

150 t 钢包底吹氩卷渣行为的物理模拟

孙丽媛 李京社 唐海燕 黄婷 张物彧
(北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083)

摘要 针对钢厂 150 t 双孔底吹氩钢包,根据相似原理建立几何比例为1:5的水力学模型,得出对应实际氩流量 260~600 L/min时原型钢包及优化后钢包的液面裸露面积及渣钢卷混情况的变化规律和临界卷渣气量。研究表明,原型方案下两透气砖分别位于距钢包中心 0.64 R 和 0.76 R 处,两孔成 90°(0.64 R + 0.76 R, 90°),临界卷渣气量为 550 L/min;对于两个优化方案,双孔分别位于 1/3 R 和 0.64 R,两孔成 180°(1/3 R + 0.64 R, 180°)以及双孔位于 0.5 R 圆周上,两孔成 135°(0.5 R + 0.5 R, 135°),临界卷渣气量分别为 550 L/min 与 600 L/min。

关键词 150 t 钢包 底吹氩 水模拟 卷渣 裸露面积

Physical Simulation on Slag Entrapment of Liquid in 150 t Ladle with Bottom Argon Blowing

Sun Liyuan, Li Jingshe, Tang Haiyan, Huang Ting and Zhang Renyu
(School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083)

Abstract According to 150 t ladle with double holes bottom argon blowing at steel works, based on similarity principle a water model with geometric ratio 1:5 is established to get the liquid surface bared area, change rule of steel-slag entrapment condition and critical slag entrapment blowing gas rate for prototype ladle and optimum ladle with corresponding to real argon blowing rate 260~600 L/min. Research results show that for prototype scheme- two gas permeable bricks distance from ladle center 0.64 R and 0.76 R, two holes angle 90° (0.64 R + 0.76 R, 90°) the critical slag entrapment blowing gas rate is 550 L/min; for two optimum schemes- two holes distance from ladle center 1/3 R and 0.64 R, two holes angle 180° (1/3 R + 0.64 R, 180°) and two holes distance from ladle center 0.5 R with angle 135° (0.5 R + 0.5 R, 135°), the critical slag entrapment blowing gas rate is respectively 550 L/min and 600 L/min.

Material Index 150 t Ladle, Bottom Argon Blowing, Water Simulation, Slag Entrapment, Bared Area

钢包底吹氩工艺中,如果吹气量过大,一方面会引起卷渣造成钢液污染^[1],另一方面会使钢液面裸露造成二次氧化。本文通过物理模拟实验,研究吹气量和吹气位置对钢包液面的渣钢卷混的影响。

1 实验概述

本课题组在实验工作中^[2],以钢厂 150 t 精炼钢包为原型,根据相似原理^[3-5]建立了物理模型。表 1 列出了原型和模型对应的钢包主要物理参数。钢厂 LF 精炼采用双工位处理,电极圈所在圆周半径为钢包底部半径的 1/4。并利用刺激响应实验,研究了原型钢包的混匀效果,并在不影响电极的前提下对吹氩位置进行了优化。原型钢包采用双孔吹氩方式,两透气砖分别位于距钢包中心 0.64 R 和 0.76 R 处,两孔成 90°(0.64 R + 0.76 R, 90°, 方案 0),大量优化实验后获得两个较好吹气位置分别为:双孔位于 0.5 R 圆周上,两孔成 135° 夹角(0.5 R + 0.5 R, 135°, 方案 1)及双孔分别位于 1/3 R 和 0.64 R,两孔成 180° 夹角(1/3 R + 0.64 R, 180°, 方案 2)。为考

表 1 原型与模型钢包主要尺寸

Table 1 Main dimension of prototype and model ladle

项目	原型	模型
底面直径/mm	2 980	596
顶面直径/mm	3 300	660
钢包高度/mm	3 610	722
熔池高度/mm	3 060	612
透气塞顶面直径/mm	105	21

