

120 t 转炉流程管线钢 X70 的生产实践

秦 军

(宝钢集团新疆八钢股份公司第二炼钢厂, 乌鲁木齐 830022)

摘 要 X70 管线钢(% : 0.02 ~ 0.05C, 0.145 ~ 0.25Si, ≤ 0.015P, ≤ 0.002S, 1.70 ~ 1.80Mn, 0.085 ~ 0.15Nb, 0.2 ~ 0.3Ni, 0.015 ~ 0.040Al, 0.01 ~ 0.03Ti) 用铁水预处理-120 t 转炉-RH-LF-(200 ~ 250) mm × (900 ~ 1 800) mm 连铸工艺冶炼。通过金属锰替代低碳锰铁和部分硅锰合金, 减少 RH 处理后钢水增碳, 控制 LF 精炼时钢水增 C 量 ≤ 0.01%, 预处理铁水[S] ≤ 0.002%, LF 精炼渣碱度控制在 1.5 左右, 使 LF 初始[C] 为 0.03%, 初始[S] 为 0.001 5%, 终点[C] 为 0.04%, 终点[S] 为 0.000 8%, 满足了使用要求。

关键词 X70 管线钢 120 t 转炉 RH LF 连铸

Practice of X70 Pipe Line Steel Production by 120 t Converter Flow Sheet

Qin Jun

(No2 Steelmaking Plant, Xinjiang Bagang Co Ltd, Wulumuqi 830022)

Abstract The X70 pipe line steel (% : 0.02 ~ 0.05C, 0.145 ~ 0.25Si, ≤ 0.015P, ≤ 0.002S, 1.70 ~ 1.80Mn, 0.085 ~ 0.15Nb, 0.2 ~ 0.3Ni, 0.015 ~ 0.040Al, 0.01 ~ 0.03Ti) is produced by hot metal pretreatment - 120 t converter - RH - LF - (200 ~ 250) mm × (900 ~ 1 800) mm slab concasting process. With metal manganese to replace low-carbon ferro-manganese and partial silico-manganese to decrease carbon pickup amount in liquid after RH treatment, controlling LF liquid carbon pickup amount ≤ 0.01%, controlling pretreated hot metal [S] ≤ 0.002% and basicity of LF refining slag being about 1.5, the LF initial [C] and [S] are respectively 0.03% and 0.001 5%, and the LF end [C] and [S] are respectively 0.04% and 0.000 8%, to meet the requirement of service.

Material Index X70 Pipe Line Steel, 120 t Converter, RH, LF, Concasting

1 工艺参数

1.1 转炉

转炉公称容量: 3 × 120 t 转炉; 料型结构: 82% 脱硫铁水 + 9% 废钢 + 9% 生铁; 冶炼周期: 35 ~ 42 min; 铁水碳含量: 4.5% ~ 5.6%。

1.2 钢包精炼炉

LF 平均处理量(公称): 120 t; 钢包净空高度(120 t, 新村): 862 mm; 钢包高度(内): 3 930 mm; 钢包有效容积: 18 m³; 电极直径 450 mm; 通常加热速度: 4 °C/min。

1.3 RH-BTB(BTB-Baosteel Top Blowing)

钢包升降行程 2 500 mm; 真空槽内径 1 700 mm; 真空槽高度 8 400 mm(浸渍管到槽口法兰); 浸渍管内径(带衬) 500 mm; 浸渍管高度 900 mm; 顶枪的 4 个主要工作工位为: 吹氧位、烧咀加热位、槽外待机位、槽内待机位; 氧气压力 0.9 ~ 1.0 MPa; 氧气流量 Max: 2 000 m³/h(顶吹时), Max: 600 m³/h(加热时); 焦炉煤气流量 Max: 600 m³/h; 标准钢水处理量 105 ~ 135 t。

1.4 连铸机

机型: 1 机 1 流直弧型板坯连铸机(7 点弯曲、6 点矫直), 带动态轻压下技术; 铸机基本半径: R9 m; 铸机垂直段高度 2.59 m; 冶金长度 32.389 m; 浇铸断面: (200, 220, 250) mm × (900 ~ 1 800) mm; 振动方式: 液压振动。

