

CAS 喷粉精炼熔池混合行为的水模型试验

赵成林 李建伟 邹宗树
(东北大学材料与冶金学院, 沈阳 110004)

摘要 通过 1:4 水模型装置模拟 150 t CAS 钢包精炼过程熔池内流场特征和渣面裸露情况, 以确定最佳的喷吹位置和研究喷吹参数对熔池均混时间的影响。结果表明, 喷吹气量和底吹流量越大, 喷枪插入越深, 浸渍罩插入越浅, 则均混时间越短; 底吹位置离钢包中心越近, 均混效果越差。分析得出, 150 t CAS 钢包增加喷粉后, 最佳底吹位置为离钢包中心 0.35R (R 为钢包下口半径) 处。

关键词 150 t CAS 工艺 喷粉精炼 水模型 流场 均混时间

Water Modelling Test on Bath Mixing Behavior for CAS Powder Injection Refining

Zhao Chenglin, Li Jianwei and Zou Zongshu
(School of Materials and Metallurgy, Northeastern, Shenyang 110004)

Abstract The flow field characteristics and open phenomena of slag layer in bath of 150 t CAS ladle refining process have been simulated by 1:4 water modelling device to get optimum blowing location and study effect of blowing parameters on bath mixing time. Results showed that the more the flow rate of injection, the bottom blowing rate and depth of lance outlet with shallow immersion of snorkel, the less the mixing time; and the nearer the distance between bottom blowing location and ladle center, the poor the mixing effect. It is indicated by analysis that with 150 t CAS ladle installed powder injection device, the optimum bottom blowing location is at the place from ladle center 0.35R (radius of ladle bottom).

Material Index 150 t CAS Process, Powder Injection Refining, Water Modelling, Flow Field, Mixing Time

1 实验装置和方法

CAS (Composition Adjustment by Sealed Argon Bubbling) 喷粉精炼^[1]除能精确微调钢水成分, 添加发热剂并吹氧快速加热钢液外, 还有脱硫和夹杂物变性处理功能。实验以 150 t CAS 钢包为原型, 按 1:4 的比例制作模型, 同时, 模型增加了现场没有的喷粉枪, 喷枪为直筒型, 模型与原型尺寸见表 1。

表 1 模型与原型有关尺寸/mm

Table 1 Relative size of model and prototype ladle /mm

项目	上口直径	下口直径	高度	液面高度	浸渍罩内径	吹氩口内径	喷粉枪喷嘴内径
原型	3 000	2 700	3 400	3 040	1 600	7.5	-
模型	750	675	850	760	400	1.8	3.8

实验模型用有机玻璃制成, 装置如图 1 所示。实验中用压缩空气模拟氩气、水模拟钢液。熔池的混合搅拌效率通常由均混时间来定义^[2]。实验中采用电导率法测定熔池的均混时间, 示踪剂为饱和氯化钠溶液, 通过熔池电导率的变化确定混匀程度, 混匀度达到 95% 即认为完全均混^[3]。实验是在喷粉枪只吹气的条件下进行的。

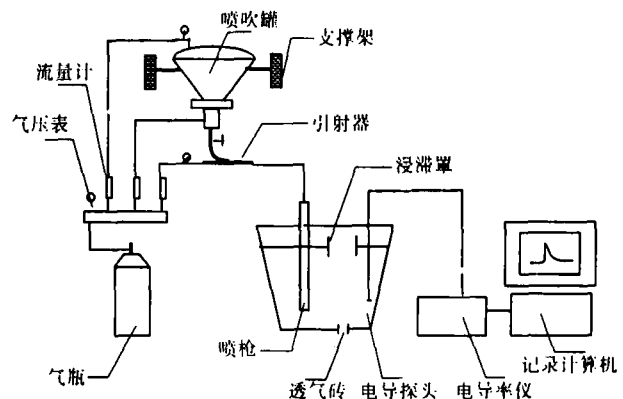


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Sketch of experimental device

钢包吹氩体系内流动的动力主要是气泡浮力, 因此, 保证模型与原型的修正弗鲁德准数相等可基本上保证动力相似。修正弗鲁德准数定义为:

$$Fr' = \frac{\rho_g u^2}{(\rho_L - \rho_g) g L} \approx \frac{\rho_g u^2}{\rho_L g L} \quad (1)$$

