

# 一种高强度、高稳定性铸铁的研究及应用

刘殿双 黄述哲 张艳鸿

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

**摘要** 试验采用高 Si/C 比、Mo 与 Cu 低合金化、强化孕育等工艺方法,生产低应力高强度铸铁,并用静态弯曲和开口环测应力法,对普通铸铁和高强度铸铁的弹性模量、应力松弛性能进行了对比试验。结果表明,高 Si/C 比、低合金化的高强度铸铁,能够满足大型精密仪器薄壁基础铸件的高刚度、高稳定性要求。

**关键词** Si/C 比 Mo、Cu 合金化 应力松弛 抗蠕变

**中图分类号** TG143.8 **文献标识码** A

## 1 引言

一些大型车载的精密仪器要想提高测试精度及其稳定性,重要途径之一是提高基础铸件的质量。仪器基础铸件要求重量轻、强度高、刚性好、尺寸稳定性好、加工性能好、抗震性能好,属于高强薄壁铸件。综合考虑其使用要求,我们选用高 Si/C 比、低合金化铸铁,并配合适当的热处理,经过几年的试验研究,最后在我所精密仪器上获得比较好的应用。

## 2 试验方案和检测项目

### 2.1 试验方案

#### 2.1.1 选取的化学成份(表 1)

Table 1 Gray iron chemical composition

Element	C	Si	Mn	Mo	Cu	S	P
Percent%	2.8~3.2	2.0~2.5	1.0~1.3	0.5~0.6	0.7~0.8	<0.5	<0.1

取 Si/C 比为 0.6~0.8<sup>[1]</sup>, 高 Si/C 比有利于提高强度降低白口倾向。合金化元素选 Mo、Cu 二元合金综合作用<sup>[2]</sup>。

### 2.1.2 孕育处理

采用 75Si-Fe 或 Si-Ca 加稀土孕育, 原铁水低 Si 出炉前炉后补加 75Si-Fe 块调整成份及做为一次孕育。

### 2.1.3 温度控制

高温铁水有利于净化、孕育及充型, 取 1480℃~1500℃, 浇注温度 1400℃~1480℃。

### 2.1.4 试验条件

试验在 150kg 中频感应炉中进行, 在 500kg 中频感应炉中浇注实际铸件。

## 2.2 检测项目

(1) 采用  $\Phi 30 \times 340$ mm 试棒做抗弯、抗拉、硬度试验, 从件本体取样做金相分析和材料化学成分分析。

(2) 采用阶梯形试块, 通过不同断面硬度来判定材料的断面敏感性。

(3) 采用开口环形试样<sup>[3]</sup>测定常温应力松弛特性。图 2 为测试方法原示意图, 并与此法检测热时效消除应力效果。

(4) 采用静态弯曲法测弹性模量。

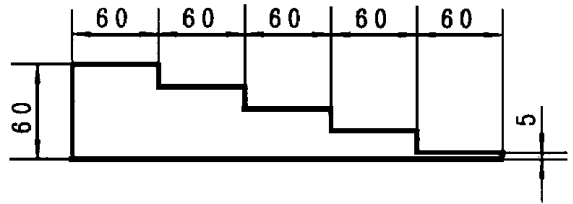


Fig. 1 Stair step testing

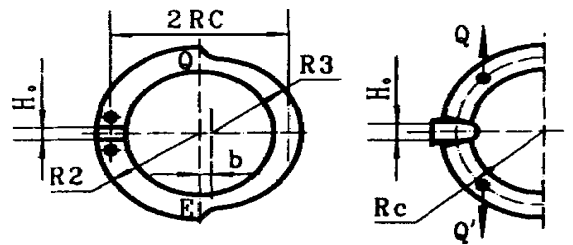


Fig. 2 Principle figure

## 3 试验结果

### 3.1 不同化学成份合金对应的力学性能结果

由表 1、表 2、表 3 中的数据可以看出:

(1) 采用高 Si/C、Mo、Cu 合金化可以显著地提高  $\sigma_b$ 、 $\sigma_w$  值, 加 0.5~0.6% Mo, 0.7~0.8% Cu 可比相同碳当量的 HT 250 抗拉强度提高 80~100MPa, 抗弯强度提高 300~310MPa。

(2) 不同的孕育方法对铸铁的强度也有明显的影响, Si-Ca 加稀土复合孕育比 Si-Fe 单独孕育  $\sigma_b$  提高 70~90MPa,  $\sigma_w$  提高 0~40MPa。

(3) 试验合金的比较强度、比较硬度及品质数均优于 HT 250。

(4) 高 Si/C、Mo、Cu 低合金化铸铁的硬度均匀性大大提高, 断面敏感性大大降低, 在  $\sigma_b$  达 350MPa 情况下, 5mm 断面硬度仍处于加工硬度范围, 而厚大的 60mm 断面 HB 值也不低于 210 左右。

