

述 评

化学成分和硅碳比对灰铸铁性能的影响

东南大学 孙国雄 陆志东

摘 要

综述了硅碳比对灰铸铁性能的影响的不同结果。似乎还需弄清硅碳比对灰铸铁拉伸性能的影响。参考文献中所报道的拉伸强度随硅碳比的提高而提高, 同样也受含锰量的提高, 炉料中废钢配比的提高, 出铁温度的提高等的影响。

关键词: 拉伸性能 硅碳比 灰铸铁

The Influence of Composition and Si: C Ratio on the Properties of Gray Cast Iron

Abstract

Different results on the influence of Si: C ratio on the properties of gray cast iron was surveyed. It seemed that the influence of Si: C ratio on the tensile property of gray cast iron still need to be clarified. The increasing of tensile strength by raising Si: C ratio reported in the references is also due to the effects of increasing manganese content, increasing steel scrap in the charge materials or increasing tapping temperature from the cupola.

本文拟就基本化学成份对灰铸铁性能的影响方面进行一些综述与讨论。

化学成分对灰铸铁性能组织的影响, 是人们普遍关注的基本问题。自1950年 Schneidewind Mcelwee^[1]第一次从试验数据回归出化学成分与灰铸铁拉伸性能

的关系式后, 很多研究均在试验或生产条件下进行了统计分析, 获得了拉伸强度与化学成份的回归方程式。这些方程式对人们正确选择化学成分具有一定的参考价值。在灰铸铁的基本成分C、Si、Mn、P和S中, 除锰可作少量调整外, 影响灰铸

铁性能的主要控制元素就是硅与碳了。自文献〔1~5〕报导关于硅碳比对灰铸铁性能的影响后，硅碳比的调整研究受到了国内的广泛重视〔6~10〕。在碳当量相同的条件下，随着硅碳比的提高，铸铁的基体由于溶硅量增加，进一步得到强化，白口倾向也明显下降，对于改善加工性及消除铸件薄壁部位的白口显然是有利的，对生产控制带来不少方便，但在硅碳比对机械性能的影响方面，文献上存在很不一致的观点，综合起来有下列三种。

(1) 以文献〔2~5〕为代表的试验结果表明。在碳当量相同时，硅碳比值较高的灰铸铁具有较高的拉伸强度。文献〔5〕获得的结果是，硅碳比值为0.65~0.9的铸铁比低硅碳比值(0.5左右)铸铁的拉伸强度约高29.4~58.8MPa。文献〔10〕还对不同碳当量时，拉伸强度与硅碳比之间的关系进行了回归分析，得出

$$\begin{aligned} \text{当 } CE = 3.65 \sim 3.8 \text{ 时} \\ \sigma_b (\text{kgf/mm}^2) = 22.2640 Si/C \\ + 14.5612 \quad (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{当 } CE = 3.80 \sim 3.95 \text{ 时} \\ \sigma_b (\text{kgf/mm}^2) = 14.3917 Si/C \\ + 18.2272 \quad (2) \end{aligned}$$

当 $CE = 3.95 \sim 4.05$ 时， σ_b 与 Si/C 仍存在较好的线性关系，如图 1 所示。

文献〔5、6〕都认为硅碳比增加时，提高拉伸强度的作用，高碳当量铸铁比低碳当量铸铁更强。

(2) 以文献〔7〕为代表的观点则认为 Si/C 与 σ_b 之间的关系在不同的碳当量下是不同的，其典型结果如图 2 所示。

当 $CE \leq 4.0\%$ 时， σ_b 先随 Si/C 的提高而升高，当 Si/C 超过一定范围， σ_b 随 Si/C 的提高而下降， CE 愈低，该倾向越明显。当 CE 为 $3.6 \sim 3.8\%$ 时， σ_b 的高峰出现在 Si/C 为约 0.8 左右；当 CE 为 $3.8 \sim 4.0\%$ 时， σ_b 的最大值处于 Si/C 为 0.70 左右。当 $CE > 4.0\%$

