

影响抗酸管线钢钢包自开率因素的分析和改进工艺实践

李永生 蒋海涛 秦登平 石锦雄 危尚好

(首秦金属材料有限公司炼钢部, 秦皇岛 066000)

摘要 抗酸管线钢 API X65 ($\% : \leq 0.045C, 0.15 \sim 0.35Si, 1.50 \sim 1.65Mn, \leq 0.008P, \leq 0.0012S, 0.02 \sim 0.06Al, 0.45 \sim 0.65Nb, 0.01 \sim 0.025Ti$) 由脱硫铁水-100 t 顶底复吹转炉-LF-RH-板坯 CC 流程冶炼。分析了引流砂质量(石墨含量 0.22% ~ 0.86%), 钢包钢水停留时间($< 180 \sim > 270$ min), LF 精炼温度($< 1620 \sim 1690$ °C) 出钢口垂直度, 钢包上水口寿命(2 ~ 28 次) 对自开率影响。结果表明, 引流砂中石墨含量低, 钢包钢水停留时间长, LF 精炼温度高, 出钢口和钢流偏移, 钢包上水口使用次数少, 则钢包自开率低。通过稳定相关工艺因素, 控制引流砂中石墨含量 $\geq 0.8\%$, LF 钢水停留时间 180 ~ 240 min, LF 终点温度 ≤ 1640 °C 等工艺参数, 使抗酸钢的钢包自开率由 84.52% 提高到 97.47%。

关键词 抗酸管线钢 API X65 引流砂 100 t 钢包自开率 LF 精炼

Analysis of Influence Factor on Ladle Free-Opening Rate with Acid-Resistant Pipe Line Steel and Practice of Improvement Process

Li Yongsheng, Jiang Haitao, Qin Dengping, Shi Jinxiong and Wei Shanghao
(Steelmaking Department, Shouqin Metal Material Co Ltd, Qinhuangdao 066000)

Abstract The acid-resistant pipe line steel API X65 ($\% : \leq 0.045C, 0.15 \sim 0.35Si, 1.50 \sim 1.65Mn, \leq 0.008P, \leq 0.0012S, 0.02 \sim 0.06Al, 0.45 \sim 0.65Nb, 0.01 \sim 0.025Ti$) is melt by desulphurized metal-100 t top and bottom combined blowing Converter-LF-RH-slab CC flow sheet. The effect of process parameters including drainage sand quality (graphite content 0.22% ~ 0.86%), residence time of molten steel in ladle ($< 180 \sim > 270$ min), LF refining temperature ($< 1620 \sim 1690$ °C), tap hole perpendicularity and ladle upper nozzle service life (2 ~ 28 times) on ladle free-opening rate has been analyzed. Results show that with lower graphite content in drainage sand, longer residence time of molten steel in ladle, higher LF refining temperature, tap nozzle and stream shifting, less service times of ladle upper nozzle, the ladle free-opening rate is lower. By stabilizing relative technology factors, controlling the process parameters including graphite content in drainage sand $\geq 0.8\%$, residence time of molten steel in ladle 180 ~ 240 min and LF end liquid temperature ≤ 1640 °C the free-opening rate of ladle with acid resistant steel increases from 84.52% to 97.47%.

Material Index Acid-Resistant Pipe-Line Steel API X65, Drainage Sand, 100 t Ladle Free-Opening Rate, LF Refining

钢包钢水自动开浇就是滑板拉开后引流砂自动从水口中流出, 钢液静压力将引流剂烧结层压破后钢水从水口中自然流出。如果水口不能自动打开, 就要用烧氧的方法引流, 这样会给钢液带来污染而影响钢的质量。秦皇岛首秦金属材料有限公司(首秦公司) 现有 3 座 100 t 颗粒镁铁水脱硫, 3 座 100 t 顶底复吹转炉, 2 座双工位 100 t LF, 1 座双工位 100 t RH, 3 台单机单流常规断面(mm) 为 220 × 1800、250 × 2000、400 × 2400 的板坯连铸机。由于首秦公司抗酸管线钢成品成分为: $[C] \leq 0.045\%$, $[P] \leq 0.008\%$, $[S] \leq 0.0012\%$ ^[1]; 属于低碳、低硫的特点, 同时转炉出钢后到连铸开浇间隔周期较普通钢种长 2 倍多, 使得影响钢包自开的条件更加苛刻。普通管线钢和抗酸管线钢成分对比如表 1 所示。