Table 2 Chemical composition

Number		chemical composition( % )						Si/C	C <sub>E</sub>	Sc	Gestator
		C	Si	Mn	Mo	Cu	S				
Test alloy	No1	3.13	2.04	0.69	0.61	0.80	< 0.5	0.65	3.74	0.85	75Si- Fe
	No2	3.05	2.18	0.96	0.50	0.73	< 0.5	0.71	3.70	0.84	75Si- Fe
	No3	3.10	2.12	1.21	0.57	0.77	< 0.5	0.68	3.74	0.85	Si- Ca + Re
	No4	3.0	2.4	1.3	0.53	0.75	< 0.5	0.8	3.72	0.84	Si- Ca + Re
Ordinary HT250		3.1~ 3.4	1.6~ 1.9	0.8~ 1.0			< 0.5	0.53	3.71	0.85	Gestating cast iron

Table 3 Mechanical feature

Number		$\sigma_b$ (MPa)	$\sigma_w$ (MPa)	HB	RG	RH	Gz
Test alloy	No1	331	783	232	1.01	0.96	1.08
	No2	359	772	244	1.10	0.96	1.15
	No3	434	768	295	1.36	1.03	1.32
	No4	435	750	298	1.33	1.04	1.28
Ordinary HT250		250	470	205	0.78	0.99	0.79

$$RG = \frac{\sigma_b}{102 - 82.5Sc} \quad RH = \frac{HB}{100 + 4.3\sigma_b} \quad Gz = \frac{RG}{RH}$$

Table 4 No1 Alloy stair step texting mass Hardness

Position	section thickness					$\Delta HB$
	60mm	40mm	20mm	10mm	5mm	
Centre HB	214~ 229	229	237~ 248	249~ 252	272	43~ 58
Exterior HB	221~ 229	229	248	253	272	43
$\Delta HB$	0~ 15	0	0~ 11	1~ 4	0	

### 3.2 铁态下铸件不同壁厚金相检测结果

图 3、图 4、图 5 中基体组织为 P+ $\alpha$ , 基体中珠光体占 95~100%, 只有极少量的铁素体、石墨呈 A 型且均匀分布, 三个照片中不同壁厚部位试样的组织只有石墨粗细长短略有不同, 其它无多大区别。



graphite A1 $\times$ 100



base A2 $\times$ 100

Fig.3 Section 10mm thickness



graphite B1 $\times$ 100



base B2 $\times$ 100

Fig.4 Section 20mm thickness

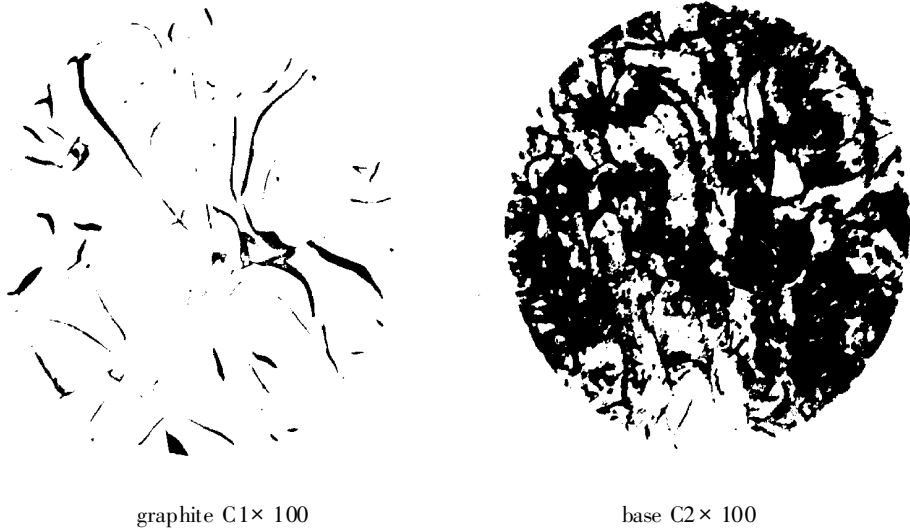


Fig. 5 Section 30mm thickness

### 3.3 应力松弛性能及弹性模量

我们采用开口环法, 对普通铸铁与 No1 合金进行了 6 个月的常温应力松弛试验得出表 5 数据。

Table 5 Stress failure testing result

Number	primary stress	six months' stress	stress failure	failure coefficient
	$\sigma_0$ , MPa	$\sigma_1$ , MPa	$\Delta\sigma$ , MPa	$K$ (%)
	86.58	83.64	2.94	3.40
Ordinary HT200	84.70	80.52	4.18	4.93
Ordinary HT250	94.50	90.48	4.02	4.25

