

浸入式水口堵塞过程板坯结晶器内流动与液面波动的模拟

张永亮¹ 朱苗勇¹ 张胜军¹ 郑淑国¹ 程乃良² 宋景欣²

(1 东北大学材料与冶金学院,沈阳 110004; 2 上海梅山钢铁股份有限公司,南京 210039)

摘要 用水模型研究拉速为 1.4~2.4 m/min 的 220 mm × 1 300 mm 板坯连铸结晶器浸入式水口发生堵塞和吹氩时,结晶器内的液面与流动行为。结果表明,水口发生堵塞时,水口两侧的流股不对称,气泡的平均直径减小,气泡进入结晶器的深度增加,引发卷渣和气泡缺陷的机率将明显增加。

关键词 板坯 结晶器 水口堵塞 气泡 液面波动 流动

Simulation of Liquid Level Oscillation and Flowage in Slab Concasting Mold during Submerged Nozzle Clogging Course

Zhang Yongliang¹, Zhu Miaoyong¹, Zhang Shengjun¹, ZhengShuguo¹, Cheng Nailiang² and Song Jingxin²

(1 School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110004;

2 Shanghai Meishan Iron and Steel Co Ltd, Nanjing 210039)

Abstract The behavior of liquid level and flowage in 220 mm × 1 300 mm slab mold with casting speed 1.4 ~ 2.4 m/min during submerged nozzle clogging and argon blowing has been studied by water model. The results showed that during nozzle clogging course the streams at both side of nozzle were asymmetric, the size of bubble decreased and the depth of bubbles penetration in mold increased to induce slag entrapment and to increase slab defect produced by bubbles obviously.

Material Index Slab, Mold, Nozzle Clogging, Bubble, Liquid Level Oscillation, Flowage

国内外研究者对理想条件水口吹氩和不吹氩时结晶器内的钢液和气泡行为进行了不少研究^[1-8]。本文采用水模拟实验,通过测定堵塞后水口的表面波动和流场拍照,研究浸入式水口堵塞后结晶器内的流动情况。

1 实验方法与装置

根据相似原理的基本原则,原型与模型的相似可用佛鲁德准数相等来表示,即:

$$\frac{v_m^2}{gl_m} = \frac{v_p^2}{gl_p} \quad (1)$$

$$v_m = \sqrt{\frac{l_m}{l_p}} \cdot v_p \quad (2)$$

式中: v - 流体速度/($m \cdot s^{-1}$); g - 重力加速度/($m \cdot s^{-2}$); l - 特征长度/ m ; m - 模型; p - 原型。本实验模型与原物的几何比为1:2.5。由此可得:

$$v_m = 0.632 v_p \quad (3)$$

本实验模拟的现场实际拉速为 1.4, 1.8, 2.1, 2.4 m/min。结晶器断面尺寸为 220 mm ×

1 300 mm,由此算得各拉速条件下所对应的模型水流量(Q_w)见表 1。

表 1 水模型实验技术参数
Table 1 Technology parameter of test of water model

铸机拉速/($m \cdot min^{-1}$)	水流量/($m^3 \cdot h^{-1}$)
1.4	2.43
1.8	3.13
2.1	3.65
2.4	4.17

实验的气体为空气,生产用气体为氩气。选择修正的佛鲁德准数来确定实验气量与实际气量之间的计算关系,同时考虑模型与原型中因温度差异所引起的气体膨胀。

实验时用数码相机跟踪拍摄连铸结晶器水模型内液体的流动轨迹,采用 DJ800 型多功能检测系统测量结晶器模型内液面波动。

悬浮在钢水中的 Al_2O_3 颗粒与钢水接触时的高界面能使之粘附到耐火材料表面,相互烧结并形成网状 Al_2O_3 ,成为堵塞水口的沉积物^[2,9]。

本实验选择水口的两种堵塞方式进行模拟,

如图 1 所示。堵塞 I: 堵塞只发生在水口的内部, 在水口出口处有轻微的堵塞; 堵塞 II: 在水口内部靠近出水口处有部分堵塞, 在出水口发生较严重的堵塞。

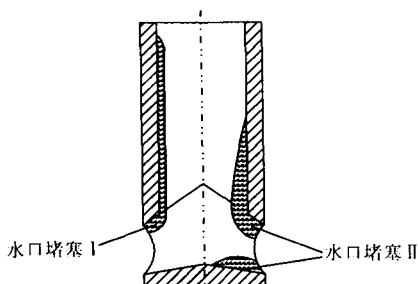


图 1 水口堵塞示意图

Fig. 1 Schematic of nozzle clogging



图 2 结晶器内流场图: (a) 正常水口吹气时; (b) 水口堵塞 I; (c) 水口堵塞 II (铸坯断面为 220 mm × 1300 mm; 拉速为 2.1 m/min; 吹气量 8 L/min)

