

• 装备技术 Equipment Technology •
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.02.014

提高中薄板坯连铸机中间包寿命实践

刘 鑫,王 帅,赵建平,吴志杰,崔家峰

(河钢集团 唐钢公司,河北 唐山 063016)

摘 要:对影响中薄板坯连铸机中间包寿命的原因进行了分析。结果表明,中薄板坯连铸机中间包寿命主要受中间包耐材侵蚀速率和现场异常状况影响。采取降低中间包熔渣氧化性、变渣线控制中间包液位、合理选择中间包烘烤制度、严控大包下渣、优化干式料成分和装包操作,有效防止塞棒松动、提高低碳低硅铝镇静钢的可浇性,可以解决换水口时板间穿钢等问题,使该铸机中间包寿命由 13 h 提高至 17 h。

关键词:中薄板坯连铸机;中间包;中间包寿命

中图分类号: TG232

文献标识码: A

文章编号: 1000-8365(2021)02-0128-04

Practice of Improving Tundish Life of Medium-thin Slab Caster

LIU Xin, WANG Shuai, ZHAO Jianping, WU Zhijie, CUI Jiafeng

(Tangshan Iron and Steel Company, Hebei Iron and Steel Group, Tangshan 063016, China)

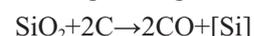
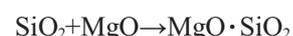
Abstract: The reasons affecting the tundish life of medium-thin slab caster were analyzed. The results show that the tundish life of medium thin slab caster is mainly affected by the corrosion rate of tundish resistant materials and the abnormal condition on site. To reduce the oxidation of molten slag in the tundish, to control the liquid level of the tundish by changing slag line, to choose the baking system of the tundish reasonably, to strictly control the slag from the large tundish, to optimize the composition of dry materials and the operation of ladle loading, effectively prevent the plug rod from loosening and improve the pouring ability of low carbon and low silicon aluminum killed steel, it can solve the problem of steel crossing between plates at the water change port, so that the service life of the tundish of the casting machine is increased from 13 h to 17 h.

Key words: medium-thin slab caster; tundish; tundish life

唐钢 1700 热轧带钢生产线拥有一台一机两流中薄板坯连铸机和一台一机一流中薄板坯连铸机。受现场技术条件和耐材材质影响,中间包工作层、塞棒侵蚀速率较高,期望得到解决。攻关实施前,中间包工作层侵蚀速率为 4.97 mm/h,塞棒侵蚀速率达到 0.88 mm/h,中间包工作层残厚平均为 18 mm,塞棒最薄处平均残余直径为 99 mm。更为严重的是,该铸机多次发生工作层蚀穿,永久层被侵蚀事件,有中间包漏钢风险^[1-3]。此外,这两台连铸机还经常发生水口堵塞,板间穿钢等事故。这些因素导致中间包寿命较低,平均 13 h,使中间包更换频繁,钢铁料消耗和耐材成本增加,作业率低,劳动强度大。因此,本文作者对影响唐钢中薄板坯连铸机中间包寿命的原因进行分析,制定相应的控制措施,认真组织实施,以提高中间包寿命。

1 影响中间包寿命的因素

连铸中间包耐材的侵蚀速率与熔渣氧化性、冶炼工艺、中间包烘烤工艺、大包下渣和耐材材质等因素有关^[4-6]。影响中薄板坯连铸机中间包耐材侵蚀速率的主要因素如下:①中包渣的 FeO 含量高,如表 1 所示。使用前期(使用 1 h)渣中 FeO 含量就已达 3.6%,使用后期(使用 13 h)渣中 FeO% 含量更是达 7.8%,FeO 含量越高,则液渣侵蚀工作层的能力就越强。液渣中 FeO 的来源是空气,即中包渣与空气接触,缓慢吸收氧气,造成中间包熔渣变性,加剧中间包耐材侵蚀^[7-9];②冶炼工艺不合理,主要体现在两方面,一是熔渣成分控制不合理,如冶炼中碳钢时,若使用硅脱氧,熔渣对耐火材料的侵蚀性较强,若发生大包下渣,熔渣中 SiO₂ 与中间包工作层 MgO 和塞棒中的 C 分别发生如下反应:



