

气幕挡墙中间包夹杂物去除的水模型研究

黄奥¹ 汪厚植¹ 顾华志¹ 张美杰¹ 陶晓林² 胡铁山²

(1 武汉科技大学湖北省耐火材料与高温陶瓷重点实验室, 武汉 430081;

2 武汉钢铁股份有限公司炼钢总厂三分厂, 武汉 430082)

摘要 以连铸1 500 mm × 250 mm 板坯的中间包为原型, 几何相似比1/3, 采用自制多孔透气砖进行中间包底吹气的水模型试验。结果表明, 气幕挡墙中间包中, 夹杂物通过斯托克斯机理上浮, 气泡吸附和钢液上扬流动而上浮去除; 当吹气量 ≥ 0.08 m³/h, 距入口中心 533 ~ 800 mm 处形成有效的气幕挡墙, 显著改善钢液流动性, 夹杂物去除率由不吹气的 44.86% 增加至 72.86%, 并改善小颗粒夹杂物的去除。工业试验表明, 采用气幕挡墙, 使 T[O] 降低 12% 以上。

关键词 中间包 气幕墙 夹杂物去除 水模型试验

A Study on Water Modeling of Inclusion Removal in Tundish with Gas Curtain

Huang Ao¹, Wang Houzhi¹, Gu Huazhi¹, Zhang Meijie¹, Tao Xiaolin² and Hu Tieshan²

(1 Wuhan University of Science and Technology, the Hubei Province Key Laboratory of Refractories and Ceramics, Wuhan 430081; 2 No.3 Steel Plant of WISCO, Wuhan 430082)

Abstract With prototype of tundish for concasting slab 1 500 mm × 250 mm and using geometric similar ratio 1/3, the water modeling test of tundish bottom gas blowing has been carried out by self-made porous plug. Results showed that in tundish with gas curtain the inclusion removed by mechanisms of Stokes floating, absorption on bubble and action of liquid flowing up; as gas blowing rate ≥ 0.08 m³/h the available gas curtain formed at the distance 533 ~ 800 mm from inlet center to obviously improve liquid flow characteristic, the inclusion removal ratio increased to 72.86% from original 44.86% without gas curtain and the removal of small size inclusion markedly improved. Commercial pilot production showed that with using gas curtain the T[O] decreased by more than 12%.

Material Index Tundish, Gas Curtain, Removal of Inclusion, Water Modeling Test

中间包气幕挡墙技术能有效改善钢液流动特性并有利于夹杂物的去除, 提高钢液纯净度^[1]。本试验采用与实际透气砖组成与结构相同的多孔透气砖, 避免了以往的研究中简化的影响^[2,3]。考虑到壁面吸附和碰撞长大对夹杂物去除率的贡献非常小^[4], 采用一定粒径分布的氧化铝空心球模拟非金属夹杂物, 通过水力学模拟实验研究了气幕挡墙对中间包内夹杂物去除的影响。

1 水模型实验

1.1 实验原理

水模型考虑弗罗德准数 $Fr^{[5]}$ 相等, 以武钢炼钢总厂三分厂二流板坯中间包为实际原型, 铸坯尺寸为 1 500 mm × 250 mm, 拉坯速度为 1.2 m/min。根据几何相似, 采用有机玻璃制成模型, 几何相似比为 $\lambda = 1/3$, 根据相似原理可以得到水模型与实际中间包的几何尺寸、速度、注入流量 (Q_{H_2O}) 和吹气量之间的关系; 对于吹气装置, 根据生产实际用的透气砖,

