DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.03.012

中薄板坯连铸机板间漏钢的原因分析及控制措施

刘　鑫,王　帅,赵建平,吴志杰,金　玉
(河钢集团 唐钢公司,河北 唐山 063016)

摘　要:对中薄板坯连铸机板间漏钢的原因进行了分析。结果表明,造成板间漏钢的主要原因是水口面氧化。通过优化水口面材质、提高水口面精度、改进水口烘烤工艺,确保上下水口对中、氩气压力在 0.01 MPa 以上,提高快换机构液压缸速度、保证快换机构的精度和冷却效果,规范快换浸入式水口操作等措施,可以使中薄板坯连铸机无板间漏钢。

关键词:中薄板坯连铸机;浸入式水口;水口面;板间漏钢
中图分类号: TG243　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2021)03-0207-04

Cause Analysis and Control Measures of Steel Leakage in Medium-thin Slab Caster

LIU Xin, WANG Shuai, ZHAO Jianping, WU Zhijie, JIN Yu
(Tangshan Iron and Steel Company, Hebei Iron and Steel Group Co., Ltd., Tangshan 063016, China)

Abstract: The reason of steel leakage between plate in medium-thin slab caster was analyzed. The results show that the main cause of steel leakage between plates is oxidation of nozzle surface. By optimizing the nozzle surface material, to improve the nozzle surface accuracy, to improve the slide baking process, to ensure that the gate on the up and down, argon gas pressure above 0.01 MPa, to improve the quick change institutions hydraulic cylinder speed and guarantee the accuracy of the quick change and cooling effect, fast in submerged nozzle measures such as operation, it can make in the thin slab continuous caster without plate between the steel.

Key words: medium-thin slab caster; submerged nozzle; slide surface; slide surface steel leakage

浸入式水口板间漏钢是指由于耐材、设备、操作不当等原因,导致钢液从浸入式水口板面与中间包上水口面之间溢出而造成的生产事故[1-3]。一旦发生板间漏钢,轻者造成生产计划打乱,减计划停浇,严重时会造成铸机设备烧坏, 甚至威胁职工安全,制约了生产稳定[4-6]。关于板间漏钢原因,目前国内外还鲜有相关报道,一般认为与水口面材质、快换缸速度、快换浸入式水口操作等因素有关[7-9]。

唐钢中薄板坯连铸机在生产过程中经常发生板间漏钢事故, 最严重的一次造成中包车操作箱、线缆烧毁,轨道变形,事故时间长达 24 h,严重影响生产稳定。本文对该铸机板间漏钢的原因进行分析,以制定相应的控制措施,以期杜绝板间漏钢事故,实现稳定生产。

1　中薄板坯连铸机主要技术参数

唐钢中薄板坯连铸机的主要技术参数如下:

铸机类型: 直弧型; 台 / 流数:1/2; 铸机断面: 850～1 550 mm×180 mm;拉速:0.8～1.8 m/min;

铸坯半径:7 000 mm; 结晶器长度:1 100 mm; 二冷系统:气水雾化冷却系统。

2　板间漏钢原因分析

唐钢中薄板坯连铸机发生板间漏钢的主要原因是快换浸入式水口发生水口面氧化,使用 6.5 h 后可见水口面发生明显氧化、侵蚀,这是由于板间夹钢,上下水口不对中以及快换浸入式水口操作不当等原因造成的。钢液沿着上水口与浸入式水口板面间缝隙不断渗入、侵蚀,当侵蚀至水口面外沿时,发生板间漏钢事故,如图 1 所示。

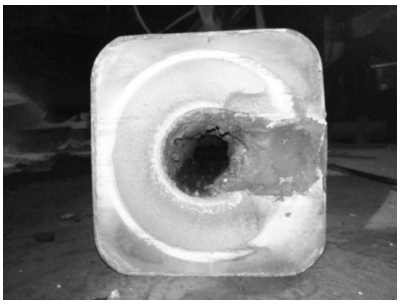

图 1 使用 6.5 h 后的浸入式水口板面
Fig.1 Slide surface of submerged nozzle after 6.5 h

收稿日期:2020-11-20
作者简介:刘　鑫(1990—),河北唐山人,硕士,工程师.主要从事炼钢连铸工艺方面的工作.电话:18000630526,Email:541949803@qq.com

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

造成水口面氧化的原因主要如下：

(1)水口面材质耐氧化性差。对比两种浸入式水口，同样浇注6.5 h后，水口1板面氧化较为严重，使用后表面划痕平均深度为1.5 mm；水口2板面氧化则较轻，使用后板面划痕平均深度仅为0.5 mm。对比两种水口面材质发现，水口1板面中石墨含量为7%，较水口2板面石墨含量提高2%。同时，水口面中Al_2O_3含量较低，为68%，较水口2中Al_2O_3含量低3%。由此可见，由于水口1板面具有更高的石墨含量和较低的Al_2O_3含量，导致水口1板面的耐氧化性不如水口2。