式中: u - 特征速度; L - 熔池直径; ρ_g 、 ρ_L - 气体和液体的密度。

特征速度 u 为:

$$u = \frac{Q}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2} \quad (2)$$

式中: Q - 气体体积流量; d - 喷嘴直径。

将式(2)代入式(1)中,并考虑 $Fr'_m = Fr'_f$,得

$$Q_m = \sqrt{\left(\frac{L_m}{L_f}\right) \left(\frac{d_m}{d_f}\right)^4 \frac{\rho_{Ar} \rho_w}{\rho_{air} \rho_{st}}} Q_f \quad (3)$$

式中: m - 模型; f - 原型; W - 水; st - 钢液。

吹入钢包内的高温气体(Ar)流量与常温标准状态下的流量之间的关系为:

$$Q_{real} = \frac{293}{1873} \cdot \frac{P_{atm} + \rho_{st} g H_{st}}{P_{atm}} \cdot Q_f \quad (4)$$

(下标 $real$ 代表常温常压状态)

从而可以确定模型与原型之间底吹气体流量的关系,将本实验的相关数据代入上式中,化简得:

$$Q_{real} = 49.14 \cdot Q_m \quad (5)$$

实验中顶渣的选取原则是选取介质与水之间的

运动粘度之比能接近实际渣钢之间的运动粘度之比^[4],实验采用真空泵油和煤油混合模拟渣相。

2 实验结果与讨论

2.1 熔池的流动状况及混合机理

以喷枪距钢包中心分别为 0.10, 0.50, 0.60, 0.75 R (R 为钢包下口半径)时,熔池的流场作为特征流场对其进行拍照,如图 2(a)、(b)、(c)、(d)所示。

从图 2 中可以看出,当喷枪位于 0.10R 位置时,即在浸渍罩内喷吹,此时底吹气流和喷吹气流的距离很近,相互融合的气流上升到熔池表面后受到罩的影响向下流动,整个流场与 CAS 钢包的流场基本相同。当喷枪位于 0.50, 0.60, 0.75 R 位置时,此时喷枪在浸渍罩外,发现随着喷枪距罩越来越远,底吹气流会经历向喷枪侧弱偏转→剧烈偏转→弱偏转的过程;在弱偏转时,底吹气流只是偶尔受到喷吹气流的影响向喷枪侧靠近;而在剧烈偏转的时候,底吹气流偏转的幅度和频率大大增加,对浸渍罩内液体的搅拌效果明显减弱。

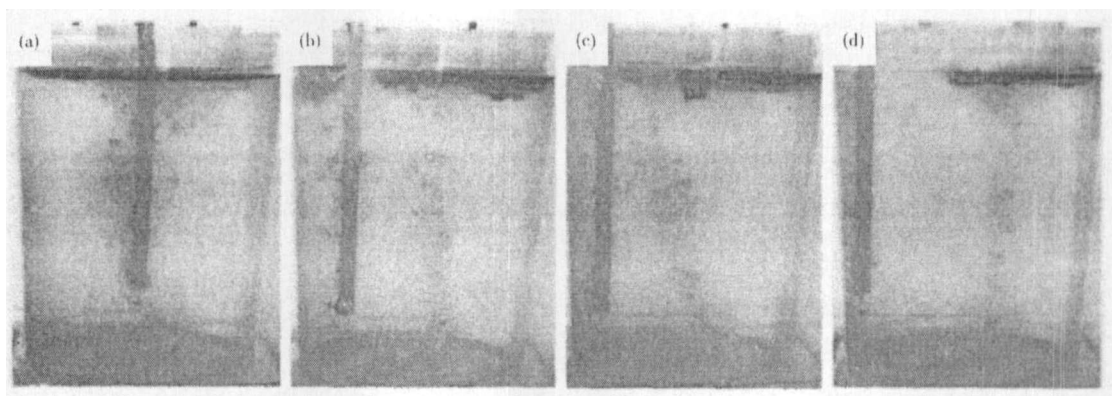


图 2 熔池的流场:底吹位置距钢包中心 0.10R (a)、0.50R (b)、0.60R (c) 和 0.75R (d)

