

· 试验研究 ·

## RH 精炼循环流量优化的水模型研究

艾新港 包燕平 吴华杰 马鑫 贾楠

(北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083)

**摘要** 以70 t钢包RH精炼装置为原型建立了1:3.27水模型,用流速法测量RH循环流量。分析了实际工艺条件下钢水的RH循环流量以及上升管吹气量、吹气孔内径、吹气孔高度、浸渍管插入深度等参数对RH循环流量的影响,并得出优化工艺参数。70 t钢包RH精炼实验结果表明,当上升管吹气量1 200 L/min,吹气孔内径3 mm时,轴承钢平均[O]比原工艺降低 $3 \times 10^{-6}$ ;超低碳钢碳含量可降低到0.002%以下,脱碳时间比优化前明显减少。

**关键词** RH精炼 水模型 循环流量 工艺优化

## A Study on Water Model for Circulation Flow Rate Optimization in RH Degassing Refining

Ai Xingang, Bao Yanping, Wu Huajie, Ma Xin and Jia Nan

(School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083)

**Abstract** A water model with linear scale 1:3.27 for a 70 t ladle RH unit has been established by using flow rate method to measure RH circulation rate. RH circulation rate of liquid steel in real process condition and effect of parameters such as blow rate in up-gas tube, inner diameter of orifice, blowing up-gas traveling path and dipping depth of leg on RH circulation rate were analyzed to get optimizing process parameters. The commercial test of a 70 t ladle RH degassing refining showed that with blow rate 1 200 L/min in up-gas tube and inner diameter 3 mm of orifice, average [O] of bearing steel decreased by  $3 \times 10^{-6}$  as compared that with original process; carbon content of extra-low carbon steel might decrease to less than 0.002% and decarburization time obviously decreased as compared with that before optimization.

**Material Index** RH Refining, Water Model, Circulation Flow Rate, Process Optimization

RH真空循环精炼的主要冶金功能是脱除钢水的H、O、N和C元素;对钢液进行的搅拌,使钢液的温度、成分均匀化,去除非金属夹杂物以及吹氧升温、调整成分、造渣精炼和脱硫等。

RH的循环流量即每分钟通过真空室的钢液量(t/min),是最重要的操作和工艺参数,增大RH的循环流量对钢水的脱碳、脱氧、脱氢、去除夹杂物以及钢水混合都是有利的<sup>[1-3]</sup>,提高循环流量的努力始终没有停止过<sup>[4-9]</sup>。近年来,冶金品种多样化和高质量钢需求的增长对RH精炼提出了更高的要求,必须提高现有RH设备的脱碳、脱气能力,缩短处理时间,以提高精炼效率。RH的精炼效率与循环流量密切相关<sup>[4]</sup>,本文以循环流量作为RH优化的指标,通过水模型实验研究提出有效提高RH精炼效率的手段。

### 1 实验方法

#### 1.1 相似性

为了模型加工方便选取相似比为1:3.27,取模型严格按照与原型1:3.27的比例缩小,保证几何相似,尺寸见表1。

表1 RH精炼装置原型和模型尺寸/mm

Table 1 Size of prototype and model of RH refining unit/mm

| 项目 | 钢包    |          | 钢水<br>装入<br>深度 | 真空室      |       | 浸入管   |       |     |
|----|-------|----------|----------------|----------|-------|-------|-------|-----|
|    | 深度    | 上部<br>内径 |                | 下部<br>内径 | 内径    | 高度    | 长度    | 内径  |
| 原型 | 2 840 | 2 636    | 1 887          | 2 490    | 1 420 | 1 950 | 1 650 | 360 |
| 模型 | 869   | 806      | 577            | 761      | 434   | 596   | 505   | 110 |