时，随 Si/C 升高， σ_b 无明显变化，故在 CE 高时，提高 Si/C 对强度无明显影响，这时用提高 Si/C 来提高 σ_b 就无效果，这一结果与文献〔5、6〕是完全不同的。

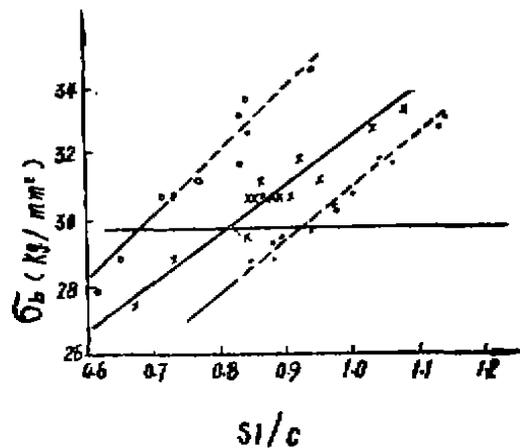


图1 Si/C对 σ_b 的影响〔10〕

- CE=3.65~3.30 Sc=0.8
- CE=3.80~3.95 Sc=0.9
- △—CE=3.95~4.05

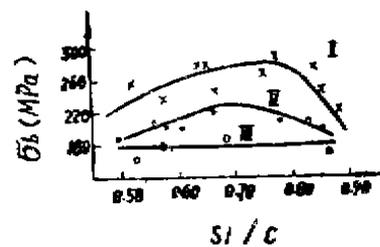


图2 Si/C对 σ_b 影响〔7〕

- I—CE=3.6~3.8%
- II—CE=3.8~4.0%
- III—CE=4.0~4.2%

(3) 第三种观点则来自对生产或试验数据进行统计分析的结果，早期的回归分析都以碳当量或共晶度作为参数，联系碳硅量对拉伸强度的影响。如Schneidewind等的回归方程〔1〕为

$$\sigma_b(\text{psi}) = 10000 \{ 11.68 - 2.0 [\%C + 0.33(\%Si) + 0.25(\%P)] - \log D_e \} \times [1 + 0.40(\%Cr) + 0.08(\%Cu) + 0.1(\%Mn - 0.7) + 0.44(\%Mo) + 0.065(\%Ni)] \quad (3)$$

式中 D_e 为铸件断面的当量直径(毫米)。

在相对强度的计算公式中, $\phi 30$ 毫米试棒的平均拉伸强度为

$$\sigma_b(\text{kgf/mm}^2) = 102 - 82.5 S_c \quad (4)$$

实际上应用了碳当量的概念。

在应用碳当量作为参数的公式中, 当碳当量保持不变时, 减少 0.1% 的碳, 就应相应增加 0.33% 的硅, 此时硅碳比可以有较大

变化。碳当量分别为 3.8 和 4.2 时, 按 (4) 式计算获得的拉伸强度如表 1 所示。由表 1 的计算结果可见, 在 CE 为 3.8% 时, Si/C 由 0.35 变化至 1.07, 拉伸强度仅稍有增加, 最大的增加幅度仅为 15.7 MPa。而在 CE 为 4.2% 时, Si/C 由 0.36 变化至 1.065, σ_b 的最大增加幅度只是 4.9 MPa, 大体上在拉伸试验时的试验误差范围。可见按这些回归式, Si/C 对拉伸强度几乎没有影响, 当然由于公式 (3)、(4) 以碳当量或共晶度作为参数, 而碳当量和共晶度只表明了硅对 Fe—C 状态图中共晶点含碳量的影响, 将此关系应用于碳、硅元素对灰铸铁性能的影响显然是不合适的。

表 1 按(4)式计算所得 σ_b 与 Si/C 的关系

CE(%)	C(%)	Si(%)	S_c	Si/C	σ_b (MPa)
3.8	2.8	3.0	0.848	1.07	313.8
	3.0	2.4	0.857	0.8	306.9
	3.2	1.8	0.865	0.56	300.6
	3.4	1.2	0.87	0.35	298.1
4.2	3.1	3.3	0.969	1.065	216.73
	3.3	2.7	0.97	0.82	214.77
	3.5	2.1	0.972	0.6	213.78
	3.7	1.5	0.9736	0.41	212.80
	3.75	1.35	0.974	0.36	211.82

