

· 试验研究 ·

重钢复吹转炉熔池内的搅拌和冲刷作用的模拟研究

陈登福 温良英 董凌燕 张生富 孙毅杰 周远华 杨洪莲 李斌
(重庆大学材料科学与工程学院, 重庆 400044) (重庆钢铁股份有限公司, 重庆 400084)

摘要 针对重钢顶吹转炉(铁水装入量 85 t)改造成顶底复吹转炉钢液和渣液深度及炉子结构、尺寸和改造设计的特点,设计制作了复吹转炉冷态模拟模型,实验研究了流股对熔池冲击作用效果,转炉不同炉役期熔池的搅拌混匀特性,熔体对炉壁的冲刷作用。实验结果得出重钢转炉在整个役期内合理的底吹供气强度为 0.06~0.11 m³/min·t;顶底复吹时,基本枪位下操作对熔池搅拌混匀时间最短。

关键词 转炉 复吹 冷态模型 底吹供气强度 冲刷

A Study on Simulation of Stirring and Scouring Action in Top and Bottom Combined Blown Converter at Chongqing Steel

Chen Dengfu, Wen Liangying, Dong Lingyan and Zhang Shengfu
(School of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044)
Sun Yijie, Zhou Yuanhua, Yang Honglian and Li Bin
(Chongqing Iron and Steel Co Ltd, Chongqing 400084)

Abstract According to characteristics of the depth of metal and slag, the furnace structure and size, and the revamping design for an top-blown converter (charging metal 85 t) modified to a top and bottom combined blown converter, a cold simulation model for top and bottom combined converter has been designed and established to test and study the effect of flow impinging on converter bath, the mixing characteristics of bath in different melting period and the scouring action of melt on furnace wall. The test results showed that the reasonable bottom blown strength was 0.06~0.11 m³/min·t for the converter at Chongqing Steel; and in top and bottom blown, the bath mixing time was lowest by operation at basic lance location.

Material Index Converter, Top and Bottom Combined Blown, Cold Simulation Model, Bottom Blown Oxygen Strength, Scouring Action

转炉复合吹炼技术能够改善熔池的搅拌,从而缩短钢水成分和温度的均匀时间,降低渣中的氧化铁含量,可提高钢水的收得率和降低铁合金的消耗,因而在国内外获得了很大的发展^[1-4]。

1 重钢复吹转炉模型的设计与制作

表 1 中钢液的深度为装入 85 t 铁水时的深度,铁水密度 6.95 t/m³;转炉钢渣常温时密度为 3 t/m³,随着温度的变化转炉钢渣的密度温度系数取 0.07 t/(m³·100 °C),转炉冶炼条件下熔渣的温度取 1 600 °C。因此,根据生产过程中测出不同炉役期的转炉内腔尺寸,按相似理论设计制作了模拟重钢转炉在炉役前期和中后期的实体模型。

1.1 模型设计

在本实验条件下,顶、底枪的流体流动的惯性与重力比起着绝对性的作用,因此,为保证与实际

表 1 转炉内钢液和渣液的深度及炉子尺寸数据/mm
Table 1 Furnace size and depth of metal and slag in converter /mm

项 目	钢液深度	炉子内径	炉渣厚度(1 600 °C)
炉 前期	1 309	3 840	643
炉 中期	1 070	4 300	513
炉 后期	750	4 560	459
砌砖尺寸	-	3 680	-

炉内的流动和动力相似,采用反应流体流动中惯性力与重力或浮力同时作用的相似特征的修正弗鲁德准数相等。以下标 o 和 m 分别表示原型参数和模型参数,有

$$(Fr')_o = (Fr')_m \quad (1)$$

式中: Fr'-修正弗鲁德准数。

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

式中: u -气体的平均流速/ $m \cdot s^{-1}$; g -重力加速度/ $m \cdot s^{-2}$; l -定型尺寸/ m ; ρ_g 、 ρ_l 分别为气体和液体的密度/ $kg \cdot m^{-3}$ 。

对于复吹转炉,与转炉模型应具有相同的相似常数 $c_l = 8$,即按完全几何相似设计顶吹氧枪和底吹喷枪模型尺寸。

1.2 实体模型的制作

根据重钢提供的转炉炉役前期、中期、后期的不同炉子内腔尺寸,按 1:8 的比例,用有机玻璃制

作了模拟炉役前期和中后期的转炉模型。顶吹氧枪为 4 孔拉瓦尔喷头,底吹喷枪为双环缝套管,为保证加工的模型喷头的强度和结构尺寸精度,用铜棒通过精加工而成。

2 实验装置及参数检测

实验过程中,用水模拟钢水,用压缩空气模拟顶吹氧气、底吹氩气或氮气。主要参数见表 2。

实验过程中,模型中水的深度由模型上的标

表 2 复吹转炉原型与模型主要介质参数

Table 2 Parameters of main medium for experimental model and prototype of combined blown converter

