

## 炉外精炼过程中炉渣的有效控制

В. В. БОЛЮТНИКОВ 等著

王灵芝 吕冰 祝学智 译

(安阳钢铁集团有限公司)

**摘要** 对连铸机浇铸之前钢水的炉外处理技术,尤其是对炉渣的控制进行了研究,从而使钢的纯净度和连铸可浇性大大提高。

**关键词** 炉外精炼 炉渣 造渣剂

### EFFECTIVE CONTROL OF THE SLAG REGIME IN CONDITIONS OF OUT-OF-FURNACE STEEL TREATMENT

Wang Lingzhi Lu Bing Zhu Xuezhi

(Anyang Iron & Steel Group Co. Ltd.)

**Abstract** The out-of-furnace steel treatment technique, especially control of slag regime are studied, thus the purity of steel and the continuous castability are increased remarkably.

**Keywords** out-of-furnace steel treatment slag slag-forming element

西西伯利亚钢铁公司对转炉 2 车间的 300t 钢包炉精炼工艺进行了综合研究。其作法是:在加入石灰和萤石的基础上,出钢时向钢包中加入合金和固态造渣剂;用挡渣球挡住转炉渣,通过精炼设备上的浸入式喷嘴吹入惰性气体(40~60m<sup>3</sup>/h)进行搅拌;调节钢的化学成份(加入碎料,铝线);通过浸入式喷嘴吹入硅钙合金 CK-30(40~80kg/min)进行精炼。

众所周知,造渣剂的使用量是钢包精炼过程中重要因素之一。然而,炉外精炼的实践表明,炉渣的理化性能及氧化潜能对脱硫过程的影响常常具有决定性意义。

对炉外精炼炉渣进行化学分析后得出了渣中硫含量随碱度(CaO/SiO<sub>2</sub>)与氧化铝含量之比而变化的极值曲线(图 1)。当 R/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 0.25~0.35 时,渣中硫含量最大,氧化熔融物 CaO 处于饱和状态,是脱硫最有利的时期。如果超出这个范围, R/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> < 0.25 时,氧化钙活性降低,炉渣对硫的吸收能力就下降;而 R/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > 0.35 时,固体物增加,从动力学角度来讲导致错过脱硫期。

众所周知,炉渣中氧化亚铁含量的升高,实际上就降低了炉外脱硫的效果。阳离子 Ca 的浓度提高时表面活性阴离子 FeO<sub>2</sub><sup>-1</sup> 转变成 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>-4</sup>,相应地碱度的提高从某种程度上

① 收稿日期:1998-3-24

降低了 FeO 的不利影响。虽然如此,但转炉渣中氧化亚铁含量  $>1.5\%$  时就会造成硫分布比急剧下降,见图 2。

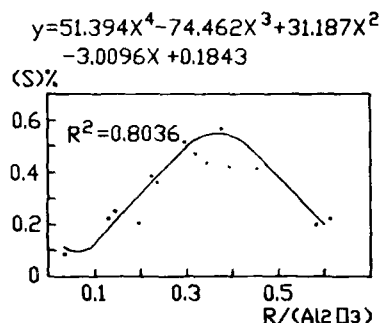


图 1 炉渣中硫含量与  $R/(Al_2O_3)$  的关系曲线

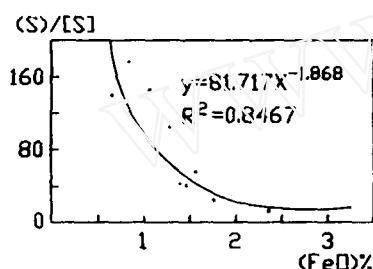


图 2 转炉渣中硫分布比与 FeO 含量的关系

钢包精炼的有利条件为:渣的碱度为 4~5,  $R/Al_2O_3 = 0.25 \sim 0.35$  时氧化亚铁含量不大于  $1.5\%$ 。

为了控制炉渣状况,保证规定的条件,建立了出钢——炉外精炼阶段炉渣形成的静态模型。炉渣产生的主要来源为:转炉渣、脱氧产物、造渣原料、钢包炉衬(高氧化铝砖)。

为确定炉渣来源,根据添加剂的量、造渣剂的成份、转炉及钢包渣的成份进行了平衡计算。结果表明,由于 CaO 和 MgO 在钢水脱氧及合金化过程中没有参加氧化还原反应,是平衡的,所以计算具有合理性。

