

# 含硼量对 HT 200性能的影响\*

东北大学 (沈阳 110006) 何奖爱 刘 越 王玉玮  
沈阳轧辊厂 (沈阳 110026) 郭东升

**【提要】**在灰铁生产中加入含硼生铁, 代替价格较高的硼铁合金等, 以达到提高性能的目的。结果表明, 含硼量在0.02%~0.06%时, 力学性能,  $\sigma_s = 212 \sim 239 \text{ MPa}$ ,  $\text{HB} = 197 \sim 209$ , 而且截面硬度分布均匀。随含硼量增加, 石墨细化、珠光体片间距减小, 硬质相硼碳化物量增多。当 $B = 0.05\%$ 时, 相对耐磨性比HT200高1.2倍。

**关键词:** 含硼生铁 HT200 相对耐磨性 硼铸铁

## The Effect of Boron on the Properties of HT200 Cast Iron

He Jiangai, Liu Yue, Wang Yuwei  
(Northeastern University)  
Guo Dongsheng  
(Shenyang Roll Factory)

### Abstract

In order to improve the properties of gray iron, the B containing pig iron is added to it instead of high-priced ferrobore. The results indicated that the mechanical properties of gray cast iron containing 0.02% to 0.06% B are:  $\sigma_s = 212 \sim 239 \text{ MPa}$ ,  $\text{HB} = 197 \sim 209$  and uniform distribution of hardness on casting section. The finer graphite and pearlite and much more B carbides as a hard phase can be achieved with increase of B content. The wear resistance of cast iron containing up to 0.05% B is increased by 1.2 times as compared with that of HT200 cast iron.

国内生产硼铸铁采用硼砂 ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )、硼酸 ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) 或硼铁合金<sup>[1,2]</sup>, 这些材料加入工艺复杂, 硼的吸收率不稳定, 价格也较贵。硼是我国富有资源, 主要以硼镁铁矿形式存在, 硼镁铁矿经高炉生产出含硼生铁<sup>[3]</sup>。含硼生铁价格适宜, 适合冲天炉熔炼。本文研究含硼生铁加入量对HT200性能及组织的影响, 为含硼生铁应用及含硼铸铁的生产提供依据。

## 一、试验材料与方法

### 1. 试验材料

试验用含硼生铁由凤城钢铁厂提供, HT200在试验室配制, 其化学成分见表1。各炉次分别加入含硼生铁, 硼含量依次为(%) : 0, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07。

### 2. 试验方法

抗拉试棒毛坯尺寸为 $\phi 30 \times 200 \text{ mm}$ 。硬度试块有两种: 圆柱形和阶梯形。圆柱形试块尺寸为,  $\phi 100 \times 60 \text{ mm}$ , 在一端加工10mm后测定硬度, 圆柱形试块截面测点位置见图1。阶梯形试块及测点位置见图2, 各

表1 HT200和含硼生铁的化学成分 (%)

Table 1 Chemical composition of HT200 and pig iron containing boron (%)

成分	C	Si	Mn	P	S	B
HT200	3.42	1.65	0.65	0.049	0.023	—
含硼生铁	3.92	2.45	< 0.5	0.091	0.138	0.987

