

提高 60 t 转炉出钢口使用寿命的生产实践

张利武¹ 姚娜²

(1 石横特钢集团有限公司, 肥城 271612; 2 济源职业技术学院冶金化工系, 济源, 459000)

摘要 因 60 t 转炉出钢口砖不断侵蚀, 容易出现局部侵蚀严重、形状不规则、出钢钢流散流和下渣等问题, 在炼钢过程中易产生成分超差增加, 造成生产中断, 出钢口使用寿命难以和炉体同步, 出钢口频繁更换。通过改进出钢口组装工艺, 优化出钢口更换工艺, 调整挡渣工艺, 维护出钢口等措施, 减少了下渣量, Si、Mn 合金收得率分别由 76.75% 和 90.04% 提高至 84.26% 和 91.16%、BOF 终点 [O] 由 645×10^{-6} 降低至 463×10^{-6} , 出钢口使用寿命明显提高, 由优化前的 200 ~ 300 炉提高至 700 ~ 800 炉, 每月更换出钢口次数由 6 ~ 8 次减少至 2 ~ 3 次。

关键词 60 t 转炉 出钢口 使用寿命 工艺优化 生产实践

Practice of Process for Pronging Service Life of Tapping Hole of a 60 t BOF

Zhang Liwu¹ and Yao Na²

(1 Shiheng Special Steel Group Co Ltd, Feicheng 271612;

2 Metallurgy and Chemistry Department, Jiyuan Professional and Technical College, Jiyuan 459000)

Abstract Because of the issues of continuous erosion of a 60 t BOF tapping hole, easily occurring local serious etching led to irregular shape of tapping hole, tapping flow diffusing and slagging down, during steelmaking process the aim content of elements can't be controlled led to production interruption, service life of tapping hole less than that of furnace body and frequently changing tapping hole. By the measures including improving the tapping hole assemble process, optimizing the tapping changing process, adjusting slag damming process and maintaining the tapping hole, the amount of slagging down decreases, the yield of alloy Si and Mn increase respectively from original 76.75% and 90.04% to 84.26% and 91.16%, the BOF end [O] decreases from 645×10^{-6} to 463×10^{-6} , and the service life of tapping hole increases obviously from original 200 ~ 300 heats to 700 ~ 800 heats, and the times of change tapping hole per month decreases from 6 ~ 8 to 2 ~ 3.

Material Index 60 t BOF, Tapping Hole, Service Life, Process Optimization, Practice of Production

转炉出钢口在使用过程中除了受高温钢水和氧化性炉渣的直接冲刷和侵蚀外, 还受温度急冷急热的影响, 随着使用时间的延长, 镁碳砖出钢口由于气相氧化-组织结构恶化-磨损侵蚀被蚀损^[1], 出钢口砖不断侵蚀, 容易出现局部侵蚀严重、形状不规则、出钢钢流散流、下渣等问题, 易造成成分超差增加, 严重的造成生产中断, 其使用寿命难以和炉体同步, 在使用过程中需频繁更换出钢口。

1 出钢口结构

60 t 转炉出钢口内径为 160 mm, 外径 240 mm, 壁厚 40.0 mm, 具体的出钢口的结构如图 1 所示。

石横特钢 60 t 转炉出钢口材质一直使用 MT16A, 其理化指标均符合 GB/T 22589-2008 镁碳砖中的相应要求(表 1)。

2 出钢口损毁机理

2.1 钢水、炉渣的摩擦损毁

出钢时, 出钢口要承受转炉内钢水的巨大压力,

表 1 60 t BOF 出钢口材质理化指标

Table 1 Physicochemical index of material for 60 t BOF tapping hole

牌号	显气孔率/%	密度/(g·cm ⁻³)	常温耐压强度/MPa	高温抗折强度 (1400℃, 30 min)/MPa	(MgO)/(C)/%	(C)/%
MT16A	3.0	2.98	36	10	78	16.2

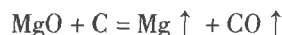
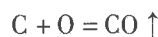
同时钢水在高速经过出钢口时, 钢流与出钢口内侧产生较大摩擦、冲刷, 会对出钢口造成破坏。

