

· 工艺技术 ·

## 转炉出钢增碳剂和 RH 精炼对高碳钢 SWRH82B 洁净度的影响

刘辉杰<sup>1</sup> 付 军<sup>1</sup> 王国君<sup>1</sup> 贺洪印<sup>2</sup> 刘海涛<sup>2</sup> 陈伟庆<sup>2</sup>

(1 新余钢铁公司技术中心, 新余 338001; 2 北京科技大学冶金与生态工程学院, 北京 100083)

**摘 要** 通过分析高碳钢 SWRH82B 生产过程钢样中总氧、氮含量及显微夹杂物的变化, 对比了 BOF-普通增碳剂-LF-RH-CC, BOF-普通增碳剂-LF-CC 和 BOF-低氮增碳剂-LF-CC 三种精炼工艺对洁净度的影响。结果表明, 增碳剂种类对转炉出钢增氮有显著影响, 使用低氮增碳剂(含 0.040 0% N)在不用 RH 处理条件下, 可控制钢中低氮含量(LF 终点 0.002 3% N); 使用普通增碳剂(0.500 0% N)导致钢中氮含量增高(LF 终点 0.005 3% N), RH 终点钢中 N% 可降至 0.003 3%; 是否采用 RH 处理, 对钢中总氧含量无明显影响; 在采用低氮增碳剂基础上不用 RH 处理, 可控制铸坯中总氧  $\leq 20 \times 10^{-6}$ 、氮含量为  $41 \times 10^{-6}$ 。

**关键词** 转炉 高碳钢 SWRH82B 增碳剂 RH 洁净度

### Effect of Carburetant in BOF Tapping and RH Refining on Cleanliness of High Carbon Steel SWRH82B

Liu Huijie<sup>1</sup>, Fu Jun<sup>1</sup>, Wang Guojun<sup>1</sup>, He Hongyin<sup>2</sup>, Liu Haitao<sup>2</sup> and Chen Weiqing<sup>2</sup>

(1 Technical Center, Xinyu Iron and Steel Co Ltd, Xinyu 338001;

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

**Abstract** The effect of three refining processes i. e. BOF-common carburetant-LF-RH-CC, BOF-common carburetant-LF-CC and BOF-low nitrogen carburetant-LF-CC on cleanliness of steel is compared by analysis on change of total oxygen content  $T[O]$ , nitrogen content  $[N]$  and micro inclusions in high carbon steel SWRH82B during steelmaking process. Results indicate that the effect of type of carburetant adding during BOF tapping on increment of nitrogen content in steel is obvious, and the lower nitrogen content in steel (0.002 3% N at end LF) could be got without RH degassing treatment by using low nitrogen carburetant (0.040 0% N); using common carburetant (0.500 0% N) leads to increase the nitrogen content in steel (end LF 0.005 3% N), RH end N% in steel decreases to 0.003 3%; whether the RH process is used or not has no notable influence on  $T[O]$ ; and based on using low nitrogen carburetant without RH treatment, the total oxygen content and nitrogen content in billet could be controlled respectively to  $\leq 20 \times 10^{-6}$  and  $41 \times 10^{-6}$ .

**Material Index** BOF, High Carbon Steel SWRH82B, Carburetant, RH, Cleanliness

高碳钢 SWRH82B 主要用于预应力钢丝、预应力钢绞线等高强度线材产品<sup>[1]</sup>, 洁净度要求较高。钢中氮含量、总氧和非金属夹杂物是影响高碳硬线钢质量的重要因素<sup>[2]</sup>, 本文研究了 SWRH82B 生产过程中采用不同精炼工艺时, 冶炼→精炼→连铸过程钢中氮含量、总氧和非金属夹杂物的变化规律。

#### 1 试验方法

为对比不同精炼工艺对 82B 钢中氮含量、总氧、非金属夹杂物的影响, 试验采用如下 3 种工艺:

工艺 1- 100 t 转炉→出钢用普通增碳剂→100 t LF→100 t RH→160 mm × 160 mm 方坯连铸; 工艺 2- 100 t 转炉→出钢用普通增碳剂→100 t LF→160 mm × 160 mm 方坯连铸; 工艺 3- 100 t 转炉→出钢用低氮增碳剂→100 t LF→160 mm × 160 mm 方坯连铸。

