

文章编号:1673-9981(2009)02-0097-05

## 硼元素对钢砂(丸)性能的影响

林武春<sup>1</sup>, 张茂勋<sup>2</sup>, 何福善<sup>2</sup>

(1. 华中科技大学材料成形与模具技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430074; 2. 福州大学材料成型系, 福建 福州 350108)

**摘 要:**采用离心喷溅式方法制备钢砂丸,对钢砂丸的耐磨损性能、显微硬度及显微组织等进行了测试。结果表明,当钢砂中硼质量分数高于0.03%时,随着钢砂丸硼含量的增加,钢砂丸的组织变粗大,晶界变明显,耐磨性变差。硼含量为0.03%的钢砂丸的硬度和耐磨性较高、磨损后粒度分布较好、外观圆整率高及空心率低。

**关键词:**硼元素; 钢砂丸; 组织性能; 硼脆现象

**中图分类号:** TG115

**文献标识码:** A

目前,国内外使用的弹丸主要有普通白口铁丸、铸钢丸和钢丝丸。铸钢砂丸与以往大多采用的白口铸铁丸和钢丝丸相比,不仅具有硬度高,而且韧性和抗疲劳强度也较高、破碎率低、清理强化效果明显,是目前最具有应用前景的金属弹丸<sup>[1]</sup>。铸钢砂丸广泛应用于机械、造船、汽车、车辆、飞机及集装箱制造业的零件表面清理、除锈、去漆及表面强化。生产铸钢丸的工艺有气喷法、水射法及离心法等,其中常用的方法是后两种,钢砂丸的硬度一般为HRC40~50<sup>[2]</sup>。由高温钢水经平面射流击散得到的钢丸的脆性大、强度低,必须经过适当的热处理才能使用。为节约能源,只选用适当的回火处理。回火处理后的金相组织以均匀细密的回火马氏体、屈氏体、索氏体为宜<sup>[3]</sup>。

适当加入合金元素能够明显改善钢砂丸的性能,国内外研究人员在合金元素提高钢砂丸性能方面做了许多研究工作,并且获得了较好的效果<sup>[1]</sup>。但是对硼元素影响钢丝丸的性能及工艺的研究相对较少,硼能够明显提高钢丝丸的淬透性和韧性,并能够使铸钢通过调质方法获得很细的晶粒,达到高强度和高韧度,但含硼铸钢在实际应用中会出现冲击韧度、淬透性波动很大的现象,热处理不合适时极易出现“硼脆”现象<sup>[4]</sup>。本文主要对加硼的钢砂丸进行了

宏观形态和微观分析,并研究了硼加入量对其硬度和组织的影响。

## 1 试验方法

### 1.1 钢砂丸原料配比

一般用共析或过共析碳钢生产钢砂丸,这种钢经过适当热处理,可提高其强度和硬度。本实验的原料为生铁、废钢、低碳铬铁、中碳锰铁、硅铁、铝线和硼铁,按照生产轴承钢的原料配比进行配料。实验中所添加硼的质量分数分别为0.03%,0.06%,0.15%。

实验所用工频炉的容量为20~30 kg,设计一炉浇四至五次,平均一浇包量为6 kg。实验中采用“包内冲入法”加合金,合金元素能够被较充分地吸收。硼铁含硼质量分数为20%,由铸钢手册查到该硼铁中硼的吸收率约为50%,根据这些参数可计算出一炉应加入的硼铁量(表1)。

表1 含硼的原料配比  
Tabe 1 The ratio of raw materials with boron

添加硼量 $w(B)/\%$	0.03	0.06	0.15
一浇包中加入硼铁量 $m/g$	3.6	9.6	18

收稿日期:2008-03-24

作者简介:林武春(1983-),男,福建龙岩人,硕士研究生。

## 1.2 钢砂丸的制备

采用离心喷溅式方法制备钢砂丸,其主要设备为:16 MPa 高压水泵、2100 r/min 离心转盘、2m×4m 水池和不锈钢网等。其中主要设备参数:最大水速为 11.237 m<sup>3</sup>/min,最大压力为 0.3 MPa,转盘最大速率为 2100 r/min。