1 影响钢包自开的原因分析

钢包内引流砂的工作原理与生产实践表明, 引流砂质量、钢水温度、钢水在钢包内的停留时间(在站时间)、钢包水口状况、钢包及水口的清洁程度、出钢钢流的角度及投砂操作因素等都影响钢包自开率^[2-3]。

1.1 引流砂质量

首秦公司自开发抗酸钢以来一直使用原有的普

表 1 普通管线钢 X70 和抗酸管线钢 API X65 的化学成分 / %
Table 1 Chemical composition of common pipe-line steel X70 and acid-resistant pipe-line steel API X65 / %

钢种	C	Si	Mn	P	S	Alt	Nb	Ti
X70	0.06 ~ 0.08	0.15 ~ 0.30	1.50 ~ 1.70	≤ 0.018	≤ 0.004	0.02 ~ 0.06	0.05 ~ 0.07	0.01 ~ 0.025
API X65	≤ 0.045	0.15 ~ 0.35	1.50 ~ 1.65	≤ 0.008	≤ 0.0012	0.02 ~ 0.06	0.45 ~ 0.65	0.01 ~ 0.025

通管线钢使用的铬质引流砂,钢包自开率为 86.79%~87.95%,2013 年 4 月开始使用新批次引流砂,该月钢包自开率降至 30.00%,并将该批次引流砂进行检验,发现石墨 C 含量低于供货标准,石墨含量的减少使得引流砂流动性变差。

1.2 钢水在钢包内停留时间和 LF 出站温度

由表 2 可见,随着在站停留时间的延长,自开率呈现逐渐下降趋势,且当在站时间超过 270 min 时,自开率最低。在站时间的延长,使引流砂烧结层增厚,强度增加,钢包自开的条件恶化。

由表 2 还可以看出,随着温度的上升,钢包自开率基本呈下降趋势。

1.3 不同炉座自开率情况

由表 3 可以看到不同炉座的自开率的差别很大。通过生产现场反复观察,发现 P 号炉的钢流向东偏移了一定的角度,而 N、Q 号炉的钢流是垂直的。通过现场观察和计算,这个角度正好使钢流直

接冲击到引流砂投放的位置。引流砂被冲走了一部分,破坏了引流砂原来的“馒头”形状,使烧结层从水口座砖颈部开始,烧结层直径变小,导致了不自开的发生。

1.4 不同投砂时段的比较

由表 3 可见,夜班投砂的自开率最低,相对的钢水在站时间夜班居中且与白班中班差别不大。夜班生产时现场照明及人的身体状态、精神状态都是不利条件,可见投砂操作、上包工人对水口清理、钢包内残钢残渣的清理等操作对自开率也是有影响的。

1.5 钢包上水口使用次数

由表 4 可见,随着钢包上水口使用次数的增加,自开率呈现上升趋势。钢包上水口在使用过程中受到钢水的冲刷,其直径不断扩大,对钢包自开是有利的。

2 改进措施及效果

2.1 改进引流砂材质

为避免引流砂与水口内壁间的附着力增加,产生的“架桥”现象,在原铬矿砂与石英砂的基础上添加陶粒球,并适当提高石墨的加入量,增大引流砂的流动性^[4-5]。并优化了颗粒级配,开发了 4 种引流砂进行工业试验(表 5)。确定适用于抗酸钢的引流砂为石墨 C 含量在 0.8% 以上,铬矿砂加陶粒配方的 A2 引流砂。同时将引流砂的粒度分布确定为 0.5~1.5 mm 的颗粒控制在 70%~75%,小于 0.5 mm 的颗粒控制在 25%~30%,避免大于 1.5 mm 的颗粒存在。改进前后引流砂参数如表 6。

2.2 建立引流砂适应性自学习模型

通过建立的引流砂自学习模型得出其数据表(如表 7),作为引流砂的配方调整的依据。该模型不但能为每类钢种引流砂配方调整提供依据,还可监控供应商供应引流砂质量的稳定性,作为引流砂是否投入生产使用的依据。

