

倒角结晶器在包钢的应用

张乐乐, 段云波, 李强, 王东, 武慧

(内蒙古包钢稀土钢板材有限责任公司, 内蒙古包头 014010)

摘要: 为了改善包晶钢、亚包晶钢、中碳钢和含硼、铌、钒、钛微合金化钢的角部横裂问题, 在1[#]、2[#]连铸机陆续投入使用倒角结晶器, 角部横裂缺陷明显改善, 但由于角部冷却方式的变化, 板坯易出现的角部纵裂纹、结疤和压痕等缺陷, 严重时会导致纵裂漏钢事故。文章重点对倒角铸坯常见的纵裂纹、结疤和压痕等缺陷进行分析, 通过调整窄侧铜板锥度系数、二冷水冷却强度、优化设备装配精度和关键设备改造等措施, 板坯缺陷得到有效控制。

关键词: 连铸板坯; 倒角结晶器; 角部纵裂纹

中图分类号: TF771.1

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2022)02-0078-04

Application of Chamfering Crystallizer in Baotou Steel

Zhang Le-le, Duan Yun-bo, Li Qiang, Wang Dong, Wu Hui

(Inner Mongolia Baotou Steel Rare Earth Steel Plate Co., Ltd., Baotou 014010,
Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: In order to improve the problem of transverse corner crack for peritectic steel, hypo-peritectic steel, medium carbon steel and microalloyed steel containing B, Nb, V and Ti, the chamfering crystallizer successively comes into service of 1[#] and 2[#] continuous casters. As a result, the defect of transverse corner crack is improved obviously, but due to the changes of cooling mode at corner, such defects of billet as longitudinal corner crack, scab and indentation appear easily as well as they could even cause the accident of longitudinal crack and bleed-out. In the paper, it is mainly analyzed such common defects of chamfering ingot blank as longitudinal crack, scab and indentation so that the slab defects are effectively controlled through such measures as adjusting the taper coefficient of copper plate with narrow edge and cooling intensity of secondary cooling water as well as optimizing the assembly accuracy of equipment and modification of key equipment.

Key words: continuous casting billet; chamfering crystallizer; longitudinal corner crack

包钢稀土钢板材公司两台板坯连铸机分别于2013年10月19日和2014年4月28日热负荷试车, 仅用一年时间便成功开发生产80余个钢种, 并于2015年5月达产。随着后续产品结构的调整和设备的不断老化, 两台连铸机在生产包晶钢、亚包晶钢、中碳钢和含硼、铌、钒、钛微合金化钢时, 连铸坯存在严重角部横裂纹缺陷。为了改善此类缺陷, 倒

角结晶器于2018年开始陆续在1[#]、2[#]连铸机投入使用, 通过不断地优化工艺参数使得倒角结晶器的使用趋于常态化, 连铸板坯角裂缺陷得到有效控制, 角裂比例降低到0.5%。倒角结晶器由于边角部坯壳温度及坯壳厚度与直角结晶器区别较大, 坯壳相对较薄, 同时对结晶器装配精度要求较高, 在实践应用过程中易出现角部纵裂纹、结疤和压痕等缺陷, 严重

时会导致铸坯窄侧漏钢事故。

本文重点阐述倒角结晶器在实际生产过程中的应用,对常见问题产生的原因和控制措施进行详细解析。

1 生产设备概况

1.1 铸机主要技术参数

包钢稀土钢板材公司现有两台连铸机,1 650 mm连铸机由中冶京诚公司设计;2 150 mm连铸机由西门子奥钢联设计,核心技术和关键设备由奥钢联提供。两台连铸机后部辊道、切割机和氢氧发生器等配套设备由国内制造厂制作。连铸机采用了液压振动、动态轻压下、铸流电磁搅拌、氢氧切割等先进技术。工艺流程为:KR 脱硫→转炉冶炼→LF 炉和 RH 炉精炼→连铸。钢种结构包括低碳钢、结构钢、船板、管线钢、汽车用钢和磨具用钢等。主要设备参数见表1。

1.2 倒角结晶器基本参数

倒角结晶器的开发通过改变窄面铜板结构,将铸坯角部常规直角转变为两个钝角,使原边部直角位置的二维冷却变为近一维冷却,减缓角部传热,提高角部温度及其均匀性,进而消除角部应力集中,达到控制角部横裂的目的^[1]。

基本参数包括:

(1)倒角坯角部需要保证足够的冷却强度,因此应在铜板角部增加两个圆形水缝,通过水缝循环冷却水,对铸坯角部进行冷却,倒角结晶器窄侧铜板见图1。

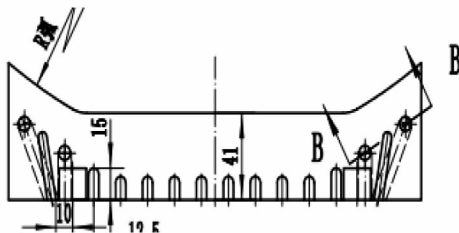
(2)倒角结晶器铜板应设计成双锥度结构以增大局部锥度,减少纵裂缺陷。

(3)铜板斜面与平直面的夹角 θ 应控制在 $30^\circ \pm 5^\circ$ 范围,保证铸坯受到的应力最小。

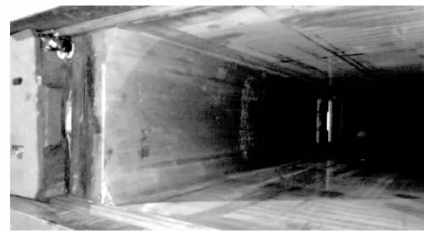
(4)铜板斜面长度B控制在40~80 mm,保证生产顺行。

表1 板坯连铸机技术参数

名称	参数
连铸机机型	直弧形
弧形半径/m	10.0
冶金长度/m	36.9
结晶器长度/mm	900
流数	4
浇注板坯厚度/mm	230, 250(预留)
浇注板坯宽度/mm	900~2 150
定尺长度/m	8~11
扇形段数量/个	16
拉速范围/($m \cdot min^{-1}$)	0.8~1.8



(a) 示意图



(b) 实物图

图1 倒角结晶器窄侧铜板示意图及实物图

2 生产中存在的问题

2.1 角部纵裂和结疤

角部纵裂是倒角结晶器在生产实践中最常见的缺陷之一,严重时会出现结疤缺陷(又称窄侧渗漏)。统计1#、2#铸机各钢种角部纵裂发生比率,其中包晶钢、高合金钢和Ti系微合金化钢更易出现纵裂缺陷(见图2),同时2#铸机缺陷率高于1#铸机(见图3)。

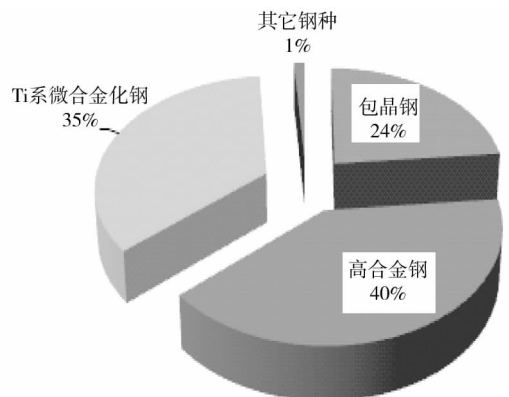


图2 不同钢种角部纵裂发生率

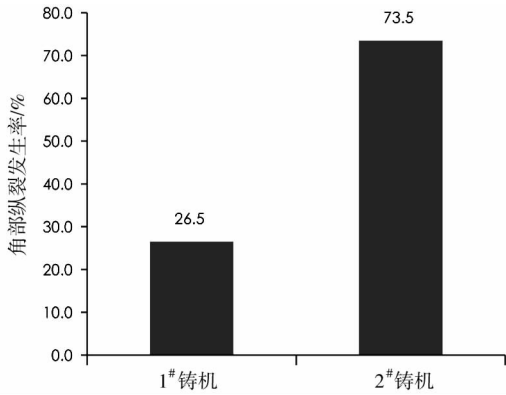


图 3 1#、2#铸机角部纵裂发生率

2.1.1 原因分析

根据缺陷形貌分析,角部纵裂缺陷 95% 以上发生在倒角坯窄面平直面与斜面相交的倒角部位,结

疤处有明显振痕,对缺陷位置进行扫描电镜观察,发现裂纹内部存在 MgO 、 CaO 等夹杂物^[2]。由此说明,角纵裂及结疤在结晶器内发生。

分析认为,此类缺陷主要由于结晶器窄侧铜板与铸坯之间间隙较大,未能有效的支撑坯壳,铸坯冷却不均匀,进而产生偏离角纵裂。具体分析如下:

(1)在倒角结晶器设计初期,窄侧锥度在直角结晶器的基础上增加 0.05%,但在实际生产过程中铜板距下口 1/3 位置磨损严重(0.5 ~ 0.7 mm),铜板使用后期,镀层磨损量增加,导致窄侧铜板与铸坯之间间隙增大。

(2)2#铸机结晶器跑锥严重。统计 2020 年 2 月份,结晶器共使用 112 次,其中跑锥量大于 1 mm 共计 36 次(见图 4 和图 5),跑锥比率为 32.14%,其中 5 个浇次板坯出现角部纵裂缺陷。图 4 和图 5 分别为四流结晶器南侧锥度变化统计图和四流结晶器北侧锥度变化统计图。