台阶面是对毛坯试块加工10mm后得到的。耐磨试样尺寸见图3, 试验在奥姆斯勒磨损试验机上进行。

金相试样在SEM-505扫描电镜上进行形貌分析。

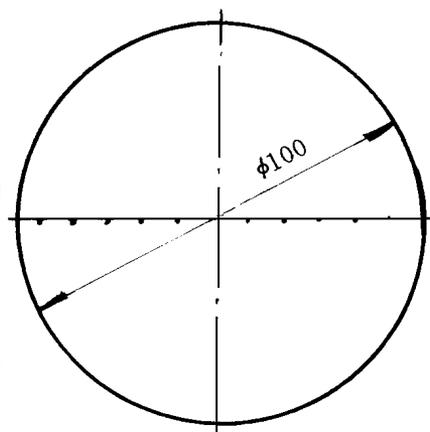


图1 圆柱形试块测点位置  
Fig. 1 The testing position of the circular piece

\* 国家“八五”重点科技攻关项目课题: 1996年7月15日收到初稿; 1996年9月28日收到修改稿。

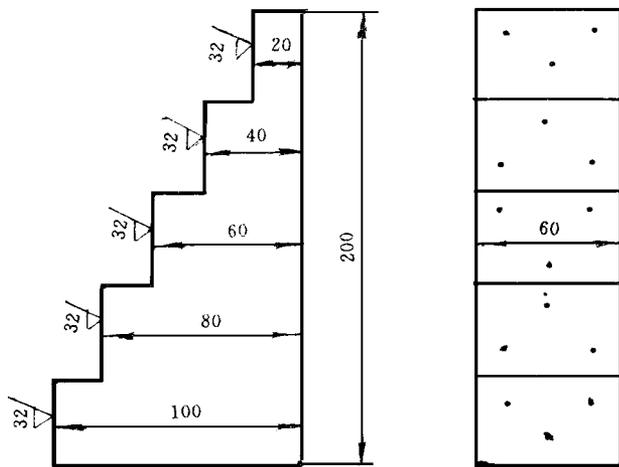


图2 阶梯形试块及测点的位置

Fig. 2 The step bar test piece and the testing position

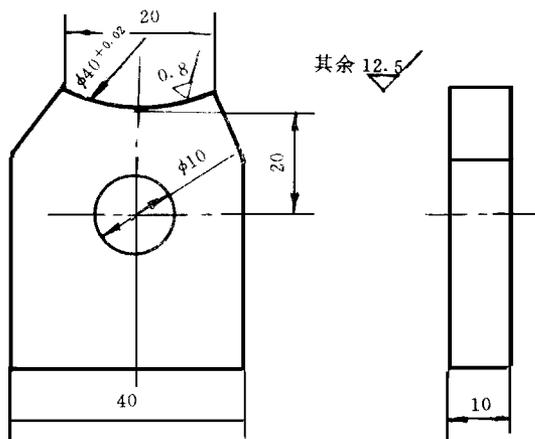


图3 耐磨试样

Fig. 3 The abrasion testing piece

## 二、试验结果与讨论

### 1. 含硼量对抗拉强度的影响

含硼量与抗拉强度的关系见图4。由图4可见, 随含硼量增加, 抗拉强度增加, 当硼量为0.05%时出现峰值,  $\sigma_b = 239\text{MPa}$ 。而后随硼量增加, 抗拉强度降低。在  $B = 0.02\sim 0.06\%$  范围内,  $\sigma_b = 212\sim 239\text{MPa}$ 。

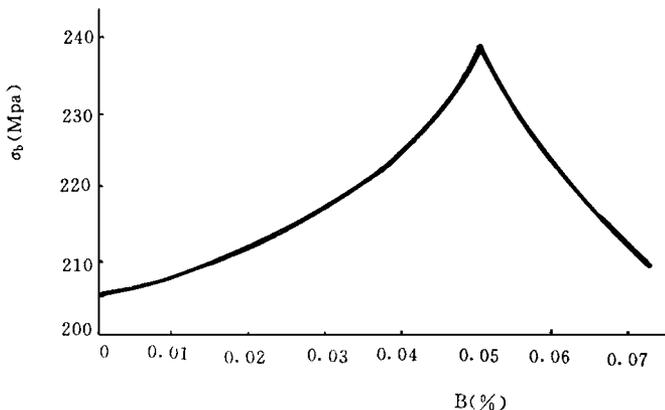


图4 含硼量与  $\sigma_b$  的关系

Fig. 4 The effect of boron content on the strength

### 2. 含硼量对硬度 HB 的影响

圆柱形试块截面各测点硬度见表2, 阶梯形试块硬度见表3。

表2 圆柱形试块表面硬度 (HB)

B%		0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07
距中心距离 (mm)	50	211	195	211	215	219	219	227	247
	40	202	207	207	202	205	207	219	229
	30	180	207	195	198	195	207	211	229
	20	195	187	195	198	191	202	215	215
	10	198	180	191	195	187	202	191	207
	中心	174	180	187	195	187	188	191	198
HB		193	192	197	200	197	204	209	220
最大差值		37	27	24	20	32	31	36	49

