

试验研究

LF进站炉渣中FeO含量的在线计算

刘洪银¹,王博¹,倪培亮²,王永刚²,张冠锋²

(1 山东钢铁集团有限公司 钢铁研究院,山东 济南 250101;2 山钢股份莱芜分公司,山东 莱芜 271104)

摘要:莱钢开发出适用于铝镇静钢的在线计算LF精炼进站炉渣中FeO含量的方法。Al作为脱氧元素,钢液中Al的减少速率间接反应炉渣中FeO含量,Al含量过量时,其变化速度与炉渣中FeO浓度成正比;Al含量正常时, $\ln(w_{Al})$ 的变化速度与炉渣中FeO浓度成正比。与实测值对比,计算方法的平均相对误差为18%。该计算方法编成造渣模型软件,用以在线指导生产操作,效果良好。

关键词:LF精炼炉;炉渣;FeO;在线计算

中图分类号:TF769.2

文献标识码:A

文章编号:1004-4620(2016)01-0039-02

1 前言

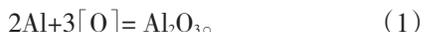
目前检测炉渣成分的方法有光谱法和化学法,两种方法均耗时较长,无法在线指导生产。国内主要通关观察炉渣颜色的方法来判断炉渣的氧化性,但在炉渣中FeO含量偏高的情况下,该方法准确率不高。针对铝镇静钢,莱钢开发出利用转炉、LF精炼炉的数据来在线计算LF精炼炉进站渣中FeO含量的方法,计算方法的平均相对误差 $<20\%$,应用效果良好。

2 LF进站渣中FeO含量的计算

出钢阶段加入的铝质脱氧剂的损耗分两个方面,一个方面是由于脱除钢水中[O]而引起的损耗,另一个方面是由于钢液表面的剧烈扰动,铝被炉渣中的FeO和空气中氧氧化而引起的损耗。Al作为脱氧元素,钢液中Al的减少速率能间接反应炉渣中FeO含量,钢液中的Al含量可以实时检测出来,所以可以通过钢液中Al含量的变化情况来反推炉渣中FeO含量。

2.1 铝过量时渣中FeO含量的计算

钢水中酸溶铝会按反应式(1)瞬时与钢水中[O]反应:



利用反应式(1),并且根据转炉冶炼终点钢水中[O]含量、钢水重量、出钢过程中Al质脱氧剂的加入量,计算出由于脱除钢水中游离氧而引起的铝的损耗。钢水中酸溶铝会按反应式(2)与炉渣中FeO反应:



为了提高反应速度,转炉出钢过程中一般是加入过量的铝质脱氧剂,反应(2)式的限制环节为炉渣中FeO向渣钢反应界面的传输。由于冶金反应的界面反应速率常数远大于传输过程的传质系数^[1],可以认为FeO传输到反应界面后就被反应掉了。为方便计算,认为渣钢界面中FeO浓度为0,根据物质传输方程,有如下公式:

$$J_{FeO}=\beta \times (C_{FeO}-0) \quad (3)$$

式中: J_{FeO} 为炉渣中FeO向渣钢界面传输的物质流密度, $\text{mol}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$; β 为传质系数, cm/s ; C_{FeO} 为炉渣中FeO的摩尔浓度, mol/cm^3 。

根据反应式(3),炉渣中FeO向反应界面传输的物质流密度与炉渣中FeO浓度成正比,根据反应式(2),钢液中铝向反应界面传输的物质流密度是炉渣中FeO向反应界面传输的物质流密度的2/3倍,所以钢液中铝向反应界面传输的物质流密度也与炉渣中FeO浓度成正比。钢液中Al向渣钢界面传输的物质流密度也即是Al浓度的减少速度,Al浓度的减少速度与炉渣中FeO浓度成正比,有下式:

$$d(w_{Al})/dt=k_1 \times w_{FeO} \quad (4)$$

式中: $d(w_{Al})$ 为钢水中铝的质量分数的变化值,%; dt 为时间变化值; w_{FeO} 为炉渣中FeO的质量分数,%; k_1 为比例系数。

2.2 铝正常时渣中FeO含量的计算

随着反应的进行,钢水中铝浓度减少,钢渣反应界面反应速度降低。当钢水中铝浓度降低到某一个临界值 w_{Al} 时,炉渣中FeO向渣钢反应界面的传输不再是反应(2)式的限制环节,反应的限制环节改为钢水中的Al浓度和炉渣中的FeO含量。由于反应过程中炉渣中FeO含量变化不大,为计算方便,设 w_{FeO} 为固定值,则反应速率与钢水中铝浓度 w_{Al} 成正比。以钢水中铝浓度的变化率来表示反应速率,有下式:

