

· 工艺技术 ·

100 t 转炉炉衬侵蚀因素的分析 and 长寿炉龄的工 艺实践

张 毅¹ 伍从应¹ 王琳松² 郑家良³ 高长益³

(1 水城钢铁集团公司炼钢厂; 2 水城钢铁集团公司; 3 水城钢铁集团公司技术中心, 六盘水 553028)

摘 要 通过分析了水钢 100 t 顶底复吹转炉炉衬的损坏机理和影响炉渣熔化性能的因素, 得出每 1% V₂O₅ 降低炉渣熔化温度 27 ℃, 每增加 1% TiO₂ 含量, 炉渣半球温度约降低 5 ℃, 当炉渣 TFe 含量在 20% 以上时, 炉渣熔化温度在 1 320 ~ 1 395 ℃。通过采取铁水捞渣工艺; 建立转炉热平衡操作模式, 提高拉碳率; 铁水 Si 在 0.6% ~ 0.8% 时, 采用单渣操作, 铁水 Si > 0.8% 时, 采用双渣操作; 建立转炉最佳炉型及控制措施; 优化钢水温度制度和优化脱氧合金化制度, 降低出钢温度; 在补吹提枪前加入适量焦丁, 确保冶炼终点炉渣中 FeO 保持较低含量, 提高溅渣护炉效果等工艺措施, 结果使转炉炼钢的耐火材料消耗降到 8.75 kg/t 钢, 转炉炉龄达到 29 336 炉。

关键词 100 t 顶底复吹转炉 转炉炉龄 溅渣护炉 钒钛铁水 工艺实践

Process Practice of Analysis on Factors of Lining Erosion and Longevity Furnace Life of 100 t Converter

Zhang Yi¹, Wu Congying¹, Wang Linsong², Zheng Jialiang³ and Gao Changyi³

(1 Steelmaking Plant, Shuicheng Iron and Steel Group Corp; 2 Shuicheng Iron and Steel Group Corp;

3 Technical Center, Shuicheng Iron and Steel Group Corp, Liupanshui 553028)

Abstract With analysis on damage mechanism of lining of 100 t top and bottom combined blowing converter at Shuisteel and influence factors on slag melting performance, it is obtained that with containing per 1% V₂O₅ content in slag the slag melting point drops by 27 ℃, with adding per 1% TiO₂ content the hemisphere temperature of slag decreases by about 5 ℃, and as TFe content in slag is more than 20%, the range of melting temperature of slag is 1 320 ~ 1 395 ℃. With taking the measures including hot metal fishing-slag process; establishing converter thermal equilibrium operation mode to increase the rate of carbon-catching; using single-slag operation as Si content in hot metal is 0.6% ~ 0.8% and using double-slag operation as Si content in hot metal is more than 0.8%; establishing converter optimum converter lines and control measures; optimizing molten steel temperature schedule and deoxidizing-alloying scheme to decrease the temperature of steel; and adding appropriate amount of nut coke before reblowing rising oxygen lance to ensure lower FeO content in end slag and improve effect of slag splashing for furnace maintenance, the consumption of refractory of converter steelmaking decreases to 8.75 kg/t and life of converter is up to 29 336 heats.

Material Index 100 t Top and Bottom Combined Blowing Converter, Life of Converter, Slag Splashing for Furnace Maintenance, Vanadium-Titanium Hot Metal, Process Practice

水城钢铁集团公司(简称水钢)已达到年产 500 万吨钢的规模,是专门生产棒线材的钢铁联合企业,随着 HPB235、HRB335 建筑钢筋的淘汰,转而生产 HRB400 以上强度级别的钢筋。炼钢厂 100 t 顶底复吹转炉由于冶炼钢种的合金加入量较大,迫使提高出钢水温度,加之铁水中微量元素含量高等原因,致使转炉炉衬侵蚀严重,对生产节奏及操作造成不利影响,通过对 100 t 顶底复吹转炉侵蚀机理的分析,确定影响转炉炉衬寿命的主要因素,确保转炉拉碳率及合理控制炉型参数,优化溅渣护炉工艺,减少炉衬的侵蚀,提高炉衬寿命。

1 炉衬侵蚀机理和影响炉渣熔化性能的因素

转炉炼钢的金属料主要是铁水(表 1),水钢 100 t 转炉铁水消耗为 970 ~ 1 000 kg/t 钢,占总装入量的 90% 左右,废钢主要以生铁、螺纹钢切头、连铸