喷吹方式	熔池液体	喷吹气体	气体密度/ $kg \cdot m^{-3}$ (标态)	液体密度/ $kg \cdot m^{-3}$	钢液/渣层厚度/ mm		气体		
					前期	中期	流量/ $m^3 \cdot h^{-1}$	压力/ MPa	
顶吹	原型	钢液	氧气	1.429	6 950(1 600 °C)	1 309/643	1 070/513	17 500	0.8-0.9
	完全几何相似	水	空气	1.293	1 000(20 °C)	164/80	134/64	20	0.23
底吹	原型	钢液	氮气	1.251	6 950(1 600 °C)	1 309/643	1 070/513	0.03 ~ 0.09	-
		氩气	1.784	按供气强度 $m^3/min \cdot t$					
	完全几何相似	水	空气		1.293	1 000(20 °C)	164/80	134/64	0.13 ~ 0.59

尺测定,压缩空气的流量由转子流量计测定,转子流量计前后的压力用弹簧压力计测定。搅拌混匀时间,通过数字电导率仪-微机或数字电导率仪-函数记录仪测定熔池电导率。熔池中流体对炉壁的冲刷作用采用动态电阻应变仪进行测量。应变片粘贴位置见图 1。

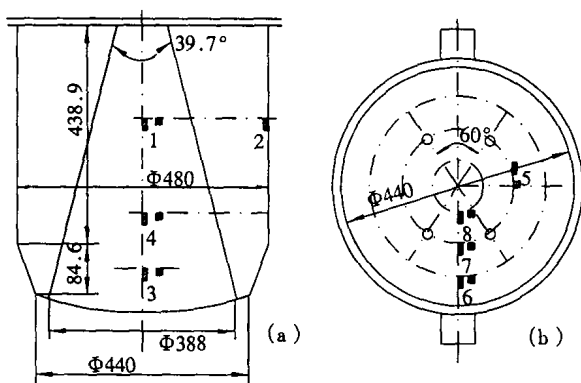


图 1 应变片粘贴位置示意图:(a)炉身;(b)炉底
Fig.1 Diagram of position of strain-gauge resistor: (a) body; (b) bottom

3 实验结果及分析

熔池中液体在 4 孔顶枪的顶吹气流的冲击下形成了 4 个明显的凹坑,从凹坑中流出的速度较高的液体推动熔池表面层的液体向四周流动,然

后在壁面附近转折向下,壁面附近存在旋涡区,搅拌微弱。与之相比,顶底复吹熔池内液体的流动大致相同,但壁面附近的低速循环区有所缩小,且循环速度显著加快。同时,底吹气流形成的气泡带动钢液(水)上升,使循环速度加快,强化了熔池搅拌。此外,实验中发现,凹坑下面的中心区域由不同方向的流股碰撞混合形成了强烈的旋涡区,钢液(水)呈螺旋向上流动的态势。水模型实验中,流股对熔池搅拌作用的效果用混匀时间来表示。熔池的混匀实际上是由液体的循环流动及介质的扩散共同完成的。

3.1 底吹供气强度对熔池搅拌混匀时间的影响

图 2 是转炉炉役前期和中期,基本枪位为 144 mm(实际转炉为 1 150 mm)时,混匀时间随底吹供气强度变化的关系曲线。可见,当底吹供气强度较小时,底吹对熔池的搅拌作用不足,混匀所需时间延长;随着底吹供气强度增加,搅拌作用加强,混匀时间缩短;但底吹供气强度增加到一定程度,搅拌混匀时间又会延长。从图中还可看出,对炉役中后期,过强的供气强度会使混匀时间剧增,这主要是因为中后期炉体被侵蚀,内腔由前期的“球缺+圆台+圆柱”变成为中后期的“球缺+圆柱”或“圆柱”形状,相应的熔池深度(mm)由前期的“164(实际转炉 1 309)”减缩为中期的“134

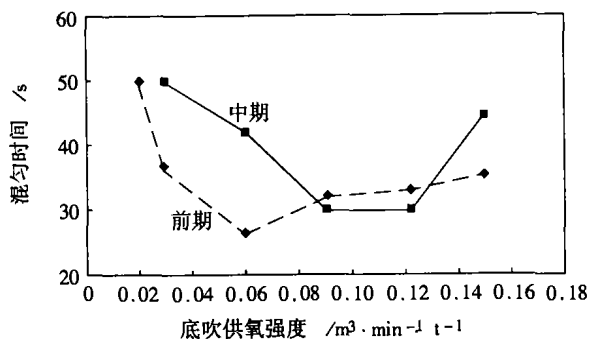


图 2 混匀时间与底吹供气强度的关系

Fig.2 Effect of bottom blown gas strength on mixing time

(1 070)”或后期的 94(750)。底吹供气强度过大,有部分气体很快穿过熔池经炉口排出,对熔池没有起到应有的搅拌作用的效果。在此实验条件下,就熔池的混匀效果来看,在整个炉役期内,合理的底吹供气强度范围为 0.06 ~ 0.11 m³/min·t。