这些反应会加速工作层渣线部位溶解,使塞棒渣线部位材质变得疏松;二是经常出现钢液温高现

收稿日期: 2020-11-20

作者简介: 刘 鑫(1990-),河北唐山人,硕士,工程师。主要从事钢连续铸造研究。电话: 18000630526, Email: 541949803@qq.com

表1 精炼渣与中包渣成分 w(%)
Tab. 1 Chemical composition of refining slag and tundish slag

	Ca	MgO	SiO ₂	Fe	Al ₂ O ₃	MnO	P ₂ O ₅	S	FeO	CaO	R
精炼渣	37.73	9.67	3.41	0.38	29.71	0.2	0.21	0.953	0.49	52.82	15.48
中包渣前期	31.25	10.74	13.19	2.82	23.05	1.14	0.46	0.251	3.61	43.75	3.32
中包渣后期	32.86	9.27	14.23	6.11	14.85	1.72	1.10	0.270	7.82	46.00	3.23

象,会促进侵蚀反应,加快侵蚀速率^[10,11];③中间包烘烤工艺不规范,经常发生烘烤不良或烘烤过度现象,降低耐材的强度和耐蚀性;④大包下渣检测准确率低,中薄板坯连铸机大包下渣检测准确率仅53.11%,控制不好容易下渣,这会增加中包渣量,增大熔渣与耐材接触面积,加剧侵蚀;⑤耐材材质影响,耐材中MgO含量低,仅为80%,并且经常出现打包操作失误,导致中间包工作层厚度不足、工作层出现横裂纹等现象,影响中间包寿命。

此外,浇注过程中发生异常状况,导致浇注被迫中断也是影响中间包寿命的重要因素,影响中薄板坯连铸机中间包寿命的异常状况主要如下:①浇注过程中塞棒螺杆受热后,经常发生塞棒螺杆松动,严重时塞棒脱落,被迫停浇;②浇注铝含量高的镇静钢,尤其是浇注RH直上工艺冶炼的低碳低硅铝镇静钢时,水口内壁容易富集冷钢以及Al₂O₃等夹杂物,积聚过多而“结瘤”,最终堵塞水口而停浇^[12-14];攻关前,板坯连铸机浇注RH直上钢,平均浇注炉数仅5炉;③唐钢中薄板坯连铸机水口面经常发生氧化,换水口时,容易发生板间穿钢,严重时导致无法再次更换水口,被迫停浇。

2 降低中间包渣线部位侵蚀速率

2.1 降低中包渣氧化性

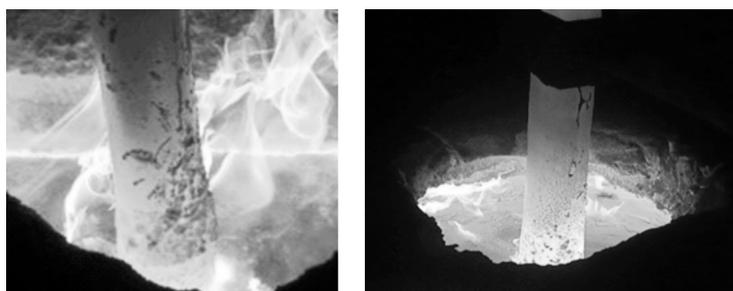
现场发现,造成中包渣中FeO含量高的因素有两个,一是开浇过程中保护浇注效果差,导致开浇1h,渣中FeO含量就达到3.61%;二是大包长水口周围液面波动剧烈(见图1(a)),翻腾的液面加剧了钢液和熔渣的二次氧化。为提高开浇过程中保护浇

