

20 钢管 LF 精炼渣系优化的工业试验

朱富强¹ 汪金林² 范鼎东² 任振海¹ 陈占领¹

(1 中天钢铁集团有限公司,常州 213011;2 安徽工业大学冶金学院,马鞍山 243032)

摘要 通过对中天钢铁公司电炉厂 20 钢管现行精炼渣系(/% :4 ~ 17SiO₂, 17 ~ 34Al₂O₃, 40 ~ 65CaO) 的动力学以及热力学分析,在确保炉渣粘度 1.5 ~ 2.0 Pa · s 的前提下,设计出较高吸附夹杂物能力的 LF 精炼渣系: (/% :6 ~ 15SiO₂, 24 ~ 34Al₂O₃, 58 ~ 65CaO)。试验结果表明,该渣系能够很好地满足 20 钢管的质量要求,达到了去除钢中夹杂物的目的,其 B 类夹杂评级均 ≤ 1.0。

关键词 20 钢管 100 t LF 精炼渣系 碱度 夹杂物

Commercial Pilot Production on Optimization of LF Refining Slag System for 20 Steel Tube

Zhu Fuqiang¹, Wang Jinlin², Fan Dingdong², Ren Zhenhai¹ and Chen Zhanling¹

(1 ZENITH Steel Group Co Ltd, Changzhou 213011;

2 School of Metallurgical Engineering, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243032)

Abstract Based on dynamics and thermodynamics analysis on the current refining slag system (/% :4 ~ 17SiO₂, 17 ~ 34Al₂O₃, 40 ~ 65CaO) of the 20 steel-tube produced at Electric Furnace Plant, Zenith Steel Group Co, the refining slag system (/% :6 ~ 15SiO₂, 24 ~ 34Al₂O₃, 58 ~ 65CaO) for LF is designed, to ensure the appropriate slag viscosity 1.5 ~ 2.0 Pa · s and higher ability to sorb inclusions. The experimental results show that the slag system can well meet the quality requirements of 20 steel tube and can achieve the purpose to remove inclusions in steel with B type inclusion rating ≤ 1.0.

Material Index 20 Steel Tube, 100 t LF, Refining Slag, Basicity, Inclusion

20 钢管夹杂物的评级要求各类夹杂均不大于 1.0 级,因此对钢的质量要求也越来越高^[1]。在 LF 精炼过程中,精炼渣不仅对钢液的脱氧与脱硫有重要影响,而且对吸收钢中夹杂物也起关键作用^[2]。但是目前 LF 精炼渣系成分控制范围较为宽泛,精炼渣碱度波动很大,从 3.0 到 10.0 均存在;钙铝比波动范围从 1.5 至 3.0 也很常见,钢材质量波动很大。因此针对提高 20 钢管的成品质量进行了精炼渣系优化研究。

1 精炼渣系现状及优化依据

中天钢铁公司电炉厂 20 钢管化学成分如表 1, 现有精炼渣系为:(SiO₂)4% ~ 17%、(Al₂O₃)17% ~ 34%、(CaO)40% ~ 65%,其他组元为(MgO)6% ~ 8%、(FeO + MnO) ≤ 1%。表 2 为随机挑选的 5 炉连续现场冶炼的 20 钢管的精炼渣检测后成分中 CaO、SiO₂ 和 Al₂O₃ 三组元归一化后的结果。利用 Factsage 软件计算出每组精炼渣在熔融状态下的黏度,如图 1 所示。

冶炼 20 钢管时主要使用铝块进行深脱氧,精炼渣中最主要的夹杂为 Al₂O₃,即 B 类夹杂(表 3)。

表 1 20 钢管化学成分 /%

Table 1 Chemical composition of 20 steel tube /%

| C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Cu | Al |
|------|------|------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 0.19 | 0.20 | 0.37 | ≤0.002 | ≤0.015 | ≤0.15 | ≤0.15 | ≤0.15 | 0.009 |

