

## 电磁搅拌在 2#连铸机上的应用实践

张春平 刘英魁

吉林鑫达钢铁有限公司, 吉林 辽源 136200

[摘要]文中介绍了电磁搅拌在 2#连铸机上的应用情况, 2#连铸通过技改安装结晶器电磁搅拌后, 铸坯内部缺陷低倍等级有了明显的降低, 铸坯质量有效的得到改善, 这为下一道工序生产创造了有利条件。

[关键词]电磁搅拌; 低倍; 缺陷等级; 铸坯质量

DOI: 10.33142/aem.v4i3.5606

中图分类号: TF777.1

文献标识码: A

### Application of Electromagnetic Stirring in 2# Continuous Caster

ZHANG Chunping, LIU Yingkui

Jilin Xinda Iron & Steel Co., Ltd., Liaoyuan, Jilin, 136200, China

**Abstract:** This paper introduces the application of electromagnetic stirring in 2# continuous casting machine. After the installation of mold electromagnetic stirring in 2# continuous casting through technical transformation, the low-power grade of slab internal defects has been significantly reduced, and the slab quality has been effectively improved, which creates favorable conditions for the production of the next process.

**Keywords:** electromagnetic stirring; low magnification; defect level; slab quality

#### 引言

铸坯缺陷包括铸坯表面缺陷、内部缺陷和形状缺陷, 表面缺陷包括表面横裂纹、表面纵裂纹及角部裂纹等, 形状缺陷包括菱形变形、鼓度及凹陷等, 内部缺陷包括中心疏松、中心偏析、缩孔、夹杂、中间裂纹等。<sup>[1]</sup> 在连铸坯的实际生产中, 通过调整钢水成分、中包过热度、二冷水配比、设备对中等可有效解决铸坯表面缺陷和形状缺陷, 而铸坯内部缺陷在铸坯内部, 在连续生产中通过肉眼难于辨识, 除非借助低倍、金相等设备金相取样分析, 才能判断出铸坯内部质量真实情况。铸坯内部缺陷影响着产品的机械性能、使用性能和使用寿命, 内部缺陷等级高, 不但影响铸坯质量, 造成废品增多, 而且对下道工序的生产造成影响, 产生废品, 造成堆钢, 设备状况恶化, 处理起来增加工人的劳动强度, 并造成生产稳定性下降, 因此, 改善铸坯的内部缺陷, 提高铸坯内部质量是每个炼钢厂必须重视的问题。

#### 1 现况

炼钢厂现有 150mm\*150mm 断面 6 机 6 流连铸机 3 台, 拉速控制在 2.0-3.5m/min, 具备年产 400 万吨钢生产能力, 主要产品为 HRB400E、Q235B、HPB300、Q195L 等。因连铸机设备比较老化, 加上操作工艺等因素影响, 铸坯内部缺陷较为严重。众所周知, 铸坯内部缺陷等级越低, 代表着铸坯内部质量越好, 更有利于提高产品的机械性能和使用性能, 从而更能获得客户的满意度, 而我单位铸坯从取的低倍样上看, 个别缺陷等级偏高, 这不仅制约了下一道工序的生产, 而且不利于提高公司产品在市场上的竞争力。

#### 2 电磁搅拌技改安装

##### 2.1 电磁搅拌介绍

电磁搅拌, 简称 EMS, 是广泛应用的连铸生产技术, 通过产生的电磁力, 改善消除结晶器内钢水的过热度, 可提高铸坯的等轴晶率, 得到良好的凝固组织的铸坯, 从而改善成品的性能, 电磁搅拌的实质就是借助在铸坯的液相穴感生的电磁力强化液相穴内钢水的运动, 由此强化钢水的对流、传热和传质过程, 从而控制铸坯的凝固过程, 改善铸坯凝固组织和成分偏析等有重大影响, 对提高铸坯内部质量具有积极的作用。<sup>[2]</sup>

