

重轨钢转炉炼钢工艺的研究

卿家胜 杨森祥 黎建全
(攀钢钒炼钢厂, 四川 攀枝花 617062)

【摘要】攀钢生产重轨钢采用增碳法炼钢工艺, 增碳法工艺简化了转炉操作, 终点控制精确。通过优化吹炼和终点参数控制, 以提高重轨钢的质量和缩短转炉冶炼周期。

【关键词】重轨钢 炼钢工艺 增碳法 冶炼周期

RESEARCH ON CONVERTER STEEL-MAKING PROCESS OF HEAVY RAIL STEEL

Qing Jiasheng Yang Senxiang Li Jianquan
(Steelmaking Plant of Panzhihua Steel & Vanadium, Panzhihua 617062, China)

【Abstract】The carburization steel-making process has been adopted to produce the heavy rail steel in Extraction Steelmaking Plant, converter operation was simplified in carburization process, end point was controlled accurately. The converter blowing and end point parameters were optimized, the quality of heavy rail steel can be increased and converter smelting cycle was curtailed.

【Key words】heavy rail steel, steel-making process, recarburization, smelting period

1 引言

随着改革开放的深入和经济建设的发展, 铁路运输事业取得了长足的进步。为了增强铁路重轨钢的市场竞争力, 总结重轨钢生产技术, 研究重轨钢质量是当前一项十分必要和重要的任务^[1]。根据铁路的发展趋势, 对有关资料进行分析表明, 我国铁路重轨将逐步减少并淘汰 50 kg/m 的重轨, 60 kg/m 重轨及其淬火耐磨钢成为国内主型轨的地位得以加强, 随着重载高速列车的发展, 75 kg/m 重轨钢性能的日趋完善, 其在整个铁路轨道中将占主导地位^[2-4]。重轨钢是攀钢的重点产品, 面对着当前激烈的市场竞争, 为了确保优质重轨钢的生产, 有必要对重轨钢的生产工艺进行研究。

2 工艺流程

攀钢生产重轨钢采用转炉冶炼—精炼—连铸

“三位一体”的高效冶炼生产工艺, 具体工艺流程: 高炉铁水→提钒→顶底复吹转炉→吹氩喂丝→LF炉→RH真空脱气→方坯连铸→步进式加热炉→高压除鳞→开坯机→万能轧机→自动打压机→热锯→淬火→步进式冷床→平立复合矫直机→探伤→联合锯钻机床→检查入库。

攀钢提钒炼钢厂新区 6# 转炉, 配置副枪系统和炉气分析系统, 其炼钢过程控制采用动态控制。在目前半钢冶炼条件下, 要求同时达到 C、P、T_{出钢} 三项指标还有一些工艺技术上的制约。因此, 优化研究转炉冶炼工艺, 可以缩短冶炼时间, 提高炼钢产能^[5-6]。

2.1 装料制度

攀钢转炉冶炼装入的金属料主要为半钢和废钢。对于转炉炼钢而言, 合适的装入量非常重要。

攀钢炼钢工作者的经验表明:

入炉半钢的条件主要取决于两方面: (1) 半钢

的人炉温度;(2)半钢的碳含量。当半钢的人炉温度 $>1320^{\circ}\text{C}$ 且碳含量 $>3.50\%$,则认为半钢的人炉条件较好,半钢的人炉条件如表1所示。

表1 攀钢半钢的平均入炉条件

装入量 (t)	入炉温度 ($^{\circ}\text{C}$)	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
135	1320	3.42	0.45	0.40	0.10	0.12

攀钢转炉目前采用装料方式的是定量装入,每炉装入量为 $135\text{ t}\pm 5\text{ t}$ 。

2.2 造渣制度

攀钢转炉采用半钢冶炼,高炉铁水经过提钒后半钢的硅含量较低,在转炉冶炼过程成渣困难,目前在造渣操作上采用留渣法冶炼,即将上一炉冶炼的终渣在出钢后留一部分或全部留在转炉内,供下一炉冶炼时作部分初期渣使用。这样不但加速了初期渣的形成,而且较好地缓解了冶炼过程温度不足的矛盾,有利于在冶炼初期脱磷,还有利于溅渣护炉提高炉龄。对于吹炼高硫($W([\text{S}])>0.10\%$)铁水或遭遇特殊情况(如高炉用普通矿洗炉,铁水含磷较高)则采用双渣法吹炼。