在上述 3 种工艺生产过程中分别取过程钢样, 测定钢样中总氧、氮含量, 然后在金相显微镜下对钢

样中氧化物夹杂的数量和尺寸进行统计研究。

钢种化学成分、普通增碳剂、低氮增碳剂、LF 精炼渣和转炉终点成分见表 1, 普通增碳剂、低氮增碳剂的加入量依转炉终点碳含量而定。

单位面积上显微夹杂物数量  $I$  (换算成当量直径为 5  $\mu\text{m}$ ) 由公式(1)计算:

$$I = \frac{\sum n_i D_i}{\frac{\pi}{4} \times B \times D^2 \times N} \quad (1)$$

式中:  $I$ - 单位面积上当量直径  $B$  的夹杂物个数, 个/ $\text{mm}^2$ ;  $D_i$ - 不同显微夹杂物的直径;  $n_i$ - 不同直径显微夹杂物的个数,  $i = 1, 2, 3 \dots$ ;  $B$ - 显微夹杂物的当量直径, 取 5  $\mu\text{m}$ ;  $D$ - 视场直径,  $D = 0.24 \text{ mm}$ ;  $N$ - 视场数, 本试验取 50 个视场。

#### 2 试验结果与分析

##### 2.1 过程钢样中氮含量变化

表 1 钢种化学成分和增碳剂、精炼渣以及转炉终点成分/%  
Table 1 Chemical composition of steel grade, carburentant, refining slag and end BOF liquid / %

钢种化学成分						普通增碳剂				低氮增碳剂				LF 炉精炼渣				转炉终点					
C	Si	Mn	P	S	Cr	C	H <sub>2</sub> O	S	N	C	H <sub>2</sub> O	S	N	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	FeO+MnO	C	Si	Mn	P	S
0.81~0.83	0.21~0.25	0.74~0.76	≤0.001	≤0.002	0.17~0.21	91	<1	<0.035	0.500	98	<1	<0.035	0.040	55	15	10	8	<1	0.20~0.35	≤0.01	0.11~0.19	0.006~0.031	0.012~0.023

由图 1 可看出:(1)采用工艺 1 时,由于转炉出钢过程使用普通增碳剂,增氮  $29 \times 10^{-6}$ ,随后的 LF 精炼增氮  $7 \times 10^{-6}$ ,而 RH 真空处理后脱氮  $20 \times 10^{-6}$ (钢中氮为  $33 \times 10^{-6}$ ),但由于浇铸过程保护浇铸控制不当增氮  $19 \times 10^{-6}$ ,氮含量又回升到  $54 \times 10^{-6}$  的较高水平。

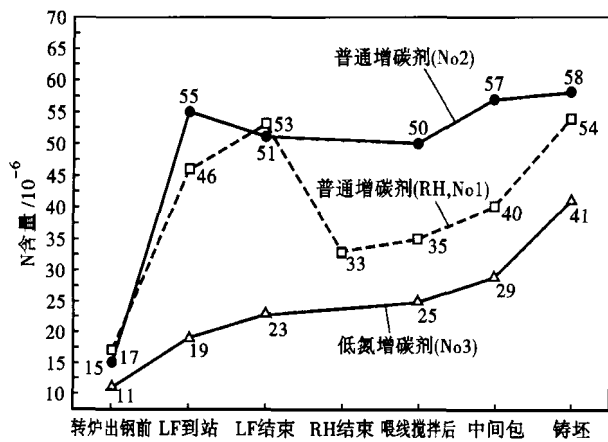


图 1 3 种不同工艺过程 [N] 的变化  
Fig. 1 Change of [N] in steelmaking with three kinds of process

(2)采用工艺 2 时,转炉出钢→LF 到站出现显著增氮现象,由于出钢加入的普通增碳剂中含有较高的氮,造成出钢过程增氮  $40 \times 10^{-6}$ 。在 LF 精炼和浇铸过程仅增氮  $3 \times 10^{-6}$ ,但最终铸坯中的氮含量仍达到  $58 \times 10^{-6}$ 。

(3)采用工艺 3 时,由于转炉出钢时使用低氮增碳剂,从转炉出钢至 LF 到站仅增氮  $8 \times 10^{-6}$ 。随后的 LF 精炼仅增氮  $4 \times 10^{-6}$ ,但由于浇铸过程保护浇铸控制不好,造成增氮  $16 \times 10^{-6}$ ,但最终铸坯氮含量为  $41 \times 10^{-6}$ ,是 3 种工艺中氮含量最低的。

分析对比可以得出:

