碳化硅磨粒, $F = 700\text{N}$)

Fig 5 Wear rate curves of two kinds of layers
(SiC, 700 N)

均磨损率之倒数作为衡量其绝对耐磨性的指标^[4], 共渗层的碳化硅磨粒磨损性能比渗硼层提高了 0.68 倍(共渗层和渗硼层的碳化硅平均磨损率分别为 1.31 和 2.20 mg/m³in)。同样, 磨粒为氧化铝时, 共渗层耐磨性提高了 0.31 倍。记录摩擦力矩与滑动距离的关系曲线表明了同磨损率的变化规律相吻合, 这均能说明磨粒对共渗层的犁削作用较渗硼层为轻。

2.4 应用于饲料粉碎机锤片的现场试验

与本试验粉碎机配套的锤片为矩形。工作时, 锤片在高速回转运动下受到来自饲料的冲击摩擦而磨损, 因饲料里常混有泥土砂粒更使磨损加剧。磨屑以脆性剥落或疲劳形式脱离母体。当锤片一端直角被磨至一定圆角后, 粉碎效率明显下降, 这时可以调换另一端继续使用直至 4 个直角均被磨钝而失效。表 2 是三种类型 65Mn 钢锤片的现场试验结果, 可见, 就粉碎效率和粉碎量而言, 现行标准锤片最低, 共渗锤片最高。

山东省 1997 年生产粉碎饲料 520 万 t, 按粉碎一半计算, 用共渗锤片比现行标准锤片节电 1373 万 kW·h, 折合人民币 687 万元(按 0.5 元/(kW·h)计)。事实上, 由于粉碎效率的提高, 其它设备、设施的占用时间和消耗费用也随之下降。因此, 硼铬稀土共渗技术的经济效益是显著的。

表 2 三种类型 65Mn 钢锤片粉碎玉米时的经济指标
Tab 2 Economic index of three types of 65Mn steel made flat hammer for smashing maize

锤片类型	平均粉碎效率 /(t·h ⁻¹)	平均耗电量 /(kW·h)·t ⁻¹	失效前的 粉碎量/t
按 SB/T 10118-92 标准生产 SB/T 10118-92	0.555	16.22	217.6
860 × 4h 固体渗硼, 局部淬火、低温回火	0.627	14.34	317.9
860 × 4h 固体硼铬稀土共渗, 局部淬火、低温回火	0.823	10.94	496.7

3 对磨粒磨损试验结果的讨论

由于本磨损试验属于二体磨粒磨损, 两种渗层与基体相比同属脆性材料。分析认为, 磨损机理主要是“微观脆性剥落”机制, 其次是“微观切削”。

“微观脆性剥落”是脆性材料的主要磨粒磨损失效形式, 虽然在磨损失效过程中有塑性变形产生, 但脆断机理占支配地位。在一定滑动速度下, 临界压入载荷对应一磨粒临界压痕深度, 它随材料断裂韧性(K_{IC})和硬度(H)的增加而增加, 对应的磨损率是 $K_{IC}^{-3/4} \cdot H^{-1/2}$ 的线性函数^[4]。对因磨粒作用所形成应力场的研究表明, 在挤进的磨粒下部形成压应力, 与其相毗邻的表面处存在拉应力^[5]。这种拉应力和滑移应力的综合作用, 将容易导致脆性材料显微裂纹的形成。由于目前直接获得渗硼层、共渗层的 K_{IC} 数据尚有困难, 故只能根据影响 K_{IC} 的组织因素以及相关性能作出定性的结论。材料的组织愈致密、夹杂物愈少且它们的平均间距愈大、硬化层至基体的硬度梯度愈平缓、脆性愈小, 其 K_{IC} 应愈大。毋庸置疑, 与渗硼层相比, 共渗层的 K_{IC} 较大, 抵抗显微裂纹产生、扩展的能力强, 故耐磨粒磨损性能高。

两种渗层与碳化硅和氧化铝磨粒的磨损均属“软磨粒磨损”, 即两种渗层与两种磨粒的硬度之比均大于 0.5~0.8。试验已证实, 在“软磨粒磨损”范围内增加被磨材料硬度, 便会迅速提高其耐磨性^[4], 原因是磨粒的微观切削作用明显减轻。显而易见, 共渗层的耐磨性较优(图 3)。此外, 共渗层厚度对提高耐磨性的贡献也不容忽视(图 5)。

4 结 论

- 1) 与渗硼工艺相比, 硼铬稀土共渗能获得相对较厚、组织致密、硬度高、脆性小的共渗层。
- 2) 共渗层脆性的明显下降是其耐磨粒磨损性能优于渗硼层的主要原因。这一事实证明了在保证硬化层硬度的前提下, 降低其脆性对提高工件耐磨粒磨损性能贡献。
- 3) 使用固体硼铬稀土共渗技术能提高饲料粉碎机锤片的粉碎效率和使用寿命, 经济效益显著。因此, 该项技术可以作为选择农机件表面强化工艺的一种新尝试。

参 考 文 献

- 1 朱沅浦, 火树鹏. 热处理手册(第2卷). 北京: 机械工业出版社, 1991. 308~ 309
- 2 许斌, 冯承明等. 常规处理 65Mn 钢与 45 钢硼化物层的磨粒磨损性能研究. 热加工工艺, 1997(4): 19~ 20
- 3 李木森, 侯绪荣等. 渗硼层表面脆性测量方法探讨. 理论检验(物理分册), 1994(5): 33~ 34
- 4 张清. 金属磨损和金属耐磨材料手册. 北京: 冶金工业出版社, 1991. 28~ 65
- 5 中国农业机械化科学研究院工艺材料研究所. 磨粒磨损与抗磨技术译文集. 北京: 机械工业出版社, 1982. 5~ 21

Experiment and Study on Improving the Abrasive Wear Resistance of Steel by RE-Chrome-Boronizing

Xu Bing Feng Chengming Song Yuepeng

(Shandong Agricultural University, Taian)

Abstract Abrasive wear is a main failure type of farm implements, but the abrasive wear resistance can be increased by boronizing technology, which has been successfully applied to agricultural machinery. However, further popularizing the technology is confined because boronized layer is too brittle. Thus, a pack of RE-chrome-boronizing technique has been developed. The micro-structure, brittleness, abrasive behaviour of RE-chrome-boronized layer and applied experiments were studied in this paper. The results show that the abrasive wear resistance of RE-chrome-boronized layer, which possesses high micro-hardness like boronized layer, increases from 31 % to 68 % as compared with that of boronized layer, and that the effects applied to flat-hammer are notable. The research is of great significance to selecting surface hardening technology for the parts in agricultural machinery.

Key words RE-chrome-boronizing, abrasive wear, brittleness, application