宽厚板生产线钢板头部过冷问题的分析与控制*

赵 超,徐建东,高 军,李文彪,温利军

(内蒙古包钢钢联股份有限公司薄板坯连铸连轧厂,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 针对包钢宽厚板生产线出现钢板头部过冷的问题,通过优化辊道速度提高跟踪准确性、减小冷却前钢板温度差异、改善流量控制精度、冷却模型中头部遮蔽参数的优化等措施,将冷却后钢板的纵向温差由 40 ℃降至 20 ℃以内,钢板冷却后头部过冷的问题得到了解决,钢板性能一次合格率提高 2.09% 。

关键词: 加速冷却; 钢板头部过冷; 头部遮蔽参数; 纵向温差

中图分类号: TG335.5^{+}5 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009 - 5438(2017)05 - 0045 - 04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.05.013

Analysis and Control for Supercooling Problem of Steel Plate Head in Heavy Plate Production Line

ZHAO Chao, XU Jian - dong, GAO Jun, LI Wen - biao, WEN Li - jun

(*CSP Plant of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol*, *China*)

Abstract: In view of supercooling problem of steel plate head in Baotou Steel heavy plate production line, the longitudinal temperature difference of steel plate after cooling is reduced from 40 ℃ to 20 ℃ through optimizing roller speed to improve the tracking accuracy, reducing the temperature difference of steel plate before cooling, improving flow control accuracy, optimizing head masking parameter in cooling model. The supercooling problem of steel plate head after cooling has been solved, and the first pass yield of steel plate has increased by 2.09%.

Key words: accelerated cooling; supercooling of steel plate head; head masking parameter; longitudinal temperature difference

随着国内经济和现代化建设的快速发展,国内钢铁市场对中厚板材的需求量在不断增加的同时,对其品种、规格、尺寸精度、机械性能以及质量提出了更高的要求[1]。为了满足用户对钢板质量和性能的要求,控制轧制和控制冷却工艺应用于中厚板生产领域,并取得了良好的效果。相对于欧美和日本比较成熟的控轧控冷技术,我国对控轧控冷技术的研究起步较晚,控制目标也只是针对钢板的终冷温度,控制精度极其有限。新一代的控制冷却技术不仅要求对钢板的终冷温度进行精确控制,还要对冷却速度进行控制,更重要的是要保证冷却过程中钢板各方向的温度均匀性[2]。国内现有的绝大多数控制冷却系统不能满足现代控制冷却工艺的要求,因此迫切需要对现有的控制冷却系统进行优化,采用先进的控制冷却设备和计算机控制系统满足中厚板冷却过程对温度均匀性、终冷温度和冷却速度控制的要求,以提高中厚板产品的产量和质量。在钢板生产工艺中,控制冷却工艺是提高宽厚板产品性能和附加值的重要手段,它能简化生产工艺并提高生产效率,节约能源和合金元素成本,从而带来较

* 收稿日期: 2017 - 06 - 30

作者简介: 赵 超(1984 -),男,辽宁省昌图县人,工程师,现从事轧钢工艺技术工作。

好的经济效益[3]。本文结合现场实际，对宽厚板生产线出现的性能波动问题，进行综合分析，确定钢板冷却过程中存在头部过冷问题，通过优化辊道速度提高跟踪准确性、减小冷却前钢板温度差异、改善流量控制精度、冷却模型中头部遮蔽参数的优化等措施，解决了钢板头部过冷的问题，提高了钢板的性能合格率。

1 加速冷却设备

宽厚板生产线配备的加速冷却设备是由德国西马克公司设计的 ACC 层流冷却，于 2007 年 10 月建成并投入使用，本体设备由 15 组上喷水梁、15 组下喷水梁、4 组侧喷、4 组边部遮挡小车、出口空气吹扫以及物料跟踪检测装置和高温计组成。加速冷却设备布置在距离精轧机中心线后 69 m、距离热矫直机中心线 38 m 处。

