

21 1001-1004

双辊薄带连铸熔池液面波动物理模拟*

文光华 祝明妹 何俊范 李刚 韩志伟 丁培道

(重庆大学材料科学与工程学院, 重庆 400044)

TF777.7

摘要 设计了一个双辊薄带连铸机动态物理模拟实验装置, 利用超声波液面仪对双辊熔池液面波动进行了实验测定, 重点研究了不同水口结构、拉速(转速)、熔池高度以及插入深度等参数对熔池内液面波动的影响, 从而为优选出满足双辊薄带连铸布流要求的水口结构尺寸提供依据。

关键词 双辊薄带连铸, 熔池液面波动, 物理模拟

中图分类号 TF 777.7 **文献标识码** A **文章编号** 0412-1961(2000)09-1001-04

TF7

PHYSICAL SIMULATION OF LEVEL FLUCTUATIONS IN MOLTEN STEEL POOL FOR TWIN ROLL STRIP CASTER

WEN Guanghua, ZHU Mingmei, HE Junfan, LI Gang, HAN Zhiwei, DING Peidao

School of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044

Correspondent: WEN Guanghua, associate professor, Tel: (023)65105202, Fax: (023)65104149.

E-mail: wengh@cqu.edu.cn

Manuscript received 2000-02-16, in revised form 2000-05-08

ABSTRACT An experimental setup which can model dynamically the twin roll strip casting was established. By using the ultrasonic level detector, the level fluctuations in the pool have been measured. It was mainly studied that the influences of the submerged nozzle's types, casting rates, pool heights and submerged nozzle's immersion depths on the level fluctuations in the pool. The experimental results provided a basis to further optimize nozzle for meeting with the feeding in the pool of twin roll strip caster.

KEY WORDS twin roll strip casting, pool level fluctuation, physical model

双辊薄带连铸被认为是生产厚 1—6 mm 薄带最有前途的一种近终形连铸技术。其主要优点是通过简化工序能够大幅度降低设备投资和能源消耗, 并能通过快速凝固改善材料性能和生产塑性差的难加工的材料。其工业化应用将产生巨大的经济效益。目前, 该技术已日趋成熟, 接近实现工业化, 急待解决的关键问题是如何进一步保证薄带质量和浇注工艺顺利进行。

合理的布流系统对于双辊薄带连铸来说具有非常重要的意义。这是因为布流系统直接关系着薄带产品的质量。根据文献报道^[1-3], 熔池弯月面的稳定性是保持带钢质量的关键因素。可以通过水口的优化来保证熔池弯月面的稳定性。当熔池弯月面的波动幅度超过 ± 2 mm 时, 就会出现纵向裂纹; 但弯月面过于平静, 必然造成热中心下移, 使得凝固区紊流加强, 还容易引起液面结壳。这些

均不利于薄带质量的提高和浇注工艺的进行。因此, 衡量一个布流系统是否合理, 首先应从是否建立起了合理的熔池流场考虑, 通常可从以下四方面进行评价: 熔池液面波动; 熔池死区大小; 凝固区紊流状况; 熔池流场状况。

目前, 对双辊薄带连铸熔池布流系统已作了大量模拟研究, 但大多都忽略了辊子转动对熔池液面波动的影响。为此, 本文按照相似理论的原则, 用有机玻璃制作了模拟熔池内液面波动的动态 1:1 物理模型。通过超声波液面仪测定了不同结构尺寸的水口在不同的转速、熔池高度及插入深度等条件下熔池内液面的波动状况。从而为进一步研究熔池流体流动和混合特征, 最终优选出合理的双辊薄带连铸熔池布流水口尺寸打下基础。

1 实验方法

1.1 实验装置

实验以辊子直径为 500 mm、辊宽为 300 mm 双辊薄带铸机为模拟对象; 实物与模型采用 1:1 的比例; 双辊、水口和侧封板均由透明有机玻璃制成。双辊间距可在

* 国家自然科学基金重大资助项目 59995440

收到初稿日期: 2000-02-16, 收到修改稿日期: 2000-05-08

作者简介: 文光华, 男, 1963 年生, 副教授, 博士

0—10 mm 内调节, 通过调节进水流量和辊缝间距控制流量和熔池高度, 辊子转动速度在 0—150 r/min. 范围内可实现无级调速, 实验装置示意图见图 1 所示.

