

## 40MnB 合金钢硼含量的控制

郑桂芸 翟正龙 戈文英 张 伟  
(莱芜钢铁股份有限公司, 莱芜 271104)

**摘 要** 莱钢特钢厂用 50 t 电弧炉-LF(VD) 工艺生产 40MnB 钢。结果表明,通过保持 LF 精炼渣的渣碱度 3.0~5.5,喂 Al 线,并在 LF 精炼末期喂硅钙线,扒渣后 50 Pa VD 处理 35~40 min,VD 后喂 Al 线,再喂钛线,用铝皮包裹 FeB<sub>20</sub>C<sub>0.5</sub>-A 硼铁插入钢水中,软吹氩,硼铁中硼的回收率为 65%~75%,钢中硼含量为 0.001 8%~0.002 5%,钢中氧含量 ≤ 20 × 10<sup>-6</sup>,氮含量 ≤ 80 × 10<sup>-6</sup>。

**关键词** 40MnB 钢 EAF-LF(VD) 硼含量控制

## Control of Boron Content in Alloy Steel 40MnB

Zheng Guiyun, Zhai Zhenglong, Ge Wenying and Zhang Wei  
(Laiwu Iron and Steel Co Ltd, Laiwu 271104)

**Abstract** The steel 40MnB is produced by 50 t EAF-LF (VD) process at Special Steel Plant, Laiwu Steel. Results showed that with insuring refining slag basicity 3.0~5.5, feeding Al wire, then feeding silicon-calcium wire in LF refining end phase, skimming and 50 Pa VD treated for 35~40 min, after VD feeding Al wire and titanium wire, and inserting ferroboration FeB<sub>20</sub>C<sub>0.5</sub>-A cladding of aluminium sheet into liquid steel and soft argon blowing, the yield of boron of ferroboration was 65%~75%, boron content in steel was 0.001 8%~0.002 5%, and oxygen content and nitrogen content in steel were respectively ≤ 20 × 10<sup>-6</sup> and ≤ 80 × 10<sup>-6</sup>.

**Material Index** Steel 40MnB, EAF-LF(VD), Control of Boron Content

钢中 B 可溶于 Fe,形成间隙式和置换式固溶体,同时与 Fe、C、N、O 等形成 Fe<sub>3</sub>(C、B)、Fe<sub>23</sub>(C、B)<sub>6</sub> 等 Fe-C-B 型化合物,还能形成 Fe + 2(BO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>Fe + 2FeFe<sub>23</sub> + BO<sub>5</sub> 等 Fe-O-B 型化合物。Fe-C-B 为脆性相复合化合物。这些化合物均称 B 相<sup>[1]</sup>。

### 1 影响钢中酸溶硼含量的因素分析

#### 1.1 钢中氮氧含量对有效硼的影响

B 与 N、O 反应的标准自由能变化见表 1。标准自由能表达式  $\Delta G^0 = a + bT$ ,式中: a、b- 常数; T- 温度。从表 1 中可以看出,在电弧炉+精炼炉炼钢系统中,B 可与 N、O 反应生成化合物。因此,为保证钢中酸溶硼的含量,应尽量减少钢中的 N、O 含量。

#### 1.2 合金元素对硼含量的影响

在炼钢的温度范围内,B 的氧化能力仅次于铝和钛;由氮与各金属元素形成氮化物的标准吉布斯能图得出,钛、铝、硼与氮能形成稳定的氮化物<sup>[2]</sup>。

其稳定性随温度的下降而增加;并且 AlN、TiN 较 BN 更稳定。为保证钢中硼的含量,应合理安排各种合金料的加入及顺序。

### 2 生产情况及结果

#### 2.1 炼钢生产设备

莱钢特钢厂采用 55 t EBT UHP + LF + VD + CC 流程冶炼 40MnB 钢。LF 精炼采用 DGN-IVB 型喂丝机,可单流或双流将线材加入到钢包中;钢包底吹氩,流量可控制。VD 处理额定容量 60 t,平均处理周期为 35~40 min,工作真空度为 50 Pa,抽气能力为 250 kg/h(67 Pa)、230 kg/h(62 Pa)。用 1 台 3 机 3 流全弧型连铸机浇铸,连铸机铸坯断面 260 mm × 300 mm、180 mm × 220 mm,定尺长度 2.7~6.0 m,工作拉速 0.57~1.20 m/min。

#### 2.2 生产工艺方案

目前所用硼铁其牌号成分见表 2。为确保钢中的 B 含量在 0.001 5%~0.003 5%,调整合适内控化

表 1 B 与 N、O 反应的标准自由能

Table 1 Standard free energy for B reacting with O and N

反应式	a/ (Cal · mol <sup>-1</sup> )	b/ (Cal · mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	± kCal
2B(s) + 3/2O <sub>2</sub> (g) = B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (L)	-295 630	50.41	1.0
B(s) + 1/2N <sub>2</sub> (g) = BN(s)	-60 600	21.40	0.5

表 2 硼铁牌号与化学成分/%

Table 2 Designation and chemical composition of Ferroboration /%

牌号	B	Si	Al	C	P	S
FeB <sub>20</sub> C <sub>0.5</sub> -A	19.0~21.0	≤2.0	≤0.05	≤0.5	≤0.05	≤0.01