由表2可见, 随硼量增加, 硬度增加, 在  $B = 0.02\sim 0.06\%$  范围内,  $HB = 197\sim 209$ 。圆柱形试块每隔10mm的HB值, 心部硬度低, 边缘硬度高, 其规律与HT200是一致的。HT200边缘与心部硬度差为HB37, 而  $B = 0.01\sim 0.06\%$  范围内, 硼铸铁试样硬度差为  $HB = 20\sim 36$ , 即少量硼加入HT200后, 截面硬度分布更均匀。由表3可知, 试样厚度在20~100mm之间变化时, HT200硬度偏差为HB11, 加入含硼生铁后, 各组试样阶梯面最大偏差为4~11, 即厚壁、薄壁试样硬度偏差减小, 因此, 这种硼铸铁可以用于生产壁厚相差悬殊的铸件, 如机床类耐磨铸件。

表3 阶梯形试块硬度 (HB)

壁厚 (mm)	B (%)									
	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07		
100	测点	1	187	195	211	207	207	202	215	219
		2	198	197	211	207	211	202	211	215
		3	198	194	211	207	207	207	211	219
	HB	194	195	211	207	208	204	212	218	
	差值	11	3	0	0	4	5	4	4	
80	测点	1	191	207	215	207	207	207	219	
		2	195	202	211	211	207	207	215	219
		3	195	202	211	211	215	211	219	224
	HB	194	204	213	210	210	208	214	221	
	差值	4	5	4	6	8	4	12	5	
60	测点	1	191	211	215	205	211	211	217	219
		2	198	207	215	215	211	211	215	219
		3	191	211	211	215	215	211	215	219
	HB	193	210	214	212	212	211	216	219	
	差值	7	4	4	10	4	0	2	0	
40	测点	1	191	211	216	211	211	211	217	219
		2	195	211	215	215	215	211	215	219
		3	195	207	215	219	215	215	219	224
	HB	194	210	215	215	214	212	217	221	
	差值	4	4	1	8	4	4	4	5	
20	测点	1	202	207	216	211	215	211	221	229
		2	202	207	211	211	219	219	221	229
		3	207	204	215	211	219	215	221	229
	HB	204	206	214	211	218	215	221	229	
	差值	5	0	5	0	4	8	0	0	
各阶梯面最大偏差值 (HB)			11	11	4	8	10	11	9	11

### 3. 含硼量对铸铁金相组织的影响

HT200金相组织中, 石墨为片状, A型, 石墨片较粗, 较长, 基体为珠光体, 见图5、图7。加入含硼生铁后, 随硼量增加, 石墨片变短, 分散度增加, 仍可得A型石墨, 与文献<sup>[4]</sup>结果相符; 基体中珠光体片间距减小, 出现了呈孤立小块状分布的含硼复合碳化物, 约占2%~8%; 见图6、图8。

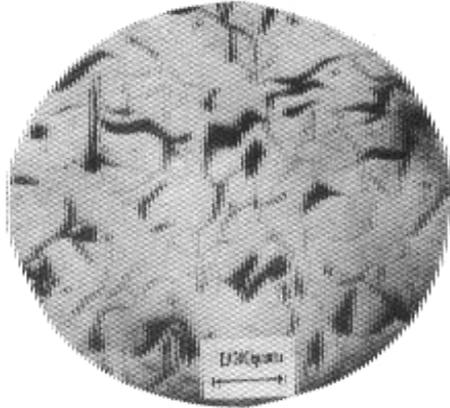


图5 B=0铸铁中的石墨

Fig 5 The graphite in grey cast iron (B=0)

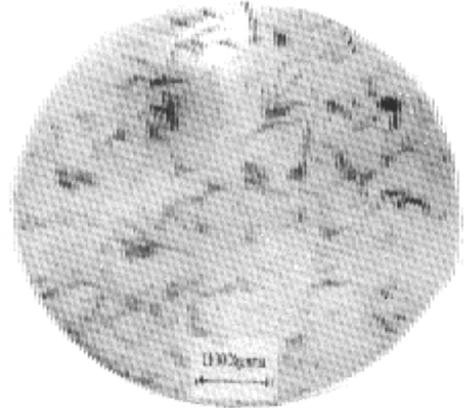


图6 B=0.05% 铸铁中的石墨

Fig 6 The graphite in grey cast iron (B=0.05%)



图7 B=0铸铁的显微组织

Fig 7 The microstructure of cast iron (B=0)



图8 B=0.05% 铸铁的显微组织

Fig 8 The microstructure of cast iron (B=0.05%)

