

· 试验研究 ·

130 t 和 160 t 钢包炉 (LF) 底吹氩的水模拟研究

韦江林¹ 唐萍¹ 文光华¹ 祝明妹¹ 高建军² 刘海澜²

(1 重庆大学材料科学与工程学院, 重庆 400045; 2 中国第一重型机械集团公司, 齐齐哈尔 161042)

摘要 根据相似原理采用一重 130 t、160 t 钢包 1:5 和 1:5.5 比例的水模型, 研究了底吹流量对混匀时间、液面扰动、液面亮圈直径和夹杂物上浮时间等钢包内流体流动特性的影响。结果表明, 对 130 t 钢包加热化渣、脱硫-脱氧、合金化及软吹的最佳吹氩流量 (L/min) 分别为 200、600、400、150; 而对 160 t 钢包则分别为 300、500、500、200。

关键词 钢包炉 (LF) 底吹氩 水模拟

A Study on Water Model for 130 t and 160 t Ladle Furnace (LF) with Bottom Argon Blowing

Wei Jianglin¹, Tang Ping¹, Wen Guanghua¹, Zhu Mingmei¹, Gao Jianjun² and Liu Hailan²

(1 College of Material Science and Engineering of Chongqing University, Chongqing 400045;
2 China First Heavy Machine Industries Group Co, Qiqihaer 161042)

Abstract Based on similarity theory, the effect of bottom gas blowing rate on flow characteristics of fluid in ladle including mixing time, liquid level fluctuation, bare area diameter and floating time of inclusions has been studied by using 1:5 and 1:5.5 model for an 130 t and an 160 t ladle at Frist Heavy Machine Industries. Results show that for 130 t ladle the optimum bottom argon blowing rate (L/min) for heating to smelt flux, desulphurization-deoxidation, alloying and soft blowing are respectively 200, 600, 400 and 150, and for 160 t ladle that are respectively 300, 500, 500 and 200.

Material Index Ladle Furnace (LF), Bottom Argon Blowing, Water Simulation

一重生产的产品主要是大型锻件, 经 LF 处理的钢种有 60CrNiMo、ZG230-450、30Cr2Ni4MoV、ZG06Cr13Ni4Mo 等。这些钢种要求较高洁净度, 特别是超纯转子钢 30Cr2Ni4MoV 要求 [S] ≤ 0.002%, T[O] ≤ 30 × 10⁻⁶。经过现场调研得出, LF 精炼存在的主要问题是吹氩制度不合理, 达不到脱硫反应的钢渣界面动力学条件, 以及夹杂物上浮去除条件。

针对一重 130 t、160 t 钢包炉进行物理模拟实验, 从混匀时间、液面扰动、夹杂物上浮时间及熔池液面顶渣被吹开的直径 (亮圈直径) 4 个方面研究了钢包内流体流动特性。提出 130 t、160 t LF 钢包精炼过程合理的吹氩制度。

1 实验方案

1.1 实验原理

实验采用相似原理使用有机玻璃钢包模拟实际钢包、用水模拟钢水、压缩空气模拟氩气、一定相似比的塑料粒子模拟钢包顶渣, 对钢包内流体流动进行模拟。130 t、160 t 钢包的几何相似常数分别为 1:5 和 1:5.5, 原型与模型主要物理参数见表 1。

表 1 130 t 和 160 t 钢包原型和模型主要参数

Table 1 Main parameter of prototype and model for 130 t and 160 t ladle

参数	原型		模型	
	130 t	160 t	130 t	160 t
上口直径/mm	2 900	3 250	584	584
下口直径/mm	2 900	3 250	584	584
钢包高度/mm	3 795	4 850	764	806
气体密度/(kg · m ⁻³)	1.787 3	1.787 3	1.29	1.29
液体密度/(kg · m ⁻³)	7 000	7 000	1 000	1 000

