

试验研究

控流装置对中间包夹杂物运动行为的影响

马天飞, 刘国齐, 李红霞, 杨文刚

(中钢集团洛阳耐火材料研究院有限公司 河南特种耐火材料重点实验室, 河南 洛阳 471039)

摘要:采用拉格朗日颗粒轨迹模型,应用计算流体动力学方法,对中间包夹杂物颗粒运动轨迹及去除率进行了模拟研究。计算结果表明:控流装置的设置可显著改善夹杂物流向,延长停留时间,提高夹杂物去除率。夹杂物去除率随夹杂颗粒当量直径的变大而提高。控流装置对50 μm以下夹杂颗粒去除率提高较多。本实验所设计的几种控流装置中,采用导流隔墙的中间包夹杂物去除效果最好。

关键词:中间包;夹杂物;去除率;数值模拟;拉格朗日模型;计算流体动力学

中图分类号:TF704.7

文献标识码:A

文章编号:1004-4620(2010)02-0053-02

随着对钢水洁净度要求的提高,中间包已成为连铸过程中去除夹杂物的一个重要环节。目前普遍采用在中间包内加装堰坝及导流隔墙的方法来改善中间包内钢水流动状态,以促进钢水中夹杂物上浮分离。对各种控流装置夹杂物去除效果的研究多采用计算机模拟与水模拟的方法。多年的理论研究和现场实践表明,要发挥控流装置的最佳功能,其结构和位置也因浇注条件及中间包本身结构的差异而做出调整^[1]。本研究采用拉格朗日颗粒轨迹模型描述夹杂颗粒运动,对单流薄板坯连铸中间包内夹杂物运动行为进行了模拟,分析了中间包内控流装置对夹杂物排除率的影响。

1 数学模型

1.1 流体方程

中间包内钢液流动的雷诺数高达 5×10^5 ,可视三维稳态、不可压缩黏性流体湍流流动。不考虑中间包钢水液面波动及中间包内发生的化学反应。根据质量守恒、动量守恒和能量原理可写出笛卡尔坐标系下非等温流体运动基本方程,详见文献[2]。湍流方程采用工程模型 $k-\varepsilon$ 双方程^[3]。夹杂物运动由拉格朗日颗粒轨迹模型来描述^[4-6]。

1.2 边界及初始条件

1)中间包入口:根据通钢量恒定,确定入口速度,速度方向垂直入口截面。

2)中间包出口:流体在出口处充分发展为压力出口。

3)中间包钢液顶面:流场速度梯度为零,法向速度为零。钢液面辐射散热量取 36 kW/m^2 。假设

夹杂物运动到钢液顶面后全部被表面渣层吸收。

4)固体壁面速度为零,壁面为非滑移界面,采用壁面函数计算;在浇注过程中,中间包壁传热视为恒定值,底墙散热流量 $1.4 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,横向包壁散热量 $3.8 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,纵向包壁散热量 $3.2 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。假设夹杂物运动到壁面后全部反弹。

5)设夹杂颗粒对钢水流场无影响,简化其形状为球形, $\rho_{\text{in}}=3900 \text{ kg/m}^3$ 。

2 计算求解

以某钢厂薄板坯连铸单流中间包为计算模型,中间包侧壁为倾斜壁。分别计算无控流装置、加装导流隔墙以及加装堰坝时中间包内钢液和夹杂物流动行为。铸坯尺寸为 $900 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}$,拉坯速度 4.5 m/min ,长水口插入液面下 100 mm 。

用CFD软件进行计算,采用分离式求解器和隐式稳态方案计算。先计算无夹杂物时的流场、湍动能、湍动能耗散率和壁面剪切力,再计算加入夹杂物后夹杂物的运动轨迹。对同一尺寸的夹杂物颗粒的轨迹进行重复模拟,得到多条轨迹,并对所有轨迹的去向进行统计,可以得到该夹杂物的去除效率: $\eta_r=N_r/N$ 。式中: η_r 为夹杂物的上浮颗粒与总颗粒之比,定义为夹杂物的去除率; N_r 为夹杂物的上浮颗粒数; N 为总颗粒数。

3 结果与分析

3.1 中间包结构对夹杂物轨迹的影响

图1为有无控流装置情况下中间包内夹杂物颗粒($d=100 \mu\text{m}$)的运动轨迹,图中深色轨迹线表示夹杂颗粒在中间包内停留较长,浅色轨迹线表示夹杂颗粒在中间包内停留时间较短。可以看到,在无控流装置的情况下,夹杂物随钢液注入中间包后,有较大一部分随钢液沿中间包包底直接流向出口,

收稿日期:2010-01-26

作者简介:马天飞,男,1982年生,2008年中钢集团洛阳耐火材料研究院硕士研究生毕业。现为中钢集团洛阳耐火材料研究院有限公司河南特种耐火材料重点实验室工程师,从事钢铁冶金模拟研究工作。