关于渣料的加入,关键是要注意渣料的分批和加入时间的把握。

(1) 渣料分批加入

目的:渣料应分批加入以加速石灰的熔化(否则,会造成熔池温度下降过多,导致渣料结团且石灰块表面形成一层金属凝壳而推迟成渣)。

批次:单渣操作时,渣料通常分两批:第一批渣料加入总渣量的 $2/3$;第二批加入剩下的 $1/3$ 渣料。

(2) 加料时间

第一批渣料在开吹的同时加入。第二批渣料,一般在硅、锰的氧化基本结束、第一批渣料已化好、碳焰初起时(120 t 的转炉开吹 5 min 左右)加入。若加入过早,炉内温度低,且头批渣料尚未化好又加冷料,势必造成渣料结团难化;反之,加入过晚则正值碳的激烈氧化期,渣中(ΣFeO)较低,渣料亦难化。第二批渣料分小批多次加入以利熔化,但最后一小批料必须在终点前 $3\sim 4\text{ min}$ 加入。

2.3 供氧制度

供氧制度的主要内容是确定合理的喷头结构、供氧压力、供氧强度以及氧枪枪位。也是冶炼过程中保证杂质去除速度、熔池升温速度、造渣制度、控制喷溅去除钢中气体与夹杂物的关键操作,关系到终点的控制和炉衬的寿命,对一炉钢冶炼技术的经

济指标产生重要影响。

攀钢目前使用的氧枪喷头为单道单流535型。转炉氧气的工作压力位 $0.8\sim 0.9\text{ MPa}$ 。

(1) 供氧量

单位时间内供入熔池的氧气量:

1) 每吨金属需氧量

它取决于铁水成分、所炼钢种的终点成分及氧气利用率等因素,通常情况下为 $52\sim 60\text{ m}^3/\text{t}$ 。

2) 供氧时间

国内转炉的供氧强度控制如表2所示。

表2 国内不同容量转炉的供氧时间

转炉容量,t	12	30	50	120
供氧时间,min	0~15	0~16	0~18	0~23
供氧强度, $\text{m}^3/(\text{t}\cdot\text{min})$	0~4.0	0~3.6	0~3.3	0~3.0

攀钢 120 t 转炉,其供氧量为 $375\sim 500\text{ m}^3/\text{min}$,老区转炉一般供氧量控制在 $385\text{ m}^3/\text{min}$,新区转炉则控制在 $500\text{ m}^3/\text{min}$ 。

(2) 供氧强度

一定的生产条件下每吨金属的耗氧量是定值,较高的供氧强度意味着供氧时间的缩短,即生产率提高。实际生产中氧枪喷头的直径是一定的,只有通过提高氧气压力加强供氧强度,但吹炼中会导致喷溅严重且氧气的利用率较低。单位时间内每吨金属的耗氧量为供氧强度。

攀钢 120 t 转炉的供氧强度为 $2.8\sim 3.0\text{ m}^3/(\text{t}\cdot\text{min})$ 。

(3) 氧枪操作

转炉氧枪枪位的控制对冶炼过程有着非常重要的影响。恰当的枪位控制可达到冶炼过程平稳、脱磷效果良好、降低钢水氧活度、降低终渣 TFe 等目的。攀钢转炉的氧枪操作采用分阶段恒氧压变枪位操作。在吹炼初期常采用低枪位加强搅拌和快速升温再软吹化渣的方式操作;吹炼中期则根据炉内实际情况交替变换氧枪枪位,使其达到化好渣、不喷溅、快速炼钢的吹炼效果。吹炼后期则采用低枪位的操作方式。即开吹枪位控制在 1.5 m ,化渣枪位为 $2.0\sim 2.5\text{ m}$,终点控制枪位为 1.2 m 。过程枪位必须与底吹供气制度、造渣工艺相结合,严禁后期拉碳时活跃炉渣而高枪位操作,减少转炉喷渣的现象。