从计算结果来看,出钢时从转炉带入钢包的渣量(M1)和钢包渣量(M2)决定了包衬带入的  $Al_2O_3$  的量。

钢水和炉渣之间成分的平衡检验了计算的准确性。

M1 与转炉出钢时间的关系曲线(图 3)显示出:由于磨损,出钢口直径增大,进而出钢初期出钢量和“带入”的渣量增大,所以借助挡渣球当渣时 M1 的值就增高。

由于和炉渣一同进入钢包中的氧化亚铁对炉外精炼有不利影响,损伤钢包炉衬,所以为使 M1 的值稳定在 800—1000kg,建议把出钢时间限制在 6min 之内。

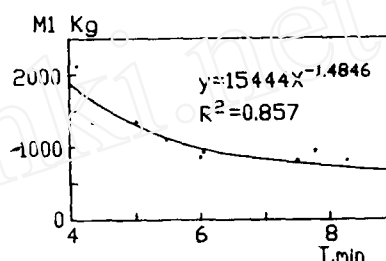
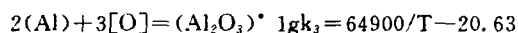


图 3 进入钢中的炉渣量与出钢时间的关系

通过计算确定最佳造渣剂用量,使钢包渣有适当的理化性能,成分为  $CaO: 50\% \sim 60\%$ ,  $SiO_2: 8\% \sim 12\%$ ,  $FeO: 0.5\% \sim 1.0\%$ ,  $Al_2O_3: 15\% \sim 20\%$ 。造渣剂中石灰与萤石比为 3:1,最佳固态造渣剂用量为  $7 \sim 10 kg/t_{\text{钢}}$ 。

降低钢中高熔点氧化铝夹杂物是连铸机顺利浇铸的基本条件。为降低  $Al_2O_3$  的浓度,采取吹氩并用硅钙合金进行精炼,使高熔点的氧化铝夹杂,变为低熔点的  $mCa \cdot nAl_2O_3$ 。实验研究结果表明,精炼前钢水中氧的活性是硅钙合金进行精炼的决定性因素。通过热力学计算确定了氧化钙与钢水中的硫和氧相互作用时  $Ca-S-O-Al$  系统的平衡关系,得出下列反应的平衡常数:



假设  $CaO$ 、 $CaS$ 、 $Al_2O_3$  活性是一个整体单元,用溶解铝含量表示钢水氧活性,那么,硫和钢水中溶解铝的 (下转第 40 页)

当  $l=L/3$  处所需轨距变为最大。

$$S_{\text{切 max}} = q_{\text{max}} + f_{1\text{max}} - \Sigma n + \delta_{\text{min}}/2 \\ = q_{\text{max}} + 2L^2/27R - \Sigma n + \delta_{\text{min}}/2$$

曲线轨距最大值为:

$$S_{\text{曲 max}} = q_{\text{max}} + (f_{\text{外}} - f_{\text{内}}) - \Sigma n \\ + \delta_{\text{min}}/2 \\ = q_{\text{max}} + L^2/9R - \Sigma n + \delta_{\text{min}}/2$$

式中:  $q_{\text{max}}$ —轮对最大宽度

$\Sigma n$ —机车轴横向游间总和

$\delta_{\text{min}}$ —轮轨最小游间

$(f_{\text{外}} - f_{\text{内}})$ —机车固定轴距强制内接正矢差, 曲线切点处轨距加宽值与曲线轨距加宽值之比为:

$$U = f_{1\text{max}} / (f_{\text{外}} - f_{\text{内}}) = 2/3$$

曲线切点处轨距加宽值为曲线轨距加宽值  $2/3$ , 可保证机车正常强制内接通过。

关于切点处轨距加宽的递顺, 向曲线方向按《规程》规定的递变率递增, 向直线方向

递减距离可不按规定之递变率进行, 其递减距离为  $(1/3 \sim 2/3)L$  即可。如: 上游机车  $L=4410\text{mm}$ , 假定  $e_{\text{曲}}=15\text{mm}$ , 切点加宽为  $2/3e_{\text{曲}}$  时, 按  $L/3$  距离递减, 递减率为  $7\%$ 。