注效果,采取措施如下:①优化开浇吹氩操作,烘烤结束即插入氩气管,保证吹氩时间2~3min,使中间包内空气排净,开浇覆盖剂加入完毕后,再关闭氩气;②改变开浇覆盖剂加入操作,覆盖剂加入由中间包内钢液达到15t再加入改变为中间包内钢液达到5~10t,然后开始加入。措施实施后,使浇注前期熔渣氧化性有效减轻,浇注同样钢种时,浇注1h的中包渣FeO含量降低至1.32%,效果明显。

造成中薄板坯连铸机大包长水口周围液面剧烈波动的原因有两个:一是大包长水口的吹氩方式不合理,氩气容易成股进入中间包,造成液面剧烈波动;二是氩气流量过大。为解决上述问题。因此,本文采取如下措施:①更改了大包长水口吹氩环缝位置,将吹氩位置由碗口底部更改为碗口上部,在对钢液进行有效的保护浇注同时,减少了进入中间包的氩气流量;②降低氩气流量的措施,将大包长水口氩气流量由160~180L/min降至130~150L/min(保证氩气背压0.1~0.2MPa),在减轻液面波动的同时,保证保护浇注效果。采取上述措施后,大包长水口周围液面波动情况如图1(b)所示,可见长水口周围液面变得平稳,效果如图1所示。该措施有效的减少中包渣氧化,使用过程中,可保证FeO含量在4%以内,同时钢中酸铝烧损量减少2~4×10⁻⁴%,大包长水口的寿命可提高约2h。

2.2 变渣线控制操作

在浇注过程中,中间包液面不变,会导致工作层和塞棒局部侵蚀过深,容易发生塞棒断裂或工作层蚀穿。为解决该问题,中薄板坯连铸机实行了变渣线控制操作,如图2所示。在浇注过程中,使中间包在



(a)普通大包长水口

(b)试验大包长水口

图1 中间包液面对比

Fig.1 Comparison of liquid steel surface in tundish ladle

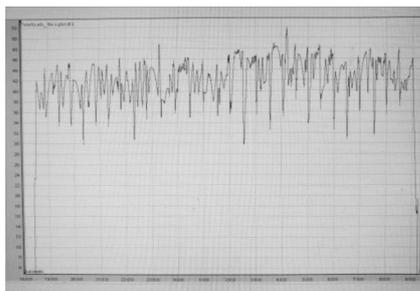


图 2 中间包重量控制曲线
Fig.2 Tundish weight control curve

8 t 范围内缓慢波动,使中间包工作层和塞棒渣线部位均匀腐蚀,如图 3 所示。在距大包停浇 3~5 min 时,再在保持中间包液位不变,以免影响大包下渣判断。



图 3 中间包渣线部位使用 13 h 后形貌
Fig.3 Morphology of tundish slag line after 13 h

2.3 合理的中间包烘烤制度

中间包烘烤制度不合理会影响中间包耐材的强度、耐蚀性。中薄板坯连铸机对中间包烘烤要求如下:①开浇前中间包烘烤温度稳定在 1 100~1 200 °C 至少 0.5 h,最高温度不超过 1 250 °C,以防烘烤不良或过度烘烤,影响耐材寿命;②中包烘烤时间按 3~4 h 控制,为防止中间包工作层炸裂,先用小火烘烤 30 min,再增大煤气和风量,因不可控因素导致烤包时间延长要控制烤包温度,降到 1 000 °C 左右,开浇前 30 min 达到 1 100 °C 以上;③中间包烘烤前,用耐火绵将水口裹住,以提高烘烤效果,且减少中间包烘烤结束至开浇时的水口温降,避免水口开裂。

2.4 严控大包下渣

唐钢中薄板坯连铸机大包下渣检测系统不准,经常发生大包下渣,是影响中间包耐材寿命的重要原因。造成下渣检测准确率低的因素主要有两方面,一是下渣检测设备老化,灵敏度低;二是岗位工操作不标准。由于该铸机下渣检测靠检测机械臂振动来判断下渣,临近停浇时,岗位工经常动大包滑板,导致下渣检测系统误判。采取措施如下:①更换下渣检测系统线缆、传感器,提高检测系统灵敏度;②提高岗位工标准化作业,临近停浇时,提前 3~5 min,