(2)水口面精度低。若浸入式水口板面与上水口面间密闭不严，将导致板间氩气无法对水口面和钢液起到良好的浇注保护作用，加剧水口面氧化。浸入式水口板面精度存在的问题如下：水口厚度精度较差，不同浸入式水口的板面厚度最多可差1 mm，快换浸入式水口时，若两个水口面厚度相差较大，容易发生板间夹钢，使上水口与浸入式水口面间有缝隙，加速水口面氧化；部分浸入式水口面不平，这会直接造成与上水口面间密封不严，促使水口面氧化；部分浸入式水口面外裹钢壳不平，与快换机构垫块接触后，使快换机构垫块受力不均，快换浸入式水口时液压缸受到的阻力变大，更换水口速度，容易引起板间夹钢和水口面氧化；此外，浸入式水口板面的耐材面倒角过大，倒角半径达到2 mm，也容易引发快换浸入式水口时板间夹钢、水口面氧化。

(3)浸入式水口烘烤工艺不合理。这会降低水口耐材面的耐蚀性，加速水口面氧化[10-12]。实践表明，水口烘烤超过3 h，烘烤温度超过1 000 ℃，水口面的耐蚀性大幅下降。此外烘烤水口时，火焰不能外溢烘烤水口钢壳。因为外溢的火焰会造成钢壳变形，容易导致耐材面与钢壳脱离。

(4)中间包上下水口不对中。若浸入式水口板面与中间包上水口面不对中，则钢流会冲击水口面，造成水口面侵蚀加快，并沿上下水口面间缝隙不断拓展，容易引发板间漏钢事故。

(5)快换机构液压缸速度慢。由于原设计液压阀通径较小，仅为6 mm，快换机构液压缸速度较慢，缸舌伸出速度仅为0.5 m/s。使快换浸入式水口时容易发生板间夹钢，引发水口面氧化。

(6)水口面氩气保护效果不足。板间氩气主要作用是密封浸入式水口面与中间包上水口面间的缝隙，在防止钢液二次氧化的同时，可防止水口面吸氧氧化，因此板间氩气流量的大小是影响水口面氧化的重要因素。生产实践表明，当板间氩气压力低于0.01 MPa，氩气对水口面的保护作用下降，水口面容易氧化。在生产过程中，由于氩气管路、接头频繁摘、卸，使氩气管路经常出现漏气，导致水口表面氩气压力不足，这也是引发水口面氧化的一个因素。

(7)快换机构精度低。部分快换机构与快换机构液压缸连接杆存在偏斜现象，使得打水口的力不能保持水平方向，快换机构液压缸行程容易变短，快换浸入式水口时，新的水口容易打不到位。另外，浸入式水口在快换机构中是由六个弹簧提供弹力与上水口接触，当快换机构冷却风管漏气或浇钢过程中快换机构冷却风没打开等原因使得弹簧冷却不足，弹力下降，当夹紧簧弹力低于1 200 N，便容易发生板间漏钢事故。

(8)快换浸入式水口操作不规范。快换浸入式水口时，若钢流未完全关闭便打水口，未切断的钢流容易在打水口过程中接触水口面，使得发生板间夹钢，引发水口面氧化。

3 控制措施

3.1 优化水口面材质

由于石墨含量5%、Al_2O_3含量69%的浸入式水口板面具有良好的耐氧化性、热震稳定性和硬度，因此对水口面材质进行了统一，即浸入式水口板面使用相同材质。

3.2 提高水口面精度

为提高水口面精度，首先，将不同水口的板面厚度偏差控制在0.05 mm以内，以防水口厚度偏差大造成快换浸入式水口时发生板间夹钢；其次，在浸入式水口出厂前，对水口板面耐材进行检查、打磨，对水口板面的钢壳磨平，以杜绝水口耐材面和钢壳有凹凸不平现象；第三，水口耐材面倒角半径由2 mm降至0.5 mm，以防倒角过大造成快换浸入式水口时板间夹钢。

3.3 优化水口烘烤工艺

为保证水口面具有良好的耐蚀性：①搬运水口时，必须轻拿轻放，防止水口磕碰或掉落造成水口面存在微裂纹；②烤水口前，对水口面进行检查，发现耐材面、钢壳有凹凸不平，耐材面有微裂纹，不得使用；③烤包时打开板间氩气，对水口面起保护作用，防止中包烘烤时水口面吸气氧化；④水口烘烤时要调节好丙烷气与鼓风的比例，严禁火焰外溢烘烤水口钢壳，以防钢壳受热变形，导致耐材面脱出钢壳；⑤浸入式水口烘烤时间控制在1.5~3.0 h，烘烤温度控制在850~950 ℃，以防烘烤温度过高或烘烤时

