

18-8 型纯净不锈钢生产工艺优化及其效果

刘承志,王贺利,方旭东

(太原钢铁集团公司 不锈钢股份有限公司技术中心,山西 太原 030003)

摘 要: 太原钢铁集团公司第二炼钢厂引进的以预处理后铁水、合金为主要原料的不锈钢新生产线,在开发 18-8 型纯净不锈钢中,发挥主原料铁水 Cu、P、S、等五害元素很低和 VOD 真空冶金的优势,对 LF 精炼不锈钢工艺进行优化;并采取措施优化中间包流体流场等,使得 18-8 纯净不锈钢铸坯 O、Al₂O₃ 质量分数分别在 30×10^{-6} 、 5×10^{-6} 以下;金相法观察到 50 mm² 铸坯内夹杂物总量降低幅度在 40 % 左右,大于 20 μm 的夹杂物控制在 5 % 以下。

关键词: 18-8 型;不锈钢;纯净钢;工艺;效果

中图分类号: TF764.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1002-1043(2009)03-0019-03

Optimization of production process for 18-8 grade clean stainless steel and its effect

LIU Cheng-zhi, WANG He-li, FANG Xu-dong

(Technical Centen of Stainless Steel Co. Ltd of TISCO, Taiyuan 030003, China)

Abstract: The stainless steel production line newly introduced in the No. 2 Steel-making Plant of Taiyun Iron & Steel Group is a line which uses the pretreated hot metal and alloy elements as its primary raw materials. This new line has brought the superiority of extremenely low content of 5 harmful elements Cu, P, S and etc in the main raw material, the hot metal and VOD vacuum metallurgy into full play in developing the 18-8 grade stainless steel. By optimization of LF refining stainless steel process as well as optimization of the flow field of the tundish the impurity of O and Al₂O₃ in the 18-8 grade stainless steel slab is reduced to less than 30×10^{-6} and 5×10^{-6} respectively. And by metallographical observation it's found that the total amount of inclusions in 50 mm² area of a slab is reduced by around 40 % and the inclusions larger than 20 μm in size are controlled in 5 % or less.

Key words: type 18-8; stainless steel; clean steel; process; effect

太原钢铁(集团)有限公司(以下简称太钢)于 2002 年底投产了一条不锈钢新生产线,其主体装备有两座铁水预处理(脱硅、脱磷、脱硫)站、1 座 30 t EBT 电炉,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。以铁水和合金为主要原料生产不锈钢,Cu、S、P 等五害元素含量很低^[1],同时,采用 VOD 进行不锈钢精炼,生产纯净不锈钢具有极大优势。随后,在生产纯净 18-8 型不锈钢时,对 75 t LF 喂丝、吹氩除夹杂的精炼工艺以及连铸中间包钢液流场进行了优化,进一步提升了

纯净不锈钢的质量。

18-8 型不锈钢是指铬、镍质量分数分别在 18 %、8 % 左右的奥氏体不锈钢,其纯净钢应用于装饰、家电等高级面板加工行业,这些行业一般对不锈钢冷轧板进行磨砂、抛光或镜面处理,产品表面要求不出现微小点状瑕疵等缺陷。

纯净钢是一个不断发展的概念,一般而言就是含杂质、气体很少的钢铁材料。纯净钢生产是一个全流程工艺控制过程,仅一个工艺环节的质量提升,几乎很难生产出符合要求的纯净钢,太钢 18-8 型纯净不锈钢生产工艺采取全流程工艺控

制,目标是 Cu、P、S 等五害元素含量很低以及 $w(O) \leq 40 \times 10^{-6}$; $w(H) \leq 3 \times 10^{-6}$; 钢中 Al_2O_3 夹杂质量分数小于 5×10^{-6} ; 金相法统计铸坯 50 mm² 内的夹杂物个数,大于 20 μm 的夹杂物控制在 5 % 以下。

表 1 18-8 型不锈钢号成分

钢号	$w_B / \%$						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0Cr18Ni9	≤ 0.07	≤ 1.0	≤ 2.0	≤ 0.035	≤ 0.035	17.0 ~ 19.0	8.0 ~ 11.0
00Cr19Ni10	≤ 0.03	≤ 1.0	≤ 2.0	≤ 0.035	≤ 0.035	18.0 ~ 20.0	8.0 ~ 12.0