当钢砂生产出来后,采用电磁铁从水池中捞起钢砂丸。由于钢砂丸是湿的,为了使丸粒干燥,避免生锈,先将钢砂放在不锈钢网上,让它充分脱水,然后用烘干炉烘干,炉温一般为 300 ℃。钢砂丸烘干后,采用钢砂丸筛斗对其分类,筛斗规格如下: + 3.27 mm, 3.27~2.67 mm, 2.67~1.62 mm, 1.62~1.27 mm, 1.27~0.63 mm, -0.63 mm。

## 1.3 滚筒式磨损实验

为了比较不同成分材料的耐磨性,本实验采用滚筒式磨损试验机模拟钢砂丸在疲劳磨损的工况下工作。滚筒的直径为 250 mm,转速为 80 r/min。每次取规格 2.67~1.62 mm 的钢砂 200 g,将其放入装有白口铸铁磨球、磨块等磨料的滚筒中进行磨损实验,每次试验 4 h,然后取出称重。每次试样的失重值除以试样原来的质量并乘以 100%,即为试样滚筒式磨损的磨损率。本实验采用磨损实验后试样的碎化分布来评定其磨损性能。

## 1.4 金相试样制备

本实验所制备的钢砂丸较小,为了便于测试钢砂的显微硬度和进行金相观察,必须对试样进行镶嵌。本实验用 2.67~1.62 mm 钢砂丸和碳木粉镶嵌试样,然后打磨抛光成金相样品。

## 1.5 测试方法

为了测试所加合金元素硼对钢砂丸的影响,必须对生产出来的钢砂丸进行宏观观察和内部观察。宏观观察借助肉眼和立式显微镜,对每一试样随机抽出一定量的钢砂丸,其规格为 2.67~1.62 mm,然后观察并统计它的宏观空心率和异性状的钢砂丸的比率,最后统计出钢砂的合格率;内部观察是在试样打磨后,观察并统计其内部空心率。

采用 71 型显微硬度机测试试样的显微维氏硬度,载荷为 200 g。为了观察试样的内部组织结构,采用 4% 硝酸酒精溶液腐蚀样品,然后在 XJG-04 型卧式光学显微镜上观察试样的显微组织,并对典型的视场进行拍照。

# 2 试验结果与分析

## 2.1 硼对钢砂丸形状的影响

硼对钢砂丸形状的影响主要是使钢砂丸产生外部空心 and 内部空心,如图 1 所示。表 2 中列出了硼含量对钢砂丸形状的影响。由表 2 可知,随硼含量的增加,钢砂的成型变差,圆整率降低,钢砂丸的内外空心率增加,最大达到 66.7%。外空心产生的原因主要是硼的加入,使钢水的流动性变差,表面张力减小,从而导致钢砂容易形成板条性钢砂,许多钢砂是由板条状卷曲成圆状,从而出现较大的外空心率,如图 1(a)所示。而出现内空心率较高的原因是在液体快速激冷下,在形成钢砂丸的过程中有许多空气不能及时排出,从而形成大量的气孔。当钢砂丸烘干后,里面出现大量的空心洞,如图 1(b)所示。

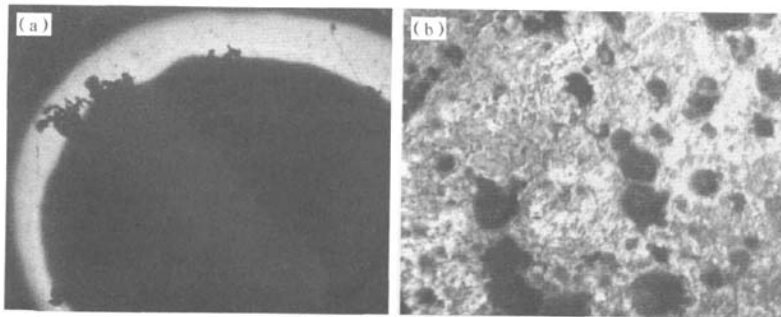


图 1 钢砂丸外部空心形状(a)和内部空心形状(b)

Fig. 1 The external(a) and internal(b) hollow core of grit

表2 硼含量不同的钢砂丸的外观状况  
Table 2 Appearance situation of steel grits with different content of boron

