

LF 炉吹氩最佳混合效果研究

朱红波, 谢蕴国, 和秋昆, 彭世恒
(昆明理工大学 材料与冶金工程学院, 云南 昆明 650093)

摘要: 以攀钢 165 t LF 炉为原型, 根据相似原理, 用冷态模拟的方法对影响 LF 炉吹氩混合效果的各种工艺参数进行了研究. 应用多因子多水平正交表安排试验, 单底吹选用 $L_{18}(6^1 \times 3^6)$ 表, 双底吹选用 $L_{32}(8^1 \times 4^8)$ 表. 通过考察各因素对指标混合均匀时间 τ_m (s) 影响的显著程度, 得出了 165 t LF 炉吹氩的最佳工艺条件为: (1) 单底吹: $Q_m = 3.37$ L/min; $S_m = 1.7$ mm²; $H_m = 506$ mm; $r_m = 124.8$ mm; (2) 双底吹: $Q_m = 3.61$ L/min; $S_m = 1.7$ mm²; $H_m = 500$ mm; $r_m = 142.4$ mm 或 98.6 mm.

关键词: LF 炉; 底吹氩; 冷态模拟;

中图分类号: TF729 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007 - 855X(2004)05 - 0031 - 02

Optimal Mixing Effect of LF Argon Bubbling

ZHU Hong-bo, XIE Yun-guo, HE Qiou-kun, PENG Shi-heng

(Faculty of Material and Metallurgical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: Using 165 t LF of Panzhihua Steel and Iron Co. as the prototype, the technical parameter of LF argon bubbling was studied by means of hydrodynamic modeling with similarity theory. Orthogonal tables $L_{18}(6^1 3^6)$ and $L_{32}(8^1 4^8)$ were used in the single bottom blowing and twin bottom blowing tests respectively. From investigation of the influences of main factors on uniforming mix - time τ_m (s), the optimal technical conditions of LF argon bubbling was as follows: (1) single bottom blowing test: $Q_m = 3.37$ L/min, $S_m = 1.7$ mm², $H_m = 506$ mm, and $r_m = 124.8$ mm, (2) two bottom blowing test: $Q_m = 3.61$ L/min, $S_m = 1.7$ mm², $H_m = 500$ mm, $r_m = 142.4$ mm or 98.6 mm.

Key words: LF; argon bubbling; hydrodynamic modeling

0 引 言

随着现代尖端技术的问世, 工业技术的发展, 对钢材的冶金质量和使用性能要求愈来愈严格. 为满足市场对钢材的苛刻要求, 传统的一步炼钢必须发展为两步炼钢, 即炉内(转炉、电炉)初炼和炉外精炼. LF 炉法即钢包炉法, 是一种集吹氩搅拌、埋弧加热、还原气氛及白渣精炼为一身的炉外精炼方法, 其中钢包炉底部吹氩搅拌的混合效果好坏直接影响着整个 LF 炉的精炼效果. 因此, 本文以攀钢 165 t LF 炉为原型, 用冷态模拟的方法对影响 LF 炉吹氩混合效果的各种工艺参数进行了研究.

1 试验的相似条件

模型的几何相似比为 1:6. 根据引起钢包内液体流动的主要动力源是底吹气泡的浮力, 所以, 只要保证模型和实型的修正弗鲁德准数 Fr' 相等^[1], 即保证了动力相似^[2].

$$Fr' = \frac{\rho_g u^2}{\rho_l g H} \quad (1)$$

式中: ρ_g 及 ρ_l 为气体和液体的密度, g/cm³; g 为重力加速度 m/s²; H 为熔池深度 m; u 为喷头出口处气体流

收稿日期: 2003 - 10 - 31.

第一作者简介: 朱红波(1960~), 女, 副教授. 主要研究方向: 钢铁冶金. E-mail: hong buo zhu@hot mail.com.

速 cm/s.

$$u = \frac{4Q}{\pi d^3} \quad (2)$$

式中: Q 为气体体积流速 Nm^3/s ; d 为喷嘴直径或当量直径 m.

根据(1)式动力相似条件得:

$$Q_m = \left[\frac{\rho_{g,p} \rho_{l,m}}{\rho_{g,m} \rho_{l,p}} \left(\frac{d_m}{d_p} \right)^4 \left(\frac{H_m}{H_p} \right)^{\frac{1}{2}} \right] Q_p \quad (3)$$

式中下标 p 表示原型, m 表示模型.

2 试验方法

用有机玻璃仿制攀钢 165 t LF 炉模型, 水模拟钢液, 空气模拟氩气, 油模拟炉渣. 应用多因子多水平正交表安排试验, 单低吹选用正交表 $L_{18}(6^1 3^6)$, 双底吹选用正交表 $L_{32}(8^1 \times 4^8)$. 采用电导法测定试验指标—熔池的混合均匀时间, 以饱和的 NaCl 水溶液为示踪剂, 电导仪测定熔池电导变化, 函数记录仪自动记录电导值随时间 t 的变化曲线, 以电导值为稳定值的 95% 的点所对应的时间 t , 记为熔池混合均匀时间 τ_m

(s), 即试验的考察指标(每组试验重复次数为 3).