模型与原型修正Fr数相等即可满足动力学相似,由修正Fr数相等得出<sup>[10]</sup>:

$$Q_{模型} = 0.141 2 Q_{原型}$$

式中:Q<sub>模型</sub>-实验气体流量;Q<sub>原型</sub>-现场生产的气体流量。

#### 1.2 实验设备

以70 t RH精炼装置和钢包为原型制作有机玻璃模型,主要设备见图1。

#### 1.3 循环流量的测量方法

实验用流速法测量循环流量,流速的测量采用LGY-II型智能流速仪,具体方法类似皮托管<sup>[9]</sup>,这种方法测量结果准确而且对模型内流场影响小。

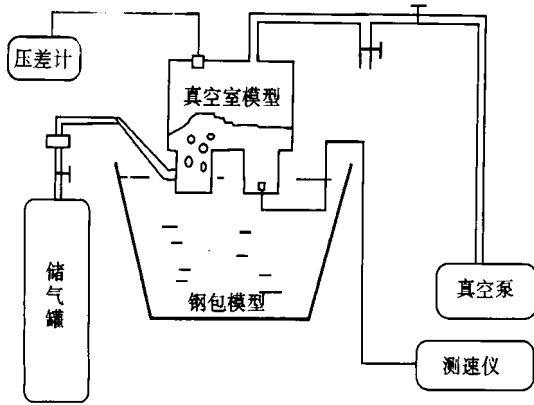


图 1 水模型主要设备示意图

Fig. 1 Schematic diagram of main apparatus of water model

### 2 影响循环流量因素的实验结果与分析

实验模拟钢厂 RH 原生产工艺条件下的循环流量为 41.4 t/min, RH 真空室每分钟更新的钢水量为总钢水量的 59.1%, 而国内外先进钢铁企业为 70% 以上, 文献[9]中最高测量值已经达到 140%, 所以钢厂 RH 的循环流量有进一步提高的潜力。循环流量是操作条件的变量, 浸渍管内径、浸渍管插入深度、氩气流量、真空度和吹气孔工艺参数等对循环流量均有不同程度的影响。由于钢厂 RH 生产的真空度受真空泵能力的限制很难再提高, 浸渍管内径受真空室和钢包尺寸限制也很难再扩大, 所以本实验选择其他参数进行优化研究。

#### 2.1 上升管吹气量

原工艺条件下, 上升管吹气量对循环流量影响的实验结果见图 2 (a), 在实验范围内, 循环流量随着上升管吹气量的增加而增加, 吹气量大于 1 000 L/min 时循环流量随着吹气量增加的幅度开始减小。吹气量为 1 200 L/min 的循环流量比吹气量为 1 000 L/min 的循环流量大 9.1%, 可以提高上升管吹气量至 1 200 L/min 来提高钢水的循环流量。

#### 2.2 浸渍管插入深度

浸渍管插入深度对循环流量影响的实验结果见图 2 (b), 浸渍管插入深度 < 420 mm 时,

循环流量随着浸渍管插入深度的增加而显著增加。浸渍管插入深度  $\geq 420$  mm 时, 循环流量随着浸渍管插入深度的增加变化很小。在相同的真空度下浸渍管插入深度越小, 真空室里钢水就越少, 当浸渍管插入深度 < 420 mm 时, 真空室内钢水量少到限制了钢水的循环流动。所以为保证钢水的循环流动不受真空室内钢水量的影响, 浸渍管插入深度  $\geq 420$  mm。

#### 2.3 吹气孔内径

吹气孔内径为 3、4、6 mm 时, 不同上升管吹气量下的循环流量实验结果见图 3 (a), 在气量 < 600 L/min 时, 在相同上升管吹气量下不同吹气孔内径下的循环流量很接近。在气量  $\geq 600$  L/min 时, 在相同上升管吹气量下吹气孔内径越小, 循环流量也越小。吹气量为 1 000 L/min 和 1 200 L/min 时, 采用 4 mm 的吹气孔内径比采用 6 mm 吹气孔内径的循环流量分别提高 12.7% 和 9.3%。吹气量为 1 000 L/min 和 1 200 L/min 时, 采用 3 mm 的吹气孔内径比采用 4 mm 吹气孔内径的循环流量分别提高 13.1% 和 10.7%。