添加硼量 $w(B)/\%$	外观	内部空心率
0	渣较多,钢砂的成型较好,基本接近圆形,有不少的外部空心钢砂丸,合格钢砂丸的尺寸均匀,不合格率 34.0%	宏观完整的试样内部空心率为 16.7%
0.03	渣较多,钢砂尺寸均匀,成型好,有一定量的外部空心钢砂丸,不合格率为 37.2%	外观完整的试样的内部空心率为 35.7%
0.06	渣较多,外部空心钢砂较多,有不少异型钢砂,不合格率为 44.1%	外观完整的试样的内部空心率为 65.5%
0.15	渣较多,外部空心钢砂极多,不合格率为 68.4%	外观完整的试样的内部空心率为 66.7%

2.2 硼对钢砂丸磨损性能的影响

表3列出了硼含量对钢砂丸磨损性能的影响。由表3可知,随着含硼量的升高,其磨损性能逐渐减低。当含硼量达到0.15%时,钢砂丸几乎被磨成了粉末状。只有硼含量为0.03%的钢砂丸经磨损后还剩下1%的2.67~1.62 mm钢砂丸,其他硼含量在这个尺寸的钢砂丸没有任何剩余,全都碎细化了。含

硼量0.03%的钢砂丸经磨损后粗粒砂丸剩余较多,这说明此含硼量的钢砂丸的耐磨性能较高,经磨损后粒度分布也较好。其原因是钢砂丸中加入适量的硼,可提高淬透性和韧性。随硼含量的继续增加,就会产生“硼脆”现象,从晶界析出脆性极大的“硼相”,从而导致耐磨性降低。

表3 含硼钢砂磨损实验结果  
Table 3 Experimental data in wear of grit containing boron

添加硼量 $w(B)/\%$	钢砂丸磨损后在各种规格所占百分量 $w/\%$			
	2.67~1.62 mm	1.62~1.27 mm	1.27~0.63 mm	<0.63 mm
0	0	10	30	60
0.03	1	11	36	52
0.06	0	7	23	70
0.15	0	2	15	83

2.3 硼对钢砂丸显微硬度的影响

图2为硼含量对钢砂丸硬度的影响。从图2可以看出,显微硬度值都在500~1000HV范围,其基体可能为马氏体或细的类珠光体组织<sup>[5]</sup>。当未添加硼时,钢砂丸的硬度最低。当含硼量 $w(B)=0.03\%$ 时,钢砂丸硬度最大。随着硼含量的增加,其硬度逐渐降低。原因是硼提高了钢砂的淬透性,使钢砂的渗碳作用加强,导致在晶界出现一些硼化物。所以合适的硼含量可以提高钢砂的硬度。但是必须考虑“有效硼”,当含硼量增加至一定量时,其硬度减小。

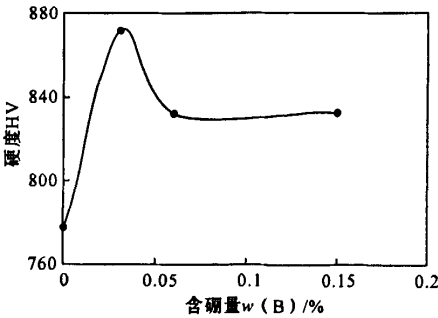


图2 硼含量对钢砂丸硬度的影响  
Fig.2 The effect of boron content on microhardness of grit

## 2.4 硼对钢砂丸组织的影响

图 3(a) 为未加硼试样的金相图. 其显微硬度在 500~1000HV 范围, 其基体可能为马氏体, 依此可以初步判断黑色相为马氏体组织. 图 3(a) 中的白色组织可能为残余奥氏体, 原因是制备钢砂时钢水从 1400℃ 高温直接降到室温, 属于激冷现象, 导致钢水中的组织还没来得及完全奥氏体化, 出现了具有高硬度的残余奥氏体组织. 图 3(b) 白色组织比图 3(a) 多, 可以推断添加 0.03% 硼的钢砂的残余奥氏体比不加硼的钢砂的多, 但也有可能是析出的硼

碳化物, 因为钢砂中加入了硼元素, 硼具有加强钢砂的渗碳作用. 其晶界不明显是由激冷现象产生的. 图 3(c) 金相图中的晶界较明显, 是因随着硼添加量的增加, 钢砂中固溶的硼过于饱和, 促使铁素体形成粗大的硼碳化物, 从而在晶界处聚集大量的硼化物. 但钢砂是通过钢水激冷得到的, 所以其晶粒比较细小. 图 3(d) 和图 3(c) 相比, 其晶界更明显, 晶粒更粗大, 原因是硼含量太高, 使晶界处析出更多的硼碳化物. 由此可知, 当硼含量为 0.03% 时, 钢砂丸可以得到比较好的显微组织结构.

