

Φ1 200 mm × 380 mm 双辊薄带连铸机布流的物理模拟

陈远清 文光华 祝明妹 丁培道

(重庆大学材料科学与工程学院, 重庆 400044)

摘要 采用 1:2.4 缩小动态物理模型, 对南钢辊径 1 200 mm、辊宽 380 mm、液面深度 460 mm 的双辊 2~3 mm 薄带连铸机熔池布流进行模拟和水口结构进行了评估。并采用正交设计试验, 对水口结构尺寸进行了优化。结果表明, 水口上下倾角为 0、左右偏角 60°、侧孔面积为 18 mm × 11 mm 时, 水口的综合性能最佳, 能满足熔池布流的要求。

关键词 双辊薄带连铸 浸入式水口 熔池布流 模拟

Physical Modeling of Feeding Liquid Steel into Bath of a Φ1 200 mm × 380 mm Twin Roll Thin Strip Concaster

Chen Yuanqing, Wen Guanghua, Zhu Mingmei and Ding Peidao

(College of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044)

Abstract Simulation of liquid steel feeding system of pool in a twin roll 2~3 mm thin strip concaster with roll diameter 1 200 mm, wide 380 mm and pool depth 460 mm at Nanchang Steel and evaluation of nozzle structure has been carried out by using 1:2.4 ratio dynamic physical model. The nozzle size structure was optimized by orthogonal experiment. The results showed that as nozzle up and down inclination is 0, both sides deviation angle 60° and side hole dimension 18 mm × 11 mm, the comprehensive properties of nozzle were optimum and can meet the requirement of feeding liquid steel into bath.

Material Index Twin Roll Thin Strip Concasting, Immersion Nozzle, Feeding Liquid Steel into Bath, Simulation

南昌钢铁公司 Φ1 200 mm × 380 mm 双辊薄带连铸机, 主要用于浇注 SUS304 不锈钢和 M2 高速钢。双辊薄带连铸熔池布流的好坏主要表现在液面波动情况和上部分流体混合情况等。液面波动过大会使薄带产生纵向裂纹; 液面过于平静, 容易造成结壳^[1-3]。

1 研究方法

双辊薄带连铸时, 高温钢水通过水口浇铸到两辊之间的熔池中, 辊子内部通水冷却, 钢水在辊子表面快速冷却形成坯壳, 随辊子的转动, 两片坯壳在吻合点粘结在一起形成薄带(图 1)。南钢双辊薄带连铸机的辊子直径 1 200 mm, 辊子宽度 380 mm, 液面深度 460 mm, 原型与模型的工艺参数见表 1。3 种薄带的生产工况见表 2。

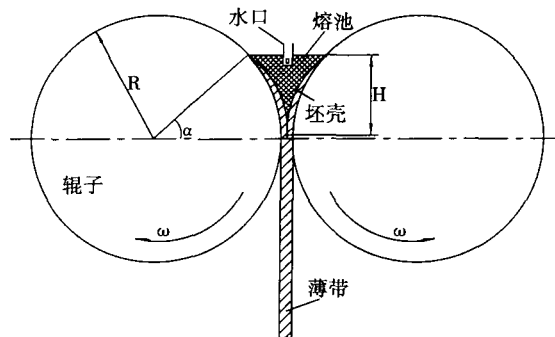


图 1 双辊薄带连铸示意图

Fig. 1 Schematic of twin roll strip casting

根据相似原理^[4], 在 Fr 准数相等和几何相似的情况下建立 1:2.4 缩小动态物理模型, 中间包、水口、辊子和侧封板用有机玻璃制作, 双辊由电机-

表 1 南钢双辊薄带连铸机和物理模型的工艺参数

Table 1 Technology parameters of twin roll thin strip concaster at Nanchang Steel and physical model

项目	接触角度/°	液面深度/ mm	液面宽度/ mm	薄带厚度/ mm	对应拉速/ (m·min ⁻¹)	对应流量/ (m ³ ·h ⁻¹)	水口插入深度/mm
原型	50	460	428.4	2.0 2.5 3.0	75 65 60	3.42 3.71 4.10	100 80
模型	50	192	178.5	0.8 1.0 1.3	48 42 39	0.38 0.42 0.46	42 33

表 2 薄带连铸机的 3 种工作状况
Table 2 3 work situation of thin strip concaster

工况	薄带厚度/ mm	对应拉速/ (m·min ⁻¹)	流量/ (m ³ ·h ⁻¹)
1	2.0	75	3.420
2	2.5	65	3.705
3	3.0	60	4.104

