

文章编号:1672-1152(2008)04-0044-03

## 碱性白渣在临钢炉外精炼中的应用

牛铁岭

(太钢集团临汾钢铁有限公司, 山西 临汾 041000)

摘要:研究了白渣的构成和特性,以及在临钢炉外精炼脱硫方面的使用情况。

关键词:碱性白渣 脱硫工艺 应用

中图分类号:TF703.6

文献标识码:A

收稿日期:2008-06-26

太钢集团临汾钢铁有限公司(全文简称临钢)炼钢厂目前拥有3台LF钢包精炼炉。LF钢包精炼炉是临钢为适应市场开发的,2005年初开始筹建,2005年10月投产使用。在近三年的摸索实践中,临钢炼钢厂逐步建立起适合临钢的碱性白渣造渣工艺,并成功开发了Q460, Q345C, 20g, 16MnR, CCSB等十多个钢种。本文将对硅、铝脱氧渣系进行分析,并结合临钢生产实际对怎样造好合适的白渣及其应用、开发进行研究。

## 1 碱性白渣的特性

## 1.1 硅脱氧渣系和铝脱氧渣系的比较

钢水、氧化渣和石灰类等造渣材料充分脱氧是造白渣的前提。钢液通常用硅或铝脱氧,生成 $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 等氧化物,铝的脱氧能力比硅强,所以, $\text{Al}_2\text{O}_3$ 比 $\text{SiO}_2$ 更有利于脱硫。根据渣系相图可知,该体系生成3个三元化合物和10个二元化合物,其中,钙斜长石 $\text{CaOAl}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ ( $\text{CAS}_2$ )和 $2\text{CaOAl}_2\text{O}_3\cdot \text{SiO}_2$ ( $\text{C}_2\text{AS}$ )都是稳定化合物。其生成产物 $\text{CAS}_2$ 熔点 $1553^\circ\text{C}$ ,  $\text{C}_2\text{AS}$ 熔点 $1593^\circ\text{C}$ ,  $\text{C}_2\text{S}$ 熔点 $2130^\circ\text{C}$ ,  $\text{CS}$ 熔点 $1544^\circ\text{C}$ ,  $\text{C}_3\text{A}$ 熔点 $1535^\circ\text{C}$ ,  $\text{C}_1\text{A}_7$ 熔点 $1455^\circ\text{C}$ 。故控制其生成 $\text{CAS}_2$ ,  $\text{C}_2\text{AS}$ 等稳定产物是最佳选择<sup>[1]</sup>。在通常条件下,铝、硅是两种较常用的脱氧剂,硅氧钢、铝脱氧钢用渣成分见表1。

用铝处理的钢水,钢中氧及渣中 $\text{FeO}+\text{MnO}$ 含量更低,脱硫、除夹杂更容易。但是一定的浇铸工艺(如薄板坯连铸)、成本以及一些钢的用途限制了钢中的含铝量,造渣技术要与一定的钢种相适应,即最好是控制反应在钢水的介质中进行,故选择好白渣成分非常关键。从三元渣系相图中可知,铝脱氧渣系

作者简介:牛铁岭,男,1976年生,现在太钢集团临汾钢铁有限公司炼钢厂精炼车间工作,助理工程师。Tel:0357-3091133, E-mail:lgntd@163.com

表1 硅、铝脱氧钢渣系成分 %

熔渣成分	铝脱氧钢	硅脱氧钢
$w(\text{CaO})$	55~65	50~60
$w(\text{MgO})$	4~5	6~8
$w(\text{Al}_2\text{O}_3)$	20~30	15~25
$w(\text{SiO}_2)$	5~10	10~20
$w(\text{FeO}+\text{MnO})$	<0.5	<1.0

