

50 t EBT EAF-LF(VD) -CC 流程冶炼 25MnB 钢终点 B 控制的工艺实践

杨钢铁

(南通宝钢钢铁有限公司,南通 226002)

摘要 通过电弧炉配加 25~36 t 炉铁水,出钢加 100 kg 铝铁预脱氧,LF 精炼过程精炼渣碱度 ≥ 4 ,喂 Al 线(目标 0.015% Al)后加钛铁(目标 0.04% Ti),VD 后加硼铁,软吹氩 5~10 min,连铸全程保护浇铸等工艺措施,25 炉 25MnB 钢($\% : 0.23 \sim 0.28\text{C}, 0.15 \sim 0.35\text{Si}, 1.00 \sim 1.30\text{Mn}, 0.0005 \sim 0.0030\text{B}, \leq 0.065\text{Ti}$) $\Phi 180$ mm 圆坯的 O 含量为 $8 \times 10^{-6} \sim 13 \times 10^{-6}$,N 含量为 $30 \times 10^{-6} \sim 49 \times 10^{-6}$,B 含量 0.0015%~0.0024%,B 的回收率可达 90%,有效地改善了 B 的控制精度和 25MnB 钢成品 B 的命中率。

关键词 50 t EBT EAF-LF(VD) -CC 流程 25MnB 钢 B 含量控制 工艺实践

Process Practice for End B Control of Steel 25MnB Steelmaking by 50 t EBT EAF-LF (VD) -CC Flow Sheet

Yang Gangtie

(Nantong Baosteel Iron and Steel Co Ltd, Nantong 226002)

Abstract With the process measures including EAF charging hot metal 25~36 t/heat, during tapping adding 100 kg ferroaluminium to pre-deoxidizing, controlling refining slag basicity ≥ 4 during LF refining, after feeding Al wire (aim 0.015% Al) adding ferrotitanium (aim 0.04% Ti), after VD adding ferrobore and soft argon blowing for 5~10 min, and whole process shielding casting, the 25 heats production results show that in $\Phi 180$ mm round billet of steel 25MnB ($\% : 0.23 \sim 0.28\text{C}, 0.15 \sim 0.35\text{Si}, 1.00 \sim 1.30\text{Mn}, 0.0005 \sim 0.0030\text{B}, \leq 0.065\text{Ti}$) the oxygen content is $8 \times 10^{-6} \sim 13 \times 10^{-6}$, the nitrogen content is $30 \times 10^{-6} \sim 49 \times 10^{-6}$ and the boron content is 0.0015%~0.0024%, and the yield of boron is up to 90%, it is available to improve the control extent of boron content and the hitting accuracy of B in finishing steel 25MnB.

Material Index 50 t EBT EAF-LF (VD) -CC Flow Sheet, Steel 25MnB, Control of Boron Content, Process Practice

25MnB 是硼钢中一个有代表性的钢种,被广泛应用于石油、化工、机械、交通等各个领域。相关研究证明,微量 B 能显著提高钢的淬透性,其效果是其他合金元素如 Cr、Ni、Mn 的几十倍甚至几百倍^[1-2]。当 B 含量在 0.0005%~0.0030% 时,其效果最佳。高温下 B 是一种极其活泼的元素,易与钢中残留的 N、O 发生反应生成稳定的化合物,一般情况下 B 的收得率较低,而且波动大,难以控制,因此,能否实现对 B 的精准控制成为硼钢冶炼的关键。

1 主要工艺设备

南通宝钢钢铁有限公司有 2 座公称容量为 50 t 的 EBT 电弧炉,变压器视载功率 30 000 kVA。每座电弧炉配 1 把炉门氧枪和 3 把集束氧枪。每座电弧炉对应 1 座 LF 钢包精炼,额定容量 50 t,变压器视载功率 9 000 kVA,配 1 台 WX-6S 型喂丝机和 1 台 G6 数控吹氩机,喂线速度 3~360 m/min,可单流或双流将线材喂入钢液中,钢包底吹氩流量可随意调节。生产线配 45 t 双工位 VD 真空精炼炉 1 座,平

均处理周期 30~45 min,工作真空度 67 Pa,极限真空度 20 Pa,抽气能力 260 kg/h。1 台四机四流全弧型方圆兼容连铸机,弧形半径 8 m,可生产直径 150, 160, 180, 200 mm 和 150 mm \times 150 mm、200 mm \times 200 mm 六种断面的方、圆连铸坯。

2 生产工艺

2.1 内控成分

根据相关资料介绍,结合用户要求,综合考虑,25MnB 内控成分设计如表 1。

2.2 工艺流程

工艺流程:热装铁水 \rightarrow 50 t 电弧炉初炼 \rightarrow 50 t LF 精炼 \rightarrow 45 t 真空处理 \rightarrow 连铸。

2.3 关键工艺

2.3.1 电弧炉熔炼

电弧炉兑入 25~36 t 炉热装铁水,提高配碳量,保证电弧炉冶炼过程中有较大的脱碳量,提高电弧炉冶炼过程的脱气能力,出钢过程中钢包中加入 100 kg 铝铁进行沉淀脱氧,尽可能降低 LF 座包钢液