2.2 钢水、炉渣的高温熔解

出钢温度一般为 1 650 ~ 1 680 ℃, 在高温下出钢口的材料会发生软化, 强度显著降低, 甚至会熔解, 易造成出钢口的损毁。

2.3 钢水、炉渣的化学侵蚀

钢水达到出钢条件后, 一般都具有较强的氧化性, 尤其是炉渣的氧化性更高, 在高温、高氧化性条件下, 发生以下化学反应:



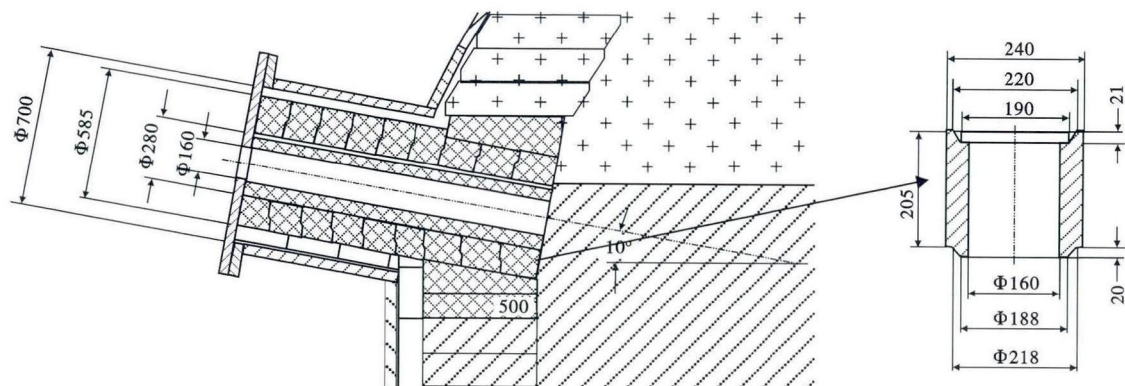
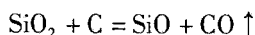


图1 60 t BOF 出钢口的结构图

Fig. 1 Schematics of structure of 60 t BOF tapping hole

钢水或炉渣中的[O]会从镁碳质出钢口材料中夺取碳,从而使耐火材料结构疏松而强度变差。另外,炉渣碱度太低或渣中MgO含量少,产生以下化学反应:



同样会加剧对出钢口的化学侵蚀。

3 提高出钢口寿命的措施

3.1 控制钢水、炉渣氧化性

转炉冶炼HRB400钢过程中,钢水及炉渣均属于高氧化性,对镁碳质耐火材料侵蚀能力较强,根据氧的饱和溶解度与温度的关系式 $\lg[\text{O}] = -6.320/t + 2.734^{[2]}$,可知转炉终点温度越高,钢中氧含量越高。转炉出钢温度每提高1℃,终点氧活度 a_{O} 增加 3.27×10^{-6} ,终渣(FeO)每增加1%,终点 a_{O} 增加 10.92×10^{-6} ,终点[C]每增加1%, a_{O} 降低24.35的倍数^[3]。同时考虑炉渣溅渣护炉的需要,钢水中溶解氧含量在0.04%~0.09%^[4],此时的炉渣很适合溅渣护炉,溶解氧含量超过0.09%时,炉渣氧化性强,炉渣太稀,会影响溅渣质量,需要加入白云石等改质材料。

因此,从降低转炉出钢温度(由以往的1640~1680℃降至1620~1660℃,正常情况下,严禁高于1680℃),提高终点碳含量($\geq 0.08\%$,合格率由60%提高至85%以上),降低终渣(FeO)($\leq 14\%$)等方面入手,可以降低钢水及炉渣的氧化性,进而有利于出钢口寿命的延长。