方坯的切头、切尾为主(表 2)。

转炉炉衬侵蚀主要有:(1)铁水和废钢对炉衬的冲击;(2)冶炼过程钢水、炉渣及炉气对炉衬的机

表 1 铁水成分和温度
Table 1 Analysis and temperature of hot metal

成分/%							温度/℃
C	Si	Mn	Ti	V	P	S	
4.95	0.48	0.342	0.253	0.18	0.094	0.038	1300 ~ 1340

表 2 转炉炼钢废钢消耗/(kg · t⁻¹)

Table 2 Consumption of scrap for converter steelmaking/(kg · t⁻¹)

原料	消耗/(kg · t ⁻¹)
生铁	53.98
外购废钢	3.63
公司内部废钢	12.48
渣钢	20.31

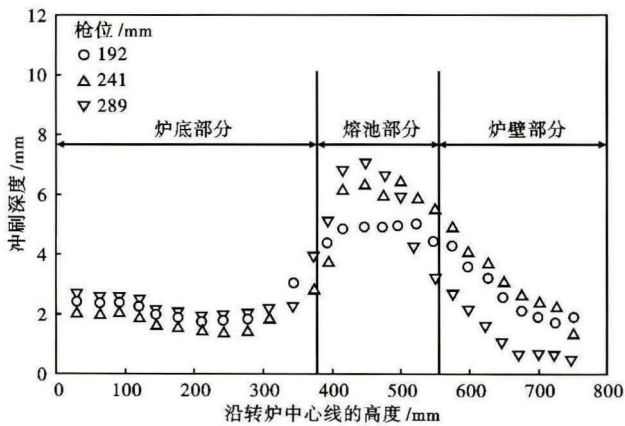


图 1 不同枪位的氧气射流对各部位炉衬的冲刷深度
Fig. 1 Shock depth of oxygen jet with different lance level on various parts of furnace lining

械冲刷^[1]; (3) 炉渣、炉气对炉衬的化学侵蚀; (4) 急冷急热对炉衬的损害; (5) 氧气射流对炉衬的冲刷。

100 t 转炉的炉容量为 92 ~ 95 t, 顶吹氧气流量为 18 000 ~ 19 500 m³/h, 在 1 炉钢吹炼结束出完钢水后, 对转炉内衬的冲刷深度进行评估, 图 1 中横坐标是以转炉内底部最低点为 0 点向上开始计算的转炉中心线高度。从图 1 可见, 在不同枪位下, 氧气射流对炉底冲刷深度相差不大, 熔池部分炉衬冲刷最为严重, 随着枪位升高, 炉衬熔池部分冲刷深度增加。对于熔池以上炉壁部分, 随着枪位高度的增加, 冲刷侵蚀程度逐渐变弱。

炉渣熔化性能影响冶炼过程和溅渣护炉, 进而影响炉衬寿命。

1.1 铁水中 V、Ti 的影响

通过热力学计算确定含钒钢渣中钒的存在形态为 V₂O₅, 钛的存在形态为 TiO₂^[2]。V₂O₅ 降低钢渣熔化温度的影响甚于 FeO。当 V₂O₅ 含量低时, V₂O₅ 对 CaO-SiO₂ 系炉渣熔化温度的作用是十分显著的, 特别是当 CaO/SiO₂ ≥ 1.5 时, 其降低率最大^[2]。因此, 炉渣中 V₂O₅ 的存在对镁碳砖炉衬将产生不利影响。含 TiO₂ 的碱性炼钢渣系, 在炉渣碱度为 2.1、TiO₂ 为 4% ~ 6% 时, 其炉渣的发泡幅度最大。泡沫化严重, 炉内反应激烈, 增强了金属及炉渣对炉衬的侵蚀。

1.2 渣组分对炉渣熔化温度的影响

(1) 渣中 TFe: 转炉终渣碱

度为 3.5 ~ 4.0, 6% ~ 10% MgO, 实验测得渣中 TFe 对渣的熔化温度有明显影响, 如图 2(a) 所示, 渣中 TFe 含量增加时, 炉渣熔点降低, 根据经验公式: 熔化温度 = 0.7498 × MgO% + 4.5017 × R - 10.5335 × TFe + 1582, 式中 R 为渣的碱度, 当 TFe 含量达到 20% 以上时, 熔化温度范围是 1320 ~ 1395 °C。