2.3 压缩钢水在钢包内停留时间

通过加强管理,工艺优化,压缩 RH 周期。同时严格控制铁水脱硫效果,降低 LF 任务,压缩 LF 处理时间。并适当降低连浇炉数,使钢水在站时间控制在 240 min 以内,平均在站时间控制在 210 min。

2.4 降低 LF 处理温度

开发 LF 温度预测模型,控制 LF 处理过程中出现超过 1 620 °C 的高温,可将 LF 纯升温操作移到 LF 处理结束前 10 min,尽量减少钢水高温在钢包内停留时间。合理安排 RH 炉涮真空室时机,降低浇次前两炉 RH 温度损耗,使 LF 处理结束温度不超过

表 2 钢水在站时间与精炼温度对钢包自开率的影响

Table 2 Effect of molten steel residence time in ladle and refining temperature on ladle free-opening rate

在站时间/ min	炉数			LF 钢水 温度/°C	炉数			自开率/ %
	冶炼	自开	自开率/ %		冶炼	自开	自开率/ %	
<180	62	59	95.16	<1 620	21	21	100.00	
180~210	89	82	92.13	1 620~1 640	119	106	89.08	
210~240	57	46	80.70	1 640~1 660	84	67	79.76	
240~270	39	31	79.49	1 660~1 680	61	52	85.25	
>270	36	24	66.67	1 680~1 690	7	4	57.14	

表 3 钢流偏移和投砂操作对钢包自开率的影响

Table 3 Effect of tap-hole perpendicularity and drainage sand operation on ladle free-opening rate

炉座 (钢流方向)	炉数			自开 率/%	在站时 间/min	炉数			自开 率/%	在站时 间/min
	冶炼	自开	自开率/%			冶炼	自开	自开率/%		
N(垂直)	99	90	90.91	217	白班	106	96	90.57	219	
P(偏移)	100	79	79.00	222	中班	66	59	89.39	236	
Q(垂直)	95	84	88.42	221	夜班	118	92	77.97	228	

表 4 钢包上水口寿命对自开率的影响

Table 4 Effect of ladle up-nozzle life on ladle free-opening rate

上水口次数	炉数		自开率/ %	在站时间/ min
	冶炼	自开		
3~5	24	18	75.00	223
6~10	33	28	84.85	220
11~15	36	31	86.11	232
16~20	22	19	86.36	239
21~25	16	16	100.00	220
26~28	4	4	100.00	206

表5 工业试验引流砂石墨含量对钢包自开率的影响

Table 5 Effect of graphite content in drainage sand on ladle free-opening rate in commercial pilot production

样号	化学组成/%						粒度分布/%			自开率/%
	TFe	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	C	< 0.5 mm	0.5 ~ 1.5 mm	> 1.5 mm	
A1	10.8	26.1	5.2	27.6	22.5	0.54	18.52	80.82	0.62	66
A2	12.1	21.5	5.9	24.6	25.8	0.86	26.01	73.35	0	100
B1	7.2	46.5	3.5	22.4	13.2	0.82	26.18	73.82	0.61	97.80
B2	6.7	47.8	2.9	26.5	11.4	0.22	26.58	73.42	0	50

表6 抗酸钢专用引流砂与原普通管线钢用引流砂的化学组成和粒度分布
Table 6 Ingredient and size distribution of drainage sand of original drainage sand for common pipe-line steel and special drainage sand for acid-resistant pipe-line steel

参数	化学组成/%						粒度分布/%		
	TFe	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	C	< 0.5 mm	0.5 ~ 1.5 mm	> 1.5 mm
原普通管线钢	10.8	25.1	5.2	8	30.4	0.5	18.52	80.82	0.62
抗酸钢专用	12.1	21.5	5.9	24.6	25.8	0.86	26.01	73.35	0

