

## 45 t AOD 精炼高氮奥氏体不锈钢 10Cr21Mn16NiN 的工艺实践

范新智

(山西太钢不锈钢股份有限公司技术中心,太原 030003)

**摘要** 冶炼高氮不锈钢 10Cr21Mn16NiN (/%: 0.03 ~ 0.13C, 0.30 ~ 0.60Si, 15.0 ~ 17.0Mn,  $\leq$ 0.045P,  $\leq$ 0.030S, 21.0 ~ 22.0Cr, 1.0 ~ 1.8Ni, 0.40 ~ 0.65N) EAF 粗炼钢水主要成分为 2.20% C, 21.32% Cr。AOD 精炼时,采用顶吹和底侧吹氧氮进行脱碳,加入锰铁和镍铁,并加入石灰脱硫,用硅铁还原后再用铝和硅钙粉进行深脱氧;使用金属锰进行锰合金化后钢中 Mn 含量达 16%;在钢水量为 45.2 ~ 46.0 t 时,AOD 出钢时钢中氮含量为 0.49% ~ 0.54%,在出钢过程加入 1.34 ~ 1.67 t 氮化锰后钢中氮含量为 0.64% ~ 0.65%,氮的收得率可达 42.1% ~ 50.2%。

**关键词** 45 t AOD 高氮奥氏体不锈钢 10Cr21Mn16NiN 吹氮 氮化锰 合金化

### Technology Practice of 45t AOD Refining High Nitrogen Austenite Stainless Steel 10Cr21Mn16NiN

Fan Xinzhì

(Technology Center, Shanxi Taigang Stainless Steel Co Ltd, Taiyuan 030003)

**Abstract** The main chemical composition of EAF primary liquid metal for steelmaking high nitrogen stainless steel 10Cr21Mn16NiN (/%: 0.03 ~ 0.13C, 0.30 ~ 0.60Si, 15.0 ~ 17.0Mn,  $\leq$ 0.045P,  $\leq$ 0.030S, 21.0 ~ 22.0Cr, 1.0 ~ 1.8Ni, 0.40 ~ 0.65N) is 2.20% C, 21.32% Cr. The decarburizing of liquid is carried out by top-blowing and bottom side blowing oxygen-nitrogen, added manganese iron and nickel iron, added lime to desulfurize, and after reducing by silicon iron the deep deoxidation of liquid steel is carried out by adding aluminium and calcium silicon powder; after manganese alloying by using metal manganese the Mn content in steel is up to 16%; during AOD tapping with liquid amount 45.2 ~ 46.0 t, the nitrogen content in steel is 0.49% ~ 0.54%, after adding 1.34 ~ 1.67 t manganese nitride the nitrogen content in steel is 0.64% ~ 0.65%, the yield of nitrogen is up to 42.1% ~ 50.2%.

**Material Index** 45 t AOD, High Nitrogen Austenite Stainless Steel 10Cr21Mn16NiN, Nitrogen Blowing, Manganese Nitride, Alloying

含氮奥氏体不锈钢中氮的作用除代替部分镍以节约贵重的镍元素外,主要是作为固溶强化元素提高奥氏体不锈钢的强度,但并不显著损害钢的塑性和韧性;同时,氮提高钢的耐腐蚀性能,特别是耐局部腐蚀<sup>[1]</sup>。一般铁素体基体中氮的质量分数  $\geq$  0.08% 或奥氏体基体氮的质量分数  $\geq$  0.4% 的钢称为高氮不锈钢<sup>[2]</sup>。高氮奥氏体不锈钢不仅具有高得多的抗拉强度和屈服强度,以及不明显降低的塑性和韧性,而且即便进行大变形的冷加工,也不宜形成铁素体和发生形变马氏体转变<sup>[3]</sup>。

#### 1 化学成分与中板生产工艺流程

含氮不锈钢的增氮工艺基本可以分为两类<sup>[4]</sup>: 用富氮合金进行合金化;用氮气增氮。太钢不锈钢股份有限公司采用 45 t AOD 精炼吹氮气及加氮化锰工艺,成功生产出了 0.65% N 的高氮不锈钢 10Cr21Mn16NiN (/%: 0.03 ~ 0.13C, 0.30 ~ 0.60Si, 15.0 ~ 17.0Mn,  $\leq$  0.045P,  $\leq$  0.030S, 21.0 ~ 22.0Cr, 1.0 ~ 1.8Ni, 0.40 ~ 0.65N)。