(2) TiO₂: TiO₂ 含量每增加 1%, 终渣半球温度约降低 5 °C, TiO₂ 含量为 3.5%, 使半球温度降低 17.5 °C。

(3) Al₂O₃: 在无 Fe₂O₃ 的情况下, 炉渣中的 Al₂O₃ 是不会降低炉渣的液相线温度的, 炉渣中的 Al₂O₃ 含量为 1.25%, 对炉渣的熔化温度影响不大。

(4) MnO: MnO 对炉渣熔化温度的影响比 MgO 较小, 在碱度 1.5 时可略提高炉渣熔化温度, 对炉衬不但无害而且是有益的。

(5) MgO: 由图 2(b) 可见, 增加 MgO 含量可明显提高其熔渣的半球温度。

1.3 炉渣熔化速率的影响因素

(1) 低 TFe 渣。转炉终渣 (FeO) 为 10% ~ 15% 时, 当 (TiO₂) 从 0.85% 分别增加到 2%、4% 和 6% 时, 该渣的熔化速率指数分别从 1.1 提高到 5.1、8.1 和 8.9, Al₂O₃ 从 1.8% 增加到 4% 和 6% 时, 熔化速率指数分别从 1.1 提高到 5.1 和 4.1, 即在低 TFe 炉渣中, TiO₂ 和 Al₂O₃ 提高渣的熔化速率。

(2) 高 TFe 渣。转炉终渣 (FeO) 为 20% ~ 25% 时, 当 (TiO₂) 从 0.85% 分别增加到 2%、4% 和 6% 时, 该渣熔化速率指数分别从 8 变化为 8.1、8.7, 无显著变化, Al₂O₃ 从 1.8% 增加到 4% 和 6% 时, 熔化速率指数从 8 增至 9 和 9.5, 提高幅度很小, 即在高 TFe 炉渣中, TiO₂ 和 Al₂O₃ 不影响渣的熔化速率, 因为高 TFe 条件下, 炉渣粘度低, 所以 TiO₂ 和 Al₂O₃

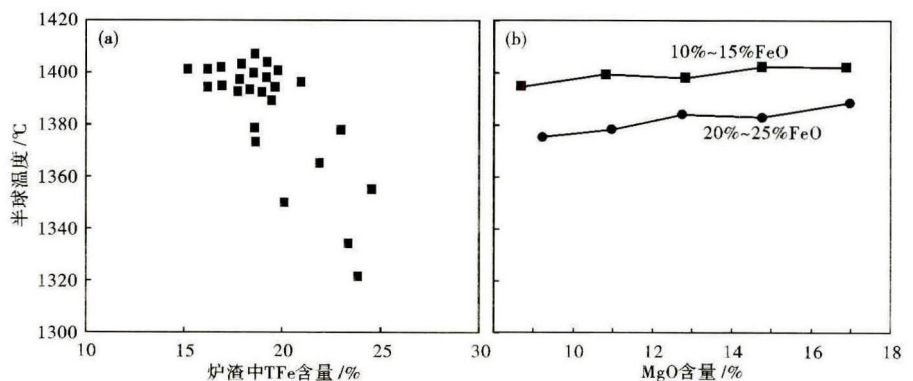


图 2 渣中 TFe (a) 和 MgO 含量 (b) 对炉渣熔化温度的影响
Fig. 2 Effect of TFe in slag (a) and MgO content (b) on melting point of slag

的影响很小。

通过对炉渣熔化性能的探讨,得出:(1)降低渣中 TFe 含量不但提高了炉渣熔化温度,也能减少因 Fe_2O_3 高导致 MnO 对炉渣的不利影响,提高溅渣效果,达到长寿炉龄的目的;(2)控制好前期泡沫化喷溅,保证去磷效果及渣量,减少喷溅造成的炉衬冲刷;(3)对 Al_2O_3 含量高的高 TFe 炉渣而言,保证一定的 MgO 含量及 SiO_2 含量,可减少 Al_2O_3 对炉渣熔点温度的影响;(4)降低转炉渣中 FeO 含量-(FeO),将提高溅渣护炉效果;(5)造成钒钛铁水冶炼过程中炉渣变稀的主要因素为 V_2O_5 、 TiO_2 和 Al_2O_3 , V_2O_5 与 CaO 或 MgO 形成低熔点化合物溶解炉衬表面, TiO_2 与 FeO 和 MnO 形成低熔点化合物渗透剥落炉衬。MnO 与 CaO 或 MgO 均形成高熔点的固熔体,对保护炉衬有益。在低 Fe_2O_3 含量情况下, Al_2O_3 对炉衬是无害的。