主要生成 $\text{C}_2\text{AS}$ ,  $\text{C}_3\text{A}$ ,  $\text{C}_2\text{S}$ , 其中, $\text{C}_3\text{A}$ 的熔点最低,同时在氩气气氛及渣的成分较复杂时能降低熔点,一般渣温为 $1500\sim 1600^\circ\text{C}$ ,故选择合适的渣子(主要是 $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ 的含量以及生成物质)有助于渣的熔化反应。

## 1.2 白渣碱度和氧化性的确定

熔渣碱度和氧化性是熔渣的重要指标。熔渣的碱度表示它去除钢液中硫、磷的能力,同时保证炉渣对钢包炉衬的化学侵蚀性最低。熔渣的氧化性强弱取决于渣中最不稳定的氧化物——氧化铁活度( $\alpha_{\text{FeO}}$ )的高低。熔渣的碱度对 $\alpha_{\text{FeO}}$ 数值的影响起着重要的调整作用。

## 1.2.1 碱性白渣要求的碱度

通常 $R$ 在1.4~2.0之间时精炼效果是较好的。调整碱度的主要物质是石灰、合成渣及铝脱氧产物。

## 1.2.2 碱性白渣氧化性强弱

渣中 $\text{FeO}+\text{MnO}$ 的含量越低,氧化性就越弱。当 $w(\text{FeO}+\text{MnO})<1.0\%$ 时,还原很充分,很利于反应进行。由于钢渣之间的扩散关系,氧在钢渣间存在着平衡分配关系。但在初炼时期两者并没有立即平衡,需要搅拌和反应时间。

$$\alpha_{\text{FeO}}=100w(\text{FeO})/[1.3w(\text{CaO})+w(\text{FeO})+w(\text{MnO})-1.8w(\text{SiO}_2+\text{P}_2\text{O}_5-\text{MgO})+0.3w(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{Al}_2\text{O}_3)] \quad (1)$$

在 $1600^\circ\text{C}$ 时,关系式(2)是成立的

$$w(O) = 0.23 \alpha_{FeO} \quad (2)$$

通过钢渣接触、氩气搅拌,钢中铝直接同渣中的FeO起反应。更有效的办法是将颗粒状的脱氧剂直接加到渣中,直接降低FeO含量。

## 2 熔渣的外观物理特性

在实际生产应用中,因为不具备随时分析试样的条件,操作工通常用样勺在炉内取出渣样,观察熔渣的表征,来了解熔渣有关性能,从而指导精炼操作。

(1) 熔渣颜色。黑色: $w(FeO+MnO) > 2\%$ ,渣的氧化性很强,不具备还原功能,需要进行强烈的还原脱氧;灰色到褐色: $w(FeO+MnO) = 1\% \sim 2\%$ ,渣的氧化性较弱,但还需要进一步地还原;白色到黄色:这种渣子还原的较好,黄色表明发生了脱硫,这种渣冷却后会碎裂成粉状;绿色:渣中有氧化铬。

(2) 熔渣形状。玻璃状落片:表明 $SiO_2, Al_2O_3$ 或 $CaF_2$ 含量太高,在这种情况下应加入石灰,每次加入量不超过2~4 kg/t,熔解后再加料。渣面平滑、厚:这种渣子冷却后会碎裂,渣况是理想的,否则,铝酸盐可能偏高,可加少量石灰。渣面粗糙不平:石灰量过大。发现未熔化颗粒,可以加入 $SiO_2$ 或 $Al_2O_3$ 系合成渣每次加入量在1~2 kg/t,熔化后再加料。

## 3 碱性白渣的在临钢炼钢厂实际生产中的应用

### 3.1 白渣的制造

一般转炉出钢初渣组成见表2。

表2 转炉出钢初渣的各组分的质量分数 %

$w(CaO)$	$w(MgO)$	$w(Al_2O_3)$	$w(SiO_2)$	$w(FeO+MnO)$
40~50	7~12	25~40	3~11	1.5~8.0

