

# 谈冲天炉熔炼的几个工艺技术问题

钱立<sup>1</sup> 王峰<sup>2</sup>

(1.河北工业大学,天津 300021 2.无锡一汽铸造有限公司,江苏 无锡 214174)

**摘要** 走访中看到一些地区的冲天炉仍在发挥作用,并生产出口铸件,但亦存在一些问题。从提质增效的角度出发,介绍了几项工艺技术:炉温、熔渣与低S低O铁液的关系、O<sub>2</sub>的利用、控制湿度送风、SiC的使用以及炉内矿物还原的实例等。指出:(1)对冲天炉要两分法,冲天炉有存在空间;(2)冲天炉应通过技术改造,进一步提高铁液质量;(3)冲天炉减排、废弃物再生利用,发展绿色铸造大有可为;(4)焦炭冲天炉、天然气冲天炉、感应炉、燃气回转炉各有所长,应在竞争中谋发展,在发展中求成长。

**关键词** 冲天炉;熔炼;工艺技术

中图分类号: TG243

文献标识码: A

文章编号: 1003-8345(2015)06-0073-04

DOI: 10.3969/j.issn.1003-8345.2015.06.013

## Talk about Several Process Problems of Cupola Melting

QIAN Li<sup>1</sup>, WANG Feng<sup>2</sup>

(1.Hebei Technology University, Tianjin 300021, China 2.Wuxi First Automotive Foundry Co., Ltd., Wuxi 214174, China)

**Abstract** It was found in the visit process that the cupola still plays important roll and is used also for production of exporting castings, however in the same time some problems are existing. From the point of quality improvement and efficiency increase several process techniques were introduced the relationship between furnace temperature, slag and low-S low-O iron melt, usage of O<sub>2</sub> blast with controlled moisture, usage of SiC as well as the example of mineral deoxidation et al. It was pointed out: (1) The cupola should be viewed with dichotomy, cupola still has existing space. (2) Quality of cupola iron melt should be further elevated through technology reformation. (3) Emission reduction of cupola and regeneration utilization of wastes to develop green foundry has a brilliant future. (4) Each one of coke cupola, natural gas cupola, induction furnace and natural gas rotary drum furnace has its good points, should seek develop in competition, seek growth in competition.

**Key words** cupola; melting; process technique

冲天炉连续熔炼生产率高,铁液过冷倾向小,大中小件生产均可使用。冲天炉与感应电炉双联,在某种情况下更是生产优质铁液的有效方法。冲天炉能耗与感应炉相当或略低,只要采取措施把排放降下来,冲天炉是有生存空间的。多数工业发达国家至今铸铁生产中仍有70%左右的产量与冲天炉(含双联)有关。进一步提高冲天炉铁液质量,减少成分波动,减排并加强废弃物再生利用,是冲天炉及其熔炼技术的发展方向。

笔者就下厂走访的感受,从提质增效角度出发,介绍以下几项工艺技术问题。

## 1 熔渣与铁液中的S和O

冲天炉内的造渣过程<sup>[1]</sup>,自上而下经历着石灰石的热分解、固相反应、粘着并熔融成初渣,以及转化为终渣等。具体地说是,石灰石在预热带下降时逐渐被加热,约在760℃左右开始分解,于920℃达到化学沸腾,在预热带内的下行中(约9~11 min)足以全部分解。与此同时,铁料表面被CO<sub>2</sub>氧化生成FeO,铁锈失去结晶水而变为Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,加上表面的粘砂夹杂,使得CaO、FeO、

收稿日期: 2015-09-01 修定日期: 2015-11-16

作者简介: 钱立(1936-),男,江苏无锡人,1958年毕业于清华大学铸造专业,教授,主要从事铸铁及功能辅料的研究及教学工作。

$\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  之间发生固相反应,生成一系列熔点在  $1\ 100\sim 1\ 200\text{ }^\circ\text{C}$  的若干种复合氧化物。因此,在接近熔化带的地方,炉料间彼此粘结。进入熔化带后,铁料熔化,而粘结物转化为半流动性的初渣。初渣中有大量  $\text{CaO}$ ,其碱度高达  $2.6\sim 2.7$ 。初渣在随后的过程中,温度不断提高,焦炭中的灰分和元素烧损,炉衬侵蚀而来的氧化物相继溶入,最终成为流动性好的终渣。终渣的碱度和氧化性,取决于炉料、供风、焦耗和铁液温度。根据条件的不同,冲天炉碱度在  $0.57\sim 1.08$ ,无论是酸性渣还是中性渣,都有收容夹杂物和去 S 的作用。

