

方坯连铸电磁搅拌技术的发展动向

中国科学院力学研究所 毛 斌

摘要: 本文简述了中、高碳钢连铸结晶器电磁搅拌技术存在的一些问题,并综述了电磁搅拌技术的新发展。

Developing tendency of electromagnetic stirring technologies for billet CC

Institute of Mechanics Mao Bin

Abstract: In this paper, some problems existing in the mould electromagnetic stirring (MEMS) for continuous casting of middle/high carbon steel were briefly presented and the new developments of electromagnetic stirring (EMS) technology for billet continuous casting summed up also.

当今,方坯连铸电磁搅拌技术,无论是电磁搅拌器的结构或电磁搅拌工艺,总的说已日渐成熟,并成为改善铸坯质量的有效手段。然而,近几年来中、高碳钢电磁搅拌的实践表明,电磁搅拌特别是结晶器电磁搅拌的某些不足之处渐趋显露,影响电磁搅拌潜力的进一步发挥。为此,许多研究者都在寻求改善这种状况的途径,以充分发挥电磁搅拌技术在改善中、高碳钢铸坯质量上的良好作用。本文综述了近几年国外电磁搅拌技术的发展动向,以期引起连铸界的注意和借鉴。

1 关于结晶器电磁搅拌技术

实践表明,恰当地运用结晶器电磁搅拌,不仅有利于改善铸坯表面和皮下质量;而且也有利于提高等轴晶率,即使在多段组合搅拌工况下也起了主要作用^[1],而等轴晶率的

提高能有效地改善中心偏析和中心缩孔。然而,如运用得不合理,其效果可能适得其反。

1.1 目前结晶器电磁搅拌存在的主要问题

通常结晶器内的电磁搅拌对低碳钢敞式浇注是重要的,能有效地减少夹渣和气孔。然而,当今连铸特别是中、高碳钢连铸几乎都采用浸入式水口和保护渣等保护浇注。经验表明,结晶器电磁搅拌需要一定的搅拌强度,才能迫使有效搅拌区内轻的夹杂物和气泡向中心聚集并上浮;而且在弯月面处钢水的流动也有利于促进保护渣的熔融,防止渣层结壳。为此必须使钢水流动达到某个速度值,否则得不到应有的效果。因而,适当地选择搅拌位置和搅拌强度有利于较大幅度地提高搅拌效果^[2,3]。然而,由于受搅拌器结构的制约,有效搅拌区(即搅拌器铁芯高度)上端离弯月面

较近,通常又采用旋转搅拌方式,特别是方坯情况下,其流动形式是,主流区为旋转流动,而在其四角则为二次流,类似旋涡,渣子和气

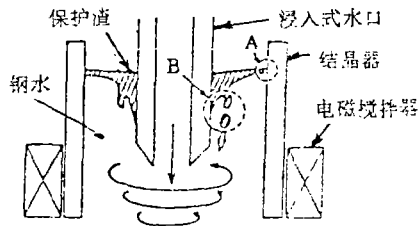


图1 弯月面隆起示意图

泡一旦被卷入其中就被带到液相穴深处;在弯月面处的钢水由于离心力的作用,在结晶器壁附近隆起,搅拌强度越强,隆起的高度也越高,见图1。由此造成一些缺陷^[4,5,6],主要是:

1) 在弯月面上下波动的情况下,由于初生坯壳被卷入铸坯内部而造成翻皮现象。

2) 即使在弯月面稳定情况下,由于弯月面隆起,使结晶器的渣子被卷吸的危险增加,特别是由于保护渣不导电,不受电磁离心力的作用,随着弯月面的隆起而向中心流动,由图1可见,其分布由结晶器壁向中心逐渐增厚,极易导致保护渣被剥离而被钢水卷吸,造成夹渣。

3) 强烈的搅拌使熔融保护渣强烈侵蚀浸入式水口的耐火材料,影响使用寿命,因而限制了多炉连浇。

4) 对结晶器液面控制产生不良影响。

上述缺陷随着搅拌强度的增加而愈加显著。

1.2 发展动向

由上所述,为了获得良好的铸坯质量,既要严格控制弯月面处的流速以改善上述缺陷,即需要控制搅拌强度;又要确保足够大的等轴晶区,而它随凝固面前沿的剪切力或最大流速的提高而增加,即需要较高的搅拌强度^[7]。为了解决这个矛盾,目前采用的策略大