表7 引流砂自学习模型数据表

Table 7 Relative index of drainage sand got by self-taught model

批次	化学组成/%				粒度分布/%			生产炉数	钢种	自开率/%
	SiO ₂	Cr ₂ O ₃	C	H ₂ O	< 0.5 mm	0.5 ~ 1.0 mm	1.0 ~ 1.5 mm			
J0517	26.16	22.5	0.54	0.02	18.50	80.80	0.60	18	A	50
J0531	21.59	25.83	0.86	0.01	26.00	73.40	0.60	198	B	98.5
T0605	46.56	13.23	0.82	0.05	26.60	73.40	0	11	A	100
T0705	43.24	13.23	0.85	0.04	26.40	73.60	0			

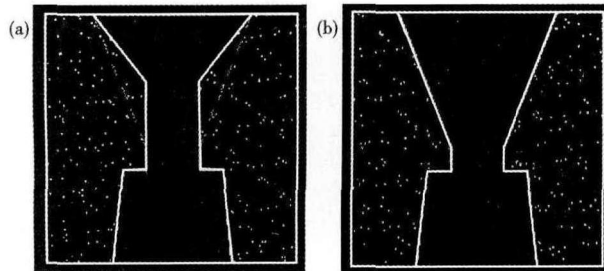


图1 水口座砖改进前(a)后(b)结构示意图

Fig.1 Schematics of structure of nozzle pocket block before (a) and after (b) improvement

1 640 ℃。

2.5 加强出钢口对中

更换出钢口时,通过测量出钢孔中心线与出钢口盖板边沿的距离进行对中操作,避免出钢口角度偏移,使角度偏离不能超过5°。

2.6 增大引流砂烧结层直径

在冶炼抗酸钢钢包选择上,严禁使用水口寿命在5次以下的,优先使用水口寿命在20~25次的。同时改进水口座砖,使用喇叭口状座砖,如图1所

示,缩短水口座砖颈部长度,增大喇叭口深度,利于增大引流砂烧结层的直径。

2.7 操作方面的改进

加强对操作工的培训,强调水口和钢包清洁的重要性^[3]。并将供给抗酸钢的钢包,在水口清理和包内残钢残渣清理后拍照记录。将自开率指标纳入班组 KPI 指标考核体系中,提高操作人员的积极性。

2.8 效果

2013年6月18日生产6炉抗酸钢,这个浇次使用的引流砂是中A2配方引流砂,冶炼过程顺畅,平均钢水停留时间210 min,自开率100%。8月到11月生产的抗酸钢自开率为97.47%。抗酸钢钢包自开率的提高,提高了钢坯的合格率、降低冶炼成本、降低钢中夹杂物同时还降低了工人的劳动强度,取得良好的经济效益和社会效益。

3 结论

(1)适用于抗酸钢的引流砂为石墨C含量在0.8%以上,铬矿砂加陶粒配方的引流砂。通过自学习模型,监控引流砂质量稳定性,预判引流砂适应性。

(2)通过合理有序的组织生产,适当降低连浇炉数,使得在站时间控制在180~240 min;更换出钢口时进行对中操作,避免出钢口偏移;开发LF温度预测模型,使LF结束温度≤1 640 ℃,采取以上工艺措施,使抗酸钢的钢包自开率由84.52%提高到97.47%。

参考文献

- [1] 李占军,刘金刚,郝宁,等. X65 抗酸管线钢冶炼生产实践[J]. 炼钢,2013,29(5):1-3.
- [2] 苏春阳,潘明旭,鲍家琳,等. 钢包自开率的影响因素及改善措施[J]. 特殊钢,2012,33(4):26-28.
- [3] 王光进,李新民,潘艳华,等. 提高82B连铸钢包滑动水口自开率的实践[J]. 炼钢,2007,23(3):24-26.
- [4] 刘峰,刘志强,赵惠忠,等. 引流砂含水量对钢包自动开浇率的影响[J]. 耐火材料,2011,45(2):112-114.
- [5] 祝洪喜,邓承继,白晨,等. 钢包用引流材料的流动性性能与烧结性能[J]. 武汉科技大学学报,2007,30(6):592-594.

李永生(1980-),男,硕士(燕山大学),工程师,2004年内蒙古科技大学(本科)毕业,转炉炼钢工艺和品种钢开发。

E-mail:82684516@qq.com

收稿日期:2014-06-20