

板坯中心线裂纹控制生产实践

Production Practice of Crack Control on the Centerline of Slab

供稿|李润泽 / LI Runze

内容导读

连铸板坯在钢铁行业粗钢中产量占比较大，中心线裂纹在板坯质量缺陷中占主要比例。针对中心线裂纹缺陷，根据现场设备、工艺情况进行分析，确定了其产生原因，主要包括：辊缝增大、拉矫机热坯压力不足等。为了改善中心线裂纹缺陷，采取了相应控制措施：扇形二段维护、拉矫机维护、扇形段对中数据控制、钢中硫及锰硫比、机械力均匀分布、轻压下控制和二冷水控制。通过以上措施，铸坯中心线裂纹得到有效控制，裂纹造成不合格产品的数量逐月递减，最终基本消除。

在黑色冶金行业中，钢铁行业占据较大的市场份额，其中，粗钢产量决定着钢铁行业的发展，起到了至关重要的作用。在我国粗钢主要分为方坯、板坯和其它坯，其中板坯占比约 22%，因此板坯质量也受到了广大科技工作者和生产技术人员的广泛关注和研究，在板坯质量缺陷中板坯裂纹占主要比例，其中，中心线裂纹是一个比较容易产生的缺陷。中心线裂纹在热轧过程中无法被焊合，后续加工的中厚板、热卷或薄板的表层存在中心线裂纹会造成波浪质量事故，还会造成轧制过程中断带事故，对成材率和连续性生产带来不利影响。经研究，铸坯裂纹产生的主要原因是传质、传热和应力相互作用，即由铸坯内应力、外应力和铸坯本身对裂纹的敏感性造成，包括铸机设备状态、铸坯本身高温力学性能和凝固冶金行为。中心线裂纹一般由中心偏析、凝固收缩和凝固末端鼓肚变形造成。福建三宝钢铁有限公司在板坯生产过程中遇到了板坯批量出现中心线裂纹的事故，通过技术分析和提高生产操作技能，确认了中心线裂纹产生的主要原因

并提出相应的控制措施，总结了很多宝贵经验，为公司降本增效工作做出了一定的贡献。

现状分析

转炉炼钢厂工艺装备主要包括：100 t 转炉 2 座、100 t 精炼炉 2 座、四机四流板坯连铸机 1 台，连铸板坯生产工艺流程为：转炉冶炼→钢包精炼炉（LF）精炼→板坯连铸→热送/堆垛。我公司板坯连铸机于 2019 年 6 月投产至 2022 年 12 月，已为公司开发品种钢并创效甚多，连铸机主要工艺参数如表 1 所示。

2021 年 12 月以来，由于设备的逐渐老化及设备本体的内部变化，现有的设备参数精度已经不能满足正常生产需求，生产的产品已经批量出现了铸坯中心线裂纹缺陷，如图 1 所示，给公司造成了较大损失。我公司采用小型板坯连铸机，扇形段只有垂直弯曲段、扇形一段、扇形二段，且扇形段没有液压系统和驱动系统，属新型板坯连铸机。更换矫直区扇形二段费时较长，每次更换需要把所有扇形段

表 1 连铸机主要工艺参数

连铸机流数	铸坯规格(mm×mm)	振动波形	振幅/ mm	振动频率/ (次/min)	机型	流间距/ mm	连铸机 半径/m	拉速/ (m/min)
四机四流	(150/160/180)× (500~900)	非正弦曲线	±5	0~300	垂直弯曲线(连续弯曲、连续矫直)	2800	8.5	0.3~1.6

吊出才能更换,换一次扇形二段用时约 8 h,对生产影响较大。



图 1 铸坯中心线裂纹

中心线裂纹产生原因分析

中心线裂纹的产生有多方面原因,但是其本质

是铸坯在凝固前沿的变形量超过临界应变变形量所造成的撕裂,从而使铸坯在中心线部位出现裂纹^[1-5]。根据转炉炼钢厂现场生产情况和技术经验总结分析,造成中心线裂纹的主要原因包括辊缝增大、拉矫机热坯压力不足和其它原因 3 类,具体如下。

辊缝增大

凝固末端的扇形二段辊缝增大是造成我厂中心线裂纹事故的主要原因^[6-8]。扇形二段加工工艺相关参数如表 2 所示,其功能是抑制由钢水静压力引起的铸坯变形,对铸坯进行辊缝收缩,保证产品质量。弧形扇形二段位于弧形扇形一段之后,是引导铸坯,并促使铸坯坯壳继续增长直至完全凝固的设备。当扇形二段辊缝增大超出设定范围时,凝固末端辊子静压力不足以抑制钢水静压力产生的鼓肚变形,从而导致中心线裂纹产生。

