

# 高铬铸铁的感应炉熔炼技术

西安交通大学(陕西省西安市 710049) 徐学武 邢建东

**摘要:**介绍了感应炉熔炼高铬铸铁过程中的五个技术要领。用热力学的方法计算了熔化时坩埚反应的平衡温度与测试结果基本相符。为高铬铸铁的熔炼制度提供了理论根据。

**关键词:**高铬铸铁 熔炼 热力学

## Induction Furnace Smelting Technology of High Chromium Cast Irons

Xu Xuewu Xing Jiandong

(Xian Jiaotong University)

**Abstract:** Main factors affecting smelting quality of high chromium cast irons in induction furnace are discussed in this paper. A thermodynamical method is used to calculate the equilibrium temperature of crucible reaction when the alloys are melted. The results are agreement with measured temperature very well and provide a fundamental basis for obtaining good quality high chromium cast irons by using induction furnace smelting method.

**Key words:** High chromium Cast iron melting Thermodynamics

我校从事高铬铸铁的研究已有近 20 年的历史,先后出版过两本高铬铸铁方面的专著[1、2],但涉及关于熔炼方面的内容较少,因此,本文拟从理论与实践结合的角度,介绍有关感应炉熔炼高铬铸铁中若干应引起注意的技术要领。

### 1 感应炉熔炼中的技术要领

#### 1.1 高铬铸铁熔炼的合适炉衬

研究结果表明,高铬铸铁可以在任何电炉中熔化,也可以在反射炉中熔化,炉衬可以是碱性、中性或酸性<sup>[2]</sup>。说明高铬铸铁生产的适应性很强,各单位可根据自己的生产条件选择炉衬材料。但这绝不意味着采用什么炉衬熔炼高铬铸铁效果都一样。就纯粹高铬铸铁而言,根据我们的经验,采用酸性炉

衬,最为经济和实用。因为酸性炉衬材料成本较低,若配合合理的熔炼制度,能维持较长的炉龄,在正常情况下,可达 90 炉以上。采用碱性材料打结的坩埚,在高铬铸铁及其普通铸铁熔炼中,难以达到较高的烧结温度,由于烧结不充分往往使炉壁过早产生龟裂而作废。据以往的使用情况统计,镁砂炉衬的寿命约是石英砂炉衬寿命的三分之一。加之碱性材料的价格比酸性材料高得多,按照目前的市场价格,镁砂至少是石英砂的两倍。通过价格和寿命的比较,酸性炉衬的优越性就明显地表现出来了。另外,石英砂在高温时的电阻值小于镁砂,磁力线穿过时的损失也小,这就使得酸性炉衬的电效率比碱性炉衬高。因此,在可能的条件下应尽量使用酸性炉衬,

表 4 水淬准等温处理磨球的性能

Tab. 4 Properties of the grinding ball by quasisaustempering after quenched in water

机械性能	淬火态	回火态
HRC	59.3, 59.8	56.3, 57.5
$\epsilon, J/cm^2$	5.0	6.0, 7.0

应该注意的是,应用水淬准等温处理工艺应有一套设施来保证磨球不在水中被淬火到  $M_s$  点以下,否则会出现磨球被淬裂的现象。

### 4 结论

4.1 准等温处理工艺可以使贝氏体/马氏体磨球获得很好的韧性与硬度的结合,在文中给定成分下,水《铸造技术》2/1997

淬后  $M_s + 110$  左右准等温处理的大量实践表明,回火态磨球 HRC55 以上,冲击值大于  $6J/cm^2$ 。

4.2 采用准等温淬火工艺,水可以作为淬火介质。

### 参考文献

- 1 王 琥等. 铸造, 1989(10), 7
- 2 魏秉庆等. 机械工业工程学报, 1991(6), 51
- 3 吴德海等. 球铁, 1984(4), 1
- 4 周庆德. 球铁, 1989(1), 1~4
- 5 黄 勇. 机械工程材料, 1991(5), 56
- 6 方鸿生等. 金属热处理, 1985(9), 3
- 7 潘洪革. 西安理工大学硕士研究生论文, 1993.
- 8 范志康等. 铸造技术, 1995(3), 36~38
- 9 刘汉生等. 铸造技术, 1995(1), 36

除非要配合某些材质的生产(如高锰钢)。表 1 为我们使用的炉衬材料及配比。

表 1 炉衬材料配比表

Tab. 1 Compound of lining		%	
炉衬性质	碱性	酸性	
材料	镁砂	石英砂	
配	12 目	25	20
	40 目	20	15
	70 目	10	15
比	140 目	20	20
	200 目	25	30