(1)使用低氮增碳剂对控制转炉出钢增氮有显著效果;采用低氮增碳剂时,不用 RH 真空处理,仍然可以将钢中氮控制到低含量;

(2)钢液氮含量较高时,浇铸过程增氮较少;钢液氮含量较低时,浇铸过程增氮显著。因此浇铸低氮含量的钢液,保护浇铸的严格控制更加重要。

## 2.2 过程钢样中总氧含量变化

由图 2 可看出:(1)LF 到站的钢中总氧含量与转炉出钢前氧含量有关,工艺 1、2、3 的转炉出钢前钢中氧含量分别为  $360 \times 10^{-6}$ 、 $260 \times 10^{-6}$ 、 $87 \times 10^{-6}$ ,相应 LF 到站的钢中总氧含量分别为  $41 \times 10^{-6}$ 、 $50 \times 10^{-6}$ 、 $25 \times 10^{-6}$ 。表明转炉出钢氧含量较高时,相应 LF 到站的钢中总氧含量也高,这是因为出钢氧含量高,脱氧后产生的夹杂物就多,所以采用高碳出钢有利于降低钢中氧含量,也减少了脱氧后钢中的氧化物夹杂。

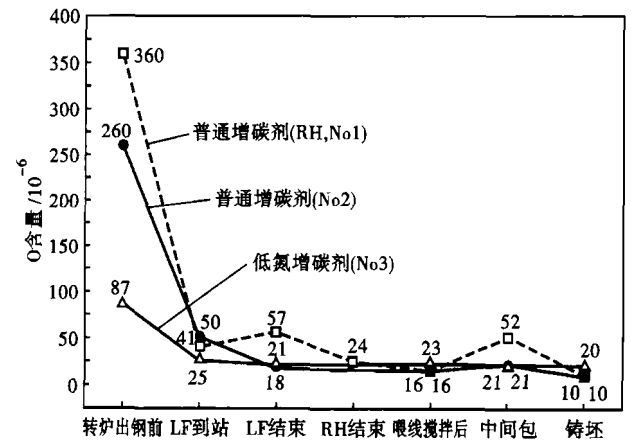


图 2 3 种不同工艺过程 T[O] 的变化  
Fig. 2 Change of T[O] in steelmaking with three kinds of process

(2)工艺 1 冶炼的炉次在 LF 精炼过程中总氧增加  $16 \times 10^{-6}$ ,可能与该炉钢精炼过程中白渣没造好,脱氧不充分有关(该炉次 LF 结束渣样中  $T_{Fe}$  含量较高,为 1.24%;而工艺 2 的炉次 LF 结束渣样中  $T_{Fe}$  只有 0.58%)。

(3)中间包到铸坯过程中,总氧含量显著降低,说明在中间包和结晶器内有夹杂物大量上浮。

(4)3 炉钢最终铸坯中的总氧均  $\leq 20 \times 10^{-6}$ ,说明有无 RH 处理都可使钢中总氧含量达到冶炼要求;同时工艺 2 和工艺 3 两炉次,中间包取的成品样中总氧含量均为  $21 \times 10^{-6}$ ,说明使用两种增碳剂对钢中总氧含量无影响。

## 2.3 过程钢样的显微夹杂物变化

从图3可看出:(1)3炉钢各过程样显微夹杂物的平均直径均在 $5\mu\text{m}$ 以下,波动在 $2.6\sim 3.7\mu\text{m}$ 。

(2)工艺1和工艺2冶炼的两炉钢,出钢前至LF到站过程,夹杂物的平均直径和当量直径个数均有明显减小,说明此过程大量较大尺寸脱氧产物上浮去除;而工艺3冶炼的一炉钢,出钢到精炼结束过程,钢中夹杂物平均直径变化与其它两种工艺不同,

这是因为工艺3在出钢前的钢中氧含量较低( $87\times 10^{-6}$ ,见图2),出钢前的钢中夹杂物的尺寸较小,在出钢过程中产生的脱氧产物造成夹杂物尺寸增加,并在LF精炼过程中夹杂物继续聚集长大并上浮去除(此过程夹杂物当量直径个数明显减少,见图3b)。