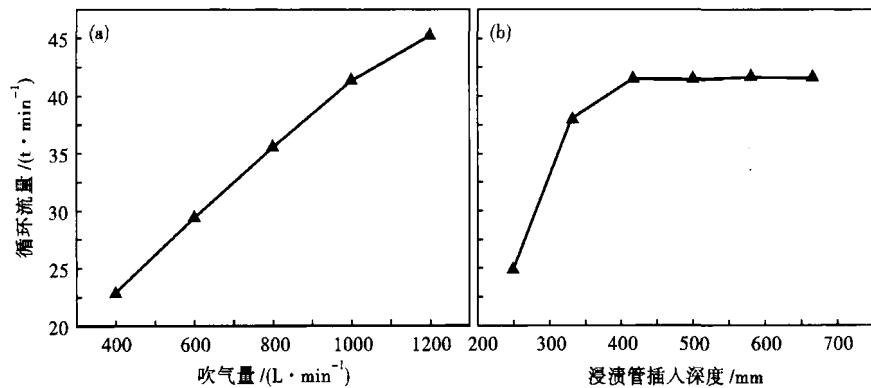


图 2 上升管吹气量(a)和浸渍管插入深度(b)对循环流量的影响

Fig. 2 Effect of blow rate in up-gas tube (a) and dipping depth of leg on circulation flow rate

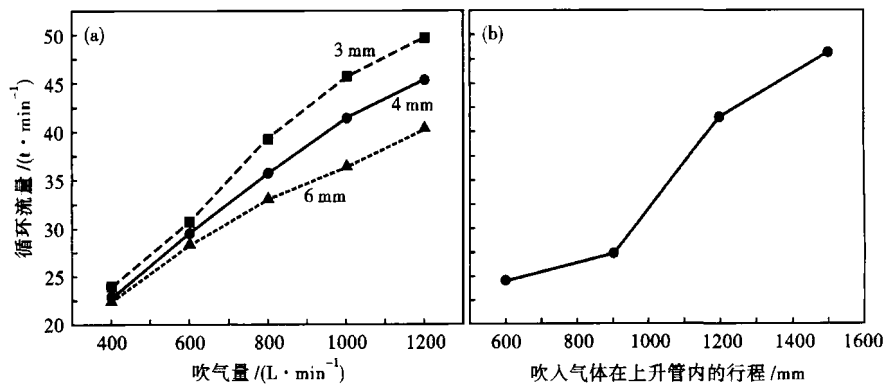


图 3 吹气孔内径(a)和吹入气体在上升管内行程(b)对循环流量的影响

Fig. 3 Effect of inner diameter of orifice (a) and traveling path of blowing up-gas (b) on circulation flow rate

在现有生产情况下,采用较小的吹气孔能够提高相同上升管吹气量时的循环流量,可以减小现场吹气孔内径至3 mm。

#### 2.4 吹气孔高度

吹气孔高度对应着吹入氩气在上升管内的行程,降低吹气孔高度使吹入氩气在上升管内的行程加长,有利于吹入氩气发挥驱动作用,增大循环流量。氩气在上升管内不同行程时循环流量的实验结果见图3(b),循环流量随着吹气行程的增加而增加,吹入的氩气在上升管内的行程为1 500 mm时的循环流量比吹入的氩气在上升管内的行程为1 200 mm时的循环流量增加16.4%。原吹气孔与上升管上口的距离(吹入的氩气在上升管内的行程)是1 200 mm,可以降低吹气孔的高度增加吹入气体在上升管内的行程来提高RH的循环流量。

#### 2.5 讨论

提高RH循环流量是在有限处理时间内提高RH冶金效果的重要手段,水模型实验结果表明:提高吹气量、减小吹气孔内径、增加吹气的行程可以提高RH循环流量,为保证钢水循环不受真空室钢水量影响,RH生产的浸渍管插入深度应该大于420 mm。综合以上实验结果,将原工艺的上升管吹气量改进为1 200 L/min、吹气孔内径改进为3 mm,RH循环流量为50.1 t/min,比原工艺提高20.7%,RH真空室每分钟更新的钢水量为总钢水量的71.6%;在此基础上将吹气行程改进为1 500 mm,RH循环流量为58.3 t/min,比原工艺提高40.6%,RH真空室每分钟更新的钢水量为总钢水量的83.3%。