### 1.2 配料的最佳成本

高铬铸铁是一种高合金铸铁,其主要合金元素是铬和钼。铬多以铬铁形式加入,铬铁又有高、中、低碳及微碳之分,由于其加入量大,采用不同的铬铁配料,成本相差很大。应在满足成分的前提下,以尽量多用高碳铬铁为宜,其次是中碳铬铁。因其铬铁价格随含碳量增高而递减。以常用的 15Cr 为例:用废钢,高碳铬铁及少量低硅生铁既可满足 C 和 Cr 成分的要求又可降低成本。对 28Cr 铸铁来讲,其含碳量一般在 2.5%~3.0%。由于铬量高达 28%,仅用高碳铬铁就难以满足要求,高碳铬铁的含碳量通常在 8%以上,含铬量为 65%左右,即使用纯铁也无能为力。在这种情况下,可将中碳铬铁与高碳铬铁并用,以中碳铬铁用量最少为佳。表 2 是我校 150 kg 中频感应炉熔炼高铬铸铁的配料结果。需要说明的是:钼通常以钼铁的形式加入,配料时应根据具体的铸件壁厚,在保证有足够淬透性的前提下,尽可能减低其用量,不要拘束于标准牌号,这样做对降低成本,稳定耐磨性都有利<sup>[2]</sup>。

表 2 中频炉配料结果

Tab. 2 Burden specification of medium frequency induction furnace

原材料	牌 号	
	15CrMo	28Cr
生 铁	20.3	
废 钢	56.2	57.7
高碳铬铁	22.7	28.5
中碳铬铁		13.8
钼 铁	0.8	
备注	生铁应用低硅生铁,铬铁硅应低于 2% →	

### 3 合理的加料顺序

一般认为:铬的烧损比较大,约为 5%~15%,应在熔炼后期加入,我们认为,不能一概而论,要根据炉料的具体情况而定,特别是在没有回炉料或回

炉料较少的情况下,一开始加入大量的废钢,由于钢的熔点较高,就使得熔炼状况比较恶劣,如果废钢的质量较差,熔炼就变得非常困难。根据感应炉的温度分布图(图 1),我们采取的方法是:一开始在坩埚底部(区),放入部分铬铁,再放入全部生铁和回炉料,然后加入废钢及其余铬铁。这样可保证熔炼初期不出现过高温度,防止搭桥糊料,减少氧化。由于 28Cr 铸铁不加生铁,根据文献[3]介绍,铁水中铬含量在 0.3%以下时不烧损,只有达到 1.92%时,铬的烧损才稍明显。因此,一开始放入铬铁的多少,应使熔化的铁水的铬含量以不超过 2%为宜,这可基本保证开始熔化温度不超过 1450 (原因后面还要谈到)。钼铁熔点较高,含 Mo55% 的钼铁的熔点为 1750,正常熔炼时几乎不烧损,可在熔炼初期加入。

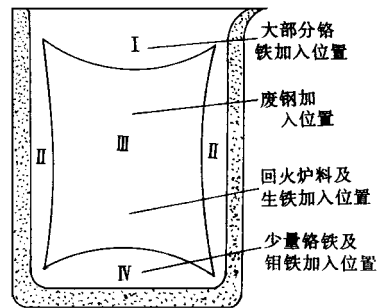


图 1 感应炉温度分布图

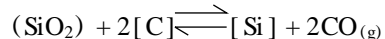
Fig. 1 Temperature distribution of medium frequency induction furnace

- 区. 为低温区,主要用于炉料预热烘烤
- 区. 高温区,主要用于金属熔化
- 区. 中温区,主要用于均匀成分

### 1.4 理想的熔炼温度

从图 2 Fe-Cr-C 合金系的液相面图<sup>[4]</sup>可知,高铬铸铁的熔点随含铬量和含碳量变化,但在实际应用范围内受铬的影响较小,当含碳量从 3.5%~2.5%之间变化时,其熔点约在 1240~1230 之间变化。文献[2]推荐的熔炼温度为 1480,其原因是在感应炉熔化时,本身具有搅拌作用,不必担心成分不均匀,出炉温度过高,一方面加剧了铬和碳的烧损,一方面则对炉衬造成较严重的侵蚀。

从感应炉熔炼过程中相的相互作用可知,金属熔体中的碳会与酸性炉衬中的硅发生还原反应,即通常所指的坩埚反应,这是高铬铸铁熔炼时最重要的一个反应。反应按下式进行:



当反应的自由能为负值时,反应由左向右进行,表现为炉衬蚀损;当反应的自由能为正时,反应由右向左进行,表现为炉壁结瘤。在反应的自由能为零时,反

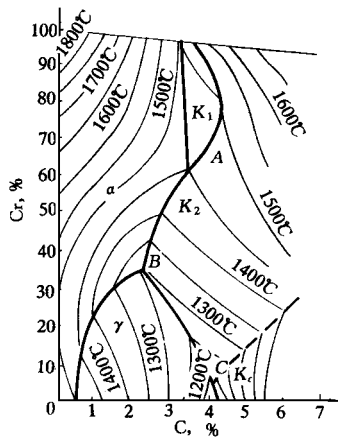


图2 Fe-C-Cr  
三元素相  
图液面<sup>[4]</sup>  
Fig.2 Liquidus  
of Fe-C-Cr

应处于平衡状态。在标准状态下,铁水中碳还原二氧化硅炉衬反应的自由能与温度  $T$  的关系为:

$$F^\circ = 549778 - 309.24 T^{[5]}$$

式中  $T$ ——绝对温度 (K)

$$\text{令 } F^\circ = 0$$

$$\text{得 } 549778 - 309.24 T = 0 \quad T = 1778 \text{ K} =$$

1505

在非标准状态下,  $F = F^\circ + 19.147 T \lg K$

$$K = \frac{f_{\text{Si}} [\% \text{Si}] P_{\text{CO}}}{f_{\text{C}}^2 [\% \text{C}]^2 \text{SiO}_2}$$