文献^[11]将碳硅二元素分别对抗弯强度进行回归分析发现

$$\sigma_b(\text{kgf/mm}^2) = 75.70 - 3.71C - 11.56Si \quad (5)$$

回归分析是对某厂两座冲天炉 HT20—40 牌号 1984 年全年的全部有效数据, 计 216 炉 354 次的统计结果。公式 (5) 表明, 硅对铸铁

抗弯强度的降低作用比碳大得多, 根据这一回归方程, 在同样碳当量下, 提高硅碳比, 强度性能将会显著降低。

文献^[12]早在 1984 年就发表了类似的结果, 作者分别得到了多元线性回归及包含二次项的回归式如式 (6) 及 (7) 所示。

$$\sigma_b(\text{Ksi}) = 76.77 - 7.07(\%C) - 4.86(\%Si) \\ - 8.89(\%Mn) + 3.13(\%Cr) \\ + 0.65(\%Ni) + 5.11(\%Cu) \\ + 11.26(\%Mo) - 1.14(\%Sn) \quad (6)$$

$$R^2 = 0.76$$

$$\sigma_b(\text{Ksi}) = 130.9 - 3.08(\%C) - 95.42(\%Si) \\ + 22.73(\%Si)^2 - 9.24(\%Mn) \\ + 13.00(\%Cr) + 10.0(\%Ni) \\ - 4.65(\%Ni)^2 - 25.65(\%Cu) \\ - 21.2(\%Cu)^2 + 15.98(\%Mo) \\ + 0.73(\%Sn) \quad (7)$$

$$R^2 = 0.89$$

(6)、(7)两回归式的适用范围为

试棒直径1.2英寸 \approx 30毫米

化学成分(%)为: C3.1~3.3,

Si1.6~2.4, Mn0.4~1.0, Cr0.05~0.55,

Ni0.05~1.62, Cu0.025~0.80,

Mo0.05~0.8, Sn0.01~0.12,

S0.089~0.106。

按照对各元素分别分析得到的回归方程式,除(7)式在部分成分范围外,不论用(5)、(6)式中的任一式,在同样碳当量的条件下,提高硅碳比,灰铸铁的强度性能都是下降的。

J. E. Janowak近年在美国CMI主办的讲习班上也指出,高强度灰铸铁的化学成分应控制高碳、低硅。

值得注意的是,图1及图2中的曲线不是在同一碳当量的条件下获得的,图1中上面两条曲线碳当量的变化范围为0.15%。图2的曲线I、I'碳当量的变化范围达0.2%。从生产和试验数据看,碳当量为3.5%时,灰铸铁的拉伸强度可达350~380MPa。碳当量为4.5%时,拉伸强度约为100~150MPa。文献^[14]所得的回归方程为

$$\sigma_b(\text{MPa}) = (132.68 - 26.67CE) \times 9.8 \quad (8)$$

可见,碳当量变化0.2%,灰铸铁拉伸

强度的变化就可达到50~60MPa。这一数值与图1、2中拉伸强度的变化范围大体相当,这显然可能影响图1及图2所示曲线的准确性。这两图中究竟是硅碳比,还是碳当量的变化在起作用尚有待于进一步查明,当然还可能包含其它因素的影响。可见图1及图2并不是硅碳比对拉伸强度的影响的真实规律。

从上述可见,我们对基本成分对灰铸铁拉伸强度的影响的认识正在逐渐深化。但对基本成分的控制目前的认识并未一致。看来以碳、硅分别作为参数进行回归分析的结果是值得引起人们注意的。目前有关提高硅碳比会提高拉伸强度的报导,实际上除改变硅碳比外,其他因素诸如铁水温度的提高,炉料中废钢配比的提高及铁水中含锰量的增加等都起了不可忽视的作用,因此很难说是硅碳比影响的结果,将性能的提高归因于硅碳比提高所致显然是不合适的。

