连铸坯角裂缺陷产生原因及解决对策[*1]

张立通[1], 李 强[2], 段云波[2]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古 包头 041010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限稀土钢板材厂, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章对铸坯角裂缺陷进行了研究, 分析了铸坯产生角裂缺陷的工艺、操作因素和设备原因, 通过提高钢水质量、调整结晶器冷却水量和二冷水量以及提高在线设备性能、倒角结晶器等一系列改进措施, 改善了作用于凝固坯壳上的热应力和机械应力不均现象, 减少了铸坯角部裂纹发生率, 提高了连铸板坯质量。

关键词: 连铸; 角部裂纹; 结晶器; 二冷
中图分类号: TF771.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2019)03-0022-03
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.03.008

Causes and Solutions for Corner Crack Defect of Continuous Casting Sheet Billet

Zhang Li-tong[1], *Li Qiang*[2], *Duan Yun-bo*[2]

(1. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Rare Earth Steel Plate Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the paper, it is investigated the corner crack defect of continuous casting sheet billet, analyzed its causes from the process, operations and devices. The uneven thermal stress and mechanical stress on solidified slab shell are improved through such a series of improvement measures as improving the quality of molten steel, adjusting the cooling water and secondary cooling water consumption of crystallizer as well as improving the on-line equipment performance and chamfered crystallizer so that its occurrence rate is reduced and the quality of continuous casting sheet billet is improved.

Key words: continuous casting; corner crack; crystallizer; secondary cooling

包钢稀土钢板材厂两台双流板坯连铸机1 650 mm连铸机、2 150 mm连铸机分别于2013年10月19日、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。2015年9月中修以后, 在生产包晶钢、亚包晶钢、微合金钢等连铸坯时角部开始出现大量细小裂纹, 尤其以包晶钢最为严重。轧制厚规格时产生边部裂纹缺陷, 造成热板降级或判废, 直接影响炼钢和轧钢的生产组织。为此稀土钢板材厂成立了角裂攻关组, 对连铸坯角部裂纹产生的原因进行了分析, 采取了一系列控制措施, 使得包晶钢、亚包晶钢、微合金钢的角部裂纹明显减轻。

* 收稿日期: 2019-03-13
作者简介: 张立通(1981年-), 男, 河北省故城县人, 硕士, 工程师, 现从事中试实验工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1　连铸机基本性能参数

包钢稀土钢板材厂两台连铸机，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西门子奥钢联提供。两台连铸机均采用了液压振动、动态轻压下、铸流电磁搅拌、氢氧切割等先进技术，两台连铸机的设计生产能力为 536 万 t/a 合格板坯。

连铸设备基本参数见表 1。

表 1　连铸机基本性能参数

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	2
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	弯曲段、1－15 段
拉速范围/(m·min^{-1})	0.8～1.8

2　铸坯角裂情况

2.1　中碳钢连铸坯的现状

在生产中碳 Q345B、包晶船板 B、微合金钢等钢种时出现大批量的角裂缺陷，缺陷率≥4.0%。铸坯角裂的缺陷，影响热轧排产，导致连铸坯库存量上升，影响正常组织生产。图 1 为铸坯角裂情况。

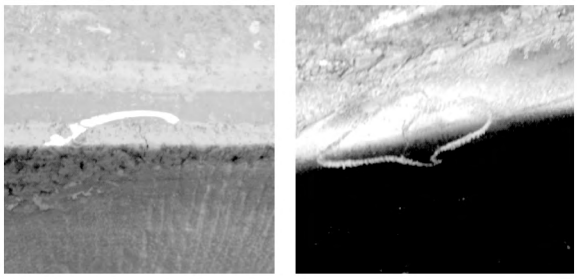


图 1　板坯窄侧角裂图

2.2　连铸坯角裂的影响

连铸坯角裂的影响主要出现在距热卷边部 30 mm以内，以“舌状/钩状”裂纹、气泡或翘皮三种形态出现，如图 2 所示。在厚规格钢卷上以“舌状/钩状”裂纹形态为主；薄规格钢卷上以气泡或翘皮的形貌为主。

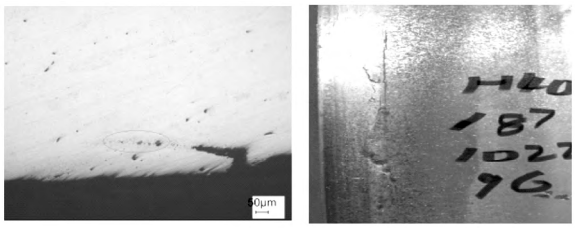


图 2　边裂形貌

2.3　连铸坯裂纹产生机理

连铸坯 C 含量为 0.09%～0.15%之间的钢液凝固时，可能会发生较大的体积收缩和线收缩，易产生角部横裂，并且钢中 N 对含 Nb、V、Ti 等元素形成氮化物在晶界析出而降低钢的热塑性，促进了裂纹的发生。钢水 C 含量处在包晶区发生裂纹的几率最大，因此严格控制钢水的 C 含量，尽量避免 C 含量在 0.09%～0.15%浇注可以有效的减少裂纹的产生[1-2]。

由 Fe－C 相图可知，当高温钢水冷却到 1 493 ℃时，会发生 δ(铁素体)＋L(液相)→γ(奥氏体)转变的包晶反应。伴随包晶反应会出现较大的体积变化和线收缩，凝固收缩和钢水静压力的不均衡作用使较薄的坯壳表面粗糙、折皱，甚至出现凹陷，凹陷部位钢水凝固冷却较慢，组织粗大，在热应力和钢水静压力作用下会产生应力集中，导致出现微裂纹。连铸坯出结晶器后，二冷过强或冷却不均、以及受机械应力作用均可以导致裂纹扩大，产生宏观的纵裂、横裂或角部裂纹[3]。

