

# 复合孕育技术在高强度薄壁灰铸铁件上的应用研究

徐桂芳, 司乃潮, 傅明喜, 孙少纯

(江苏理工大学材料科学与工程学院, 江苏镇江 212013)

**摘要:** 研究了几种复合孕育剂对较高碳当量 ( $CE=3.8\% \sim 4.1\%$ ) 灰铸铁性能的影响, 试验并经实际生产结果表明, 选择  $60\% SiBa + 40\% SiFe$  作为高碳灰铸铁件的复合孕育剂, 其抗拉强度稳定在  $250MPa$  以上, 并能减小白口宽度和断面敏感性, 满足实际生产要求。同时对其孕育机理进行了探讨。

**关键词:** 复合孕育剂; 灰铸铁; 高强度; 薄壁铸件

**中图分类号:** TG251.1+3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4977 (2001) 02-0084-04

## Application and Research of Compound Inoculants on High Strength and Thin-section Gray Cast Iron

XU Gui-fang, SI Nai-chao, FU Ming-xi, SUN Shao-chun

(School of Materials Science and Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212013, Jiangsu, China)

**Abstract:** In this paper, the effects of several compound inoculants on gray cast iron's properties with  $3.8\% \sim 4.1\% CE$  were investigated. The experiment and production results showed that  $60\% BaSi + 40\% SiFe$  was selected as compound inoculants for gray cast iron with  $3.8\% \sim 4.1\% CE$ , its tensile strength was higher than that of HT250 grade and its sensibility of section hardness and white iron width were reduced. It meets production requirement. At same time its inoculation mechanism was studied.

**Key words:** compound inoculants; gray cast iron; high strength; thin-section casting

随着科学技术不断进步、节能降耗要求的提高及对环保的日益重视, 生产高强度薄壁灰铸铁件一直是铸造工作者努力的方向之一<sup>[1]</sup>。发动机缸体是典型的箱体类高强度灰铸铁件, 几何形状复杂、壁薄、壁厚差较大, 薄壁处易出现局部白口, 难以加工<sup>[2]</sup>。故要求具有较高的强度及均匀性, 并具有较好的铸造性能和机械加工性能。过低的碳当量虽能提高强度, 但满足不了其它要求。与国外相比, 国内薄壁高强度灰铸铁件生产还存在较大差距<sup>[3]</sup>, 材质强度难以稳定在  $250MPa$  以上。本文研究了几种复合孕育剂对较高碳当量灰铸铁性能的影响, 通过复合孕育处理, 使实际生产的发动机缸体铸件满足使用要求。

### 1 试验与生产条件和方法

试验在实验室进行, 熔炼采用  $150kg$  酸性炉衬的中频感应炉, 熔炼温度控制在  $1450^{\circ}C$  左右。每组试验分别用干型浇注  $\phi 30mm \times 330mm$  标准试棒 3 根 (一型 3 件), 三角试块一个, 阶梯试块一块 (尺寸见图 1)。对各组试验的试样进行抗拉强度、白口宽度

及硬度测定, 并对各试样进行组织分析, 观测各试样的石墨形态和长度、基体组织的初生奥氏体组织、珠光体量、珠光体片间距以及共晶团的大小和分布。

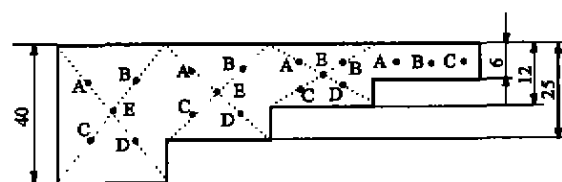


图 1 阶梯试块尺寸及硬度测试点

Fig. 1 Step-bar size and hardness test point

生产在工厂进行, 材质熔炼使用  $5t/h$  冲天炉, 采用 HT250 铁液, 炉前加入合金化元素与孕育剂。孕育后浇注抗拉试棒、三角试块各一组与发动机缸体, 随后进行性能测试与组织分析。

试验所用原材料及其配比为: 生铁: 回炉料: 废钢 =  $5:2:3$ ; 微量合金化材料为:  $CrFe$  合金、纯铜; 孕育剂为:  $75SiFe$ 、 $SiBa$ 、 $SiSr$ 、 $TG-1$ 。铁液碳当量选择在  $3.80\% \sim 4.10\%$  之间。