2 提高炉龄的措施及效果

2.1 综合砌炉方式

在吹炼过程中由于转炉炉衬各部位的工作条件不同,内衬的蚀损状况和蚀损量也不一样。针对这一状况,对于容易损坏或不易修补的部位,砌筑高档镁碳砖,损坏较轻又容易修补部位,砌筑中档或低档镁碳砖^[6-7]。在转炉修砌过程中,实行分项负责制,为实现长寿炉龄提供保障。

2.2 采用铁水捞渣工艺,减少铁水渣对转炉冶炼及炉衬的影响

水钢炼钢厂的铁水渣组分为:CaO = 38%, SiO_2 = 36%, Al_2O_3 = 16.4%, TiO_2 = 0.8%, (S) = 1.5%。铁水渣中硫含量很高,同时还含有 SiO_2 , Al_2O_3 和 TiO_2 等不利于脱硫的组分,特别是钛的氧化物会降低炉渣碱度,造成转炉吹炼前期熔渣中低熔点组分增加,转炉侵蚀严重及中前期喷溅加剧。

铁水捞渣后,转炉冶炼控制喷溅效果明显。由于高炉渣在铁水罐中的量无法确定,因此,若用不经过捞渣的铁水炼钢,转炉渣的碱度应按 4 来计算加入渣料,但采用经捞渣的铁水炼钢,转炉渣的碱度则按 3.5 来计算加入渣料。捞渣时间在 9 ~ 13 min,因此,按捞渣时间为 12 min 进行生产组织。捞渣处理后,喷溅控制容易一些,转炉热损失减少。

2.3 建立转炉热平衡操作模式,提高拉碳率,减少炉渣侵蚀影响转炉热平衡的主要因素

表 3 转炉熔池不同原材料的冷却比

Table 3 Cooling ratio of different raw material for bath of converter

冷却剂	冷却比
废钢	1.0
生铁	0.3
石灰	0.8
铁矿石	3.3
轻烧白云石	0.8
萤石	0.8

有:(1)铁水温度和成分;(2)冷却剂加入量和质量,不同原材料的冷却比见表 3;(3)转炉生产速度、转炉容量等。

从高炉出铁到转炉兑铁水,中间不翻罐,采用一罐到底模式,铁水入转炉平均温度 1 360 °C,100 t 转炉热平衡物料经验加入量见表 4。

在一罐到底模式下,冶炼过程操作如下:

(1)为了控制喷溅,第一步:降低氧气流量时机调整为起渣时进行;第二步:当调整氧气流量仍然不能控制喷溅时采取让枪操作;第三步:若喷溅还不能控制,可以加入 50 kg 抑渣剂。

(2)前期污泥球和矿石在开吹时加入,过程污泥球和矿石视温度情况自行调整加入。

(3)摇炉工在兑铁水前了解铁水来源、铁水温度、铁水硅和碳,计算本炉钢因铁水温度、碳变化增减污泥球加入量。

(4)前期冷料在开吹后随第一批渣料加入;若前期冷料加入量超过 1 500 kg,则在进废钢后加入 1 000 kg,其余部分在开吹后随第一批渣料加入。

(5)一次倒炉控制目标:钢水温度 $T = 1 630 \sim 1 650$ °C; $[C] = 0.15\% \sim 0.25\%$ 。

(6)铁水 Si 在 0.6% ~ 0.8%,采用单渣操作,使用 90 t 铁水,10 t 全废钢;如操作仍然困难,则优化装入制度,总装入量调整为 95.5 t,采用 82 t 铁水,11 t 全废钢,2.5 t 冷固球。

(7)铁水 Si > 0.8% 时,采用双渣操作,总装入量调整为 95.5 t,采用 82 t 铁水,11 t 全废钢,2.5 t 冷固球。

表 4 在一罐到底模式下,100 t 转炉热平衡物料经验加入量

Table 4 Empirical charge by thermal equilibrium in 100 t converter with one iron ladle operation mode

