

## IF 钢 300 t RH 的生产实践

焦兴利<sup>1,2</sup> 王泉<sup>2</sup> 张虎<sup>2</sup>

(1 钢铁研究总院,北京 100081; 2 马鞍山钢铁股份有限公司,马鞍山 243000)

**摘要** IF 钢在 300 t RH 脱碳处理前要求控制转炉终点  $[C] \leq 0.06\%$ , 终点  $[O] 0.05\% \sim 0.08\%$ , 出钢温度  $1\ 680 \sim 1\ 700\ ^\circ\text{C}$ ; 吹氩站钢包顶渣的  $(\text{FeO})$  和  $(\text{CaO})/(\text{Al}_2\text{O}_3)$  分别由原来的 12.2% 和 6.7 降至 5.0% 和 1.7, 以增加其吸附夹杂的能力; 根据生产数据, 建立了 RH 脱碳操作的自动计算模型, 有效提高 RH 精炼过程各项技术指标的命中率, 使平均  $[O]$  和  $[C]$  分别由 RH 脱碳前的 0.046% 和 0.031% 降至 RH 脱碳终点的 0.035 0% 和 0.001 3%。

**关键词** IF 钢 生产实践 RH 脱碳模型

## Productive Practice of Refining with a 300 t RH Unit for IF Steel

Jiao Xingli<sup>1,2</sup>, Wang Quan<sup>2</sup> and Zhang Hu<sup>2</sup>

(1 Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081; 2 Ma'anshan Iron and Steel Co Ltd, Ma'anshan 243000)

**Abstract** Before decarbonizing refining IF steel by a 300 t RH unit, it is required to control converter end  $[C] \leq 0.06\%$ , end  $[O] 0.05\% \sim 0.08\%$  and tapping temperature  $1\ 680 \sim 1\ 700\ ^\circ\text{C}$ ; at argon injection station the  $(\text{FeO})$  and  $(\text{CaO})/(\text{Al}_2\text{O}_3)$  of ladle slag are modified and decreased respectively from original 12.2% and 6.7 to 5.0% and 1.7 to increase its ability to adsorb inclusions. Based on production data, an auto-calculation model for RH decarburizing operation is established effectively to improve the percentage of hits of each technical index during RH refining, and the average  $[O]$  and  $[C]$  decrease respectively from 0.046% and 0.031% at the beginning of RH decarburizing to 0.035 0% and 0.001 3% at end of RH decarburizing.

**Material Index** IF Steel, Production Practice, RH, Decarburization Model

IF 钢是高级汽车用板中的典型钢种, 是衡量一个国家汽车钢板生产水平的重要标志之一, 目前以 IF 钢为基础发展起来的高耐腐蚀性能深冲热镀锌 IF 钢板、冲高强度 IF 钢板、深冲高强度烘烤硬化 IF 钢板等系列超低碳钢, 已广泛应用于汽车内板与面板的生产<sup>[1]</sup>。

马钢第四钢轧总厂(以下简称四钢轧)于 2007 年 3 月建成投产, 该厂拥有 2 座 300 t 顶底复吹转炉、1 座 300 t 双工位 LF 炉、1 座 300 t 双工位 RH 精炼炉、2 台双流连铸机, 其主要产品为高级别汽车用板、管线钢、家电板及造船用板等。

四钢轧 IF 钢生产工艺为: 铁水预处理→BOF 转炉吹炼→吹氩站→RH 真空精炼→连铸→热轧→冷轧。在 IF 钢生产初期, 各工序工艺控制不稳定, 表现为 RH 吹氧升温量大、脱碳终点活度氧高、铝粒用量大、连铸结瘤严重等。经过四钢轧炼钢区从转炉炼钢、钢包管理、RH 真空处理及连铸各工序的工艺优化, 提高了各工序的控制能力, 稳定了 IF 钢的生产, 提高了钢水质量。

