

唐钢长材部转炉出钢口 提寿生产实践

Production Practice of Improving Service Life at Tapping Hole of Converter in Long Product Department of Tangshan Iron and Steel Company

供稿|张福利, 张文祥, 柳晓辉, 李超, 王子然, 高赛, 孟成 / ZHANG Fuli, ZHANG Wenxiang,
LIU Xiaohui, LI Chao, WANG Ziran, GAO Sai, MENG Cheng

内 容 导 读

出钢时间是影响转炉生产效率和生产成本的重要因素, 过长的出钢时间, 不仅占用了时间资源, 降低生产效率, 而且使得转炉内钢水和钢包温度损失加大、出钢口侵蚀加剧、出钢口寿命降低、能源消耗增加。2023 年以前, 唐山钢铁公司长材事业部受到转炉出钢温度偏高、钢水氧化性强等不利因素影响, 转炉出钢口寿命平均 180 炉, 平均更换时间长达 40 min 左右, 限制了转炉作业率的进一步提高。本文详细介绍了唐山钢铁公司 100 t 转炉出钢口优化的具体措施, 实践表明, 通过优化出钢口孔设计、缩短出钢口寿命前期的出钢时间、终点高拉碳、出钢口制作工艺等操作, 可以降低出钢温度且降低终点氧质量分数至 0.035%, 出钢口寿命提升至 350 炉以上, 经济效益良好。

转炉冶炼周期是控制炼钢整体生产效率的重要环节, 缩短转炉冶炼周期, 可以加快生产节奏、提高炼钢产量^[1], 2021 年上半年, 山东日照钢铁转炉出钢口平均寿命已达到 325 炉^[2], 石家庄敬业钢铁通过降低出钢温度和提高出钢口砖理化指标, 出钢口寿命已达到 400 炉, 而唐钢出钢口平均寿命仅 180 炉, 差距较大, 限制了转炉作业率的进一步提高。

唐山钢铁公司长材事业部有 3 座 100 t 氧气顶吹转炉。其中 1[#]、2[#]炉使用挡渣锥挡渣, 出钢口为直

筒型; 3[#]炉采用直径 140 mm 滑板挡渣, 出钢口为 140~160 mm 锥筒型。转炉出钢口受冶炼过程中炉内气体和炉渣的冲刷、氧化, 以及出钢过程中高温钢水和钢渣的冲刷、钢水氧化浸蚀, 工作条件十分恶劣。目前 3 座转炉出钢温度为 1655~1670 ℃, 出钢量为 115~120 t, 出钢口使用寿命≤200 炉, 耐材成本高, 生产效率低。

出钢口损坏机理和应对措施

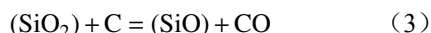
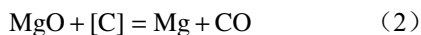
转炉出钢口的损坏过程主要分为 3 个阶段: 首

作者单位: 河钢集团唐钢公司, 河北 唐山 063611

先, 镁碳工作层中的碳元素在高温、渣中氧化铁和自身镁碳工作层中的镁元素等作用下, 发生氧化反应导致耐材结构疏松; 其次, 结构疏松的工作层表面被高速流动的钢液冲刷, 导致出钢口局部侵蚀; 最后, 钢渣对出钢口中镁砂的熔蚀及热剥落也会对出钢口造成损坏。

提高镁碳质出钢口的使用寿命, 必须提高出钢口材料的抗氧化性能和致密度, 使用过程中减缓石墨被氧化的速率, 同时加强日常维护。

高温条件下, 钢水出钢时发生的反应如式(1)~(3)所示:



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变得疏松, 导致强度变差。当炉渣碱度或者渣中 MgO 质量分数低时, 发生式(3)反应, 同样会加剧出钢口侵蚀, 因此降低钢水及炉渣的氧化性, 可以降低出钢过程的侵蚀, 有利于出钢口使用寿命的延长。