察优化前后的钢包液面的变化情况,本文在之前研究结果的基础上对原型及两优化方案下液面的卷渣情况进行了进一步研究。

对于渣层模拟,分析渣钢界面流动状态,主要受到液体表面张力影响,除了应满足几何相似($\lambda = 1:5$)和动力学中的 Fr 准数外,还要保证动力学中的韦伯准数 We 相等。由此计算获得所需模拟渣的密度为 909 kg/m³,动力粘度为 0.07 Pa·s,因此选用与之最相近的食用油来模拟渣层,研究液面裸露直径及渣钢系统的卷混现象。原型钢包公称容量为 150 t,渣量 2 000~3 000 kg,计算得到模拟油层厚度为 13.7~20.7 mm。

2 实验结果与讨论

2.1 原型钢包的渣模拟实验

针对现场渣厚为 70 mm 的情况,本实验选择模拟油层厚度为 14 mm。原型方案 0 在不同吹气流量的液面裸露情况如图 1 所示。以往实验中发现随着流量的增大,气体流股大部分能量用于液面翻滚,导致在较大气量下再次提高吹气量时裸露面积不再变化,因此本次实验选择的气量大小居中,对应实际流量 260、300、400、550、600 L/min。

由表 2 裸露面直径可以看出,随着流量的增大,裸露面积逐渐增大。从图 1 中可以看出,对于原型钢包,因两吹气位置相距较近,当吹气量增加到 400 L/min 时,两气流股吹开的裸露面开始慢慢聚合成一个面,在两流股产生的翻滚面之间的渣层开始慢慢变厚,瞬时波动较大时极易形成卷渣。

表 2 底吹氩气流量对原型和优化方案 1、方案 2 钢包液面裸露面积的影响

Table 2 Effect of argon blowing rate on bared area of liquid in prototype, optimum scheme 1 and scheme 2 ladle

编号	流量/ (L·min ⁻¹)	液面裸露直径/mm		
		原型	方案	
			1	2
1	260	252	220	220
2	300	270	270	280
3	400	287	290	300
4	550	300	305	305
5	600	332	315	320

注:液面裸露直径是指钢包中心与吹气中心连线直径处于裸露区的长度,此处模拟液面总直径约 640 mm。

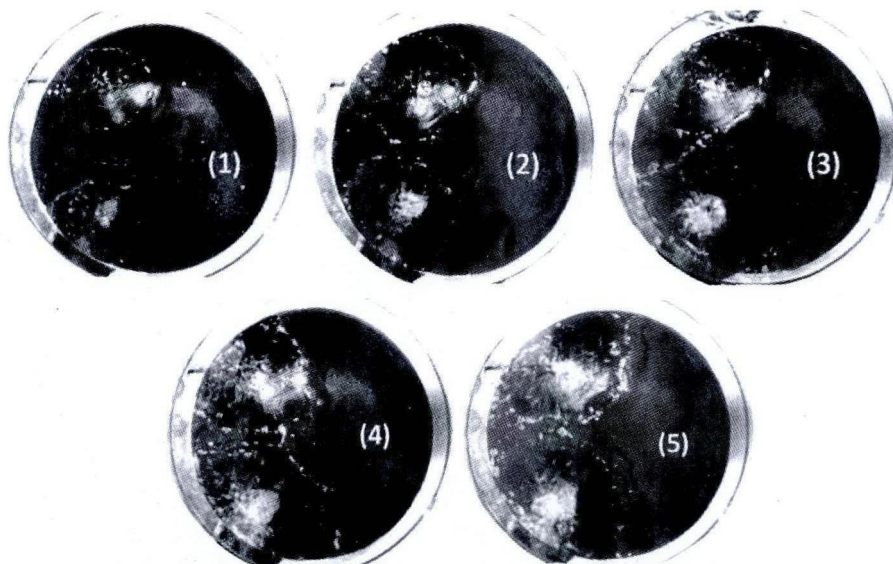


图 1 原型钢包吹气流量对液面裸露面积的影响:(1)~(5)分别对应吹气量为 260、300、400、550、600 L/min

Fig. 1 Effect of gas blowing rate on liquid surface bared area in prototype ladle, (1)~(5) respectively corresponding to argon blowing rate 260, 300, 400, 500 and 600 L/min