减速箱-分速器系统驱动。设长度相似比为：

$$\lambda = l_m / l_p = 1/2.4 = 0.42 \quad (1)$$

则 速度相似比 $u_m = \lambda^{0.5} u_p = 0.65 u_p \quad (2)$

流量相似比 $Q_m = \lambda^{1.5} Q_p = 0.27 Q_p \quad (3)$

式中： m - 模型； p - 原型。

实验中，来自流量计的水从中间包经水口流入到两辊之间，辊子下面用阀门控制流量以保持熔池液面平衡。用中国水利科学院研发的 DJ800 型多功能监测系统测定熔池液面波动情况；用刺激-响应方法^[4]，饱和食盐水作示踪剂，脉冲加入，从响应曲线分析流体停留时间分布的方差 $\sigma^2(\theta)$ 来判断熔池混合情况^[1]。实验中选取了 3 个测点，1[#] 测点在侧封板附近，反映侧封板附近的流场状况；2[#] 测点在侧封板和水口中间处，反映熔池的流场状况；3[#] 测点在辊子边缘，反映弯月面的流场状况。

2 现用水口的评估实验

南钢提供了 3 种类型的浸入式水口，其端部结构示意图如图 2。

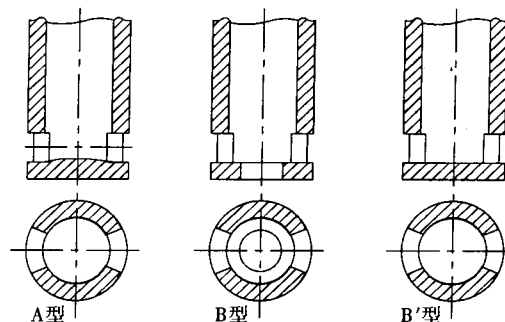


图 2 南钢连铸机浸入式水口端部结构

Fig.2 Structure of immersion nozzle for concaster at Nan-chang steel

2.1 流体混合

方差 $\sigma^2(\theta)$ 为无因次量，故模型的方差也代表了原型的方差。熔池上部分流体混合情况主要考察点为熔池中间，即熔池中部测点。在各工况下，各水口在该测点的方差如图 3 所示。可以看出，在熔池中部测点处，A 型水口在各工况下的方差都是最大的，熔池混合情况良好。

2.2 液面波动

B 型水口在使用时熔池的波动幅度大，对侧封板的冲刷尤为严重，不适合这种条件下的双辊薄带连铸。现对 A 型水口和 B' 型水口进行比较。由于凝固是从弯月面开始的，所以对波动情况的关键考察点应是辊子边缘的弯月面处的测点。各工况下在该测点的波动量如图 4 所示，可以看出，多数情况下 A 型水口的波动量较小。

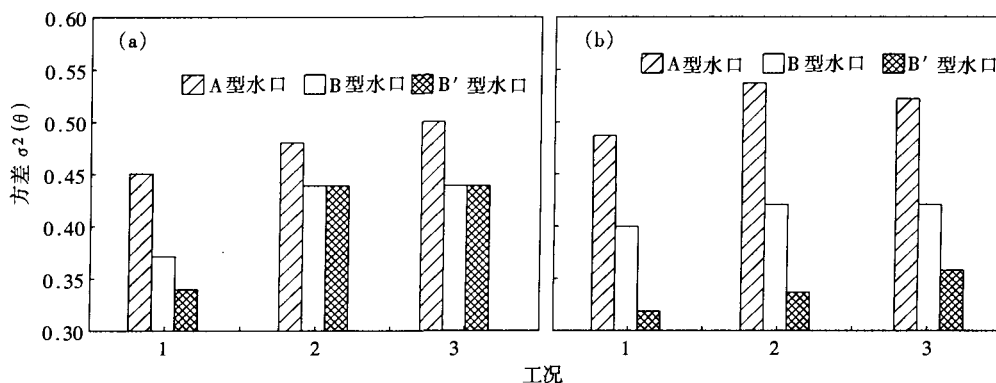


图 3 熔池中测点处的方差：水口浸入深度 100 mm(a)，80 mm(b)

Fig.3 Variance at measure point of molten pool median: nozzle immersion depth- 100 mm (a) and 80 mm (b)