2 18-8 型纯净不锈钢生产工艺流程

太钢 18-8 型纯净不锈钢的生产工艺流程为: 预处理铁水 → K-OBM-S 粗炼 → VOD 精炼 → LF 处理 → 连铸板坯。

3 18-8 型纯净不锈钢生产工艺

太钢二炼钢不锈钢生产线以预处理铁水、合金为主要原料,Cu、S、P 及五害元素含量很低,见表 2。

表 2 铁水为原料冶炼不锈钢产品五害元素含量

$w(As) / \%$	$w(Sn) / \%$	$w(Sb) / \%$	$w(Pb) / \%$	$w(Bi) / \%$
≤ 0.0018	< 0.01	< 0.005	< 0.005	< 0.005

同时,由于 VOD 真空精炼具有很强的脱气能力,钢水 O、H 质量分数可以达到 40×10^{-6} 、 2×10^{-6} 以下。所以重点在降低夹杂物含量及进行夹杂物变性,为此,对 LF 精炼工艺及连铸中间包流场进行了工艺优化。

3.1 LF 底吹氩工艺优化

LF 具有搅拌、调温、喂丝等功能。其中脱氧、降低夹杂数量等功能在资料中介绍到^[2]: 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,从而降低钢液总氧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。针对 18-8 型纯净不锈钢要达到的工艺目的,对 LF 底吹氩工艺进行了优化。根据文献^[3]给出的钢包底吹氩搅拌功率计算公式,综合小气泡精炼脱除夹杂特点,控制 LF 搅拌功率在 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。搅拌功率计算公式如下:

1 18-8 型不锈钢典型钢种成分

18-8 型不锈钢是应用广泛的一类不锈钢,其代表钢种有 0Cr18Ni9、0Cr19Ni9、00Cr19Ni10 等钢号,成分见表 1。

$$\epsilon_M = \frac{6 \cdot 186}{M} Q T \left\{ \ln \frac{P_2}{P_3} + \eta \left[1 - \frac{300}{T_2} \right] \right\} \quad (1)$$

式(1)中, ϵ_M 为单位搅拌能, W/t; M 为钢水量, t; Q 为搅拌气体出口流量, m³/min; η 为有效因子; T_2 为钢液热力学温度, K; P_2 为钢液底部压力, Pa; P_3 为钢液面压力, Pa。

3.2 LF 喂丝工艺开发

冶炼过程中,合金会带入部分 Al,脱氧后形成细小、难熔的 Al_2O_3 夹杂,不易上浮排出,浇铸时会引起水口结瘤,轧制时形成长条状 Al_2O_3 ,严重影响钢材质量^[4]。同时,细小的 Al_2O_3 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,影响表面质量,为此,生产 0Cr18Ni9 纯净钢需要控制钢中 Al_2O_3 含量并尽可能使 Al_2O_3 排出钢液。

向钢液中喂入一定量的 Ca-Si 合金线,可以使高熔点的 Al_2O_3 夹杂转变为低熔点低密度的钙铝酸盐夹杂,降低 Al_2O_3 夹杂的危害^[5]。

依据以上理论,在 LF 处理 18-8 纯净钢时,对喂入 Ca-Si 线的数量与时间等工艺参数进行了优化,优化后的工艺如下: 钢水到达 LF 后先调节渣况、温度、成分达到目标要求,然后按 $w(Ca)/w(Al)$ 达到 0.1 ~ 0.2 的要求喂入 Ca-Si 线,钢水进行小流量、长时间吹氩搅拌后连铸。

3.3 中间包钢液流场优化

连铸过程的中间包不仅是可以把钢水均匀分配给各个结晶器和实现多炉连铸的中间容器;同时还起着排除夹杂物纯净钢液的重要冶金作用。中间包内部钢液的流动状态,对延长钢水在中间包的停留时间、减少卷渣和改善夹杂物的上浮排出有重要作用。为此,对 25 t“T”型中间包挡墙、挡堰以及钢水冲击区小墙位置进行优化,目标是把 18-8 不锈钢铸坯中大于 20 μm 的夹杂比例降

至 5 %以下。

中间包内钢液可分为 3 个区域:混和区、活塞区和死区。夹杂物在 3 个区域内的运动状况是不一样的,在混和区流体受惯性力或湍流粘性力支配,夹杂物的传递与不同尺寸的涡流有关。在活塞区流体受粘性力支配,夹杂物传递近似的服从斯托克斯定律,而在死区的夹杂物并不传递。因此,理想的中间包结构以及相应技术的采用应能造成尽量大的活塞区和尽量小的死区。图 1 是中间包流场优化前后钢液平均停留曲线,优化后中间包钢液平均停留时间 $t_a=749\text{ s}$,死区大小 $V_d=0.06$,活塞区大小 $V_\phi=0.32$,混和区大小 $V_m=0.62$ 。