Fig. 2 Flow field with bottom blowing location from ladle center 0.10R (a), 0.50R (b), 0.60R (c) and 0.75R (d)

2.2 渣面裸露情况的考察

钢液和大气通过渣面上出现的“裸露眼”进行热量和物质的交换,钢水易发生温降过大以及二次氧化,同时喷粉后期当熔池中 $[O]$ 、 $[S]$ 降低时还会出现钢液吸氮现象^[5]。

从图 3 中可以看出,在 0.10R 处,渣-金界面流速很小,基本不存在渣面裸露;在其它两个位置都存在渣面裸露,且发现喷嘴在 0.75R 时渣面裸露面积要比 0.50R 时大。这主要是因为 0.50R 时有部分喷吹气流进入浸渍罩下方区域,对顶渣的搅动减弱。

2.3 熔池均混时间的变化规律

将喷粉枪布置在浸渍罩内,可避免诸多不利因素。实验时保证喷枪在浸渍罩内,且罩中心在钢包底面上的投影点与底吹位置重合。

在数据处理时,将喷吹参数转化为搅拌能密度(单位时间内单位质量的液体所承受的搅拌功)作为自变量,以均混时间作为因变量进行分析。本实验条件下的搅拌能密度为^[4]:

$$\varepsilon = \frac{RT_1}{V_{air} M_1} \left\{ \left(Q_{喷吹} \ln \frac{P_{喷吹}}{P_{atm}} + Q_{底吹} \ln \frac{P_{底吹}}{P_{atm}} \right) + 8\eta \frac{M_{air}}{\pi^2 RT_1} \left(\frac{Q_{喷吹}^3}{d_{喷吹}^4} + \frac{Q_{底吹}^3}{d_{底吹}^4} \right) \right\} \quad (6)$$

式中: ε - 搅拌能密度/($W \cdot t^{-1}$); P - 喷嘴处环境压

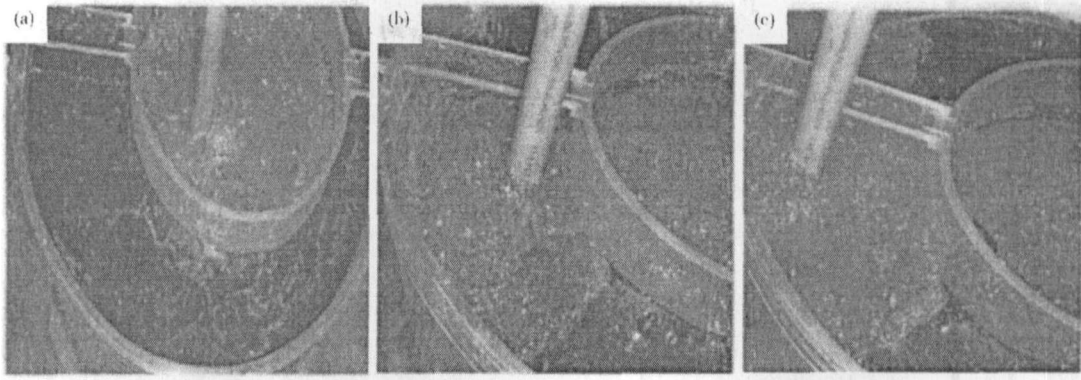


图3 渣面裸露情况:底吹位置距钢包中心 0.10R (a)、0.50R (b)和 0.75R (c)

Fig.3 Opening condition of slag layer with bottom blowing location from ladle center 0.10R (a), 0.50R (b) and 0.75R (c)

力/Pa; T_1 - 液体的温度/K; P_{atm} - 大气压; Q - 气体流量/($m^3 \cdot s^{-1}$); η - 系数; V_{air} - 空气摩尔体积/($m^3 \cdot mol^{-1}$); M_{air} - 空气的摩尔质量/($kg \cdot mol^{-1}$); M_1 - 液体质量/t; T_0 - 气体的出口温度/K; d - 直径/m。