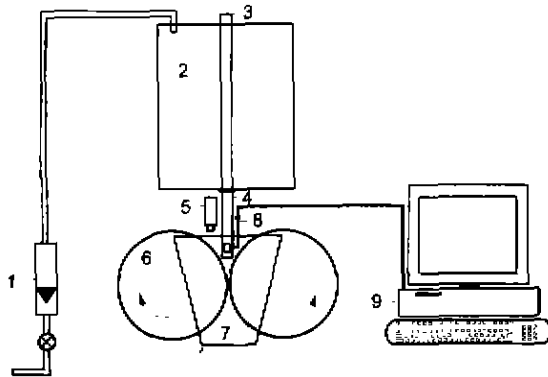


图 1 水模实验装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of the water model

1. Flowmeter 2. Tundish 3. Stopper rod
4. Nozzle 5. Video camera 6. Roll
7. Side dam 8. Level sensor 9. Computer

1.2 实验方法

根据相似理论, 模型实验应具备的相似条件为: (1) 几何相似; (2) 物理相似; (3) 开始及边界条件相似. 在实际进行模型实验时, 完全满足相似条件是很困难的, 因此, 一般是将次要的相似条件忽略, 仅保留对研究过程起主导作用的重要条件, 如几何相似和起主导作用的力相似. 在双辊薄带连铸熔池内流体流动受到的作用力有惯性力、重力、粘性力和表面张力, 包含这些力的相似准数有 Froude number, Reynold number, Weber number. 在双辊熔池中既存在层流, 也存在紊流, 为保证熔池流体流动相似, 故模型实验首先考虑 Fr 和 Re 两准数. 由于在 1600 °C 钢液分子运动粘度与室温下水的分子运动粘度近似^[4], 选取模型与原型几何相似比为 1:1 时, 能够保证 Re, Fr 准数相同, 模型流量与实物流量相同.

实验水口采用传统板坯连铸结晶器使用的双侧孔水口结构形式, 水口优化参数主要从水口内径尺寸、出孔半径、出孔角度三个方面来考虑. 根据实验流量与传统连铸水口尺寸比较, 确定了两种水口内径、三个出孔半径. 每个角度下内径为 25 mm 的选取了四个出孔半径, 内径为 35 mm 的选取了三个出孔半径. 实验水口一共 21 个, 其尺寸及基本参数见表 1.

针对不同辊速、熔池液面高度和水口插入深度, 在不同水口条件下进行水力学模拟实验. 实验采用中国水利水电科学研究院研制的 SG200 型超声波浪高仪对熔池内液位波动进行了采样记录, 每次实验重复三次, 测试结果重现性好, 液位测试精度可达 0.1 mm. 实验重点测试了熔池内位于侧封板附近、界于侧封板和水口之间熔池中间

表 1 模型实验主要参数

Table 1 The basic parameters of the water model experiment

Name	Parameter
Roll diameter, mm	500
Roll wide, mm	300
Roll gap, mm	0—10
Pool height, mm	180, 200
Tundish level height, mm	400
Roll rate, r/min	20—60
Casting rate, m/min	31.4—94.2
Flow rate, m ³ /h	0.8—2.5
Inside diameter of nozzle, mm	25, 35
Nozzle side port angle	-5°, +5°, +10°
Side port radius of inside diameter 25mm, mm	8, 10, 11, 12.5
Side port radius of inside diameter 35mm, mm	11, 13, 15

处两点液面波动情况.

2 实验结果与讨论

2.1 双辊薄带连铸熔池液面波动基本特征

图 2 表示了转速为 40 r/min, 在采用双侧孔水口条件下的熔池液面变化情况. 从图可知, 在浇注过程中熔池液面总是在不断地发生波动. 但在不同液面处, 液位波动大小和规律是不一样的. 在侧封板附近 (图 2a) 液位变化强度明显要大于界于侧封板和水口之间熔池中间处液面 (图 2b): 同时在侧封板附近除了产生周期为 0.3—0.4 s 的小波外, 还产生周期为 1.5 s 左右的大波, 大波的周期正好等于在该实验条件的辊子转一周的时间, 而在熔池液面中间处仅形成小波, 大波的形成不明显. 由此说明辊子的转动对侧封板附近大波的形成有直接的影响.

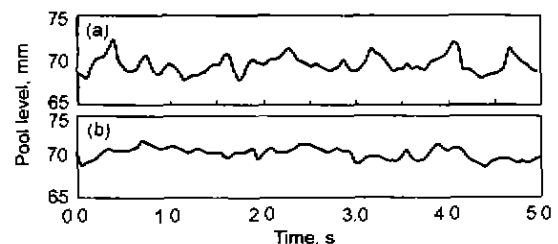


图 2 熔池液位随时间的变化

Fig.2 Pool level variations as a function of time

- (a) side dam position
(b) center position between side dam and nozzle

2.2 水口结构尺寸对熔池液面波动的影响

通过对所设计的水口在转速 40 r/min (即拉速为 62.8 m/min) 下进行水模实验, 可以看出不同的水口侧孔出口半径、水口侧孔出口角度和水口内径对熔池液面波动有较大的影响.

