

280 mm × 380 mm 方坯连铸结晶器钢水流场的数值模拟

刘 坤¹ 任子平² 关 勇² 刘万山²

(1 辽宁科技大学材料学院, 鞍山 114044; 2 鞍山钢铁集团技术中心, 鞍山 114002)

摘 要 借助商业软件 CFX4.4, 对拉速 0.8 m/min、两孔浸入式水口结构内腔中的钢水流动和 (mm) 280 × 380 × 800 结晶器内 70L (0.70% C) 钢水流场进行了数值模拟。结果表明, 侧孔倾角度 10°、20° 时, 结晶器液面附近有二次漩涡出现, 易造成卷渣; 倾角 30° 时, 液面相对平静; 水口插入深度 175 ~ 225 mm 时, 水口射流对结晶器钢水液面没有明显的冲击。

关键词 方坯结晶器 两孔浸入式水口 钢水流动 数值模拟

Numerical Simulation of Fluid Field of Molten Steel in Mold for 280 mm × 380 mm Billet Concasting

Liu Kun¹, Ren Ziping², Guan Yong² and Liu Wanshan²

(1 Liaoning University of Science and Technology, Anshan 114044;
2 Technical Center, Anshan Iron and Steel Group Corp, Anshan 114002)

Abstract The numerical simulation of fluid field of 70L steel (0.70C) in 280 × 380 × 800 (mm) mold and molten steel flowage at inner of two-side hole immersed nozzle structure with casting speed 0.8 m/min have been carried out by commercial software CFX4.4. The results showed that as side hole inclination was 10° and 20°, there was second eddy near the liquid surface in mold easy to induce entrapped slag, while inclination was 30° the liquid surface relatively calm; and as submerged depth of immersed nozzle was 175 ~ 225 mm the impact of nozzle jet flow on liquid surface of steel in mold was not obvious.

Material Index Billet Mold, Two-Side Hole Immersed Nozzle, Molten Steel Flowage, Numerical Simulation

实验以鞍钢大方坯连铸结晶器为对象, 在商业软件 CFX4.4 的平台上, 对结晶器内钢水流场进行了数值模拟。针对两孔浸入式水口在不同的侧孔倾角、浸入深度和拉速下, 数值模拟对结晶器内钢水流动、钢水液面波动和自由表面形状作出了较为详细的预报。

1 数学模型的建立

对大方坯连铸结晶器内钢水流场和传热凝固行为的研究主要包括:

- (1) 结晶器内的钢水和坯壳;
- (2) 浸入式水口内腔中的钢水;
- (3) 结晶器下方铸坯坯壳及其包围的钢水。

模拟计算涉及的基本方程有:

- (1) 连续方程;
- (2) 时均化的 Navier-Stokes 方程;
- (3) 标准化 $k-\epsilon$ 模型^[1,2]。

CFX 软件 4.4 版本提供了一种计算自由表面的方法。该方法基于单相流流场计算, 在自由表面上忽略了界面张力和相间切应力的存在, 而仅仅考虑

流体内部动压和液面在重力负方向上波动带来的静压之间的平衡关系。自由表面形状通过表面区域网格在计算过程的动态拉伸来最终形成。但该算法不能将保护渣层对钢水的作用考虑进去, 故而与实际情况相比存在一定误差。

在 CFX 软件中, 方程及其数值求解算法均模拟计算所涉及的控制条件^[3]及收敛标准^[4]已内置, 可以直接调用。

2 70L 钢化学成分和两孔浸入式水口的基本参数

本实验选择了 70L 钢和 280 mm × 380 mm 方坯连铸机^[5]作为研究对象。70L 钢的主要化学成分列于表 1。

表 1 70L 钢化学成分/%
Table 1 Chemical composition of steel 70L / %

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
0.75	0.37	0.80	0.010	0.008	0.20	0.20

两孔浸入式水口 (图 1) 的工作端为两开孔 180° 对称分布式, 开孔倾角为 30°。实际应用时, 两孔水

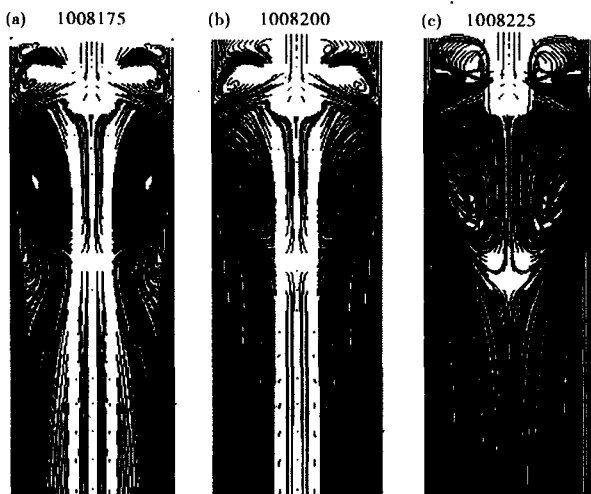


图 3 插入深度 175 mm (a)、200 mm (b)、225 mm (c) 时结晶器中心垂直截面内钢水速度分布: 拉速 0.8 m/min; 倾角 10°