##### 2.2 电磁搅拌安装位置选择

用于连铸过程的电磁搅拌按其安装的位置有以下几种: (1) 中间包加热用电磁搅拌, 该电磁搅拌使连铸过程中的钢水温度在液相穴温度以上 30℃, 使中间包二次冶金的效果更佳, (2) 结晶器电磁搅拌, 是目前各种连铸机都适用的装置, 它对改善铸坯表面质量、细化晶粒和减少铸坯内部夹杂及中心疏松有明显的作用, (3) 二冷段电磁搅拌, 这种形式的搅拌是安装在二冷段, 主要是减轻或消除中心疏松和中心缩孔, 扩大等轴晶区, 减轻中心偏析和内弧夹杂物的剧集, (4) 凝固末端电磁搅拌, 一般在浇注对碳偏析有严格要求的含碳高的钢种时采用, 为保证搅拌效果, 其安装位置要靠近凝固末端。<sup>[3]</sup>

##### 2.3 结晶器电磁搅拌提高等轴晶率工作原理

连铸坯凝固时分为三个阶段, 一是钢水在结晶器内通过冷却形成初生坯壳, 二是带液芯的铸坯在二次段内稳定生长, 三是液相穴末端的加速凝固。连铸坯由三部分组成,

一是细小等轴晶区，二是柱状晶区，三是中心等轴晶区，浇注过程中如果钢水的过热度过大，连铸坯在凝固过程中冷却温度梯度就会增大，将会导致柱状晶生产过快，当过于发达柱状晶生长到中间部位时，就会碰到一起，产生搭桥现象，阻止了钢液凝固补充，而结晶器电磁搅拌(MEMS)之所以能改善铸坯内部质量，关键在于钢水旋转运动使铸坯轴心温度降低而凝固前沿温度提高，改善了轴心到坯壳的传热，加速了过热的耗散，自有在过热耗散而钢水冷却到液相与固相之间的温度，少量的等轴晶将会在钢水中出现并共存，随着温度进一步降低，这些晶粒将会在钢水中生长，沉降而充满液相穴，阻断了柱状晶向中心生成，从而不会出现凝固搭桥、收缩疏松等问题，而在铸坯内部形成大而细的等轴晶组织。

## 2.4 电磁搅拌的基本特点

### 2.4.1 不接触性

借助电磁感应实现能量的无接触转换，因而不和钢水接触就能将电磁能转换成钢水的动能。<sup>[5]</sup>

### 2.4.2 可控制性

由于感应器激发的磁场可以人为的控制，进而电磁力可以人为控制，因此可以人为地控制钢水的流动形态，其参数也易于调节，且调节范围较宽，可以适合不同断面和钢种的需要。<sup>[6]</sup>

## 2.5 结晶器电磁搅拌(MEMS)安装

为提高炼钢厂产品的市场竞争力，为公司创造更大的经济效益，经炼钢厂多次论证、考察，决定在炼钢厂 2# 连铸机上技改安装结晶器电磁搅拌(MEMS)，以达到提高钢水纯净度，改善铸坯内部组织机构、增加等轴晶率、提高铸坯内部质量的目的。根据结晶器结构和使用要求，目前普遍使用的 MEMS 安装方式通常有外置式、内置式和内外置式。

### (1) MEMS 安装位置

合适的安装位置需要考虑三个因素与要求：

铸坯断面、铜管长度、SEN 浸入深度、弯月面的位置和液面测量装置

- ①保证弯月面附近的钢水温度；
- ②避免弯月面的波动和卷渣；
- ③保持一定的流动速度。

对敞开式浇注方式：搅拌器安装位置应靠近弯月面，通常搅拌器铁芯上缘离铜管上缘的距离为 130~200mm，弯月面高取下限，弯月面低取上限。

对 SEN 保护浇注方式：搅拌器铁芯的中心平面离铜管上缘的距离约为 350~550mm，水口浸入深度浅取下限，水口浸入深度深趋向上限。

### (2) MRMS 有效作用长度

影响因素：过热度 and 拉速

设计原则：长距离的弱搅拌

设计依据：

①延长搅拌时间

②增加作用距离

③减少搅拌器的漏磁

④减少铸坯皮下负偏析

### (3) MEMS 安装形式

内置式 MEMS：搅拌器线圈和铁芯安装在结晶器内，与结晶器共用同一组内套(非磁性)和外套(可以是非磁性结构)，线圈的冷却水一般为结晶器冷却水。<sup>[7]</sup>

