

# 灰 铸 铁 中 的 锑

甘肃工业大学 郝 远 李子全 董庚茂 朱平顺  
兰州铁道学院 陈队志

## 摘 要

研究了锑对灰铸铁白口倾向、石墨形态及机械性能的影响,以掌握其作用规律。

关键词: 灰铸铁 锑 组织 性能

## Antimony in Grey Iron

### Abstract

The effect of antimony on the chilling tendency, the graphite morphology and the mechanical properties of grey cast iron was studied in this paper.

锑对灰铸铁的主要作用是稳定珠光体,这已有许多报道<sup>[1~3]</sup>。灰铸铁水中加入锑0.05%,可以替代加入Cu0.5%和Sn0.1%。对铸铁的机械性能、机加工性、耐热性和疲劳极限值的研究表明,锑能有效地稳定灰铸铁中的珠光体<sup>[4]</sup>。据报道<sup>[5]</sup>,加锑0.05%以下时,能提高灰铸铁的抗拉强度和硬度,但当锑量超过0.10%后,就会因形成碳化物而降低冲击韧性。至于锑影响灰铸铁石墨组织的一种观点认为,锑主要是阻碍石墨化,随着灰铸铁含锑量的增加,石墨片将逐渐变小<sup>[6,7]</sup>;另一种观点认为锑仅影响金属基体组织,而并不改变石墨的形状及分布,只是偶尔会稍稍增大石墨片的尺寸<sup>[8]</sup>。这表明,合理地加入微量锑,将会对灰铸铁的

石墨形态,基体组织以及机械性能产生有益的影响。本文主要研究锑对灰铸铁HT200的白口倾向、石墨形态、共晶团数、基体组织及机械性能的影响。

### 一、试验方法

熔化设备为10kg, GD60—H11酸性高频感应电炉,原材料为Z22生铁、废钢及工业纯锑(≥99%)。原铁水化学成分(%)为: C3.07~3.30, Si1.72~1.90, Mn0.50~0.71, S0.03~0.05, P0.025~0.04。试验加锑量范围为0.01~3.5%, 锑的粒度不超过5mm,置于包底冲入铁水。每次处理5kg铁水,用浸入式热电偶配数字显示温度计测温,铁水出炉温度1480~1520℃。每一

种加铈量浇两根  $\phi 30 \times 340 \text{ mm}$  抗弯试棒, 用于测定抗弯强度、抗拉强度和硬度, 并观察金相组织。对应于每一种加铈量, 浇一个阶梯试块和三角试块, 以测定断面敏感性和白口倾向。用阶梯试块中央  $5 \text{ mm}$  和  $50 \text{ mm}$  两断面处硬度的差值  $\Delta \text{HB}$  来评定断面敏感性。

## 二、实验结果与分析

### 1. 含铈量对 HT200 白口倾向的影响

当含铈量小于  $0.1\%$  时, 铈对 HT200 的白口和麻口宽度没有明显的影响。随着铈量的增加, 试棒断口逐渐由灰变白。Sb  $< 2.0\%$  时试棒为灰口; Sb  $\geq 2.0\%$  时出现麻口圈, Sb  $\geq 2.5\%$  时试棒出现白口圈, 其余部位几乎全为麻口; 当含铈量大于  $3.0\%$  后为全白口。

### 2. 含铈量对 HT200 机械性能的影响

含铈量对 HT200 强度的影响如图 1 所示。由图 1 可见, 随着铈量的增加, 灰铸铁的强度逐渐上升, 至含铈量为  $0.055\%$  时

抗拉强度达最大值 ( $262.6 \text{ MPa}$ ), 比不加铈约高  $56.8 \text{ MPa}$ 。抗弯强度也是在含铈量为  $0.055\%$  时达最大值 ( $492.0 \text{ MPa}$ ), 比不加铈时高  $70.4 \text{ MPa}$ 。由图 1 还可见, 加铈的效果比较稳定,  $\sigma_b$ 、 $\sigma_w$  曲线基本无起伏。