按照几何相似比在实验室自行制备多孔透气砖, 具体参见文献[4]。实验装置如图 1 所示。

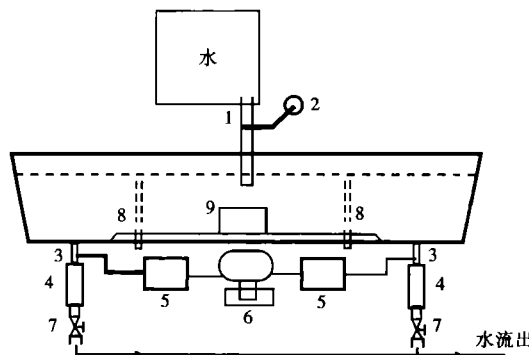


图 1 水模型流程示意图: 1- 长水口, 2- 漏斗, 3- 电极, 4- 流量计, 5- 电导率仪, 6- 计算机, 7- 阀门, 8- 透气砖, 9- 湍流控制器
Fig. 1 Sketch of water modeling process: 1- long nozzle, 2- draw cone, 3- electrode, 4- flow rate meter, 5- conductivity measuring device, 6- computer, 7- valve, 8- porous plug, 9- turbulent controller

模型与原型中夹杂物的尺寸、密度及溶液密度之间存在如下定量关系^[6]:

$$\frac{R_{inc,m}}{R_{inc,p}} = \lambda^{0.25} \left(\frac{1 - \frac{\rho_{inc,p}}{\rho_{st}}}{1 - \frac{\rho_{inc,m}}{\rho_u}} \right)^{0.5} \quad (1)$$

式中： R -半径/m； ρ -密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)； m, p -代表模型和原型； inc, st, w -代表夹杂物、钢液和水。由式(1)可知，模型与原型的夹杂物密度不必严格满足相似第二定律要求，即模拟夹杂物与水的密度之比等于夹杂物与钢液的密度之比，也可以近似模拟实际钢液中夹杂物的运动行为。

1.2 实验方法

流体从钢包经长水口流入中间包内，待流动达到稳定状态后，一定量的氧化铝空心球通过特定的方法均匀分散在中间包内。随着流体的流动，每隔一定时间收集上浮至表面的氧化铝空心球和水的混合物，通过烘干、筛分、称重由式(2)计算得到该条件下的各粒径范围夹杂物去除率以及总去除率。

$$\eta_{\Delta t} = M_{\Delta t} / M_0 \quad (2)$$

式中： Δt -时间间隔； M_0 -初始加入的氧化铝空心球的质量/g； $M_{\Delta t}$ - Δt 时间间隔内去除的氧化铝空心球的质量/g。

实验中利用高速数码摄像系统，中间包模型和原型中的物相密度及吹气参数见表1。

表1 中间包模型和原型中的物相密度及吹气参数对比，273 K, 1.013×10^5 Pa

Table 1 Comparison of densities of phases and gas blowing rate between tundish model and prototype at 273 K and 1.013×10^5 Pa

中间包	密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)			气量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)			
	液体	夹杂物	气体				
模型	996.36	980	1.225 0	0.05	0.08	0.10	0.12
原型	7 000	3 500	1.622 8	1.78	2.85	3.57	4.28

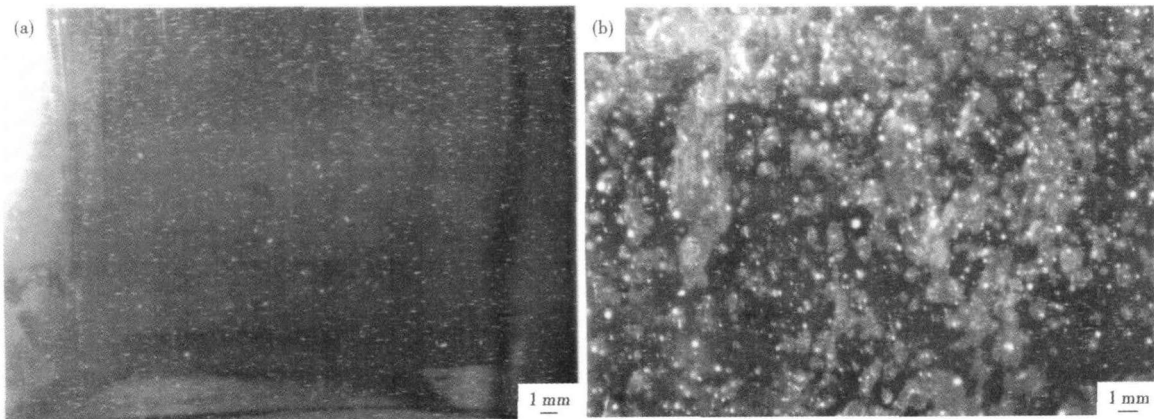


图2 夹杂物运动行为：(a)浇铸区域；(b)气幕区域

Fig.2 Motion behavior of inclusions in pouring zone (a) and gas curtain zone (b)