试验合金的松弛系数低于 HT 200、HT250 的松弛系数, 说明合金铸铁在长期受力作用下, 抗变形能力高于普通铸铁, 尺寸稳定性好。我们采用静态弯曲法测定条形试样的  $\sigma$ - $\epsilon$  曲线, 计算出各种应力下的  $E$  值, 再通过回归处理, 得到了该种高强度铸铁  $E$  与应力  $\sigma$  的下列关系式:

第一次加载  $E_0 = 14088 \text{ kg/mm}^2$ , 相关系数  $S = -0.89$ ,  $E = 14088$

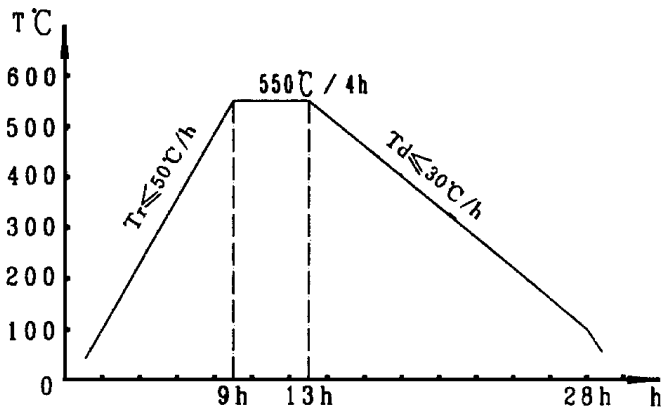


Fig. 6 Heating treatment stress failure curve

第二次加载  $E_0 = 14034 \text{ kg/mm}^2$ , 相关系数  $S = -0.86$ ,  $E = 14043 - 64\sigma$

测试结果表明, 试验合金的  $E_0$  和  $E$  随  $\sigma$  的变化值均优于普通 HT250 铸铁。

### 3.4 热时效规范及消除应力效果

热时效工艺: 两次热时效均在电热鼓风箱式炉内处理。见图 6,  $T_{\lambda} \leq 100^\circ\text{C}$ , 升温速度  $T_{\text{升}} \leq 50^\circ\text{C}$ , 保温  $550 \pm 10^\circ\text{C}/4\text{h}$ , 除温速度  $T_{\text{降}} \leq 30^\circ\text{C}/\text{h}$ ,  $T_{\text{出炉}} \leq 100^\circ\text{C}$ 。处理过程随炉装入已知残余应力大小的环形试样, 出炉后再测定其残余应力值, 最后测得消除应力在 65~70%。

## 4 讨 论

(1) 在相同碳当量下, 高 Si/C 使铸铁的强度有一定提高, 并能降低材料白口倾向, 降低应力, 提高了薄壁件成形能力。Si/C 比接近 0.9 时  $\sigma_b$  值反而有所下降, 因此无限制地采用高 Si/C 比的方法并不能提高强度, 必须选择合适的  $C_E$ , Si/C (0.70.8) 才能达到最佳效果。

(2) Mo、Cu 是珠光体稳定化元素, 同时能够细化石墨和基体组织, 使强度、硬度均匀性好<sup>[2]</sup>。对于薄壁铸件, 在较高  $C_E$  下, 加入少量合金元素, 是得到高强度薄壁铸件的行之有效的措施。

(3) 采用 Si-Ca 加稀土孕育效果好, 因为 Ca 和稀土对石墨有钝化作用, 减少了应力集中, 因此比单独用 Si-Fe 孕育能够明显地提高材料质量。

(4) 试验合金 No2 与 No1 相比, No4 与 No5 相比, 后者的 Si/C 比和 HB 值都高于前者, 但  $G_z$  并不都是后者好于前者, 因此评价材质的好坏, 要从 Si/C、 $C_E$ 、 $S_c$ 、HB 等性能综合考虑, 才能有正确的选择。

(5) 不论材质均匀性多么好, 铸造工艺多么合理, 铸态下必然残存一定的铸造应力, 那么为了获得较低应力的铸铁必须寻找一种合适的热时效工艺, 图 6 是我们多年实践的总结, 是一种行之有效的方法。

## 5 应 用

在本实验的基础上, 我们成功地生产出精密仪器的 12 个关键性铸件。其中转台铸件及支架铸件如图 7、8 所示。转台净重 770kg, 轮廓尺寸为 1100mm × 900mm × 650mm, 壁厚 10~30mm。支架净重 117kg, 轮廓尺寸为 520mm × 530mm × 210mm, 壁厚 5~25mm。铸件材质致密, 加工性良好, 在壁薄处也无白口现象。铸件经过粗加工后, 按图 6 热时效工艺规范进行了两次消除应力处理, 应力消除 80% 以上, 完全满足仪器对基础铸件刚度和残余应力的要求。