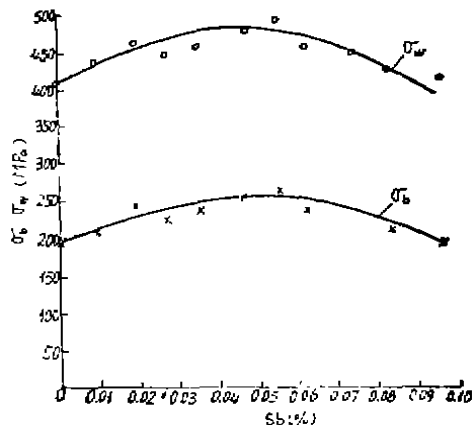


图1 含铈量对 HT200 铸铁抗拉强度与抗弯强度的影响

含铈量对 HT200 硬度的影响如表 1 所示。

表 1 不同含铈量的阶梯试块各断面的硬度值

Sb(%)	阶梯试块各断面平均布氏硬度值				$\Delta \text{HB}_{\max}$
	5 mm	15 mm	30 mm	50 mm	
0	205	190	185	170	35
0.008	229	216	209	199	30
0.016	219	204	202	198	21
0.025	217	215	205	198	19
0.035	231	232	232	218	13
0.048	224	208	207	198	26
0.053	229	225	214	209	20
0.075	234	224	221	220	14
0.089	229	224	220	205	24
0.131	239	229	223	215	24

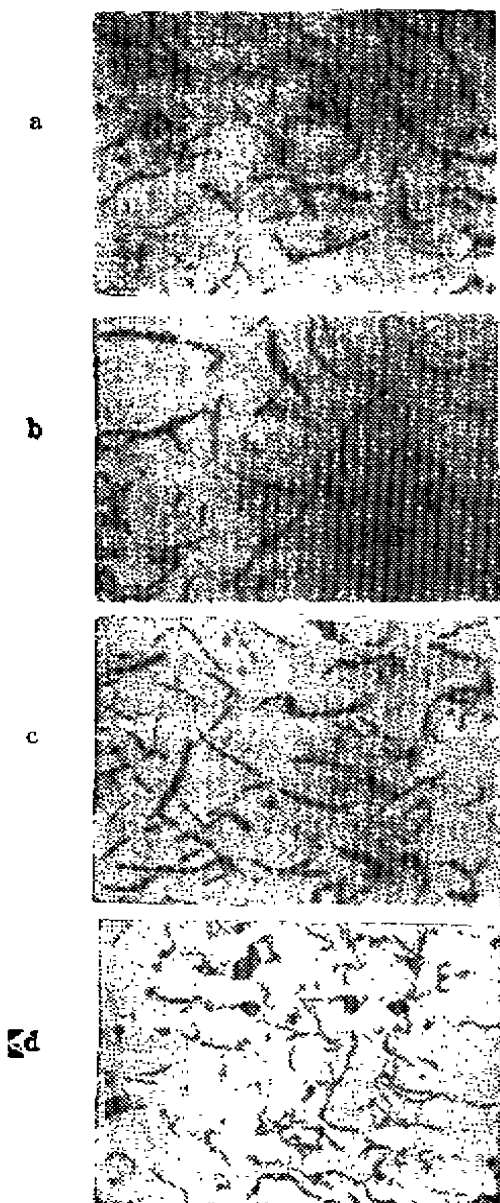
由表1可见,含锡量在0.13%以下时,锡能使HT200的断面敏感性减小。随着含锡量的增加,灰铸铁的硬度值明微增大。