3.2 改进出钢口组装工艺

转炉出钢口砖有整体式出钢口和分体式出钢口两类,目前整体式出钢口砖的致密度稍逊于分体式出钢口砖,从提高出钢口砖耐侵蚀性角度考虑,采用

分体式出钢口砖使用寿命更长。但是,分体式出钢口砖在使用过程中,砖缝之间容易出现渗钢现象,为消除砖缝间的渗钢,首先要提高出钢口的组装质量,出钢口砖竖向组装,采取出钢口砖接缝处均匀涂抹刚玉浇注料,整支出钢口砖组装完毕,静置1天,并在最上层焊接压筋,出钢口砖外侧流淌的刚玉浇注料需清理干净,防止有结块产生;其次,在安装出钢口时,要在出钢口与袖砖之间均匀填充实填充料,不得有局部不密实现象。

转炉出钢口座砖及周围砖的厚度为500mm,在出钢过程中,需要承受钢水静压力,长时间的高温侵蚀及下方钢包的辐射热影响,出钢口部位实际上也是炉体安全运行的薄弱环节之一。在整个炉役期间,为保证出钢安全,尤其是随着炉龄的长寿化要求(2万炉以上),转炉溅渣层厚度尤其是出钢侧、倒渣侧希望控制在原始尺寸(1295mm)的基础上+50~+150mm,随着溅渣层厚度的不断变化,组合出钢口砖需要控制在不同的长度,控制原则是,出钢口砖总体长度控制在与出钢口外口平齐的基础上,插入炉内部分低于溅渣层10~50mm,一般情况下,严禁高出溅渣层,防止出钢出不净现象的发生。在此过程中,需要对出钢口砖进行加工,控制总长度在1305~1440mm,使用出钢口分6节、6.5节、7节3个组装模式,使用半节的出钢口时,要格外注意,半节砖必须放置在最内层,防止脱落。

3.3 优化出钢口更换工艺

(1)选择合理的扩孔直径。合理的扩孔直径可便于快速填料和减少对出钢口袖砖的损害。出钢口扩孔用钻头直径最大处出260mm减至255mm,优化扩孔用钻头的结构,在原钢质的圆筒状钻头体上镶焊碳化钨的硬质合金,而且采用多层几何切削,提

高排泄性能,保持较小的切削阻力。材质由碳化钨硬质合金代替铸造耐磨合金。扩孔直径 255 ~ 265 mm,出钢口砖周围填料厚度为 10 mm 左右。

(2)严格控制扩孔角度。扩孔作业前,必须调整拆炉机车身、钻杆位置和炉体倾动位置,保持钻头中心线与出钢口中心线重合,并随着扩孔深度的增加,适当调整拆炉机及炉体倾动位置,严防扩孔角度出现大的偏差,扩孔角度控制在 $9.5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ (原始角度 10°),避免伤及出钢口套筒袖砖。

(3)严格定位及控制填料质量,出钢口砖插入炉内后,要对出钢口砖的角度及位置进行微调,确保不偏斜,保证出钢口合理的插入深度,插入炉内部分低于溅渣层 10 ~ 50 mm,先从炉体外侧往里填料,填料要均衡,密实;其次,从内侧填料,填料过程中要注意,不得一次填料过多,要边填料边捣实,填料高度不得高出溅渣层,便于快速形成喇叭口,有利于挡渣;同时,填料也要对出钢面的侵蚀严重的部位进行修正,不得在出钢口周围及出钢口以下有明显的凹坑。

(4)控制烧结时间。要确保烧结质量,烧结时间不得低于 15 min,以填充料烧结完好为准。

3.4 调整挡渣工艺

出钢时,出钢操作人员要严格控制倾动速度及角度,摇炉过程中,快速通过前、后下渣区,消除带渣

表 2 优化前后 60 t BOF 出钢口工艺对比

Table 2 Comparison of 60 t BOF tapping hole process before and after optimization

