

## 钢包底吹氩位置对钢水去夹杂影响的水模型研究

陈向阳<sup>1,2</sup> 郑淑国<sup>1</sup> 董杰<sup>2</sup> 朱苗勇<sup>1</sup>

(1 东北大学材料与冶金学院,沈阳 110004; 2 莱芜钢铁集团公司,莱芜 271104)

**摘要** 基于相似理论,利用1:9水模型研究了钢包吹氩钢水中夹杂物的物理行为,试验了不同底吹位置下吹气时间2~28 min,吹气量 $(1.19 \sim 4.75) \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{h}$ 对夹杂物去除行为的影响。结果表明,较小吹气量在8 min内可将绝大部分的模拟夹杂物去除,而较大吹气量时,中心和偏心喷吹方式分别需要20 min和16 min;不管中心还是偏心喷吹方式,去夹杂效果均随吹气量的增加先增大后减小,且存在一个最佳去夹杂吹气量;较小吹气量范围内,偏心喷吹方式的去夹杂效果要优于中心喷吹方式,而较大吹气量范围内则相反。

**关键词** 吹氩钢包 喷吹位置 夹杂物去除 水模型试验

## A Study of Water Model for Effect of Ladle Bottom Argon Blowing Position on Inclusion Removal from Liquid Steel

Chen Xiangyang<sup>1,2</sup>, Zheng Shuguo<sup>1</sup>, Dong Jie<sup>2</sup> and Zhu Miaoyong<sup>1</sup>

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

2 Laiwu Iron and Steel Group Co., Laiwu 271104)

**Abstract** Based on analogy theory, the physical behavior of inclusion in liquid steel of ladle with argon stirring has been studied by using 1:9 water model and the effect of gas injecting time 2~28 min and gas flow-rate  $(1.19 \sim 4.75) \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{h}$  with different bottom blowing position on inclusion removal was tested. Results showed that most of inclusions could be removed in 8 min with smaller gas flow-rate, but with larger gas flow-rate that was in 20 min and 16 min respectively by using central blowing mode and eccentric blowing mode; by using either central or eccentric blowing mode, with increasing gas flow-rate, the inclusion removal rate increased at beginning, then decreased, and there was an optimum gas flow-rate for removal inclusions; with smaller gas flow-rate, the inclusion removal effect with eccentric blowing mode was better than that with center blowing mode, while with larger gas flow-rate the effect was opposite.

**Material Index** Ladle Argon Stirring, Gas Blowing Position, Inclusion Removal, Water Model Test

钢包吹氩是一种简单而有效的二次精炼处理技术,该精炼过程不仅能均匀钢液的温度和成分,而且也是十分有效的去夹杂措施。目前,研究者对此精炼过程的搅拌混合行为研究较多<sup>[1~3]</sup>,而对该过程的夹杂物行为研究不多,且以数学描述为主<sup>[4~6]</sup>,水模型的研究工作较少<sup>[7~9]</sup>。钢包偏心喷吹的混匀效果要优于中心喷吹<sup>[3]</sup>,但二者去夹杂效果的比较则还未见报道。近年来,一种可以模拟夹杂物碰撞长的物理模拟方法逐渐得到应用<sup>[8,9]</sup>,本文采用该物理模拟方法,针对某一吹氩钢包考察了中心喷吹和偏心喷吹方式下不同的操作参数(时间、吹气量)对夹杂物去除行为的影响规律,并对二者的去夹杂行为进行了比较。

### 1 实验原理及方法

采用空气近似模拟氩气,建立了1:9的物理模型。选用整体Fr准数为相似准数<sup>[10]</sup>,则可以计算出对应于原型底吹气体流量的模型气体流量。模型和原型的主要参数见表1。

表1 原型和模型的主要参数

Table 1 Main parameter of model and prototype

项目	钢包直径/mm		熔池深度/ mm	气体流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )
	上口	下口		
原型	4 100	3 775	4 225	5 ~ 20
模型	456	419	469	$(1.19 \sim 4.75) \times 10^{-2}$