不利于夹杂物去除。而在有控流装置的情况下,夹杂物随钢液注入中间包遇到挡墙后,较多的夹杂物向液面回流,增加了被保护渣俘获的机会,而且在

通过挡墙后形成大的环流,使夹杂物在中间包内停留时间延长,增大了其与顶面接触的概率,有利于夹杂物的去除。

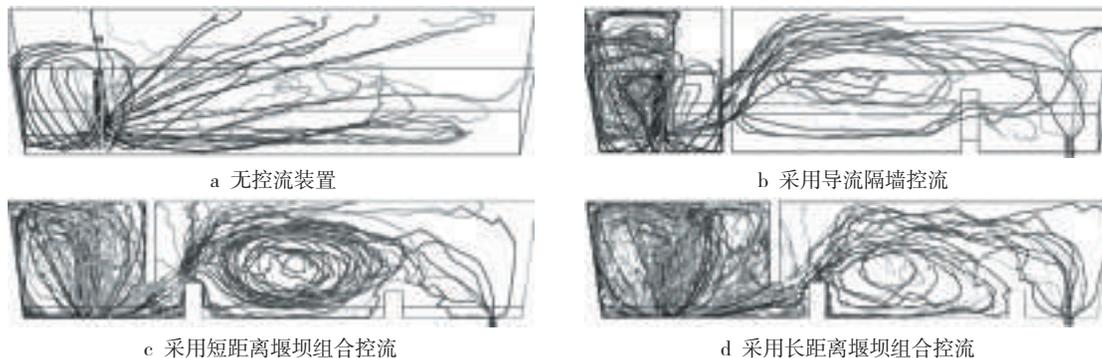


图1 中间包内 Al_2O_3 夹杂运动轨迹

3.2 中间包结构对夹杂物去除率的影响

图2对比了4种情况下不同尺寸夹杂物去除率。由图2可知,夹杂物去除率随夹杂颗粒当量直径的变大而提高,且控流装置的设置可显著提高夹杂物去除率。由图2也可知,对于尺寸 $<50\ \mu m$ 的夹杂物,中间包内设置控流装置对其去除率影响非常显著,采用导流隔墙时,10 μm 夹杂物的去除率由29.8%增加到66.7%,增加了36.9%。但夹杂物颗粒尺寸较大时,中间包内的控流装置对夹杂物的去除影响不显著,100 μm 的夹杂物的去除率由58.54%增加到87.3%,仅增加了28.76%。

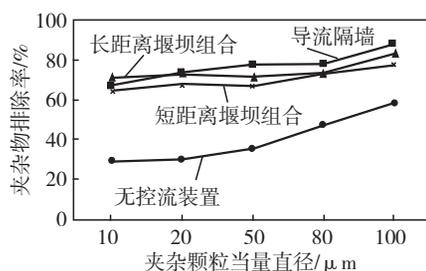


图2 不同中间包结构中夹杂物去除率随夹杂颗粒当量直径的变化

总的来说,中间包内设置控流装置后,钢液的流动形式发生了改变,同时提高了中间包内钢液的停留时间,有利于夹杂物的上浮去除。其中采用导流隔墙装置的中间包夹杂物去除效果较其他几种装置明显。

4 结论

4.1 采用CFD软件,计算了CSP薄板坯连铸单流中间包内夹杂物的运动轨迹。计算结果显示:控流装置的设置可显著改善夹杂物流向,延长停留时间,提高夹杂物去除率。

4.2 夹杂物去除率随夹杂颗粒当量直径的变大而提高。控流装置对50 μm 以下夹杂颗粒去除率提高较多。

4.3 本实验所设计的几种控流装置中,采用导流隔墙的中间包夹杂物去除效果最好。

参考文献:

- [1] 李永洋,程乃良,冷洋贵,等.优化高拉速板坯连铸中间包控流装置的水模型和数值模拟[J].连铸,2007(6):7-9.
- [2] 刘中兴,贺友多.板坯连铸机中间包流场研究[J].化工冶金,1993,14(2):102-105.
- [3] 杨晓江,赵铁成,赵毅.唐钢中薄板坯连铸中间包流场数值模拟[J].宽厚板,2007,13(4):1-5.
- [4] 张彩军,赵铁成,艾立群.FTSC薄板坯连铸中间包内流场及夹杂物运动轨迹的数值模拟[J].北京科技大学学报,2006,28(11):1014-1018.
- [5] 张炯明,邓风琴,王文科,等.连铸中间包钢水夹杂物浓度的数值模拟[J].北京科技大学学报,2004,26(3):247-250.
- [6] 张美杰,汪厚植,黄奥,等.底吹氧中间罐夹杂物运动行为的数模研究[J].连铸,2006(6):19-21.

Influence of Flow Control Device of Tunish on Inclusions Behavior

MA Tian-fei, LIU Guo-qi, LI Hong-xia, YANG Wen-gang

(Henan Key Laboratory of Advanced Refractories, Sinosteel Corporation Luoyang Institute of Refractories Research Co., Ltd., Luoyang 471039, China)

Abstract: W Lagrangian particle tracking model was applied, trajectories and removal rate of inclusions in tunish were simulated by CFD method. The results showed that flow control devices could amend inclusions flow direction, prolong residence time, improve inclusions removal rate. Bigger inclusions diameter, easier they were removed. Inclusions smaller than 50 μm diameter were sensitive to flow control devices. Among several flow control devices, the porous wall had best effect of inclusions removal.

Key words: tunish; inclusions; removal rate; numerical simulation; Lagrangian model; computational fluid dynamics (CFD)