体有三个方面:调整电磁搅拌器的安装位置;采用磁屏蔽技术;开发电磁制动技术。现分别简述如下。

1.2.1 调整电磁搅拌器的安装位置

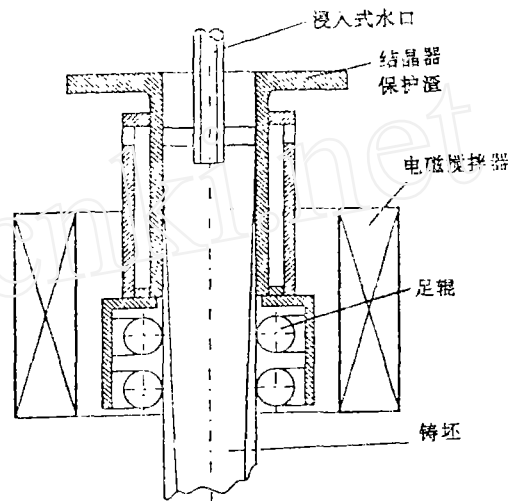


图2 跨于结晶器和足辊的电磁搅拌器

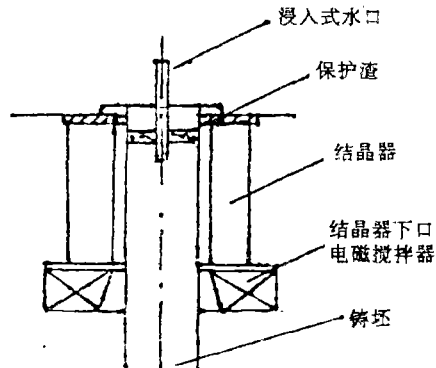


图3 结晶器下口电磁搅拌器

目前搅拌器安装位置的调整有两种方式,一是 AEG—Elotherm 公司开发的^[5],见图2。它跨于结晶器和足辊之间,采用低频电源激磁,比较适合于较大断面的铸坯;另一是 Concast 公司开发的^[6],见图3。它紧接在结晶器下口,称结晶器下电磁搅拌器(Sub-Mould EMS 或 SMEMS),采用工频电源激磁,适用于较小断面的铸坯。综合起来看,它们的共同特点是:

1) 安装位置离弯月面足够远,即使很强烈的搅拌也不致于引起弯月面的大的扰动,也不致于因结晶器保护渣的强烈扰动而对水口造成严重侵蚀。

2) 安装位置离弯月面较近,使弯月面处的钢水也保持一定的流速,有利于保护渣的熔融和流动,同时又可减轻通常二冷区电磁搅拌中出现的白亮带。

3) 电磁搅拌器可以在较大负荷下工作,充分发挥搅拌器的潜力,使有效搅拌区的钢水达到最佳速度,产生较高的等轴晶率。

在线使用表明,在铸坯芯部,即使在较高的过热度下,也能获得较大的等轴晶区,避免大的中心缩孔和裂纹,使之分散成范围较宽而易焊合的疏松;也可消除形成内裂的倾向;减少宏观偏析,特别是通常二冷区旋转搅拌中出现的白亮带或不出现或很模糊。

1.2.2 采用磁屏蔽技术

目前采用的磁屏蔽技术也有两种方式:一种是采用强磁材料^[9],即在结晶器水套内筒上部配置强磁材料,吸收搅拌器上部的漏磁,使弯月面区域的磁场强度削弱,见图 4。

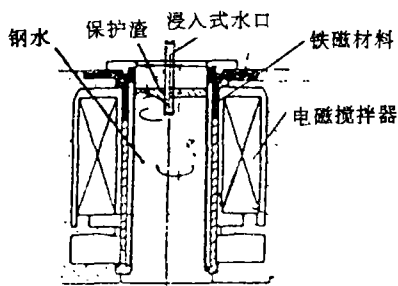


图 4 带磁屏蔽的电磁搅拌器

实验表明,在通常的结晶器电磁搅拌下,随着搅拌强度的提高,铸坯表面纵裂及皮下夹渣也随之增加。而采用磁屏蔽技术后,则看不到这种倾向,见图 5。因此,在磁屏蔽工况下,可以较大幅度地提高搅拌强度,减少表面缺陷,提高内部质量。