### 3. 含锡量与石墨形态的关系

HT200中加锡后,石墨形态的变化如图2所示。由图可见,加锡可明显地减小石

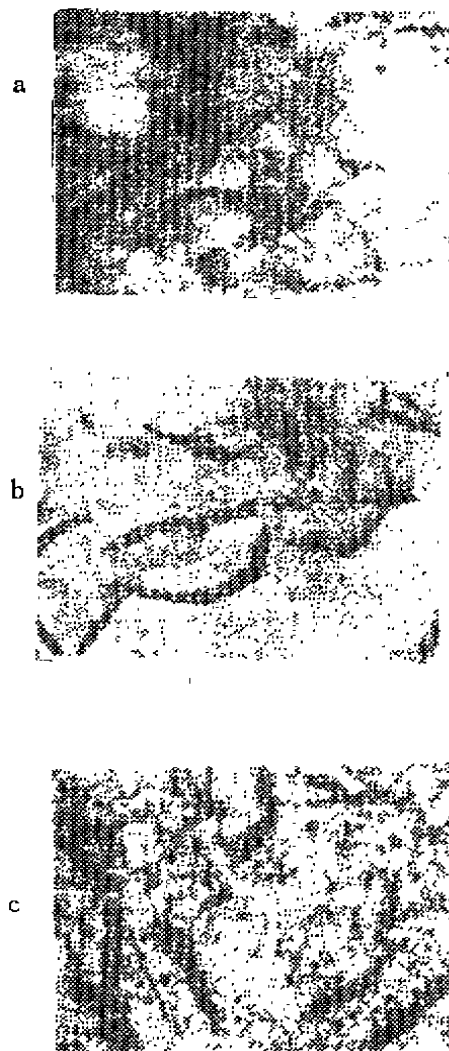
墨尺寸,在含Sb0.019~0.096%范围内,石墨为A型,石墨长度为80~120 $\mu$ m,所以强度较好。当含锡量超过0.1%后,出现E型和D型石墨,导致机械性能下降。这表明,石墨形态的变化与上述机械性能的变化是相对应的。

### 4. 含锡量与基体组织的关系



(a) Sb0.027% (b) Sb0.055%  
(c) Sb0.074% (d) Sb0.138%

图2 不同含锡量时灰铸铁的全相组织(200 $\times$ )



(a) Sb0.009% (b) Sb0.019%  
(c) Sb0.055%

图3 不同含锡量时灰铸铁的基体组织  
(4%硝酸酒精腐蚀, 600 $\times$ )

不同含锡量的灰铸铁基体组织如图3所示。由图可见, 锡量为0.009%时还有少量铁素体; 当锡量为0.019~0.055%时, 基体组织为细片状珠光体和索氏体, 有时还会出现针状组织(马氏体或下贝氏体)。

### 三、讨 论

锡的原子半径为1.614 Å, 是 $\gamma$ -Fe的1.36倍, 是碳的2.07倍。在非平衡结晶时, 锡富集于界面前沿的液相中, 由于锡与碳的原子半径相差较大, 且锡对石墨表面湿润性很差( $\theta=140^\circ$ ), 附着功数值也很小( $W_A=0.85\text{kJ/m}^2$ )<sup>[9]</sup>, 碳实际上不会与其形成某种化合物。因此锡易于存在于铸铁中碳低的部位, 而生长着的石墨周围的铁水正是这样一个原子排列混乱且含碳量较低的区域。另外, 在接近凝固时, 液体中会出现大量的类似固态结构的近程有序结构。但由于锡与铁的原子半径相差很大, 故它分布在铁的近程有序结构中的可能性不大, 而易于分布在石墨周围。锡在石墨前沿的富集, 影响了界面前沿碳原子的扩散速度和在石墨上的沉积速度, 从而阻碍石墨的生长, 使石墨片尺寸减小。当含锡量增加时, 凝固界面前沿锡的富集程度也增大, 对石墨的形核和长大的阻碍作用也更强烈, 所以导致产生D、E型石墨。

锡能促进、稳定和细化灰铸铁中的珠光体, 并可使局部区域出现针状组织的主要原因是: (1) 锡在石墨前沿的富集将阻碍碳原子的扩散, 从而加大形成共析碳化物的倾向; (2) 锡能降低Fe-C-Si平衡系中共析转变三相区的平衡温度, 从而使珠光体容易生成; (3) 锡常偏析于石墨-基体界面上。从而抑制了铁素体的形成。在共析转变时, 锡易形成铁锡化合物 $\text{FeSb}$ 和 $\text{FeSb}_2$ , 它们将抑制渗碳体的分解; (4) 锡位于周期表中碳的右方, 共价键性强, 电负性比碳大, 化合价亦高, 所以能够置换渗碳体中的碳原子, 从