焦炭是 S 的大宗来源,铁料熔化以后,铁滴与红热焦炭接触,尚存在于焦炭中的 S 以溶解的方式向铁液中转移。因此,限制  $w(\text{S})$  量必须从选择优质焦炭和降低焦耗做起;要勤放渣,熔炼初期的炉渣应及时放掉,不得“开渣操作”<sup>[2]</sup>。渣中的  $\text{FeO}$  含量,对 S 在渣中和铁液中的分配系数影响很大,低氧化性的炉气、清洁的炉料和高温可降低  $\text{FeO}$  含量,有利于炉渣去 S。铁液中的 C 和 Si 能减少  $\text{FeO}$  含量。因此,高  $w(\text{C})$ 、 $w(\text{Si})$  量的铁液去 S 效果较好。铁液中  $w(\text{S})$  量高时,铸件易产生白口,出现渣气孔,球化效果不稳定,铸件多缩松。因此,要求  $w(\text{FeO})\leq 5\%$ 。某热风长炉龄冲天炉,出铁温度在  $1\ 500\sim 1\ 510\text{ }^\circ\text{C}$ , $w(\text{FeO})$  量为  $0.4\%$ , $w(\text{S})$  量为  $0.06\%$ 。某冷风长炉龄冲天炉,使用铸造焦,铁焦比  $8:1$ , $w(\text{S})$  量在  $0.06\%$  左右。一般而言,冷风水冷长炉龄冲天炉的  $w(\text{FeO})$  量可达到  $3\%\sim 4\%$  的水平;炉顶热风水冷长炉龄冲天炉的  $w(\text{FeO})$  量可低于  $2\%$ ;外热式热风水冷长炉龄冲天炉的  $w(\text{FeO})$  量可低于  $1\%$ 。后两种情况下,炉渣碱度在  $0.9\sim 1.1$ ,渣色黄白,质量轻,属于低氧化性的中性炉渣,所获得的必是流动性良好的高温低 S 铁液。

## 2 加 O 送风与风口喷吹

热送风和加 O 送风是冲天炉熔炼中两项有划时代意义的事,丰富了冲天炉的冶金功能,提升了铁液质量。相较于热送风,加 O 送风更为简便,更易调节,一次投资费用少,而且更符合清洁生产。

上世纪 70 年代,国内有研究所进行技术服

务,取得一定的使用效果,但因用汇流排气瓶供 O,未能在工厂里坚持下来。当年,笔者去马鞍山调研,有冶金企业根据分子筛原理,自制  $\text{O}_2$ ,由管道供 O。此做法成本高,铸造厂望尘莫及。在冶金企业,搞高大全,自成体系,后来亦自生自灭,悄无声息了。直到制氧厂生产液态  $\text{O}_2$  后,O 在冶金和铸造企业的使用才有长足进展。制氧厂亦改名为空气产品公司,供应  $\text{O}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、Ar 等产品,液态或气态,由用户选定。

$\text{O}_2$  经液氧罐、蒸发器、供氧控制柜后进入炉内。进入方式有 3 种:风管富氧,风口喷氧,风口氧与冶金粉料的联合喷射。后两种一般用于水冷冲天炉。

风管富氧。 $\text{O}_2$  通过分配器送入主风管,与空气混合后,由下排风口送入炉内。在送风速不变的情况下,富氧率每增加  $1\%$ ,熔化率提高  $6\%\sim 8\%$ ,铁液温度提高  $10\sim 12\text{ }^\circ\text{C}$ 。

