

RH-LF 和 LF-VD 工艺生产管线钢洁净度的比较

余健¹ 李晶¹ 田伟¹ 姚永宽² 耿建林² 尹雨群² 谯明亮²

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院, 北京 100083; 2 南京钢铁集团股份有限公司, 南京 210035)

摘要 比较了铁水预处理-150 t 顶底复吹转炉钢水经 RH-LF 和 LF-VD 两种精炼工艺生产的管线钢 ($\leq 0.04\% \text{C}-1.55\% \sim 1.78\% \text{Mn}$) 洁净度。结果表明, RH-LF 和 LF-VD 精炼均能使管线钢氮含量降至 $(30 \sim 40) \times 10^{-6}$, 氧含量 $\leq 10 \times 10^{-6}$, 硫含量 $\leq 0.0020\%$; LF-VD 精炼渣碱度高于 RH-LF 精炼渣, LF-VD 精炼钢平均磷含量为 0.0090% , 比 RH-LF 精炼钢低 0.0010% ; 两种精炼钢中主要夹杂物为钙铝酸盐和钙铝酸盐-二氧化硅复合夹杂, LF-VD 精炼钢大部分夹杂物尺寸为 $5 \sim 10 \mu\text{m}$, RH-LF 精炼钢大部分夹杂物尺寸为 $5 \sim 20 \mu\text{m}$ 。

关键词 RH VD LF 管线钢 洁净度

Comparison of Cleanliness of Pipeline Steel Refining by RH-LF and LF-VD Process

Yu Jian¹, Li Jing¹, Tian Wei¹, Yao Yongkuan², Geng Jianlin², Yin Yuqun² and Qiao Mingliang²

(1 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083;
2 Nanjing Iron and Steel Co Ltd, 210035)

Abstract Cleanliness of pipeline steel ($\leq 0.04\% \text{C}-1.55\% \sim 1.78\% \text{Mn}$) produced by two refining processes- RH-LF and LF-VD with liquid steel melting by hot metal pretreatment-150 t top and bottom blown converter process has been compared. Results showed that after RH-LF or LF-VD refining, the nitrogen content in pipeline steel decreased to $(30 \sim 40) \times 10^{-6}$, the oxygen content was $\leq 10 \times 10^{-6}$ and the sulphur content was $\leq 0.0020\%$; as the basicity of refining slag for LF-VD process was higher than that for RH-LF process, the average phosphorus content in LF-VD refined steel was 0.0090% which was lower by 0.0010% as compared with that in RH-LF refined steel; the main inclusions in both refining steel were calcium-aluminates inclusion and calcium-aluminate silicon-dioxide compound inclusion; and the size of most inclusions in steel refining by LF-VD was $5 \sim 10 \mu\text{m}$ while that by RH-LF was $5 \sim 20 \mu\text{m}$.

Material Index RH, VD, LF, Pipeline Steel, Cleanliness

精炼在冶炼高附加值钢种中起着重要作用, 精炼处理主要调整钢液成分, 去除钢中杂质元素, 去除夹杂物, 并起到调整、均匀钢液温度的功能。RH 和 VD 的不同特点决定了不同的冶炼效果, RH 的功能多样化, 本文讨论的 RH 没有应用顶吹氧和喷粉功能。目前, LF、RH 和 VD 精炼处理应用广泛, 并有不同组合应用。本文研究比较了 RH-LF 和 LF-VD 两种精炼工艺在冶炼较高级别管线钢 ($\% : \leq 0.04\text{C}$ 、 0.2Si 、 $1.55 \sim 1.78\text{Mn}$ 、 $\leq 0.0020\text{S}$ 、 $\leq 0.011\text{P}$ 、 $\leq 0.006\text{N}$) 中的洁净度。

1 两种精炼工艺流程特点

1.1 RH-LF

冶炼流程为: 铁水预处理-150 t 顶底复吹转炉-150 t RH-150 t LF-连铸。

各工位工艺要点及控制要求: (1) 铁水预处理脱硫, 预处理后钢中硫含量控制在 0.0020% 内, 预处理后扒尽铁水渣。(2) 转炉顶底复吹, 全程底吹氩气, 出钢碳含量控制到 0.03% 左右, 控制钢中磷