根据氧的饱和溶解度与温度的关系式, 如式(4)所示: 随着转炉终点温度升高, 钢中氧的质量分数上升。转炉出钢温度每提高 1℃, 终点氧质量分数增加约 3.27×10^{-6} 。终渣 FeO 的质量分数每增加 1%, 终点氧质量分数增加 10.92×10^{-6} , 因此, 降低转炉出钢温度和终渣 FeO 质量分数是降低钢水和炉渣氧化性的有效途径。

$$\lg[w(\text{O})] = -6320/T + 2.734 \quad (4)$$

式中: T 为出钢温度, ℃; $w(\text{O})$ 为氧质量分数, %。

转炉高拉碳操作提高终点碳质量分数

长材事业部建筑用钢量占总产量的 70% 以上, 产品结构主要以抗震螺纹钢筋为主。成品碳质量分数目标为 0.200%~0.230%, 配合合金强化保证性能满足要求, 目前终点碳平均质量分数为 0.055%, 终点温度 1665~1670℃。

目前终点 C-O 积波动范围为 (0.0026~0.0032), 通过理论测算提高转炉终点碳质量分数后, 钢中氧

质量分数大幅降低, 与之成正比例关系的渣中 FeO 质量分数降低^[3], 根据氧化脱磷反应式(5)所示。渣中 FeO 质量分数降低将会造成终点磷质量分数的上升。实现高拉碳操作的前提是保证转炉脱磷能力达到要求, 制定铁水成分要求见表 1。

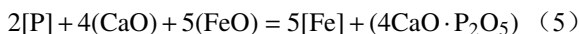


表 1 铁水杂质成分 (质量分数)

参数	Si	Mn	P	S
平均	0.35	0.11	0.122	0.035
波动范围	0.20~0.50	0.05~0.20	0.100~0.135	0.025~0.050

目前我部铁水条件较为稳定, 铁水磷平均质量分数为 0.122%, 对高拉碳操作十分有利。具体操作如下:

1) 合理配比废钢, 以铁矿石作为冷料进行温度调节, 并作为化渣剂调整炉渣的流动性。

2) 保证枪位控制: 前期“早化渣、化好渣”, 中期控制“返干”, 后期炉渣化透。禁止过度化渣, 减少喷溅与烟尘产生的钢铁料损失, 使吹炼过程均匀升温。

3) 起枪时机控制在模型计算耗氧量 80~100 m³ 范围内, 终点压枪时间不低于 25 s。

2023 年 3 月份, 长材部组织进行高拉碳实验, 对比高拉碳实验炉次和全部炉次转炉终点渣成分见表 2。由表 2 可知, 实验高拉碳炉次终点渣的 FeO 质量分数为 16.91%, 明显低于全部炉次的 21.91%。

表 2 实验前后炉渣数据

项目	炉渣成分质量分数/%				碱度
	MgO	MnO	Fe	FeO	
实验炉次	9.00	1.59	16.44	16.91	3.27
全部炉次	7.95	1.80	17.13	21.91	3.41

高拉碳操作实验前平均终点碳质量分数 0.060%, 实验后为 0.0748%, 钢铁料消耗从实验前的 1039.45 kg/t 降低至 1037.36 kg/t。

针对高拉碳试验生产数据, 排除物料采集错误、精炼炉次、数据缺失等异常数据, 计算每一炉次生产加入含铁物料及辅料的综合成本, 综合成本与终点碳质量分数关系曲线见图 1。通过对钢铁料、