2.4 温度制度

氧气转炉的温度制度包括两方面的内容:一是准确控制终点温度,二是恰当控制冶炼过程温度。

攀钢转炉在吹炼过程中对温度制度的控制要求为：吹炼过程中要求均衡升温，吹炼终点时根据钢种确定合适的出钢温度；确定熔池的富余热量，选择冷却剂并确定其冷却效果和加入量；掌握影响熔池温度变化的因素，进行温度控制操作。吹炼过程中还应根据炉内各个时期冶金反应的需要及炉温的实际情况调整熔池温度，保证冶炼的顺利进行。

在生产实际中，过程温度的控制主要是根据半钢条件、冶炼钢种、炉内工况等多方面因素来综合考虑。因此，造渣操作和氧枪操作必须紧密配合。如半钢硫含量较高，前中期的温度要控制高一些；如果半钢磷含量较高，吹炼初期和中期温度应适当控制低一些，同时要保持适当的氧枪枪位。

2.5 终点控制

终点控制是转炉吹炼末期的重要操作。由于脱磷、脱硫比脱碳操作复杂，因此总是尽可能提前让磷、硫去除到终点要求的范围，这样终点控制便简化为脱碳和钢水温度控制。攀钢冶炼重轨钢终点控制通常采用“增碳”法操作。吹炼到达终点的具体条件是：

(1) 含碳量进入所炼钢种的控制范围；(2) 硫、磷含量低于规格下限；(3) 温度达到出钢要求。(4) 满足所炼钢种的特别要求。

6#转炉利用副枪测温、定碳和定氧活度系统，通过联接不同功能的探头，可以实现各种测量功能，即钢水液面测量，钢水温度测量，钢水含碳量测量、钢

水含氧量测量以及取钢样。根据不同工艺阶段的需要，进行不同的测量参数组合。在转炉炼钢过程中根据工艺要求可以组成下列探头：

(1) 测温、定碳、取样探头(TSC 型)

这种探头主要用于终点前 2 ~ 3min 时的测量，采用 TSC 测定[C]和温度，进行质谱仪分析，以分析值作为计算终点成分的依据，判定终点及出钢与否。若测算结果达不到规定的成分值，立即实施再吹炼。当达到出钢条件时再利用 TSO 测定[C]和[O]指导脱氧合金化。

(2) 测温、定氧、取样探头(TSO 型)

该探头的功能主要是用于终点温度、终点氧(碳)的测量，该探头提供的钢样可用于全分析。副枪的作用就是在不倒炉的情况下，快速准确、间断地检测吹炼过程中熔池内钢水的温度、碳含量、液面高度、氧含量等，是用于转炉吹炼计算机动态控制必不可少的设备。通过副枪可以有效地提高吹炼终点命中率，从而提高钢的质量、产量，提高炉龄以及降低钢铁料消耗，劳动条件可以大为改善^[7-10]。

3 生产实践讨论

择取 2009 年 11、12 月份新区 6#转炉转炉冶炼重轨 U75V 钢种过程中的 120 个炉次，分析冶炼工艺参数，优化转炉冶炼重轨的生产工艺。

重轨钢 U75V 的化学成分如表 3 所示。

表 3 重轨钢 U75V 的化学成分(%)

成分	C	Si	Mn	P	S	V	Cr
半钢	0.71 ~ 0.80	0.50 ~ 0.80	0.75 ~ 1.05	≤0.03	≤0.025	0.04 ~ 0.12	≤0.15
目标	0.72	0.65	0.85	≤0.03	≤0.025	0.06	≤0.15