收稿日期:2015-12-03

作者简介:刘洪银,男,1982年生,2006年毕业于东北大学冶金工程专业。现为山东钢铁集团钢铁研究院工程师,从事炼钢工艺技术开发工作。

$$d(w_{Al})/dt=k_2 \times w_{Al} \times w_{FeO} \quad (5)$$

式中 k_2 为比例系数, 变换(5)式得(6)或(7)式:

$$d(w_{Al})/w_{Al}=k_2 \times w_{FeO} \times dt \quad (6)$$

$$d[\ln(w_{Al})]/dt=k_2 \times w_{FeO} \quad (7)$$

根据式(7), w_{FeO} 与 $\ln(w_{Al})$ 的变化率成正比, 即炉渣中 FeO 浓度与 $\ln(w_{Al})$ 的变化速度成正比。

实际计算时, 由于从转炉出钢开始到 LF 炉钢包进站的过程中, 不同炉次的有效渣钢反应时间基本相同, 把反应时间 t 认为是固定值, 为了计算方便, 把 t 设为 1, 钢液中铝浓度在大于临界铝浓度的范围内变化时, 计算过程按式(4)计算, 钢液中铝浓度在小于等于临界铝浓度的范围内变化时, 计算过程按式(7)计算, 若钢液中铝浓度的变化范围包含临界铝浓度时, 需分别按式(4)、(7)计算炉渣中 FeO 含量, 二者计算的值相加即为炉渣中 FeO 总量。临界铝浓度值、反应速率常数 k_1 、 k_2 值都需要根据生产经验进行摸索, 莱钢利用生产经验总结的参数为: 临界铝浓度值 0.02%, k_1 值 0.012, k_2 值 0.45。

2.3 计算结果与实测值的对比

利用 2.1、2.2 中的方法计算炉渣中 FeO 含量, 并用荧光光谱法检测炉渣中 FeO 含量, 二者进行对比, 见表 1。计算结果的平均相对误差为 18%。其中利用到的生产工艺参数有: 钢种 SPHC, 钢水重量 130 t, 在出钢过程中, 钢液中的 Al 约有 35% 被空气中的氧烧损掉, LF 精炼炉进站后, 用定氧定铝探头检测钢液中 Al 含量。

3 在生产中的应用

将在线计算 LF 炉渣中 FeO 含量的方法编成计算机造渣模型软件, 软件截图见图 1, 软件在线读取 MES 系统中转炉冶炼数据, 计算出 LF 进站炉渣中的 FeO 含量, 并利用进站炉渣中的氧化性计算出 LF 精

表 1 LF 进站炉渣中 FeO 含量检测值和计算值对比

炉号	转炉终点 [O] × 10 ⁻⁶	转炉出钢 加 Al/kg	钢液中 Al/%		LF 进站渣中 FeO/%	
			脱氧后	LF 进站	检测	计算
2-6015	803	302.5	0.061	0.005	6.6	6.50
3-6432	954	253.0	0.019	0.001	8.2	6.66
4-0912	428	258.5	0.081	0.006	8.5	9.00
4-0824	664	264.0	0.057	0.001	11.2	9.77
3-6430	744	269.5	0.051	0.012	5.5	3.72
4-0825	736	291.5	0.063	0.001	9.4	10.20
3-6431	641	258.5	0.057	0.001	11.8	9.75

炼过程需加入的脱氧剂数量, 计算偏差 < 20%, 软件上线运行半年多, 能起到在线指导生产操作的作用, 应用效果良好。



图 1 造渣模型软件截图

4 结语

针对铝镇静钢, 可以通过钢液中 Al 含量的变化情况来反推炉渣中的 FeO 含量。钢液中 Al 含量过量的情况下, Al 含量的变化速度与炉渣中 FeO 浓度成正比; 钢液中 Al 含量正常的情况下, 钢液中 Al 含量对数 $\ln(w_{Al})$ 的变化速度与炉渣中 FeO 浓度成正比。生产中, 利用该方法计算 LF 精炼炉需加入的脱氧剂数量, 计算偏差 < 20%, 起到了在线指导生产操作的作用。

参考文献:

- [1] F. 奥特斯; 项长祥, 译. 钢冶金学[M]. 北京: 冶金工业出版社. 1997.

Online Calculation of the FeO Content in the Initial Slag of LF Refining Furnace

LIU Hongyin¹, WANG Bo¹, NI Peiliang², WANG Yonggang², ZHANG Guanfeng²

(1 The Iron and Steel Research Institute of Shandong Iron and Steel Co., Ltd., Jinan 250101, China;

2 Laiwu Branch of Shandong Iron and Steel Co., Ltd., Laiwu 271104, China)

Abstract: For aluminum killed steel, Laiwu Steel developed a method for calculating the initial refining furnace LF FeO content in the slag. Al as an element, the reduction rate of Al can be used to indicate the FeO content in the slag. When the Al content is excessive, Al content is directly proportional to the rate of change of the slag FeO concentration. When the Al content is normal, $\ln(w_{Al})$ is directly proportional to the rate of change of the slag FeO concentration. The average relative error of the method is less than 20%. Using this method compiled slagging modeling software can achieve the purpose of guiding production-line operation, get the good application effect.

Key words: LF refining furnace; slag; FeO; online calculation