表 1 25MnB 钢的化学成分 / %
Table 1 Chemical composition of steel 25MnB / %

项目	C	Si	Mn	P	S	B	Al	Cr	Ni	Cu	Ti
用户要求	0.23 ~ 0.28	0.15 ~ 0.35	1.00 ~ 1.30	≤ 0.040	≤ 0.030	0.000 5 ~ 0.003 0	-	≤ 0.20	≤ 0.20	≤ 0.20	≤ 0.065
内控成分	0.24 ~ 0.27	0.17 ~ 0.28	1.10 ~ 1.20	≤ 0.025	≤ 0.010	0.001 0 ~ 0.002 8	0.008 ~ 0.040	≤ 0.20	≤ 0.20	≤ 0.20	0.02 ~ 0.05
目标	0.25	0.22	1.15	≤ 0.020	≤ 0.008	0.002 0	0.015	-	-	-	0.04

的原始气体含量。

2.3.2 LF 精炼

LF 精炼过程用电石和 AD 粉造白渣扩散脱氧, 确保精炼渣的碱度在 4 以上。渣白后取样, 并喂铝线 80 ~ 100 m/炉。吊包前按目标 [Al] 0.06% 二次喂铝线, 喂线后加入钛铁 (FeTi27) 120 kg/炉, 加完钛铁不得再通电。

2.3.3 VD 工艺

真空熔炼所得到的 B 回收率高且稳定^[3], 因此工艺要求在真空处理结束后再加硼铁调整硼。真空处理结束, 破空后, 适当加大氩气量, 将渣面吹开一个小口, 以目标成分为基准, 按 90% 收得率计算硼铁量, 一次性将硼铁从氩气口投入钢液, 随后调小氩气, 软吹氩 5 ~ 10 min。

2.3.4 连铸

连铸采用全保护浇铸。钢包采用氩气保护套管, 中间包用覆盖渣保护, 结晶器采用浸入式水口和保护渣浇铸。

无论是深度还原、两次插铝、钛铁合金化还是真空处理后加硼铁, 其核心在于控制影响 B 元素收得率的干扰因素, 从而保证 B 的精准控制。

3 试验结果及分析

3.1 试验结果

采用上述工艺共生产 25 炉 25MnB Φ180 mm 圆坯, 结果如图 1。

由图 1 可以看出, 采用试验工艺生产的 25MnB 成品 B 含量非常稳定, 最高 B 含量 24×10^{-6} , 最低

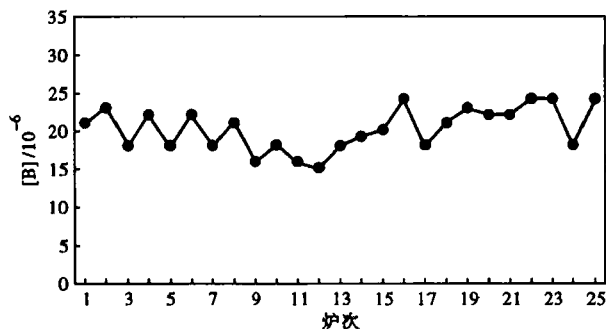


图 1 各炉次 25MnB 钢成品 B 含量的变化

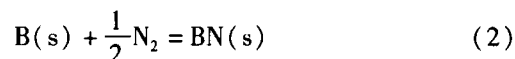
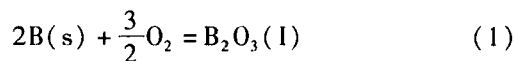
Fig.1 Variation of finishing boron content in steel 25MnB of sequence heats

15×10^{-6} , 平均 20.2×10^{-6} , 全部精准命中内控标准。

3.2 工艺分析

3.2.1 钢中氧、氮含量对终点硼的影响

含硼钢在冶炼过程中, 硼与钢中的 [O] 或 [N] 特别是 N 的亲合力很强^[4]。在冶炼条件下, B 能与钢液中的 O、N 发生反应, 其反应式如下:



因此, 在硼钢冶炼过程中, 首先要控制好钢液中的 O 含量和 N 含量。

3.2.2 钢液脱氧

由铁液中常见脱氧元素和 [O] 的氧平衡关系 (1600 °C)^[5] 可得, 在 1600 °C Al 和 Ti 的脱氧能力最强。

在扩散脱氧的基础上, 通过两次喂 Al、加 Ti 和真空处理, 其终点 O 含量如图 2。

由图 2 可以看出, 终点 [O] 已降至很低的水平, 据统计, 生产试验的 25 炉次平均 T[O] 为 10.52×10^{-6} , 最高 T[O] 为 13×10^{-6} , 最低 T[O] 为 8×10^{-6} , 而且比较稳定。

