

90 t LF 精炼 0Cr18Ni9 不锈钢的夹杂物控制工艺实践

范新智

(太钢不锈钢股份有限公司技术中心,太原 030003)

摘要 叙述太钢二炼钢厂 90 t LF 精炼 0Cr18Ni9 奥氏体不锈钢时对钢中夹杂物的控制效果。工艺实践表明,钢水经 VOD 后,钢中氧含量为 $(40 \sim 55) \times 10^{-6}$,再经 LF 喂铝线 0.3 ~ 1.0 kg/t 时,可使钢中氧含量进一步降至 $(24 \sim 35) \times 10^{-6}$,同时钢中夹杂物数量减少 40% 以上;接着喂 0.9 ~ 1.5 kg/t 硅钙线使钢中夹杂物变性成球状,同时通过 200 ~ 600 L/min 氩气搅拌 10 ~ 20 min 和 50 ~ 150 L/min 氩气搅拌 15 ~ 20 min,使钢中夹杂物数量进一步减少 50% 以上,并去除了钢中尺寸为 30 μm 以上的夹杂物。

关键词 90 t LF 奥氏体不锈钢 精炼 纯净度

Processing Practice for Inclusion Controlling of Stainless Steel 0Cr18Ni9 in Refining Process of a 90 t LF

Fan Xinzhi

(Technology Center, Taiyuan Iron and Steel Corp Ltd, Taiyuan 030003)

Abstract The controlling results of inclusions in steel during refining austenite stainless steel 0Cr18Cr19 in a 90 t ladle furnace at No2 steelmaking plant, Taiyuan Steel are presented. Operation practice shows that after VOD process, oxygen content in steel is $(40 \sim 55) \times 10^{-6}$, then feeding 0.3 ~ 1.0 kg/t aluminum wire in LF, the oxygen content in steel further decreases to $(24 \sim 35) \times 10^{-6}$ while the amount of inclusions in steel decreases by more than 40%; followed by feeding 0.9 ~ 1.5 kg/t silicon-calcium wire, the inclusions in steel are modified to spheroid, and with 200 ~ 600 L/min argon stirring for 10 ~ 20 min and 50 ~ 150 L/min for 15 ~ 20 min, the amount of inclusions in steel further decreases by more than 50% and the inclusions size more than 30 μm are removed from liquid steel.

Material Index 90 t LF, Austenite Stainless Steel, Refining, Cleanliness

太钢二炼钢不锈钢生产线于 2002 年底投产,主要工艺装备有 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。2008 年对该条不锈钢生产线进行改造,改造后 K-OBM-S 转炉、VOD、LF 吨位均为 90 t。

1 LF 的功能及主要参数

0Cr18Ni9 不锈钢通过 LF 精炼主要达到以下目的:(1)钢水温度满足连铸要求;(2)处理时间满足多炉连浇要求;(3)成分微调能保证产品具有合格

的成分及实现最低成本控制;(4)钢水纯净度能满足产品质量要求。太钢二炼钢 LF 主要参数见表 1。

2 LF 冶炼 0Cr18Ni9 对夹杂物的控制

2.1 0Cr18Ni9 化学成分及基本工艺操作

太钢二炼钢 90 t LF 生产 0Cr18Ni9 钢(表 2)的工艺为:钢包开到处理位→降下包盖→底吹氩→测温、取样→预加热(加渣料)→测温、取样→主加热→加合金→测温、取样→喂线→软吹氩→钢包吊往连铸。

表 1 太钢二炼钢 90 t LF 主要参数

Table 1 Main parameters of 90 t LF at No2 steelmaking plant, Taiyuan Steel

项目	参数
炉型	交流炉
台数/台	1(双工位)
每炉处理钢水量/t	90
变压器额定容量/MVA	35
升温速度/ $(\text{C} \cdot \text{min}^{-1})$	平均 5(最大 6)
精炼周期/min	平均 40
喂丝机数量/台	2
生产能力/ $(\text{万 t} \cdot \text{a}^{-1})$	55

表 2 0Cr18Ni9 钢的化学成分/%

Table 2 Chemical composition of steel 0Cr18Ni9 /%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.045	≤ 0.030	18.0 ~ 20.0	8.0 ~ 11.0

2.2 深脱氧工艺及对夹杂物的影响

目前不锈钢的冶炼与氧密切相关,氧化期是通过氧的作用把炉料中残余的和过多的元素(例如碳)去掉;还原和精炼过程则是将前一阶段氧化了

的有用金属元素(例如铁、铬等)还原回到钢中,最后再将钢中氧尽量去除。在正确的脱氧条件下,不锈钢的氧含量应 $\leq 0.03\%$,对钢的纯净度要求高的不锈钢,钢中氧含量越低越好,例如 $\leq 20 \times 10^{-6}$ 或 $\leq 40 \times 10^{-6}$ 。

0Cr18Ni9 钢液在 VOD 还原过程中加入硅铁进行脱氧及合金化,但钢中氧含量仍很高,达 $(40 \sim 55) \times 10^{-6}$,为了进一步降低钢中氧含量及减少钢中夹杂物数量,钢液在 LF 还需加入铝线 0.3 ~ 1.0 kg/t 进行深脱氧。太钢二炼钢通过 LF 精炼脱氧后,钢中氧含量和夹杂物数量如表 3 所示。通过 LF 精炼脱氧,0Cr18Ni9 钢 T[O] 从精炼前 50×10^{-6} 降低到精炼后 35×10^{-6} ,最低可达 24×10^{-6} 。