表 2 扇形二段加工工艺参数

基本半径/m	支导辊	支导辊直径/mm	辊子长度/mm
8.5	内、外弧辊各 13 个	230	~960
辊子润滑	辊子材质	辊子和轴承冷却	铸坯二次冷却
油气集中润滑	42CrMo(表面堆焊不锈钢 3 mm)	内通设备循环冷却水	气雾冷却

拉矫机热坯压力不足

拉矫机热坯压力不足也是导致铸坯中心线裂纹生成的主要原因之一。拉矫机位于弧形扇形段后面,用于驱动引锭杆进入结晶器和引出铸坯,将铸坯矫直后,送入辊道上进行切割,拉矫机技术参数如表 3 所示。本台铸机设有 4 台拉矫机,其中,1[#]、2[#]拉矫机处于弧形末端,当拉速较快、过热度较高时,铸坯在 1[#]拉矫机位置仍处于带液芯状态,若出现拉矫机油缸内泄,热坯压力不足以抑制钢水静压力产生的鼓肚变形,即可能产生中心线裂纹。

其它原因

除设备精度易造成中心线裂纹事故,二次冷却不均导致连铸板坯液相穴末端回热过大、中间包钢

表 3 拉矫机技术参数

项目	描述
结构型式	牌坊框架式
机架数量	4 台/流
辊子数量	2 个/机架
驱动辊数量	2 个/机架,上、下辊传动
辊子直径	450 mm
辊子宽度	~960 mm
辊子材质	42CrMo(表面堆焊不锈钢 3 mm)
矫直方式	连续矫直
送引锭杆速度	~2.5 m/min
拉速	0.3~1.6 m/min
轴承润滑	油气集中润滑
拉矫机冷却	机架、轴承座、水冷罩、辊子内部通水冷却
电机/减速器冷却	通水冷却

水温度过高、拉速过快、钢水中 S 元素含量过高等原因也会造成铸坯鼓肚从而产生中心线裂纹。

中心线裂纹控制措施

针对板坯中心线裂纹产生的原因,采用相应的控制措施,主要包括:扇形二段维护、拉矫机维护、扇形段对中数据控制、钢中硫含量控制、机械力的均匀分布、轻压下控制和二冷水控制,具体如下。

扇形二段维护

在原设计给定的辊缝值基础上进行优化,将原设计给定的扇形二段第一组辊缝标准数值由 (185.4 ± 0.3) mm,设计更改为 $(185.4 - 0.3)$ mm 或 $(185.4 - 0.5)$ mm (即 185.1 mm 或 184.9 mm)。将所有辊缝数值在原有辊缝数值基础上,只按负公差调整,不再按正公差或正负公差来调整,统一公差及方向,这样一来可加强辊缝的收缩量,同时也可消除辊子轴承的轴承间隙(轴承间隙约 0.2 mm),对铸坯内部质量起到很好的优化作用。

拉矫机维护

拉矫机油缸采用进口油封,确保油缸具备长时间运行能力且不会出现油缸内泄现象,同时将拉矫机热坯压力进行调整,将原来的热坯压力由 4.0 MPa 调整为 5.0~5.6 MPa,使拉矫机具备凝固末端轻压下功能,减小铸坯鼓肚变形量。

扇形段对中数据控制

由原设计的接弧数据为 (1.0 ± 0.1) mm,改为同一弧面内只允许 $(1.0 + 0.1)$ mm (即 1.0~1.1 mm) 或 $(1.0 - 0.1)$ mm (即 0.9~1.0 mm),即同一弧面只允许同一公差方向,不在同一弧面内出

现正负公差,提高接弧精度。另外,所有规格辊子在安装之前用百分表检测辊径偏摆,偏摆量不得超过 0.1 mm,控制辊面转动精度。

钢中硫含量控制

硫在钢中是易偏析元素,由于硫在钢中的宏观偏析,降低了钢的塑性温度及比表面能,析出物与机体的结合力因硫的偏析而下降,促进了晶界滑移,晶界的应力集中使得硫与晶界间形成孔隙,导致更大的应力集中,扩展成为晶界裂纹,最终导致裂纹的形成。随着钢中硫含量的升高,发生中心裂纹的概率增加。因此,在生产过程中,尽可能控制钢水硫元素含量不超过 0.020%,以降低中心裂纹的出现。

机械力的均匀分布

将所有辊子辊缝数值、接弧数值调整为同一区间及方向,使铸机精度得到提高,同时也保证了在生产过程中每根辊子的均匀受力,对设备使用寿命和铸坯质量的提高起到了关键性作用。