2 成分控制要点分析

管线钢 X70 的成分范围见表 1。

表 1 管线钢 X70 的成分控制范围/%

C	Si	Mn	P	S	Nb	Ni	Al	Ti
0.02 ~ 0.05	0.145 ~ 0.25	1.70 ~ 1.80	≤ 0.015	≤ 0.002	0.085 ~ 0.15	0.2 ~ 0.3	0.015 ~ 0.04	0.01 ~ 0.03

2.1 碳的控制

碳宜控制在目标下限。LF 处理前的 [C] ≤ 0.02%, 显然冶炼 X70 的工艺路线只能采用 DS(铁水脱硫) + LD + RH + LF + CCM 的工艺路线。

如考虑增碳压力, 转炉出钢时控制 [C] ≤ 0.045% 时, 钢中的自由氧的含量将会大幅度增加,

钢渣粘度降低,出钢下渣的几率增加,钢液的脱氧和脱硫的操作成本增加,不利于低成本大批量冶炼;如采用经过 RH 进行脱碳处理,转炉出钢的碳含量可控制在 0.06%~0.08%,RH 处理以后,钢水的碳含量可控制在 0.02%~0.03%。

实践证明,金属锰使用量比低碳锰铁的使用量每炉减少 400~600 kg,不仅合金成本消耗明显降低,并且由合金带入钢包的杂质和有害元素的量大幅度的减少,表 2 是金属锰和低碳锰铁的成分和使用成本的对比。

表 2 金属锰和低碳锰铁的成分和成本

Table 2 Chemical composition and cost of metal manganese and low-carbon ferro-manganese

合金	成分/%				价格/ (元·t ⁻¹)
	C	P	S	Mn	
金属锰	0.06	0.021	0.043	96.24	15 800
低碳锰铁	0.15	0.018	0.019	80.00	11 095

由表 2 可知,使用 831 kg 的金属锰相当于 1 t 低碳锰铁,通过计算,单纯低碳锰铁配锰的使用成本,加上使用低碳锰铁后需要 RH 的脱碳操作工序成本,远大于使用金属锰配锰的使用成本,计算结果是每炉钢(按 115 t 钢水量计算)使用 600 kg 的金属锰,可以降低工序成本 600 元。

2.1.1 转炉

转炉终点[C]规定在 0.04%~0.080%,出钢使用一部分的低碳锰铁进行粗脱氧,防止出钢过程中的钢水沸腾,出钢温度 1 650~1 680 ℃,防止有难熔废钢没有熔化在出钢过程中造成钢液量的不足,影响 RH 处理的效果,以及碳含量不稳定增加 RH 处理时间。

2.1.2 RH 处理

钢水到达 RH 时,[C]>0.05%,T[O]≤263×10⁻⁶,必须进行 RH-BTB 的强制脱碳模式进行吹氧脱碳,吹氧量的计算过程根据钢中碳脱氧的热力学方程进行^[1]:

$$[C] + [O] = CO$$

$$[C] \cdot [O] = \frac{P_{CO}}{P_{标准大气压} \times K}$$

式中:[C]-钢液中间碳的浓度;[O]-钢液中间氧的浓度; P_{CO} -真空室内 CO 气体的分压/Pa; K -平衡常数。

在钢水为 115 t 的条件下,计算的吹入 33 m³ 的氧气可脱 0.01% 的 [C],吹氧流量设定为 1 200 m³/h,吹氧的最佳时间选择在 RH 环流开始,环流量接近最大值时进行吹氧,吹氧量控制在 70 m³ 左右,进行强制脱碳,吹氧结束以后,继续降低真空度,进行 RH 冶炼过程中的自然降碳法,钢中碳含量最低达 140×10⁻⁶,环流过程中环流气流量减小为 60 m³/h,真空度控制为 6 000~8 000 Pa。脱碳结束后,真空度降至最低 138 Pa。当 [C]<0.04% 时,钢水中间的自由氧浓度 >400×10⁻⁶,采用自然降碳的方法,继续 RH 的自然降碳,实践证明,迅速能够实现较低的真空气度的条件下,钢水的自然降碳效果最明显,钢水的精炼过程中的温降也最小。