而使渗碳体因原子结合强度增强而提高稳定性<sup>[10]</sup>; (5) 锡对石墨的形核和长大的阻碍作用, 将有助于初生奥氏体的生长, 并使溶入奥氏体的碳量增大, 从而促进共析转变时珠光体的生成。

珠光体的细化及索氏体的形成, 我们认为有以下原因: (1) 锡对石墨长大的阻碍限制了共晶团的发展, 从而细化了共晶团, 也使碳的扩散速度减慢, 从而有利于细化珠光体组织; (2) 由于锡在Fe-C合金中的固溶量很小, 故在共析转变时, 易在两个相邻的相界面上形成富锡层, 阻碍碳原子的扩散, 从而有利于细化珠光体, 乃至形成索氏体。

基体组织中局部区域出现针状组织, 原因仍是锡在石墨周围的富集。据报道<sup>[11]</sup>, 在结晶过程中, 在碳晶核和基体的边界上可形成厚30~40 Å的含锡20~30%薄膜, 而造成局部区域强烈过冷, 以致在共析转变时珠光体来不及形成而形成针状组织(马氏体或贝氏体)。本实验结果表明, 在石墨片周围锡浓度较高, 针状组织比较密集, 如图3c所示。

当含锡量小于0.1%时, 灰铸铁的断面敏感性较小, 且白口倾向变化不大。这主要是由于锡能够强烈地促进并稳定珠光体, 使得不同断面上的组织比较均匀所致。而加锡后灰铸铁硬度的上升。主要是由于珠光体的片间距变小所致。

### 四、结 论

在碳当量为3.65~3.95%, 含硫量为0.03~0.05%的灰铸铁HT200中加锡的主要结果如下:

1. 当含Sb<0.1%时, 灰铸铁的白口敏感性较小; 随着含锡量的增加,  $\phi 30\text{mm}$ 试棒断面逐渐由灰变白; 当Sb=2.0%时, 试棒出现麻口圈; Sb=2.5%时出现明显白口圈, 其内部几乎全为麻口; Sb>3.0%后断面为全白口。

2.适量的铈并不降低灰铸铁的机械性能,反而在较大范围内有提高灰铸铁强度的趋势,且铸铁断面敏感性较小,硬度值升高。

3.适量的铈能减小石墨尺寸,并获得分布较为均匀的A型石墨。过量的铈会促使形成D、E型石墨与渗碳体。

4.铈能够强烈促进形成并稳定珠光体,使之显著细化,局部区域能形成马氏体与贝氏体组织。当基体完全珠光体化后,多余的铈会引起自由渗碳体的生成,从而使强度大幅度下降,硬度继续提高。

#### 参考文献

- 1 Bates C. E, et al. AFS Trans 1967, 75: 815~828

- 2 Sawyer J. C, et al. AFS Trans 1971, 79: 385~404
- 3 Compananes E., AFS Trans, 1971, 79: 57~62
- 4 古城胜彦等,铁と钢, 1983, 69(13): 360
- 5 彭体元,铸造工程, 1981(3): 19~26
- 6 王颜青等,铸造技术, 1988(2): 4~27
- 7 铸铁手册编写组, 铸铁手册第二版, 北京, 机械工业出版社, 1979
- 8 Klaban J., Foundry Trade Journal, 1967, 11 (23): 745~750
- 9 张景辉,国外铸造, 1983 (2): 46
- 10 付玉林,国外铸造, 1977 (1): 1~12
11. Margerie J. C., Fonderie Fond Arj hvi, 1983 (30): 13~23

## 硅磷含量对球墨铸铁冲击性能的影响

洛阳工学院 夏青

#### 摘 要

通过对不同Si、P量的铸态及退火球铁在不同温度下进行冲击试验,详细地考察了Si量、P量对冲击韧性及脆性转变温度的影响。

关键词: 球墨铸铁 冲击韧性 脆性

### The Effect of Si and P on the Impact Toughness of Ductile Iron

#### Abstract

The impact toughness of ductile iron with various Si and P content at different temperature was tested. The effect of Si and P on the impact toughness and transition temperature of ductile iron was then studied.