轻压下控制

轻压下控制对铸坯内部中心线裂纹起到辅助和修补作用。由于扇形段为机械静压下,在长期负载过程中,经过磨损扇形段辊缝慢慢变大,引起铸坯压下不实,铸坯内部不能有效粘合而出现分层,可通过适当增加拉矫机热坯压力,来减轻铸坯鼓肚造成的中心线裂纹,轻压下技术对中心线裂纹有一定的控制作用^[9-11]。

二冷水控制

二冷水对铸坯的温降及回温起着决定性作用,也决定了铸坯热应力和相变应力的差异,二冷水控制不合理最终导致中心线裂纹的产生。经过多次试验,最终确定较优的二冷水配水量,如表 4 所示。

表 4 不同拉速下二冷水配水

m³/h

拉速/ (m/min)	1区		2区	3区	4区		5区	
	窄面	宽面			内弧	外弧	内弧	外弧
0.7	1.84	5.92	6.68	6.58	2.96	3.55	1.76	2.29
0.8	2.12	6.80	7.81	7.64	3.47	4.19	2.08	2.70
0.9	2.43	7.81	8.82	8.69	3.97	4.76	2.33	3.06
1.0	2.71	8.69	9.95	9.74	4.70	5.37	2.65	3.44
1.1	3.02	9.70	11.09	10.20	4.98	5.97	2.96	3.85
1.2	3.37	10.84	12.85	11.38	5.48	6.58	3.28	4.25

实践结果

经过扇形二段和拉矫机维护、钢中成分控制、轻压下技术控制等措施,铸坯中心线裂纹得到有效控制,裂纹造成的产品不合格数量逐月递减,目前已基本消除,2022年上半年裂纹坯质量情况如图2所示。

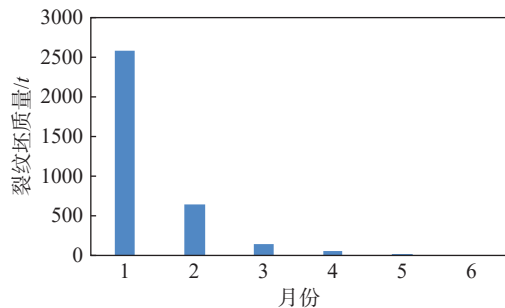


图2 2022年上半年裂纹坯质量情况

结束语

(1) 中心线裂纹产生的主要原因是铸坯在凝固前沿的变形超过了临界应变变形量,造成了撕裂,其产生于凝固末端位置处,并受到扇形二段、1#、2#拉矫机精度的影响。因此,在生产过程中需重点做好扇形段、拉矫机的维护工作。

(2) 工艺上控制合理的钢水成分、二冷水配比及优化轻压下控制,有助于减少中心线裂纹的发生。

参考文献

- [1] 蔡开科. 连铸坯质量控制. 北京: 冶金工业出版社, 2010
- [2] 蔡开科, 程士富. 连续铸钢原理与工艺. 北京: 冶金工业出版社, 1994
- [3] 郑泽林, 赵鲁鹏, 欧阳页先, 等. 低碳酸洗钢 SPHC-P 冲压开裂分析及性能提升. 金属世界, 2022(3): 61
- [4] 裴文革. 临钢连铸板坯中心裂纹的产生原因及解决措施. 山西冶金, 1995(4): 21
- [5] 张明国, 张菁文, 张尔康. 板坯中心裂纹的形成原因及控制措施. 科技视界, 2014(22): 79
- [6] 王鹏建. 热轧带钢异物压入缺陷分析及改进措施. 金属世界, 2021(1): 54
- [7] 袁野, 张群. 轴承套圈裂纹缺陷分析. 金属世界, 2021(3): 49
- [8] 刘珂, 孙齐松. 板坯连铸辊缝标定精度对铸坯内部质量的影响. 炼钢, 2016, 32(2): 25
- [9] 田陆, 黄郁君, 杨建桃. 轻压下在板坯连铸中的生产实践. 连铸, 2011(S1): 107
- [10] 林启勇, 朱苗勇. 连铸板坯轻压下过程压速率理论模型及其分析. 金属学报, 2007(8): 847
- [11] 林启勇, 朱苗勇. 连铸板坯轻压下过程中的压下效率分析. 金属学报, 2007(12): 1301

作者简介: 李润泽 (1983—), 男, 福建省泉州市人, 转炉炼钢厂转炉主任。2008年毕业于河南科技大学冶金工程专业, 主要研究方向: 转炉溅渣技术与高炉龄的关系。通信地址: 福建省漳州市芗城区浦南镇三宝钢铁公司, 邮箱: 544749321@qq.com。