Fig. 2 Liquid flow pattern in mold: (a) with normal nozzle air blowing; (b) nozzle clogging I; (c) nozzle clogging II (billet section 220 mm × 1 300 mm, casting speed 2.1 m/min, gas blowing rate 8 L/min)

水口发生堵塞 I 和 II 情况时, 结晶器内的流场如图 2(b)、(c) 所示。

在堵塞 I 情况下, 与未堵塞相比, 水口两侧的流股不对称, 气泡的平均直径减小, 气泡进入结晶器的深度增加, 结晶器表面流速也变大。发生这种堵塞时, 由于气泡进入结晶器的深度变深, 气泡被凝固坯壳捕捉的几率大大增加, 形成气泡缺陷比率增加。而且随着拉速的提高, 水口出口处的流股速度也要变大, 不平衡造成的表面流速也在变大, 从而增加了剪切卷渣发生的几率。

在堵塞 II 情况时, 由于堵塞, 不仅水口的内径减小, 而且出水口的面积也减小。在同样的拉速与吹气量下, 出水口的流股与未堵塞水口的流股相比发生很大的变化。从图 2(c) 中可以看出, 由于出水口面积减小, 流股沿出水口壁高速喷出, 形

2 结果与分析

2.1 吹 Ar 水口未堵塞时结晶器内的流场

吹气水口未堵塞时结晶器内的流场如图 2(a) 所示。流股从浸入式水口流出后, 由于钢水中通有气体, 气体出水口后便在浮力作用下上浮, 气体的上浮带动钢液上升, 大部分气体在未达到窄边便逸出结晶器液面。而流股冲向窄边, 然后在窄边受到阻碍, 分成上下两个流股, 形成上部和下部两个循环区, 由于吹气的影响, 上部的循环区变小。如果上部循环区过小, 则可能使结晶器表面不活跃, 不利于保护渣的熔化, 但气体上浮穿过渣面逸出结晶器, 可使液面变得活跃, 补偿了循环区减小带来的不利因素。

2.2 吹 Ar 水口发生堵塞时结晶器内的流场

成向上和向下两股高速流股。向上的流股冲向表面, 造成表面波动幅度增加, 从而造成卷渣; 向下的流股带入大量的气泡冲向结晶器底部, 易造成气泡缺陷。水口两侧极不对称的流股, 造成铸坯组织的不均匀, 影响铸坯质量。

2.3 吹 Ar 水口发生堵塞时结晶器内液面的波动

由图 3 可以看出, 在水口未堵塞时, 液面的波动呈现的规律是随着拉速的增大, 液面波动是先大后小, 在中间拉速出现一个液面波动的最大值。从实验的观察得知, 表面波动的主要影响因素是气泡。在正常水口条件下, 气体在一定的流量下气泡会在水口内汇聚成一个较大的气团, 出水口后在上浮过程中形成大气泡, 在表面破裂, 造成表面波动较大。但随着流量的增加, 表面波动有下降的趋势, 原因是随着拉速的增大, 在水口内汇聚