在本实验中,当钢包底部吹气量为 260 L/min 时,整体渣面平静,仅在吹气区有轻微波动,渣钢界面分明。当吹气量上升到 400 L/min 时,渣面出现小波纹,在渣钢界面处钢液一侧出现了少数分散的渣滴,下降深度约 10 cm 后,立刻又返回渣层中。当吹气量上升到 550 L/min 左右时,渣面出现较大波动,此时渣层惯性力大于界面力和浮力,在界面处出现钢渣大量卷混现象,可明显观察到有部分渣滴进入钢包下部,不再上浮返回渣层。因此,将吹气量 550 L/min 作为临界卷渣气量。在实际生产中,当渣层厚度一定时,应控制好吹气量的大小,以防卷渣。

2.2 优化方案的渣模拟实验

对于优化方案方案 1 和方案 2,同样观察记录各流量下液面裸露直径,见表 2。

与原型渣模拟实验结果类似,优化方案中随着流量的增大,液面裸露直径逐渐增大。对于方案 1,在 550 L/min 吹气量以下,两吹气流股形成的裸露面基本一样,当吹气量大于 550 L/min 时,靠近包壁的 0.64 R 中心的吹气流股对钢包壁造成冲刷,减弱了搅拌能,其形成的钢液裸露面开始小于 1/3 R 中心流股所形成的裸露面,如图 2(a) 所示,左侧裸露面对应吹气孔 0.64 R,右侧裸露面 1/3 R。对于方案 2,由于吹气双孔位于 1/2 R 处,且成 135° 夹角布置,因此形成的液裸露面基本对称,吹气流量在 400 L/min 时,两裸露面即有较大面积接触,如图 2(b) 所示,随着吹气量的增加,吹气流股将中间的渣层向外排出,

靠近包壁一侧的渣层越积越厚,瞬时波动较大时易发生卷渣。如图 3 所示,吹气流股靠近包壁一侧发生渣层卷混,较大的油滴可迅速回到油层中,而一些小油滴则沿着包壁逐渐下降,形成钢中夹杂。

在不同方案的渣模拟实验中发现了同样的规律:液面裸露直径随着流量的增加而逐渐增大。实验观察发现在吹气量为 600 L/min 时,再增大吹气流量,液面裸露直径将无明显变化。从观测结果可以发现,尽管距中心 1/3 R、1/2 R 与 0.76 R 吹气孔形

成的液面裸露直径相差不大,但1/3 R和1/2 R吹气流股对包壁的冲刷要明显减少,这样可以提高钢包寿命,同时降低因包衬脱落对钢液造成的污染。

模拟不同吹气量下的卷渣情况,观察油水界面情况发现,当吹气量由小增大时,油水界面由平静接触、起浪、卷混开始形成、油滴破碎到部分油滴进入钢包下部无法再上浮。在最小吹气量下液面也出现了裸露,并在软吹情况下随着气量的增加,油被气液两相流带入水中的深度缓慢增加,此时也有少量油滴破碎,但很快上浮再次进入油层。当吹气量超过某一临界值时,破碎的油滴进入水深处,不再上浮。由此确定钢包临界卷渣气量:原型方案0(0.64 R +

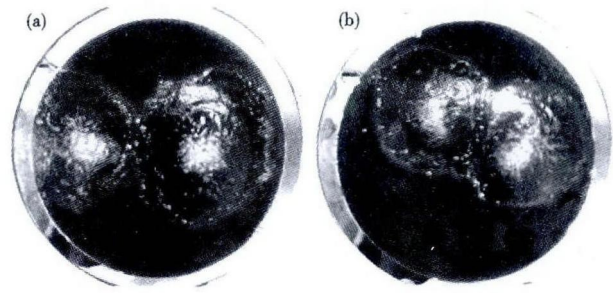


图2 优化方案1对应实际吹气量550 L/min(a)和方案2对应实际吹气量400 L/min(b)的液面裸露情况

Fig.2 Liquid surface bared condition for optimum scheme 1 corresponding real gas blowing rate 550 L/min (a) and scheme 2 corresponding real gas blowing rate 400 L/min (b)