工艺	优化前	优化后
控制钢水、炉渣氧化性	(1)转炉出钢温度 1640 ~ 1680 $^{\circ}\text{C}$; (2)终点碳含量 $\geq 0.08\%$,合格率 60%; (3)终渣(FeO) $\leq 14\%$ 。	(1)转炉出钢温度 1620 ~ 1660 $^{\circ}\text{C}$; (2)终点碳含量 $\geq 0.08\%$,合格率 87%; (3)终渣(FeO) $\leq 12\%$ 。
改进出钢口组装工艺	出钢口采用 7 节组装形式	随着溅渣层厚度的不断变化,控制出钢口砖整体长度在原始尺寸(1295 mm)的基础上 +50 ~ +150 mm,插入炉内部分低于溅渣层 10 ~ 50 mm,使用出钢口分 6 节、6.5 节、7 节 3 个组装模式。
优化出钢口更换工艺	(1)扩孔直径 260 mm,扩孔直径控制在 265 ~ 275 mm; (2)扩孔角度控制在 $9^{\circ} \sim 11^{\circ}$ (原始角度 10°); (3)严格定位及控制填料质量,插入炉内部分与溅渣层持平。	(1)扩孔直径 255 mm,扩孔直径控制在 255 ~ 265 mm; (2)扩孔角度控制在 $9.5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ (原始角度 10°); (3)严格定位及控制填料质量,插入炉内部分低于溅渣层 10 ~ 50 mm。
调整挡渣工艺	Si 回收率 76.75%, Mn 回收率 90.04%。	Si 回收率 84.26%, Mn 回收率 91.46%。
维护出钢口	单纯依靠换包时间修补,对修补质量所能要求的时间未做要求。	根据出钢口使用情况,做到适时修补,每次修补质量达到可延续 16 h 以上;遇到出不净钢现象时,必须立即停炉处理。

表 3 工艺优化前后 60 t BOF 出钢口使用寿命和工艺效果
Table 3 Service life and process results of 60 t BOF tapping hole before and after process optimization

工艺	出钢口寿命/炉	平均出钢温度/ $^{\circ}\text{C}$	钢中氧含量/ 10^{-6}	合金回收率/%	终点碳控制/%	合格率/%
优化前	200 ~ 300	1640 ~ 1680	645	Si 76.75 Mn 90.04	≥ 0.08	60
优化后	700 ~ 800	1620 ~ 1660	463	Si 84.26 Mn 91.46	≥ 0.08	87

出钢。另外,出钢过程中在炉口不下渣的前提下,尽量使转炉向下倾动,将下渣量减至最少,并采取挡渣出钢。为减少下渣量,采用挡渣锥代替挡渣球挡渣,优化挡渣方式后,转炉出钢过程中下渣量减少,合金氧化损失减少, Si 回收率可提高约 7.51%、Mn 回收率可提高约 1.42%;可避免渣量增加带来的质量过剩。同时,有利于减少对出钢口砖的侵蚀。

3.5 维护出钢口

在使用过程中,出钢侧出现溅渣层侵蚀不均匀现象时(如出钢口周围及出钢面有凹坑,出钢口周围不平等),改变以往单纯依靠换包时间修补的模式,做到适时修补。以出钢钢流不散流,不下渣,控钢时间不大于 20 s,出钢能出净为准;且每次修补质量要达到可延续 16 h 以上;遇到出不净钢现象时,必须立即停炉处理。优化前后 60 t BOF 出钢口工艺对比见表 2;出钢口使用寿命和工艺效果见表 3。

4 结语

石横特钢 60 t 转炉冶炼 HRB400 钢种采取延长出钢口使用寿命措施后,减少了下渣量,提高合金收得率、改善了钢水质量,出钢口使用寿命明显提高,由实施前的 200 ~ 300 炉提高至 700 ~ 800 炉,每个月更换出钢口次数由 6 ~ 8 次减少至 2 ~ 3 次,月增加钢产量 700 t,降低出钢口耐火材料费用 6 000 元/月。

参考文献

- [1] 王雅贞,张岩,张红文. 氧气顶吹转炉炼钢工艺与设备[M]. 北京:冶金工业出版社,2005.
- [2] 孙翠花,王尖锐,王富庆,等. 低温出钢控制技术的研究与实践[J]. 莱钢科技,2013,35(2):14-17.
- [3] 尹卫平,刘洪波,李洪春,等. 转炉钢水氧含量变化规律的研究[J]. 炼钢,2004,20(1):47-49.
- [4] 苏天森,刘浏,王维兴. 转炉溅渣护炉技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2002.

张利武(1981-),男,工程师,2009年辽宁科技大学(本科)毕业,冶金技术研究。

收稿日期:2016-08-08