

控制连铸板坯中心偏析的实践

黄成红,陈国威,刘光明

(武汉钢铁股份有限公司炼钢总厂二分厂,湖北 武汉 430083)

摘 要: 中心偏析是连铸板坯常见的内部缺陷之一。近几年来,武汉钢铁股份有限公司炼钢总厂二分厂通过坚持日常的铸坯低倍组织分析,采用轻压下技术和电磁搅拌工艺,控制好铸机辊缝精度,完善二冷配水制度,维护好二冷设备等措施,消除了铸坯 A 类偏析,并将 B 类偏析发生率控制在 5% 以下。

关键词: 板坯;中心偏析;实践

中图分类号: TF777.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1002-1043(2009)03-0025-04

Practice in controlling center segregation of continuous casting slab

HUANG Cheng-hong, CHEN Guo-wei, LIU Guang-ming

(No. 2 Steel-making Plant of WISCO, Wuhan 430083, China)

Abstract: Center segregation is the common inner defect of slab. By insisting on day to day macrographic analysis on the structures of the continuous casting slab, adopting the soft reduction technology and the EMS process, properly controlling the roller gap, improving the secondary cooling schedule and maintaining well the secondary cooling equipments in the recent years the grade A segregation has been eliminated and the rate of grade B segregation controlled within the limit of 5% below in the No. 2 Steel-making Plant of WISCO.

Key words: slab; center segregation; practice

连铸板坯中心偏析是指位于铸坯中心部位的 C、P、S 等元素含量明显高于其它部位的宏观偏析现象。它是由于凝固末端树枝晶搭桥和铸坯鼓肚,促使凝固相富集溶质元素的钢液流动的结果^[1]。武汉钢铁股份有限公司炼钢总厂二分厂(以下简称武钢二炼钢)将板坯中心偏析由高至低分为 A、B、C 3 个类别,A 类为偏析带连成线不间断地分布在板坯横断面,B 类为偏析带呈间断线状分布在板坯横断面,C 类为偏析带呈点状,未连成线分布在板坯横断面。在每一个类别又根据偏析带宽度分 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 共 6 个等级。中心偏析往往与中心疏松和缩孔相伴存在,影响钢的力学性能,降低钢的韧性和耐蚀性,严重时会导致钢板分层而导致废品。武钢二炼钢通过坚持铸坯低倍检测分析、采用轻压下技术和电磁搅拌工艺、控制铸机辊缝精度、完善二冷配水制度、提高二冷设备保证能力等,消除了铸坯 A 类偏析,并将 B

类偏析发生率控制在 5% 以下。

1 控制板坯中心偏析的措施

1.1 坚持日常低倍检测分析

武钢二炼钢要求每浇次第 2 炉的 02 坯取低倍样,中心偏析异常时,每浇次第 2 炉和第 5 炉,甚至每一炉的 02 坯均取低倍样,做低倍检验。检验人员将低倍样刨光面用冷蚀液冲洗后,刨光面显示出偏析图形,用数码相机将偏析图形照下来,连同评级和分析结果在厂内网上发布。专业人员根据低倍评级和分析结果,检查相关的工艺参数、设备状况和操作状况,并采取有效的措施。2005 年全年中心偏析在 B 类 1.5 级以上的情况统计见表 1。2005 年全年发生 B 类 1.5 级以上中心偏析有 19 次,其中 A 类偏析 4 次、B 类偏析 15 次。对应的异常情况主要有:二冷段喷嘴堵塞、二冷段轴承垮、通信故障未使用动态轻压下、二冷某区水量波动大。

作者简介:黄成红(1966-),男,武汉钢铁(集团)公司第二炼钢厂,高级工程师,硕士,从事连铸生产技术工作。

通过及时更换二冷段喷嘴和轴承、消除通信故障、更换二冷某区水表等措施,至少避免发生类似的 A 类偏析 4 次、B 类偏析 15 次,使全年 A 类偏析发生率降低了 0.13 %, B 类偏析发生率降低了 0.5 %。

表 1 2005 年中心偏析在 B 类 1.5 级以上的情况统计

异常浇铸状况	中心偏析次数
二冷段喷嘴堵塞	6
二冷段轴承垮	5
通信故障未使用动态轻压下	4
二冷某区水量波动大	4

1.2 采用轻压下技术

凝固末端的铸坯在凝固过程中,由液相到固相产生较大的体积收缩,当没有液芯补充时,凝固收缩引起树枝晶间未凝固的富集溶质元素的钢液流动到铸坯中心线部位而产生较重的中心偏析。因此,在凝固末期采取轻压下技术补偿最后凝固阶段的收缩,可有效减轻中心偏析^[2]。武钢二炼钢的弧型铸机使用定距块调整扇形段的开口度来实施静态轻压下技术;直弧型铸机则是采用 ASTC 即动态轻压下来实施轻压下技术的。