辅料、合金料的综合成本计算发现,冶炼成本随着终点碳质量分数的变化趋势先降低后升高。在终点碳质量分数为 0.08% 的时候达到最低。

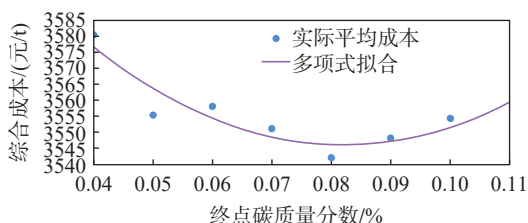


图1 不同终点碳质量分数条件下的综合成本关系

统计 2023 年 1—3 月份螺纹钢终点碳和渣中 FeO 质量分数对应关系,如图 2 所示。由图 1~2 可知,当终点碳质量分数过低时,渣中 FeO 质量分数较高,钢铁料消耗提高,且钢水氧化性强,导致合金吸收率降低,引发成本升高;当终点碳质量分数过高时,渣中 FeO 质量分数低,炉渣流动性差,渣中包含的铁珠量显著提高,同样会导致钢铁料消耗提高,引发成本升高。考虑终点碳质量分数 0.08% 的时候达到最低平均成本,最终确定高拉碳目标为 0.07%~0.09%。

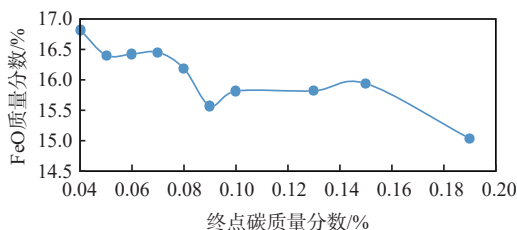


图2 不同终点碳质量分数下渣中 FeO 变化趋势

通过缩小班组差异,提高岗位高拉碳起枪时机熟练度,稳定高拉碳操作合格(0.07%~0.09%)比例至 85%,终点温度稳定在 1660℃ 以下,终点氧质量分数由 0.055% 降低至 0.035%,减轻了钢水和炉渣对出钢口的侵蚀,为提高出钢口寿命创造了条件。

出钢口扩径降低出钢温度

降低出钢口生命周期前期的出钢时间对温降有一定作用,可降低出钢温度 5~8℃,通过钢口扩径,可缩短出钢时间,极大地减轻高温钢水对出钢口内壁的氧化侵蚀和机械冲刷。

通过更换大孔径出钢口,缩短转炉出钢时间,

降低终点温度^[4]。1#、2#转炉为直筒型出钢口,将出钢口内径由 155 扩大至 160 mm,提高瞬时过钢量,理论可行。

出钢口扩径实验效果

在 1#和 2#炉使用 160 mm 出钢口时,20 炉之前出钢时间差很明显,普遍在 1.5 min 以上,20 炉之后出钢时间差逐步缩小,100 炉以后逐渐持平。整体出钢时间较出钢口内径为 155 mm 时的平均出钢时间缩短 0.35 min,符合降低出钢口寿命前期出钢时间。140~170 mm 大口径出钢口在 3#炉安装使用,45 炉之前出钢时间差很明显,普遍在 1.0~1.5 min,50 炉之后出钢时间差逐步缩小且逐渐持平。其原因是出钢口炉内端随着出钢次数增加,侵蚀与积渣加重,所以中后期出钢时间曲线斜率无较大波动,整体较出钢口内径为 140~160 mm 平均出钢时间缩短 0.21 min。

扩径实验对回磷量影响

制作箱线图统计钢口扩径实验前后出钢口回磷量(质量分数),如图 3 所示。扩径后出钢口平均回磷量为 0.00403%,普通出钢口回磷量为 0.00402%,回磷量基本相当。

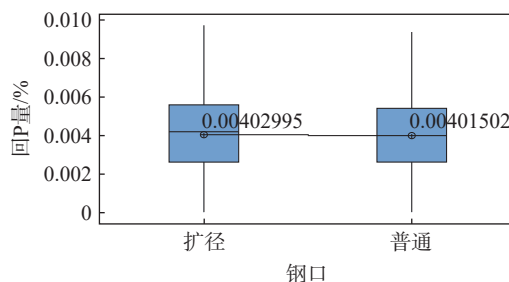


图3 扩径钢口与普通出钢口钢水回磷量(质量分数)对比

转炉出钢口制作工艺优化

与耐材承包厂家合作,改进长寿命出钢口生产工艺:主要原料由纯度 95% 的普通镁砂和普通石墨更换为高纯度大结晶镁砂和高纯石墨(牌号 MT-14A),通过结合剂+外加剂进行泥料制备,将以前的大吨位 1000 t 压机成型优化为 1500 t 压机成型,并配合沥青浸渍工艺。生产工艺流程改进后,出钢口工艺性能提高,参数对比见表 3。