含量 0.0080% 内, 控制回硫量; 出钢温度 $1680 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右, 为 RH 温降提供准备, 弱脱氧出钢。(3) RH 脱氧脱碳, 去氢, RH 处理时间约为 30 min , 出 RH 时钢中碳大约 0.017% 。(4) LF 工位高温、高碱度、造泡沫渣、还原性热力学条件深脱硫, 尽量减少钢液吸氮, LF 后期喂铁钙线钙处理, 弱搅拌均匀钢液成分和温度, 并促进夹杂物上浮去除。(5) 连铸过程保护浇铸, 选择特殊中间包覆盖剂和结晶器保护渣吸附夹杂物, 并控制结晶器液面波动^[1,2]。

1.2 LF-VD

冶炼流程为: 铁水预处理-150 t 顶底复吹转炉-150 t LF-150 t VD-连铸。

各工位工艺要点及控制要求: (1) 铁水预处理与 RH-LF 冶炼流程相同; (2) 转炉冶炼控制出钢碳含量为 0.04% , 出钢磷含量要求 0.0080% 内, 并控制回硫, 全程底吹氩气, 出钢温度控制在 $1650 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右, 弱脱氧出钢; (3) LF 工位处理与 RH-LF 冶炼流程 LF 工艺要求基本相同, 脱氧、升温、深脱硫、钙处

理、控制钢液增氮量;(4)VD 保持真空度 27 Pa,真空保持时间在 15 min 以上;(5)连铸过程控制要求与 RH-LF 流程连铸控制要求相同,采用保护浇铸等措施保证铸坯质量。

2 两种精炼工艺的洁净度

2.1 真空脱气比较

RH 和 VD 真空精炼设备都具有真空脱气的效果。RH 的最高真空度为 320 Pa,RH 处理过程有激烈的碳氧反应,并产生大量的气泡,有利于脱氮,VD 的真空度可以达到 50 Pa 内;RH 钢液循环流动、VD 工艺底吹氩搅拌都具有很好的动力学条件。

(1)脱氮。RH-LF 和 LF-VD 多炉次平均氮含量变化如图 1,由图 1(a)可知,RH 平均能脱除氮 0.001 0% 以上;由图 1(b)可知,VD 平均能脱除 0.001 5% 的氮。VD 工位钢中的氧、硫等表面活性元素含量降到很低,钢中氧含量约为 0.001 5%,钢中硫含量为 0.001 0% 内,为脱氮创造了良好的热力

氧化物夹杂的生成量,RH 后钢中全氧可以降低到 0.003 0%,铸坯中全氧降至 0.001 0%;LF-VD 流程,出钢后的脱氧完全靠脱氧合金来完成,LF 后钢中氧含量已经降低到 0.001 0% 内,进出 VD 钢中氧略有降低。RH-LF 和 LF-VD 两种工艺均能有效脱除钢中氧并控制在 0.001 0% 内。

2.2 脱硫工艺

两种工艺主要脱硫任务均在 LF 完成,LF 通过造还原渣、高碱度、高温、底吹搅拌等控制措施,保证渣钢界面脱硫反应的热力学和动力学条件。图 2 为多炉次平均硫含量变化图,由图 2 知 LF 后钢中硫含量均可以控制在 0.002 0% 内;钢中硫在 RH 处理过程几乎没有变化,VD 有很好的脱硫能力,VD 处理过程钢中硫还可以降低,实践表明 LF-VD 流程钢中硫含量最低可控制到 0.000 4%;RH-LF 流程钢中硫含量最低控制到 0.000 6%。

2.3 磷含量控制

图 3(a,b)为 RH-LF 和 LF-VD 流程钢中多炉次平均磷含量变化图。RH-LF 工艺流程出钢时加入合金料温度降低,钢中磷含量降低;从入 RH 到 LF 结束,钢中磷含量逐步增加,RH 流程钢中磷含量平均升高 0.001 0%,从出 RH 到入 LF 过程钢中磷平均增加 0.002 2%,LF 过程钢中磷平均增加 0.001 5%,出 LF 时钢中磷含量平均为 0.009 4%;LF-VD 流程钢中磷含量从入 LF 到出 VD 增加 0.001 0%,出 VD 时钢中