将 $\lambda = 1/3$ 及表1中有关数据代入式(1)，可以得到模型与原型夹杂物直径的比为4.2。实验中采用 ≤ 1 mm的氧化铝空心球粒径分布如表2所示。

表2 中间包原型及模型初始粒径分布

Table 2 Initial inclusion size distribution of tundish model and prototype

原型夹杂物/ μm	氧化铝空心球/目	粒径分布/%
10 ~ 20	325 ~ 180	5.5
20 ~ 30	180 ~ 120	6.8
30 ~ 40	120 ~ 100	7.2
40 ~ 50	100 ~ 70	7.8
50 ~ 100	70 ~ 40	50.3
> 100	> 40	22.4

2 实验结果与分析

2.1 夹杂物去除机制

由图2(a)可以看到，远离气幕的相对平静的浇注区域内的氧化铝空心球主要靠斯托克斯上浮到液面而去除。由图2(b)明显可见，在气幕区域很多小颗粒的氧化铝空心球被气泡捕获而随气泡上浮。当氧化铝空心球与气泡碰撞后，在气泡表面滑动，当气泡的滑动时间大于气泡与夹杂物之间液膜破裂时间时，它就被气泡捕获，一般小颗粒不会脱附。说明钢液中的夹杂物如 Al_2O_3 、 SiO_2 ，不被钢液浸润，可以通过气泡捕获而随气泡上浮至钢液-渣交界面去除。周围没有被捕获的颗粒明显也受到气泡幕带动钢液上扬流动的强化作用而迅速上浮到液面。

2.2 气幕挡墙安装位置及吹气量的影响

当吹气量小时，由于不能形成有效气幕^[4]，夹杂物去除率只比不吹气增加14.78%。当吹气量增加到 $0.08 \text{ m}^3/\text{h}$ 时，由于在中间包内形成了有效的气幕挡墙，钢液流动特性显著改善，夹杂物去除率显著增加到72.86%，比不吹气时增加了28%。但当吹气量继

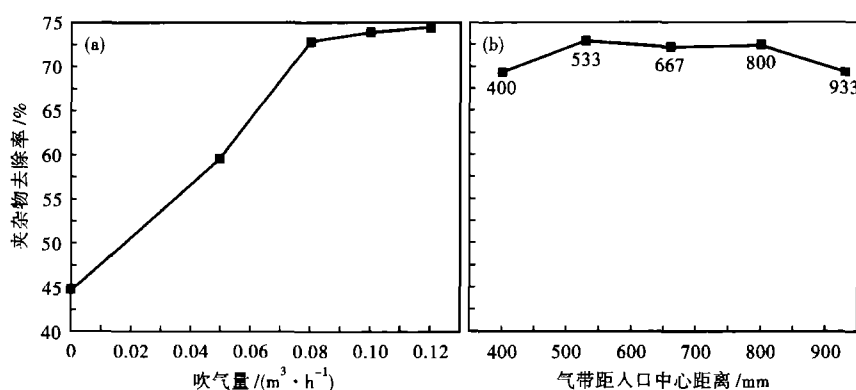


图3 气幕挡墙吹气量(a)和安装位置(b)对中间包夹杂物去除率的影响

Fig. 3 Effect of gas blowing rate (a) and gas curtain installed position (b) on removal rate of inclusion in tundish

续增加时,夹杂物去除率增加缓慢(图3a)。

当气幕挡墙位于距离入口中心533~800 mm时,中间包内夹杂物的去除率明显高于气幕挡墙位于距离入口中心400 mm和933 mm处时的去除率(图3b)。与不采用气幕挡墙相比,夹杂物总去除率都增加了28%左右。