孕育处理方法为炉前包内冲入法。  $75SiFe$  孕育

收稿日期: 2000-08-30 收到初稿, 2000-10-30 收到修订稿。

作者简介: 徐桂芳 (1966-), 女, 江苏镇江人, 讲师, 硕士生, 研究方向为  $CuZnAl$  形状记忆合金 (功能材料) 和铸造合金。

剂粒度为 5~7mm, 其它孕育剂粒度为 10~15mm。铁液包容量为 20kg, 孕育剂加入量为 0.4%, 孕育处理温度为 1420℃, 搅拌后停留 5min 浇注试样。

## 2 试验内容与结果

### 2.1 孕育剂对比性试验

试验用孕育剂品种及其化学成分如表 1 所示。

表 1 试验用孕育剂品种及化学成分

Table 1 Varieties and composition of inoculants in experiment

名称	化 学 成 分 (%)						
	Ba	Ca	Si	Sr	C	Al	Fe
75SiFe	—	—	72~78	—	—	0.8~1.6	余量
SiBa	3.87	3.26	61.52	—	—	—	余量
TG-1	—	5~8	33~40	—	30~38	≤1	余量
SiSr	—	≤0.1	73~78	0.6~1.2	—	—	余量

本试验中与孕育剂一起加入合金化元素是为了提高铸件的珠光体含量和强度, 改善断面均匀性, 细化石墨<sup>[4]</sup>。在试验条件下, 虽然从各种孕育剂孕育后消除白口能力、强度和硬度数据可以初步判别孕育剂的孕育效果, 但同时也应考虑所处理的铁液的碳当量对灰铸铁力学性能的影响。所以试验过程中将灰铸铁的成熟度 (RG)、硬化度 (HG) 和品质系数 (Qi) 这三项质量指标也作为分析和比较的参数。

参数计算公式如下<sup>[5]</sup>:

共晶度  $Sc = C (\text{实测}) / (4.26 - 0.31Si - 0.27P)$

成熟度  $RG = \sigma_b (\text{实测}) / (981 - 785 \times Sc)$

硬化度  $HG = HBS (\text{实测}) / (530 - 344Sc)$

品质系数  $Qi = RG / HG$

#### 2.1.1 不同配比的 SiBa 孕育剂对灰铸铁的孕育效果

75SiFe 是常用的孕育剂, SiBa 也具有较好的孕育效果<sup>[5]</sup>, 为选择两者的最佳组合, 通过改变孕育剂中 SiBa 与 75SiFe 的百分比进行试验, 检测实际的孕育效果。

由表 2 可见, 随着 SiBa 比例的增加, 抗拉强度有增高趋势, 同时 60% SiBa 孕育剂的白口宽度最低, 即减白口能力最佳, 而硬度较高, 其它比例 SiBa 孕育剂的白口宽度较高, 除 100% SiBa 外, 其它的硬度相对低一些。

表 2 不同配比的孕育剂对灰铸铁孕育效果的影响

Table 2 Effect of different proportion inoculants on gray iron

孕育剂配比	抗拉强度/MPa	白口宽度/mm	HB
100% SiFe	250	4.30	214
60% SiFe + 40% SiBa	265	4.45	215
40% SiFe + 60% SiBa	285	3.30	216
20% SiFe + 80% SiBa	275	4.05	212
100% SiBa	290	3.95	216

注: 表中的数据为每一种孕育剂 4 组试验的平均数据。

### 2.1.2 复合孕育剂的对比试验

在以上试验的基础上, 研究了用 40% SiBa 和 60% SiBa 与上述几种孕育剂复合后的孕育效果。表 3 为复合孕育剂对铁液的孕育效果。

表 3 几种复合孕育剂孕育效果

Table 3 Experimental of compound inoculants

孕育剂名称	抗拉强度/MPa	布氏硬度	白口宽度/mm	RG	HG	Qi
40% SiBa + 60% SiFe	265	215	4.45	1.26	1.18	1.07
40% SiBa + 60% SiSr	240	206	3.80	1.41	1.20	1.17
40% SiBa + 60% TG-1	242	212	3.55	1.28	1.10	1.16
40% SiBa + 30% TG-1 + 30% SiSr	245	215	3.35	1.31	1.08	1.22
60% SiBa + 40% SiFe	285	216	3.30	1.37	1.26	1.08
60% SiBa + 40% SiSr	275	219	4.30	1.33	1.23	1.08
60% SiBa + 40% TG-1	245	197	3.20	1.18	1.12	1.09
60% SiBa + 20% TG-1 + 20% SiSr	275	192	3.85	1.19	1.24	1.04