操作工将中包液面调稳,且不可再进行丢中包覆盖剂、手压操作杆、推动长水口、冲击操作平台、升降包臂等操作,防止下渣检测系统误判。通过采取上述措施,使大包下渣检测系统准确率由 53.11% 提高至 92.15%,有效减少了大包下渣。

2.5 稳定冶炼工艺

为减轻中间包耐材侵蚀,优化工艺控制如下:①采用低过热度浇注控制,即浇注低碳低硅铝镇静钢时,钢液过热度控制在 15~30 °C,冶炼 SS400 系列中碳钢时,过热度控制在 20~35 °C,并保证中包温度合格率在 99% 以上;②冶炼 SS400 钢时,若使用硅脱氧,在冶炼过程中添加一定量的石灰,以防止碱度发生变化增加中间包侵蚀。

2.6 优化干式料成分和装包操作

为提高耐材本身耐蚀性,对中间包渣线部位干式料成分进行了改进,将渣线部位干式料中 MgO 含量由 80% 提高至 85% 以上,即干式料成分要求: MgO ≥ 85%, SiO₂ ≤ 5%, Fe₂O₃ ≤ 2%, 并且为防止由于中间包渣线部位和其它部位成分不同,出现分层,影响中间包寿命。要求装包时,每隔 20 cm,用铁棍进行捣打,保证渣线部位干式料与基体结合紧密。

3 其它措施

3.1 防止塞棒松动

中间包塞棒在使用过程中螺杆松动,会造成浇注被迫中断,影响中间包使用时间,为避免松动,采取措施如下:①如图 4 所示,距塞棒表面 2~4 mm 处设置凸台,以起到防松作用;②安装塞棒螺杆时,在螺杆表面涂一层耐火泥,当中间包被烘烤时,耐火泥被烧结,充分与螺杆接触,消除了螺杆与螺冒间的间隙,防止松动;③为防止中间包烘烤后,塞棒螺杆与塞棒本体热膨胀性不一致造成螺杆松动,在中间包烘烤结束后,再次用扳手对紧固螺母进行适度紧固。



图 4 塞棒螺杆凸台
Fig.4 Structure of tundish screw plug

3.2 提高 RH 直上低碳低硅铝镇静钢可浇性

为提高浇注 RH 直上低碳低硅铝镇静钢的连浇

炉数,唐钢采取如下措施:①铁液预处理采用深脱S处理,使S含量降至0.03%左右;②合理控制转炉终点温度,避免RH吹氧;③转炉终点氧位控制在 $450\sim 480\times 10^{-4}\%$,减少钢中夹杂物;④生产节奏紧凑,红包出钢,减少大包温降,使转炉终点至RH进站温降控制在 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内,转炉装铁至大包开浇周期控制在 $1.8\sim 2\text{ h}$;⑤炉后加石灰和熔渣改质剂(精炼渣),并确保出钢后熔渣融化良好,达到变质夹杂的目地;⑥采用气洗水口的方式,即采用吹氩塞棒、吹氩上水口,通过调控氩气流量(塞棒、上水口氩气流量均为 $6\sim 10\text{ L/min}$),使塞棒头部,上水口、下水口内壁形成均匀的氩气膜,阻止或减缓夹杂物富集。