(3)从LF进站到LF结束,工艺2和工艺3的

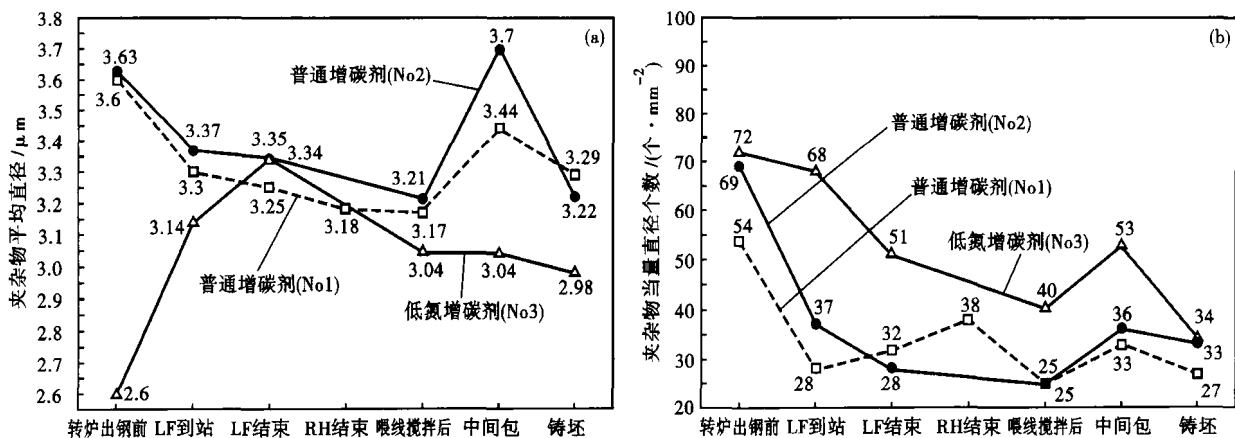


图3 3种不同工艺下显微夹杂物直径(a)和当量直径个数(b)

Fig.3 Average diameters (a) and number of equivalent diameter (b) of micro inclusions in steel with three kinds of process

钢中显微夹杂物当量直径个数明显减少;而工艺1在LF精炼过程的夹杂物数量则增加,对应图2中工艺1在此过程中总氧也增加,原因是该炉白渣没造好(LF结束渣样中 $T_{Fe}$ 含量较高,为 $1.24\%$ )。

(4)LF精炼结束至喂线软搅拌后,夹杂物的平均直径减小且当量直径个数减少,说明精炼后合适的吹氩软搅拌,可以促进较大尺寸的夹杂物上浮<sup>[3]</sup>。

(5)喂线软搅拌结束到中间包,夹杂物尺寸和当量直径个数均有明显增加,可能是由于取样位置在中间包内夹杂物上浮聚集区。

(6)中间包到连铸坯,夹杂物直径和当量直径个数均明显减小。

(7)是否采用RH处理,对夹杂物直径和当量直径个数的影响不大。

### 3 结论

(1)冶炼SWRH82B时,前期增氮主要发生在转炉出钢增碳过程,使用的增碳剂种类对钢液增氮有显著影响,采用低氮增碳剂可显著降低出钢增氮量。

(2)使用普通增碳剂造成钢液氮含量高时,采用RH处理可得到较好脱氮效果;采用低氮增碳剂时可以取消RH处理。

(3)钢液氮含量高时,浇铸过程增氮较少;钢液氮含量低时,浇铸过程增氮量显著增加,因此严格控制保护浇铸对冶炼低氮钢有重要作用。

(4)是否采用RH处理,对82B钢中总氧含量无明显影响。使用低氮增碳剂或普通增碳剂,对钢中总氧含量无影响。

(5)3种工艺冶炼对钢中夹杂物控制无明显区别,转炉高碳低氧出钢、LF精炼白渣控制、吹氩软搅拌、中间包和结晶器中的上浮对钢中夹杂物的数量和尺寸的控制有重要影响。

(6)建议采用工艺3,即使用低氮增碳剂,在不用RH处理的条件下,可控制铸坯中总氧 $\leq 20\times 10^{-6}$ 、氮为 $41\times 10^{-6}$ 。

### 参考文献

- 张翔.高碳钢82B线材的质量改进.轧钢,2001,18(4):20
- 蔡开科.转炉-精炼-连铸过程钢中氧的控制.钢铁,2004,39(8):49
- 冯军,陈伟庆.提高高碳钢洁净度的冶炼工艺研究.炼钢,2005,21(6):41

刘辉杰(1962-),男,高级工程师,1983年江西理工大学毕业,棒线材钢种研发。

收稿日期:2010-12-20