攀钢冶炼重轨钢 U75V 均采用全半钢冶炼，对半钢入炉条件要求较为严格。由于生产条件所限，铁水经过提钒处理后的温降过大，进入转炉冶炼的半钢温度只能保证控制在 1300℃ 以上，因而对转炉冶炼过程提出了更高的要求。6#转炉的平均半钢入炉条件如表 4 所示。

表 4 6#转炉的平均入炉条件

转炉	半钢入炉 装入量,t	半钢入炉 温度,℃	半钢碳 含量,%	废钢装入 量,t
6#转炉	136.83	1332	3.73	4.73

转炉冶炼主要控制点：装入量以半钢为主，冷料以废钢为主，根据入炉条件加入；冶炼重轨钢采用增

碳法工艺，要求转炉终点 $w[C]$ 为 0.05% ~ 0.20%， $w[S] \leq 0.025\%$ ， $w[P] \leq 0.030\%$ ，出钢温度为 1660 ~ 1690℃；采用低铝硅钙钡脱氧，需要加入硅锰、硅铁、钒铁合金。钢包吹氩时间大于 5 min。

对转炉冶炼工艺进行优化设计，通过提高前期供氧强度、减少点吹和倒炉频次，缩短时间，后期发挥底吹优势进一步脱磷、均匀钢水、控制钢中的氧含量，同时控制炉渣中 $W(FeO)^{[7]}$ 。

由表 4 可知 6#转炉半钢的平均入炉温度为 1322℃，碳含量为 3.73%，整体上入炉条件一般。6#转炉转炉冶炼重轨钢 U75V 入炉温度的示意图见图 1。

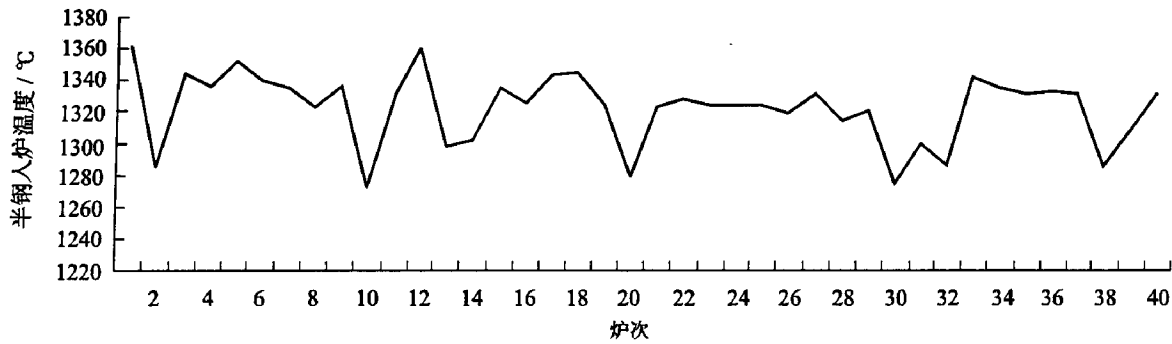


图 1 6#转炉冶炼重轨钢 U75V 入炉温度示意图

从图 1 可知,6#转炉的入炉温度均衡性不稳定,落差较大,因而,对转炉冶炼提出了更高的要求。重轨钢转炉冶炼过程中所加入的辅料如表 5 所示。

表 5 6#转炉平均辅料加入量

转炉	高镁石灰 /kg	活性白灰 /kg	新型造渣剂 /kg	炼钢污泥球 /kg	增碳剂 /kg
6#转炉	3625	2905	1983	382	895

6#炉冶炼重轨钢的平均出钢条件如表 6 所示。

表 6 6#转炉平均出钢条件

转炉	出钢温度 /°C	出钢量 /t	终点碳 /%	终点硫 /%	终点磷 /%
6#转炉	1692	135.39	0.05	0.007	0.009

由表 6 可知,转炉终点碳的控制过程中,6#转炉的平均出钢温度为 1692℃,平均终点 C 含量为 0.05%、S 含量为 0.007%、P 含量为 0.009%。在整体上冶炼终点参数 C 含量控制得较为稳定,S 含量、P 含量的控制还有待于进一步降低。6#转炉冶炼重轨钢 U75V 出钢温度的示意图见图 2 所示。