对于钢包吹氩精炼系统, 引起体系流动的动力主要是气泡浮力而不是湍流的粘性力^[1], 因此保证原型与模型的修正弗鲁德准数 (Fr') 相等, 就能基本上保证它们的动力相似^[2]:

$$Fr' = \frac{\rho_g u^2}{(\rho_l - \rho_g) gl} \tag{1}$$

即
$$\frac{u_m^2}{gH_m} \times \frac{\rho_{gm}}{\rho_{lm} - \rho_{gm}} = \frac{u_o^2}{gH_o} \times \frac{\rho_{go}}{\rho_{lo} - \rho_{go}} \tag{2}$$

$$\text{特征速度: } u = \frac{4Q}{\pi d^2} \tag{3}$$

通讯作者: 唐萍, 教授, 重庆大学材料科学与工程学院, 重庆 400045

由式(2)、(3)可得模型气、液参数与实物气、液参数间的关系:

$$Q_m = (m_L)^{-\frac{5}{2}} \times \left(\frac{\rho_{go}}{\rho_{gm}}\right)^{\frac{1}{2}} \times \left(\frac{\rho_{lo} - \rho_{go}}{\rho_{lm} - \rho_{gm}}\right)^{-\frac{1}{2}} Q_o \quad (4)$$

式中: m_L - 模型几何比; d_m, d_0 - 模型与原型的几何参数/mm; u_m, u_0 - 模型与原型的气体流速/($m \cdot s^{-1}$); Q_m, Q_o - 标准状态下, 模型与原型的气体流量/($m^3 \cdot h^{-1}$); ρ_{lm}, ρ_{lo} - 模型与原型的液体密度/($kg \cdot m^{-3}$); ρ_{gm}, ρ_{go} - 模型与原型的气体密度/($kg \cdot m^{-3}$)。

水模拟的实验装置如图 1 所示。底部供气元件布置方式如图 2 所示, 三角形为液面扰动监测点。

1.2 实验方法

钢包最佳的底吹氩强度为 $1 \sim 5 L / (min \cdot t)^{[3]}$, 因此 130 t 和 160 t 钢包吹氩流量分别为 130 ~ 650 L/min 和 160 ~ 800 L/min, 根据关系式(4), 则可得对应实验流量范围, 并由此建立了表 2 所示的实验流量参数。

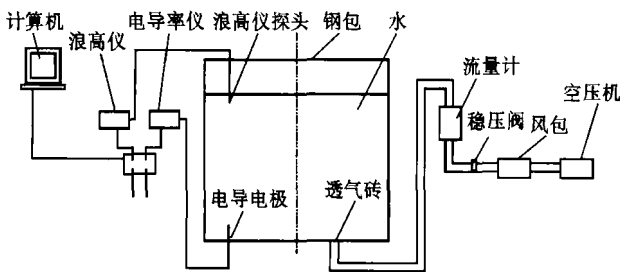


图 1 钢包底吹氩实验装置图

Fig. 1 Experimental device for ladle bottom argon blowing

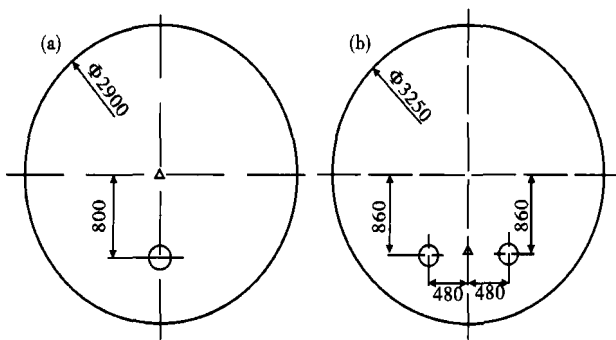


图 2 130 t 钢包(a)和 160 t 钢包(b)底部元件布置方式

Fig. 2 Layout of nozzle at bottom of 130 t ladle (a) and 160 t ladle (b)

实验通过测定混匀时间的方法来确定不同吹炼模式下熔池内搅拌能的大小。使用 DJ800 型多功能监测系统来测试液面扰动的大小。使用根据相似原理计算出相应比重的塑料粒子来模拟夹杂物。同时还测量了各流量下熔池液面顶渣被吹开的直径(亮

表 2 130 t 钢包和 160 t 钢包实际吹氩流量 Q_o 与模拟实验流量 Q_m 的关系

Table 2 Relation between real argon blowing rate Q_o and simulating test blowing rate Q_m for 130 t and 160 t ladle