3　连铸坯角裂的影响因素

3.1　钢水过热度

中间包钢水过热度越高，结晶器内生成的坯壳就越薄，承受应力的能力就越差，在坯壳薄弱处越易产生凹陷、裂纹。当中间包温度过低，保护渣的流动性降低，传热与吸附夹杂能力均变差，易造成连铸坯冷却不均产生裂纹缺陷。

3.2　拉速波动大

拉速对连铸坯的质量有着很大的影响，连铸坯的裂纹很多都是由于升降拉速而引起的，当拉速升高，结晶器内的钢水流动加快，易造成结晶器液面波动同时在结晶器内的凝固时间变短，出结晶器的坯壳受到的钢水热应力变大，而在低拉速时，连铸坯冷却速度过快，也易产生裂纹。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3.3 连铸机设备

结晶器铜板。结晶器铜板过钢量达400炉时(5.5万t),窄边铜板下角部磨损较为严重,造成铸坯角部冷却过强;结晶器使用后期,宽侧铜板变形造成结晶器的角缝大,使得连铸坯角部应力增大,易产生裂纹。

结晶器锥度、振动。结晶器锥度偏小时,坯壳在结晶器内容易脱离铜板,造成冷却偏弱,坯壳过薄,使角部晶粒快速长大,形成粗大晶粒,易产生角裂;当结晶器锥度偏大时,拉坯阻力增大,导致连铸坯应力增加,也易诱发角裂。同时结晶器的偏振也会增加连铸坯凝固坯壳应力和连铸坯冷却不均,极易引起角部裂纹。

扇形段对弧偏差,辊缝偏差。由于备用扇形段备件少,扇形段在线使用寿命长,部分扇形段外弧线及中间辊缝值偏差大于±1 mm,造成连铸坯变形量大(小断面板坯更明显),从而产生裂纹。

3.4 结晶器冷却及二次冷却

结晶器冷却及二冷水质、水量、水压力等不合理造成连铸坯壳冷却不均,易在连铸坯表面形成各种裂纹。

3.5 保护渣性能

在保护渣的各项特性中,粘度对产生表面裂纹的影响最大,粘度较高时,随拉速的增加裂纹加重,粘度较小时裂纹出现的几率较小。

4 解决对策与效果

针对以上裂纹产生的原因分析,制订了相应的整改措施,取得了较为良好的效果。

4.1 工艺改进措施

(1)严格控制钢水的浇注温度,尤其是把包晶钢、中碳钢的钢水过热度控制在18~25 ℃内。

(2)采用标准化作业,合理控制铁水预处理、转炉、精炼、连铸之间的工序作业时间,保证恒拉速浇铸(见表2),使连铸的恒拉速率达到95%以上,降低拉速波动产生的角裂几率。

表2 典型拉速表

钢种	低碳钢	中碳钢	包晶钢	管线钢
拉速/(m·min^{-1})	1.5	1.4	1.3	1.3

注:恒拉速是指典型拉速±0.05 m/min内。

(3)根据连铸钢种的不同,设定不同的结晶器水量和二冷水量,适当的降低结晶器水的冷却强度,把比水量由0.8 L/kg调整到0.56 L/kg,尤其是对连铸坯的边部实行弱冷制度,提高连铸坯窄侧温度。

(4)针对钢种碳含量的不同选择专用的保护渣。

4.2 设备改进措施

(1)实现结晶器铜板寿命管理,新修复的铜板第一次过钢量达到300炉时(4万t)下线检查,铜板后续上线过钢量达到150炉时(2万t)下线检查修复,减少由于结晶器铜板造成的连铸坯角部裂纹。

(2)每周定期检测结晶器振动台的振动情况,将结晶器振动台的偏振控制在±0.3 mm以内,保证结晶器振动台的设备精度。针对不同的钢种调整不同的结晶器锥度,建立结晶器的锥度、连铸钢种和拉速匹配关系。

(3)提高扇形段检修和维护质量,严格执行扇形段更换周期制度,严禁扇形段超期服役,定期检查扇形段的对弧、辊缝、喷嘴堵塞、辊子转动及润滑情况,尤其是结晶器、弯曲段、扇形段的对弧精度,把对弧精度控制在±0.5 mm以内,提高扇形段的辊缝控制精度,把扇形段的辊缝偏差控制在±0.5 mm以内,通过提高扇形段的对弧和辊缝精度有效降低铸坯的角裂产生。

(4)采用倒角结晶器,减缓角部传热,提高角部温度及其冷却的均匀性[4],进而减小连铸坯的角部应力,可以明显减少角裂的产生。

5 结束语

通过控制连铸钢水的过热度、采用恒拉速浇铸和专用保护渣的使用,降低连铸结晶器水和二冷水的冷却强度,把连铸机的扇形段对弧和辊缝精度控制在±0.5 mm以内,结晶器振动台的偏振控制在±0.3 mm以内,采用倒角结晶器等措施,连铸坯的角部裂纹有了明显的好转,尤其是在生产中碳Q345B、包晶船板B、微合金钢时,连铸坯的角部裂纹大幅度减少,角部裂纹率降低到1%以下。

参 考 文 献

[1] 职建军. 宝钢连铸板坯角横裂缺陷的改善[J]. 钢铁,2001,36(1):22-23.

[2] 干勇. 现代连续铸钢实用手册[M]. 北京:冶金工业出版社,2010.

[3] 蔡开科. 连续铸钢[M]. 北京:科学出版社,1990.

[4] 刘洋. 利用倒角结晶器消除连铸板坯的角横裂纹缺陷[J]. 钢铁,2012,47(4):47-50.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net