

DOI:10.13228/j.boyuan.issn1005-4006.20210031

包晶钢中间包快换板坯接痕漏钢原因分析

梅 宁, 王宝动, 刘延强, 肖华生, 赵璐明, 杨春宝

(首钢京唐钢铁联合有限责任公司炼钢作业部, 河北 唐山 063200)

摘 要:为了研究包晶钢中间包快换过程中板坯接痕处漏钢的问题,对现场调查发生规律持续进行跟踪,采用扫描电镜对接痕处漏钢机理进行分析。结果表明,中间包快换过程中漏钢与坯壳收缩和接痕处非金属夹杂物聚集有关,非金属夹杂物成分为保护渣。通过优化中间包快换过程坯壳冷却补缩程序、优化钢水过热度、增加连接件、优化清理保护渣渣条、改进开浇等措施,包晶钢中间包快换过程板坯接痕漏钢事故得到有效抑制,发生率由 1.08% 降至 0。

关键词: 中间包快换; 漏钢; 包晶钢; 保护渣; 过热度

文献标志码: A **文章编号:** 1005-4006(2021)03-0040-05

Analysis on cause of peritectic steel breakout at slab joint in process of quick change of tundish

MEI Ning, WANG Bao-dong, LIU Yan-qiang,

XIAO Hua-sheng, ZHAO Lu-ming, YANG Chun-bao

(Steelmaking Department, Shougang Jingtang Iron and Steel Co., Ltd., Tangshan 063200, Hebei, China)

Abstract: In order to study the problem of breakout at the slab joint of peritectic steel in the process of quick change tundish, the occurrence law was continuously investigated on site, and the breakout mechanism was analyzed by scanning electron microscope. The results show that the breakout is related to the shrinkage of slab shell and the accumulation of non-metallic inclusions at the joint mark, in which the non-metallic inclusion is mold flux. By optimizing the shell cooling and feeding program, optimizing the superheat of molten steel, adding connectors, optimizing the cleaning operation of mold flux and slag strip, and improving the casting start operation, the breakout of slab joint mark in the process of quick change of tundish of peritectic steel was effectively restrained, and the breakout rate was reduced from 1.08% to 0.

Key words: quick change of tundish; breakout; peritectic steel; mold flux; superheat

面对产能过剩、高端产品同质化竞争日趋严重,高效化、低成本生产已经成为现代钢铁企业谋求发展的有力途径。连铸机中间包快换工艺因具有连续浇注周期长、钢水收得率高、制造成本低、劳动强度小等优点,在国内各大型钢铁厂广泛应用^[1-4]。中间包快换技术分为两种操作方式,一种是高液位快换,即结晶器内钢水液位高于浸入式水口侧孔;另一种是低液位快换,即结晶器内钢水液位低于浸入式水口底部。高液位快换因板坯接痕重熔较好、缝隙小、操作简洁,被国内大部分钢铁厂所采用^[5-6];首钢京唐公司中间包快换前钢种为低碳钢、超低碳钢时采用高液位快换;快换前钢种为包晶钢时,因其冷却工艺、耐材结构等原因,一直采用低液位快换。包晶钢低液位中间包快换工艺自推

行以来,在结晶器内多次发生板坯接痕处漏钢事故^[7-8],严重影响铸机设备功能精度,无法实现低碳、超低碳钢和包晶钢之间无限制组织的中间包快换,严重影响铸机产能发挥。很多学者^[9-14]对各种漏钢的形式(开浇、卷渣、黏结、角部挂钢等)进行研究,但在中间包快换方面研究较少,没有相关的系统性研究。因此,本文针对这一问题,从产生机理、现场操作、工艺条件等方面进行深入研究,提出针对性措施,实现中间包快换工艺无钢种限制,最大限度地实现产能释放。

1 板坯连铸机主要工艺参数

首钢京唐公司装备 4 台 DANIELI 双流板坯高效连铸机;2 台 2 150 mm 连铸机、2 台 1 650 mm 连

资助项目: 国家重点基础材料技术提升与产业化研发计划资助项目(2017YFB0304001)

作者简介: 梅 宁(1985—),男,硕士,高级工程师; **E-mail:** mein2611@sgjtsteel.com; **收稿日期:** 2021-04-07