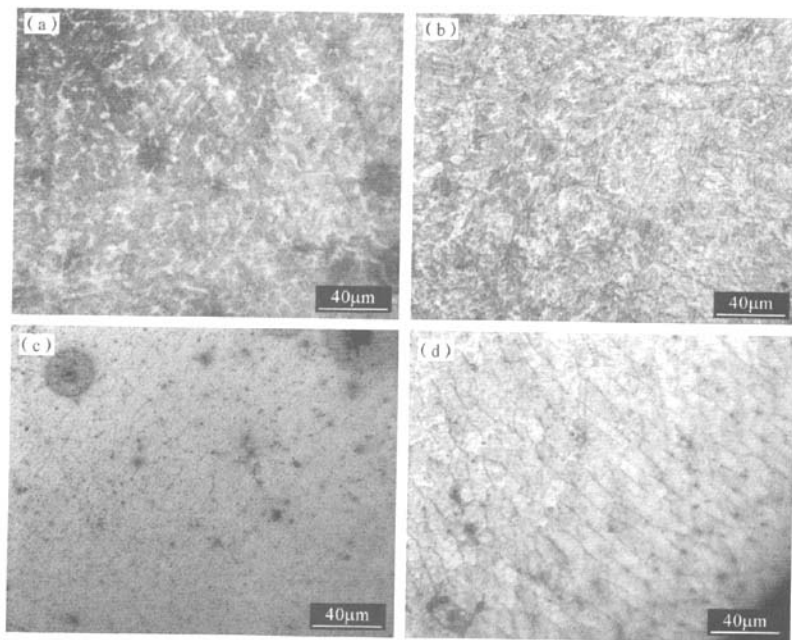


图 3 硼对钢砂组织的影响

Fig.3 The effect of boron on structure of grit

(a) 未加硼; (b)  $w(B)=0.03\%$ ; (c)  $w(B)=0.06\%$ ; (d)  $w(B)=0.15\%$

## 3 结论

硼含量为 0.03% 的钢砂丸的硬度和耐磨性较高、磨损后粒度分布较好、外观圆整度高及空心率低. 当硼含量高于 0.03% 时, 随着钢砂丸硼含量的增加, 钢砂丸的组织变粗大, 晶界变明显, 耐磨性变差. 为了制得性能优良的钢砂丸, 钢砂丸的硼含量为 0.03% 较合适.

## 参考文献:

- [1] 赵宇, 冉旭, 张晓宇. 合金铁丸代替白口铁丸的研究[J]. 热加工工艺, 2001, 41(2): 36-39.
- [2] 姜锡朋. 用气喷法试制钢丸[J]. 铸造机械, 1983, 10(6): 10-14.
- [3] 朱应波, 李桂萍. 最佳硼含量的探讨[J]. 特殊钢, 1990, 35(4): 7-9.
- [4] 张志璞, 王秀敏. 防止和消除硼结构钢“硼脆”的途径[J]. 水利电力机械, 2002, 24(5): 44-50.
- [5] 李树江. 钢丸(砂)的制取设备和工艺[J]. 中国铸造装备与技术, 1998, 31(3): 13-15.

## The influence of boron content on steel grit's property

LIN Wu-chun<sup>1</sup>, ZHANG Mao-xun<sup>2</sup>, HE Fu-shan<sup>2</sup>

(1. *State Key Laboratory of Material Processing and Die & Mould Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China*; 2. *Department of Material Forming Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China*)

**Abstract:** The wear resistant property, microhardness and microstructure of steel grit prepared by centrifugation and splashing method are investigated. It was found that as the content of boron increases ( $> 0.03\%$ ), the microstructure with obvious grain boundary in steel grit becomes coarse and wear resistance decreases; when the content of boron is just up to  $0.03\%$ , the steel grit shows higher wear resistance and hardness with good grain size distribution, high spherical degree and low hollow ratio.

**Key words:** boron; steel grit; structure and property; boron brittleness phenomenon