上述试验结果中, 随硼含量增加, 石墨片细化且分布均匀, 它减小了对基体的割裂作用, 珠光体片间距减小也强化了基体抗拉强度随硼量增加而增大。由于含硼碳化物是一种脆性相, 当B=0.06%以后, 较多含硼碳化物的出现, 使铸铁的抗拉强度下降, 而硬度随硼量增加、硼碳化物量增多而增加。由于硼碳化物呈孤立小块状分布, 不仅使试样横截面上硬度分布均匀, 而且使厚壁、薄壁试样硬度偏差减小。

### 4. 含硼量对相对耐磨性的影响

含硼量对相对耐磨性影响见图9。由图可知, 在含硼0.01~0.05%范围内, 随硼量增加, 磨损量减小, 相对耐磨性提高。当B=0.05%时,  $\epsilon_{\text{相}}=2.2$ 。可见, HT200中加入含硼生铁后, 耐磨性明显提高。

用含硼生铁生产的硼铸铁, 硼使基体得到强化<sup>[5]</sup>。另外, 含硼碳化物的硬度很高, 显微硬度高达HV 988~1206。磨损时硬度高的硼碳化物形成第一滑动面, 支撑载荷, 硬度较低的珠光体等磨损而下凹形成第二滑动面; 第二滑动面与第一滑动面之间的凹槽有储油作用, 保证硼碳化物不断得到润滑而减少磨损量<sup>[1]</sup>, 使硼铸铁耐磨性提高。同时, 含硼量增加使硼碳化物增多, 硼碳化物的支撑作用增加, 第一滑动面上单位面积上的压力减小而使磨损程度减轻, 耐磨性提高。但是, 当硼量过高时, 硼碳化物呈大块状、网状分布, 基体对

它的支撑作用减弱, 磨损时易脱落, 脱落后硼碳化物在滑动面上成为硬磨粒, 加剧硼铸铁的磨损, 使磨损量增大<sup>[6]</sup>。因此, 硼铸铁中, 含硼生铁加入量不宜过多, 含硼量以0.02%~0.06%为宜。

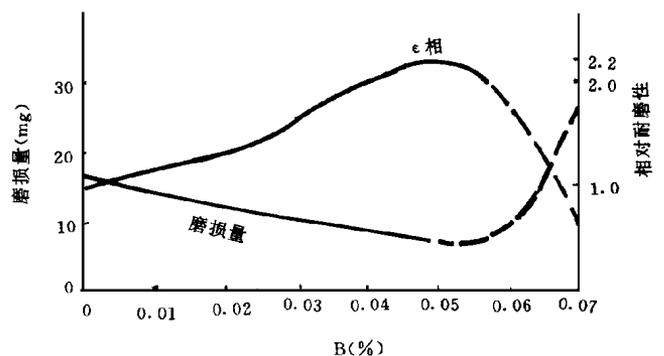


图9 含硼量对相对耐磨性的影响

Fig 9 The effect of B content on the wear resistance

## 三、结论

(1) HT200中加入含硼生铁, 在0.02%~0.06%范围内,  $\sigma_b=212\sim 239\text{MPa}$ , HB=197~209。试样截面硬度分布均匀, 厚壁、薄壁硬度偏差比值比HT200减小, 这种材料适合于生产壁厚相差悬殊的铸件。

# 铸型搅动法整体涡轮细晶铸造工艺的研究

北京航空材料研究院 (北京 100095)

袁文明 薛广海 汤 鑫 刘发信

**【提要】**本文采用铸型搅动法研究了高温合金 K418B 整体涡轮的细晶铸造工艺, 所获得的细晶涡轮的晶粒度级别达 M 9~ A STM 3 级, 与美国 Howmet 公司的 GX 法水平相当。

**关键词:** 细晶铸造 高温合金 铸型搅动法 涡轮

航空发动机的恶劣工况易使涡轮在高温热应力和机械应力的综合作用下发生低周疲劳, 并使其对应力敏感的轮毂部位产生疲劳裂纹。为提高铸造的整体涡轮的低周疲劳寿命, 近年来国外广泛采用细晶铸造技术以保证在轮毂区获得细小均匀的等轴晶。