风口喷氧。 $\text{O}_2$  经由安装在底排各风口的喷嘴射入炉内,每个喷嘴均有截止阀和流量控制阀。与风管富氧相比,该法的优点是:(1)没有管道漏氧(风管富氧时,漏风在  $5\%\sim 15\%$ );(2)向炉心的穿透力强,降低炉壁效应,减少炉衬损耗;(3)喷氧时,氧不会或不易被鼓风所稀释,所以可产生更高的燃烧温度和更大的供热强度, $1\%$  的富氧率可提高铁液温度  $15\sim 30\text{ }^\circ\text{C}$ ;(4)比风管富氧更节焦,提高熔化率更多,不同工厂喷  $2\%$  富氧,节焦  $8\%\sim 20\%$ ,熔化率提高  $25\%\sim 30\%$ ,出铁温度提高  $50\sim 80\text{ }^\circ\text{C}$ 。

冲天炉上使用  $\text{O}_2$  后,熔渣流动性良好,炉况顺行,延长炉龄,减少炉衬修补,促进增 C,可多用废钢,降低炉料成本;元素烧损少,节约了  $\text{FeSi}$ 、 $\text{FeMn}$ ,出铁温度的提高,还为炉外脱 S 创造了良好条件。氧气作业,铁液的温度响应快,加之由 PLC 可编程序控制器的指导,操作得心应手。

风口联合喷射。在风口喷氧的基础上,再喷射冶金粉料,如  $\text{FeSi}$  粉、 $\text{SiC}$  粉、车间集尘等,提高了冶金效益,达到了废弃物再生利用。此外,还可以使用天然气,用天然气+ $\text{O}_2$ ,可代替部分焦炭,减少  $\text{CO}_2$  和粉尘排放。据国外经验,喷粉量可达每吨铁液  $80\sim 100\text{ kg}$ ,熔化率提高约  $30\%$ ,焦耗由  $12.75\%$  降至  $10.56\%$ 。

冲天炉用氧,无需铸造厂从头做起,在炼铁

高炉上早已成功应用。铸造厂可找空气产品公司,由他们提出建议书、做方案、细述工艺和装备系统、提供水泥基础施工图、负责安装、调试、培训人员等。有售后服务保障,并通过远程监控系统,监测液氧罐内的液位,根据液位情况,适时由泵车到厂补充液氧。

### 3 控制湿度送风

空气中的水分,对C的链式燃烧反应有催化作用,水蒸气又属三原子气体,可提高炉气的辐射能力,有利于炉内热交换<sup>[2]</sup>。因此,水分对熔炼有一定的有利作用。然而,在高温下,水蒸气使Fe、Mn、Si氧化,增加烧损,使渣中 $w(\text{FeO})$ 量增加,铁液中 $w(\text{H})$ 量上升。 $w(\text{FeO})$ 量的增加,又使铁液中 $w(\text{S})$ 量同步上升,所以,空气湿度大了,铸件易产生白口、缩松、气孔和裂纹等。这就是上述缺陷在夏季和梅雨季节时分高发的原因。此外,空气中的水分与炽热焦炭的反应( $\text{H}_2\text{O}+\text{C}=\text{CO}+\text{H}_2$ )是吸热反应,会消耗焦炭。某地一个年产2万t的铸造厂,粗略计算<sup>[3]</sup>,一年要多消耗约60t焦炭。

综合考虑,送风湿度(绝对湿度)控制在 $5\sim 7\text{ g/m}^3$ 范围内,熔炼效果最佳。目前脱湿的方法有吸附法、吸收法和冷冻法等,其中以冷冻法应用较为普遍。该法将空气冷却到露点以下,使空气中的水蒸汽凝结成水后分离排出,然后再按计算量兑入水分,令湿度在 $5\sim 7\text{ g/m}^3$ ,实现控制湿度送风。国内冷冻机可供选用,其除湿效率高,运行费用低,容易实现程序化操作。铸造厂提出熔炼参数,请他们做系统。

冷风冲天炉控制湿度送风后,可使铁液温度提高 $20\sim 30\text{ }^\circ\text{C}$ ,Si、Mn烧损减少 $5\%\sim 10\%$ , $w(\text{FeO})$ 量减少 $20\%\sim 25\%$ ,铁液中 $w(\text{H})$ 量可控制在 $2.5\text{ ppm}(0.000\ 25\%)$ 以内。

