

· 工艺技术 ·

防止超低碳铝镇静钢大方坯连铸水口堵塞的工艺实践

马富平¹ 包燕平¹ 董志强²

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083; 2 邢台钢铁有限责任公司,邢台 054027)

摘要 研究了铁水脱硫预处理-80 t 顶底复吹转炉-LF-RH-280 mm × 325 mm 方坯连铸流程生产 XGM6 钢 (/% :0.012C, ≤0.012Si, ≤0.08Mn, ≤0.015P, ≤0.010S) 等超低碳铝镇静钢时水口堵塞的原因和防止措施。通过控制转炉终点 [O] ≤600 × 10⁻⁶, LF 顶渣为高铝渣 + 电石, RH-OB 脱碳后加铝粒脱氧, 控制 RH 终点氧含量 20 × 10⁻⁶ ~ 30 × 10⁻⁶, RH 终点 [Al]_s ≤0.009%, 中间包钢水过热度 25 ~ 40 °C, [Al]_s ≤0.004% 等工艺措施, 基本避免超低碳铝镇静钢水口堵塞, 连浇炉数由不足 2 炉提高到 8 炉以上。

关键词 超低碳铝镇静钢 水口堵塞 防止措施 [O] [Al]_s

Practice of Process to Prevent Nozzle Clogging During Bloom Concasting of Ultra-Low-Carbon Aluminium-Killed Steel

Ma Fuping¹, Bao Yanping¹ and Dong Zhiqiang²

(1 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083; 2 Xingtai Iron and Steel Corp Ltd, Xingtai 054027)

Abstract The cause and preventing measures for nozzle clogging during steelmaking process of ultra-low-carbon aluminium-killed steel such as XGM6 steel (/% : 0.012C, ≤0.012Si, ≤0.08Mn, ≤0.015P, ≤0.010S) produced by hot metal pre-desulphurization process-80 t top and bottom combined blown converter-LF-RH-280 mm × 325 mm bloom concasting flow sheet have been studied. With using the process measures including controlling converter end [O] ≤600 × 10⁻⁶, LF top slag- high alumina slag + carbide, deoxidizing by adding aluminium shot after RH-OB decarburisation, controlling RH end [O] 20 × 10⁻⁶ ~ 30 × 10⁻⁶, RH end [Al]_s ≤0.009%, tundish liquid superheating extent 25 ~ 40 °C and [Al]_s ≤0.004%, the nozzle clogging of liquid of ultra-low-carbon aluminium-killed steel has basically been avoided, continuous-continuous casting heats increase from less than 2 heats to more than 8 heats.

Material Index Ultra-Low-Carbon Aluminium-Killed Steel, Nozzle Clogging, Improvement Measure, [O], [Al]_s

邢钢 2008 年精品生产线投产以来,具备了超低碳钢的生产条件。2011 年开发超低碳铝镇静钢-XGM6。开发初期,大方坯连铸出现了严重的水口堵塞现象,生产一个浇次最多只能连浇 2 炉,无法实现批量生产。为此,研究水口堵塞的机理,通过有效的措施防止水口堵塞,提高连浇炉数。

1 XGM6 钢的化学成分及生产工艺流程

XGM6 钢要求硅低,不超过 0.012% (表 1),需采用铝脱氧,属于超低碳铝镇静钢。为满足高导电率,要求残铝含量越低越好,一般 [Al] 控制在 20 × 10⁻⁶ 以内。因此,该钢种浇铸前钢水氧含量控制在 20 × 10⁻⁶ 以上,类似于准沸腾钢。

XGM6 钢的生产工艺流程为:高炉铁水→铁水

表 1 XGM6 钢化学成分/%

Table 1 Chemical composition of steel XGM6 /%

C	Si	Mn	P	S
≤0.012	≤0.012	≤0.08	≤0.015	≤0.010

表 2 大方坯连铸机主要工艺参数

Table 2 Main parameters of bloom caster

项目	参数
铸坯断面/(mm × mm)	280 × 325
连铸机弧形半径/m	12
中间包容量/t	30
中间包浸入式水口内径/mm	40
拉速/(m · min ⁻¹)	0.7