表3 出钢口改进工艺与常规工艺对比

工艺	质量分数/%		气孔率/%	体积密度/(g/cm ³)	耐压强度/MPa
	MgO	C			
常规	80.35	14.54	2.38	2.97	40.38
浸渍工艺	81.63	15.47	0.42	2.99	54.15

采用沥青浸渍工艺后出钢口气孔率大幅降低,耐压强度明显提升,有效缓解了使用过程中的磨损,进一步提高了抗化学侵蚀性能。改进后出钢口套砖具有更好的耐高温腐蚀性、高温耐压强度和更高的抗氧化能力。

转炉出钢口维护机制

1) 与耐材承包厂家合作,研究分析转炉炉渣的成分、模拟不同材质耐材的耐渣侵蚀特性,开发了氧化镁质量分数高、流动性好、粒度细的新型出钢口填料,确保出钢口座砖与套砖间隙能够填实、烧结均匀,成分如表4所示。

表4 出钢口填充料主要成分(质量分数) %

Mg	SiO ₂	Cr ₂ O ₃
≥91	≤4.0	≥3.5

2) 目前3[#]转炉出钢口1号砖内为弧度结构,碗砖连接出钢口和内水口。转炉在更换内水口时,要求每更换3次内水口需要更换碗砖1次,延长出钢口使用寿命,保证不发生转炉刺钢等事故。

3) 出钢口在使用过程中周围会有凹坑,控钢时间将会延长,导致出钢口的使用寿命缩短,通过手投、喷补等措施及时修补出钢口周围凹坑,保证出钢过程中钢流不散流,进一步提高出钢口维护效果。

效益测算及推广

实施前,3座转炉出钢口平均使用寿命为180炉次,每月3座转炉更换出钢口总次数为10次。通过终点高拉碳操作降低终点温度、氧和渣中Fe质量分数以及出钢口扩径工艺变更缩短出钢口寿命前期出钢时间等措施,目前3[#]转炉出钢口寿命最高达到470炉次,3座转炉综合平均寿命达到380炉,同比

提高110%(实施前平均寿命180炉),可每月减少出钢口更换次数5次,节约时间200 min。目前事业部每炉钢生产周期平均30 min左右,按平均每炉出钢量为115 t计算,节约的更换出钢口时间可多出产量766.67 t,按吨钢盈利200元计算,每年可创增效184.00万元。

结束语

采用高拉碳工艺后,终点温度和氧位降低,炉渣氧化性降低,减少对出钢口的侵蚀,终点碳质量分数0.08%的时候达到最低平均成本,通过生产跟踪平衡班组差异,整体完成情况提高明显;通过出钢口扩径及优化出钢口制作工艺,不仅减轻了高温钢水对出钢口内壁的氧化侵蚀和机械冲刷,而且进一步降低了转炉出钢温度,保证了生产制造过程中能量流的协调、稳定、有序运行;通过整体措施的实施,预计每年可增效184.00万元。

参考文献

- [1] 薛强,张贺君,贾军艳,等.150 t转炉缩短冶炼周期的生产实践.金属世界,2023(2):56
- [2] 鲍生科.日钢120吨转炉出钢口工艺参数改进研究.现代商贸工业,2011,23(20):265
- [3] 王建,甘国建,刘新,等.转炉出钢口长寿化与挡渣出钢.钢铁钒钛,2001(3):64
- [4] 戴文阁,李云秀,龙腾春.现代转炉炼钢.沈阳:东北大学出版社,1998

作者简介:张福利(1995—),男,内蒙古赤峰市人,炼钢技术员。2018年毕业于华北理工大学冶金工程专业,主要研究方向:微合金化技术、转炉精炼新工艺;多次组织唐钢公司QC课题等。通信地址:河北省唐山市路南区。E-mail:1613943053@qq.com。