必须指出,铁液中 $w(\text{H})$ 量除了与湿度有关外,与炉衬是否烤干亦有关。某试验表明,熔炼前期由于炉衬不干, $w(\text{H})$ 量会高至 $5\text{ ppm}$ ,开风 $100\text{ min}$ 后 $w(\text{H})$ 量才稳定在 $2\text{ ppm}$ 之内。由此可见,为了防止 $w(\text{H})$ 量超标,冲天炉点火后,维持一定的烤炉时间把炉衬烤干是非常必要的。有的工厂,在熔炼初期不浇注重要铸件,也是出于保险考虑。还须指出,炉料中的H一般是不必顾及的。

H在元素中原子半径最小,最容易扩散,炉料中的H,在预热带受热后通过扩散外逸,随炉气而去了。

### 4 SiC 与 $\text{CaC}_2$ 的使用

SiC和 $\text{CaC}_2$ (俗称电石)是两种重要的炉用辅助材料。上世纪60、70年代,国内焦炭质量差,炉温低,铁液质量不好。SiC与 $\text{CaC}_2$ 曾作为辅助燃料使用,取得良好效果。

每千克电石燃烧成 $\text{CO}_2$ 可放出 $5\ 080\text{ Kcal}$ 热量,相当于 $2/3\text{ kg}$ 焦炭,其燃烧反应为 $2\text{CaC}_2+3\text{O}_2=2\text{CaO}+4\text{CO}$ (放热) $2\text{CaC}_2+5\text{O}_2=2\text{CaO}+4\text{CO}_2$ (放热)。以上反应是发生在氧化带内的,终产物为 $\text{CO}_2$ 和 $\text{CaO}$ ,足可使炉内最高温度提高 $100\sim 150\text{ }^\circ\text{C}$ ,铁液温度提高 $50\sim 70\text{ }^\circ\text{C}$ 。产生的 $\text{CaO}$ 和高温,有利于去S。通常电石用量为金属料的 $2\%$ 。

$8\text{ mm}$ 以下的SiC配少许石灰和水玻璃后压成团块,为了提高SiC吸收率,保证它能在炉缸区溶解,而不致过早地烧失,应在其外裹敷以“钝化壳”。SiC和铁液、熔渣接触,发生如下反应 $3[\text{FeO}]+\text{SiC}=3[\text{Fe}]+(\text{SiO}_2)+\text{CO}$ (放热) $[\text{FeO}]+\text{SiC}=[\text{Fe}]+[\text{Si}]+\text{CO}$ (放热)。从而起到发热、增Si和脱O作用。炉料中加入占金属料 $4\%$ 的压块,能提高铁液温度 $40\sim 50\text{ }^\circ\text{C}$ 。由于 $w(\text{FeO})$ 量降低,提高了熔渣去S能力。

冲天炉风口喷吹技术使用后,直接将粉状SiC喷入炉内,是一种更经济有效的方法。

### 5 冲天炉内矿物的还原

人们有一种错觉,以为冲天炉炉气是氧化性炉气,就只有元素被氧化,而绝无氧化物被还原的可能。其实,这种看法是不全面的。

以Fe为例,炉内除了Fe被 $\text{O}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 氧化之外,还存在着Fe的氧化物被还原的可能。查Fe- $\text{CO}_2$ -CO平衡系统图,在冲天炉炉气成分的条件下,炉内Fe的氧化物稳定存在形式是FeO,所以高价氧化物 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 和 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 将转变为低价的氧化物FeO。上世纪60、70年代,有人尝试利用铁矿石代替废钢,当时冷风作业,又忽略了C的直接还原作用,因 $w(\text{FeO})$ 量过高而归于失败。后来,以团球矿代替铁矿石,并在团球矿内配入碳素还原剂,又采用了 $400\text{ }^\circ\text{C}$ 以上热风作业,改善了直

# 减少球墨铸铁件夹渣缺陷的工艺改进

陈 阵<sup>1</sup>, 薛蕊莉<sup>2</sup>

(1.沈阳机床银丰铸造有限公司, 辽宁 沈阳 110200 2.宁夏共享装备有限公司, 宁夏 银川 750021)