#### 4 结论

(1) 根据本文探讨, 曲线轨距加宽最大允许值  $e_{\text{max}}=30\text{mm}$ , 允许误差为  $\pm 5$ 。

(2) 车轮不会陷落于轨道之间的最大允许轨距为  $S_{\text{max}}=1470\text{mm}$ 。

(3) 困难条件下切点加宽值为曲线轨距加宽值的  $2/3$ 。即  $e_{\text{切}}=2e_{\text{曲}}/3$ , 可保证机车按正常强制内接通过。

(4) 困难条件下曲线切点处轨距加宽值向直线方向递减距离为  $(1/3 \sim 2/3)L$ 。

曲线轨距加强措施: 在设计中曲线轨距加宽应采取增加轨枕铺设数量, 加设轨距拉杆, 轨撑, 护轮轨, 外轨超高, 曲线纵坡等技术加强措施。

(上接第 21 页) 活性与钢水温度的关系如下:

$$\lg a[S] = -16766/T + 5.79 = 2 \lg a[Al]$$

这样就能够根据钙的利用效率计算出钢水中溶解铝的含量。

钢水中溶解铝含量不低于  $0.015\% \sim 0.020\%$ , 氧活性不超过  $0.0015\%$  时, 钙的吸收率高达  $16\% \sim 20\%$ , 脱硫率高达  $60\% \sim 70\%$ 。

根据关系式  $[Ca]/[Al]=0.12 \sim 0.14$ , 喷入的硅钙合金量为  $0.7 \sim 1.0\text{kg/t}_{\text{钢}}$  时, 连铸机浇铸时, 才能保持一定的钙量用于去除浸入式水口中的“带入夹杂物”。

精炼前后进行了金相检验以确定硅钙合金进行钢水精炼的效果。

精炼前氧化铝夹杂物及硅酸盐颗粒为  $15 \sim 20\mu\text{m}$ , 个别达  $25 \sim 35\mu\text{m}$ 。喷入硅钙合金后直接抽取的试样中发现有大颗粒夹杂物 ( $60\mu\text{m}$ ), 小颗粒夹杂物 ( $2 \sim 10\mu\text{m}$ ) 和细小的氧化铝夹杂物。

喷入硅钙合金和吹氩  $5\text{min}$  后抽取的试

样中没有大颗粒的夹杂物, 小夹杂物 ( $3 \sim 6\mu\text{m}$ ) 数量大大降低, 这表明吹炼过程中夹杂物的凝聚作用, 同时, 夹杂物转移到渣和金属界面之间, 与钢包渣发生同化作用。

精炼过程的不同阶段所抽取试样的氧含量如下: 预吹炼后为  $0.0086\% \sim 0.0117\%$ ; 完全精炼之后为  $0.0044\% \sim 0.0052\%$ ; 浇铸中间为  $0.0032\% \sim 0.0037\%$ 。

熔炼过程中非金属夹杂物形状和大小、及其数量变化影响钢水的可浇性。此炉外精炼工艺的实施, 可使连浇率从  $21\%$  提高到  $82\%$ 。

对连铸机浇铸之前钢水炉外处理的综合技术进行了深入研究, 现已能够有效控制炉渣状况以提高炉渣的精炼性能。

此技术可使喂入钢中的铝线的吸收率 (至  $60\%$ ) 及通过浸入式喷嘴喷入的钙的吸收率 (至  $16 \sim 20\%$ ) 稳定在最高水平。通过改变非金属氧化夹杂物形态及上浮, 大大提高了钢的纯净度和连铸可浇性。