2.2.1 水口侧孔出口半径对液面波动的影响 对于水口内径为 25 mm、出口角度向下 5° 系列的水口,

在熔池高度为 180 mm 和水口插入深度(指水口底部至熔池液面距离)45 mm 时水口侧孔出口半径对熔池液面波动的影响如图 3 所示。图中液面波动值表示波谷至波峰之间的距离。从图中可以看出,随着水口侧孔出口半径的增加,从水口流出的流股速度减小,所引起的液面波动也就相应减小。当侧孔出口半径增加到 11 mm 时,对熔池液面波动的影响减弱。

2.2.2 水口侧孔出口角度对液面波动的影响 对于内径为 25 mm、水口出口半径 8 mm 系列的水口,在熔池高度为 200 mm 和水口插入深度 65 mm 下,水口侧孔出口角度对熔池液面波动的影响如图 4 所示。从该图可以看出液面波动随着水口出口角度从向下到向上变化而增大;在水口角度向下 5° 时,液面波动最小。对于向下出口角度的水口,尽管液面比较平稳,但从水口流出的流股将引起下部凝固区的紊流强度增大。

2.2.3 水口内径对液面波动的影响 图 5 给出了在出口半径为 11 mm、向上 5° 、水口插入深度 45 mm 和熔池高度 180 mm 条件下,两种不同内径的水口对液

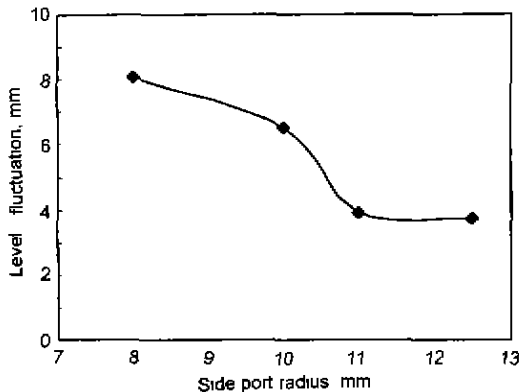


图 3 水口侧孔出口半径对液面波动的影响

Fig.3 Effect of submerged nozzle's side port radius on level fluctuation

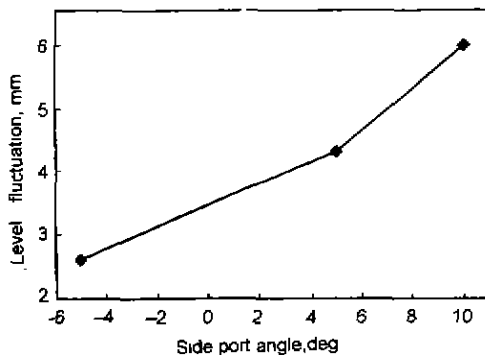


图 4 水口侧孔出口角度对液面波动的影响

Fig.4 Effect of submerged nozzle's side port angle on level fluctuation

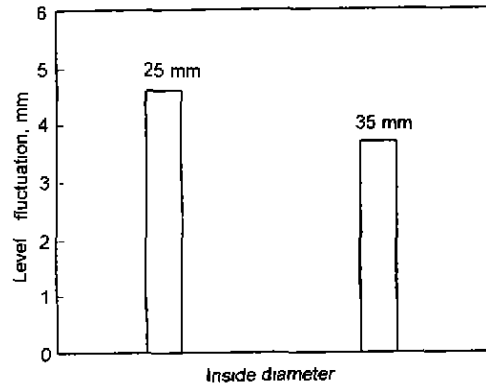


图 5 水口内径对液面波动的影响

Fig.5 Effect of submerged nozzle's inside diameter on level fluctuation

面波动的影响。内径大的水口引起的液面波动较内径小的水口小。

通过水模实验分析,水口结构尺寸对双辊薄带连铸熔池液面波动从大到小的影响顺序是:侧孔出口半径 → 出口角度 → 水口内径。在拉速为 62.8 m/min 下,内径 25 mm、出口角度向下 5° 、出口半径 11—12.5 mm 以及内径 35 mm、出口角度 -5° — 5° 、出口半径 13—15 mm 的水口,能够满足双辊连铸工艺对熔池液面波动控制在 ± 2 mm 内的要求。