### 3 RH精炼优化效果工业实验

利用以上的实验结果对钢厂RH精炼工艺参数进行优化:(1)提高上升管吹气量至1 200 L/min;(2)吹气孔内径减少至3 mm;(3)保证浸渍管插入

深度 $\geq 420$  mm。

对RH优化的效果进行工业现场对比试验,工艺为转炉-LF-RH(70 t钢包)-连铸,结果如下:

(1)生产轴承钢时,RH前的 $[O]$ 为0.002 5%左右、 $[C]$ 为1%左右,在优化RH工艺前后各取5炉进行对比分析,结果表明,经优化RH工艺参数后,钢液平均 $[O]$ 比原工艺条件下的降低0.000 3%,RH精炼结束后夹杂物尺寸和数量比原来有所减少;

(2)生产拉丝用超低碳钢时,RH前的 $[O]$ 为0.065%左右、 $[C]$ 为0.04%左右,经优化RH工艺参数后,可以将碳含量降低到0.002%以下,比优化前的脱碳时间明显减少,脱碳效果显著改善。

### 4 结论

(1)钢厂RH原生产工艺钢水循环流量为41.4 t/min,真空室每分钟更新的钢水量为总钢水量的59.1%,而国内外先进钢铁企业已达到70%以上,有进一步提高的潜力。

(2)在实验范围内,循环流量随着上升管吹气量的增加而增加;降低吹气孔高度使吹入氩气在上升管内的行程加长,从而增大循环流量;在气量小于600 L/min时,在相同上升管吹气量下不同吹气孔内径下的循环流量很接近;在气量大于600 L/min时,在相同上升管吹气量下吹气孔内径越小,循环流量也越小;浸渍管插入深度小于420 mm时,循环流量随着浸渍管插入深度的增加而显著增加;浸渍管插入深度大于420 mm时,循环流量受浸渍管插入深度的影响很小。

(3)将RH原工艺的上升管吹气量改进为1 200 L/min、吹气孔内径改进为3 mm进行工业实验,试验结果表明钢厂RH精炼工艺参数优化后的冶金效果有所改善,精炼效率有所提高。

“十一五”国家科技支撑计划课题(2006BAE03A06)

#### 参考文献

- 1 梶冈博幸. 炉外精炼. 李宏,译. 北京:冶金工业出版社,2002
- 2 Miki Y, Shimada Y. Model of Inclusion Removal during RH Degassing of Steel. *Ironmaking and Steelmaking*, 1997, 24(8):31
- 3 徐曾启. 炉外精炼. 北京:冶金工业出版社,1994
- 4 区铁. 提高RH真空处理的精炼效率. *钢铁*, 1996, 31(5):17
- 5 彭一川,李洪利,刘爱华,等. RH水模型的理论及实验研究. *钢铁*, 1994, 29(12):12
- 6 Hanna R K. Circulation Characteristic of RH Degassing Vessel Water Model. *Ironmaking and Steelmaking*, 1994, 21(1):37
- 7 齐凤升,王承阳,李宝宽. RH真空循环脱气装置水模型循环流量的实验分析. *材料与冶金学报*, 2002(4):271
- 8 Chizuna Kamata, Hideaki Matsumura, Hiroshi Miyasaka. Cold Model

- Experiments on the Circulation Flow in RH Reactor Using a Laser Doppler Velocimeter. *Steelmaking Conference Proceedings*, 1998:609
- 9 舒宏富,宋超,张晓峰,等. RH-MFB真空精炼过程中循环流量的物理模拟研究. *材料与冶金学报*, 2004(3):107
- 10 张先粹. 冶金传输原理. 北京:冶金工业出版社,1988

艾新港(1978-),男,博士生,2005年鞍山科技大学毕业(硕士),二次精炼技术研究。

收稿日期:2008-11-26