采用食盐水模拟钢液,用空气模拟氩气。本实验采用乳状液滴模拟夹杂物,有关夹杂物的选择依据及模型与原型夹杂物尺寸的具体定量关系,本文的合作者在别处已作过详细阐述<sup>[8,9]</sup>,这里不再重复论述。实验采用的乳状液滴的初始当量直径为379  $\mu\text{m}$ ,该乳状液滴可以模拟初始当量直径为112.5  $\mu\text{m}$ 的 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 夹杂物或95.9  $\mu\text{m}$ 的 $\text{SiO}_2$ 夹杂物<sup>[8,9]</sup>。

实验装置如图1所示。空气从钢包底部(底部中心或距其0.5 R处)吹入,流量为 $(1.19 \sim 4.75) \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{h}$ 。一定量的乳状液通过特定的方法均匀分散在钢包中,然后开始吹气,同时从钢包底缓缓注入与钢包内密度相同的食盐水,这样随着溢出的溶液,

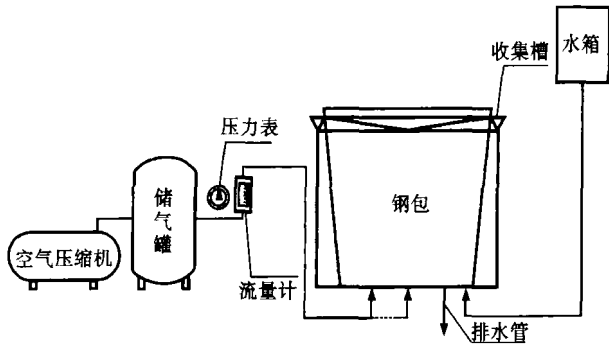


图 1 实验装置示意图  
Fig. 1 Schematic diagram of test device

钢包内上浮至表面的乳状液也随之流出,每隔一定时间收集溢出的乳状液和食盐水的混合物,通过一定的方法得到纯乳状液,则某一时刻夹杂物的去除率为:

$$\eta_k = \frac{\sum_{i=1}^k V_{t_i}}{V_0} \quad (1)$$

式中: $\eta_k$ -前  $k$  次时间段内去除率之和; $V_0$ -初始加入的乳状液的体积/ $m^3$ ; $V_{t_i}$ -第  $i$  个时间间隔内去除

的乳状液的体积/ $m^3$ ; $t_i$ -第  $i$  个时间间隔。

在中心喷吹和偏心喷吹方式下,通过对不同操作参数(吹气时间、吹气量)条件下夹杂物去除率的定量分析来研究其对夹杂物去除行为的影响。

## 2 结果分析与讨论

### 2.1 吹气时间对夹杂物去除行为的影响

图 2 为不同吹气量条件下夹杂物去除率随时间的变化曲线。由图 2 可见,中心喷吹和偏心喷吹方式存在一个相同的去夹杂规律,即:对于除  $4.75 \times 10^{-2} m^3/h$  以外的其它气量,夹杂物的去除行为均主要发生在前 8 min 内。而  $4.75 \times 10^{-2} m^3/h$  的气量,中心喷吹方式下夹杂物的去除行为主要发生在前 20 min,而偏心喷吹方式下夹杂物的去除行为主要发生在前 16 min。对于所有的气量,无论中心喷吹还是偏心喷吹方式,当吹气至第 7 个 4 min 时,该段吹气区间内,夹杂物的去除率均小于 3.5%,这意味着从去除夹杂物方面考虑,吹气 28 min 后能够去除的夹杂物几乎已全部去除,若吹气处理更长时间,则意义不大。