文献中关于硅碳比对灰铸铁残余内应力的影响也存在着不同的观点,文献^[5、7]都认为高硅碳比铸铁铸造应力较低,他们的结果都是应用动态应力测定仪测定所得。作者^[13]用不同尺寸的应力框测定灰铸铁残余应力得到了不同结果。认为用小应力框及动态应力框的结果较为确切,即硅碳比的增加会使残余内应力有所增大,但变化并不显著。文献^[9]也认为高硅碳比铸铁的线收缩率和弹性模量较高。在铸造工艺相同的情况下,铸造应力是不可忽视的。

铸件残余应力的形成过程是十分复杂的,影响因素很多,化学成份,包括硅碳比的变化,由于影响基体强度,石墨量及分布,铸铁的导热率和收缩率等,当然会影响铸件的残余应力值,但从铸造热应力的形成机理看,关键因素是铸件各部分在冷却速度上的差异。在理想的情况下,如整个铸件都能均衡冷却,即冷却过程中铸件各部分都处

(下转37页)

3. 使用试验结果

从1989年4月至1989年11月在涟源烧结分厂24m²带式烧结机上对所研制的铝硅球铁篦条和该厂所采用的其它厂供应的普通铸铁、中硅球铁和高铬铸铁三种篦条经过近7

个月的现场生产试用和监测,结果表明,铝硅球铁篦条强度高,抗冲击,不易折断,抗氧化性和耐磨性好,消耗低。试验篦条的消耗量比较见表5。可见,铝硅球铁篦条的使用寿命较普通铸铁和中硅球铁大大提高。

表5 试验篦条的装机使用试验结果

材 料	消耗量(kg/t矿)
普通铸铁	0.3
中硅球铁	0.12
铝硅耐热球铁	0.032
高铬铸铁	0.016

四、结 论

1. 篦条的主要失效形式是端部的氧化烧蚀,这是高温下发生内部氧化的结果。因此,要提高篦条的使用寿命,需综合考虑篦条材质的热疲劳抗力与抗氧化、抗生长性。

2. 球化和合金化是提高铸铁耐热性的有效措施,铝硅总量控制恰当的耐热球铁篦条具有优良的综合性能,其使用寿命较中硅球铁大幅度提高。铝硅球铁篦条的生产成本不高,可作为高铬铸铁篦条的代用品。

(上接32页)

于同一温度,就不会产生任何热应力,所以在低应力铸件的生产中工艺因素应该是关键。从这个意义上说,只是改变硅碳比,铸件中残余应力的变化(不管是提高或降低)不会很显著,更无法获得低应力铸件。只有均匀冷却的各种措施,才是降低铸造热应力的有效手段。

化学成分对灰铸铁组织和性能的影响,是灰铸铁生产与研究中的一个基本问题,也是灰铸铁的一项基础研究工作,它在提高灰铸铁质量方面的作用是显而易见的。这方面的研究工作仍有待于进一步深化。

参 考 文 献

1 Schneidewind R. et al. AFS Transactions, 1950, 58: 312~332

- 2 Giesserei, 1962, 19(11): 13
- 3 Walther Hiller et al. Foundry, 1962, 90(12): 51~57
- 4 Walther Hiller, et al. Foundry, 1966(11): 84~87
- 5 李龙城等,铸造, 1981(5): 22~28
- 6 肖柯则,铸造, 1987(5): 2~5
- 7 丛家瑞等,铸造, 1987(9): 18~22
- 8 孙国雄等,铸造, 1988(5): 1~4
- 9 刘弼臣,铸造, 1988(7): 20~21
- 10 李升智等,高Si/C值铸铁研究(第三届华北铸造技术协作网资料), 1985.
- 11 尚小明,铸造技术, 1988(1): 24~26
- 12 Bates C.E., AFS Transactions, 1984, 92: 932~946
- 13 孙国雄等,铸造技术, 1987(4): 3~5