

## · 工艺与技术 ·

## 板坯连铸结晶器电磁制动技术

中国科学院力学研究所 毛 斌 荣 王新国 王世郁  
 济南钢铁集团总公司 曹同乐 傅春刚 赵茂山  
 冶金部自动化研究院 戴殿珠 赵桂萍

**摘要:**结合济钢一炼 4 号板坯连铸机的实际与已研究开发的结晶器局部区域电磁制动技术,在数值模拟的基础上,开发成功分体式电磁制动器和分层式结晶器水箱等成套技术,这是现有铸机采用电磁制动技术的是一个成功的途径。性能测试和在线工业试验表明,电磁制动装置的各项性能和使用效果是良好的。

### Mold electromagnetic brake technique for slab CC

Institute of Mechanics Academia Sinica Mao Bin Rong Sheng Wang Xinguo Wang Shiyu  
 Jinan Iron & Steel Group Co Cao Tongle Fu Chungang Zhao Maoshan  
 Automation Research Institute of MMI Dai Dianzhu Zhao Guiping

**Abstract:** Referring to the actual conditions of the No. 4 slab continuous caster in Ji Gang's No. 1 Steel Works and to an EMBR technique developed for parts of mould, basing on the numerical simulations, we introduced sets of techniques such as separated electromagnetic braker and layered mold water jacket which had been proved to be a successful approach to applying EMBR to existing continuous casters. The results from performance testing and online casting experiments have indicated the excellence of the EMBR system and the satisfactory outcome of its operation.

#### 1 引 言

结晶器电磁制动(EMBR)技术的研究始于 80 年代初,瑞典 ASEA 公司和日本川崎钢铁公司共同首先开发成功,并在水岛钢厂实机使用<sup>[1]</sup>。结果表明,采用电磁制动技术后,流股减速约 50%,其侵入深度由 4m 减小为 2m,使内部夹杂物明显减少;拉速提高 30%;拉漏明显减少。实践证明,电磁制动技术对改善板坯质量、提高拉速和稳定操作具有显著的效果。到 80 年代末,电磁制动技术有了很大的发展,在日本和欧美等的一些钢厂的高速板坯连铸和薄板坯连铸上已广泛采用,成为高速板坯连铸的重要技术手段。

基于电磁制动技术的良好效果和发展趋势,中科院力学所和北京科技大学曾于 80 年代后期进行了低熔点合金的电磁制动的模拟试验,取得了减少流股速度的明显效果。近年来,我国板坯连铸有了很大发展,高效连铸也已成为今后连铸技术的重要课题。因此,在冶金部科技司的支持和组织下,由中国

科学院力学研究所、济南钢铁集团总公司、冶金部自动化研究院等在济钢一炼 4 号超低头板坯连铸机上研究开发板坯结晶器电磁制动技术,并获得良好效果。这对发展我国高效连铸技术具有现实意义。

由于受到现有铸机结构的制约,本项工作采用局部区域电磁制动技术作为研究开发的对象。

#### 2 数值模拟的主要结果

板坯连铸的实践表明,大部分板坯表面和内部缺陷都与结晶器内钢水流动密切相关。拉速的提高势必使浸入式水口两个侧孔所吐流股速度明显增加,导致铸坯内部夹杂物、表面裂纹和漏钢事故的增加。电磁制动的机制是借助作用于结晶器内钢水上的电磁力控制从浸入式水口两个侧孔吐出的流股,使其减速并分裂,从而极大地改变了结晶器内钢水的流动结构。