如果钢水到达 RH 的温度低于 1 580 ℃,强制脱碳结束后,又进行了 OB 升温,按 O₂/Al=1,加入 120 kg Al 并吹入 120 m³ 氧气进行 30 ℃ 升温,按照吹入的氧量分批加入铝,以防铝脱氧,影响脱碳效果。

2.1.3 LF 精炼

RH 结束以后,钢水到达 LF 以后的氧含量为 (160~185)×10⁻⁶。在钢水到 LF 站取样化验以后进行添加合金,以利于脱氧和夹杂物去除的操作^[2,3],炉渣采用碱度为 1.2~1.8 的钢渣精炼,该钢渣具有最大吸附夹杂物的能力,但是脱硫能力较弱。该钢渣的成分见表 3。

在 LF 处理过程中,非计划性增碳的增加值 [C] 为 0.015%~0.025%。采用吨钢 1.5 kg 的渣量进行控制,保证在升温期间,炉渣发泡的高度 (h) 必须大于最大电压下电弧长度的 1.5 倍,渣厚可由以下

$$公式确定: h = \frac{M}{\rho \cdot \pi \cdot R^2}$$

表 3 LF 精炼初始和结束的渣样成分和碱度 [R=(CaO-SiO₂)/Al₂O₃]Table 3 Slag sample ingredient and basicity [R=(CaO-SiO₂)/Al₂O₃] at initial and end refining in LF

冶炼号	成分/%								碱度(R)	
	CaO	SiO ₂	P ₂ O ₅	FeO	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	CaF ₂		
初渣	2924697	46.517	12.278 7	0.011 5	0.810 6	20.492 8	7.092 7	0.164 2	5.754 9	1.670 7
	2924699	50.143 5	7.071 4	0.064 5	0.735	38.207 7	0	0.369 5	4.509 2	1.127 3
	2924700	46.023 9	12.101 4	0.035 5	0.911 6	36.155 1	2.659	0.702 8	3.476 2	0.938 2
终渣	2924697	52.631 2	12.831 3	0.024	0.799 3	29.902 8	1.557 2	0.712 1	4.653 8	1.330 9
	2924699	51.253 5	6.692 7	0.052 7	0.332 9	38.688 9	0	0.061 8	6.187 6	1.151 7
	2924700	54.170 7	7.357 8	0.013 9	0.305 6	32.161 7	0	0.065 8	5.325 4	1.455 5

式中: $M = 0.015 \times$ 钢水量/ t ; ρ - 选择渣系的密度/ $(\text{kg} \cdot \text{mm}^{-3})$; R - 钢包渣线位置的包口半径/ cm 。并且冶炼过程中的氩气最大流量不超过 250 L/h 。

典型增碳量在 $0.012\% \sim 0.028\%$ 的精炼炉的冶炼过程中, 成分变化见表 4。

表 4 1 炉 X70 管线钢在 LF 精炼的初始成分和终点成分/ $\%$
Table 4 Initial and end analysis of one heat X70 pipe line steel refining in LF / $\%$

炉次	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Nb	Al	Ti	Ca	Als
初始	0.03	0.23	1.93	0.011	0.001 5	0.15	0.33	0.31	0.097	0.037	0.016	0.005	0.031 67
终点	0.04	0.23	1.92	0.010	0.000 8	0.15	0.30	0.31	0.095	0.027	0.014	0.002	0.021 38

控制 $[S]$ 有 3 条途径: (1) 铁水的深脱硫和扒渣, 防止脱硫渣扒不干净造成钢水回硫, 同时采用硫含量较低的废钢; (2) 控制好转炉出钢过程中的脱硫率, 八钢的转炉出钢过程中的最大脱硫率为 50% ; (3) 优化 LF 的脱硫操作。

由于要求在 RH 进行脱碳操作, 转炉钢水出钢时, 只进行简单的脱氧, 以防止钢水出钢过程中的沸腾现象, 显然这种粗脱氧的钢水在转炉出钢过程中的脱硫是不可能的, 只有抓好原料的脱硫和炉料废钢硫含量的控制, 以及 LF 的脱硫操作。