注: 表中数据为 4~5 组试验数据的平均值。

试验分两组, 一组以 40% 的 SiBa 为基础, 另一组以 60% SiBa 为基础, 分别配入 75SiFe、TG-1 和 SiSr 孕育剂。由表 3 可以看出, 在碳当量较高的情况下, 采用 40% SiBa 与其它孕育剂复合孕育处理的, 除 40% SiBa + 60% SiFe 外, 其余的抗拉强度都未达到 HT250 的性能要求。而用 60% SiBa 复合孕育的, 除 60% SiBa + 40% TG-1 未达到要求外, 其它三种均超过 250MPa, 且用 60% SiBa + 40% SiFe 与 60% SiBa + 40% SiSr 这二种复合孕育剂处理的, 还具有较高的成熟度, 其中以 60% SiBa + 40% SiFe 孕育后硬化度最高, 白口宽度较小。

从以上分析可知, 采用 60% SiBa + 40% SiFe 复合孕育剂孕育处理的灰铸铁, 具有最高的强度、合适的硬度和良好的品质系数。

### 2.2 复合孕育剂对断面的敏感性

在图 1 的阶梯试块上检测的硬度数据的平均值见表 4。由表可知, 复合孕育剂 60% SiBa + 40% SiSr 和 60% SiBa + 40% SiFe 的壁厚敏感性最差, 而其余的复合孕育剂壁厚敏感性相对较高。

表 4 阶梯试块硬度数据表

Table 4 Hardness data of step-bar

试样	孕育剂	CE (%)	不同壁厚的 HB				
			6mm	12mm	25mm	40mm	$\Delta HB_{Max}$
502	100% 75SiFe	4.13	247	230	220	221	27
701	60% SiFe + 40% SiBa	4.04	220	208	201	203	19
702	60% SiBa + 40% SiSr	4.07	210	206	198	203	12
703	60% SiBa + 40% TG-1	4.02	219	210	203	202	17
704	60% SiBa + 20% TG-1 + 20% SiSr	4.04	208	215	195	204	20
705	60% SiBa + 40% SiFe	4.07	211	205	198	198	13
706	80% SiBa + 20% SiFe	4.11	205	210	196	197	14
707	100% SiBa	4.09	220	208	199	197	23

注: 表中数据为 1 组图 1 所示各点的平均值。

### 2.3 不同孕育剂对灰铸铁金相组织的影响

孕育剂除了具有能够减小白口, 促进石墨化的能力外, 还进一步影响铸铁的凝固过程, 从而影响铸铁的铸态组织。就灰铸铁而言, 孕育的作用是使灰铸铁在凝固期间促进 A 型石墨的形成, 细化珠光体, 减少自由铁素体含量从而改善其性能。对 60% SiBa + 40% SiFe 复合孕育剂而言, SiFe 加入铁液, 形成富 Si 和富 C 微区, 造成浓度起伏, 为形核创造条件<sup>[6]</sup>。同时, Si 还通过形成硅酸盐晶核而增加异质晶核数量。Ba 则通过延缓 C、Si 的扩散, 使浓度起伏值下降缓慢, 加强了 Si 的孕育作用。图 2 为用单一孕育剂与复合孕育剂处理的灰铸铁的共晶团组织。对比图

中的金相组织可以看出, 复合孕育剂能细化灰铸铁的共晶团组织。

图 3 为用单一孕育剂与复合孕育剂处理的灰铸铁的初生奥氏体组织。对比图中的金相组织可以得出: 用单一孕育剂 75SiFe 和 SiBa 孕育处理的灰铸铁组织中的初生奥氏体形态和数量基本相同, 初生奥氏体的枝晶分枝少, 一次主枝晶方向明显, 枝晶间距较大; 而用复合孕育剂 60% SiFe + 40% SiBa 处理的灰铸铁组织中初生奥氏体枝晶发达, 分枝较多, 无明显的方向性, 趋向于按等轴晶形态分布, 且数量明显增多。显然, 灰铸铁组织中以这种形态分布的初生奥氏体, 有利于灰铸铁性能的改善和提高<sup>[6]</sup>。

