

插入浸渍圆筒底吹氩钢包内钢液搅拌行为的水模型研究

张德慧 沈明钢 祁庆花
(辽宁科技大学材料与冶金学院,鞍山 114051)

摘要 以150 t钢包为原型,采用几何相似比1:7的水模型,研究插入钢包的浸渍圆筒直径(50~130 mm)、插入深度(30~150 mm)和底吹气体流量(0.03~0.48 m³/h)对钢液混匀时间和液面振幅的影响。结果表明,随浸渍圆筒直径和插入深度的增加,液面振幅减小;随底吹气量增加,液面振幅增大;不插入浸渍圆筒时不发生卷渣的临界底吹气量为0.09 m³/h,混匀时间为10 s;插入直径130 mm、深度90 mm的浸渍圆筒时,不发生卷渣的临界底吹气量为0.30 m³/h,最短混匀时间为4 s。实验数据回归分析得出150 t钢包内钢液均混时间- t' 与底吹气量- Q' 、浸渍圆筒直径- d' 和插入深度- h' 的关系为 $t' = 2.69 + 0.0179 d' + 0.0112 h' - 0.425 Q'$ 。

关键词 150 t钢包 底吹搅拌 浸渍圆筒 液面振幅 混匀时间

A Study of Water Modelling on Stirring Behavior of Liquid Steel in Bottom-Blowing Ladle with Immersed Cylinder

Zhang Dehui, Shen Minggang and Qi Qinghua
(School of Materials and Metallurgy, University of Science and Technology Liaoning, Anshan 114051)

Abstract Based on prototype of 150 t ladle, the effect of diameter of immersed cylinder inserting in ladle (50~130 mm), inserting depth (30~150 mm) and bottom blowing gas rate (0.03~0.48 m³/h) on mixing time of liquid and amplitude of liquid level has been studied by using geometry similarity ratio 1:7 water model. Results show that with increasing immersed cylinder diameter and inserting depth, the amplitude of liquid level decreases; with increasing bottom gas blowing rate the amplitude of liquid level raises; in condition without inserting immersed cylinder the critical gas blowing rate for non-occurring slag entrapment is 0.09 m³/h and mixing time is 10 s; in condition of inserting immersed cylinder with diameter 130 mm and inserting depth 90 mm, the critical gas blowing rate for non-occurring slag entrapment is 0.30 m³/h and shortest mixing time is 4 s. It is obtained by test data regression analysis that for 150 t ladle the relation between liquid mixing time t' with bottom gas blowing rate Q' , immersed cylinder diameter d' and inserting depth is $t' = 2.69 + 0.0179 d' + 0.0112 h' - 0.425 Q'$.

Material Index 150 t Ladle, Bottom Gas Blowing Stirring, Immersed Cylinder, Amplitude of Liquid Level, Mixing Time

良好的钢包吹氩搅拌不仅能很好地均匀钢水的成分、温度及改善脱硫脱氧反应,更能有效地去除钢中的非金属夹杂和有害气体,从而提高了钢液质量及精炼效果。目前国内外很多学者在这方面做了许多研究工作^[1-3]。目前提高底吹氩搅拌的效果通常采用加大气量的办法,但是气量过大会引起钢液飞溅、卷渣以及钢液裸露造成的二次氧化等问题,影响底吹气量的提高。通过钢包中插入浸渍圆筒以提高底吹气量来加强搅拌效率,进行钢包底吹氩的水力学模型实验,研究了钢包内插入的浸渍圆筒对提高底吹气量和钢液的搅拌行为的影响。

1 实验原理与方法

对于150 t钢包,实验采用几何相似比为1:7,用水模拟钢液,用压缩空气模拟氩气。保证动力学

相似,就要保证原型与模型的修正的弗鲁德准数相等,由此可以得到原型与模型底吹气量的关系^[4,5]。模型和原型的主要参数见表1。

目前,混匀时间的测定采用“刺激-响应”的技术。将电极导头置于钢包底部滞留区和钢包上沿滞留区,在钢液流股活跃处加入一定量的饱和食盐水,通过电导率的波动不超过稳定值的5%来确定混匀