在线控制系统为自动控制，钢板在精轧机轧制最后一道次时，轧机二级给 ACC 二级发送钢板的 PDI 数据，包括：钢板号、钢种、规格和冷却参数，冷却参数包括：冷却模式、开冷温度、终冷温度和冷却速率，ACC 二级对接收到的数据进行预计算并把指令下发给 ACC 一级，预计算的参数包括：喷水梁打开数量及分布情况、上下喷水梁的水流量、边部遮挡小车的位置、ACC 区域辊道的速度，钢板到达 ACC 区域时开始冷却；冷却过程中，根据 ACC 入口高温计检测的钢板表面温度情况，在线微量调整 ACC 区域辊道速度，以保证冷却后钢板温度均匀；当钢板通过 ACC 区域时，由距离 ACC 出口 20 m 的两个下表面高温计对钢板的温度进行检测。冷却效果被 ACC 模型的自学习系统记录，钢板冷却结束。

2 加速冷却设备的使用现状

自 2016 年 1 月份，生产线上开始出现了钢板性能波动的问题，表 1 为性能不合格钢板的性能指标数据。

表 1 性能不合格的钢板性能指标

试样号	钢种	屈服强度/MPa		抗拉强度/MPa		延伸率/%	
		标准值	实际值	标准值	实际值	标准值	实际值
5LL26517600	Q460C	460	575	570	689	17	14.5
5LL26322400	Q460C	460	527	570	652	17	16.0
5LL26424100	Q345B	355	488	490	608	20	19.0
5LL26407200	Q345B	355	510	490	629	20	18.5
5LL25950300	Q345D	355	425	490	564	22	19.0
5LL26396200	Q345D	355	396	490	562	21	18.5
5LL26752500	Q345E	355	385	490	554	21	18.5
5LL25985900	S275JR + N	285	356	430	495	23	16.5
5LL25428100	S275JR + N	285	348	430	501	23	19.5
5LL25233700	S355JR + N	365	425	490	554	22	19.0

从表 1 可以看出，钢板的强度比标准高 70 ~ 120 MPa，而延伸率低于标准 1% ~7%，对生产工艺各个环节进行排查、分析，对板坯成分(包括气体含量)和冶炼时序进行检查，板坯成分符合内控标准，排除了冶炼工艺的原因；对铸机冷却水、连铸参数和低倍组织进行检查，低倍组织评级为 C2.0，满足质量要求，排除了铸机工序的原因；在轧制生产工序，分析了加热温度、开轧温度、待温厚度、二次开轧温度、终轧温度、开冷温度、终冷温度等影响产品性能的工艺参数，也没有发现对应关系，因为各个温度工艺控制点采集的数据是钢板生产时的平均温度，随后在钢板不同位置进行取样并做常规拉伸性能检测，在钢板中部和尾部取样的性能指标满足标准要求，对比金相组织照片，发现头部 1 ~5 m 处有明显的过冷组织，最终确定为钢板在冷却过程中头部1 ~5 m 存在不同程度的过冷问题，导致了钢板头部性能不合，人工测量冷却后钢板的温度分布并对比 PDA 数据记录，也发现了钢板的头部 1 ~5 m 内的温度比钢板本体部分低 40 ~50 ℃。见图 1。

