

LF-VD 协同快速冶炼超低硫钢技术开发

郝宁*, 刘金刚, 刘洋, 季晨曦, 周德光, 胡显堂, 王国连, 李海波

首钢集团有限公司技术研究院, 北京 100043

Development of LF-VD Collaborative Rapid Refining Technology for Ultra Low Sulfur Steel

Hao Ning*, Liu Jingang, Liu Yang, Ji Chenxi, Zhou Deguang, Hu Xiantang, Wang Guolian

Research Institute of Technology, Shougang Group Co., Ltd., Beijing, 100043, China

1. 前言

超低硫钢冶炼一般采用“铁水预脱硫+转炉控制回硫+精炼深脱硫”工艺路线。铁水预脱硫工艺可以将硫含量降至 10ppm 左右,但是在转炉冶炼过程中,由于氧化性气氛和原料条件限制,转炉冶炼过程会发生钢液回硫,回硫量根据各厂实际条件及控制水平不一,因此,要满足高品质钢种[S]含量 $\leq 0.001\%$ 的要求,精炼必须承担深脱硫的任务。传统工艺中 LF 完全承担深脱硫任务^[1-2],但是 LF 精炼过程是一个相对开放的环境,尽管可以通过炉盖进行保护并采取微正压操作,但仍然不可避免的存在渣钢与空气持续接触现象,影响 LF 炉内还原性降低程度,进而影响脱硫速度。因此,针对 LF-VD 双精炼工艺,开发了适合 VD 精炼特色的深脱硫工艺,形成了整套分阶段 LF-VD 协同快速深脱硫精炼技术。

2. 高硫容量少渣量高效脱硫技术开发

2.1. LF-VD 分阶段脱硫任务制定

通过试验研究了 LF 精炼过程不同初始硫含量下脱硫速率的变化,结果如图 1 所示。从图中可以看出,钢液硫含量越高,脱硫速率越大,而当硫含量降低到 20ppm 时,脱硫速率明显降低,需要较长时间才能将硫含量降至 10ppm 以下,影响 LF 炉的精炼周期。VD 真空精炼过程中,钢液和炉渣均不会和空气发生接触,精炼全程可保持超低的氧化性,且 VD 脱气过程具有强搅拌渣钢充分混匀的特性,因此开发 VD 真空脱气的同时进行渣钢反应深脱硫技术是目前高效冶炼的一个重要手段,即通过 LF+VD 协同快速冶炼超低硫钢,LF 精炼进行造渣并将硫含量降至 20ppm,然后利用 VD 真空脱气过程的渣钢反应继续将硫含量脱至 10ppm 以下。

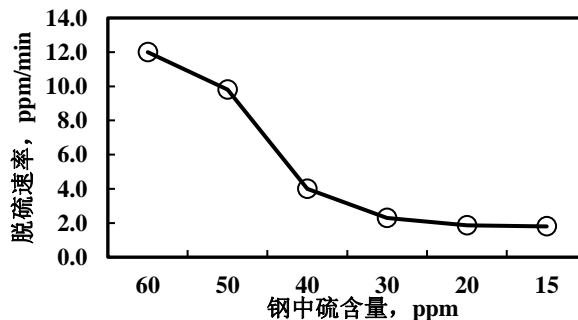


图 1 不同初始硫含量对应的的脱硫速率

Fig. 1 Desulfurization rate corresponding to initial sulfur content in steel

2.2. 高硫容量少渣量精炼技术开发

VD 精炼过程中如果渣量过大会发生溢渣，影响生产的顺利进行。图 2 给出了计算的 VD 精炼过程渣厚与渣眼面积关系，从图中可以看出，随着精炼渣厚度的增加，底吹过程渣眼面积减小。当渣厚小于 100mm 时，随着厚度的减小，渣眼面积迅速增大，而当渣厚大于 100mm 时，随着渣厚增加，渣眼面积均较小，此时易发生溢渣。所以为了稳定生产，VD 精炼过程渣厚应该小于 100mm，对于 200t 钢包，渣料加入量应小于 10Kg/t。因此，针对“LF-VD”协同冶炼超低硫钢工艺，需要提高精炼渣的脱硫能力，开发少渣量下的深脱硫技术。