细晶铸造法通常分为三大类: 热控法、机械法和化学法<sup>[1]</sup>, 其中机械法应用得最广泛。机械法中开发最早、应用最多的是美国 Howmet 公司的 GX 法, 它是通过高速旋转铸型, 使型内金属液在凝固过程中产生强烈搅动以打碎已凝固的枝晶而使晶粒细化。这种方法尤其适用于回转体类铸件, 美国 Howmet 公司用该方法已成功地制造了 Mod5A、MAR-M 247、N 718 等高温合金的整体涡轮<sup>[2-3]</sup>, 使涡轮的低周疲劳寿命提高了 2~ 3 倍。德国、法国在新型航空发动机中也采用细晶铸造整体涡轮<sup>[4]</sup>。

为了提高我国航空发动机整体涡轮的疲劳寿命, 我院根据设计部门的要求, 采用铸型搅动法对某航空发动机的 K418B 合金整体涡轮的细晶铸造工艺进行了研究。

## 一、试验条件和方法

整体涡轮直径为 147mm, 铸件毛重 1.5kg, 用镍基高温合金 K418B 铸造, 其主要化学成分见表 1。

熔模型壳用硅酸乙酯刚玉砂制成。合金的熔炼和

浇注在自行研制的 ZGX-25 型细晶铸造真空感应炉内进行。铸型在炉内可双向旋转, 对注入型内的合金液施加双向搅动作用。

表 1 K418B 合金主要化学成分 (%)

C	Cr	Mo	Ti	Al	Zr	B	Ni
0.045	12.34	4.37	0.79	5.83	0.060	0.011	余量

铸件的浇注位置和浇注系统如图 1 所示。将精炼后的合金液调整至浇注温度, 注入预热至规定温度的型壳内, 静止一定时间后, 双向旋转铸型搅动型内金属液, 破碎枝晶, 直至凝固完毕。

需控制的主要工艺参数为: 浇注后金属液在型壳内的静置时间  $t_{静}$ ; 铸型正转和反转时间  $t_{转}$ ; 铸型正、反转之间的换向时间  $t_{换}$ ; 铸

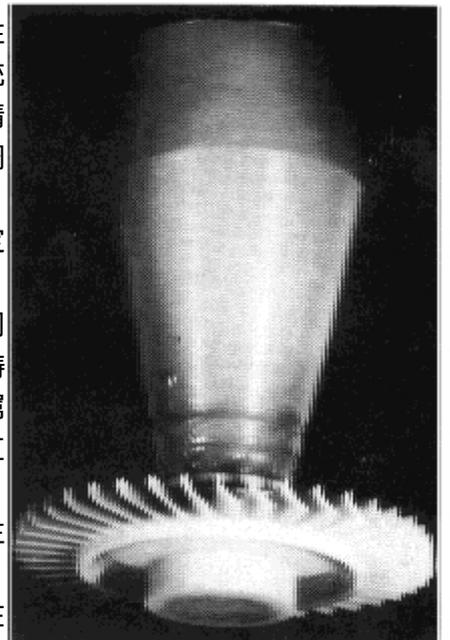


图 1 铸件浇注位置和浇注系统

1996年4月12日收到初稿, 1996年10月28日收到修改稿。

(2) 随含硼量增加, 相对耐磨性提高,  $B = 0.05\%$  的硼铸铁比 HT 200 相对耐磨性提高 1.2 倍。

(3) 随硼量增加, 铸铁组织中石墨细化, 珠光体片间距减小, 孤立块状分布的硼碳化物增多, 相对耐磨性提高。硼量过高时, 硼碳化物呈大块、网状分布, 磨损时易脱落, 加剧铸铁磨损, 因此, 硼铸铁中含硼量以 0.02% ~ 0.06% 为宜。

### 参 考 文 献

- 1 黄积荣等 国外硼铸铁 国外铸造, 1976 (4): 1~ 7
- 2 燕平等 含硼高铬铸铁的组强及性能 西安交通大学学报, 1987 (8): 4~ 13
- 3 崔传孟等 硼镁铁矿高炉分离含硼生铁可行性研究 辽宁冶金, 1989 (2): 66
- 4 杨景祥等 硼铸铁结晶过程的研究 沈阳机电学院学报, 1982 (4): 16
- 5 周庆德等 铬系统磨铸铁, 西安: 西安交通大学出版社, 1986
- 6 M. Torhaci The friction and wear of automotive grey cast iron under dry sliding conditions, wear 185 (1995): 119~ 124

(编辑: 王惠愚)

《铸造》1997. 2