学成分范围进行保硼处理;同时尽量减少钢中氧气和氮气含量,针对这两个要点制定工艺方案:

(1)根据各元素对钢材质量的作用,确定钢材其它元素内控范围见表 3。

(2)入炉原料中铁水与生铁的量占炉料总量的 50%~60%。注意配料时不允许加渣钢、罐帮铁等高磷、硫废钢。

(3)电弧炉熔清碳  $\geq 0.30\%$ ;熔清磷  $\leq$

0.015%。电弧炉终点  $[C] \geq 0.10\%$   $P \leq 0.020\%$ ,残余元素含量符合标准要求。

(4)LF 精炼过程中在白渣下充分搅拌后,取一次样全分析,取一次样前,喂入  $1.5 \sim 2.5 \text{ m/t}_{\text{钢}}$  的铝线,为了使渣脱硫脱氧能力增强,规定的精炼渣主要成分见表 4,碱度为 3.0~5.5。根据一次样分析结果,调整 C、Si、Mn 化学成分,硼铁在真空脱气精炼炉处理后加入;出钢前喂入  $1.5 \sim 2.0 \text{ m/t}_{\text{钢}}$  硅钙线。

表 3 40MnB 钢化学成分内控范围/%

Table 3 Control range of chemical composition of steel 40MnB / %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	Mo	Al	Ti	B
0.38~0.42	0.20~0.30	1.10~1.30	$\leq 0.020$	$\leq 0.015$	$\leq 0.15$	$\leq 0.20$	$\leq 0.20$	$\leq 0.10$	0.015~0.030	0.015~0.050	0.0015~0.0035

表 4 精炼渣成分/%

Table 4 Ingredient of refining slag / %

SiO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
16	15	49	8.5	7.0

(5)钢水 VD 前扒渣,达到真空度时间保持 10~15 min。破空后在 VD 工位先喂入铝线,再喂入钛线钢,然后小氩气量搅拌(保持渣面微动)1~2 min,用铝皮包裹硼铁插入钢水中,硼铁回收率按 60%~

80% 计算,加完硼铁后取样全分析。软吹 Ar 时间 8~14 min。特别注意,软吹 Ar 时不得裸露钢水,不得大氩气量搅拌降温。

### 2.3 生产结果

从表 5 中可看出,钢中的 Mn 元素基本控制在中下限,且较稳定,说明对炉中钢水量确定较准确;从 S 元素情况看出炉中脱氧良好。氧含量控制在  $20 \times 10^{-6}$  以下;氮含量控制在  $80 \times 10^{-6}$  以下;工艺

表 5 40MnB 钢成分分析结果,6 炉

Table 5 Results of analysis of steel 40MnB, 6 heats

炉号	化学成分/%											气体含量/ $10^{-6}$	
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	B	[O]	[N]
4979	0.41	0.22	1.28	0.014	0.002	0.11	0.02	0.04	0.027	0.053	0.0025	17	78
4981	0.39	0.24	1.26	0.016	0.001	0.11	0.02	0.04	0.023	0.032	0.0020	18	80
4982	0.40	0.24	1.26	0.014	0.002	0.11	0.02	0.04	0.021	0.020	0.0020	19	79
4980	0.41	0.26	1.29	0.013	0.002	0.07	0.02	0.05	0.031	0.051	0.0020	20	80
4983	0.42	0.24	1.27	0.015	0.002	0.07	0.02	0.04	0.019	0.030	0.0020	19	78
4984	0.40	0.24	1.25	0.016	0.001	0.06	0.02	0.04	0.015	0.050	0.0018	20	71

过程控制气体含量良好。Al、Ti 控制在一定含量内,能有效保证硼含量的稳定收得率,并且钢中 B 元素的含量也严格控制在目标要求范围之内。

6 炉钢硼收得率  $\eta_B = \text{钢液量}(\text{kg}) \times \text{成品硼含量} / [\text{加入硼铁}(\text{kg}) \times \text{硼铁中 B 含量}(\%)]$ ,硼铁中 B

含量约为 20%。表 6 中反映出 B 元素的收得率最高达到 73.6%,收得率稳定在 65%~75%。

### 3 结论

通过有效地控制和减少钢中氮、氧含量( $[O] \leq 20 \times 10^{-6}$ ,  $[N] \leq 80 \times 10^{-6}$ )和保证钢中一定的铝(0.015%~0.031%)和钛(0.020%~0.053%)含量,使硼的回收率稳定在 65%~75%。

表 6 40MnB 钢的硼收得率,6 炉

Table 6 Boron yield of steel 40MnB, 6 heats

炉号	硼铁加入量/kg	钢水量/t	收得率/%
4979	9	53	73.60
4980	8	55	68.75
4981	7.5	54	72.00
4982	8	55	68.75
4983	7.8	53	68.00
4984	8	56	63.00

### 参考文献

- 1 章守华. 钢铁材料学. 北京:冶金工业出版社,1999
- 2 黄希祐. 钢铁冶金原理. 北京:冶金工业出版社,1990

郑桂芸(1972-),女,硕士,工程师,1997 年东北大学毕业,优特钢新产品与新工艺研发。

收稿日期:2008-03-30