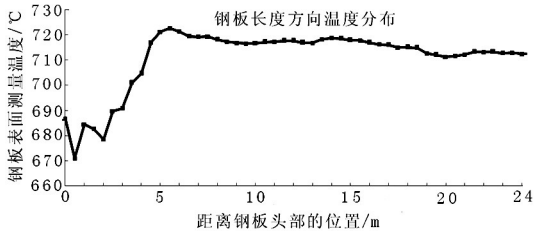


图 1　钢板冷却后纵向温度分布图

3　钢板头部过冷的因素分析

(1) 因输送辊道已经运行 10 年，原辊道的辊径为 400 mm，而目前实际辊径最小已经达到 376 mm，输送辊道磨损后，辊径减小，导致辊道线速度不一致，造成钢板输送过程中速度变化，影响到钢板在生产线上的物料跟踪精度，当跟踪信号和计算钢板跟踪位置的偏差小于 0.5 m 时，线上 HMD(热金属检测仪)将对钢板位置进行修正，当跟踪信号和计算钢板跟踪位置的偏差大于 0.5 m 时，不再进行跟踪位置的修正，导致程序中头部遮蔽功能失效，造成钢板冷却不均匀。

(2) 钢板在轧制过程中，由于轧辊冷却水不均匀地落在钢板表面，ACC 第一组冷却水向钢板尾部流动，使钢板进入冷却前钢板温度存在偏差，导致钢板原有的温差在冷却后得到放大，造成钢板冷却后温度不均匀。

(3) 加速冷却设备中流量蝶阀的响应速度慢，钢板到达冷却区时，喷梁冷却水还没有调整到位，冷却水流量的变化，导致钢板冷却过程中温度不均。

(4) 钢板在往复轧制过程中，由于头部和尾部反复在机架内咬入，而咬入的速度低于正常轧制速度，头部和尾部受到轧辊冷却水的作用比其它部位时间长，导致钢板头部和尾部温度偏低；而且钢板的边缘温降快，也是导致头部和尾部温度低的因素；加上在冷却过程中，钢板头部经过每组喷水梁时，下喷水梁的冷却水会落到钢板头部的上表面，加剧了钢板头部的温降[4]，导致钢板头部出现过冷问题。冷却过程中的微加速控制和尾部遮蔽可以补偿尾部温降，所以尾部过冷问题得到了控制。头部遮蔽的补偿作用较弱，没有发挥出应有的作用，导致钢板冷却过程后头部温度偏低。

4　改进方案

4.1　优化各组辊道速度减小跟踪偏差

对轧机区域每根辊道的辊径进行测量并编号，利用停机时间调换辊道顺序，将辊径偏差 ±5 mm 的辊道放在一组中进行控制，相邻辊道组间辊径逐步过渡，对每组辊道速度进行重新标定、优化辊道速度，使辊道速度满足原设计精度。

对跟踪修正的区间由 0.5 m 提高至 1 m，强化在线 HMD 跟踪修正的作用，保证钢板的跟踪位置准确，为后续优化头尾遮蔽参数提供基础条件。

4.2　减小钢板冷却前的温差

为了减小轧制过程中，轧辊冷却水对钢板表面温度的影响，需要对精轧机出口侧喷水的角度进行调整，保证钢板离开精轧机机架时，钢板表面无残余的冷却水，侧喷水的角度调整要覆盖所有的钢板宽度，当发现钢板表面存在残余冷却水时，需要及时进行调整侧喷水角度。

调整精轧机机后辊道冷却水流量，避免辊道冷却水流量过大，浇到钢板表面，导致钢板温度波动，影响钢板冷却的均匀性。

调整 ACC 区域的侧喷水角度，尤其是 ACC 入口第一组侧喷水，将喷梁的冷却水及时从钢板表面清除，不要让冷却水向钢板尾部流动，造成钢板尾部温度降低，产生温度偏差。

4.3　提高流量蝶阀的控制精度

在实际生产过程中，频繁出现 ACC 蝶阀流量偏差大、响应速度慢等异常问题，导致钢板冷却过程中流量波动，造成钢板表面温度不均。在日常检查过程中，需对 30 个流量蝶阀进行逐个检查，流量的精度需要满足 ±5%，发现问题采取更换皮囊、更换蝶阀、重新标定控制器、更换控制器等措施，有效地解决了 ACC 蝶阀流量偏差大导致钢板冷却不均的问题。