表 3 0Cr18Ni9 钢 LF 精炼前后平均全氧含量和夹杂物数量的比较

Table 3 Comparison of average T[O] and number of inclusions in steel 0Cr18Ni9 before and after LF refining

阶段	T[O]/ 10^{-6}	夹杂物/个·(64^{-1}mm^{-2})
脱氧前	50	176
脱氧后	35	102

注:30 炉,金相法随机统计 100 个视场,×100,每个视场面积 0.64mm^2 。

2.3 钢液钙处理工艺对夹杂物的影响

向铝脱氧的钢液中喂入硅钙线,能够改变铝氧化物夹杂的形态。将 Al_2O_3 群簇状夹杂改变为球形铝酸钙夹杂。其主要理论依据为 $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ 相图: CaO 和 Al_2O_3 可以生成 5 种化合物,分别为 $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$,其中 $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ 熔点最低(1415℃),再加上 Ca、Al 控制得当,几种铝酸盐可以同时产生,互相降低熔点等,因此在炼钢的条件下, $m\text{CaO} \cdot n\text{Al}_2\text{O}_3$ 极易成为液体状态而排除或以球状存在于钢中。

通过 LF 喂入硅钙线 0.9 ~ 1.5 kg/t,全部夹杂物为球形,如图 1 所示。

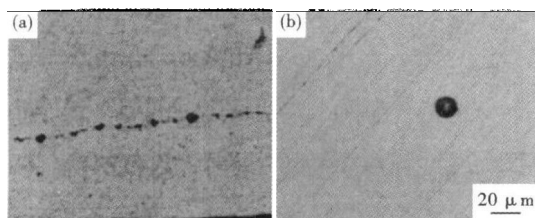


图 1 0Cr18Ni9 钢中夹杂物形貌:(a)喂硅钙线前;(b)喂硅钙线后

Fig.1 Morphology of inclusions in steel 0Cr18Ni9: (a) before feeding silicon-calcium wire; (b) after feeding silicon-calcium wire

2.4 吹氩搅拌对钢中夹杂物的影响

由于炉内溶池深,强搅拌下钢液循环带入钢包底部的夹杂物和卷入钢液的渣,需要一定的时间上浮,这时弱氩气搅拌,吹入的氩气泡可为 $10 \mu\text{m}$ 或更小的不易排出的夹杂颗粒提供粘附的基体,使之粘附在气泡表面排入渣中,从而加快夹杂物的上浮时间。假设钢中夹杂物的上浮服从 stokes 定律,又由该定律可知, $20 \mu\text{m}$ 的夹杂物在钢液中上浮 1 m 大约需 130 min,因此这些小尺寸的夹杂物在浇注时很难去除。钢水吹氩一方面通过气泡去除小尺寸的夹杂物,另一方面小尺寸夹杂物相互碰撞、聚集、更快形成大颗粒的夹杂物,使夹杂物迅速上浮排除^[2]。

当钢中夹杂物尺寸大于 $60 \mu\text{m}$,即使不吹氩气夹杂物也可依靠 stokes 浮力上浮到液面被顶渣吸附,若在吹氩作用下夹杂物的去除会更快。太钢 LF 通过底吹氩强搅拌(氩气流量 $200 \sim 600 \text{L/min}$) $10 \sim 20 \text{min}$ 和弱搅拌(氩气流量 $50 \sim 150 \text{L/min}$) $15 \sim 20 \text{min}$ 后,钢中氧含量从搅拌前的 $(45 \sim 55) \times 10^{-6}$ 降低到搅拌后的 $(30 \sim 40) \times 10^{-6}$ 。同时夹杂物数量和尺寸减小(表 4)。为了提高氩气吹效率,吹氩前应采用大流量氩气强吹溶池,使夹杂物得到充分的碰撞、聚集、长大的机会,去除夹杂效果会更好。

表 4 氩气搅拌前后 0Cr18Ni9 钢中夹杂物分布

Table 4 Distribution of inclusions in steel 0Cr18Ni9 before and after argon stirring

阶段	夹杂物尺寸/ μm				夹杂物数量合计
	5 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 30	≥ 30	
搅拌前	65	14	5	2	83
搅拌后	42	10	2	0	39

注:随机统计 100 个视场。

3 结论

(1) LF 采用深脱氧工艺,铝线加入量为 0.3 ~ 1.0 kg/t,可以使钢中氧含量降低到 40×10^{-6} 以下。

(2) 钢液通过钙处理工艺,可使夹杂物变成球形。控制合适的吹氩流量及吹氩时间,可使钢中夹杂物数量和尺寸明显减小。

参考文献

- 1 陆世英. 不锈钢概念. 北京:中国科学技术出版社,2007
- 2 张 鉴. 炉外精炼的理论与实践. 北京:冶金工业出版社,2004

范新智(1976-),男,2000 年东北大学材料与冶金学院毕业,不锈钢冶炼、连铸及不锈钢品种研发。

收稿日期:2009-11-02