优点：结构紧凑，磁极离铸坯近，功率小，与结晶器共用冷却水；

缺点：一次投资大；一起拆除下线，总量大(准备量为铸机流数的 2.5 倍)，维修量大；接线安装在现场；冷却水质要求高；多断面铸机问题多；

外置式 MEMS：搅拌器线圈和铁芯安装在结晶器外，结晶器内套和外套都是非磁性结构，冷却水一般是独立循环冷却水系统供水。<sup>[7]</sup>

优点：避免内置式的缺点，高水质，线圈寿命高；

缺点：功耗大(内置式的 2.2 倍)。

内外置 MEMS：搅拌器一半在结晶器下部，一般在足辊区域。

一些钢种要求强搅拌时，带来液面不稳定、卷渣、增加表面纵裂等。

大方坯的结晶器壁厚较大，结晶器内的磁场透入量较小，不得不往下安装。

优点：强搅拌时弯月面依然稳定；既改善结晶器内易出现的缺陷，又减轻二冷区会出现的白亮带

炼钢厂 2# 连铸机采用内外置式结晶器电磁搅拌，MEMS 结构主要是由壳体 and 感应器两部分组成，壳体是由非磁性耐热不锈钢焊接而成，感应器是由铁芯和线圈组成并装在壳体内，冷却水由进水管流入到壳体内，对绕组进行冷却。<sup>[8]</sup>

### (4) MEMS 的运行方式

连续运行方式：当馈给三相交流电后就激发向一个方向旋转的旋转磁场，使结晶器内钢水连续向一个方向作水平旋转运动。目前大多数 MEMS 采用这种运行方式。

交替运行方式：即正搅一停一反搅，循环往复，这种交替搅拌方式有利于增加等轴晶率，也有利于稳定弯月面。<sup>[9]</sup>

### (5) MEMS 水冷系统安装 见下图



图 1 电磁搅拌储水设备 水箱

图 2 回水管路



图3 进水管路 图4 结晶器进回水分支管路



图5 金属软管连接进水管路结晶器

## 2.6 结晶器电磁搅拌 (MEMS) 简易操作及注意事项

### 2.6.1 电磁搅拌启动操作

检查电磁搅拌器水站阀门位置 (开/关) 是否正确。  
水泵操作箱选择开关位置, 在相应地方。

查看每流水量、温度、水泵压力、水箱液位、电导率 (水流量低于 6.8m<sup>3</sup> 报警, 低于 6.0m<sup>3</sup> 设备自动停机; 温度高于 48℃ 报警, 高于 53℃ 设备自动停机; 水泵压力低于 1.5 在远程模式下自动启用备用泵; 水箱液位低于 800mm 报警, 电导率高于 200 报警)

检查电磁主画面控制状态是否处于远程。

点击故障复位, 系统状态变更为系统停止。

设置电流、频率。

点击系统启动、系统变更为预充电, 待系统状态变更为系统运行后方可点击搅拌启动。

### 2.6.2 电磁搅拌停止操作

先点击搅拌停止, 然后点击系统停止 (系统停止 2min 后方可再次启动)

点击水泵停止。

### 2.6.3 注意事项

当电磁搅拌出现故障或水系统出现故障, 先停止电磁搅拌运行, 后在水站关闭相应流进水管和回水管。发现水箱液位急剧下降, 检查流量计显示和现场确认每流水系统管路 (确认故障后先停止相应电磁搅拌器运行, 后关闭相应进水管和回水管) 在冬天水系统不能运行时, 将水站排水阀打开, 在电磁搅拌水系统画面中点击保温控制开 (水系统运行时不能点击), 待需要运行时, 点击保温控制关。

## 2.7 结晶器电磁搅拌 (MEMS) 运行

### (1) 结晶器电磁搅拌参数设定

结晶器电磁搅拌应根据浇注钢种、结晶器断面尺寸和

工艺参数 (如钢水过热度、拉速) 来确定搅拌器形式、电流强度、电流频率、电导率、运行方式等, [10]2#连铸机根据实际情况设定了结晶器电磁搅拌参数: 电流 160-200A, 频率 3.0-3.5Hz, 电导率 55-60us/cm, 单流结晶器水流量 7.5-9.0m<sup>3</sup>/h。