### 1 转炉终点控制

转炉终点是钢水的温度、碳含量、氧含量对后续

工序和钢水的纯净度至关重要, 为减少 RH 化学升温, 四钢轧采取转炉高温出钢、RH 吹氧脱碳的工艺来保证钢水纯净度, 转炉终点成分控制要求为  $(\%)$ :  $\leq 0.06[C]$ 、 $0.05 \sim 0.08[O]$ 、 $\leq 0.01[P]$ 、 $\leq 0.01[S]$ , 钢水温度  $1\ 680 \sim 1\ 700\ ^\circ\text{C}$ 。

### 2 吹氩站工艺控制

IF 钢在吹氩站主要完成对钢包顶渣的变性作业, 钢水进站完成测温、取样作业后, 在弱搅拌的情况下加入改质剂对钢包顶渣进行改制, 钢包顶渣在改制前后的典型渣样数据见表 1。

表 1 IF 钢吹氩站改制前后典型顶渣成分

Table 1 Ingredient of ladle slag before and after modifying for IF steel at argon injection station

工艺	渣样成分/%								CaO/ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	FeO	
改制前	7.3	11.9	6.3	49.4	2.2	1.2	0	12.2	6.7
改制后	26.0	12.0	10.0	44.5	1.6	0.4	0	5.0	1.7

从表 1 可以看出, 通过吹氩站改制后的钢包顶渣 FeO 含量明显降低, 这对保证 RH 处理结束后 Als 的烧损、减少连铸因为 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 夹杂物结瘤的发生起

到了积极的作用,且CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>比例平均控制在1.7,说明顶渣具备较强的吸附夹杂的能力,能有效提高钢水洁净度<sup>[2]</sup>。

### 3 RH工艺控制

#### 3.1 RH脱碳模型

RH根据钢水初始碳含量、氧含量及钢水温度的不同,处理方式也有所不同,温度高需加调温废钢降温;碳含量高、氧含量低需吹氧脱碳;而碳含量低、氧含量高时,则需加碳粉脱氧。

四钢轧根据近几年的IF钢RH生产经验,开发了RH脱碳过程的自动计算模型,模型能根据钢水初始条件,计算出吹氧量、调温废钢加入量、脱氧碳粉加入量及铝粒加入量等,有效提高了RH处理过程各项技术指标的命中率。

脱碳模型建立依据为:

(1)统计分析吹氩站到RH处理前钢水碳含量变化规律,模型预测RH处理前钢水初始碳含量;

(2)统计分析RH处理过程钢水温度变化规律,模型预测为保证处理终点钢水温度需化学升温的吹氧量;

(3)统计分析RH处理过程钢水温度变化规律,模型预测为保证处理终点钢水温度需加入的降温废钢用量;

(4)统计分析RH真空槽耐火材料向钢水中传氧、钢水初始温度、初始活度氧及初始碳含量,模型预测为保证终点钢水碳含量符合要求需强制脱碳所需的吹氧量或脱氧碳粉加入量。

从表2数据可以看出,RH脱碳模型完全能够适应实际生产要求,且模型计算值与实测值符合度较高,对实际生产有较强的指导价值。

表2 RH脱碳生产实测值与模型计算值对比

Table 2 Comparison between RH decarburizing model calculation value and production measure value

序号	生产实测值							模型计算值			
	钢水RH初始温度/℃	钢水初始[C]/%	钢水初始[O]/10 <sup>-6</sup>	吹氧量/m <sup>3</sup>	降温废钢加入量/kg	脱氧C粉加入量/kg	脱碳终点钢水[O]/10 <sup>-6</sup>	钢水初始[C]/%	吹氧量/m <sup>3</sup>	降温废钢加入量/kg	脱碳终点钢水[O]/10 <sup>-6</sup>
1	1 624	0.049	321	310	1 000	0	280	0.051	335	1 275	320
2	1 610	0.039	277	150	0	0	310	0.040	170	0	320
3	1 626	0.043	257	180	1 700	0	272	0.039	200	1 725	320
4	1 609	0.042	338	200	0	0	313	0.039	185	0	320
5	1 619	0.032	344	60	0	0	334	0.030	80	0	320