3.3 解决换水口时板间穿钢问题

为解决换水口时板间穿钢问题,采取如下措施:①提高水口面耐氧化性,将水口面石墨质量分数由8%调整为5%, Al_2O_3 质量分数由68%提高至71%,保证了水口面的强度;②将快换缸液压阀通径由 $\phi 6\text{ mm}$ 提高至 $\phi 10\text{ mm}$,使快换缸缸舌伸出速度由 0.5 m/s 提高至 1.0 m/s ;③浸入式水口烘烤温度控制在 $850\sim 950\text{ }^{\circ}\text{C}$,烘烤时,火焰与水口出钢孔对正,严禁火焰从炉门与水口面间外溢,烘烤时间控制在 $1.5\sim 3.0\text{ h}$,防止烘烤工艺不合理造成水口面氧化;④保证中间包吹氩管路完好,不能有堵塞、漏气现象,氩封背压 $\geq 0.01\text{ MPa}$,防止氩封不良,水口面与空气接触发生氧化;⑤规范水口面尺寸,使水口面厚度稳定在 $35.5\pm 0.5\text{ mm}$,防止水口面尺寸偏差大造成板间穿钢事故;⑥规范操作,换水口时,钢流完全切断,钢液面下降后再打水口;⑦保证上、下水口对中良好,防止水口对中不良,造成的耐材冲刷、侵蚀,导致的板间穿钢问题。

4 实施效果

通过上述措施,唐钢中薄板坯连铸机中间包耐材侵蚀速率显著降低,工作层侵蚀速率由 4.97 mm/h 降至 2.54 mm/h ;塞棒侵蚀速率由 0.88 mm/h 降至 0.53 mm/h ,并解决了塞棒螺杆松动和换水口时板间溢钢问题,浇注RH直上钢连浇炉数也由5炉提高至10炉以上,最终使中间包寿命由13h提高至17h。

5 结论

(1)造成唐钢中薄板坯连铸机中间包寿命低的主要原因是浇注过程中中间包渣线部位耐材侵蚀速率高以及塞棒芯杆容易松动、水口堵塞、板间穿钢等异常状况多。

(2)采取降低中包渣氧化性、中间包变渣线操作、优化中间包烘烤制度、稳定冶炼工艺、优化干式料成分和装包操作等措施,使中间包工作层侵蚀速率 4.97 mm/h 降至 2.54 mm/h ,塞棒侵蚀速率由 0.88 mm/h 降至 0.53 mm/h 。

(3)通过降低中间包渣线部位耐材侵蚀速率以及减少塞棒芯杆松动、水口堵塞、换水口时板间穿钢等异常状况发生等措施,使中间包寿命由13h提高至17h。

参考文献:

- [1] 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,1994.
- [2] 王雅贞.新编连续铸钢工艺及设备[M].北京:冶金工业出版社,2007.
- [3] 张茂存,刁承民,高靖超.提高连铸中间包寿命的工艺研究与应用[J].耐火材料,2005,39(3):234-235.
- [4] 朱士将.半整体塞棒中间包的长寿措施[J].耐火材料,2012,46(5):393-394.
- [5] 武光冯,冯启超.板坯连铸中间包长寿技术实践[J].耐火材料,2009,12(43):470-471.
- [6] 武宝仲,赵欣锋.影响中间包寿命的原因分析及改进措施[J].河南冶金,2018,26(2):18-43.
- [7] 徐振东,徐素英,刘永杰.中间包工作层用干式捣打料的研制[J].山东冶金,2005,27(5):43-45.
- [8] 廖明军.提高中间包包龄的方法实践[J].甘肃冶金,2017,39(6):2017,38(6):15-17.
- [9] 商思凯,孙义,王大博.中间包长寿工作层新技术的开发与应用[J].黑龙江冶金,2005(4):25-28.
- [10] 康东安,薛世晓,李广军.提高中间包使用寿命的措施[J].耐火材料,2002,36(1):52.
- [11] 包扬.提高连铸机中间包连浇炉数的措施[J].河北冶金,2011(7):31-32.
- [12] 胡庆利,赵铁成,王彬.提高中间包连浇炉数的生产实践[J].河北冶金,2008(4):53-54.
- [13] 赵建平,吕海富,王帅,等.连铸板坯表面夹渣缺陷的成因及控制[J].铸造技术,2020,41(8):793-796.
- [14] 董金刚.提高中间包浇铸炉数的措施及实践[J].宝钢技术,2003(2):9-11.

欢迎到当地邮政局(所)订阅 2021 年《铸造技术》杂志

国内邮发代号:52-64 国外发行号:M855 国内定价:25元/本 海外定价:25美元/本