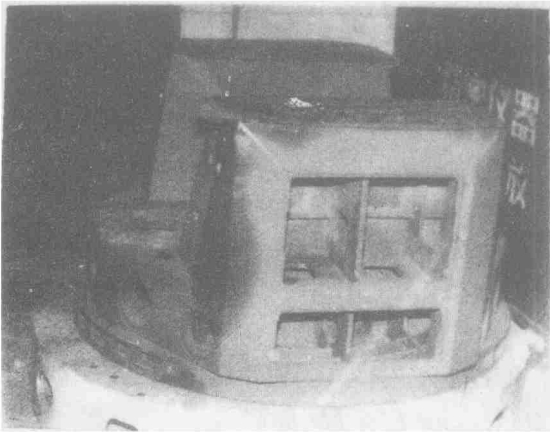


Fig. 7 Rotating platform

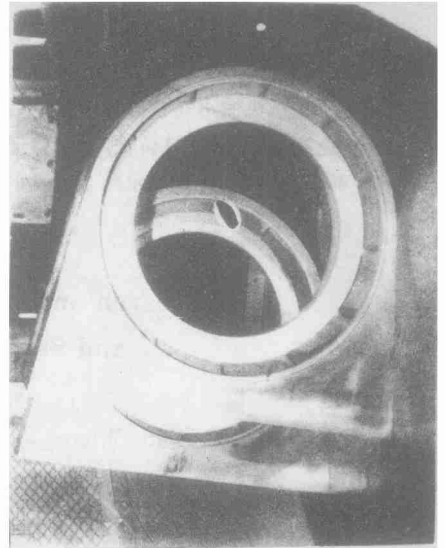


Fig. 8 Supporting shelf

## 6 结 论

(1) 选择合适的合金元素是提高铸件强度降低断面敏感性, 减小残余应力的行之有效的途径之一。

(2) 高 Si/C 比可避免石墨的粗大, 降低性能。较高的 Si 量有助于强化基体, 减小白口, 细化组织。

(3) 采用复合孕育剂可比单独用 Si-Fe 孕育剂能获得更高强度的铸铁。

(4) 高强度铸铁可比普通铸铁抗常温蠕变能力强, 不会因使用过程中受力而发生塑性变形, 影响尺寸精度。

(5) 采用合适的热处理工艺有助于最大限度地消除应力。

(6) 本试验采用的铸铁成份%:

C	Si	Mn	Mo	Cu	S	P
2.8~3.2	2.0~2.5	1.0~1.3	0.5~0.6	0.7~0.8	<0.5	<0.1

该铸铁性能可达到  $\sigma$  300350Mpa,  $HB$  220~270、 $Eo$  1400kg/mm<sup>2</sup>, 应力松弛系数 3.0~3.5%, 此种合金铸铁可满足大型精密仪器的高强度薄壁铸件的需要。

对本试验给予大力支持和帮助的胡志坚高级工程师, 宋长有、魏学义、陈广远等同志在这里一并表示谢意。

## 参 考 文 献

- 1 胡家骢等. 不同碳当量条件下 Si/C 比变化对灰铸铁性能和组织的影响. 铸造, 1989, (2): 1~ 5
- 2 陆文华主编. 铸铁及其熔炼. 北京: 机械工业出版社, 1982, (5) 8~ 10
- 3 黄述哲等. 精密机械用铸铁的应力松弛特性的研究. 铸造, 1985, (2): 21~ 27
- 4 肖柯则. 论高 Si/C 值灰口铸铁. 特种铸造及有色合金, 1987(4): 2~ 5
- 5 赵维民等. 高硅碳比铸铁铁水冶金特性的研究. 铸造, 1988(5): 5~ 9

## Research on the Cast Iron with High Strength and Stability and Its Application

LIU Diarr Shuang, HUANG Shur Zhe, ZHANG Yarr Hong  
(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

### Abstract

This article introduces the test of producing the cast iron with low stress and high strength by adopting such techniques as high Si/C proportion, Mo and Cu low alloy treatment and enforcing treatment process. In the meantime, the elasticity modulus and stress failure property of ordinary cast iron are tested against those of the cast iron with high stress on the motionless flexure and opening loop equipment. The results show that high strength cast iron with high Si/C proportion, Mo and Cu low alloy treatment can meet the requirements to the hight rigidity and high stability of the thir wall basic casting of a large fine instrument.

**Key words:** Antideformation, Si/C proportion, Mo and Cu alloy treatment, Stress failure

刘殿双 男, 1964 年出生. 1988 年毕业于吉林工业大学金属材料工程系铸造专业, 一直从事铸造专业工作。