基于磁流体力学(MHD)的基本方程,使用数值模拟方法,分析在局部区域恒定磁场作用下结晶器内钢水的流动。按照济钢 4 号板坯连铸机结构和工

艺参数,一些典型计算结果见图 1。

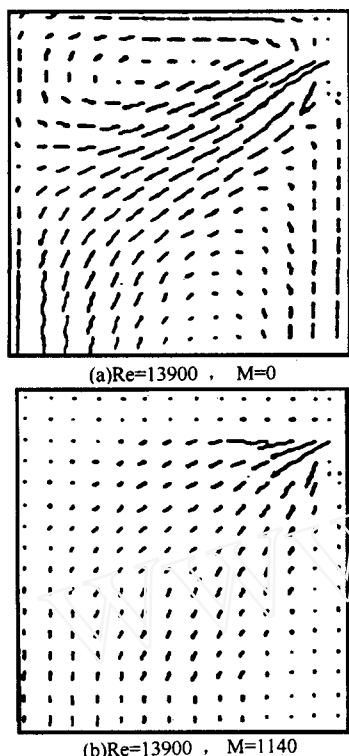


图 1 速度矢量图

由图可见,有电磁制动( $M \neq 0$ )时结晶器内钢水流动结构较之无电磁制动( $M = 0$ )时有明显的变化。计算结果表明:

- 1) 电磁制动后,流股减速达 50% 以上;
- 2) 电磁制动后,流股对窄边的冲击消除,向上反转流动减弱,向下流股的速度降低,使其浸入深度明显减小;
- 3) 磁场过强,使流股向水口下方分流增强,反而会抑制夹杂物上浮分离;
- 4) 磁场位置靠近水口和弯月面,制动效果较好;反之也会使水口下方流动增强。

上述数值模拟的结果,为电磁制动装置的参数选择提供了坚实的基础。

### 3 电磁制动装置概述

该装置主要涉及电磁制动器和结晶器水箱,见图 2。由图可见,局部区域的电磁制动需要在结晶器两个宽面上配置一对  $\pi$  形电磁铁,由此激发的恒定磁场构成横穿两个结晶器宽面的磁路。基于数值模拟的结果, $\pi$  形电磁铁的两个极面比较靠近水口,而磁场强度也选取比较适中的值。其铸机和电磁制动器参数见表 1。

表 1 连铸机与电磁制动器参数

连铸机		电磁制动器	
机型	超低头弧形	作用区	局部区域
断面	max200×1400mm <sup>2</sup>	极面尺寸	160×260mm <sup>2</sup>
拉速	max1.0m/min	极面中心距	564mm
水口倾角	向下 30°	中心磁感应强度	0.25T
水口插入深度	170mm	电压	max200V DC
		电流强度	max400A DC

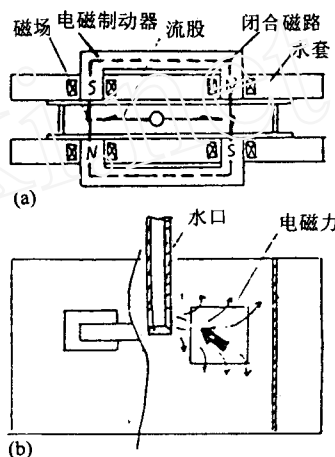


图 2 电磁制动的工作原理和构形

在现有铸机上采用电磁制动技术,需要恰当地处理好电磁制动器在结晶器水箱上的安装和结晶器水箱内冷却水的流向和流量等难题。由于受到现有结晶器结构的制约,电磁制动器采用分体式结构,结晶器水箱采用分层式结构。其主要优点是:

- 1) 电磁制动器的主体部分体积较小,安装维护方便;
- 2) 保持了原有结晶器水箱整体结构的完整;
- 3) 结晶器水箱内冷却水的流向和流量保持基本不变;
- 4) 电磁制动器不用或卸下时,结晶器水箱可继续使用。

实践表明,这种结构特点对现存铸机采用电磁制动技术不失为一个成功的技术途径。

### 4 性能测试和工业试验

#### 4.1 冷态性能测试

冷态性能测试是在 200×1250mm<sup>2</sup> 结晶器上线进行的,分别测量在结晶器内沿三个方向的磁感应强度,考虑其对称性,只测极面上半部,共测得近 300 个数据,经综合分析,其空间分布见图 3 和图 4。它们的变化基本符合理论规律。