通讯作者: 刘延强(1984—),男,博士,高级工程师; **E-mail:** liuyq4037@sgjtsteel.com

铸机。连铸机集成了结晶器液位自动控制装置、结晶器漏钢预报系统、动态二冷控制系统、电磁制动系统和动态软压下控制系统等先进技术^[8]。其主要参数见表 1。

表 1 连铸机主要参数
Table 1 Main parameters of caster

项目	主要参数
连铸机类型	直弧形连铸机,主弧度半径 9 500 mm
铸机铸流数	4 机 8 流
快换断面尺寸/(mm×mm)	247×(950~1 800)
钢包容量/t	300
中间包容量/t	80(溢流容量 90)
铸机常规拉速/(m·min ⁻¹)	0.85~1.80 (电磁制动拉速 1.9~2.3)
结晶器长度/mm	900
冶金长度/mm	43 548
中间包行走、 升降速度/(m·min ⁻¹)	电机驱动行走 2~20; 液压缸升降 1.5

2 中间包快换板坯接痕漏钢原因

2.1 钢种成分

钢种[C]质量分数为 0.08%~0.12%,属于典型的包晶钢成分,拉速为 1.25~1.40 m/min,连铸周期为 38~52 min。钢种成分见表 2。

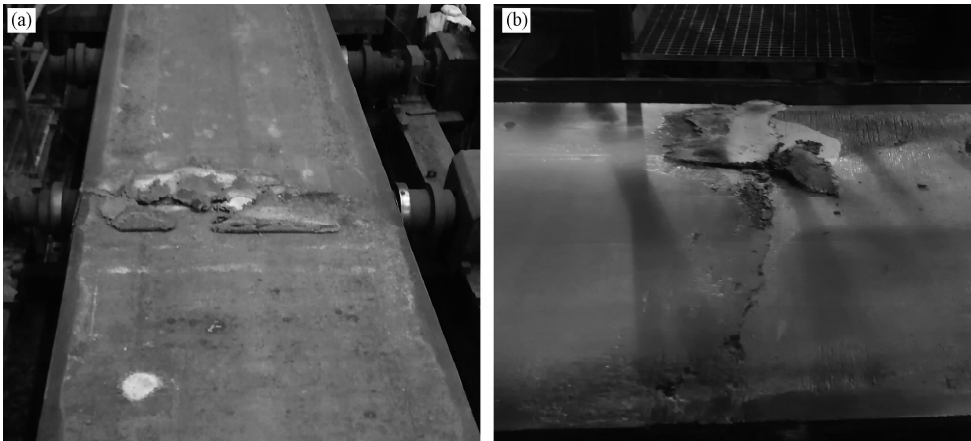
2.2 漏钢形貌特征

现场调查结果显示,此类漏钢发生在中间包快换板坯四面接痕处,重皮面积约 0.5 m²,分布在接痕四周,偶尔可在结晶器足辊上发现少量钢水,多数情况下漏出钢水在结晶器内重新凝固形成严重重皮缺陷,随板坯拉出扇形段,极易造成扇形段辊道损坏。典型形貌如图 1 所示。

通过现场多次测量发现,发生此类漏钢的中间包快换板坯接痕宽度约为 10~20 mm,缺陷深度严重部位可达 25 mm 左右,接痕处钢水凝固孔隙多,接痕内聚集许多灰白色非金属夹杂物,现场取坯样分析,清洗试样后进行扫描电镜分析其非金属夹杂

表 2 典型钢种化学成分(质量分数)
Table 2 Chemical composition of typical steel grades

项目	C	Si	Mn	P	S	Al	N
判定	0.085~0.105	≤0.05	1.3~1.4	≤0.015	≤0.005	0.015~0.05	≤0.006
目标	0.095	0.03	1.35	0.012	0.003	0.025	0.005