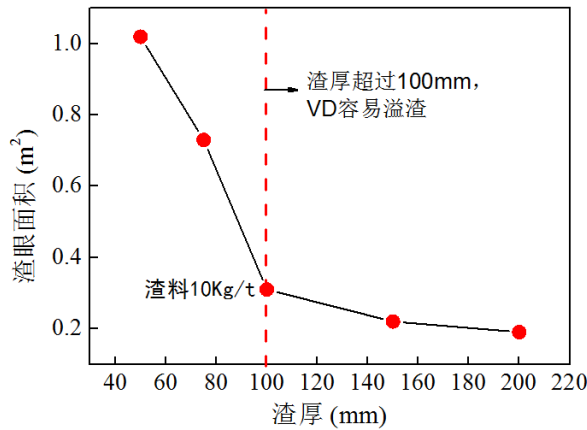


图 2 VD 精炼过程渣厚与渣眼面积的关系

Fig. 2 Relationship between slag thickness and slag hole area during VD refining process

炉渣脱除钢液中硫的能力可用硫容量来表征。硫容量(C_s)是渣的一个性质，是温度和渣成分的函数，它描述了一种液态炉渣潜在的脱硫能力，可用来比较不同炉渣的脱硫能力的大小。利用瑞典 Royal Institute of Technology 的冶金系开发的 KTH 模型计算 1600°C 时，CaO-Al₂O₃-SiO₂-MgO 四元渣系的等硫容量分布^[3]，如图 3 所示，根据脱硫过程渣钢间的硫总量平衡原理计算了渣量与脱硫率的关系，结果如图 4 所示。从图中可以看出，降低精炼渣中 SiO₂ 含量、MgO 含量以及增加 CaO/Al₂O₃ 均可以有效提高炉渣硫容量，且在渣中 CaO 含量达到饱和时，硫容量达到最大值。基于此理论，设计“LF+VD”协同深脱硫工艺精炼渣成分为：55-60%CaO、28-35%Al₂O₃、SiO₂%≤4%、5-8%MgO，硫容量 C_s 可以提高至 0.004，渣钢间硫平衡分配比 L_s 提高至 1000 以上。由图 4 计算结果可看出，利用此精炼渣，在钢渣反应平衡条件下，10kg/t 钢渣料量可将[S]脱至≤5ppm，同时满足 VD 防溢渣对渣厚的要求。

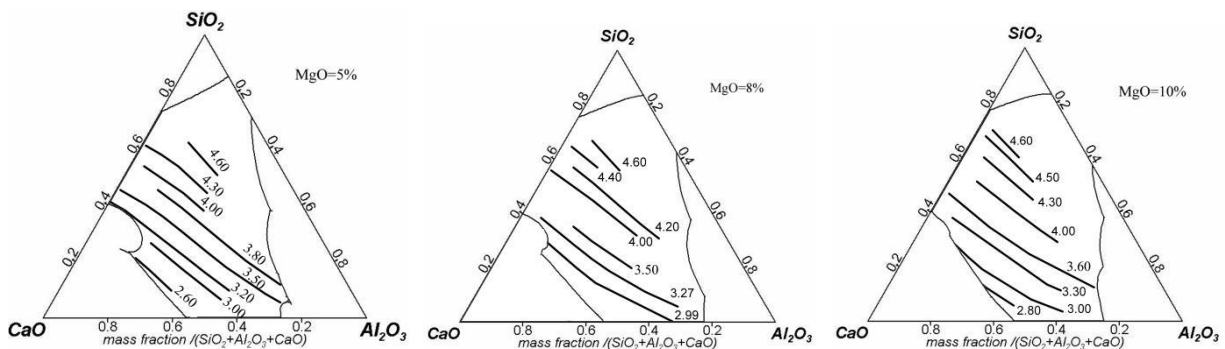


图 3 1600°C 时，CaO-Al₂O₃-SiO₂-MgO 四元渣系的等硫容量线(-LogCs)