从表3中数据可以看出,RH生产IF钢水初始条件中,钢水温度基本能满足生产要求,RH平均化学升温吹氧量仅24 m<sup>3</sup>,钢水氧含量不能满足自然脱碳的要求,RH需吹氧强制脱碳,平均吹氧量为99 m<sup>3</sup>,脱碳终点平均氧含量为0.035 0%,终点碳含量平均为0.001 3%,各项数据都能满足IF钢生产要求。

表3 RH生产IF钢各项指标平均值

Table 3 Average value of each index for IF steel refining by RH

进站温度/℃	初始[O]/%	初始[C]/%	脱碳吹氧量/m <sup>3</sup>	升温吹氧量/m <sup>3</sup>	总加Al量/kg	脱碳终点[O]/%	脱碳终点[C]/%
1 620	0.046	0.031	99	24	341	0.035 0	0.001 3

#### 3.2 RH真空度及提升气体控制

在RH脱碳前期,由于碳氧反应剧烈,易引起钢水喷溅,为防止喷溅造成的热弯管结渣及插入管的耐火材料损伤,需要合理控制真空度和提升气体,即保证一定脱碳速率,又能有效防止喷溅<sup>[3]</sup>。RH生产过程钢水碳含量变化如图1(a)所示。

由图1(a)中数据可以看出,RH真空处理前6 min脱碳速率较大,因此插入管内反应也是最剧烈的时期,为防止喷溅的发生,四钢轧根据近几年的生产经验,确定了真空度与提升气体控制的曲线,如图1(b,c)所示。

#### 3.3 RH工序增碳(ΔC)控制

##### 3.3.1 调温废钢增碳

如果钢水在RH处理开始时温度过高,在处理过程中需加入调温废钢进行降温,这样会导致钢水中碳含量增加,在脱碳后期加入废钢降温必须延长脱碳时间以保证钢水不增碳,但会导致处理周期的延长,影响生产顺行。RH脱碳后期脱碳反应可以从烟气分析仪器中的浓度变化间接反映,如图2所示。

从图2中可以看出,烟气分析中CO含量在真空处理16 min时已经低到0.5%,此时可以确定脱碳反应已经结束,但是在真空处理17 min时加入了调温废钢,真空处理达到18 min时,烟气分析中的CO含量又升高到了4.6%,等CO含量再次降低到0.5%时,真空处理时间已经达到了26 min,这说明

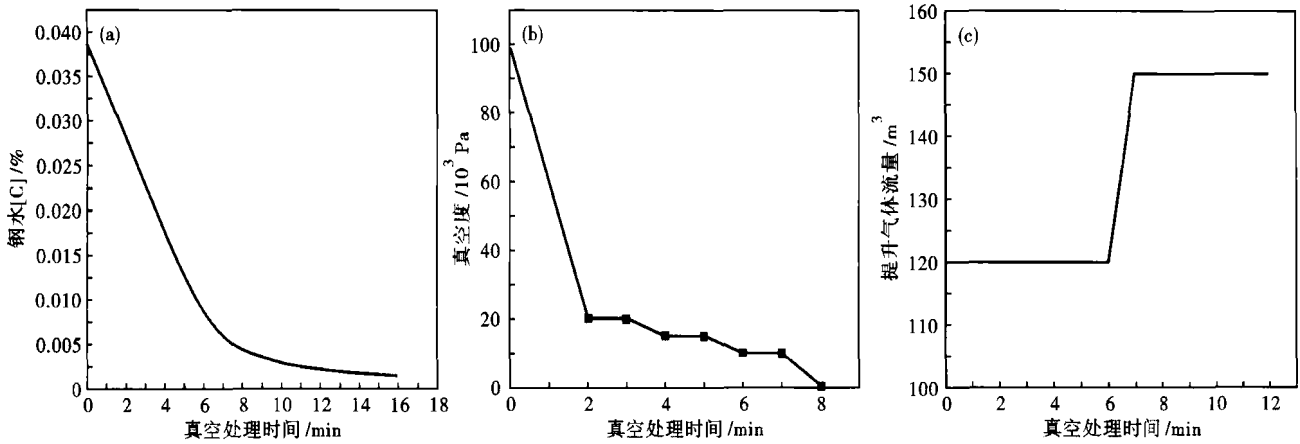


图 1 RH 脱碳曲线(a)、真空度控制曲线(b)和提升气体流量控制曲线(c)