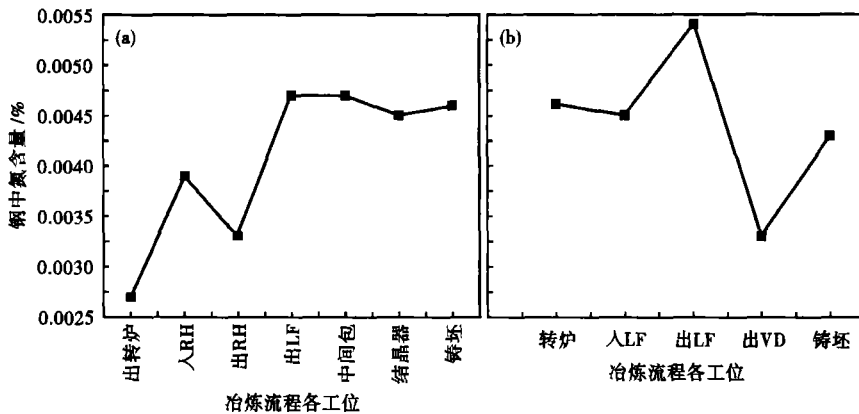


图 1 RH-LF(a)和 LF-VD(b)流程钢中平均氮含量
Fig. 1 Average nitrogen content in steel during RH-LF (a) and LF-VD (b) process

学条件,而 RH 处理时钢中氧硫含量高,钢中硫含量为 0.007 0%;另外 RH 真空度比 VD 真空度低,VD 的脱氮效果优于 RH,VD 后钢中氮含量可以控制在 0.004 0% 内,而 RH-LF 流程,LF 工位会有部分增氮,因此 LF-VD 工艺更易于控制钢中较低的氮含量^[3-6]。

(2)脱氧。RH 具有脱碳脱氧能力,碳氧反应进一步降低了钢中的溶解氧,并减少了

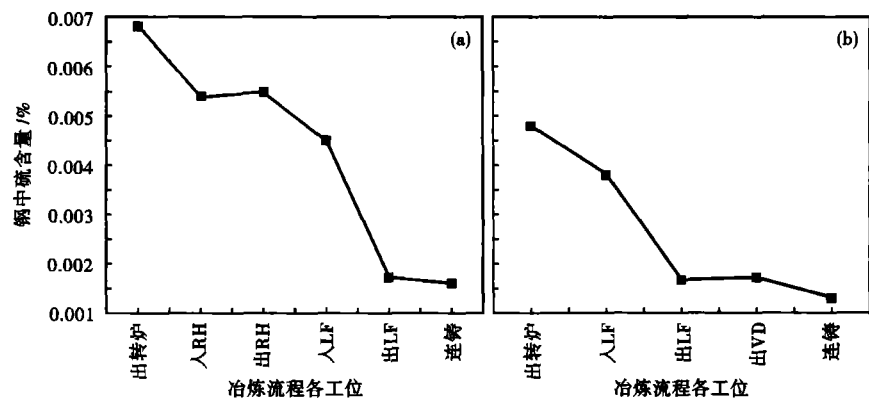


图 2 RH-LF(a)和 LF-VD(b)流程钢中硫平均含量
Fig. 2 Average sulphur content in steel during RH-LF (a) and LF-VD (b) process

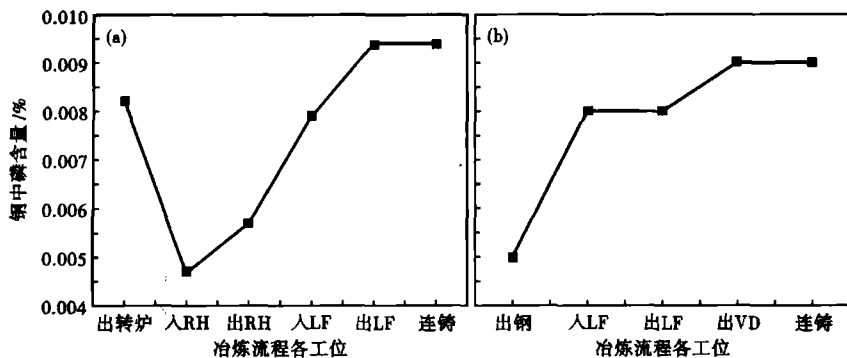


图 3 RH-LF(a)和 LF-VD(b)流程钢中磷含量

Fig.3 Average phosphorous content in steel during RH-LF (a) and LF-VD (b) process

磷含量平均为0.009 0%。RH-LF 精炼流程 LF 吊包时渣碱度平均为 3.73,LF-VD 过程渣碱度高,出 VD 时渣碱度平均为 9.02,有利于控制合金中带入的磷,连铸时 LF-VD 工艺比 RH-LF 工艺磷含量平均低 0.001 0%,LF-VD 过程磷含量控制要优于 RH-LF 精炼过程。

