

45 t LF(VD) 精炼钒氮非调质钢的增氮工艺

吕学飞¹ 丛花越² 张宇¹ 王勇胜¹ 乔兵¹
(东北特殊钢集团 1 技术中心, 2 机电公司, 大连 116031)

摘要 试验和分析了成分为(%): 0. 42C, 0. 62Si, 1. 42Mn, 0. 11V, 0. 015N 钒氮非调质钢 LF(VD) 吹氮精炼时合金元素、LF 和 VD 工艺参数对该钢增氮的影响。结果表明, 前期加固氮合金元素 V、Cr、Mn, 快速提高 LF 精炼温度至 1 620 ~ 1 630 ℃, 增加精炼吹氮时间, 可使平均增氮速率达 $2. 83 \times 10^{-6}$ /min; VD 处理进行氮气搅拌, 控制 VD 处理时间, 可提高氮的收得率。

关键词 钒氮非调质钢 LF(VD) 增氮 氮收得率

Adding Nitrogen Process for V-N Non-Quenched and Tempered Steel during 45 t LF (VD) Refining

Lü Xuefei¹, Cong Huayue², Zhang Yu¹, Wang Yongsheng¹ and Qiao Bing¹
(1 Technical Center, 2 Electromechanical Engineering Co., Dongbei Special Steel Corp Ltd, Dalian 116031)

Abstract The effect of alloy elements, LF and VD process parameters on LF(VD) adding nitrogen in V-N non- quenched and tempered steel (% : 0. 42C, 0. 62Si, 1. 42Mn, 0. 11V, 0. 015N) during refining with nitrogen blowing have been tested and analyzed. Results showed that with adding nitrogen fixed elements V, Cr and Mn at early refining phase, quickly raising liquid steel refining temperature to 1 620 ~ 1 630 ℃ and increasing refining nitrogen blowing time, the average adding nitrogen rate in liquid steel increased to $2. 83 \times 10^{-6}$ /min; and with nitrogen stirring during VD treatment and controlling VD treated time, it was available to increase nitrogen yield.

Material Index V-N Non-Quenched and Tempered Steel, LF (VD), Adding Nitrogen, Nitrogen Yield

1 实验原理与方法

氮可以原子和化合物的形式溶解在钢中, 钢水吸氮是自发过程, 从热力学的研究可知, 冶炼过程中氮的溶解反应式 $[N_2] \rightarrow 2[N]$ 的平衡常数^[1,2]:

$$[N] = K_N \frac{\sqrt{P_{N_2}}}{f_N} \text{ 可推导为}$$
$$\log[N] = -\frac{188.1}{T} + 0.5 \log P_{N_2} - \log f_N - 1.246 \quad (1)$$

其中 $\log f_N = \sum \{ e'_N [j] \}$

式中: K_N - 氮溶解的平衡常数; P_{N_2} - 氮在钢液上的分压力; f_N - 氮的活度系数; e'_N - 各元素与氮的活度相互作用系数; $[j]$ - 各元素在钢中的含量。

从上式可以看出, 影响氮在钢液中溶解度的因素有 3 个: 温度 (T)、氮分压 (P_{N_2}) 和钢液中合金元素的含量 $[j]$ 与氮的活度相互作用系数 e'_N 。

钢种要求氮含量 $(120 \sim 200) \times 10^{-6}$, 冶炼工艺为 45 t EBT + 42 t LF + VD。LF 和 VD 同为管道氮气。LF 全程吹氮, 氮气压力 0. 3 ~ 0. 5 MPa。VD 氮气压力 0. 4 ~ 0. 6 MPa。用 TN600 设备现场分析氮含量。

2 实验结果和钢中增氮影响因素的分析

2.1 合金元素

从表 1^[1,2] 可以看出, $[V]$ 、 $[Cr]$ 、 $[Mn]$ 等合金元素与 $[N]$ 的活度相互作用系数为负值, 可提高氮的溶解度。 $[C]$ 、 $[Si]$ 等则降低氮的溶解度。

温度为 1 600 ℃, 常压下 (氮分压取 0. 79) 按表 1、表 2 数据计算氮的溶解度约为 0. 034 5%。钢中 V、Cr、Mn 等合金元素与氮形成化合物, 降低氮的活度, 可以提高氮的溶解度。经理论计算可知, 仅 V 的加入就可以使钢中氮的溶解度提高 $(10 \sim 15) \times 10^{-6}$, 应前期加入 V、Cr、Mn 等合金元素。

表 1 各元素与 $[N]$ 的活度相互作用系数

Table 1 Activity interaction coefficient between $[N]$ and each element

j	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	V	Ni
e'_N	0.13	0.065	-0.02	0.05	0.013	0.006	-0.047	-0.12	0.01

表 2 试验钢冶炼成分 / %

Table 2 Analysis of test steel / %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	V	N
0.42	0.62	1.42	0.015	0.010	0.15	0.07	0.15	0.11	0.015