脱硫预处理→80 t 顶底复吹转炉→LF→RH→大方坯连铸(表 2,全程保护浇注、结晶器液面自动控制、结晶器电搅)→开坯→修磨→高速线材轧机。

2 中间包水口堵塞机理研究

2.1 XGM6 钢浇铸水口堵塞机理

一般浇铸超低碳铝镇静钢水口堵塞多为 Al₂O₃ 夹杂^[1-3]。XGM6 为铝脱氧钢,通过机理及试验研究,发现引起水口堵塞的主要原因是由于高熔点的 Al₂O₃ 等夹杂物在浇铸过程中不断黏附在水口,最后堵塞水口造成浇铸中断。

在开发初期,研究了 XGM6 钢的夹杂物情况。

将 XGM6 钢热轧盘条加工为金相试样,采用 DMR 金相显微镜及 SIS 图象分析仪进行了显微观察,检验结果如图 1(a)所示。

在 XGM6 钢生产时分别在 RH 离站和中间包取 $\Phi 34$ mm 的饼样,用扫描电子显微镜观察其中典型夹杂物和能谱分析结果,如图 1(b,c)所示。

上述夹杂物检验分析进一步验证了 XGM6 钢的夹杂物以

Al_2O_3 为主, Al_2O_3 夹杂物在中间包水口内壁的逐步沉积是造成水口堵塞的根本原因。

2.2 Al_2O_3 夹杂物的来源

Al_2O_3 夹杂物的来源有:(1)出钢时用铝脱氧,生成的脱氧产物 Al_2O_3 未完全排除而留在钢中;(2)水口内吸入空气中的氧与钢水中的 [Al] 发生氧化反应生成 Al_2O_3 ;(3)钢水流经水口时,温度降低,使 Al-O 平衡遭到破坏,析出的 [O] 与钢水中的 [Al] 继续反应生成 Al_2O_3 ;(4)钢水中溶解的 [Al] 与水口内表面的 SiO_2 和 C 发生还原反应生成 Al_2O_3 附着于水口壁上。

3 防止水口堵塞的措施

3.1 防止铝镇静钢水口堵塞的一般措施

防止铝镇静钢连铸中间包水口堵塞的一般措施主要有^[4,5]:

(1)控制初生夹杂物的数量。在中间包水口上发现的沉积物主要是一次脱氧夹杂物,因此必须降低脱氧前钢水初始氧含量。

(2)对精炼渣改制,有效地去除钢包精炼过程中生成的夹杂物。

(3)钙处理。实际钙处理过程中,应合理有效控制钢中 Ca-Al-O-S 的含量关系,从而使变性脱氧产物为液态的钙铝酸盐且避免析出高熔点的 CaS 夹杂。

(4)减少在钢包精炼和连铸过程由于二次氧化析出的非金属夹杂物的数量。

(5)采用中间包塞棒加浸入式水口保护浇铸,做好吹氩密封。

3.2 防止水口堵塞的工艺实践

3.2.1 改进措施

与传统的准沸腾钢相比,XGM6 钢的 C, Si, Mn 含量更低,且铝脱氧后不允许钙处理(否则容易增

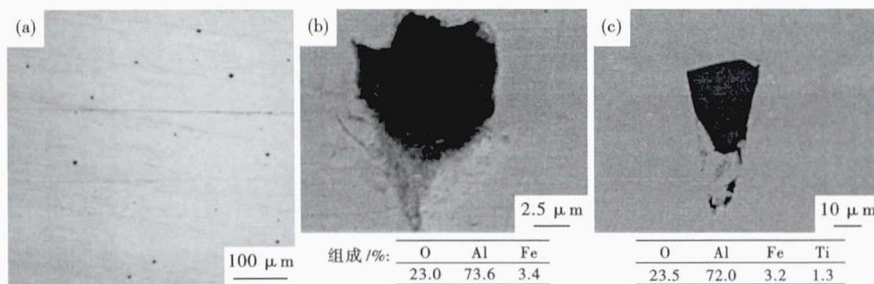


图 1 XGM6 钢中夹杂物形貌:(a)热轧盘条(D2.5级);(b)RH 终点;(c)中间包
Fig. 1 Morphology of inclusions in steel XGM6: (a) hot rolled coil (rating D2.5); (b) RH end; (c) tundish