2.2.1 原料过程中硫的控制

铁水采用钝化镁粉和钝化石灰联合喷吹进行脱硫, 要求铁水硫含量在 0.002% 以下, 铁水脱硫结束, 进行扒渣, 扒渣过程中必须扒净 80% 。LF 的脱硫率在 40% 左右, 操作的成本最低, 所以转炉出钢的硫含量必须控制在 $0.004 5\%$ 以下, 对此加入废钢中的硫含量控制在 0.020% 以下, 即必须使用本厂的返回废钢为主。

2.2.2 LF 的脱硫操作

选用 $[(\text{CaO}) + (\text{MgO})] / [(\text{SiO}_2) + (\text{Al}_2\text{O}_3)] = 1.5 \sim 2.2$ 的渣系。此渣系脱硫的最主要的特点是前期造稀薄渣, 碱度控制在 1.5 左右, 脱氧剂尽量一次补充到位, 吹氩流量选用较大流量, 以利于夹杂物的上浮, 稀薄渣形成 8 min 以后, 此时渣样使用铁棒粘渣以后, 渣样中间有部分玻璃体出现, 使用铝渣球和复合脱氧剂, 电石, 将炉渣的成分控制在目标范围以内, 冶炼典型炉次的精炼渣的变化, 脱氧剂加入 8 min 以后, 和 LF 出钢前的渣样成分见表 3。

实践证明, 此渣系吸附夹杂物的能力较强, 但是脱硫的能力有限, 原因是这种炉渣的发泡能力一般, 钢渣间界面的反应能力较弱, 加上炉渣的硫容量较低, 是限制脱硫率的主要原因。在钢渣脱氧良好的情况下, 最大脱硫率为 60% , 脱硫的关键操作是间

2.1.4 连铸过程

连铸过程中使用无碳或者低碳覆盖剂, 将碳含量的变化控制在 $0.003\% \sim 0.005\%$, 是控制的最后一道工序。

2.2 硫的控制

歇性的向钢渣面添加还原剂, 保持白渣状态, 保持吹氩时, 钢渣面微微隆起, 渣眼直径 $< 200 \text{ mm}$, 可兼顾脱硫反应较好的进行和防止卷渣现象的发生。

2.2.3 连铸的控制

八钢在浇铸其它中厚板方面的钢种时, 出现过连铸浇铸的最后 $2 \sim 3$ 炉合格钢水时, 在钢水相同的硫含量的情况下, 板材硫含量和夹杂物水平高于其它的炉次, 这和中间包使用的镁钙涂料具有脱硫功能, 然后脱硫产物向耐火材料内部渗透, 当中间包使用一段时间以后, 钢水的侵蚀, 耐火材料渗透层的硫化物又会回到钢水中间, 造成钢坯硫含量超标, 这和文献[4]的介绍是一致的。所以连铸的连浇炉数宜控制在 9 炉以内, 同时浇铸过程确保中间包的钢水液面在正常浇铸液面 $\pm 30 \text{ mm}$ 以内。

3 生产实践结果

经过生产实践和品种开发, X70 的实物在相关管材研究所的检测结果是理想的, 实物质量能够满足客户的需求, 已投入大批量生产。实践证明八钢第二炼钢厂生产 X70 的工艺路线是合适的, 成本控制和钢水成分控制均比较理想。

参考文献

- 周 鉴, 彭明耀, 王仕华, 等. RH-MFB 生产超低碳钢的工艺优化. 炼钢, 2009, 25(1): 17
- 陈家祥. 复合脱氧剂最佳成分的设计. 铁合金, 2007, 38(1): 1
- 王春明, 鲁 强, 吴杏芳. 管线钢的合金设计. 鞍钢技术, 2004(6): 22
- 陈肇友, 田守信. 耐火材料与洁净钢的关系. 耐火材料, 2004, 38(4): 219

秦 军(1974-), 男, 高级工程师, 1995 年重庆大学毕业, 炼钢和连铸工艺研究。

收稿日期: 2010-03-05