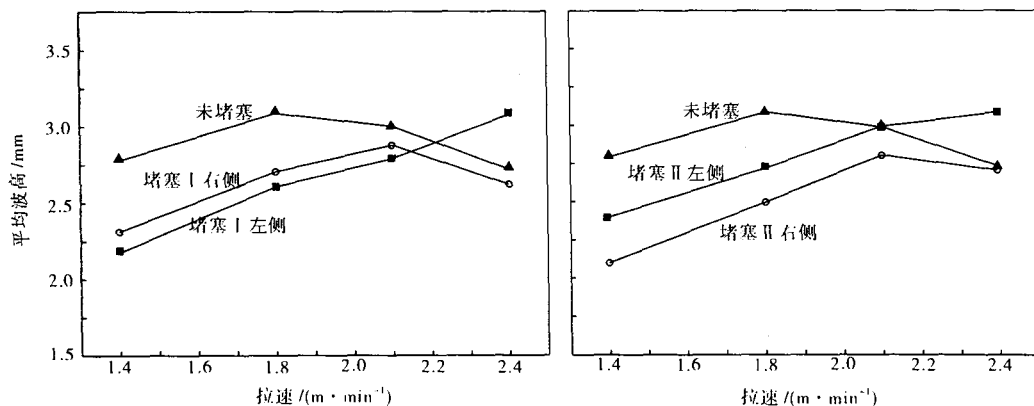


图3 水口发生堵塞时结晶器内的液位波动值

Fig. 3 Liquid level oscillation value in mold during nozzle clogging

的气团的体积减小,从而形成大气泡的直径也减小,表面波动减小。

由图3还可以看出,两种堵塞情况下水口两侧液面波动的总体趋势大致相同。当拉速 $< 2.1 \text{ m/min}$ 时,水口发生堵塞时,其左右两侧的液面波动均小于水口未堵塞时的液面波动,而当拉速 $> 2.1 \text{ m/min}$ 时,一侧的液面波动幅度要大于未堵塞水口的液面波动幅度。堵塞水口与正常水口的液面波动一样,都是因钢液中的气泡行为起主要作用。水口堵塞后,由于流通面积减小,流体的流速就增加,在小拉速时,水口内较大的流速可以将气体全部带出水口,而在水口内形不成气团,也就没有大气泡的产生。但随着拉速的增加,气体被带出的量反而有所减小,这就增加了气体汇聚的机会,当拉速超过一定值时就会有大气泡的产生。在堵塞情况下,大气泡的冒出不会在两个出水口同时出现,而是只在一侧出现。

3 结语

(1)浸入式水口吹氩,不仅可以防止堵塞和滑动水口的吸气,还可以改善结晶器内的流场,但是也会引起表面波动的加剧,增加了卷渣发生的机会。

(2)水口发生堵塞时,水口两侧的流股不对称,气泡的平均直径减小,气泡进入结晶器的深度增加,结晶器表面流速也变大。向上的流股冲向表面,造成表面波动幅度增加,从而造成卷渣;向下的流股带入大量的气泡冲向结晶器底部,易造成气泡缺陷。

(3)当拉速 $< 2.1 \text{ m/min}$ 时,水口发生堵塞其

左右两侧的液面波动均小于水口未堵时的液面波动,而当拉速 $> 2.1 \text{ m/min}$ 时,一侧的液面波动幅度要大于未堵塞水口的液面波动幅度。

(4)浸入式水口发生堵塞,在吹Ar条件下,出水口左右两侧流股的不对称使铸坯的凝固条件发生改变,造成了铸坯组织的不均匀,影响了铸坯的质量。

参考文献

- 1 Banneberg N. Inclusion Modification to Prevent Nozzle Clogging. *Steelmaking Conference Proceedings*, 1995:457
- 2 Poirier J, Provost G, Savignat G, et al. Mechanism and Countermeasure of Aluminum Clogging in Submerged Nozzle. *Steelmaking Conference Proceedings*, 1995:451
- 3 Heaslip L J, Sommerville I D, Mclean A, et al. Model Study of Fluid Flow and Pressure Distribution during SEN Injection Potential for Reactive Metal Addition during Continuous Casting. *ISS Transactions*, 1988(9):79
- 4 马范军,文光华,李刚. 板坯连铸结晶器内吹入气体对钢液行为的影响. *炼钢*, 2000, 16(3):42
- 5 蔡开科. 连续铸钢. 北京:科学出版社, 1987:158
- 6 高文芳. 防止浸入式水口堵塞的研究与应用. *钢铁研究*, 1997(94):3
- 7 茅洪祥,胡东艳. 连铸过程中水口堵塞机理及其预防对策. *武汉科技大学学报*, 2000, 23(2):11
- 8 王庆祥,吴雄,喻承欢,等. 浸入式水口堵塞的机理及其改善措施. *钢铁*, 2005, 40(2):34
- 9 Singh S N. Practical Solution to the Problem of Alumina Buildup in Nozzle during Continuous Casting of Aluminum-containing Steels. *Steelmaking Proceedings*, 1979:3

张永亮(1979-),男,硕士研究生,从事连铸过程结晶器内液位波动及控制工艺研究。