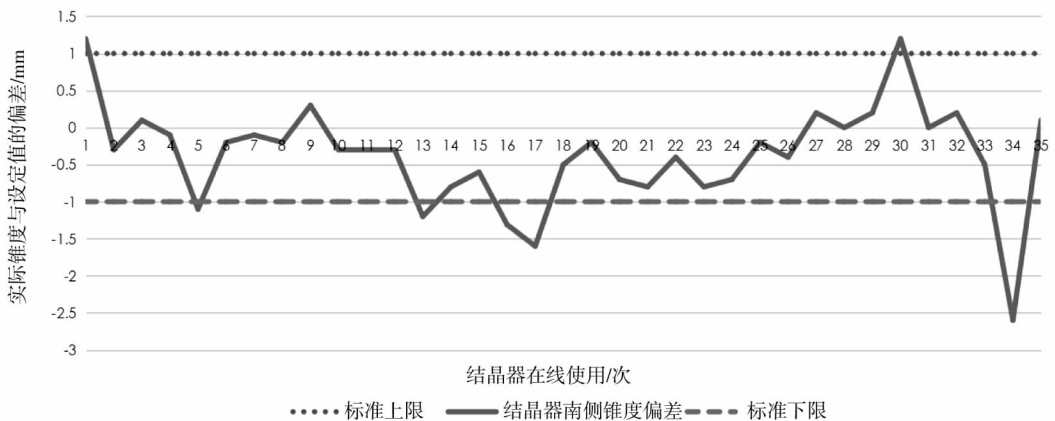


图 4 四流结晶器南侧锥度变化统计图

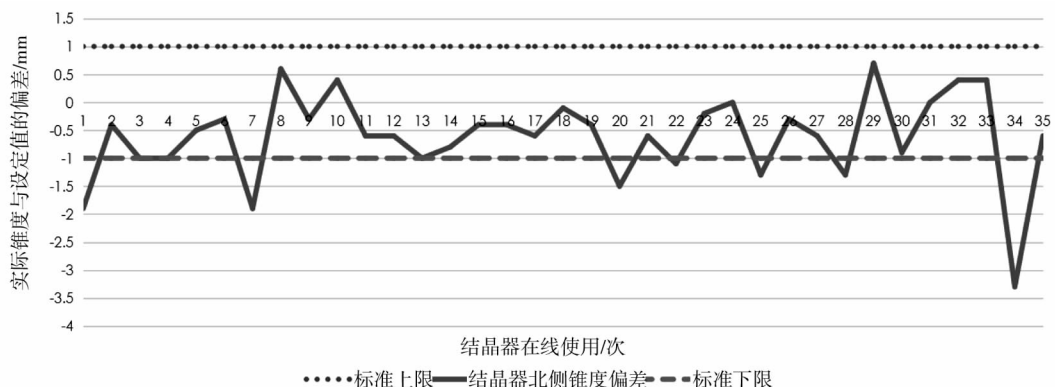


图 5 四流结晶器北侧锥度变化统计图

(3) 倒角面坯壳相对较薄。在钢水过热度高、拉速快、铸坯窄侧冷却不足的情况下,倒角面位置与铸坯宽侧冷却收缩偏差较大,易出现角部纵裂缺陷^[3]。

2.1.2 采取措施

针对以上问题,在生产实践过程中制定以下解决措施:

(1) 根据窄侧铜板过钢量,调整锥度参数,若在线过钢量大于4万t,锥度在原基础上增加0.05%。

(2) 将1[#]、2[#]铸机结晶器调宽模式进行对比,其中2[#]铸机结晶器窄侧油缸比例阀采用电压型,存在反应缓慢,精度低等问题(见表2),因此将2[#]铸机结晶器比例阀进行改造,解决结晶器跑锥引起的铸坯角部纵裂。

表2 调宽比例阀对比

比例阀类型	放大板	输入输出信号	电缆阻值要求	动作相应时间
电压型	外置	±10 V	相对较高	慢
电流型	内置	4~20 mA	相对较低	快

(3) 提高铸坯窄面和倒角边的冷却强度,其中结晶器窄侧水量在原基础上增加120 L/min,窄面足辊水量在原基础上增加15%~30%。

通过以上措施倒角结晶器角部纵裂得到有效控制,生产包晶钢、高合金钢和Ti系微合金化钢角部纵裂发生率由3.6%降至0.2%。

2.2 角部压痕

与正常直角结晶器对比,倒角边铸坯往往会出现鼓肚现象,这与倒角结晶器坯壳生长特点有直接关系,通过增加窄面倒角足辊可解决此问题,但在实际应用过程中倒角边角部压痕缺陷也随之产生。由图6和图7可以看出,压痕位置与倒角足辊角部存在明显对应关系。