2.4 夹杂物控制

管线钢对钢中夹杂物控制要求较高,LF-VD 流程中夹杂物在VD处理后期弱搅拌上浮去除;RH-

LF 工艺流程中 RH 循环搅拌提高了夹杂物去除的动力学条件,在 LF 流程钙处理有效地促进了夹杂物球化;LF-VD 精炼工艺流程钢中夹杂物总量可以控制到 2 mg/10 kg,RH-LF 精炼工艺钢中夹杂物总量可以控制到 4.5 mg/10 kg。RH-LF 精炼工艺夹杂物偏高,因为 LF-VD 流程 LF、VD 能弱搅拌以促进夹杂物上浮,而 RH-LF 精炼工艺中,LF 脱氧生成的夹杂物仅在 LF 流程弱搅拌后就进入连铸工序,上浮去除的时间比 LF-VD 工艺少了 VD 处理时间。图 4(a,b)为夹杂物类型分布图,由图 4(a,b)中可知,RH-LF 和 LF-VD 工艺钢中夹杂物以钙铝酸盐或钙铝酸盐的复合物为主,RH-LF 工艺有部分二氧化硅,LF-VD 工艺有部分氧化铝夹杂物。图 4(c,d)为显微夹杂物尺寸分布图,由图 4(c,d)中可知,RH-LF 夹杂物尺寸主要为 5~10 μm,而 LF-VD 工艺显微夹杂物尺寸偏大一些主要集中在 5~20 μm。

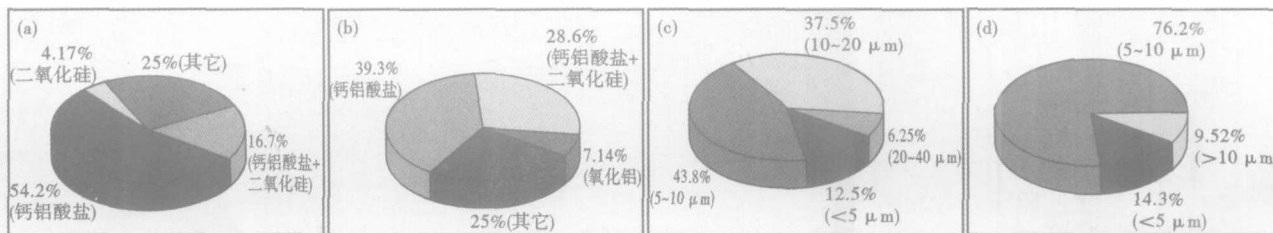


图 4 RH-LF(a)和 LF-VD(b)工艺钢中夹杂物分布;RH-LF(c)和 LF-VD(d)工艺钢中夹杂物尺寸分布

Fig.4 Distribution of inclusions in steel refined by RH-LF (a) and LF-VD (b) process; distribution of sizes of inclusion in steel refined by RH-LF (c) and LF-VD (d) process

3 结论

(1)LF-VD 流程控制钢中氮的效果稍优于 RH-LF 流程,钢中全氧含量均能控制在0.001 0%内。

(2)RH-LF 和 LF-VD 两种工艺都有较好的脱硫效果,均能控制钢中硫含量在0.002 0%以内,RH-LF 控制最低达到0.000 6%,LF-VD 控制最低达到0.000 4%。

(3)RH-LF 和 LF-VD 流程由于渣碱度等冶炼条件的差别,LF-VD 流程钢中磷含量平均比 RH-LF 流程低0.001 0%。

(4)两种工艺显微夹杂物成分主要以钙铝酸盐、钙铝酸盐和二氧化硅的复合物为主,LF-VD 流程大部分夹杂物尺寸集中在 5~10 μm,RH-LF 流程大

部分夹杂物尺寸集中在 5~20 μm。

参考文献

- 1 刘 浏.超低硫钢生产工艺技术.特殊钢,2000,21(5):29
- 2 王经民,于小方,李 晶,等.LF/VD 过程钢液氮含量控制试验研究.炼钢,2003,19(4):56
- 3 林 俊,杨金明.60 t AC-LF/VD-CC 生产低氮钢工艺实践.上海钢研,2005(3):16
- 4 吴燕萍,凌国胜.RH 快速精炼及选型.钢铁技术,2007(4):6
- 5 陈迪庆,李小明,胡忠玉.100 t VD 精炼对钢液脱气和除非金属夹杂的作用.炼钢,2004,20(5):18
- 6 程官江,王三忠,刘海强.100 t VD 精炼脱气工艺实践.炼钢,2005,21(1):18

余 健(1981-),男,博士生,洁净管线钢研究。

收稿日期:2008-09-16