但是随着实际浇铸条件(如温度、拉速、冷却水量、钢种成分等)的变化,铸坯凝固末端的位置也在发生变化,因此随时正确地对铸坯的凝固末端进行合适的轻压下(即动态轻压下),与事先固定的调整扇形段的开口度相比,更能保证各种工况条件下的铸坯内部质量。

使用静态轻压下控制中心偏析的效果见表 2。动态轻压下和静态轻压下控制偏析效果的比较见表 3。

表 2 静态轻压下控制中心偏析的效果

工艺方法	A 类偏析发生率/ %	B 类偏析发生率/ %
普通法	25.33	56
静态轻压下法	8.00	62

表 3 动态轻压下和静态轻压下中心偏析的效果比较

工艺方法	A 类偏析发生率/ %	
	2003 年	2004 年
静态轻压下法	4.90	0.89
动态轻压下法	0	0

1.3 采用电磁搅拌工艺

电磁搅拌引起液相穴液体流动,加速了固液交界面的对流传热,有利于等轴晶形成生长。电

磁力打碎树枝晶的碎片可作为等轴晶的核心,增加了两相区局部传热,消除搭桥抑制柱状晶,减轻树枝晶间富集溶质液体的流动,从而使中心偏析明显改善甚至消失^[3]。为改善 4 号铸机中碳钢和的中心偏析情况,武钢二炼钢生产这类钢时均在扇形段 1、2 段采取电磁搅拌。经摸索,搅拌强度越大对中心偏析改善的效果越好,而且交替式搅拌比连续式搅拌对减轻中心偏析更有利。根据各参数的试验对比情况,确定 4 号机的搅拌参数为:电流 780 A、频率 16 Hz,时间 5 s - 0 s - 5 s。图 1、图 2 分别是未使用 EMS 和使用 EMS 的低倍照片,显然采用电磁搅拌工艺改善了中心偏析的程度。2004 年 4 号机使用电磁搅拌生产中碳钢后,中碳钢 A 类偏析发生率由 2003 年的 5.9 % 下降到 2004 年的 0.7 %。



图 1 未使用 EMS 的铸坯低倍照片



图 2 使用 EMS 的铸坯低倍照片

1.4 铸机辊缝精度的控制

铸机精度异常是影响铸坯鼓肚的重要因素之一。弧度不当、开口度异常、夹辊弯曲都将加剧板坯的中心偏析^[4]。浇铸过一定钢水量的铸机扇形段,弧度、开口度会发生变化,夹辊也可能弯曲,因而需要应用铸机辊缝测量仪定期测量铸机扇形段的弧度、开口度,对出现偏差的辊列及时进行调整。武钢二炼钢规定直弧形铸机测量开口度的周期为 15 d,弧形铸机为 20 d。要求铸机开口度的偏差不得超过 ± 1 mm,弧度不得超过 ± 0.5 mm。规定出现 B 类 1.5 级以上偏析的铸机当天应安排测量开口度,发现扇形段夹辊轴承垮、夹辊弯曲或断裂等应及时更换。规定发生漏钢的铸机 24 h 内必须安排测量开口度,一周内必须安排第二次测量开口度。图 3 是某次 B 类偏析发生后测得的开口度数据,开口度数据经过调整合格后,铸机所浇相同钢种的偏析严重程度由 B 类降低为 C 类。开口度数据调整前后,B 类偏析和 C 类偏析