2.3 3 种水口的综合比较

综合考虑熔池上部分流体混合情况和液面波动情况，在实验所采用的 3 个水口中，A 型水口在

熔池中部的混合情况最好，在弯月面附近的波动较小，而且熔池中的波动符合浇铸的要求，故 A 型水口最佳。但 A 型水口在侧封板处的方差比

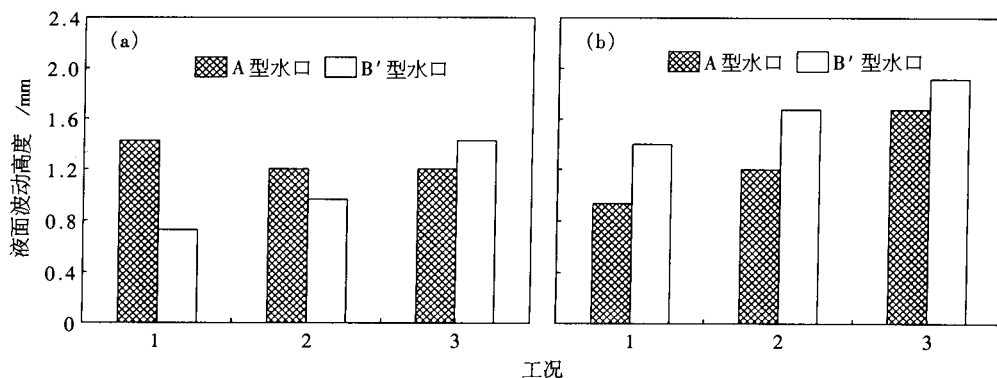


图4 辊子边缘弯月面处测点液面波动高度:水口浸入深度100 mm(a),80 mm(b)

Fig.4 Fluctuation height of molten steel at measuring point of roll edge curved surface: nozzle immersion depth- 100 mm (a) and 80 mm (b)

较大,波动幅度有时有些偏大,因此对侧封板的冲刷较为严重,这样就会减少侧封板寿命,也可能造成薄带边缘缺陷。

3 水口优化实验

3.1 优化实验的正交设计

在A型水口的基础上进行改进,并调整结构尺寸。从水口的上下倾角、左右偏角和侧孔面积3个因素考虑,进行了三因素三水平的正交实验,各因素、水平如表3。据此设计了1#~9#共9种水口,通过水力学物理模拟实验,测定了不同水口在3个测点位置的停留时间方差和波动量。所用工艺参数与水口评估实验相同。

表3 正交实验的因素与水平

Table 3 Factors and levels of orthogonal experiment

水平	因素		
	上下倾角/°	左右偏角/°	侧孔面积/mm ²
1	5	55	17×10
2	0	60	18×11
3	-5	65	19×12

3.2 水口优化实验结果和分析

综合停留时间方差和波动高度两方面考虑,水口优化实验的数据分析结果可归纳为表4,其中A代表上下倾角,B代表左右偏角,C代表侧孔面积。从表4可以看出,6#水口兼顾了目标的各个方面,综合性能最能满足熔池布流的要求。

与使用A型水口相比,使用6#水口时,侧封板附近测点的停留时间方差和波高都明显减小,对侧封板的损害减小;熔池中部测点的停留时间方差几乎不变,甚至略有增加,熔池的混合情况也

表4 实验数据分析结果

Table 4 Analysis results on test data

目标	最佳水口	第2选择水口	最优组合	影响程度
辊子边缘测点浪高最小	7#	3#,6#,9#	A ₃ B ₃ C ₃	B>A>C
侧封板附近测点浪高最小	7#,9#	3#,5#,6#	A ₃ B ₃ C ₃	A>C>B
熔池中部测点方差最大	1#	4#,6#	A ₂ B ₁ C ₁	A>B>C
侧封板附近测点方差最小	6#	3#,5#,9#	A ₂ B ₃ C ₂	B>A>C

保持良好,波动量也有所减小;辊子边缘测点的波动量减小,弯月面更趋于稳定,停留时间方差略有增加,混合更均匀。

4 结论

在A型水口的基础上采用正交实验方法对其结构尺寸进行优化。根据水力学模拟实验结果分析,在所设计的9个水口中,6#水口最能满足现有生产条件下熔池布流的要求,而且所形成的流场好于现用A型水口。

参考文献

- 祝明妹.双辊薄带连铸熔池布流的数理模拟研究[硕士学位论文].重庆:重庆大学,2001:3
- 钱玉麟.影响双辊薄带连铸铸带质量的因素.上海钢研,1998(1):40
- 张成秀.双辊薄带坯连铸钢液注入技术的开发.上海钢研,1997(1):30
- 肖兴国,谢蕴国.冶金反应工程学基础.北京:冶金工业出版社,1997

陈远清(1981-),男,硕士研究生,新型连铸及相关方向。

收稿日期:2006-01-24