铁水硅/ %	铁水碳/ %	是否 留渣	石灰加入量/kg			轻烧白云石 加入量/kg			前期冷料 加入量/kg	
			前期	过程	总量	前期	过程	总量	污泥球	矿石
≤0.30	4.5	全留渣	1 400	600	2 000	1 200	200	1 400	500	0
0.3~0.4	4.5	全留渣	1 600	800	2 400	1 400	600	2 000	1 500	0
0.4~0.5	4.5	全留渣	1 800	800	2 600	1 600	600	2 200	1 000	1 000
0.5~0.6	4.5	全留渣	2 200	800	3 000	1 600	600	2 200	1 000	1 000
0.6~0.7	4.5	全留渣	2 400	800	3 200	1 800	600	2 400	1 500	1 000
≥0.7	4.5	不留渣	3 000	≤1 000	≤4 000	2 000	≤600	≤2 600	1 500	1 500

表 5 在一罐到底模式下,100 t 转炉温度控制经验数据
Table 5 Empirical data for temperature control of liquid in 100 t converter with one iron ladle operation mode

因素	变化量	影响终点温度/℃	矿石调整量/kg
铁水[C]/%	±0.10	9.7	200
铁水温度/℃	±10	6	120

(8)在不留渣的情况下,头批料石灰增加 400 kg,白云石增加 200 kg。

(9)在一罐到底模式下,100 t 转炉温度控制经验数据见表 5。

2.4 建立转炉最佳炉型及控制措施

通过对 100 t 顶底复吹转炉的最佳炉型的研究和探索,得出:

(1)通过正交试验,确定各炉型参数下的喷溅情况,得到最佳炉型参数,100 t 转炉熔池液面直径 7 850 ~ 8 300 mm,最佳 8 150 mm,炉底中心厚度为 700 mm,炉底两端高于中间 200 ~ 400 mm,最佳 300 mm。

(2)确定出转炉最佳炉型后,在保证炼钢厂年产 500 万吨钢的前提下,使转炉的炉容比达到符合水钢情况的最优,炉内搅拌条件由桶状搅拌转化为球状搅拌,加强了反应的动力学条件,使炉内反应向炼钢有利方向有序进行,为转炉降低喷溅,提高终点命中率,降低金属消耗创造了良好条件。

2.5 优化钢水温度制度,降低钢水温度

钢水温度过高也是造成炉衬受损的重要因素,因此降低钢水温度有利于提高炉衬寿命,提高溅渣护炉效果^[7]。钢水浇注温度接近液相线温度对铸坯质量有利,可以获得较宽的等轴晶区,从而减轻铸坯的中心偏析和内裂缺陷,改善铸坯质量。通过大量数据分析,得出连铸钢水过热度最好控制在 15 ~ 30 ℃。

要使用过热度合适、稳定,最关键因素之一是钢水吹完 Ar 后温度的稳定。通过对转炉出钢口进行最佳维护,对合金和钢包进行烘烤使用,制定了钢包周转制度,严格控制钢包周转时间和个数,严格管理钢包和中间包修砌使用的保温材料,使制定的钢水温度制度能够有效的运行,保障了钢水浇注过程温度的稳定性,减少了工艺过程温度损失,使出钢温度下降了 25 ℃,有利于提高转炉炉龄。

2.6 优化脱氧合金化制度,降低出钢温度

2.6.1 优化脱氧制度,减少钢包内钢水翻腾造成的温度损失

炼钢厂采用多功能脱氧剂(表 6)作为预脱氧剂,SiAlCaBa 作为终脱氧剂,合金的加入顺序为:预脱氧剂(多功能脱氧剂)→硅锰→硅铁→终脱氧剂

表 6 多功能脱氧剂的成分/%
Table 6 Ingredient of multifunctional deoxidizer / %

Ca	Si	C	P	S
32 ~ 40	12 ~ 20	>20	<0.05	<0.05

(多功能脱氧剂 + SiAlCaBa)。多功能脱氧剂在出钢 30 s 后(出钢至约 1/4 时)加入,加完多功能脱氧剂 10 s 后加入合金进行脱氧合金化,严禁合金直接加入包底。要求脱氧合金化后钢水氧活度控制在 $30 \times 10^{-6} \sim 70 \times 10^{-6}$,力求吨钢多功能脱氧剂消耗为 0.8 ~ 1.0 kg。