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

间过长造成水口面氧化。

3.4　确保中间包上下水口严格对中

为保证中间包上水口与浸入式水口严格对中,首先,浸入式水口快换机构液压缸的行程必须准确,要求快换机构液压缸缸舌伸出长度偏差控制在±1 mm以内,以防快换机构液压缸缸舌伸出长度过短或过长,造成上下水口不对中;其次,安装中间包第一支水口必须使用导向板,导向板的作用是缓冲水口面受力,防止水口面与快换机构发生卡阻;第三,安装好浸入式水口后,操作工要对水口对中情况进行检查;第四,在线快换浸入式水口前,操作工必须对快换机构液压缸的缸舌伸出长度、缸舌伸出速度进行再次检查确认,防止水口打的过多或打不到位造成上下水口不对中。

3.5　确保管路氩气压力,提高水口保护浇注效果

为防止中间包氩气管路跑漏气造成板间氩气压力不足,引发水口面氧化,首先,要求每次修包后,对氩气接头密封情况进行检查,即将氩气流量调节至20~30 L/min,用装有肥皂水的喷壶对氩气管路各个接头进行检查;其次,对氩气管漏气情况检查检查,采用拔氩气管的方式进行检查,即将氩气流量调至20 L/min以上,拔下氩气管接头,观察氩气流量变化,如氩气流量降至0 L/min,说明管路密封良好。第三,由于浇钢过程中,尤其是开浇、换水口后,水口面受热,氩气压力会发生变化。因此,浇钢过程中,每隔1 h对水口压力进行检查确认,确保压力大于0.01 MPa。

3.6　提高水口快换机构液压缸速度

为提高水口快换机构液压缸速度,首先,对液压阀组进行改造,将液压阀通径由ϕ6 mm提高至ϕ10 mm;其次,对液压管路进行改造,将液压管路直径由ϕ20 mm提高至ϕ27 mm,并取消中间的调压阀组,进回油管路直接接在主管路上,解决回路过长,通径过小问题,使快换机构液压缸的速度由0.5 m/s提高至1 m/s,压力增加一倍。

3.7　保证快换机构精度和冷却效果

为防止由于快换机构原因造成板间漏钢,首先,对将偏斜的快换机构进行重新焊接,以确保打水口时快换面受力为水平方向,防止快换缸偏斜造成缸舌行程变短,水口面受力不均、上下水口不对中;其次,为保证簧片冷却效果,快换机构冷却风管路、接头,不能漏气,以保证足够的风量对簧片进行冷却。

3.8　优化快换浸入式水口操作

对水口快换操作进行了优化。首先,快换浸入式水口时,关闭塞棒后,待结晶器液面下降,再进行打水口操作。其次,根据生产实践归纳总结了通过水口面预判板间漏钢的方法,即要求每次换水口后,操作工对浸入式水口快换面进行检查,如图2(a)所示,若水口面有明显刮蹭痕迹,但刮蹭深度不超3 mm,不做特殊处理;如图2(b)所示,如换下水口有冷钢堵塞,侵蚀严重,有轻微掉块现象,浸入式水口快换面存在板间漏钢风险,浇钢工密切关注水口快换面下方部位及板间结合部位,发现穿钢,立即停浇;如图2(c)所示,如换下水口侵蚀严重,存在大面积掉料情况,为避免板间漏钢事故发生,不再更换浸入式水口,新换的浸入式水口到寿命后执行停浇操作,同时浇钢工密切关注水口快换面下方部位及板间结合部位,有穿钢迹象立即停浇。第三,制定了发生板间漏钢的应急操作,若快换浸入式水口过程中发生板间漏钢,但没造成铸机停浇,操作工要检查滑道,如有冷钢不再更换浸入式水口,水口到寿命后立即组织停浇。若快换浸入式水口过程中发生板间漏钢,且穿出的钢流无法控制,立即采取关塞棒,打盲板,将中包车开至事故位上方,以避免事故扩大化。

3.9　实施效果

在攻关措施实施前,中薄板坯连铸机平均每年发生4起板间漏钢事故,改进措施实施后,效果明显,连续3年浸入式水口板间漏钢事故为零,取得良好的控制效果。

(a)轻微刮蹭　　(b)轻微破损　　(c)严重破损

图2　损坏的浸入式水口板面

Fig.2　Slide surface of submerged nozzle damaged

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4 结论

(1)浸入式水口板间漏钢的原因是水口面氧化,引发水口面氧化的主要原因有水口面耐氧化性差、水口面精度低、水口烘烤工艺不合理,中间包上下水口不对中、快换机构液压缸速度慢、板间氩气压力低、快换机构精度差、快换浸入式水口操作不规范等。