3.2.3 钢液 N 的控制

根据相关资料证明^[6-10], Ti 与 N 有更强的亲合力, 在加硼铁前加入适量 Ti 可减少 N 和 B 的结合。

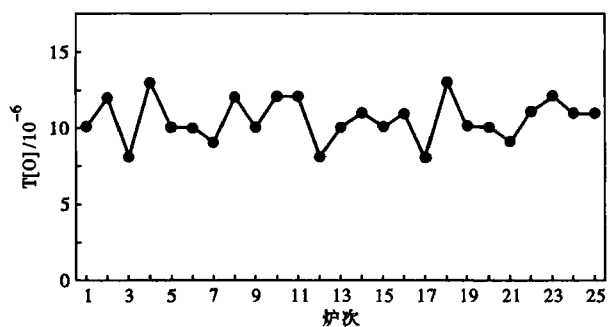


图 2 VD 处理结束时各炉次 25MnB 钢液中总氧含量的变化
Fig.2 Variation of total oxygen content in steel 25MnB liquid of sequence heats at end of VD process

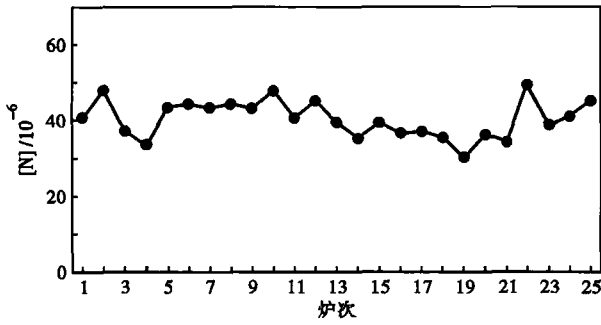


图 3 VD 处理结束时各炉次 25MnB 钢液 N 含量的变化
Fig.3 Variation of nitrogen content in steel 25MnB liquid of sequence heats at end of VD process

表 2 LF 精炼渣的成分 / %

Table 2 Ingredient of LF refining slag / %

炉号	SiO ₂	MnO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	TFe
B3470	8.44	0.13	59.33	4.11	19.64	0.42
C3515	11.56	0.10	59.61	3.73	19.84	0.36

增加 VD 工序可以降低成品中 N 含量^[6]。因此工艺上通过电弧炉增加脱碳量、LF 吊包加钎和真空处理等控制措施,最大限度地降低钢中 N 含量。25 炉试验钢中的终点 N 含量如图 3。

参考文献

[1] 刘仲礼,李言祥,陈祥,等. 硼、碳含量对高硼铁基合金组织和性能的影响[J]. 钢铁,2007,42(6):78-82.
 [2] 翟克勇,任永莉,王大业. 微量钒对低碳硼钢冲击性能的影响[J]. 西安建筑科技大学学报,1993,31(1):71-76.
 [3] 蒋军,赵平. 高硼钢中 B 回收率的影响因素分析[J]. 铸造,2009,58(1):75-76.
 [4] (日)守屋昭彦. 硼钢的特性[J]. 张健军,译. 冶钢译丛,1993(1):53-59.
 [5] 陈家祥. 炼钢常用图表数据手册[M]. 北京:冶金工业出版社,1984:593.
 [6] 田树生,易耀云,杨勇. 45B 含硼钢裂纹成因分析及改进[J]. 金属材料与冶金工程,2010,38(5):36-38.
 [7] 任元和. 冶金因素对硼钢中 B 回收率的影响[J]. 特殊钢,1992,

从图 3 可以看出,采取上述控制措施后,25 炉试验钢中的 N 含量很低,最高 49×10^{-6} ,最低 30×10^{-6} ,平均 40.08×10^{-6} 。这对提高 B 元素收得率非常有利。

3.2.4 精炼渣

精炼炉终渣成分如表 2。由表 2 可以看出,精炼渣碱度较高,TFe 较低,CaO 和 SiO₂ 含量相对稳定,Al₂O₃ 控制在 20% 左右,这种渣流动性好,吸附能力强,特别适宜钢的精炼和真空处理。

4 结论

(1)通过对 25MnB 钢冶炼过程中各种干扰因素的控制,钢中 T[O] 为 $8 \times 10^{-6} \sim 13 \times 10^{-6}$, [N] 为 $30 \times 10^{-6} \sim 49 \times 10^{-6}$,完全可以实现成品 B 的精准控制。

(2)在所有控制因素中,最关键控制因素是:降低 O、N 含量和 VD 后加入硼铁。

(3)该试验工艺钢中 B 含量为 0.0015% ~ 0.0024%,B 的收得率可达 80%,波动小,易控制,命中率高,离散小。

13(5):56-58.

[8] 马圣元. 提高硼铁熔炼质量[J]. 铸造技术,1992,6(5):30-31.
 [9] 张扬,赵宗鼎. 硼含量及其分布对 40MnB 钢冲击韧性的影响[J]. 天津理工学院学报,2000,16(1):23-27.
 [10] 刘常升,崔虹雯,陈岁元,等. 高硼钢的组织与性能[J]. 东北大学学报,2004,25(3):247-249.

杨钢铁(1958-),男,工程师,1981 年西安建筑学院(本科)毕业,炼钢工艺研究. E-mail:ygt1958@21cn.com

收稿日期:2013-10-11

“讲文明树新风”公益广告

绿色环保
爱我家园