(a)板坯接痕处漏钢缺陷整体形貌 1; (b)板坯接痕处漏钢缺陷整体形貌 2。

图 1 中间包快换板坯接痕漏钢形貌

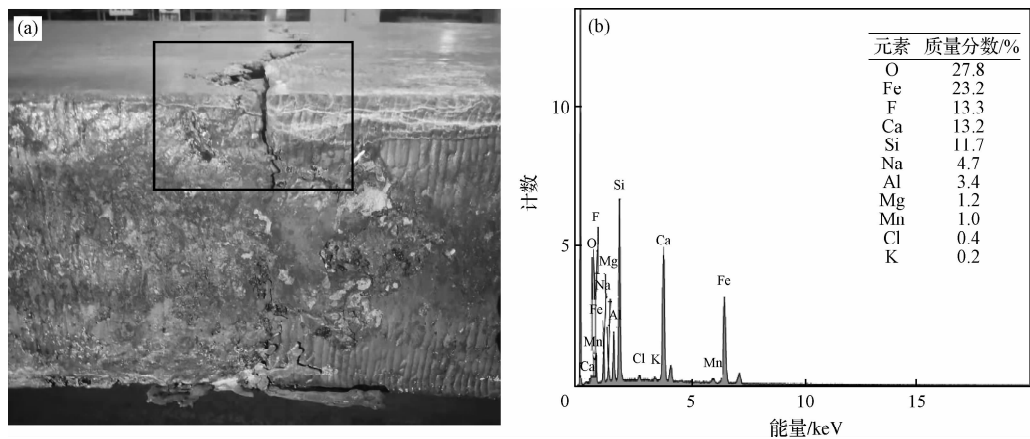
Fig. 1 Morphology of breakout at joint of tundish quick change slab

物成分,结果可见 F、Na、Si、Ca、O 等成分,可确定为典型保护渣成分,排除因新换中间包洁净度带来的夹杂物。取样接痕形貌和电镜结果如图 2 所示。

2.3 原因分析

包晶钢采用低液位中间包快换工艺时,其[C]质

量分数为 0.08%~0.12%,由于凝固过程中 δ-Fe→γ-Fe 相变时体积强烈收缩^[15-16],停浇尾坯补缩时间不够,坯壳高温强度低,中间包停浇塞棒关闭后无钢水注入结晶器,在新换中间包开浇钢水注入结晶器之前,坯壳热收缩与相变收缩叠加,其在结晶器



(a)接痕处非金属夹杂物形貌(试样)； (b)试样中非金属夹杂物电镜结果。

图 2 接痕处非金属夹杂物形貌和电镜结果

Fig. 2 Morphology and SEM results of non-metallic inclusions at joints

内凝固收缩剧烈,在坯壳四周形成宽度 10~20 mm 的缝隙,当钢中[Mn]质量分数接近 1.6%时更加剧了这一坯壳收缩过程。若中间包停浇前操作人员未将结晶器内保护渣清理干净,新换中间包钢水注入结晶器初期通钢量过小则会造成保护渣不能及时上浮,在结晶器四周缝隙处聚集,新注入钢水凝固后保护渣填充接痕形成隐患,结晶器内钢水液位达到目标液位铸机启车后,接痕处保护渣脱落,内部钢水在静压力下从接痕处漏出,此时由于铸机拉速较低(0.4 m/min),漏出钢水在结晶器内填充坯壳四周缝隙重新冷却凝固形成重皮缺陷,堵塞接痕漏点阻止进一步严重漏钢事故。因低液位快换工艺尾坯接痕距结晶器下口 450 mm 位置,漏钢严重时少量钢水会流出结晶器下口黏住结晶器足辊等设备,生产风险巨大。

3 预防措施及效果

3.1 预防措施

3.1.1 尾坯补缩程序优化

包晶钢浇次停浇时尾坯补缩时间长,则尾坯坯壳厚度加厚、强度增大,中间包快换时尾坯在结晶器内收缩量小,与结晶器铜板之间的缝隙小,新注入钢水更容易与坯壳熔合。通过持续跟踪包晶钢停浇封顶时尾坯收缩情况,采用延长中间包塞棒关闭前低拉速保持时间的方式,对尾坯补缩步骤进行了优化:(1)钢包停浇后进入尾坯补缩程序,通过延长 0.4~0.8 m/min 拉速保持时间 120 s;(2)拉速斜率比原来降低 0.3 m/min²,可延长尾坯补缩时间 45 s。通过优化尾坯补缩步骤,尾坯补缩时间可延