2.6.2 取消大规格钢筋钢种喂 CaSi 线工艺

冶炼 $\Phi 28$ mm 及以上规格的 HRB400 大规格钢筋钢种时,工艺路线为:100 t 转炉→钢包喂 CaSi 线→连铸。对于大规格钢筋,每炉钢喂 50 m CaSi 线,对钢液进行钙处理。但钢包喂 CaSi 线造成钢水翻腾,温度损失大,要求较高的出钢温度,对拉碳造成一定的影响,同时造成氧耗、铁损增加。HRB400 钢水平均出钢温度为 1 681 ℃,出钢降温 71 ℃,喂 CaSi 线温降 22 ℃。

炼钢厂通过优化转炉冶炼操作,使钢中氧含量大幅下降,拉碳率平均达 80% 以上,同时抓好出钢挡渣,利用多功能脱氧剂 + SiAlCaBa 复合脱氧,并进行钢水 Ca 处理和吹氩。在通过工艺优化改进后,钢中氧含量大幅降低,可使大规格钢筋钢种的钢水在不喂 CaSi 线的情况下达到喂 CaSi 线钢水的纯净度水平,因此,取消了大规格钢筋钢种喂 CaSi 线工艺。

2.6.3 用富氮合金代替传统的硅锰合金,减少合金总加入量

炼钢过程中,通过加入适量富氮合金,增加钢水氮含量。通过合理的化学成分配比,减少硅锰铁、硅铁、钒铁等合金的加入量,达到降低吨钢合金成本的效果。从 2011 年起,试验了两种富氮合金(表 7)。使用富氮合金后,硅锰铁使用量大幅下降,出钢温度降低 7 ~ 10 ℃,富氮合金脱氧工艺与原脱氧工艺的 HRB400 成品钢水成分见表 8。

2.7 开发新工艺,提高溅渣护炉效果

转炉采用溅渣技术后,炉龄大幅度提高^[8-10]。溅渣护炉技术的采用,对冶炼终渣提出了一定的要求,除了具有脱硫、脱磷功能外,还要使溅在炉壁上的终渣能经受冶炼过程中不同时期钢水与炉渣的熔蚀,以保护炉衬^[11-12]。转炉溅渣护炉终渣的碱度为 3.5 ~ 4.0,8% ~ 10% MgO,15% ~ 20% FeO。溅渣操作工艺:溅渣前确认氧枪已经切换为氮气,氮气总管压力 ≥ 1.3 MPa,流量 22 000 ~ 26 000 m³/h,溅渣时

表7 富氮合金的成分/%

Table 7 Chemical composition of nitrogen-enriched alloys /%

富氮合金种类	N	Si	Mn	V	Al	P	S	C
第一种	>13	>22	>15	2~6	6~13	P+S<0.1	-	-
第二种	16	31.61	16.53	2.3	8.65	0.058	0.043	0.76

表8 富氮合金脱氧工艺与原脱氧工艺冶炼的HRB400钢成品钢水成分/%

Table 8 Chemical composition of finishing liquid of steel HRB400 steelmaking by nitrogen-enriched alloy deoxidizing process and original deoxidizing process /%

脱氧工艺	钢筋规格/mm	C	Si	Mn	P	S
原脱氧工艺	18~28	0.20~0.25	0.38~0.55	1.15~1.33	≤0.045	≤0.045
富氮合金脱氧工艺	18~28	0.20~0.25 目标0.23	0.30~0.50 目标0.38	0.90~1.05 目标0.97	≤0.045	≤0.045

表9 2013年与2012年耐火材料消耗、炉龄、溅渣合格率比较
Table 9 Comparison of refractory consumption, furnace life and slag splashing qualified rate between 2012 and 2013

指标	2012年	2013年
耐火材料消耗/(kg·t _钢 ⁻¹)	11.03	8.75
转炉平均炉龄/炉	21 636	29 336
转炉溅渣合格率/%	95	98

间≤4 min;钢水未出完,不允许溅渣护炉,氮气总管压力<1.0 MPa,不许溅渣。经过长期探索,开发出加焦丁调渣护炉工艺,在转炉一次倒炉后,进行测温、取样,根据钢水中碳含量及温度,预判终点钢水氧化性,从而在补吹提枪前加入适量焦丁,确保冶炼终点炉渣中FeO保持较低含量,提高溅渣护炉效果,降低耐火材料消耗,使转炉炉龄也得到较大提高。