Si)。因此,控制水口堵塞的难度更大。

为此,在炼钢工序采取了一系列优化改进措施,优化前后工艺对比见表 3。

(1)控制转炉出钢初始氧含量。为减少一次脱氧产物 Al_2O_3 的数量,对转炉出钢氧含量进行了固化,出钢前定氧,出钢氧含量控制在 600×10^{-6} 以下,若氧含量高于 600×10^{-6} ,按每炉 10 kg 铝块脱氧 100×10^{-6} 在出钢过程中进行补充脱氧。

(2)LF 电石造渣。根据定氧和炉渣情况,每炉加入约 60 kg 电石进行造渣,并加入 300 kg 发泡剂以保证升温效果。

(3)钢包顶渣改制。针对钢包顶渣向钢水传氧的问题,从开发初期便进行了炉渣改制试验,最初采用小石子+电石+铝粒混合料,均匀撒在钢包渣液面上;后期试验采用了铝酸钙精炼合成渣。改制前后部分顶渣成分如表 4 所示,通过优化渣料,保证了精炼渣流动性良好,降低了顶渣的氧化性,同时顶渣中 SiO_2 含量由 5%~7% 降低到 3%~5%,可以减少钢液增硅的发生。

顶渣氧化性 ($FeO + MnO$) 对比如图 2 所示,可以看出,顶渣改制前 ($FeO + MnO$) 较高,一般在 10%~14%;顶渣改制后 ($FeO + MnO$) 逐步降低至 8% 左右,有效减少了炉渣向钢水传氧,从而提高了钢水洁净度,减少了水口堵塞现象。

(4)延长 RH 纯循环时间。RH 吹氧脱碳结束后需再加铝进行脱氧,RH 处理过程尽量做到铝脱

表 3 优化前后生产工艺对比

Table 3 Comparison between original process and optimized process

项目	原工艺	优化后工艺
转炉出钢氧含量	$\sim 800 \times 10^{-6}$	$\leq 600 \times 10^{-6}$
脱氧工艺	转炉、LF 均加铝脱氧	RH 脱碳后加入适量铝脱氧
顶渣改制	小石子+电石+铝粒	高铝渣+电石
连铸钢水过热度	15~30 °C	25~40 °C

表4 改制前后钢包顶渣成分对比

Table 4 Comparison between original ladle top slag ingredient and modified ladle top slag ingredient

工艺	FeO	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	S	P	MnO	TiO ₂
顶渣改制前	10.0	6.6	47.0	7.7	16.8	0.024	0.251	4.29	0.846
	8.0	6.5	49.0	6.4	18.2	0.021	0.240	3.42	0.881
	11.0	7.6	45.0	7.8	20.3	0.023	0.241	4.84	0.886
	9.0	5.2	52.0	6.1	16.5	0.042	0.284	2.72	0.805
顶渣改制后	10.0	6.7	50.0	5.8	17.6	0.029	0.336	3.43	0.989
	6.0	3.5	53.9	7.3	33.5	0.065	0.057	0.43	0.299
	6.5	3.6	53.3	7.8	33.4	0.060	0.060	0.45	0.294
	7.5	3.6	53.4	7.3	34.1	0.063	0.054	0.43	0.313
	3.0	4.2	41.3	11.4	37.4	0.004	0.076	2.53	0.675
	7.5	5.6	48.0	10.2	31.4	0.023	0.128	1.06	0.721

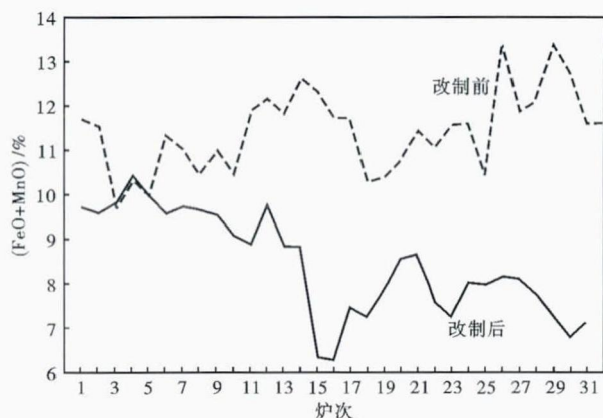


图2 钢包顶渣改制前后(FeO + MnO)对比

Fig. 2 Comparison between (FeO + MnO) of original top slag and of modified top slag

