

0Cr18Ni9 纯净不锈钢 75 t LF 精炼工艺的优化

冯焕林 刘承志

(太原钢铁集团有限公司,太原 030003)

摘要 通过预处理铁水 - 75 t K-OBM-S - VOD - LF 流程生产 0Cr18Ni9 纯净不锈钢。0Cr18Ni9 纯净钢在 LF 精炼过程中,当底吹氩搅拌功率由 20 ~ 40 W/t 降至 13 ~ 21 W/t,并按 Ca/Al ≈ 0.1 喂入适量 Ca-Si 线,钢中氧含量和 Al₂O₃ 含量分别降至 30 × 10⁻⁶ 和 5 × 10⁻⁶ 以下;金相法检验结果表明,0Cr18Ni9 纯净钢板坯中夹杂物总量降低 40%, ≥ 20 μm 的夹杂降至 5% 以下。

关键词 LF 精炼 0Cr18Ni9 纯净不锈钢 工艺优化

Optimization of a 75 t LF Refining Process of Clean Stainless Steel 0Cr18Ni9

Feng Huanlin and Liu Chengzhi

(Technical Center, Taiyuan Iron and Steel Co Ltd, Taiyuan 030003)

Abstract The 0Cr18Ni9 clean stainless steel is produced by pretreated hot metal - 75 t K-OBM-S - VOD - LF flow sheet. During LF refining for steel 0Cr18Ni9 as bottom argon blown stirring power decreased from 20 ~ 40 W/t to 13 ~ 21 W/t with feeding available Ca-Si wire according to Ca/Al ≈ 0.1, the oxygen content and Al₂O₃ content in steel decreased respectively to less than 30 × 10⁻⁶ and 5 × 10⁻⁶; and the metallographic examination results showed that total amount of inclusions in slab of steel 0Cr18Ni9 decreased by 40%, the inclusions with size ≥ 20 μm decreased to less than 5%.

Material Index LF Refining, Clean Stainless Steel 0Cr18Ni9, Process Optimization

太原钢铁(集团)有限公司(以下简称太钢)第二炼钢厂于 2002 年底投产了新不锈钢生产线,其主体装备有 2 座铁水预处理(脱硅、磷、硫)、1 座 30 t EBT 电弧炉,1 座 75 t K-OBM-S 转炉,1 座 75 t VOD (双工位),1 座 75 t LF(双工位),1 台方板坯弧形连铸机。

目前,0Cr18Ni9 纯净不锈钢(0Cr18Ni9 纯净钢)目标为:Cu、P、S 及五害元素含量很低;[O] ≤ 40 × 10⁻⁶;[H] ≤ 3 × 10⁻⁶;钢中 Al₂O₃ 夹杂含量小于 5 × 10⁻⁶;金相法统计铸坯 50 mm² 内的夹杂物个数, ≥ 20 μm 的夹杂物控制在 5% 以下。

1 太钢不锈钢生产工艺流程及 LF 主要参数

太钢第二炼钢厂不锈钢生产工艺流程为:预处理铁水→K-OBM-S 粗炼→VOD 精炼→LF 处理→连铸板坯。太钢 LF 主要技术参数见表 1。

2 LF 在 0Cr18Ni9 纯净钢的冶炼实践与应用

太钢第二炼钢厂不锈钢生产线以预处理铁水、合金为主要原料,Cu、Mo、P 及五害元素含量很低^[1],为生产纯净不锈钢创造了条件;同时,K-OBM-S、VOD 具有很强的脱硫、脱氧、脱气功能,生产 0Cr18Ni9 纯净钢要重点控制 [O] ≤ 40 × 10⁻⁶,并控

表 1 LF 主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of LF

项目	参数	备注
公称容量/t	75	
变压器额定功率/MVA	35	
电极直径/mm	450	
升温速度/(℃ · min ⁻¹)	3	
N ₂ 、Ar 底吹强度/(m ³ · min ⁻¹)	1.2	
喂丝机数量/台	2	双线喂丝机
喂丝速度/(m · min ⁻¹)	300	最大值

制夹杂形态、数量及最大尺寸。

该生产线投产时,LF 主要起到对钢水调温的简单功能,渣成分为石灰:萤石 = 4:1,Ar 气底吹搅拌功率 20 ~ 40 W/t,渣面加入 1 kg/t Al 粉脱氧。为了开发 0Cr18Ni9 纯净钢,对 LF 进行了工艺优化。0Cr18Ni9 纯净钢化学成分见表 2。

表 2 0Cr18Ni9 纯净钢成分/%

Table 2 Chemical composition of clean stainless steel 0Cr18Ni9 /%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
≤ 0.07	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.035	≤ 0.035	17.00 ~ 19.00	8.00 ~ 11.00

2.1 LF 生产 0Cr18Ni9 纯净钢的工艺优化

2.1.1 LF 底吹氩

LF 精炼时以较小的流量吹氩并适当延长吹氩时间更有利于夹杂物的去除,从而降低钢液 T[O] 含量和夹杂物平均尺寸,特别是减少钢中大颗粒夹杂物的数量^[2]。针对 0Cr18Ni9 纯净钢要达到的工艺目的,对 LF 底吹氩工艺进行了优化。根据钢包底吹氩搅拌功率计算公式^[3],综合小气泡精炼脱除夹杂特点,LF 搅拌功率由 20~40 W/t 降至 13~21 W/t。LF 以小流量、长时间吹氩,一方面通过气泡可以去除 50 μm 以上的夹杂物,另一方面促使 50 μm 以下的夹杂物相互碰撞、聚集、更快形成大颗粒的夹杂物,使夹杂物迅速上浮排除。单位搅拌能计算公式为:

$$\varepsilon_M = \frac{6.186}{M} Q T_2 \left[\ln \frac{p_2}{p_3} + \eta \left(1 - \frac{300}{T_2} \right) \right]$$