(2)通过优化水口面材质、提高水口面精度、改进水口烘烤工艺、确保上下水口对中、提高快换机构液压缸速度、保证板间氩气压力在 0.01 MPa 以上,杜绝氩气管路跑漏气、保证快换机构精度和冷却效果、规范快换浸入式水口操作等措施,避免了漏钢事故。

参考文献:

[1] 徐伟,赵建平,王帅,等. 快换浸入式水口板件漏钢的原因分析及控制措施[J]. 连铸,2019,44(4):6-9.
[2] 梁保青,赵臣瑞,王全喜. 钢包下水口松动原因分析及改进措施[J]. 耐火材料,2015,19(增刊 2):368-369.
[3] 管令宇. 降低宽板坯连铸机的漏钢率 [J]. 连铸,2010,1(4):16-18.
[4] 周卫胜,刘前芝,汪波. 钢包滑板间漏钢原因及防范措施[J]. 耐火材料,2005,39(3):225-226.
[5] 雅贞,张岩. 新编连续铸钢工艺及设备[M]. 北京:冶金工出版社,2007.
[6] 黄燕飞,梅金波,叶俊辉,等. 常见的钢包滑动水口漏钢原因分析及改进措施[J]. 耐火材料,2009,43(2):157-158.
[7] 闫永垒. 降低钢包滑板漏钢事故率的实践 [J]. 甘肃冶金,2015,37(5):38-39.
[8] 王飞日,王新志,刘海强,等. 板坯浸入式水口穿钢的原因分析与对策[J]. 河南冶金,18(4):40-42.
[9] 蔡开科,程士富. 连续铸钢原理与工艺[M]. 北京:冶金工艺出版杜,2007.
[10] 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.
[11] 吴春,滕铁力,柳勇,等. 快换水口用滑动面材料的研制[J]. 山东冶金,2008,30(4):33-34.
[12] 朱纪衡,郑海平,陈红伟,等. 影响钢包滑动水口漏钢的因素及改进措施[J]. 河南冶金,2006,S2:152-153,178.

(上接第 202 页)

生裂纹的最直接原因,当应力大于铸件表面材料强度时,铸件表面会发生开裂。影响铸件表面产生裂纹的影响因素主要包括以下 4 个方面:铸件自身结构、缺陷补焊、表面脆性 α 层以及表面脆性氢化物。

(3)钛合金熔模精密铸件荧光所显示的凹坑缺陷,主要有两个方面引起的。其一,钛合金金属液在高温下与惰性较差的型壳材料发生反应致使铸件表面存在反应性气孔。其二,钛合金熔模精密铸件在补焊修整过程中,产生的焊接引入性气孔。

参考文献:

[1] 苏鹏,刘鸿羽,赵军,等. 钛合金熔模铸造型壳制备技术研究现状[J]. 铸造,2012,61(12):1401-1404.
[2] 张文毓. 国外钛合金的研究与发展 [J]. 世界有色金属,2009(7):64-66.
[3] 阎峰云,陈基东,马孝斌. 钛合金熔模铸造技术[J]. 中国铸造装备与技术,2009(2):1-5.
[4] 谢华生,刘时兵,苏贵桥,等. 我国钛合金精铸件铸造技术的发展及应用[J]. 特种铸造及有色合金,2008(增刊 1):462-464.
[5] 肖树龙,陈玉勇,朱红艳,等. 大型复杂薄壁钛合金铸件熔模精密铸造现状及发展 [J]. 稀有金属材料与工程,2006:35(5)678-681.
[7] 张慧芳,张治民. 钛合金成型技术[J]. 陕西科技,2008(3):156.
[8] 张帅峰,张建新,于冰冰,等. 铸造钛合金 α 层对补焊裂纹的影响[J]. 热加工工艺,2020,49(3):67-70.
[9] 孙冰冰,郭绍庆,肇恒跃,等. ZTC4 钛合金氩弧焊补焊工艺及组织性能研究[J]. 电焊机,2016,46(7):97-100.
[10] 张庆云,陆业航,李众城,等. TC4 钛合金紧固件的 α 层[J]. 中国有色金属学报,2010,20(S1):1036-1038.

《铸件均衡凝固技术及应用实例》

《铸件均衡凝固技术及应用实例》由西安理工大学魏兵教授编著。共 8 章:1 铸铁件均衡凝固与有限补缩;2 铸铁件冒口补缩设计及应用;3 压边浇冒口系统;4 浇注系统大孔出流理论与设计;5 铸件均衡凝固工艺;6 铸钢、白口铸铁、铝、铜合金铸件的均衡凝固工艺;7 浇注系统当冒口补缩设计方法;8 铸件填充与补缩工艺定量设计实例。全书 320 页,特快专递邮购价 280 元。

邮购咨询:李巧凤 029-83222071,技术咨询:13609155628

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net