### (2) 结晶器电磁搅拌运行电脑画面

## 3 电磁搅拌应用改善铸坯内部质量效果

### (1) 未应用电磁搅拌低倍情况

表1 未应用电磁搅拌低倍情况统计

炉号	钢种	铸机	流数	中心疏松	中心偏析	缩孔	角部裂纹	边部裂纹	中间裂纹	中心裂纹	皮下气泡	非金属夹杂物
1-07923	400	2	6	0.5	0.5	1.0	0.5	0.5	1.0	0.5	0.5	1.0
1-07054	195	2	5	0.5	0.5	1.0	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	2.0
1-07299	195	2	4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0
1-07496	A	2	3	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0	2.0
2-08008	400	2	6	0.5	0.5	1.5	0.5	0.5	1.0	0.5	0.5	1.0
2-06355	400	2	2	2.5	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	2.0
2-06535	400	2	2	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0
1-07744	235	2	5	0.5	0.5	1.5	0.5	0.5	2.0	0.5	1.0	1.0
2-09212	A	2	3	1.0	0.5	1.0	0.5	0.5	1.5	1.0	1.0	2.0
1-08333	235	2	4	0.5	0.5	1.5	0.5	0.5	1.5	1.0	0.5	1.0
2-08413	400	2	4	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0
2-08584	400	2	5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	1.5	1.0	0.5	1.0
2-09601	235	2	3	1.0	0.5	1.0	0.5	0.5	1.0	0.5	0.5	1.0
2-09375	235	2	5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	1.5	1.0	1.0	1.0
2-08804	235	2	4	0.5	0.5	2.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0
2-08976	235	2	1	2.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0

### (2) 应用电磁搅拌低倍情况

表2 应用电磁搅拌低倍情况统计

炉号	钢种	铸机	流数	中心疏松	中心偏析	缩孔	角部裂纹	边部裂纹	中间裂纹	中心裂纹	皮下气泡	非金属夹杂物
2-07214	195	2	3	0.5	0.5	1.0	0.5	0.5	1.5	0.5	0.5	2.0
2-07214	195	2	2	0.5	0.5	1.0	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0
2-07214	195	2	4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0
2-07214	195	2	6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0
2-07214	195	2	5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0
2-07214	195	2	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0
2-11703	235	2	6	1.0	0.5	1.0	0.5	0.5	1.0	0.5	0.5	1.0
2-11661	235	2	1	0.5	0.5	1.0	0.5	0.5	0.5	1.5	0.5	1.0
2-11662	235	2	2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0
2-11663	235	2	3	0.5	0.5	1.0	0.5	0.5	0.5	1.5	0.5	1.0
2-11664	235	2	5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5	1.0
2-11666	235	2	6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0

炉号	钢种	铸机	流数	中心疏松	中心偏析	缩孔	角部裂纹	边部裂纹	中间裂纹	中心裂纹	皮下气泡	非金属夹杂物
2-11667	235	2	1	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0	2.0	0.5	2.0
2-11667	235	2	2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	2.0	0.5	2.0
2-11688	235	2	3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	2.0	0.5	1.0
2-11669	235	2	5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0
2-11670	235	2	6	0.5	0.5	2.0	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5	2.0

### 3.3 效果评价

从表一和表二中可以看出,使用结晶器电磁搅拌后,铸坯中心疏松、中心偏析、缩孔、中间裂纹、皮下气泡缺陷等级有所降低,但中心裂纹、非金属夹杂物缺陷等级无明显改善,总体来说,铸坯内部质量呈整体上升趋势,因此,在继续调整结晶器电磁搅拌参数的同时,炼钢需不断优化连铸生产工艺参数,如降低钢水过热度,提高钢水纯净度、严格执行吹氩工艺、满包浇注、合理的拉坯速度、二冷配水制度等等。

### 4 结语

(1) 结晶器电磁搅拌能阻断钢水凝固过程中柱状晶的生长,增加等轴晶率,改善了铸坯的偏析疏松、缩孔缺陷,提高了铸坯的机械性能。

(2) 调整电磁搅拌参数的同时,仍需不断优化炼钢转炉、连铸生产工艺,才能更加有效的改善铸坯质量。

#### [参考文献]

- [1] 赵海波. 转炉炼钢过程控制计算机系统设计[J]. 自动化应用, 2018(10): 35-36.
  - [2] 张进忠. 转炉炼钢自动控制模型应用实践[J]. 甘肃冶金, 2017, 39(5): 92-95.
  - [3] 李国辉. 唐钢不锈钢公司转炉炼钢自动化控制系统的研究[J]. 电子世界, 2017(7): 152.
- 作者简介: 张春平(1977.5-)男,汉族,河北省唐山市,钢铁冶金助理工程师,大专,研究方向:炼钢工艺管理与优化。