130 t		160 t	
$Q_o / (L \cdot min^{-1})$	$Q_m / (m^3 \cdot h^{-1})$	$Q_o / (L \cdot min^{-1})$	$Q_m / (m^3 \cdot h^{-1})$
30	0.35	30	0.29
100	0.39	100	0.32
150	0.44	150	0.35
200	0.48	200	0.37
300	0.56	300	0.42
400	0.63	400	0.47
500	0.70	500	0.52
600	0.77	600	0.57
700	0.84	700	0.61
		800	0.66

圈直径), 以此判断防止钢水二次氧化、增氮、增氢的最大底吹气体流量。

2 实验结果与分析

2.1 底吹流量对混匀时间的影响

从图 3(a) 可见, 随着吹气量的增加, 混匀时间逐渐缩短。这是由于底部吹入的气体为搅拌功的来源, 气泡所作的功主要用于推动液体流动, 形成环流, 所以增加供气量可使气泡搅拌能力加强, 环流速度提高, 缩短环流周期, 从而使混匀时间缩短^[4]。

130 t 钢包吹氩量在 400 L/min 时, 混匀时间逐渐平缓; 同样 160 t 钢包吹氩量达到 500 L/min 时, 混匀时间变化也趋于稳定。这是因为当供气量超过某一临界值后, 一部分能量消耗于液面隆起和翻滚, 随气液界面能量交换而损失^[5]。400、500 L/min 为 130 t 和 160 t LF 合金化过程最佳的底吹流量。

2.2 底吹流量对液面扰动的影响

液面扰动的大小实验使用液面的 1/10 大波表示, 130 t 检测点为钢包中心处(图 2a), 160 t 检测点为两透气砖中心线靠近透气砖方向 0.5 R 处(图 2b)。

从图 3(b) 可见, 随着吹氩流量的增加, 熔池搅拌能增加, 液面扰动加剧, 则钢渣界面反应动力学能力增加。但吹氩流量增加到一定程度后, 反映钢渣界面反应动力学的 1/10 大波增加幅度都有所减弱。130 t 钢包吹氩量 600 L/min 为脱硫、脱氧界面反应的最佳流量。而 160 t 钢包由于是两块透气砖共同作用, 钢包界面扰动范围更大, 能力更强, 因此获得经济液面反应速度的吹氩流量为 500 L/min。

2.3 底吹流量对液面亮圈直径的影响

随着吹氩流量的增大, 氩气吹入的喷射角及速度均增大, 氩气隆起液面吹开顶渣形成的亮圈直径

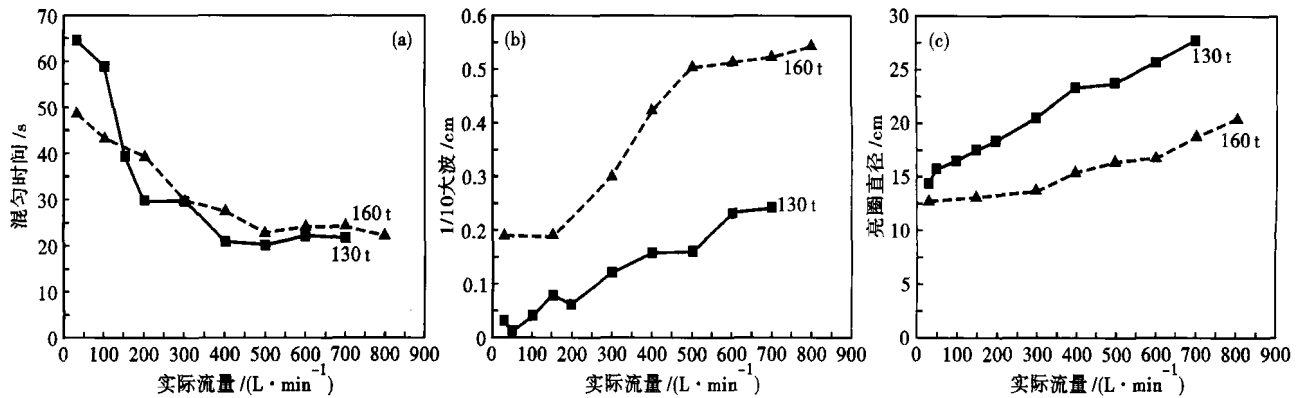


图3 底吹流量对混匀时间(a)、液面扰动(b)和亮圈直径(c)的影响

Fig. 3 Effect of bottom blowing rate on mixing time (a), liquid level fluctuation (b) and bare area diameter (c)