另一种方式是采用二次线圈^[10],即在搅

拌线圈(称一次线圈)的上部设置一个二次线圈,见图 6。该线圈激发二次磁场,由于磁场的可迭加性,从而削弱了弯月面附近的一次磁场,使弯月面变得平稳。

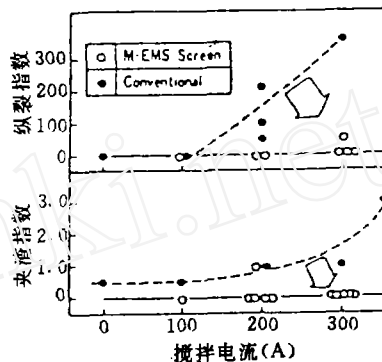


图 5 带磁屏蔽的结晶器电磁搅拌的效果

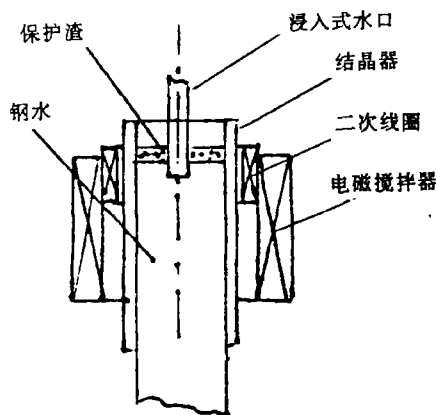


图 6 带二次线圈的电磁搅拌器

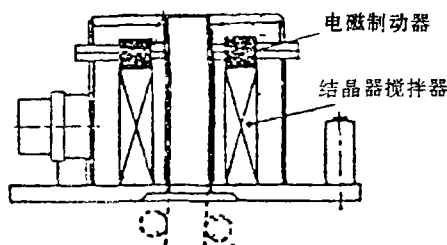


图 7 带电磁制动的结晶器电磁搅拌器

1.2.3 开发电磁制动技术

电磁制动技术早先用于板坯连铸,目前有转向方坯连铸的趋向,正在开发的有两种

方式:

一种方式是在常规的搅拌线圈上面附加一个小的电磁制动线圈,见图7。^[11]该线圈由直流电源激磁,起了电磁制动的作用,使处于弯月面附近的钢水的旋转速度降低,而在弯月面下80mm处的钢水仍能保持全速旋转。实际使用表明,这是很成功的。

另一种方式是在直通式水口的吐出口附近加一恒定磁场,控制吐出口处钢水的流动,降低流股侵入液相穴的深度,以利夹杂物上浮分离,同时提高了热区的位置,有利于其下面钢水过热度尽快消失。该技术目前正在试验中。

2 利用外加恒定磁场控制凝固末端的凝固组织和宏观偏析^[12~17]

通常的凝固末端电磁搅拌是借助电磁力加速钢水的对流运动来控制传热和传质过程,达到改善铸坯芯部组织和中心偏析的目的。然而与此相反,理论和实验研究表明,运动着的钢水切割外加恒定磁场,就在其中感应起电流,该电流与当地磁场相互作用产生电磁力,抑制了自身的运动,并且通过磁场强度的调节可以精确控制对流的形态,借此可以控制钢水的传热和传质过程,从而控制了凝固过程。

磁场对凝固过程的影响在于降低钢水过热度时热量的释放及凝固速率的加速。因而可以有效地控制凝固组织。

由于外加恒定磁场抑制了凝固末端浓化

钢水的流动,使柱晶间洗净深度变小了,因而能有效地降低中心偏析。

目前该项技术尚处在实验研究阶段,如何运用于连铸实践还需做很多工作,但其前景却是诱人的!

参考文献

- 1 K·S·oh et al· Proc. of the sixth International Iron and Steel congress P259~263 1990.
- 2 渡边省三ら 材料とプロセス vol.3 No. P.55 1990.
- 3 岸田幸則ら 电气制钢 第20卷第2号 P216~223 1989.
- 4 Leonard Beifelman 等 中国金属学会连续铸钢学会,“连续铸钢用电磁搅拌译文集”1988 P252~250.
- 5 长道市昭ら 材料とプロセス Vol.2 P1254 1989.
- 6 H·P·Jagmetti et al· Concast Standard News Vol. 29 1/ 1990.
- 7 S·Kobayashi et al· Transactions of ISIJ Vol. 28 P939~941 1988.
- 8 A·V·Stark et al· Elektromärme International Vol. 50 B4 P317~321 1992.
- 9 森健太郎ら 材料とプロセス Vol.5 P190 1992.
- 10 S·Taniguchi et al· J·Tani and T·Takagi(eds):“Electromagnetic Forces and Applications” P55~58 1992.
- 11 Norbert Kaell et al· 第一届欧洲连铸会议译文集 P632~689 1991.
- 12 铃木幹雄ら 材料とプロセス Vol.5 P193 1992.
- 13 奈良正功ら 材料とプロセス Vol.5 P195 1992.
- 14 Y·Kishida et al· Proc. of the sixth International Iron and steel Congress P293~298 1990.
- 15 岸田幸ら 材料とプロセス Vol.5 P7 1992.
- 16 铃木幹雄ら 材料とプロセス Vol.5 P3 1992.
- 17 村上洋ら 材料とプロセス Vol.6 P195 1993.

· 国内动态 ·

马钢二钢全连铸创新生产纪录

冶金部马鞍山钢铁股份公司二钢厂在发展全连铸炼钢生产中,加快炼钢节奏,强化连续作业,带来了喜人的快速发展成果。到3月30日止,月产连铸坯高达55600吨,创造了

公司全连铸炼钢的历史新纪录。

二钢厂是马钢唯一实现全连铸的生产线,具有明显节能降耗优势,产品远销海外。

(下转第16页)