渣量约为14 kg/t钢,在该构成下,渣显黑色、较稀、氧化性强,脱硫除夹杂能力差,故必须进行强脱氧和调节碱度。对于钢水质量要求极高的连铸生产来说,常用铝来深脱氧,一般加铝量可由下式确定:

$$m(Al) = m(1) + m(2) + m(3)$$

$$\text{式中, } m(1) = \frac{w(O) \times m(\text{钢}) \times 2 \times 28}{48}; m(2) =$$

$m(\text{钢}) \times w(Al); m(3) = \text{其他的铝耗}; w(O)$ 为冶炼钢水出钢时氧的质量分数,%; $w(Al)$ 为钢中铝质量分数的目标值,%;其他的铝耗是指脱除渣中的氧、加入石灰等造渣原料所带来的氧化物、跟空气接触所吸的氧以及脱硫反应所产生氧所需的铝量。

作为反应介质的渣子来说,脱氧是一切精炼工作的开始,只有将钢水、渣中的氧降到很低水平

( $w(FeO+MnO) < 1.0\%$ ),脱硫、除夹杂、合金还原才能较好进行。根据上面所介绍的外观颜色判断,渣如果是黑色的,就还需要继续脱氧。另外,渣还要有合适的碱度,才能有游离的活性CaO同硫发生反应以及吸附上浮杂质。同样由上面介绍的外观形状来判断,若碱度不够,必须加入适量的石灰来调节,一般要求碱度 $R=1.5 \sim 2.0$ 。再者,氩气气氛的保护和强搅拌为各种反应提供所需的传输动能是必需的。理想渣的成分见表3。

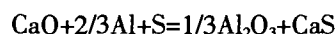
表3 理想渣各组分的质量分数 %

$w(CaO)$	$w(MgO)$	$w(Al_2O_3)$	$w(SiO_2)$	$w(FeO+MnO)$
50~65	6~10	25~30	6~10	<1.0

表3中各组分构成的渣呈白色,有良好的黏度和碱度,流动性强,是强的脱硫剂。结合足够的渣量、强的搅拌动能及较高的温度等条件,无论初始硫含量多高都能在很短时间内就可将 $w(S)$ 降至0.005%~0.015%。

### 3.2 熔渣脱硫效果的分析

(1) 渣的脱硫反应。



实际上是铝、硅和CaO中的氧结合,被还原的钙再生成CaS。钙的还原性比铝强,但在氩气的环境中,降低了CaO的熔点和促进[Al]、[Si]、[O]反应的进行,形成稳定的CaS,它不能溶解于钢液中。

(2) 硫分配比<sup>[2]</sup>。

$$L_s = n f_s k_s w(O_{\text{渣}}) y_s / w(O_{\text{钢}}) y_s \quad (3)$$

式中, $f_s$ 为钢液中硫的活度系数; $k_s$ 为平衡常数; $n$ 为100g熔渣中组分的物质的量,mol; $w(O_{\text{渣}})$ 为渣中氧质量分数,%; $y_s$ 为渣中氧活度系数; $w(O_{\text{钢}})$ 为钢中氧质量分数,%; $y_s$ 为渣中硫活度系数。 $L_s$ 与温度、金属液和熔渣的组成有关,在 $w(FeO+MnO) < 3\%$ 时,提高吹氩搅拌强度能大大提高硫的分配系数。

(3) 脱硫速率<sup>[2]</sup>。

$$R_s = k_s (w(S_{\text{渣}}) L_s - w(S_{\text{钢}})) \quad (4)$$

式中, $w(S_{\text{渣}})$ 是指渣中硫质量分数, $K_s = \beta(s) \times A / V_m \times \rho_s / \rho_m$ , $\beta(s)$ 为渣中硫的传质系数, $A$ 为渣钢接触面积, $m^2$ ; $V_m$ 为金属液体积, $m^3$ ; $\rho_s, \rho_m$ 分别为熔渣及金属液的密度, $kg/m^3$ 。