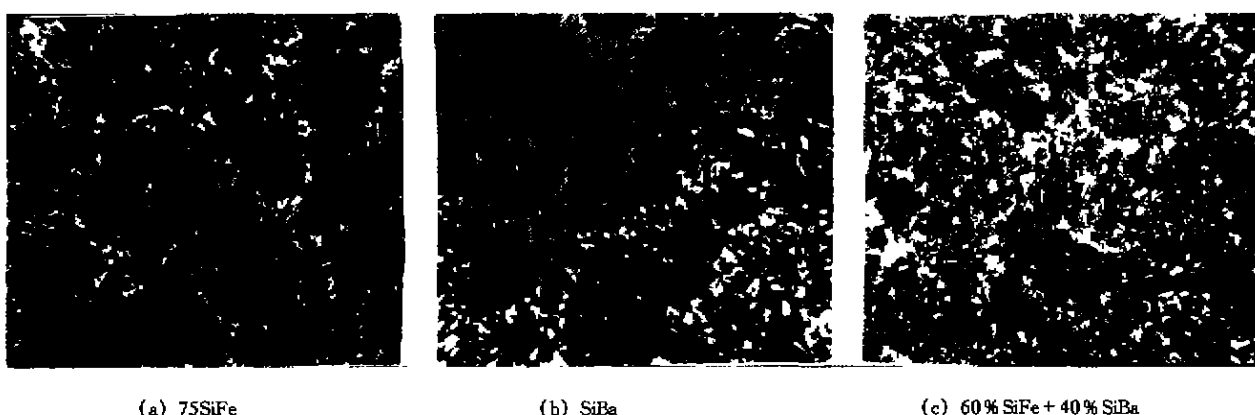


图 2 单一孕育剂与复合孕育剂处理的灰铸铁的共晶团组织 40×  
Fig. 2 The effects of unitary and compound inoculants on gray iron's eutectic cell structure

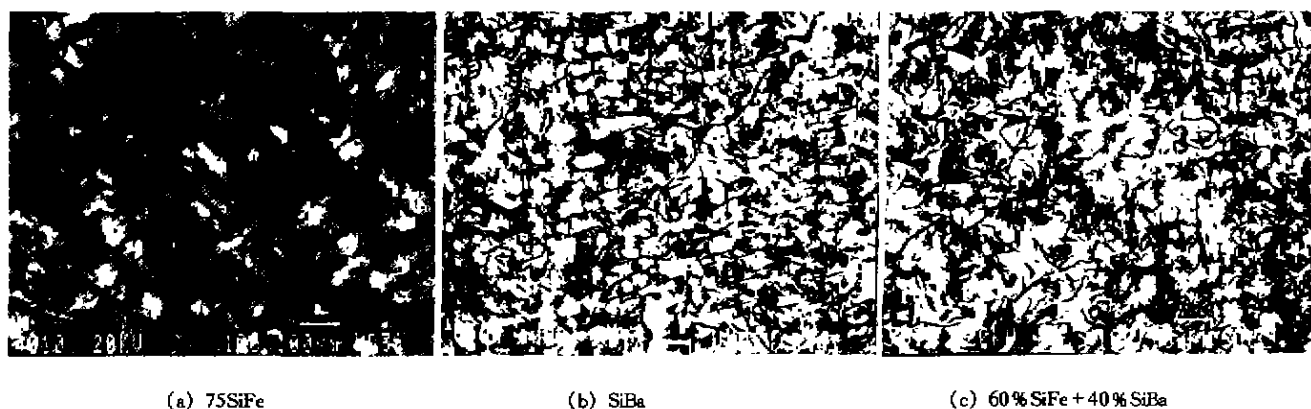


图 3 单一孕育剂与复合孕育剂处理的灰铸铁的初生奥氏体组织 100×  
Fig. 3 The effects of unitary and compound inoculants on gray iron's primary austenite structure

### 2.4 复合孕育剂在发动机缸体铸件上的试用

根据实验室试验结果, 将灰铸铁的碳当量选定为 3.80% ~ 4.10%, 并在铁液中加入 0.25% Cr 和 0.45% Cu 对灰铸铁进行低合金化, 然后用 60% SiBa + 40% SiFe 复合孕育剂进行孕育处理。考虑到实际生产中的各种不稳定因素, 将孕育剂的加入量提高到 0.6%。在此基础上, 进行实际薄壁缸体铸件和标准试棒的浇注试验。

试验结果表明: 所浇注的缸体成形良好, 解剖后缸体的抗拉强度超过 290MPa, 最高达 335MPa, 超过标准中规定的 HT250 抗拉强度指标; 在铸件上测

定的硬度值在 HB227.5 ~ 246 范围内, 平均硬度为 HB239, 均超过标准中规定的 HT250 的硬度指标 HB210, 但与国外样机解剖数据相比硬度测定值偏低, 这主要是由于试验所采用的造型方法与实际大批量生产所采用的造型方法不同所引起的。试验时由于数量少, 采用自硬砂型, 而国外样机则是在大批量造型生产线上用湿型铸造的, 由于自硬砂型热导率比湿型低, 故试验浇注的缸体铸件的散热速度比湿型铸造的国外样机铸件慢得多, 导致试验浇注的缸体铸件的凝固速度及随后的二次结晶速度较慢, 直接影响到基体中的珠光体数量及珠光体的片间距, 造成硬度偏低。