式中: ε_M - 单位搅拌能/(W·t⁻¹); M- 钢水量/t; Q- 搅拌气体出口流量/(m³·min⁻¹); η - 有效因子; T_2 - 钢液绝对温度/K; p_2 - 钢液底部压力/Pa; p_3 - 钢液面压力/Pa。

2.1.2 LF 脱氧工艺

冶炼过程钢中存留的 Al₂O₃ 夹杂会引起水口结瘤,轧制时形成长条状 Al₂O₃,严重影响钢材质量^[4]。同时,细小的 Al₂O₃ 夹杂,在不锈钢抛光等表面加工时,会出现白色微小点状缺陷,影响板带表面质量,为此,生产 0Cr18Ni9 纯净钢需要控制钢中 Al₂O₃ 含量并尽可能使 Al₂O₃ 排出钢液。

向钢液中喂入一定量的 Ca-Si 合金,可以使高熔点的 Al₂O₃ 夹杂转变为低熔点低密度的钙铝酸盐夹杂,降低 Al₂O₃ 夹杂的危害^[5]。

依据以上理论,对 LF 处理 0Cr18Ni9 纯净钢工艺进行了优化,采取喂线进行脱氧,对喂入 Ca-Si 线的数量与时间进行了优化,优化后工艺如下:钢水到达 LF 后先调节渣况、温度、成分达到目标要求,然后按 Ca/Al ≈ 0.1 喂入 Ca-Si 线,钢水小流量、长时间吹氩搅拌后进行连铸。

2.2 LF 生产 0Cr18Ni9 纯净钢工艺效果

2.2.1 降低钢中全氧含量

图 1 是 0Cr18Ni9 纯净钢连铸坯钢中氧含量与夹杂物数量的关系(硅脱氧,目标 [Si] 0.4%; 硅铝钙复合脱氧, Ca/Al ≈ 0.1)。LF 工艺改进后,0Cr18Ni9 纯净钢中的氧含量由工艺改进前的 45 × 10⁻⁶ 降至 29 × 10⁻⁶,实现了控制 [O] ≤ 40 × 10⁻⁶ 的工艺目的。

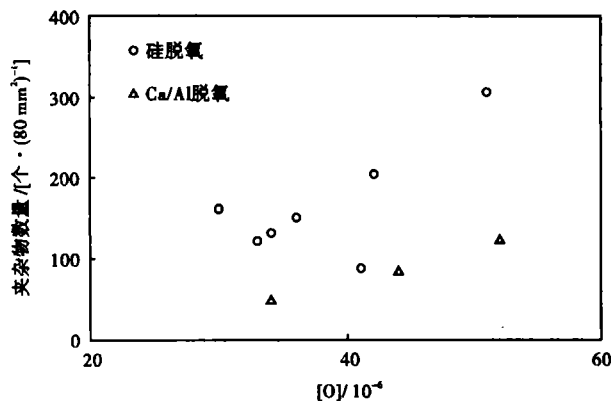


图 1 0Cr18Ni9 纯净钢铸坯总 [O] 和夹杂物总量的关系
Fig.1 Relation between total amount of inclusions and total [O] in cast slab of clean stainless steel 0Cr18Ni9

2.2.2 降低、控制夹杂物数量和种类

LF 底吹氩搅拌功率的优化,使铸坯夹杂物数量由 70~100 个/50 mm² 降低到 30~60 个/50 mm²,降低幅度在 40% 以上。而且 50 mm² 内 ≥ 20 μm 的夹杂物全部控制在 5% 以下,钢中 Al₂O₃ 从 LF 处理前的 (4.7~26.5) × 10⁻⁶ 降低到了 LF 处理后的 5 × 10⁻⁶ 以下。

3 结语

通过降低 LF 底吹气体搅拌强度,搅拌功率由 20~40 W/t 降至 13~21 W/t; 优化 LF 脱氧工艺,在钢液硅脱氧后,渣面加入 Al 粉 0.1 kg/t 钢的原工艺基础上,按 Ca/Al ≈ 0.1 喂入适量的 Ca-Si 线,0Cr18Ni9 纯净钢连铸坯 [O]、[Al₂O₃] 分别降至 30 × 10⁻⁶、5 × 10⁻⁶ 以下;金相法观察 50 mm² 内铸坯夹杂物总量降低幅度在 40% 左右,≥ 20 μm 的夹杂物控制在 5% 以下,工艺效果显著。

参考文献

- 1 王一德,徐芳泓. 铁水为主要原料的不锈钢冶炼新工艺的开发. 特殊钢,2006,27(3):35
- 2 薛正良,王义芳,王立涛,等. 用小气泡从钢液中去夹杂物颗粒. 金属学报,2003(4):434
- 3 Dong Sik kim, Joo Hyun Park, Jong Hwan Park, et al. Improvement of Cleanliness of 16% Cr Ferritic Stainless Steel in AOD Processes. La Revue de Metallurgie. Avril 2004;298
- 4 黄小良,王忠英. 钙和钡对钢脱氧及夹杂物变性的理论分析. 青海大学学报,2004(4):8
- 5 李成斌,姜周华,梁连科,等. 钢水精炼喂 Ca-Si 技术的研究和应用. 材料与冶金学报,2002(2):87

冯焱林(1962-),男,高级工程师,太钢技术中心副主任,1985年包头钢铁学院毕业,炼钢工艺技术研究。