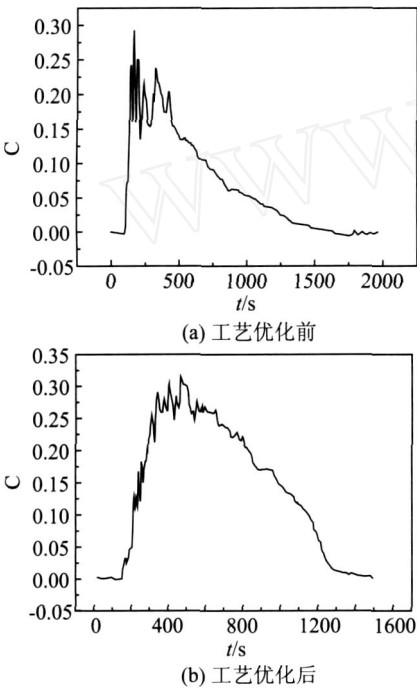


图 1 中间包钢液流场优化前后平均停留曲线

4 18-8 型纯净不锈钢工艺优化效果

4.1 钢中全氧含量的降低

钢中全氧含量的高低影响钢液中夹杂物总量,图 2 是 0Cr18Ni9 钢连铸坯中氧含量与夹杂物数量的关系。图 3 是 LF 优化底吹氩工艺前后铸坯氧含量的变化,由图可见,LF 工艺改进后,显著降低了钢中氧含量,实现了控制 $w(\text{O})\leq 40\times 10^{-6}$ 的工艺目的。

4.2 夹杂物数量降低及种类改善

LF 底吹氩搅拌功率的优化,使每 50 mm² 铸坯上的夹杂物数量由 70 ~ 100 个降低到 30 ~ 60 个,降低幅度在 40 %以上,见图 4。而且每 50 mm² 内大于 20 μm 的夹杂物全部控制在 5 %以

下,钢中 Al₂O₃ 质量分数也降低到了 5×10^{-6} 以下(见表 3)。

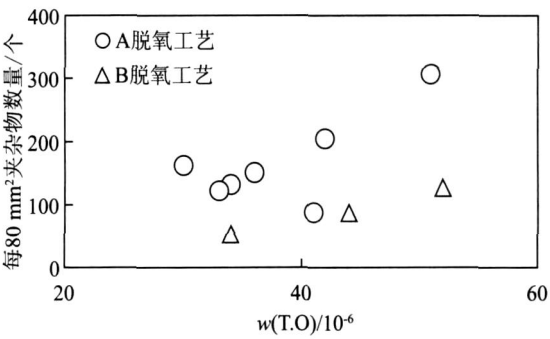


图 2 0Cr18Ni9 钢铸坯总氧和夹杂物总量的关系

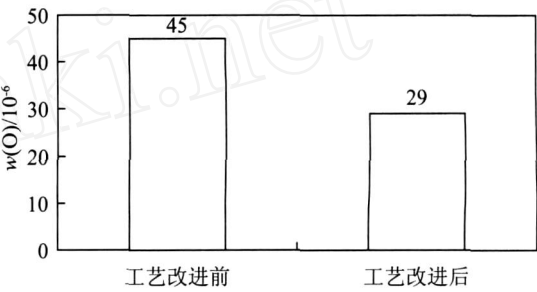


图 3 LF 工艺改进前后 0Cr18Ni9 钢铸坯 O 的变化

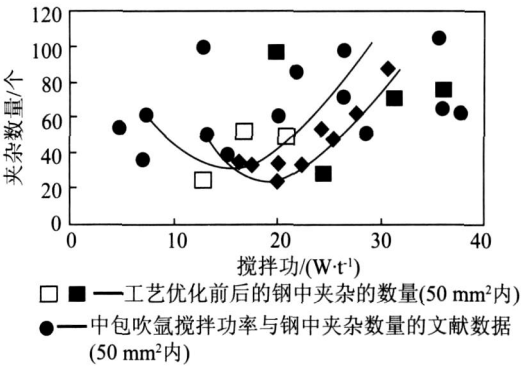


图 4 钢包吹氩搅拌功率与钢中夹杂物数量的关系

表 3 LF 工艺优化后 0Cr18Ni9 纯净钢内 Al₂O₃ 的变化

炉次	$w(\text{Al}_2\text{O}_3)/10^{-6}$	
	LF 处理前	连铸坯
1	4.7	2.9
2	12.1	4.1
3	13.0	4.2
4	18.8	3.5
5	26.5	4.9