Fig. 3 Iso-sulphide capacity lines in CaO-Al₂O₃-SiO₂-MgO at 1600°C

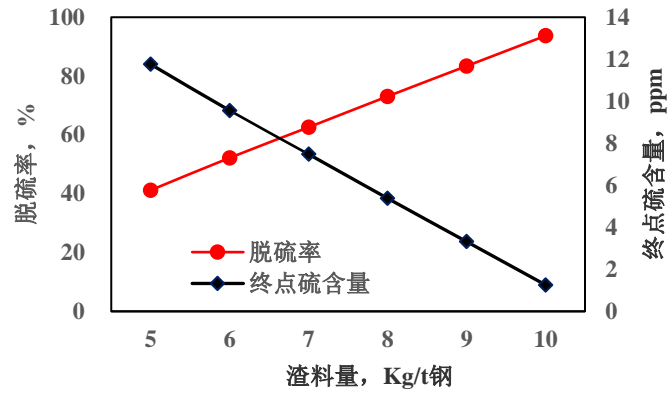


图 4 渣量与脱硫率的关系

Fig. 4 Relationship between slag amount and desulfurization rate

2.3. 应用效果

应用该技术后,高品质中厚板产品中硫含量稳定控制在 5ppm 以下,LF 精炼周期由 50min 降至 41min,渣料量由 20Kg/t 钢降至的 9.8Kg/t 钢,如图 5、图 6 所示。

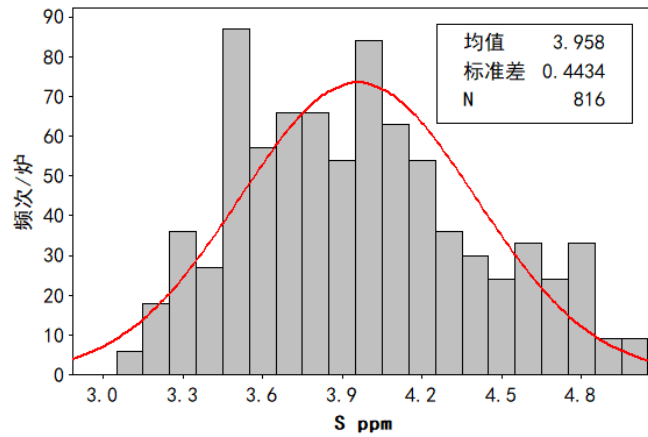


图 5 高品质中厚板产品中硫含量

Fig. 5 Sulfur content in high-quality medium and thick plate products

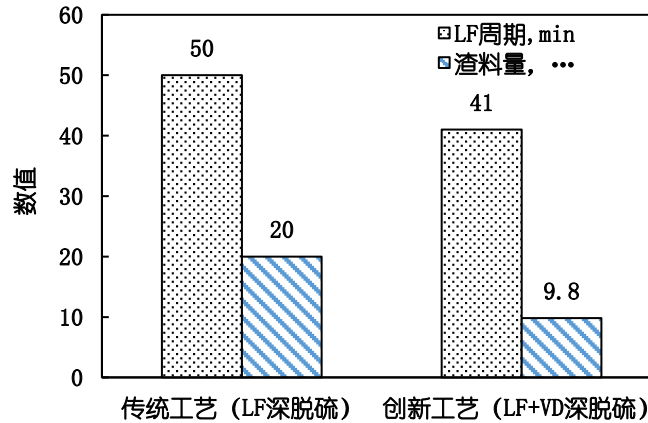


图 6 LF 精炼周期及渣料量对比

Fig. 6 Comparison of LF refining cycle and slag quantity

3. 结论

(1)55-60%CaO、28-35%Al₂O₃、SiO₂%≤4%、5-8%MgO 组成的精炼渣硫容量 C_s 可以提高至 0.004，满足深脱硫任务的同时防止了 VD 精炼过程因渣量过大而出现的溢渣。

(2)采用 LF-VD 分阶段协同控制脱硫任务可以将高品质中厚板产品中硫含量稳定控制在 5ppm 以下，LF 精炼周期降至 41min，渣料量降至 9.8Kg/t 钢。

参考文献

- [1] 王郢, 郭佳, 杨文, 等. 齿轮钢 20CrMoH 脱硫的热力学研究[J]. 钢铁, 2009, 44(1): 36.
- [2] 李太全, 包燕平, 吴华杰, 等. 高级别管线钢超低硫控制研究[J]. 钢铁, 2009, 44(5): 35.
- [3] 郝宁, 王新华, 刘金刚, 等. MgO 含量对 CaO-Al₂O₃-SiO₂-MgO 精炼渣脱硫能力的影响[J]. 炼钢, 2009, 25(4): 16.