**摘要** 介绍了燃气轮机铸件的结构及原生产工艺, 对生产过程中出现的铸件表面夹渣缺陷进行了大量分析, 采取了以下措施: 根据大孔出流理论, 采用开放式浇注系统, 浇道比为  $\Sigma F_{\text{直}} : \Sigma F_{\text{横}} : \Sigma F_{\text{内}} = 1 : 2.15 : 2.49$ , 直浇道选择尺寸为  $\phi 80$  mm 的陶瓷管, 横浇道截面形状为矩形, 尺寸为  $9 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$ , 内浇道是 13 道尺寸为  $\phi 35$  mm 的陶瓷管, 铁液进流速度为  $0.28 \text{ m/s}$ 。通过以上措施, 铸件表面夹渣缺陷得以解决, 废品率由  $26.7\%$  降低到  $3\%$ , 每件铸件节约成本  $500$  元。

**关键词** 球墨铸铁; 夹渣; 开放式浇注系统

中图分类号: TG255

文献标识码: B

文章编号: 1003-8345(2015)06-0076-03

DOI: 10.3969/j.issn.1003-8345.2015.06.014

## Process Improvements on Reducing Slag Defect of Nodular Iron

CHEN Zhen<sup>1</sup>, XUE Rui-li<sup>2</sup>

(1.Yinfeng Foundry Co.,Ltd. Shenyang Machine Tool Group Shenyang 110200, China 2.Ningxia Kocel Machinery Co.,Ltd. Yinchuan 750021, China)

**Abstract** The structure and original production technology of castings on gas turbine were introduced. According to the surface slag defects occurred during production analysis were carried as follows. The design of running system according to large orifice discharge was open-casting. The gating ratios was  $\Sigma F_{\text{pouring}} : \Sigma F_{\text{runner}} : \Sigma F_{\text{flow}} = 1 : 2.15 : 2.49$ . The sprue was  $\phi 80$  mm ceramic tube and runner was rectangular in the size of  $9 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$  and ingate was  $\phi 35$  mm ceramic tube. Iron liquid flow speed was  $0.28 \text{ m/s}$ . The slag defect was solved. The scrap rate dropped from  $26.7\%$  down to  $3\%$  and the casting cost dropped  $500$  yuan each. Application of large orifice discharge theory on other production also worked well to avoid slag defects.

**Key words** nodular iron; slag; open casting system

接还原的动力学条件, 终于成功浇出了合格铸件, 笔者过问并见证了这一过程。在团球矿加入量占炉料  $15\%$  的情况下, 团球矿中 Fe 的氧化物全部实现了铁化, 渣中 FeO 仅为  $1\% \sim 3\%$ 。

另一个矿物在炉内还原的例子是, 在 B 铸铁生产中炉后加柱硼镁石实现炉内 B 的合金化。柱硼镁石的主要组成是  $\text{MgB}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , 它在预热带失去结晶水, 并分解出  $\text{B}_2\text{O}_3$ , 之后熔化, 在大于  $1400^\circ\text{C}$  的高温下,  $\text{B}_2\text{O}_3$  被 C、Si 还原, 生成 B 和  $\text{B}_4\text{C}$  进入铁液。这种做法, 2000 年笔者在肇庆调查过, 工厂的炉胆热风冲天炉配以多条离心浇注线, 生产缸套。后来, 该厂改用感应炉, 则炉外用硼铁 ( $\text{FeB}_{10}$ ) 或脱水硼砂 ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) 合金化。

## 6 结束语

(1) 对冲天炉要两分法, 冲天炉有存在空间。

(2) 冲天炉应通过技术改造, 进一步提高铁液质量, 以上几个工艺技术问题是很有效的。

(3) 冲天炉减排, 废弃物再生利用, 发展绿色铸造大有可为。

(4) 焦炭冲天炉、天然气冲天炉、感应炉、燃气回转炉各有所长, 应在竞争中谋发展, 在发展中求成长。

## 参 考 文 献

- [1] 孙克成, 钱立. 冲天炉熔炼[M]. 石家庄: 河北人民出版社, 1981.
- [2] 钱立, 庞凤荣. 冲天炉检测与炉况控制[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1985.
- [3] 张明, 何光新, 殷黎丽, 等. 冲天炉及其熔炼技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.

(编辑: 王 峰, E-mail: xdz\_t\_wf@wxawfc.com)