Fig. 3 Distribution of flow speed of molten steel at vertical section in center of mold with submerged depth 175 mm (a), 200 mm (b) and 225 mm (c); casting speed 0.8 m/min; inclination 10°

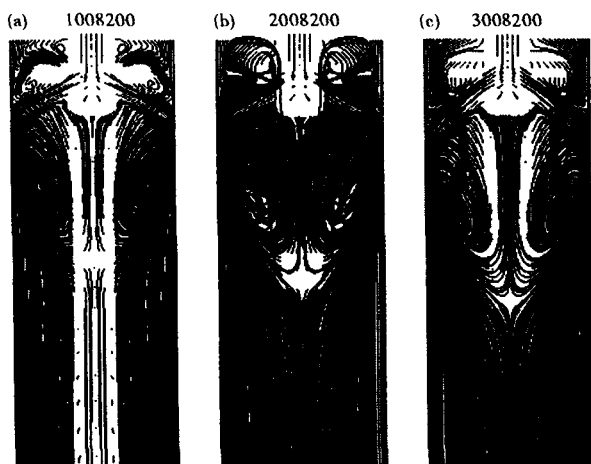


图 4 倾角为 10° (a)、20° (b) 和 30° (c) 时结晶器中心垂直截面内钢水速度分布: 拉速 0.8 m/min, 插入深度 200 mm

Fig. 4 Distribution of flow speed of molten steel at vertical section in center of mold with inclination 10° (a), 20° (b) and 30° (c); casting speed 0.8 m/min; submerged depth 200 mm

疤、泪痕等缺陷出现。

3.4 自由表面计算结果及讨论

图 5 为在结晶器中心截面上自由表面钢水流速度的分布; 这说明水口周围钢水的漩涡流动为三维状, 存在多个方向的冲击。当插入深度比较大时, 自由表面表现得比较平静, 波高最大的地方正是钢水涌出

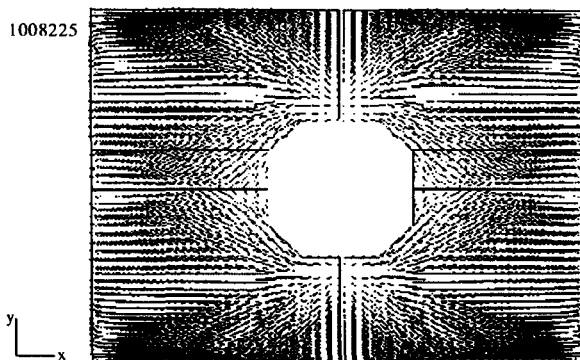


图 5 结晶器内钢水自由表面速度分布: 拉速 0.8 m/min, 倾角 10°, 插入深度 225 mm

Fig. 5 Distribution of flow speed at free surface of molten steel in mold; casting speed 0.8 m/min; side hole inclination 10°; submerged depth 225 mm

的部位。

不同方案下, 大方坯连铸结晶器内钢水液面的波动和自由表面形状基本具有相似的模式, 只是波高差(波高差 = 波动最大值 - 波动最小值)随着工艺参数的不同而不同, 均控制在 3 mm 范围之内。

4 结论

(1) 侧孔倾斜角度为 10°、20° 时, 在结晶器液面附近都有不同程度的二次漩涡出现, 容易造成卷渣; 倾角为 30° 时, 液面相对平静。

(2) 插入深度在渣线 175 ~ 225 mm 间变化时, 水口射流对结晶器钢水液面的冲击没有明显的改变。

(3) 水口射流对结晶器窄墙的冲击作用比较强, 可以使凝固坯壳熔化, 导致初生凝固坯壳发育的不均匀性。

参考文献

- 1 于勇, 仇胜桃. 连续铸钢过程数学物理模拟. 北京: 冶金工业出版社, 2001
- 2 陈雷. 连续铸钢. 北京: 冶金工业出版社, 1993
- 3 于会香, 张炯明, 王万军. 板坯连铸浸入式水口出口速度对结晶器流场影响的数值模拟. 北京科技大学学报, 2002, 24(5): 492
- 4 包燕平, 张涛, 蒋伟. 板坯连铸结晶器内钢液流场的三维数学模型. 北京科技大学学报, 2001, 23(2): 106
- 5 任子平, 姜茂发. 280 mm × 380 mm 铸坯结晶器内钢水凝固与传热仿真研究. 特殊钢, 2006, 27(1): 36

刘坤(1965-), 女, 硕士, 教授, 从事冶金传输方向研究。

收稿日期: 2006-06-01