采用加焦丁调渣工艺后,取得效果为:(1)采用加焦丁调渣工艺后,炉渣中TFe含量在12.6%左右,比正常情况下降低5%~7%,减轻了炉渣对炉

衬的侵蚀。(2)补吹提枪前加焦丁调渣,在氧枪射流及炉内液体拌动下,炉渣已调整到适于溅渣要求,出完钢后可直接进行溅渣操作,节省了时间,根据现场测试,比一般溅渣方法节约30~50 s。(3)使用600元/t焦丁调渣,加入量在20~50 kg,而调渣剂与改质剂价格一般在1200元/t,加入量在50~100 kg,因此,加焦丁比加调渣剂或改质剂降低成本0.5~1.0元/t钢。

2.8 取得效果

(1)2013年转炉拉碳率每月平均从80%提高到85%。

(2)通过降低出钢温度,优化造渣工艺,使转炉终渣温度降低,炉渣结构更加耐侵蚀,同时,降低了转炉喷溅,使转炉终点更趋于稳定,为溅渣护炉创造了条件,转炉炉龄也得到了保障(表9)。在拆炉时对炉衬各部位进行观测,6块底吹砖仍有4块可有效工作,永久层未受损伤,工作层厚度在300~500 mm,转炉炉龄达到29 336炉,在国内100 t级转炉中处于先进水平。

3 结论

每1%V₂O₅降低炉渣熔化性温度27℃,每增加1%TiO₂含量,炉渣半球温度约降低5℃,当炉渣TFe含量在20%以上,炉渣熔化温度在1 320~1 395℃。通过采取铁水捞渣工艺,建立转炉热平衡操作模式,提高拉碳率;铁水Si在0.6%~0.8%时,采用单渣操作,铁水Si>0.8%时,采用双渣操作;建立转炉最佳炉型及控制措施;优化钢水温度制度和脱氧合金化制度,降低出钢温度;在补吹提枪前加入适量焦丁,确保冶炼终点炉渣中FeO保持较低含量,提高溅渣护炉效果等工艺措施,使100 t转炉炼钢的耐火材料消耗降到8.75 kg/t钢,转炉炉龄达到29 336炉。

参考文献

- [1] 宋九梅,申斌,王小峰,等. 150 t转炉炉衬维护实践[J]. 河南冶金,2013,21(5):41-42.
- [2] 王琳松,杨茂麟,郑家良,等. 铁水中微量元素对炼钢工艺的影响[J]. 炼钢,2012,47(8):22-26.
- [3] 白瑞国,周学禹,张兴利,等. 钒钛铁水冶炼转炉炉龄提高的生产实践[J]. 四川冶金,2005,27(5):58-60.
- [4] 王永才,杨素波,张大德,等. 攀钢半钢炼钢转炉溅渣护炉技术研究[J]. 钢铁,2003,38(2):16-18.
- [5] 刘书超,魏宝森. 炼钢转炉炉衬维护实践[J]. 冶金能源,2013,32(1):29-32.
- [6] 魏宝森. 本钢炼钢厂转炉炉衬维护实践[J]. 冶金丛刊,2012(6):26-29.
- [7] 王宝华,刘庆栋. 提高钒钛铁水冶炼转炉炉龄的实践[J]. 河北冶金,2005(6):42-44.
- [8] 刘浏,佟溥翘,崔淑贤,等. 长寿复吹转炉工艺技术开发[J]. 钢铁,2002,37(10):13-15.
- [9] 骆忠汉,徐静波,喻承欢,等. 武钢二炼钢复吹转炉溅渣护炉及冶金效果分析[J]. 炼钢,2000,16(6):25-28.
- [10] 杨文远,郑丛杰,高振滨,等. 转炉溅渣护炉对钢水质量的影响[J]. 钢铁,2000,35(7):13-16.
- [11] 郑颖,李春雷,杨富强,等. 包钢80 t复吹转炉溅渣护炉工艺实践[J]. 钢铁,2001,36(8):12-15.
- [12] 张红旭. 转炉溅渣护炉技术的改进与实践[J]. 甘肃冶金,2013,35(3):23-24.

张毅(1970-),男,高级工程师,1991年贵州工学院(本科)毕业,钢铁冶金研究。E-mail:zyi1970@163.com

收稿日期:2015-02-15