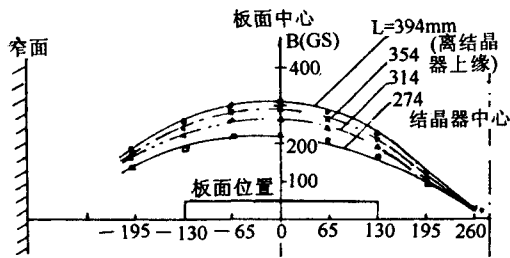


图 3 在 I=60A 下沿相对两极面半厚度的磁感应强度分布  $\delta$ ——沿半厚度的距离

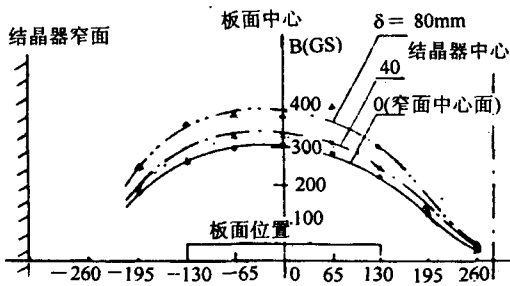


图 4 在 I=60A 下,沿窄面中心面随离结晶器上缘距离 L 变化的磁感应强度的分布

#### 4.2 工业试验

工业试验是在断面为  $200 \times 1250 \text{mm}^2$  超低头弧形连铸机上进行的。在各种连铸工艺参数和电磁制动器参数下投运,检验其冶金效果。试验参数见表 2。

表 2 试验参数

钢种	普 碳	16Mn
中间罐温度 $^{\circ}\text{C}$	1528~1554	1540
拉速 m/min	0.71~0.95	0.8
电 压 V	80~125DC	81.4DC
电流强度 A	200~268 DC	200 DC
拉坯长度 m	370	80

(上接第 15 页)

下驱动多辊的疲劳作业的冲击而发生问题,故一旦出现辊道故障,大都是由于主动辊的故障而引起 8 个辊不转,致使铸坯停留在辊道上,对各流生产造成很大影响。

要减少辊道故障,唯一办法应尊重原设计,恢复一台 7.5kW 电机减速机驱动四个辊,让辊道机电设备安全系数高一些,带动被动辊数目少一些,辊道部件使用寿命就可延长。生产中万一遇到一组辊道(指四个辊)不转,12m 长的铸坯会在本身运行惯性及其他前后运转辊道转动的作用下输送到冷床,从而保证生产中钢坯输送畅通。

对上述条件下所得的铸坯进行表面质量检验,经电磁制动后,铸坯表面裂纹基本消除,振痕变浅,光洁度提高。

经过取样分析,制动与不制动的对比结果是:

- 1) 夹杂物减少 1/3 以上,特别是内弧侧夹杂物偏聚明显改善;
- 2) 坯壳生长较均匀;
- 3) 低倍组织也有改善。

上述结果表明,经电磁制动后,铸坯表面和内部质量有较明显的提高,同时拉速也可提高。

#### 5 结 论

运用电磁制动技术控制板坯结晶器内的钢水流动以改善板坯表面和内在质量,实践证明是有效的。通过理论研究、工业试验及在线应用,可以得到如下

- 1) 数值分析表明,在局部区域电磁制动条件下,恰当地选择磁场位置和磁场强度对改善水口下方的流动结构,进而获得良好的冶金效果是重要的;
- 2) 采用分体式电磁制动器和分层式结晶器水箱,对现有铸机采用电磁制动技术是一个较为成功的途径;
- 3) 电磁制动能明显改善铸坯质量,表面裂纹基本消除;振痕变浅;内部夹杂物明显降低;拉速也可提高。

#### 参 考 文 献

[1] Jun Nagai et al  
Steel flow control in a high-speed continuous slab caster using an Electromagnetic Brake  
Iron and Steel Engineer, 1984 6(5): 41~47.

#### 6 结 语

5、6 号机投产实践表明,新机组投产后,生产车间的首要任务应是执行三保:一保主机设备正常运行,点检定修精心维护;二保机组执行标准化工艺操作,力争短期内达产;三保机组投产后整机设备原设计性能的完整实现,对于有争议的设备改进要慎重行事,三思而后行。生产中发现的设备问题必须依靠设计、生产、工艺、设备四方面专业人员进行认真研讨论证,拿出确实可行的解决方案,有计划地进行攻关改进,这样新机型投产后的一些工艺与设备问题是可以得到解决的。