长 165 s,现场试验结果表明,坯壳与结晶器铜板之间缝隙减小 10 mm 左右,效果显著。

3.1.2 钢水过热度控制

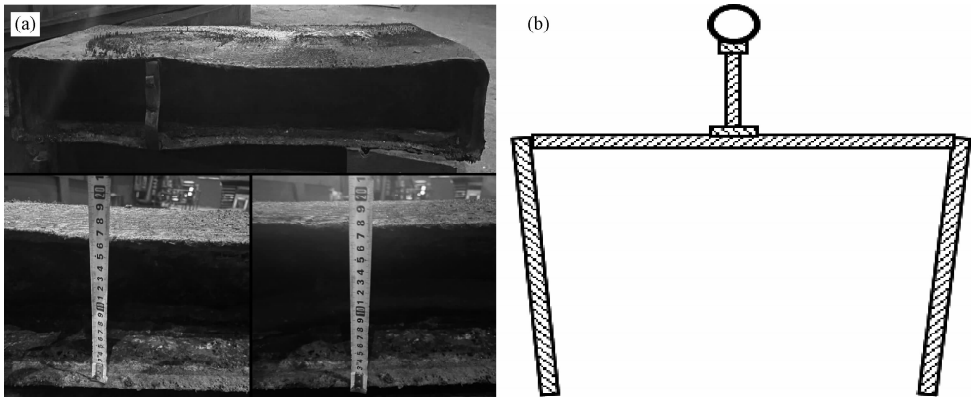
中间包快换前后炉次钢水过热度对稳定生产有积极作用^[17-18],实际生产中中间包快换前后炉次钢水温度比正常连浇炉次提高 5~10℃,包晶钢过热度按照 20~32℃控制。包晶钢过热度低在尾坯补缩阶段结晶器内钢水容易结冷钢,导致连接件不能正常放入,而且还容易发生黏结报警、冻流等事故。快换后炉次钢水过热度高可以保证结晶器内钢水不结冷钢、冻流、黏结报警,同时利于保护渣熔化,促进结晶器良好润滑效果。

3.1.3 增加连接件

中间包快换浇次停浇塞棒关闭时,操作人员在尾坯上插入采用 Q235 钢制作的连接件,可对坯壳起到一定支撑作用,防止大断面坯壳收缩大,形成凹陷。具体操作:停浇塞棒关闭时,在距离浸入式水口外侧 200~250 mm 位置,插入 1 个连接件,在距离浸入式水口内侧 200~250 mm 位置,插入 1 个连接件,共计 2 个,连接件必须保证干燥、干净,严禁潮湿、有水、有油。经现场试验验证插入连接件后可预防坯壳凹陷深度达 10~20 mm。尾坯插入连接件试验结果及连接件如图 3 所示。

3.1.4 保护渣清理

保护渣清理工作对中间包快换板坯接痕质量至关重要^[19-20],清理不净的大渣条容易在接痕处形成薄弱位置导致漏钢,因此,对中间包快换阶段保护渣清理工作进行了规范:(1)中间包快换浇次停浇尾坯补缩阶段,拉速 0.8 m/min 保持 2~3 min,



(a)插入连接件尾坯收缩尺寸对比；(b)连接件示意图。

图 3 尾坯插入连接件收缩形貌与连接件

Fig. 3 Relationship between shrinkage morphology and connector of tailstock insert connector

此过程中操作人员对结晶器内保护渣进行化渣操作,让原渣熔化形成液渣,保证渣层厚度不大于 40 mm,新换中间包开浇前不再加入保护渣;(2)中间包停浇塞棒关闭后,操作人员手持铁钩将结晶器四周大保护渣条钩出结晶器,中间包车开出以后,操作人员对结晶器内其余渣条进行破碎并扒向结晶器中心位置,保证结晶器内残留渣条不得大于 50 mm,确保新换中间包开浇后保护渣充分上浮。

3.1.5 中间包快换时间控制

影响中间包快换时间的因素非常复杂,京唐公司采用容量 300 t 钢包、容量 90 t 的大中间包,将快换时间控制在 150 s 以内,其对工艺操作水平、设备功能精度要求较高,但如果快换时间得不到合理控制,容易引发滞坯等其他事故^[21-23]。项目攻关技术人员通过现场总结,对操作工艺进行了两方面优化:(1)待换中间包提前预对中,烘烤结束后以中间包车底座横梁为参照物,使用定制测量尺提前对中,确保中间包到达浇铸位结晶器上方时能直接降车开浇,避免在浇铸位对中造成时间浪费;(2)将戴钢包长水口操作时机由降中间包车位以后调整为中间包车开至浇铸位时刻,此操作需 5~8 s 内完成,对操作人员技能要求较高,通过加强培训可实现。通过调整工艺操作后,快换时间可节约 20~30 s。