表1 原型钢包与水模型的主要参数

Table 1 Main parameters of prototype ladle and water model

项目	钢包直径/mm		熔池深度/mm	气体密度/(kg·m ⁻³)	液体密度/(kg·m ⁻³)	气体流量/(m ³ ·h ⁻¹)
	上口	下口				
原型	3 154	2 781	3 130	1.78	7 000	4~66
模型	450	397	447	1.29	1 000	0.03~0.48

时间,并用电脑记录的变化曲线来计算混匀时间。同时观察液面的波动,容器侧壁液面水平高度的最大值与最小值之差的一半确定为液面的振幅,实验采用的是偏心底吹钢包模型,因此气柱离钢包壁近的一端的液面波动最强,所以实验采用的振幅为气柱离包壁较近一端的液面振幅,并采用高速相机记录钢液面振幅。

实验装置如图 1 所示。是在钢包中插入浸渍圆筒并保持其与底吹孔同轴,采用的浸渍圆筒和插入深度如表 2 所示。钢包底部距离包底中心 $1/2 R$ (R 为钢包底部半径) 处安装一透气元件,气体从底部偏心单孔吹入。实验中将现场钢包内钢液不产生卷渣时最大底吹流量(210 L/min)所对应的模型最大气量($0.09 \text{ m}^3/\text{h}$)产生的液面的振幅(120 mm)作为实验不卷渣的临界振幅。在钢液不卷渣的情况下,测定不同浸渍圆筒参数下的钢液的液面振幅及混匀时间。通过混匀时间和液面振幅的定量分析研究浸渍圆筒对钢包底吹搅拌行为的影响。

2 实验结果与分析

2.1 钢包内插入浸渍圆筒对液面振幅的影响

由图 2 可以看出,浸渍圆筒直径($d/130 \text{ mm}$)不变的情况下,随着圆筒插入深度的增加,熔池液面振幅减小;如图 3 所示,同一插入深度时,液面振幅随浸渍圆筒直径的增加而减小;插入直径为 50、80、100 mm 浸渍圆筒时,液面振幅具有与图 2 类似的变化趋势。插入浸渍圆筒能抑制熔池液面波动,增大

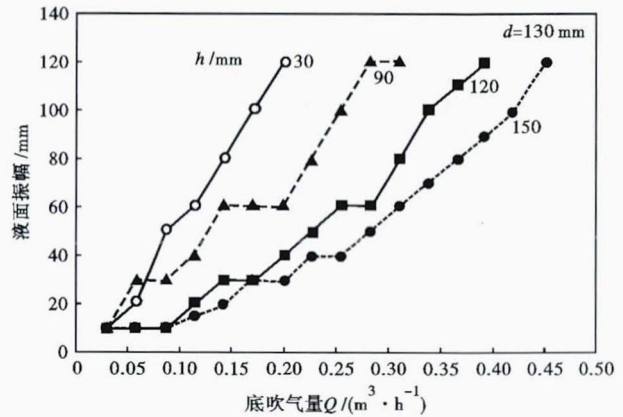


图 2 直径 130 mm 浸渍圆筒插入深度(h)和底吹气量 Q 对液面振幅的影响

Fig. 2 Effect of bottom gas blowing rate Q and inserting depth (h) of immersed cylinder with diameter 130 mm on amplitude of liquid level

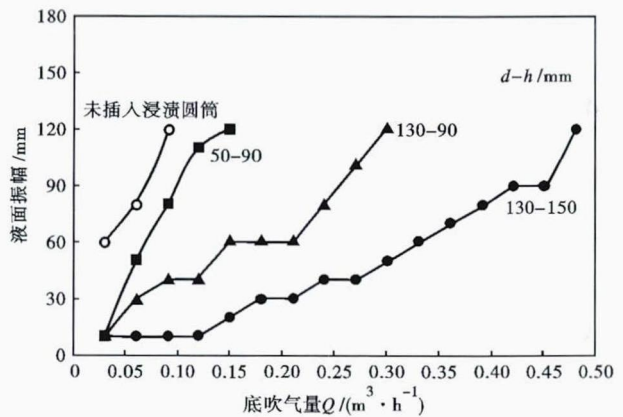


图 3 浸渍圆筒直径(d)与插入深度(h)和底吹气量 Q 对液面振幅的影响

Fig. 3 Effect of bottom gas blowing rate Q and immersed cylinder diameter (d) and inserting depth (h) on amplitude of liquid level