表中 Q_m 为底气量 L/min ; S_m 为底喷枪通气面积 mm^2 ; H_m 为熔池深度 mm ; r_m 为底喷枪位置 mm (径向距离).

3 试验结果

表 3 单底吹模型试验 $L_{18}(6^1 \times 3^6)$ 的方差分析表

Tab.3 Variance analysis of the tests $L/18(6^1 \times 3^6)$

方差来源	S	f	σ^2	F	显著性
Q_m	0.904	5	0.181	23.087	显著**
S_m	-0.04	2	-0.02	-2.55	不显著
H_m	0.037	2	0.0185	2.36	不显著
r_m	0.885	2	0.443	56.51	显著**
E_1	0.241	2	0.121		
E_2	0.0539	36	1.581×10^{-3}		
$E = E_1 + E_2$	0.298	38	7.84×10^{-3}		
T	2.048	49			

表 1 单低吹模型试验的因子水平表

Tab.1 Factor and horizon of the Single bottom blowing tests

水平因子	1	2	3	4	5	6
Q_m	1.68	2.02	2.35	2.68	3.02	3.37
S_m	1.1	1.7	2.7			
H_m	471	506	533			
r_m	58.3	91.5	124.8			

表 2 双低吹模型试验的因子水平表

Tab.2 Factor and horizon of the twin bottom blowing tests

水平因子	1	2	3	4	5	6	7	8
r_m	65.7	76.7	87.6	98.6	109.5	120.5	131.4	142.4
S_m	1.1	1.7	2.7	4				
H_m	466	500	516	533				
Q_m	2.35	2.77	3.19	3.61				

表 4 双底吹模型试验 $L_{32}(8^1 \times 4^8)$ 的方差分析表

Tab.4 Variance analysis of the tests $L/32(8^1 \times 4^8)$

方差来源	S	f	σ^2	F	显著性
r_m	0.785	7	0.112	13.79	显著**
S_m	0.087	3	0.029	3.57	不显著
H_m	0.098	3	0.0327	4.03	不显著
Q_m	1.125	3	0.375	46.18	显著**
E_1	0.244	3			
E_2	0.3	64			
$E = E_1 + E_2$	0.544	67			
T	2.465	86			

单底吹模型试验结果表明, 底部供气量 Q_m 和底喷枪位置 r_m 对熔池混合均匀时间 τ_m 的影响最显著. 其最佳工艺条件为: $Q_m = 3.37 \text{ L}/\text{min}$; $S_m = 1.7 \text{ mm}^2$; $H_m = 506 \text{ mm}$; $r_m = 124.8 \text{ mm}$.

双底吹模型试验结果同样表明, 底喷枪位置 r_m 和底部供气量 Q_m 对熔池混合均匀时间 τ_m 的影响最显著.

(下转第 48 页)

4) 判断重构精度不能只看最大误差,而要把最大误差和平均误差、均方根偏差结合起来进行分析.在最大误差小于允许误差的情况下,平均误差和均方根偏差低的算法重构精度最高.

5) 由于本软件可以进行重构精度的计算和误差的输出,可以用于对有精度要求的曲线、柱状面及凸轮零件的重构.

参考文献:

- [1] 朱心雄.曲线与曲面重构技术[M].北京:科学出版社,2000.1.
- [2] 栗全晴,王宏,张英杰,赵汝嘉,等.实物反求工程的关键技术分析[J].机械设计,1999,6.
- [3] 李江雄,柯映林,程耀东.基于实物的复杂曲面产品反求工程中的CAD建模技术[J].中国机械工程,1999,(10):20~25.

(上接第32页)

其最佳工艺条件为: $Q_m = 3.61 \text{ L/min}$; $S_m = 1.7 \text{ mm}^2$; $H_m = 500 \text{ mm}$; $r_m = 142.4 \text{ mm}$ 或 98.6 mm .

4 结 论

由上述试验结果可得出以下结论:①底部供气量 Q_m 的增大能缩短熔池混合均匀时间 τ_m ,对熔池的搅拌有利.但增大的程度及极限等规律如何,还有待作进一步研究;②底喷枪位置 r_m 的增大对熔池的搅拌有利,特别是双底吹试验尤为明显.这表明两枪距越近,熔池的搅拌动能越易被相互抵消,但考虑到对炉壁的维护, r_m 也不能距炉壁太近;③熔池深度 H_m 和底喷枪通气面积 S_m 对熔池混合均匀时间 τ_m 的影响不大,可不作为主要因素;④大于 100 t 的炉子,双底吹(或以上),其熔池混合均匀效果优于单底吹.

参考文献:

- [1] 李宝宽.炼钢中的计算流体力学[M].北京:冶金工业出版社,1996.232.
- [2] 崔广心,相似理论与模型试验[M].徐州:中国矿业大学出版社,1989.31~45.