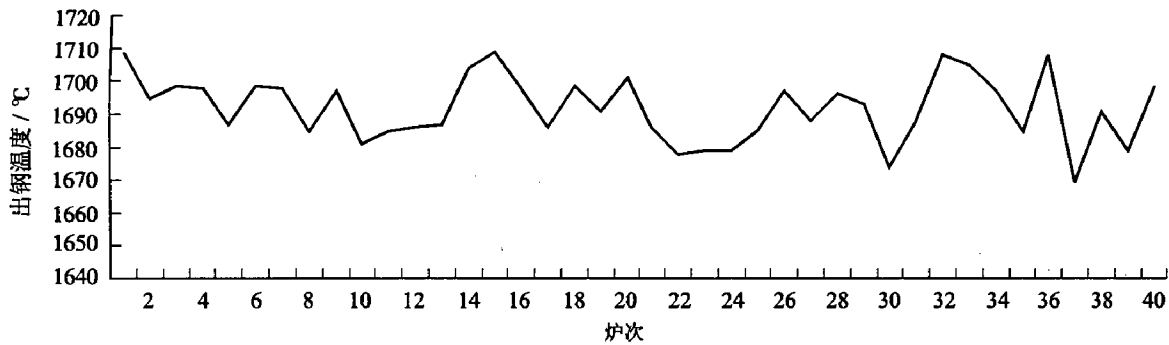


图 2 6#转炉冶炼重轨钢 U75V 出钢温度示意图

从图 2 可知,6#转炉冶炼重轨钢 U75V 出钢温度波动范围较大,应加强对转炉冶炼副枪操作系统的控制。

4 终点控制结果分析

4.1 终点钢水 C 含量与氧活度

6#转炉在吹炼中使用 TSC 测定钢水的温度、碳,再利用测量结果指导终点判断,要求转炉的出钢碳在 0.05% ~ 0.15% 之间。6#转炉生产重轨钢 U75V 的平均出钢碳含量和平均氧活度对比见表 7。

表 7 出钢碳和氧活度对比

项目	月合格率 /%	平均出钢碳 含量/%	平均终点氧 活度/ppm
2009 年 11 月	83.54	0.0773	486.73
2009 年 12 月	89.02	0.0894	429.02

从表 7 可看出:12 月份终点控制情况比 11 月份有所提高,其中平均出钢碳含量提高了 0.012%,终点氧下降了 57.71 ppm,合格率提高了 4.48%。

4.2 终点渣样

2009 年 11、12 月份统计的渣样数据见表 8。

表 8 6#转炉渣样分析情况

项目	TFe	MgO	R
2009 年 11 月	19.74	9.95	3.83
2009 年 12 月	18.19	9.56	3.74

由表 8 可知,6#转炉 12 月份渣样与 11 月份相比,各项指标都有明显的降低。可见,在提高终点碳后,终渣 TFe 降低了 1.55 个百分点,终渣全铁的降低,能有效降低进入渣中的铁含量,降低转炉的钢铁料消耗,减少随炉渣流失的金属料,提高转炉终点

渣的熔点和抗侵蚀性能,节约转炉冶炼的成本。

4.3 合金收得率

由于 6[#]转炉配置副枪系统和煤气分析系统,具

有测温定氧功能,可以根据转炉吹炼终点的 TSO 测量钢水氧活度,以此来控制钢水的脱氧力度。各种成分的收得率见表 9。

表 2

6[#]转炉合金收得率

时间	C 收得率%		Mn 收得率%		Si 收得率%	
	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值
2009 年 11 月	87.29 ~ 99.72	93.51	87.45 ~ 99.82	93.63	74.03 ~ 98.77	86.40
2009 年 12 月	88.56 ~ 99.83	94.19	89.37 ~ 99.88	94.62	75.56 ~ 98.95	87.25