4.4　优化 ACC 头部遮蔽系数

通过对不同规格钢板的头部遮蔽参数进行试验、优化，在钢板头部到达 ACC 冷却区域时，减小钢板头部的水流量，弱化钢板头部的冷却效果，使钢板纵向温差小于 20 ℃，用手持测温枪和 PDA 数据记录进行验证钢板的纵向温差，最终确定的头部遮蔽参数见表 2。

表2 钢板冷却过程中头部遮蔽参数

钢板厚度/mm	流量密度300/(L·m^{-2}·min^{-1})				流量密度400/(L·m^{-2}·min^{-1})			
	上系数	下系数	上长度/m	下长度/m	上系数	下系数	上长度/m	下长度/m
5	0.60	0.60	5.00	5.00	0.60	0.60	5.00	5.00
10	0.60	0.60	5.00	5.00	0.60	0.60	5.00	5.00
15	0.60	0.60	5.00	5.00	0.60	0.60	5.00	5.00
20	0.60	0.60	5.00	5.00	0.60	0.60	5.00	5.00
25	0.65	0.65	4.00	4.00	0.65	0.65	4.00	4.00
30	0.65	0.65	4.00	4.00	0.65	0.65	4.00	4.00
35	0.70	0.70	3.00	3.00	0.70	0.70	3.00	3.00

通过以上4项控制措施的改进，钢板纵向温差有明显的改善，钢板的纵向温差减至20 ℃以内。改进后钢板纵向温度分布见图2。

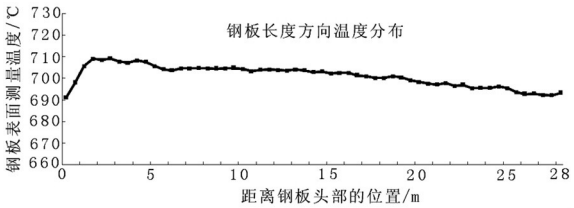


图2 改进后钢板冷却后纵向温度分布图

5 结束语

通过优化辊道速度提高跟踪准确性、减小冷却前钢板温度差异、改善流量控制精度、冷却模型中头部遮蔽参数的优化等措施，解决了钢板头部过冷的问题。钢板冷却的均匀性直接影响钢板的性能合格率、减小了同板的性能差异，改进前后钢板的性能一次合格率由96.73%提高到99.82%，减少了热处理的挽救工序、避免钢板的非计划短尺，缩短了交货期。

参 考 文 献

[1] 许长金. 厚板的控制轧制和控制冷却[J]. 鞍钢技术，1995，(9)：11－18.
[2] 秦国庆，熊晓明. 钢板水幕冷却的分析[J]. 钢板研究学报，2000，34(1)：63－66.
[3] 王国栋. 新一代TMCP技术的发展[J]. 轧钢，2009，26(1)：1－8.
[4] 龚彩军. 中厚板控制冷却过程温度均匀性的研究[D]. 沈阳：东北大学，2005.

(上接第36页)

5 结论

(1) 轧制完成后红色的氧化铁皮是由轧制过程中产生的三次氧化铁皮发展而来的。

(2) 通过提高除鳞系统升速点的压力，可以避免生产过程中除鳞系统压力低于技术附件要求的情况，从而提高了除鳞的最小打击力，避免了钢板表面色差的产生。

参 考 文 献

[1] 邹 颖. 热轧带钢氧化铁皮控制技术的研究[D]. 沈阳：东北大学，2010.
[2] 夏先平，孙业中. 精轧区热轧带钢表面氧化铁皮缺陷成因与预防[J]. 轧钢，2002，40(3)：50.
[3] 刘振宇，王国栋. 热轧钢材氧化铁皮控制技术的最新进展[J]. 鞍钢技术，2011，2：1－5.
[4] J C Mascia. Reduction of work roll wear controlling tertiary scale growth [J]. Iron and Steel Engineer，1998，35(3)：46－51.