2.3 气幕挡墙对不同粒径夹杂物去除影响

如图4气幕挡墙安装位置为距离入口中心533 mm处,气量为0.08 m³/h。由图4可知,中间包采用气幕挡墙技术后,所有尺寸夹杂物颗粒以及总去除率均增加,且随着夹杂物颗粒尺寸减小,采用气幕挡墙技术对其去除率影响逐渐增加。对于大颗粒夹杂物(≥40目),吹气对其去除率影响很小,对于40目以下的夹杂物颗粒的去除率影响比较显著,特别是<70目的夹杂物颗粒,去除率增加数倍。

2.4 气幕挡墙工业试验

根据以上分析结果,采用工业试生产的弥散型气幕挡墙砖,在武钢炼钢总厂三分厂进行了中间包

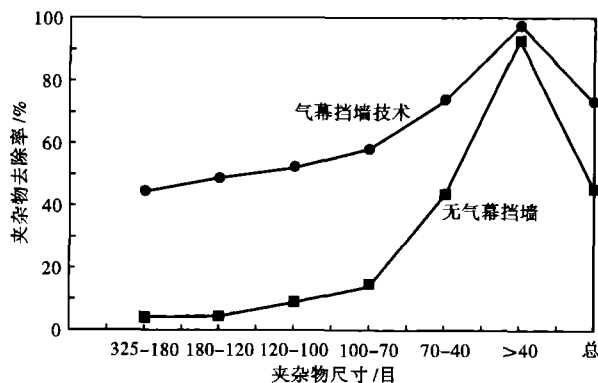


图4 气幕挡墙对中间包中不同粒径夹杂物去除率的影响

Fig. 4 Effect of gas curtain on removal rate of different size inclusions in tundish

气幕挡墙的工业试验。钢种主要为BDG、WST12以及Q195Al,通过对比4030吹气侧和3030未吹气侧铸坯的定氧检测分析,获得气幕挡墙实际应用效果:吹气侧T[O]平均降低12%以上。使用气幕挡墙技术能使武钢炼钢总厂三分厂产品质量得到提高,后工序质量改判降低,售后质量异议减少。

3 结论

(1) 气幕挡墙中间包中的

夹杂物主要通过斯托克斯上浮、气泡吸附以及钢液上扬流动的强化作用而上浮到渣液面去除,小颗粒夹杂物主要是通过气泡吸附而去除。

(2) 水模型实验表明,气幕挡墙位于距离入口中心533~800 mm、吹气量≥0.08 m³/h可形成有效的气幕挡墙,钢液流动特性显著改善,夹杂物去除率增加到72.86%,比不吹气时增加了28%。

(3) 中间包气幕挡墙技术对于大颗粒夹杂物(≥40目),吹气对其去除率影响很小,对于40目以下的夹杂物颗粒的去除率影响比较显著,特别是<70目的夹杂物颗粒,去除率增加数倍。

国家科技攻关计划资助项目(2005BA325C)

参考文献

- 张美杰,汪厚植,顾华志,等. 中间包吹氩术研究进展. 炼钢, 2005, 21(6): 53
- 詹树华,欧俭平,萧泽强. 底吹气连铸中间包内气液两相流的数值模拟. 过程工程学报, 2005, 5(3): 233
- Ramos-banderas A, Morales R D. Mathematical Simulation and Modeling of Steel Flow with Gas Bubbling in Trough Type Tundish. ISIJ International, 2003, 43(5): 653
- 张美杰. 中间包气幕挡墙的结构优化及其夹杂物去除的数学物理模拟研究: [博士学位论文]. 武汉: 武汉科技大学, 2006
- 王建军,包燕平,曲英. 中间包冶金学. 北京: 冶金工业出版社, 2001
- Yogeshwar SAHAI, Toshihiko EMI. Criteria for Water Modeling of Melt Flow and Inclusion Removal in Continuous Casting Tundishes. ISIJ International, 1996, 36(9): 1166

黄 奥(1982-),男,博士生,2004年武汉科技大学毕业,冶炼新材料用耐火材料、冶炼过程数学物理模拟。

收稿日期:2008-07-10