也随之增大(图3c)。液面亮圈直径越大,裸露在空气中的钢液面积也越大,容易与空气发生氧化反应及增氮、增氢。实验表明,130 t 钢包吹氩量小于 200 L/min时,亮圈直径在 20 cm 内,结合液面扰动的测试,在此流量条件下反映液面扰动的1/10大波 < 0.06 cm,并且反映熔池搅拌能的混匀时间小于 30 s。由此将该流量值设为 LF 加热化渣升温过程的吹氩流量。

因为 LF 加热化渣升温过程吹氩流量须满足的条件是:(1)熔池须有足够的搅拌能来传递热量;(2)液面波动不能太大,以防钢水与电极接触产生短路流跳闸;(3)由于电极下空气将被电离,造成增氮、增氢,所以须防止在熔渣形成前,即化渣加热阶段钢水的裸露过大。

160 t 钢包中,流量为 300 L/min时可保证反映熔池搅拌能的混匀时间小于 30 s,亮圈直径小,由此确定此流量为 LF 加热化渣所需流量。

2.4 底吹流量对夹杂物上浮时间的影响

随吹氩流量增加,气体的初始动能增大,因此钢

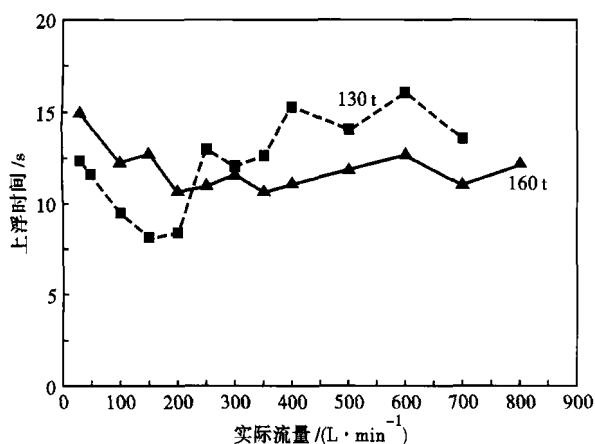


图4 底吹流量对夹杂物上浮时间的影响

Fig. 4 Effect of bottom blowing rate on floating time of inclusions

中捕获了气泡的非金属夹杂物上浮速度增大,上浮时间缩短。但继续增大吹氩流量,夹杂物到达液面时不能被顶渣及时捕获反而会随循环流在钢包中作循环运动,使夹杂物完全上浮进入钢包顶渣的时间延长。另一方面,随着吹氩流量的增大,循环钢液对顶渣的剪切力增大,顶渣容易被卷入钢液循环流中。从图4就可以看到这种现象,夹杂物的上浮时间随着流量的增大先减少后增大。

分别将 150 L/min和 200 L/min设定为冶炼结束后 130 t 和 160 t 钢包软吹去夹杂的底吹流量。

3 结论

(1) 130 t LF 精炼时,加热化渣阶段使用流量为 200 L/min;脱硫、脱氧阶段为保证足够的钢渣界面反应使用 600 L/min大流量;合金化使用 400 L/min流量;软吹去夹杂为 150 L/min。

(2) 160 t LF 精炼时,加热化渣阶段的流量 300 L/min;脱硫、脱氧钢渣界面使用流量 500 L/min;合金化使用流量 500 L/min,软吹阶段为 200 L/min。

“十一五”科技重大专项课题资助(2009ZX04014-061)

参考文献

- 1 朱苗勇,萧泽强.吹氩钢包内气液两相流行为十年研究进展及其分析.化工冶金,1993,14(3):72
- 2 萧泽强.钢包喷吹时气泡泵现象的全浮力模型.东北工学院学报(自然科学版),1981,12(2):67
- 3 张 鉴.炉外精炼实践与理论.北京:冶金工业出版社,1993
- 4 时东生,刘立英.钢包吹氩工艺的优化与完善.炼钢,2001,17(1):31
- 5 成国光,张 鉴,佟福生,等.钢包底吹 Ar 搅拌卷渣机理的水模型研究.钢铁研究,1994,6(2):3

韦江林(1983-),女,硕士研究生,二次精炼研究。

收稿日期:2010-06-07