Fig.1 RH decarburizing curve (a), vacuum control curve (b) and raising gas flow rate control curve (c)

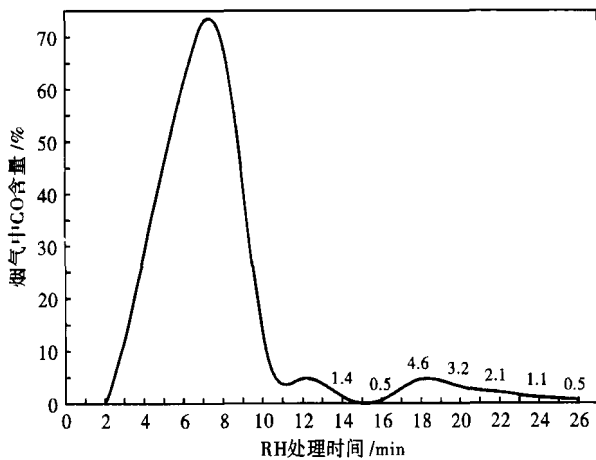


图 2 RH 脱碳过程烟气 CO 含量曲线图

Fig.2 Curve of CO content in exhaust gas during RH decarburizing process

为了消除废钢对钢水增碳的影响, RH 真空脱碳时间延长了 10 min。

因此,调温废钢需在脱碳结束前 6 min 加入,尽量避免脱碳后期甚至是合金化后加入。

### 3.3.2 合金增碳(ΔC)控制

IF 钢脱碳结束后需加入铝粒进行完全脱氧,此后脱碳反应非常微弱,合金化对钢水带来的增碳(ΔC)将不能够消除,因此必须严格控制合金的碳含量。四钢轧 IF 钢常用合金为电解锰和钛铁(70),其合金加入量与增碳量数据对应如表 4 所示。

从表4中可以看出,两种合金对钢水增碳总量

小于0.000 1%,对 IF 钢终点碳含量基本没有影响。

### 3.4 四钢轧 IF 钢终点碳含量控制水平

四钢轧工艺技术标准要求 IF 钢终点碳含量小于 0.004 0%,生产数据表明,现场生产的 IF 钢终点碳含量完全满足技术要求:终点碳含量 ≤ 0.004 0%,占 100%; ≤ 0.003 0%,占 98.6%; ≤ 0.002 0%,占 78.5%。且平均终点碳含量达到 0.001 6%,实现了超低碳的生产。

## 4 结论

(1)严格控制转炉[C]、[O]平衡,转炉终点要求[C] ≤ 0.06%,温度控制在1 680 ~ 1 700 ℃。

(2)在吹氩站对 IF 钢顶渣进行改质,改质后顶渣中 FeO 控制在 5% 左右, CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 比例平均控制在 1.7,使顶渣具备较好的吸附夹杂的能力。

(3)通过 RH 脱碳模型的使用、真空度控制优化、提升气体控制优化以及调温废钢、合金碳含量等措施,使四钢轧 IF 钢终点碳含量 100% 小于 0.004 0%,平均碳含量达到 0.001 6% 的水平,实现了超低碳的生产。

### 参考文献

- 1 陈 亮,陈天明,张桂芳,等. IF 钢碳含量不稳定因素分析. 钢铁钒钛, 2009, 30(1): 68
- 2 赵 沛,成国光,沈 魁. 最新炉外精炼及铁水预处理新工艺、新技术实用手册. 北京:冶金工业出版社, 2004
- 3 武贵生,杨嘉瑞. RH 脱碳过程喷溅控制. 太钢科技, 2001(1): 19

焦兴利(1970-),男,博士研究生,高级工程师,洁净钢的生产研究。

表 4 合金加入量对 IF 钢水增碳量的影响

Table 4 Effect of amount of alloys addition on recarburization in liquid IF steel

合金名称	C/%	加入量/kg	钢水增碳 Δ[C]/%
FeTi(70)	0.07	270	0.000 06
Mn(DJ)	0.01	580	0.000 02

收稿日期:2010-06-03