氧后有足够的循环时间,以促进脱氧产物 Al_2O_3 的上浮排除,一般控制 RH 纯循环时间 ≥ 10 min。

(5)适当提高中间包钢水过热度。该钢种对夹杂物没有严格要求,因此没有按照洁净钢的思路控制低过热度浇铸。提高钢水过热度,对钢水的流动性有利,工业试验发现 XGM6 钢连铸最佳的中间包钢水过热度为 $25 \sim 40$ °C,有利于防止水口堵塞。

3.2.2 工艺实践

以2012年4月18日生产的一个浇次中的3炉为例,对XGM6钢优化后的操作工艺及控制情况分析如下:

(1)转炉工序:控制氧枪吹炼操作,避免后吹,补吹次数控制在1次以内,控制出钢初始氧含量不超过 600×10^{-6} ,氧含量分别为 360×10^{-6} , 440×10^{-6} , 568×10^{-6} ;出钢过程中根据出钢氧含量加入铝块进行脱氧。

(2)LF工序:首先进行定氧,进站氧含量分别为 185×10^{-6} , 194×10^{-6} , 206×10^{-6} ,进站 $[Al]_s$ (%)分别为0.010,0.012,0.010,然后加入石灰 ~ 100 kg开始加热,根据定氧和炉渣情况,加入电石(60 kg)、

高铝渣(其加入量视炉渣颜色进行调整),炉渣颜色为浅绿色或白色,视为终渣造好。实际LF离站钢水氧含量控制分别为 36.8×10^{-6} , 36.5×10^{-6} , 34.0×10^{-6} ,离站 $[Al]_s$ (%)分别为0.009,0.007,0.010。

(3)RH工序:首先抽真空进行OB脱碳,OB结束后钢水环流10 min视为脱碳结束,脱碳结束后钢水氧含量分别为 389×10^{-6} , 338×10^{-6} , 410×10^{-6} 。脱碳完毕后加铝粒脱氧,脱氧后要求钢水氧含量控制在 $20 \times 10^{-6} \sim 30 \times 10^{-6}$,实际钢水氧含量分别为 21.2×10^{-6} , 19.6×10^{-6} , 28.5×10^{-6} ,离站 $[Al]_s$ (%)分别为0.009,0.005,0.008;脱氧后要求RH纯循环时间 ≥ 10 min,实际RH纯循环时间分别为11,10,10 min。

(4)连铸工序:要求中间包钢水温度控制范围为 $1560 \sim 1575$ °C,即过热度 $25 \sim 40$ °C,实际控制在 $1561 \sim 1580$ °C,在中间包取成品样,成品 $[Al]_s$ (%)分别为0.004,0.003,0.002。

4 结论

邢钢XGM6钢大方坯连铸中间包水口堵塞主要是由于 Al_2O_3 夹杂物在中间包水口内壁的逐步沉积造成的。防止水口堵塞的关键在于减少铝脱氧产物 Al_2O_3 的生成以及炼钢过程尽量将脱氧产物 Al_2O_3 排出。通过采取控制转炉初始氧含量,对钢包顶渣改制,延长RH纯循环时间,以及适当提高中间包钢水过热度等措施基本上解决了XGM6钢大方坯连铸中间包水口堵塞问题,连浇炉数由最初的不足2炉提高到8炉以上,实现了批量生产。

参考文献

- [1] 高靖超. 济钢浇铸低碳高铝钢时水口堵塞的防范措施[J]. 耐火材料,2007,41(5):386-388.
- [2] 常 镔,陈 勇. 铝镇静钢连铸过程水口堵塞的原因分析[J]. 连铸,2006(6):1-3.
- [3] 王 刚,姚同路,肖玖伦. 梅钢浸入式水口防止堵塞的理论与实践[J]. 四川冶金,2010,32(6):13-15.
- [4] 蔡开科,程士富. 连续铸钢原理与工艺[M]. 北京:冶金工业出版社,2009:192-215.
- [5] 职建军. 钙处理对连铸钢浇注性能的影响[J]. 钢铁研究,2004(4):19-21,25.

马富平(1970-),男,博士研究生(北京科技大学),高级工程师,1993年东北大学(本科)毕业,炼钢工艺技术研究。

收稿日期:2013-08-20