通过跟踪缺陷铸坯轧制情况,若压痕深度不小于1 mm,则钢卷边部会出现翘皮缺陷。据统计,2020年上半年压痕深度超标比率为15.62%,铸坯必须经过火焰清理后方可正常轧制,造成大量能源、材料、人力资源的浪费,影响热装率以及合同正常兑现。

边部压痕是倒角结晶器使用之后产生的新缺陷,因此需要对倒角足辊的设计参数及装配精度进行逐项排查,同时结合下线检查时常见故障,最终确定以下几方面是影响压痕深度的重要因素。

(1) 足辊碟簧损坏,使得生产过程中倒角足辊无法自由伸缩。

(2) 原来设计倒角辊过度圆弧直径为5 mm,过渡角角度偏小,划伤铸坯。

(3) 设计初期为防止铸坯出现鼓肚缺陷,倒角足辊与窄侧铜板接弧过于偏向铸坯方向。

(4) 倒角辊内部隔环厚度偏小,铸坯在运行过程中无法与倒角足辊完全吻合。

为进一步验证设备参数及装配精度对压痕深度的影响,分别对同一台结晶器按照不同的设计参数进行改装,测量产出铸坯的压痕深度(见表3)。



图6 角部压痕缺陷



图7 压痕形成过程模拟

度控制逻辑输出到变频器,变频器控制卷取机芯轴电机转矩变化,实现板材卷取张力梯度变化。

4 结束语

对于连续机组,带钢张力根据不同钢种和规格取用不同值,卷取“硬核”张力控制采用分级控制。在原张力控制模式控制思想不变的基础上,附加锥形梯度控制逻辑,通过合理的张力分配控制和模块化程序设计,输出高精度的张力设定值,实现卷取机张力锥形梯度控制,构造出带卷中心硬质结构,有效地避免了较薄板材塌芯的发生,提高了产品质量和板材成材率,降低了生产成本,提高了生产效率,保障了机组稳定运行。

参 考 文 献

- [1] 崔岩. 热轧产线精轧设定计算研究与分析[J]. 冶金自动化,2021,45(S1):292-295.
- [2] 谢丰,付文鹏,李阳,等. 基于贝叶斯决策模型的热轧卷筒电机故障诊断[J]. 中国冶金,2021,31(4):68-73.
- [3] 陈振民,聂险峰. 高强规格带钢的热轧卷取机张力控制策略[J]. 工业计量,2019,29(5):32-34.
- [4] 陈志军,丁正. 热轧卷取带钢跟踪常见故障探讨[J]. 冶金自动化,2019,43(5):51-54.
- [5] 林圣平,李兴尧,刘永东. 热轧带钢生产线卷筒故障分析与改进[J]. 冶金设备,2018,(S1):85-86,34.
- [6] 王瑛,丁正. 热轧卷取机堆钢事故原因的分析及应对[J]. 冶金动力,2018,(2):9-12.
- [7] 万祖勇,梁民勤,黄盛声. 浅析柳钢热轧厂2032生产线卷取机出口钢卷运输系统改造工程[J]. 中国设备工程,2019,(9):97-99.

(上接第81页)

表3 边部压痕影响因素对比

mm

试验编号	窄侧铜板与足辊对弧	倒角辊过度圆弧直径	内部隔环厚度	边部压痕深度
1	0.2~0.3	5	8.4	2.5~3.5
2	0.2~0.3	10	8.3	1.5~2.2
3	0.3~0.5	10	8.4	0.8~1.3
4	0.4~0.5	15	8.3	0.5~1.0
5	0.4~0.5	20	8.25	0~0.5

通过试验数据总结,窄侧铜板与足辊对弧在0.4~0.5 mm、过度圆弧直径调整至20 mm、内部隔环厚度8.25 mm,可有效的减少铸坯角部压痕指数。

3 结论

(1)通过增加结晶器窄侧和足辊水量,提高冷却强度,优化结晶器锥度参数,杜绝生产过程中结晶器跑锥,可以有效地减少倒角结晶器角部纵裂缺陷发生概率。

(2)优化倒角足辊的设计参数,控制装配精度,可减少铸坯角部压痕指数。

参 考 文 献

- [1] 曹建新,陶虹标,张慧. 倒角结晶器在涟钢板坯连铸生产中的应用[J]. 钢铁,2013,37(11):41-44.
- [2] 王卫华,王文军. 板坯连铸倒角结晶器温度场和应力场有限元模拟[J]. 钢铁,2012,36(1):19-23.
- [3] 周红宇. 铸坯角部纵裂纹产生的原因及改进[J]. 河北冶金,2013,22(7):30-32.