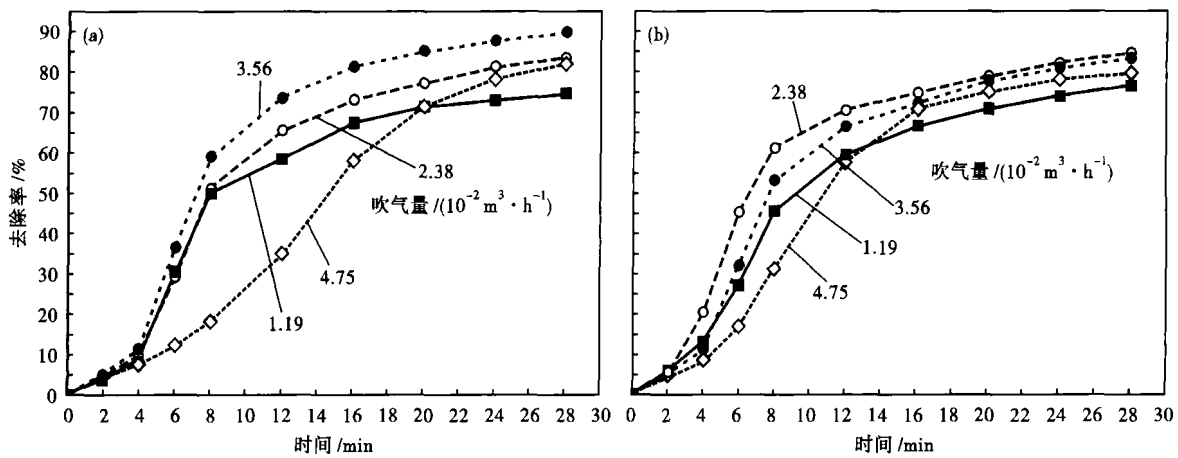


图 2 钢包吹气量和吹气时间对钢水中夹杂物去除率的影响:(a)中心喷吹;(b)偏心喷吹

Fig. 2 Effect of gas flow-rate and blowing time on removal rate of inclusion in ladle liquid steel: (a) central blowing mode; (b) eccentric blowing mode

### 2.2 不同吹气量对夹杂物去除行为的影响

由图 2 还可见,无论是中心喷吹还是偏心喷吹方式,不同的吹气量下存在一个共同的去夹杂规律。具体来说,在较短的处理时间内,大气量( $4.75 \times 10^{-2} m^3/h$ )的去夹杂效果较差;而在较长的处理时间内,小气量( $1.19 \times 10^{-2} m^3/h$ )的去夹杂效果较差。此外,中心喷吹方式下, $3.56 \times 10^{-2} m^3/h$ 的气量去夹杂效果明显优于其它气量;而偏心喷吹方式下, $2.38 \times 10^{-2} m^3/h$ 和  $3.56 \times 10^{-2} m^3/h$ 的气量去夹杂效果相差不多。

为了能更好地了解中心喷吹和偏心喷吹方式下不同吹气量对夹杂物去除的影响,图 3 给出了夹杂物的最终去除率随吹气量的变化曲线。由图 3 可见,中心喷吹和偏心喷吹方式下吹气量对夹杂物去除的影响规律类似,即:当气量较小时,去夹杂效果较差,随着气量的增加夹杂物的去除率先增后降,存在一个最佳的去夹杂气量,所不同的是,中心喷吹方式下的最佳气量为  $3.56 \times 10^{-2} m^3/h$ ,而偏心喷吹方式下的最佳气量为  $2.38 \times 10^{-2} m^3/h$ 。此外,从图 3 中还可见,较小气量范围内,偏心喷吹方式的去夹杂

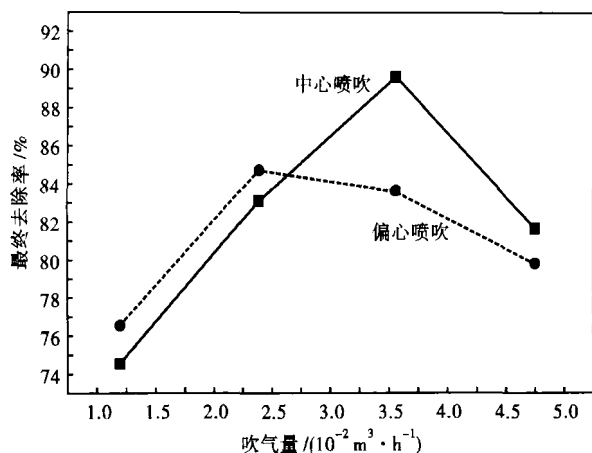


图3 吹气量和吹气位置对钢水中夹杂物的最终去除率的影响

Fig.3 Effect of gas flow-rate and blowing position on final removal rate of inclusions in liquid steel