由表 9 可见,6[#]转炉 12 月份合金收得率与 11 月份相比,C 的平均收得率提高了 0.58%;Mn 的平均收得率为 0.99%;Si 的平均收得率为 0.85%。可见提高终点碳,能提高各种合金元素和增碳剂的收得率,降低合金和增碳剂的消耗。

4.4 钢铁料消耗

过氧化钢水是在铁水中的发热元素(主要指 Si、C 元素)氧化到极限后,进一步氧化大量的铁元素而造成的,铁元素大量的氧化,吹损势必增加。提高终点碳后,转炉的吹损明显降低,见表 10。

表 10

6[#]转炉吹损情况

时间	半钢平均值,t	废钢平均值,t	装入量平均值,t	出钢量平均值,t	吹损平均值,%
2009 年 11 月	136.0	5.81	142.2	134.7	5.2
2009 年 12 月	131.1	6.61	140.9	133.1	5.6

由表 10 可见,6[#]转炉 12 月份转炉吹损情况与 11 月份相比,吹损平均值提高了 0.4%。11 月份和 12 月份的吹损值都比较大,应加强对转炉炉体的维护。

5 结论

(1)提高半钢的入炉条件,可相应提高转炉冶炼的废钢比,有利于增加冶炼产能。

(2)在转炉冶炼的操作过程中减少点吹次数,终点控制精确,缩短冶炼时间,提高了转炉冶炼效率。

(3)根据不同的半钢入炉条件,采用不同的供氧制度,能够有效地提高氧气的利用率。

(4)在冶炼前期和冶炼中期,根据转炉冶炼情况,选则适当的辅料加入量以及合适的氧枪操作抢位。

参考文献

1. 李怀明,王成勇. 我国重轨质量现状与发展[J]. 冶金标准化与质量. 1998,2.
2. 赵爱军,张建勇. 包钢钢轨生产工艺与质量控制[J]. 包钢科技. 2000,3.
3. Wei Wu, Liu Liu. Application of Al-free deoxidizer in rail steel manufacture[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2008,5(15):534.
4. 梅东生,徐权. 攀钢高速铁路钢轨开发[C]. 中国金属学会第一届青年学术年会论文集,2002.
5. Li Guijun, Zhang Kaijian. SMART/ASTC dynamic soft reduction technology and its application on the bloom continuous caster at Pangang [J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2006,2(13):121.
6. Chen Yong, Li Guijun. Dynamic Soft Reduction for Continuously Cast Rail Bloom[J]. Journal of Iron and Steel Research. 2007,14(5):13-17.
7. 吉玉,袁伟霞,易卫东等. 连铸重轨钢的生产工艺及产品性能[J]. 炼钢,2003,5.
8. 王林. 攀钢轨梁厂质量控制对策研究[C]. 学位论文:四川,四川大学,2003.
9. 黄道鑫. 提钒炼钢[M]. 北京:冶金工业出版社,2000:191~204.
10. 陈家祥. 钢铁冶金学[M]. 北京:冶金工业出版社,1990:159~175.

简讯

华菱湘钢高炉干法除尘改造完工

近日,华菱集团湘钢公司 2580 立方米新 2 号高炉完成技术改造顺利出铁,同期配套建设的干法除尘装置也投入使用,使湘钢除尘技术水平得到显著提升。

统计数据显示,相同容积但采用湿法除尘的湘钢 1 号高炉煤气含尘量 ≤ 9 毫克/标准立方米,而采用干法除尘的 2 号高炉煤气含尘量 ≤ 5 毫克/标准立方米。由于湿法除尘采用喷水冷却、压差除尘,损失了煤气中的一部分热能和压力能,对高炉煤气余压透平发电装置的发电量有一定影响。1 号高炉余压透平发电装置正常发电量为 24 万千瓦时/天;2 号高炉则达到 31 万千瓦时/天,每天可多创效益 3.5 万元。