表 2 精炼渣成分归一化后结果

Table 2 Normalized refining slag composition results

| 炉号 | 精炼渣成分 /% | | | 碱度 | 钙铝比 |
|-----|----------|------------------|--------------------------------|-------|------|
| | CaO | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | | |
| 189 | 62 | 18 | 20 | 3.98 | 2.42 |
| 190 | 60 | 17 | 23 | 3.45 | 2.58 |
| 191 | 60 | 5 | 35 | 10.27 | 1.77 |
| 192 | 63 | 15 | 22 | 4.27 | 2.87 |
| 194 | 61 | 17 | 22 | 4.06 | 2.49 |

由表 2 可以看出炉号 190 与 191 的 SiO₂ 的差值达到 12%。由图 1 可知此时整个渣系黏度分布在 1.2 ~ 1.35,渣系整体黏度较小,对于 Al₂O₃ 夹杂溶解速度和吸收率低,B 类夹杂评级均超过 1.0,其中还有两炉评级超过 2.0。

LF 精炼过程,夹杂物的去除分为三个阶段:夹杂物上浮至钢渣界面;夹杂物从钢水中分离进入渣相;夹杂物被吸收进精炼渣中^[3],因此造出流动性合适良好的精炼渣十分重要。图 2 为 CaO-Al₂O₃-

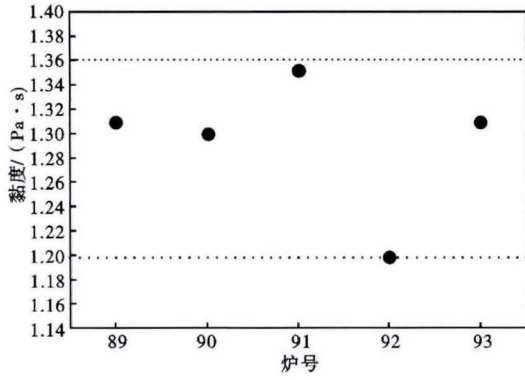


图 1 各炉精炼渣黏度计算结果

Fig.1 Calculation result of viscosity of refining slag at each heat

表 3 各炉号钢中 B 类夹杂评级水平

Table 3 Rating of B type inclusion in steel of each heat

| 项目 | 各炉号钢中 B 类夹杂/级 | | | | |
|-------|---------------|-----|-----|-----|-----|
| | 189 | 190 | 191 | 192 | 194 |
| B 类粗系 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 2.0 | 1.5 |
| B 类细系 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 2.0 |

SiO₂ 三元渣系的等黏度图, 研究表明^[4], 当炉渣黏度控制在 1.5 ~ 2.0 Pa·s 时, 炉渣吸附夹杂效果最佳, 此时三元渣系的成分范围为 (SiO₂) = 6% ~ 11%、(Al₂O₃) = 28% ~ 34%、(CaO) = 58% ~ 64%。

2 优化试验及结果分析

2.1 试验方案

20 钢管的冶炼工艺为 100 t 电弧炉 → 100 t LF → VD → 连铸。电弧炉出钢后钢包中残留的渣量为 200 kg 左右, 出钢阶段加入 500 kg 石灰, 200 kg 化渣剂, 80 kg 铝块, LF 精炼阶段加入 150 ~ 220 kg 碳化硅, 铝粒 18 ~ 30 kg, 根据设定的碱度和钙铝比通过物质守恒计算, 每炉补加 50 ~ 150 kg 石灰, 根据 20 钢管的要求适当加入合金。具体 10 炉试验数据