设备改进方面:(1)通过调节中间包升降油缸控制阀位、修改控制程序,将升降油缸速度提升 30%,中间包单次升降操作可缩短时间 10 s;(2)增加钢包叉臂旋转限位、统一不同中间包厂家包盖冲击孔规格,保证钢包下水口准确在中间包冲击区正中位置,当中间包开到浇注位时,操作人员不需要

调整钢包位置可以直接戴长水口。

3.1.6 开浇操作改进

开浇操作与中间包快换初期保护渣上浮存在直接关系。开浇初期钢流小则保护渣在结晶器内不能充分上浮被凝固坯壳捕捉,随着钢流的冲击,保护渣会在结晶器四周缝隙处聚集,结晶器窄面四周尤为严重,因此,在新换中间包打开塞棒初期,必须保证大钢流 3~5 s,让钢水快速充满结晶器内尾坯上部,以便结晶器内残余保护渣充分上浮,然后操作人员收流即可正常操作。同时,铸机启车拉速可降低 0.2 m/min,确保保护渣脱落后不发生其他风险,保持 1 min 后按照包晶钢涨速规则自动涨速,涨速过程密切关注结晶器液位变化及板坯行走情况。

3.2 实施效果

通过实施上述措施,异钢种连浇成功率达到了 100%,突破了中间包快换钢种限制,实施效果明显,不断刷新长浇次连浇炉数,达到了释放产能的目的。

(1)中间包快换推行以来,包晶钢快换每年实施 460 次左右,板坯接痕处发生漏钢约 5 次,发生率约为 1.08%,通过以上措施的实施,包晶钢中间包快换板坯接痕处漏钢事故得到有效控制,2019 年 11 月至今,实施包晶钢中间包快换 780 次,未发生此类漏钢事故,成功率为 100%,实现了低碳、超低碳钢和包晶钢之间无限制中间包快换工艺,产能得到大幅度提升

(2)突破快换钢种限制后,每月中间包快换浇次由 80 次提高至 160 次以上,中间包快换浇次数占总浇次数约为 50%,其中包晶钢中间包快换占比为 30%,极大地缩短了生产准备时间,提高了生产节

奏,同时,减少备机冷料、石棉绳、润滑石墨等物料用量,经济效益显著。

(3)生产组织更加灵活高效,最高连浇炉数达368炉,实现10.5万t钢水连续生产,为铸机检修工作创造了有利条件。

4 结 论

(1)连铸机中间包快换板坯接痕漏钢主要为两方面原因:一方面是尾坯补缩时间短、钢水过热度低、快换时间长,导致坯壳收缩大、接口熔合不牢固、不紧实;另一方面是中间包停浇时保护渣清理不净、开浇钢流小,保护渣上浮不充分,在接痕四周聚集形成薄弱位置,铸机启车后保护渣脱落,钢水在静压力下漏出。

(2)通过优化尾坯补缩程序、提高钢水过热度、增加连接件、提高设备功能精度、控制快换时间、加强保护渣条清理以及改进开浇操作,中间包快换板坯接痕漏钢事故由5次/年降至0次/年,漏钢发生率由1.08%降至0,中间包快换板坯接痕漏钢事故得到有效控制。

(3)中间包快换工艺突破了钢种限制,缩短了生产准备时间,提高了生产节奏,产能得到大幅度释放,连浇炉数达到了368炉。

参考文献:

[1] 吕凯辉. 三安连铸中间包快换的工艺实践[J]. 中国冶金, 2018,28(2):170.

[2] 赵建平,王帅,尹春友,等. 唐钢板坯连铸机中间包快换工艺实践[J]. 连铸,2019(5):8.

[3] 陈远清,仇圣桃. T形中间包新型控流装置的模拟及试验[J]. 钢铁,2018,53(7):45.

[4] 马钰,唐海燕,张硕,等. 通道式感应加热五流中间包流场的水力学模拟[J]. 钢铁,2020,55(11):57.

[5] 郭银涛. 包晶钢结晶器液面波动的原因及控制[J]. 河北冶金, 2021(3):51.