10Cr21Mn16NiN 钢中板生产工艺流程为: 90 t

EAF→45 t AOD→45 t LF→160 mm × 1 238 mm 坯连铸→修磨→热轧成 16 mm 中厚板→固溶、酸洗。

#### 2 脱碳、造渣工艺

10Cr21Mn16NiN 钢在 45 t AOD 炉冶炼,粗炼钢水温度为 1 550 °C,主要成分为 2.20% C、21.32% Cr,主要冶炼过程如下:

(1) 在高碳区 (C > 0.5%) 进行顶枪吹氧氮,氧氮流量 (m<sup>3</sup>/h) 比例依次为 2 400: 600, 1 500: 500, 1 000: 500, 同时底侧吹氧氮进行脱碳精炼,氧氮流量 (m<sup>3</sup>/h) 比例依次为 1 500: 500, 1 200: 600, 800: 800。吹炼过程加入 2 100 kg 石灰造渣脱硫。

(2) 碳含量从 0.5% 吹炼降至 0.1% 过程,停止顶枪吹炼,只进行底侧吹氧氮进行脱碳精炼,氧氮流量 (m<sup>3</sup>/h) 比例依次为 800: 800, 600: 1 200, 500: 1 500, 吹炼过程加入锰铁、镍铁,并加入 1 000 kg 石灰继续造渣脱硫。

(3) 碳含量达到 0.1% 时进行还原,还原后出渣,加入 800 kg 石灰,300 kg 萤石调渣。

### 3 还原工艺

采用硅铁还原,温度控制为1 650 ~ 1 700 ℃,硅铁加入量控制为 35 ~ 45 kg/t。还原扒渣后,再向钢水中加入 0.5 kg/t的铝和 3 kg/t硅钙粉进行深脱氧,则钢中[O]可降低到  $13 \times 10^{-6} \sim 15 \times 10^{-6}$ 。因为钙的脱氧能力比铝强外,并且使脱氧产物由  $Al_2O_3$  转变成铝酸钙,甚至生成 CaO 的原因。

### 4 锰合金化和氮合金化工艺

使用金属锰进行合金化;增氮时采用氮化锰进行氮的合金化。实践证明,氧化末期控制钢中锰含量为 3% ~ 6%,还原后控制钢中锰含量为 13% ~ 15% 较合适。

高氮钢并非总是在高压氮气中熔炼的,铬、锰高的钢种可以在 1 个标准大气压(101.325 kPa)或稍低的氮气压力下进行 AOD 精炼。钢水温度和各组分成分影响氮的溶解度,根据热力学数据和实验数据导出了钢液中氮溶解度的新计算公式<sup>[5]</sup>。

$$\lg[N] = \frac{1}{2} \lg \left( \frac{P_{N_2}}{P^0} \right) - \frac{188}{T} - 1.17 - \left[ \left( \frac{3}{T} - 0.75 \right) \right. \\ \left. (0.13[N] + 0.118[C] + 0.043[Si] + 0.011[Ni] + 3.5 \times 10^{-5}[Ni]^2 - 0.024[Mn] + 3.2 \times 10^{-5}[Mn]^2 - 0.01[Mo] + 7.9 \times 10^{-5}[Mo]^2 - 0.048[Cr] + 3.5 \times 10^{-4}[Cr]^2 + \delta_N^p \lg \sqrt{\frac{P_{N_2}}{P^0}}) \right] \quad (1)$$

式中: $P_{N_2}$ - 氮压力; $P^0$ - 标准大气压; $\delta_N^p$ - 压力对氮活度的作用系数。当  $P_{N_2}/P^0 > 1.0$  时,  $\delta_N^p = 0.06$ ; 当  $P_{N_2}/P^0 < 1.0$  时,  $\delta_N^p = 0$ 。