2.2 LF 精炼温度

钢中氮含量的变化如表3所示。LF前期(60 min以前)钢液温度通常在1580℃以下,虽然吹氮60 min,由于增氮较慢, $[N] \leq 200 \times 10^{-6}$,平均增氮速率为 $2.07 \times 10^{-6}/\text{min}$;后期(80 min以后)温度升高,增氮速率较大,平均增氮速率达 $2.83 \times 10^{-6}/\text{min}$ 。

2.3 LF 精炼时间

该钢种在1600℃常压下氮的溶解度约为0.0345%。因此,随着精炼时间的增加,钢中的氮含量将不断增加。同时,随着精炼时间的增加,使得钢中的氧、硫含量降低(溶解氧低于 10×10^{-6} ,硫小

表3 钢液温度及吹氮时间对氮含量的影响

Table 3 Effect of liquid steel temperature and nitrogen blowing time on nitrogen content in steel

钢液温度/ ℃	平均吹氮时间/ min	平均氮含量/ 10^{-6}	平均增氮速率/ ($10^{-6} \cdot \text{min}^{-1}$)
1560~1580	57	188	2.07
1620~1630	35	287	2.83

注:增氮速率计算时原始氮按 70×10^{-6} 计算。

表4 真空处理时间对氮含量的影响

Table 4 Effect of VD treated time on nitrogen content in steel

VD方式	氮含量/ 10^{-6}		真空处理时间/ min	脱氮速率/ ($10^{-6} \cdot \text{min}^{-1}$)	脱氮率/ %	氮含量 达标率/%	$[H]/10^{-6}$
	VD处理前	VD处理后					
1	310	109	19.5	10.3	65	12.5	0.52
2	280	125	18	8.6	55	65	0.66
3	247	135	17	6.6	45	95	0.79

为67 Pa,温度为1600℃时,钢中氮的溶解度不足 0.1×10^{-6} 。而要使钢中的氮含量保持在 $(120 \sim 150) \times 10^{-6}$,与其相平衡的氮分压应达到9694~15147 Pa。可见,在高真空度时,氩气泡内的氮分压与钢液中高氮含量相平衡的氮分压相差很大,脱氮反应驱动力大,脱氮反应速度快,脱氮量大。而在低真空度时则相反,脱氮量小。VD处理方式1、2则很好证明了上述分析。使用氮气搅拌,虽然氮的分压也很低,但在脱氮的同时,也在不断向钢液补充氮气。相比之下,使用氩气搅拌的脱氮量要比使用氮气搅拌的小很多,有利于提高VD处理后钢液的氮含量。

VD三种处理方式钢液中的氮含量出现在要求范围内的概率如表4所示。方式1处理后钢液的氮含量在 120×10^{-6} 以上的概率为12.5%,方式2为65%,方式3为95%。

为使钢中 $[H]$ 达到 1.5×10^{-6} ,在1600℃时, $P[H]$ 分压为304 Pa;而使 $[N]$ 达到 15×10^{-6} ,在1600℃时, $P[H]$ 分压为133 Pa^[5]。生产实践表明,采用上述3种操作方式都能满足 $[H] < 1.5 \times 10^{-6}$

于 0.010%)。钢液吸氮为液相传质控制,液相传质系数受氧、硫含量影响较大。随着钢中氧、硫含量的降低,传质系数增大^[3],钢液吸氮的阻力减小^[4],提高了钢液的增氮速率。表3也表明了这一点。

2.4 LF 吹氮量

吹氮量的直观表现就是氮气压力,LF吹氮时的氮气压力对钢液增氮有较大影响。实践表明,精炼过程中,在保证正常供电的情况下尽量提高氮气压力,在断电间隙采用高强度的氮气搅拌钢液,能够迅速提高钢液中的氮含量。

2.5 VD 处理

为了提高氮的回收率,进行了3种方式的真空处理试验。第1种,VD吹氩气,极限真空度67 Pa,保持时间大于10 min。第2种,VD吹氩气,极限真空度67 Pa,不保持,即达到67 Pa后采取措施降低真空度。第3种,VD吹氮气,极限真空度67 Pa,不保持。统计结果如表4。

根据(1)式计算可知,当采用氩气搅拌,真空度

的要求,且对其他指标没有任何不良影响。

3 结论

(1) LF前期加入V、Cr、Mn合金元素,提高精炼温度及增加精炼时间,用高强度的氮气搅拌,可快速增加钢中的氮含量。

(2) 真空处理时利用氮气搅拌,合理控制真空度及真空保持时间,可提高氮的收得率。

参考文献

- 1 韩铁水,宋瑞甫. LF/VD法吹氮气冶炼含氮钢. 宽厚板,2001,7(3):28
- 2 刘守平,孙善长. 含氮钢吹氮合金化. 重庆大学学报(自然科学版),2002,25(5):83
- 3 王经民,于小方. LF/VD过程钢液氮含量控制研究. 炼钢,2003,19(4):56
- 4 李晶,傅杰,迪林,等. 溶解氧对钢液吸氮影响的研究. 钢铁,2002,37(4):19
- 5 干勇. 炼钢-连铸新技术800问. 北京:冶金工业出版社,2003

吕学飞(1980-),男,硕士,工程师,兰州理工大学毕业,合金结构钢的设计开发和工艺研究。

收稿日期:2008-09-29