的照片见图 4 和图 5。

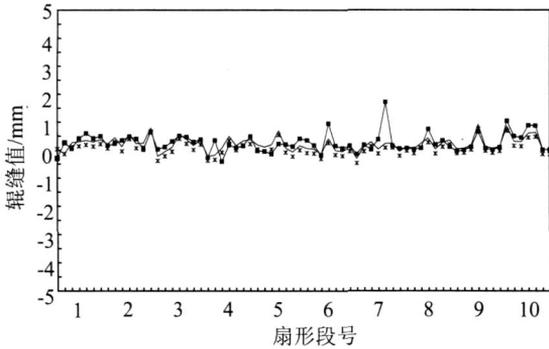


图 3 某次 B 类偏析发生后测得的开口度数据

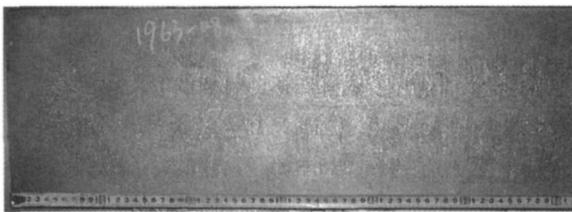


图 4 开口度数据调整前的 B 类偏析低倍照片

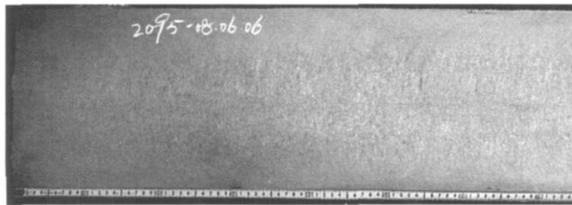


图 5 开口度数据调整后的 C 类偏析低倍照片

2006 年全年连铸机测量铸机开口度 137 次。发现开口度不合 95 次,发现夹辊轴承垮 14 次。及时采取措施后,避免了 A 类偏析、B 类偏析的重复发生,与 2005 年同期相比,全年 A 类偏析发生率降低了 0.03%,B 类偏析发生率降低了 0.5%。

1.5 完善二冷配水制度

(1) 调整 4 号铸机二冷气水比。在凝固末端设置强冷区,压实铸坯芯部,可增加等轴晶区,改善中心偏析。武钢二炼钢 4 号铸机投产以来,冷却水表中二冷区的 区、区一直采用气雾喷嘴冷却,气雾喷嘴的气水配比为 15:1,矫直区 区没有采用水冷却,这些水表基本上能满足产品质量和节能的需要,近几年来,新试新推品种大幅增加,用户对产品内部质量的要求不断提高,原有的水表已不能满足铸坯的冷却效果,实际生产中 4 号铸机经常出现 A 级偏析。2004 年初,武钢二炼钢对 4 号铸机的冷却水表进行了调整,将气水配比由 15:1 调整为 20:1,同时根据钢种不同在 区配置了 3~8 t/h 的水量,使比水量比原来提高了 10%。

(2) 增加 4 号铸机的二次冷却模式。4 号铸机 1988 年投产以来,一直只有二个冷却水表,也就是说 250 mm 和 210 mm 厚度都仅有一个冷却模式。20 年来武钢二炼钢生产的品种,已由当初的五、六十个增加到目前的六百多个,需要根据钢种的特性设计合理的二次冷却模型,才能满足铸坯内部质量要求。2004 年武钢二炼钢设计了 8 个(Q1~Q8)水表,生产时可根据钢种和断面进行选择。新设计的水表见表 4。

表 4 4 号铸机根据钢种选择的水表

铸坯断面尺寸/mm	钢种 1、2	钢种 3	钢种 4	钢种 5
(850~1 150) ×250	Q1	Q1	Q2	-
(1 200~1 450) ×250	Q3	Q3	Q6	Q4
(1 500~1 550) ×250	Q5	Q8	Q8	Q7

完善二冷配水制度后的 4 号铸机中心偏析有了明显的改善,A 类偏析发生率由 2003 年的 4.9% 降为 2004 年的 0.89%。

1.6 提高二冷设备保证能力

(1) 改造铸机喷嘴。4 号铸机 区喷嘴原来采用武钢生产的气水雾化喷嘴,喷水量为 10.0 L/min,喷射角度为 140°。生产过程中发现喷嘴经常堵塞,铸坯中心偏析较为严重,主要是生产过程中喷嘴无水。但将水量加大时,又发现喷嘴喷水正常而铸坯表面因为冷却过强而发黑。分析原因为配水较小时,喷嘴中气体存在一定的压力,当此压力超过水的重量与水的压力之和时,喷嘴中的冷却水就不能正常流出。2004 年武钢二炼钢将 区喷嘴改造为水冷康卡司喷嘴,喷水量增大为 12.0 L/min,喷射角度调整为 90°,同时将 区的水量由 3 t/h 增加到 8 t/h,在生产中对喷水情况进行检查,发现喷水情况正常。根据对改造后铸坯表面温度的测量,发现铸坯表面温度与要求的温度相差不大,使铸坯在 区的冷却得到了保证,中心偏析的级别随之降低。

(2) 改造二冷段空气管道。2004 年有一次检查喷嘴堵塞情况,发现喷嘴气量达不到要求。检查空气管道,发现空气管道内有异物,更换空气管道后正常。根据这一情况,将空气管道改为不锈钢管,防止生锈的铁皮堵塞喷嘴。

2006 年加强对喷嘴系统的检查,全年发现喷嘴堵塞而更换的次数为 246 次,发现并更换了 3 号、4 号铸机二冷区的多处堵塞的空气管道。使铸机冷却效果得到了保证。