从公式(1)中可以看出,随着钢液温度的上升,钢中氮的溶解度是下降的。在 AOD 精炼过程中全程吹氮,氮气吹入量为 2 500 ~ 3 000  $m^3$ ,出钢温度为 1 600 ~ 1 630 ℃的条件下,钢中的氮含量远比理论值低,仅为 0.48% ~ 0.55%,这是因为溶解在钢液中的氮随着吹入的氮气泡又逸出钢水的缘故。

AOD 精炼出钢后,在钢包中补加一定量的氮化锰,可以使钢中的氮含量达到 0.65%,氮化锰合金中氮的收得率为 40% ~ 50% (表 1)。

从图 1 可以看出,从兑钢开始,随着 AOD 吹入氮气,高氮奥氏体不锈钢中氮含量一直升高,但冶炼后期氮含量增加缓慢,通过出钢加入氮化锰后,钢中氮含量可达 0.65%。

表 1 AOD 精炼时氮化锰的加入量与钢中氮含量的关系  
Table 1 Relation Between addition of manganese nitride and nitrogen content in steel during AOD refining

| 炉次 | AOD 出钢氮含量/% | 钢水量/t | 氮化锰加入量/t | 氮化锰加入后钢中氮含量/% | 氮的收得率/% |
|----|-------------|-------|----------|---------------|---------|
| 1  | 0.492 0     | 44.5  | 1.490    | 0.635 0       | 50.2    |
| 2  | 0.514 0     | 46.0  | 1.670    | 0.652 0       | 44.6    |
| 3  | 0.535 0     | 45.2  | 1.340    | 0.641 0       | 42.1    |

注:氮化锰合金氮含量为 8.50%。

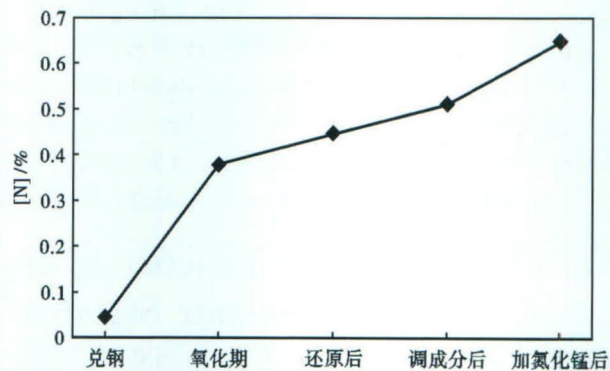


图 1 AOD 精炼过程高氮奥氏体不锈钢 10Cr21Mn16NiN 氮含量变化

Fig. 1 Variation of nitrogen content in high nitrogen austenite stainless steel 10Cr21Mn16NiN during AOD refining process

### 5 结论

(1) AOD 精炼采用硅铁还原后,再向钢水中加入 0.5 kg/t的铝和 3 kg/t硅钙粉进行深脱氧,则钢中[O]可降低到  $13 \times 10^{-6} \sim 15 \times 10^{-6}$ 。

(2) AOD 氧化末期控制钢中 3% ~ 6% Mn,还原后控制钢中 10% ~ 13% Mn 较合适。

(3) 单纯靠 AOD 精炼吹氮,高氮奥氏体不锈钢 10Cr21Mn16NiN 钢中氮含量仅能达到 0.48% ~ 0.55%,出钢后再通过加入氮化锰能使氮含量达到 0.65%,氮的收得率可达 42.1% ~ 50.2%。

#### 参考文献

- [1] 陆世英,张廷凯. 不锈钢[M]. 北京:原子能出版社,1995:200-202.
- [2] Speidel M O. 高氮钢的性能和应用(A). 高氮钢译文集[C]. 上海:上海钢铁研究所,1990:65.
- [3] 马玉喜. 高氮奥氏体不锈钢组织结构及韧性转变机制的研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2008.
- [4] 冯 珊,张树格. 高氮钢[J]. 机械工程材料,1993,17(6):1-3.
- [5] Jiang Z H, Li H B, Chen Z P, et al. The Nitrogen Solubility in Molten Stainless Steel[J]. Steel Research International, 2005, 76(10): 730-735.

范新智(1975-),男,高级工程师,2000年东北大学(本科)毕业,不锈钢生产工艺研究及产品开发。

E-mail: fanxz@ tisco. com. cn

收稿日期:2013-12-22