[6] 杨杰,吴仲文. 湘钢连铸中间包快换工艺实践[J]. 现代冶金, 2019,47(5):24.

[7] 郑英辉,殷楷,赵建平. 薄板坯液芯压下方式的探讨[J]. 河北冶金,2021(2):53.

[8] 袁世堂,王中岐,刘海强,等. 板坯连铸中间包快换控制分析与实践[J]. 河南冶金,2017,25(4):40.

[9] 郑英辉,赵建平,唐广鹏. 电磁制动技术在FTSC薄板坯连铸中的应用[J]. 河北冶金,2021(3):74.

[10] 陈守杰,封彦雷,陈杰,等. 电感耦合等离子体发射光谱法测定连铸保护渣中Li₂O含量[J]. 河北冶金,2020(2):33.

[11] 季德静,李春阳,苏家男. SS400钢薄板坯连铸生产典型漏钢原因分析和控制[J]. 中国冶金,2015,25(1):41.

[12] 孟阳. 板坯粘结漏钢原因与预防措施[J]. 天津冶金,2018(增刊1):15.

[13] 梅宁,刘延强. 板坯连铸过程结晶器角缝夹钢控制[J]. 连铸, 2020(2):19.

[14] 宋佳友,单庆林,景财良,等. X65MS管线钢中心偏析改善的实践[J]. 中国冶金,2016,26(8):64.

[15] 谢建府,聂永红,颜海波,等. 板坯窄面渗钢研究与实践[J]. 连铸,2020(5):52.

[16] 杜辰伟,兰鹏,汪春雷,等. 微合金钢连铸坯表面裂纹敏感性预测模型[J]. 中国冶金,2019,29(7):24.

[17] 王星,王国连,杨荣光,等. 中间包钢水温度控制研究及优化[J]. 中国冶金,2018,28(1):13.

[18] 马钰,唐海燕,张硕,等. 通道式感应加热五流中间包流场的水力学模拟[J]. 钢铁,2020,55(11):57.

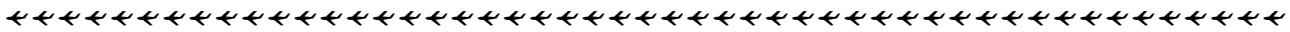
[19] 王璞,李少翔,陈列,等. 电磁搅拌对大圆坯结晶器冶金行为影响的探讨[J]. 钢铁,2019,54(8):82.

[20] 叶德新,曾令宇,万翔,等. 大方坯连铸中间包快换工艺开发与应用[J]. 连铸,2019(6):1.

[21] 冯振亮. 异型坯连铸机中间包热换的研究与实践[J]. 连铸, 2019(3):4.

[22] 于林辉,张振山,Shevchenko Anthony,等. 连铸结晶器插入钢带对连铸坯质量的影响[J]. 钢铁,2015,50(11):53.

[23] 任刚,陈子刚,李金波,等. 包晶钢12Cr1MoVG小方坯表面凹陷原因及改进[J]. 河北冶金,2021(3):57.



(上接第39页)

[8] 迟云广,邓志银,成刘,等. 铝镇静钢中铝酸钙夹杂物的来源[C]//第十一届中国钢铁年会论文集——S02炼钢与连铸. 北京:中国金属学会,2017:980.

[9] 赵东伟,李海波,高攀,等. 非钙处理铝脱氧车轮钢夹杂物形成及变形行为[J]. 钢铁,2016,51(1):25.

[10] 李维,张霞. 轴承钢方坯水口结瘤原因分析[J]. 天津冶金, 2013(4):5.

[11] Memarpour A,Brabie V,Jönsson P G. Studies on the decar-

burization of the commercial Submerged Entry Nozzles (SEN)[J]. Steel Grips,2011(9):121.

[12] 朱坦华,周秋月,任英,等. 二次氧化过程IF钢中间包中夹杂物演变行为[J]. 钢铁,2020,55(3):35.

[13] 程鹏飞,唐海燕,吴光辉,等. 方坯连铸结晶器内表面流速与卷渣行为模拟[J]. 连铸,2017(2):1.

[14] 吴光辉,唐海燕,程鹏飞,等. 浸入式水口结构对180mm×240mm断面连铸结晶器内钢液流动行为的影响[J]. 炼钢, 2017,33(4):31.