表5 发动机缸体铸件试制结果

Table 5 Production results of engine cylinder block casting

试制日期	CE (%)	$\sigma_b$ /MPa	HB	白口宽度 /mm
4.20	3.88	335.0	246.0	4.1
5.14	3.94	290.5	243.0	3.0
5.25	4.05	307.5	234.0	3.0
5.27	4.08	302.5	241.5	4.5
8.9	4.03	295.0	235.0	4.0
8.16	3.87	310.0	236.5	3.0
8.26	4.02	290.0	227.0	2.5

注:表中数据为3组试验数据的平均值。

### 3 结论

(1) 几种复合孕育剂对灰铸铁性能影响对比性试验结果表明, 60%SiBa + 40%SiFe 复合孕育, 提高了灰铸铁的抗拉强度, 降低了白口倾向, 同时也提高了铁液冶金质量, 为灰铸铁稳定达到 HT250 创造了条件。

(2) 在碳当量为 3.80%~4.10% 的条件下, 加入 0.25%Cr 和 0.45%Cu 两种合金元素进行低合金化, 采用 60%SiBa + 40%SiFe 进行孕育处理, 孕育剂加入量为 0.6%, 可稳定获得抗拉强度大于 250MPa 的高强度灰铸铁。此时, 铁液的铸造工艺性能优良, 完全能满足实际生产高强度薄壁缸体的要求。

#### 参考文献:

- [1] 张志华. 发展高强度铸铁 促进铸件商品化 [J]. 现代铸铁, 1997, (3): 49~50
- [2] 徐君文. 现代孕育铸铁的生产与孕育剂 [J]. 现代铸铁, 1985, (2): 17~21
- [3] 范晓明, 廖刚军, 潘庚生, 贾云福. 高强度薄壁灰铸铁缸体和缸盖发展概况 [J]. 现代铸铁, 1996, (2): 37~38, 51
- [4] 宗俊峰, 梁吉, 柳葆铠, 等. 汽车发动机高强度灰铸铁件的研究 [J]. 铸造, 1993, (3): 17~21
- [5] 陶令桓. 铸造手册 铸铁 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1993
- [6] 杨景祥. 孕育技术的发展 [J]. 现代铸铁, 1986, (1): 20~24, 16

(编辑: 张允华)

#### 铸造市场

## 河南省信阳市平桥区申光膨润土厂 向铸造行业提供优质铸造用

### 钙基膨润土、钠基膨润土、锂基膨润土等系列产品

我厂是膨润土深加工的专业厂家, 拥有齐全的设备, 先进且严格的生产工艺, 完善的质量检测手段, 以信阳非金属矿优质矿源为基础进行了广泛开发和利用, 生产的系列膨润土, 具有以下作用和特点:

△钙基膨润土: 用于铸造型砂、粘结剂, 有利于克服铸件的“夹砂”、“起皮”等现象, 降低铸件的废品率, 有利于提高铸件的精度和改善粗糙度。

△钠基膨润土: 用于精密铸造中及建筑涂料的增稠剂, 防止涂料中颜料的沉淀、结块。

△锂基膨润土: 用于铸造涂料、建筑涂料的悬浮剂, 具有明显的悬浮分散及增稠作用, 防止涂料沉淀, 延长储存时间。

**本厂产品质量可靠, “重合同守信誉”, 交货及时, 代办铁路、公路托运, 欢迎来人来电洽谈业务或索取资料和样品。**

**厂址: 信阳市平桥区五里镇 邮编: 464117**

**销售部电话: 0376-3931049 3931900 013603769760**

**传真: 0376-3931900 联系人: 马德记 吕万兵**

## Ciba (汽巴) 模具树脂——给现代铸造工业带来突破的材料

**降低成本——约为金属模 1/10 提高质量——收缩率为万分之几 缩短周期——仅需四个工作日**

瑞士汽巴 (Ciba) 公司作为世界上专用模具树脂的先驱和著名的制造商, 在近四十年里与国际著名机械制造企业合作, 研制开发、生产了爱牢达、尤洛和汽巴图等多种系列模具树脂和可加工板料 (代木)。在欧美国家铸造工业中, 有众多的铸造企业采用汽巴模具树脂制作模样、模板、砂芯盒及仿型靠模等铸造模具、工具。我公司将定期举办树脂砂模具培训班, 欢迎咨询。

## 北京豪仪万迪科技有限公司

——汽巴模具树脂中国代理

**地址: 北京朝阳区安翔北里 11 号北京高技术服务中心 222 室 邮编: 100101**

**联系人: 施义 手机: 13701075490 韩礼华 手机: 13701033673**

**电话: 010-64871425 64874563 传真: 010-64871425**