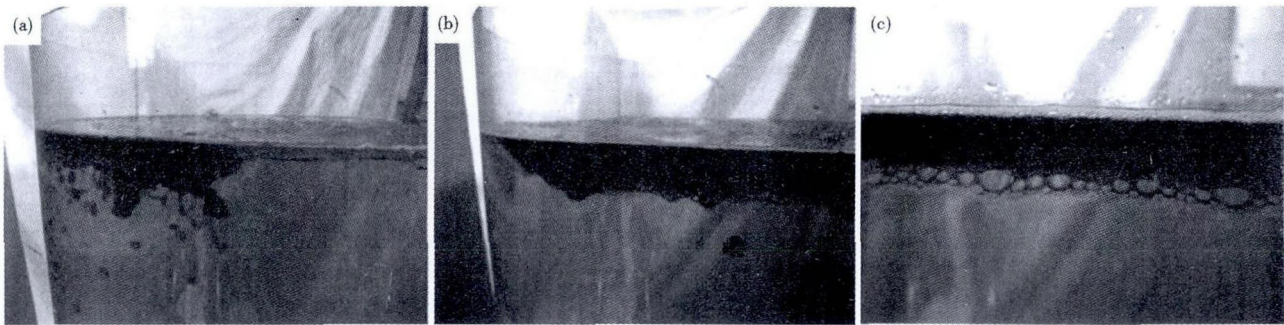


图3 (a)靠近包壁处的渣层卷混现象;(b)渣层分离;(c)渣层乳化

Fig.3 (a) Slag entrapment near ladle wall; (b) slag separation; (c) slag emulsification

0.76 R,90°)及方案1(1/3 R + 0.64 R,180°)双孔吹气位置下为550 L/min,方案2双孔吹气(0.5 R + 0.5 R,135°)为600 L/min。

值得一提的是,出现卷渣不一定是污染钢液,只有在吹气量大于临界卷渣气量油滴才会出现破碎,随后无法再次上浮进入钢中,从而形成钢中夹杂,如图3(b)。同时在使用油模拟渣层时吹气时间过长会导致油水界面的乳化,形成气泡层,如图3(c)。这对于模拟渣层的准确性会造成影响,在将实验结果用于现场指导之前,应结合实际渣层的变化情况进行讨论。

3 结论

(1)原型吹氩方案0下(0.64 R + 0.76 R,90°)临界卷渣气量为550 L/min,优化方案1(1/3 R + 0.64 R,180°)及方案2(0.5 R + 0.5 R,135°)临界卷渣气量分别为550 L/min和600 L/min。

(2)随着流量的增大,液面裸露直径逐渐增大。达到一定值后两吹气流股形成的裸露面开始交叉,靠近包壁一侧的渣层急剧增厚,卷渣现象容易发生。

(3)吹气量达到临界卷渣气量时,渣面常有油

滴分离和油层乳化等现象的发生,在一定程度上会对实验结果造成误差,应结合现场渣面情况进一步确定实际卷渣气量。

国家自然科学基金资助项目(No.51074021)

参考文献

- [1] 肖泽强,刘春利,胡立祥,等. 喷吹钢中偶见大颗粒夹杂物行为及其来源的研究[J]. 钢铁,1988,23(1):23-29.
- [2] 陈玉辉,李京社,赵和平,等. 150 t 钢包底吹氩位置的优化研究[J]. 河南冶金,2011,19(5):5-7.
- [3] 朱苗勇,肖泽强. 钢的精炼过程数学物理模拟[M]. 北京:冶金工业出版社,1998.
- [4] Gupta D, Lahiri A K. A Water Model Study of the Flow Asymmetry Inside a Continuous Casting Mold[J]. Metallurgical and Materials Transactions B,1996,27B:757-764.
- [5] Pan Wei, Koyama S. Cold Model Experiment on Entrapment of Inclusions in Steel by Inert Gas Bubble[J]. Tetsuto-Hagane,1992,78(8):1361-1368.

孙丽媛(1985-),女,博士研究生(北京科技大学),2007年河北理工大学毕业,洁净钢生产的理论与工艺研究。

E-mail:Sunliyuanustb@163.com

收稿日期:2013-04-23