为方便计算,对一定的钢种,关系式(5)是成立的。

$$w(S_{\text{钢}}) = 30 \times a_0 \quad (5)$$

式中,  $w(S_{\text{钢}})$  为钢中硫质量分数, %;  $a_0$  为钢液氧活度, %。

据式(4)可知, 脱硫速率正比  $L_s$ 。对于  $w(O_{\text{钢}}) < 10^{-5}$ , 熔渣  $w(FeO+MnO) < 1.0\%$ ,  $R=1.8\sim 2.2$  碱性白渣来说,  $L_s$  可达 100~500。

#### 4 使用碱性白渣的精炼效果

在生产普通的低合金钢和压力容器钢时, 先喂入铝线对钢水进行深脱氧, 后用硅、铝等脱氧剂对炉渣进行复合脱氧; 造碱性白渣进行精炼, 完成精炼任务。

(1) 脱硫效果检查。在 Q460 钢生产过程中, 随机抽取一个班的 20 炉的原始记录, 其中, 出站硫成分见图 1,  $w(S)$  最高为  $9 \times 10^{-5}$ , 最低为  $3 \times 10^{-5}$ , 平均  $w(S)$  为  $6.05 \times 10^{-5}$ 。

(2) 对钢水成分氧含量进行了抽查。在 4 月 7 日精炼 16MnR 过程中取 19 炉钢样进行氧含量分析, 结果  $w(O)$  最高为  $4.2 \times 10^{-5}$ , 最低为  $1.9 \times 10^{-5}$ , 平均为  $3.02 \times 10^{-5}$ 。总体看来, 临钢精炼钢水的氧含量还有些偏高, 波动也较大。如何控制钢水中的氧含量在一个较低的水平, 这是今后的工作重点。

#### 5 结论

(1) 在生产普通的低合金钢时, 采用预熔的精炼渣, 先喂入铝线对钢水进行深脱氧, 后用硅、铝等脱氧剂对炉渣进行复合脱氧, 造碱性白渣进行精炼, 不仅能降低精炼成本, 同时有效地脱硫及进行成分微调。

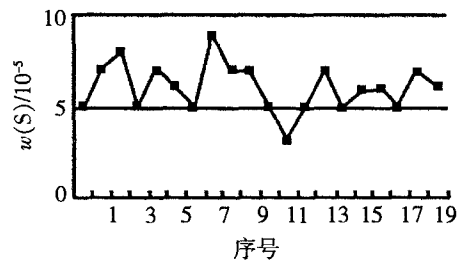


图 1 钢中硫含量统计图

(2) 脱硫前要先脱氧, 及时调整炉渣碱度, 并保持还原气氛及炉渣良好的流动性; 精炼过程中要注意渣状的变化, 并及时调整成白渣; 同时, 要有较强的吹氩搅拌才能促进钢渣接触, 从而促进脱氧、脱硫。硫含量高时 ( $w(S) > 0.06\%$ ), 要适当加大渣量; 若石灰不好或活性度低的情况下, 则也要适当增大渣量。

(3) 反应温度、氩气搅拌强度、渣量都是精炼的重要条件。

(4) 临钢目前存在的问题是对钢水的深脱氧进行的不够, 从而导致熔渣不能至始至终地保持碱性白渣。如果对钢水进行脱氧过量, 又会导致钢水流动性不好, 回磷严重, 影响连铸生产顺利进行, 如何把握深脱氧强度, 是我们今后工作的重点。

#### 参考文献

- [1] 黄希祜. 钢铁冶金原理 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1990.
- [2] 陈家祥. 钢铁冶金学 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1990.

(责任编辑: 苗运平)

## Application of Basic White Slag for LinGang Secondary Refining

NIU Tieling

(Taigang Group Linfen Iron & Steel Co. Ltd., Linfen 041000, China)

**Abstract:** Using has been studied about compositions and characteristics of the white slag and desulphuvation at BF out in Lingang.

**Key words:** basic white slag, desulphurization process, appltication