设反应产物  $\text{SiO}_2$  为纯物质,即  $(\text{SiO}_2) = 1$ ,

$P_{\text{CO}} = 1$  大气压

$$\text{则 } \lg K = \lg f_{\text{Si}} [\% \text{Si}] - 2 \lg f_{\text{C}} [\% \text{C}]$$

对于成分为  $\text{C} = 2.8\%$ ,  $\text{Si} = 0.9\%$ ,  $\text{Mn} = 0.9\%$ ,  $\text{Cr} = 15\%$  的铁水,经计算  $\lg K = -0.595$

$$F = 549778 - 309.24 T + 19.147 T \times (-0.595)$$

$$\text{令 } F = 0 \quad \text{得 } T = 1714.68 \text{ K} \approx 1442$$

通过上述计算可知,高铬铸铁熔炼过程中,温度最好控制在 1450 左右,这样既可基本保证坩埚反应处于平衡状态,又可减少碳的烧损及炉衬的蚀损,提高炉衬的使用寿命,同时也防止了铁水增硅。硅量过高以至失控,也是某些高铬铸铁件不耐磨的原因之一,在熔炼中必须予以防止。

为满足生产要求,在出炉前可再快速把铁水温度升到 1480。经我们实测,当铁水氧化膜消失,铁水表面清洁明亮,同时铁水开始往上翻黑泡时(析出的 CO 气体),温度计 (PY23  $\frac{1}{2}$ ) 显示约为 1450,这即为上述反应的平衡温度。这时可继续升温,直至

铁水出现微量火花,即可脱氧出炉。

### 1.5 必要的脱氧环节

由于高铬铸铁的熔炼温度比灰铁高,时间也相当长,因此,氧化问题就不容忽视。显然高铬铸铁熔化后期加入大量的铬铁,由于铬和氧的亲合力比铁大,铬铁能起到脱氧剂的作用,但铬毕竟是一种弱脱氧剂。从文献 [7] 可查得其氧浓度极小值为 0.288%,这样高氧浓度的铁水显然不能满足生产的要求。另外,以主要添加元素作脱氧剂,从经济的角度来看也是不合算的。因此,高铬铸铁的脱氧,既要还原  $[\text{FeO}]$ ,又应能还原  $[\text{Cr}_2\text{O}_3]$ ,据我们的经验,在出炉前炉中加入 0.5% 的锰铁预脱氧,再加入 0.25% 的硅铁初脱氧,最后在包中加入 0.05% 的铝终脱氧,即可满足生产要求。铝量过高,反而对铁水流动性不利。

### 2 小结

综上所述,高铬铸铁的熔炼技术归纳起来有以下要领:

2.1 高铬铸铁在感应炉中熔炼,用酸性炉衬最为经济、实惠。

2.2 高铬铸铁配料,铬铁应尽量采用高碳的,其次是中碳的。钼铁的加入应以满足淬透性要求为佳。

2.3 高铬铸铁熔炼合适的加料顺序是:先加少量高碳铬铁及全部钼铁,再依次加入回炉料、生铁、废钢,最后加入其余铬铁。使其熔化初期在高碳低铬 (2%) 成分下进行,防止出现过高温。

2.4 高铬铸铁熔炼中温度控制在 1450 左右最为理想,最后快速升高至 1480 脱氧出炉。温度过高,会使铬和碳的烧损加剧,炉衬的蚀损加快,铁水甚至会增硅。

2.5 高铬铸铁出炉前应进行脱氧处理。通常以 0.5% 锰铁炉中预脱氧,0.25% 硅铁炉中初脱氧,0.05% 铝包中终脱氧。

### 参考文献

- 1 周庆德等. 铬系抗磨铸铁. 西安交通大学出版社, 1986.
- 2 苏俊义. 铬系耐磨白口铸铁. 国防工业出版社, 1990.
- 3 黎春仕. 感应炉熔炼铸铁. 机械工业出版社, 1986.
- 4 R. S. Jackson. The Austenite liquidus Surface and constitutional Diagram for the Fe-Cr-C Metastable System, J. Iron Steel Inst., 1970, 208:163
- 5 董若琛. 冶金原理. 机械工业出版社, 1980.
- 6 吴之风, 李金和等. 氧对铁水流流动性的影响及直浇道氧法的试验研究. 西安交大科学技术报告, 1982.
- 7 商宝禄, 李玮. 冶金过程原理. 西北工业大学出版社, 1986.

本期责任编辑 魏 兵 方 亮 魏振双