底吹气量范围,改善熔池搅拌效果。实验条件下,浸渍圆筒直径和插入深度分别为 130、150 mm 时,液面振幅达到临界振幅时的气体流量由无浸渍圆筒时的 $0.09 \text{ m}^3/\text{h}$ 增加到 $0.48 \text{ m}^3/\text{h}$,对抑制熔池液面波动提高底吹气量效果更好。

由图 3 可以看出,液面振幅随着底吹气量的增加而增大。钢包底部吹入气体主要通过气体对钢液做功使钢液循环流动,从而会引起钢液面的波动。插入浸渍圆筒后,随着浸渍圆筒直径和插入深度的增加,液面振幅增加幅度随着底吹气量的增加而减慢。这是由于插入浸渍圆筒后,钢包内的流场发生了改变,熔池中的搅拌强烈的区域集中在了浸渍圆筒内,形成循环流,从而减弱了浸渍圆筒外及钢液面水平流动。随浸渍圆筒直径和插入深度的增加这种

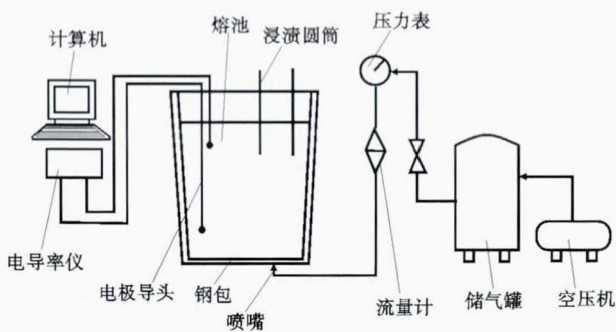


图 1 水模型实验装置简图

Fig. 1 Schematics of water model test device

表 2 浸渍圆筒的试验参数

Table 2 Test parameters of immersed cylinder

直径/mm	插入深度/mm
50	30
80	60
100	90
130	120
-	150

抑制作用越明显,能有效抑制钢液面的波动。

2.2 浸渍圆筒对混匀效果的影响

从实验得出,钢包在未插入浸渍圆筒时,底吹气量 $0.09 \text{ m}^3/\text{h}$ 的液面振幅为 120 mm 时,混匀时间为 10 s 。

图 4(a) 中可以看出,浸渍圆筒直径越大,液面临界振幅下的底吹气量越大;同一圆筒直径下,浸渍圆筒插入深度越深,液面临界振幅下的底吹气量越大。底吹气量在不同插入浸渍圆筒时临界振幅下为 $0.09 \text{ m}^3/\text{h}$,插入浸渍圆筒时底吹气体流量能增大到 $0.48 \text{ m}^3/\text{h}$,混匀时间也相应地缩短。可见,插入浸渍圆筒能增大底吹气量范围,缩短混匀时间。

图 4(b) 可见,浸渍圆筒直径为 130 mm 、插入深度 90 mm 时混匀时间 4 s 为最短,此时临界底吹气量为 $0.30 \text{ m}^3/\text{h}$;而插入深度 150 mm 时,临界底吹气量虽然增大到 $0.48 \text{ m}^3/\text{h}$,但由于插入深度深气体搅拌功作用于浸渍圆筒内钢液搅拌的比例多,影响混匀时间。混匀时间除与底吹气量有关外,还与浸渍圆筒直径、插入深度有关,即气体搅拌功作用于浸渍圆筒内外钢液搅拌比例和浸渍圆筒内体积等有关。

2.3 各因素与混匀时间的关系

根据公式(1),分别计算均混时间与浸渍圆筒插入深度、直径及底吹气量的皮尔逊相关系数:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)s_x s_y} \quad (1)$$

式中: \bar{x} 、 \bar{y} -第一、第二变量样本均值; s_x 、 s_y -第一、第二变量标准差; n -样本量。

计算得出底吹气量、浸渍圆筒直径及插入深度分别与混匀时间的皮尔逊相关系数为 -0.474 、 0.228 及 0.222 ,由此可知各因素对混匀时间的影响程度从高到低依次为底吹气量(Q)、浸渍圆筒直径(d)、浸渍圆筒插入深度(h)。