(3) 保持喷嘴电磁阀状态良好。喷嘴的雾化效果,喷水情况对偏析影响较大。要求每次浇完钢后,机组操作人员和维护人员必须一起对喷嘴进行检查,对堵塞和歪斜打偏的情况进行处理,同时要观察喷嘴气量变化情况。

2005 年 5 月,3 号铸机浇铸部分钢种时,出现 A 类偏析,经检查发现 7 区水量出现明显的波动,幅度非常大,有时达 50 L/min,而喷嘴管道均正常,后分析认为是外界因素干扰了 7 区水量的电磁阀控制信号,造成水量控制不稳定,引起水量波动,导致铸坯鼓肚加重中心偏析。后在线路上安装了抗干扰器,水量波动情况就未出现了,A 类偏析也随之消失。

2 措施的实施及效果

2.1 用低倍分析报告指导生产

分析了当日铸坯低倍情况后,技术部门将结果及 B 类以上偏析发生的原因和改进措施在厂内网上发布,在厂调度会上通报。生产部门安排检修铸机和测量铸机开口度,设备系统根据测量结果对扇形段进行更换和检修。

2.2 完善铸机操作维护规程

弧形铸机在扇形段的 5、6、7 段和拉矫段每段压下 0.5 mm;直弧形铸机根据钢种不同,设置不同的动态辊缝标准,以及开口度标准为 ±1 mm,弧度标准为 ±0.5 mm 均纳入厂技术操作规程。

二冷喷嘴和阀门是否正常直接影响铸坯的内部质量,特别是中心偏析的级别。因而规程要求在浇铸间隙机组操作工和维护人员必须对二冷喷嘴和阀门进行检查,并将结果记录在交接班本上。技术人员综合中包温度、拉速、钢水节奏和二冷喷嘴和阀门的状况,确认中心偏析的具体原因,并采取相应措施。

2.3 明确电磁搅拌采用范围

武钢二炼钢的 2 号铸机和 4 号铸机都安装了电磁搅拌装置。电磁搅拌设备是生产硅钢和中厚板钢的重要装备之一。对于 B 类以上偏析发生率高的高中碳钢和工程用钢等在钢种冶炼标准中明确采用电磁搅拌工艺。

2.4 采用动态二冷配水

对弧形铸机(4 号),调整了二冷气水比,将气水配比由 15:1 调整为 20:1;增加二次冷却模型,设计了 8 个(Q1~Q8)水表。

对直弧形铸机(1、2、3 号铸机)采用动态二冷配水。铸坯质量在很大程度上取决于二次冷却,常规二冷配水方法是将二冷水流量作为浇铸速度与钢种和铸坯规格的函数关系来进行控制,即对不同的钢种和铸坯规格建立一系列拉速-水流量表(配水表)。这种方法简单直观,但只适用于拉速稳定和其它条件(如中包温度)不变情况下的二冷控制。在拉速急速变化时,仍按常规方法就会产生铸坯温度波动而影响质量。DYNACS 在进行水量设定时采用在线热跟踪模型对铸坯在线跟踪计算。武钢二炼钢采用表面温度控制来确定二冷水流量,结果使铸坯表面温度接近冷却模型本身为各冷却区规定的平均铸坯表面温度。

2.5 实施后的效果

逐渐采取上述措施的 2003 - 2007 年,武钢二炼钢铸坯低倍分析 A 级偏析和 B 级偏析的发生率情况见表 5。到 2007 年,武钢二炼钢已完全消除了 A 类偏析,B 类偏析的发生率稳定控制在 5% 以下。

表 5 2003 - 2007 年武钢二炼钢铸坯偏析发生率

年份	偏析发生率/ %		
	A 类	B 类	C 类
2003	2.45	33.75	63.80
2004	0.22	7.02	92.76
2005	0.17	4.59	95.24
2006	0.14	4.98	94.88
2007	0	4.95	95.05

3 结 论

武钢二炼钢的生产实践表明,通过坚持铸坯低倍情况分析、采用轻压下技术和电磁搅拌工艺、控制好铸机辊缝精度、完善二冷配水制度、维护好二冷设备等,可有效降低铸坯中心偏析的程度,不仅消除了 A 类偏析,并将 B 类偏析发生率稳定控制在 5% 以下。

[参 考 文 献]

[1] 蔡开科,程士富.连续铸钢原理与工艺[M].北京:冶金工业出版社,1994:332-333.
 [2] 陈 雷.连续铸钢[M].北京:冶金工业出版社,1994:137.
 [3] 贺道中.连续铸钢[M].北京:冶金工业出版社,2007:149.
 [4] 王雅贞,张 岩.新编连续铸钢工艺与设备[M].北京:冶金工业出版社,2007:350.

(修回日期:2008-07-02)