2.3 熔池高度对液面波动的影响

图 6 给出了在水口内径 35 mm、出口半径 15 mm、向下 5° 、水口插入深度 65 mm 条件下,两种不同熔池高度对液面波动的影响。从图可以看出,液面波动随着熔池高度的增大而减小。这是因为随着熔池高度的增加,熔池内的钢液量增加,即 W/Q (熔池钢液重量/注入量)增加,因此液面波动量减小了,液面趋于稳定。

2.4 水口插入深度对熔池液面波动的影响

图 7 给出了在水口内径 35 mm、出口半径为 15 mm、出口角度 5° 和熔池高度 200 mm 条件下,

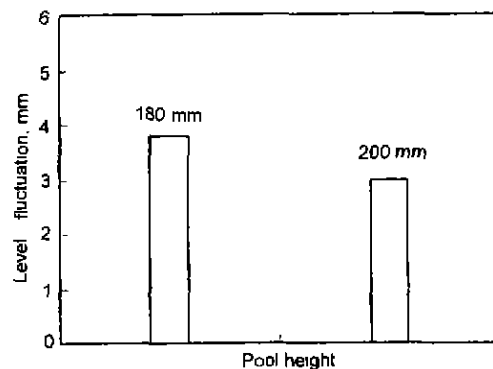


图 6 熔池高度对液面波动的影响

Fig.6 Effect of pool height on level fluctuation

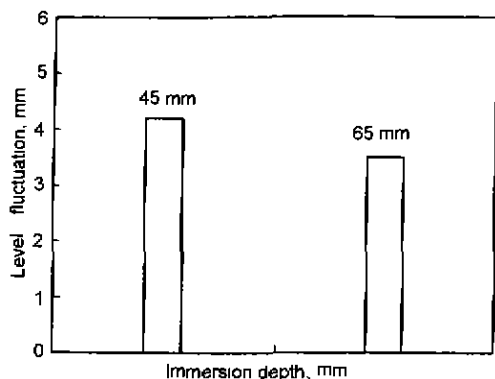


图7 插入深度对液面波动的影响

Fig.7 Effect of submerged nozzle's immersion depth on level fluctuation

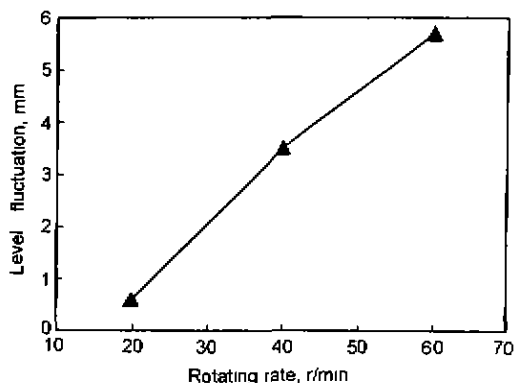


图8 转速对液面波动的影响

Fig.8 Effect of rotating rate on level fluctuation

不同插入深度的水口对液面波动的影响。从图中看出,液面波动随着插入深度的增大而减小,这是由于随着插入深

度的增大,流股从水口流出后大部分都流向熔池下部,只有少部分经过回流到达液面,从而减小了对液面波动的影响,但熔池内下部流动加强,热中心下移。

2.5 转速(拉速)对熔池液面波动的影响

图8给出了在水口内径35 mm、出口半径为15 mm、出口角度 5° 、插入深度45 mm和熔池高度200 mm条件下,转速对液面波动的影响。从图中看出,液面波动随着转速的增加而增大。这是因为辊子转速越大,即拉速增大,相应流量也增大,导致液面波动增大;同时,由于辊子转速增加,辊子对流体的扰动增强,从而造成熔池液面波动也增大。

3 结论

(1) 在转速为20—40 r/min,即拉速31.4—62.8 m/min下,所设计的双侧孔型水口能够使熔池内液面波动在 ± 2.0 mm范围内,满足双辊薄带连铸对熔池液面波动控制要求。

(2) 在水口出口流量不变的条件下辊子转速越快,液面波动越大,对双辊熔池物理模拟必须考虑辊子转动对熔池液面波动的影响。

(3) 液面波动随熔池高度的增加而减小,随插入深度的增加而减小。

(4) 侧封板处液面波动比界于水口和侧封板之间中心处的液面波动大,但随着水口侧孔出口半径的增大,整个熔池液面趋于平稳。

参考文献

- [1] Miyake S. *ISIJ International*, 1991; 7: 689
- [2] Macci F. *Steel Times*, 1995; 6: 230
- [3] Legrand H, Martel D. *Steel Times*, 1998; 3: 104
- [4] Bouchard D, Busque F, Hamel F G. *Steelmaking Conf Proc*, Chicago: ISS, 1999; 82: 723