3.2 复吹转炉熔体对砌体的冲刷作用

图 3(a)是正常复吹条件下,在熔池液面附近(图 1 中第“4”号应变片处)、底吹喷枪附近(图 1 中第“5”号(钝角间)和“7”号(锐角间)应变片)受冲刷前后的相对应变随枪位的变化情况。由图可

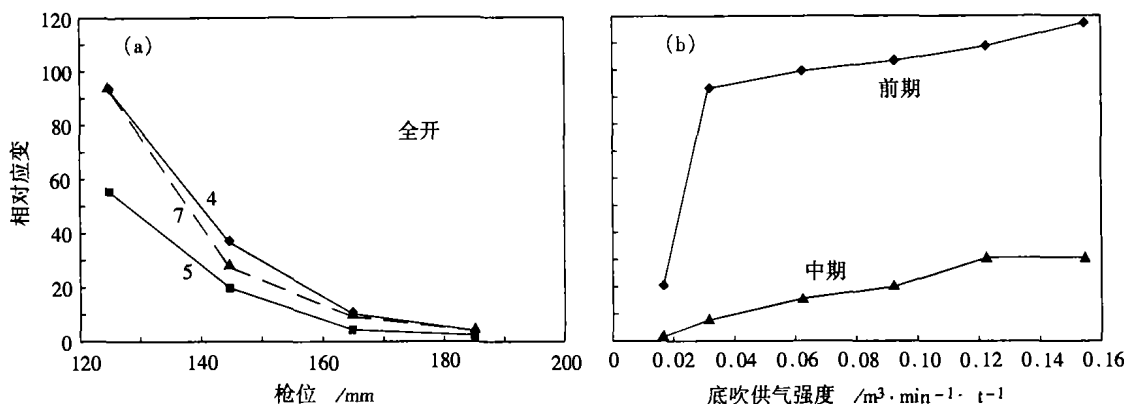


图 3 相对应变值随顶吹枪位(a)和 4 号应变片位置的相对应变随底吹供气强度(b)的变化曲线

Fig.3 Change curves of relative strain with bottom blown gas strength at No4 position of strain- gauge resistor

见,在正常复吹条件下,随着顶枪枪位的增加,顶枪气体的喷射对熔池下部壁面的冲击逐渐减弱,其相对应变值逐渐下降。当枪位增加到一定值后,其应变值的下降趋势逐渐减缓,直至变化很小。在基本枪位下(模型枪位 144 mm),顶枪的气体对下部炉壁的冲击作用已经降低到较低的水平,但其作用还是相对比较明显。由图 3(b)可见,其它条件相同的情况下,炉役中期气流搅拌引起流体对炉壁的冲刷作用减弱了,这主要是由于炉役中期炉内壁侵蚀,炉膛内腔较炉役前期大,相同强度气流的搅动引起流体的波及面增加,使冲刷力度减弱的缘故。

4 结论

(1) 顶底复吹熔池的混匀主要由液体的循环搅拌作用来完成。

(2) 重钢转炉在整个炉役期内合理的底吹供气强度在 0.06 ~ 0.11 m³/min·t 范围内变化。

(3) 顶底复吹时,基本枪位下操作对熔池的搅拌混匀效果最好,混匀时间最短。

(4) 熔池液面附近和底枪锐角(60°)间即耳轴连线附近相对应变值较大,冲刷相对较严重;在炉役中期炉内壁侵蚀,炉膛内腔较炉役前期大,与炉役前期比较,炉役中期气流搅拌引起流体对炉壁的冲刷作用相对较弱。

参考文献

- 1 崔 健,杨文远. 宝钢 300 t 转炉溅渣护炉工艺研究. 钢铁, 1998,33(10):15
- 2 Sung-Mo Jung, Chang-Hee Rhee, Dong-Joon Min. Thermodynamic Properties of Manganese Oxide in BOF Slags, ISIJ International, 2002, 42(1):63
- 3 Matti Juhani Luomala, Timo Matti Juhani Fabritius, Esa Olavi Virtanen. Splashing and Spitting Behaviour in the Combined Blown Steel-making Converter. ISIJ International, 2002, 42(9):944
- 4 甲斐幹,大河平和男,口满雄. Cold Model Study of Characteristics in LD Converter With Bottom Blowing. 铁と钢, 1983(2):228

陈登福,男,41岁,博士,教授。从事冶金研究和教学工作。