选择所采集的数据进行回归分析,得到钢液混匀时间(t)与底吹气量(Q)、浸渍圆筒直径(d)和插入深度(h)之间的关系式,即:

$$t = 2.69 + 0.125 d + 0.078 2 h - 58.6 Q$$

将上式换算成原型,可以得到 150 t 钢包内钢液

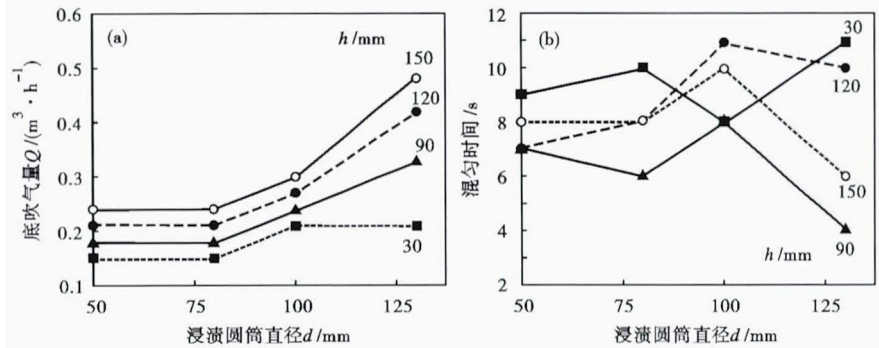


图 4 浸渍圆筒直径 d 和插入深度 h 对液面临界振幅 (120 mm) 的底吹气量 Q (a) 和混匀时间 (b) 的影响

Fig. 4 Effect of diameter d and inserting depth h of immersed cylinder on bottom gas blowing rate Q (a) and mixing time (b) with critical amplitude of liquid level (120 mm)

混匀时间(t')与底吹气量(Q')、浸渍圆筒直径(d')和插入深度(h')之间的关系式,即:

$$t' = 2.69 + 0.017 9 d' + 0.011 2 h' - 0.425 Q'$$

3 结论

(1) 随着底吹气体流量的增大,钢液的混匀时间缩短,钢液面的振幅增大;插入浸渍圆筒可以有效抑制钢液的波动,随着浸渍圆筒直径和插入深度的增加,钢液面波动减小,从而可以加大底吹气量加强熔池搅拌程度来更有效地缩短混匀时间。

(2) 不插入浸渍圆筒时,模型临界底吹气量 $0.09 \text{ m}^3/\text{h}$ 时混匀时间为 10 s ;插入浸渍圆筒时,浸渍圆筒直径为 130 mm 、插入深度 90 mm ,临界底吹气量为 $0.30 \text{ m}^3/\text{h}$ 混匀时间最短为 4 s 。

(3) 150 t 钢包原型内钢液混匀时间(t')与底吹气量(Q')、浸渍圆筒直径(d')和插入深度(h')之间的关系式为: $t' = 2.69 + 0.017 9 d' + 0.011 2 h' - 0.425 Q'$ 。

参考文献

- [1] 于磊,何平.深插入浸渍 CAS 钢包流场混合特性的水模型研究[J].特殊钢,2008,29(1):28-30.
- [2] 金友林,包燕平,岳峰,等.210 t 钢包 CAS 精炼混匀时间的水模型实验研究[J].炼钢,2007,23(6):36-39.
- [3] 韦江林,唐萍,文光华,等.130 t 和 160 t 钢包炉(LF)底吹氩的水模拟研究[J].特殊钢,2010,31(6):1-3.
- [4] 张东方,毕衍涛,陈传华,等.钢包处理过程中的液面现象[J].上海金属,2004,26(5):19-21.
- [5] 李有奇,于华财,寇志奇,等.钢包底吹氩性能优化水模型实验[J].钢铁钒钛,2010,31(1):24-29.

张德慧(1971-),男,博士研究生(辽宁科技大学),1994年鞍山钢铁学院(本科)毕业,炼钢和连铸工艺研究。
E-mail:zhangdehui2000@163.com

收稿日期:2013-07-08