效果要优于中心喷吹方式,而较大气量范围内则相反。总体来看,中心喷吹方式下的最优气量去夹杂效果要优于偏心喷吹方式下的最优气量。

### 3 结论

(1) 不管中心喷吹还是偏心喷吹方式,较小底

吹气量时,夹杂物的去除行为主要发生在前8 min;而较大底吹气量时,中心喷吹和偏心喷吹方式下,夹杂物的去除行为分别主要发生在前20 min和前16 min。无论较小还是较大气量,吹气28 min可将能够去除的夹杂物几乎全部去除。

(2) 不管中心喷吹还是偏心喷吹方式,较短的处理时间内,大气量的去夹杂效果较差;而较长的处理时间内,小气量的去夹杂效果较差。

(3) 不管中心喷吹还是偏心喷吹方式,去夹杂效果均随气量的增加先增大后减小,并存在一个最佳去夹杂气量;不同的是,前一种吹气方式下,  $3.56 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{h}$  的气量有最佳的去夹杂效果;而后一种吹气方式下,  $2.38 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{h}$  的气量为最优的去夹杂气量。

(4) 较小气量范围内,偏心喷吹方式的去夹杂效果要优于中心喷吹方式,而较大气量范围内则相反。

教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-04-0285)

### 参考文献

- Mazumdar D, Guthrie R I L. The Physical and Mathematical Modelling of Gas Stirred Ladle Systems. ISIJ, 1995, 35(1):1
- Mazumdar D, Evans J W. Macroscopic Models for Gas Stirred Ladles. ISIJ, 2004, 44(3):447
- 朱苗勇, 沢田郁夫, 肖泽强. 吹氩精炼钢包内三维流动和混合现象的研究. 金属学报, 1995, 31(8):B346
- Söder M, Jönsson P, Jonsson L. Inclusion Growth and Removal in Gas-stirred Ladles. Steel Research, 2004, 75(2):128
- Wang Li-tao, Zhang Qiao-ying, Peng Shi-heng, et al. Mathematical Model for Growth and Removal of Inclusion in a Multi-tuyere Ladle during Gas-stirring. ISIJ, 2005, 45(3):331
- Sheng D Y, Söder M, Jönsson P, et al. Modeling Micro-inclusion Growth and Separation in Gas-stirred Ladles. Scand J Metall, 2002, 31(2):134
- 刘永兵, 王世俊, 周云, 等. CAS法钢包内夹杂物上浮规律的实验研究. 包头钢铁学院学报, 2001, 20(3):272
- 郑淑国, 朱苗勇. 吹氩钢液精炼过程气泡去夹杂机理研究. 钢铁, 2008, 43(6):25
- 郑淑国, 朱苗勇. 钢包内喷嘴与透气砖吹氩去夹杂水模型研究. 金属学报, 2006, 42(11):1143
- 朱苗勇, 肖泽强. 钢的精炼过程数学物理模拟. 北京:冶金工业出版社, 1998

陈向阳(1966-),男,东北大学博士研究生,高级工程师,钢铁冶金工艺技术研究。

收稿日期:2008-11-14

### · 特钢简讯 ·

## 《特殊钢》连续第5次入选为全国中文核心期刊

据北京大学出版2008年版(第5版)《中文核心期刊要目总览》上公布的信息表明,《特殊钢》杂志继1992年、1996年、2000年、2004年4次入选为TF冶金工业类核心期刊后,于2008年连续第5次入选为该核心期刊,在TF冶金工业类核心期刊表中名列第11位。

《中文核心期刊要目总览》(2008年版)从2007年初开始研究,北京大学图书馆等26个单位的102位专家和工作人员参加了研究,全国各地5529位学科专家参加了核心期刊的评审工作。2008年版中,TF冶金工业类专业期刊一览表收入期刊为140种,该类核心期刊共23种。

《特殊钢》同时收入TG金属学与金属工业类专业期刊一览表中,收入该一览表的期刊有113种。

(本刊编辑部)