从图4可见,随着 ϵ 的增加,均混时间缩短。从式(6)可得,在液体量以及喷嘴直径一定的情况下,影响 ϵ 的主要有喷吹气量、底吹流量以及喷枪插入深度(表征喷枪喷嘴的出口压力)等;喷吹气量和底吹流量越大,喷枪插入越深,则熔池搅拌能密度 ϵ 越大,因此均混时间越短。同时看出,底吹位置离中心越近均混效果越差。目前现场的底吹位置位于 0.22R 处,增加喷粉枪后,应将底吹位置向包壁侧迁移,但也不可离包壁太近,因为对浸渍罩和包壁冲刷严重,从而降低浸渍罩寿命和造成处理过程的不稳定。分析得出,选择底吹位置在 0.35R 处即能获得良好的搅拌效果。由图5可知,浸渍罩插入越深,均混时间越长,从传热的角度来看,罩浅更有利传热,但罩浅容易将发热剂甩出罩外,造成发热剂的流失。

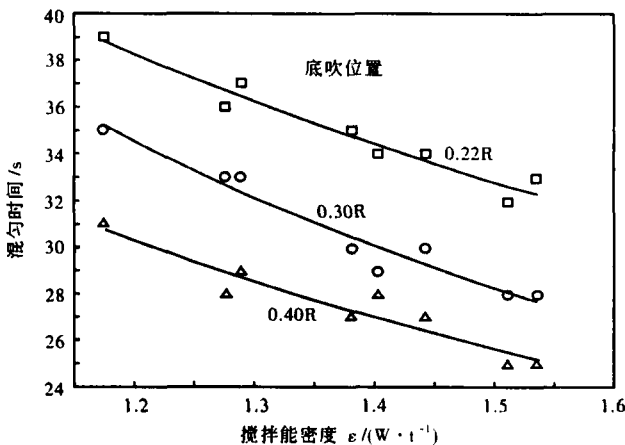


图4 搅拌能密度和底吹位置对均混时间的影响

Fig.4 Effect of stirring energy density and bottom blowing location on mixing time

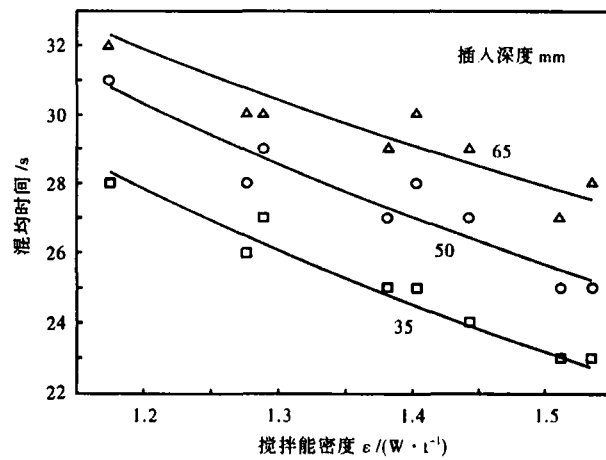


图5 搅拌能密度和浸渍罩插入深度对均混时间的影响

Fig.5 Effect of stirring energy density and immersion depth of snorkel on mixing time

3 结论

将喷粉枪布置在浸渍罩内可避免诸多不利因素。喷吹气量和底吹流量越大,喷枪插入越深,浸渍罩插入越浅,则熔池搅拌能密度 ϵ 越大,熔池均混时间越短。底吹位置离中心越近,均混效果越差;现场的 150 t CAS 增加喷粉装置后,建议将底吹位置从目前的 0.22R 处改为 0.35R 处。

参考文献

- 1 尹弘斌,金山同. CAS-OB 工艺的历史、现状及未来展望. 化工冶金,1994,15(3):276
- 2 朱苗勇,萧泽强. 钢的精炼过程数学物理模拟. 北京:冶金工业出版社,1998
- 3 张信昭. 喷粉冶金基本原理. 北京:冶金工业出版社,1988
- 4 薛伟峰,文光华,唐萍,等. 板坯连铸结晶器内保护渣模拟方法的研究. 钢铁研究,2005(3):13
- 5 蒋国昌. 纯净钢及二次精炼. 上海:上海科学技术出版社,1996

赵成林(1979-),男,博士研究生,2004年东北大学钢铁冶金专业毕业,洁净钢冶炼研究。

收稿日期:2006-11-08