5 结 语

太钢二炼钢生产不锈钢以预处理后铁水、合金为主要原料,为生产 0Cr18Ni9 纯净不锈钢,对 75 t LF 吹氩工艺和中包结构进行了优化。

(下转第 56 页)

$$r = 0.855; P = 1.2 \times 10^{-46}$$

钢筋拉伸强度 R_m 与钢中钒含量的关系:

$$R_m = 594.1 + 1\,159\,w(V) \quad (6)$$

$$r = 0.788; P = 7.4 \times 10^{-35}$$

钢筋伸长率 A_e 与钢中钒含量的关系:

$$A_e/\% = 19.0 - 20.7\,w(V) \quad (7)$$

$$r = 0.477; P = 2.1 \times 10^{-10}$$

钢筋屈强比 K 与钢中钒含量的关系:

$$K = 1.4 - 1.7\,w(V) \quad (8)$$

$$r = 0.740; P = 7.4 \times 10^{-29}$$

4.3 各因素对钢性能的综合分析

使用国际通用商业软件 SPSS^[2-3] 对 159 炉工业试验结果进行综合分析,使用的算法为逐步回归^[4]。分析结果表明,只有每吨钢的钒加入量或钢中钒含量对钢的机械性能有显著性影响,与前文式(1~8)相同,即在所研究的条件下,其他因素的影响不显著。

5 结 论

承钢 100 t 转炉冶炼使用氮化钒铁生产高强度螺纹钢的工业试验结果表现出良好的规律性,主要结论是:

(1) 使用氮化钒铁可满足较宽钒含量控制的

要求,钢中钒含量稳定,钒的收得率高于使用钒铁合金化或氮化钒合金化的情况。

(2) 使用氮化钒铁合金,钒的用量较低,钢的强韧性较高,能满足 HRB400、HRB500 级高强度钢筋的各项性能要求,氮化钒铁有很好的应用前景。

(3) 使用氮化钒铁合金化的高强度钢筋,其机械性能与吨钢加钒量或钢中钒含量的定量经验关系式为式(1~8)。

(4) 多因素影响的综合统计分析结果仍为式(1~8),表明在所研究的条件下,其他各因素的影响不显著。

[参 考 文 献]

- [1] 刘克忠. 一种燃烧合成制备含氮 80 钒铁的生产方法[P]. 中国专利: ZL200410057280.6, 2004-08-31.
- [2] 苏金明, 傅荣华. 统计软件 SPSS for Windows 实用指南[M]. 北京: 电子工业出版社, 2000.
- [3] 王苏斌, 郑海涛, 邵谦谦. SPSS 统计分析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [4] 李士琦, 高俊山. 冶金系统工程[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1991.

(修回日期: 2008-09-10)

(上接第 21 页)

(1) 降低 LF 底吹气体搅拌强度, 搅拌功率由 20~400 W/t 降低为 13~21 W/t。

(2) 优化 LF 脱氧工艺, 在钢液硅脱氧之后, 渣面加入 Al 粉 0.1 kg/t 的原工艺基础上, 按 $w(Ca)/w(Al) \approx 0.1 \sim 0.2$, 喂入适量 Ca-Si 线。

(3) 优化“T”型中间包挡墙、挡堰以及钢水冲击区小墙位置, 改善钢液流场。

经过工艺优化, 使 0Cr18Ni9 钢连铸坯 O、 Al_2O_3 质量分数分别在 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 40% 左右, 大于 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[J]. 特殊钢, 2006, (3): 38.
- [2] 薛正良, 王义芳, 王立涛, 等. 用小气泡从钢液中去除夹杂物颗粒[J]. 金属学报, 2003, (4): 434.
- [3] Dong Sik kim, Joo Hyun Park, Jong Hwan Par K, et al. Improvement of cleanliness of 16% Cr ferritic stainless steel in AOD processes[J]. La Revue de M^{et}allurgie, 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[J]. 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[J]. 材料与冶金学报, 2002, (2): 87.

(修回日期: 2008-05-04)