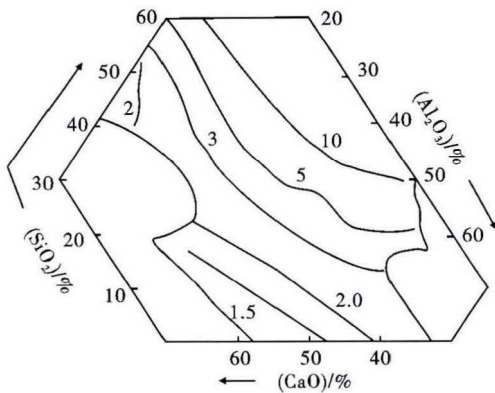


图 2 CaO-Al₂O₃-SiO₂ 三元渣系等黏度图

Fig.2 Isoviscosity diagram of CaO-Al₂O₃-SiO₂ ternary slag system

表 4 LF 试验各炉加料数据

Table 4 Test specific feed data in each LF heat

| 炉次 | 石灰/kg | 碳化硅/kg | 硅铁/kg | 硅锰合金/kg | 增碳剂/kg | 喂 Al/kg |
|----|-------|--------|-------|---------|--------|---------|
| 1 | 100 | 180 | 90 | 60 | 60 | 18.2 |
| 2 | 100 | 190 | 100 | 70 | 60 | 13.0 |
| 3 | 90 | 210 | 90 | 70 | 50 | 18.2 |
| 4 | 100 | 160 | 70 | 60 | 70 | 18.2 |
| 5 | 70 | 220 | 110 | 40 | 80 | 33.0 |
| 6 | 20 | 210 | 90 | 110 | 70 | 33.8 |
| 7 | 70 | 170 | 70 | 50 | 80 | 0.0 |
| 8 | 150 | 150 | 30 | 60 | 50 | 13.0 |
| 9 | 90 | 190 | 20 | 0 | 70 | 18.2 |
| 10 | 150 | 220 | 40 | 70 | 90 | 18.2 |

表 5 LF 各炉精炼渣检测结果

Table 5 Refined slag test results of each LF heat

| 炉次 | 渣的成分/% | | | 碱度 | 钙铝比 | 黏度/(Pa·s) |
|----|--------|------------------|--------------------------------|------|------|-----------|
| | CaO | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | | | |
| 1 | 61 | 14 | 25 | 4.31 | 2.50 | 1.75 |
| 2 | 59 | 13 | 28 | 4.52 | 2.15 | 1.82 |
| 3 | 61 | 13 | 26 | 4.52 | 2.33 | 1.80 |
| 4 | 60 | 15 | 25 | 4.01 | 2.37 | 1.76 |
| 5 | 60 | 14 | 26 | 4.27 | 2.25 | 1.75 |
| 6 | 61 | 14 | 25 | 4.30 | 2.42 | 1.75 |
| 7 | 61 | 15 | 25 | 4.13 | 2.44 | 1.75 |
| 8 | 58 | 13 | 29 | 4.66 | 2.01 | 1.88 |
| 9 | 62 | 14 | 24 | 4.29 | 2.55 | 1.72 |
| 10 | 61 | 13 | 26 | 4.55 | 2.35 | 1.76 |

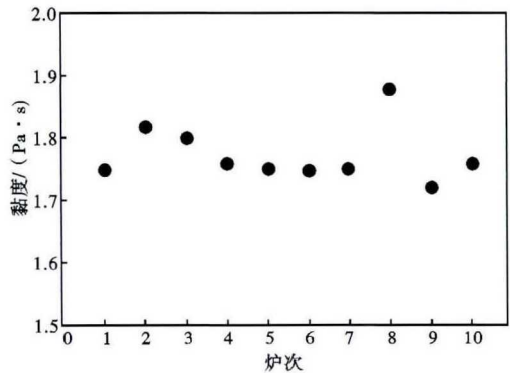


图 3 试验炉次精炼渣黏度

Fig.3 Refining slag viscosity of each heat

如表 4 和表 5 所示。

2.2 结果分析

对渣系黏度利用 Factsage 进行计算, 如图 3 所示。可以看出。碱度和钙铝比的波动更加稳定, 并且渣系的黏度均大于 1.5 Pa·s, 符合黏度在 1.5 ~ 2.0 Pa·s 的设计要求, 这使得精炼渣有很好的流动性。

试验炉次的精炼渣中的 CaO、Al₂O₃ 和 SiO₂ 组成在 CaO-Al₂O₃-SiO₂ 的三元渣系的等温图^[5] 中标出, 如图 4 所示。图中存在 A 区和 B 区两个低熔点

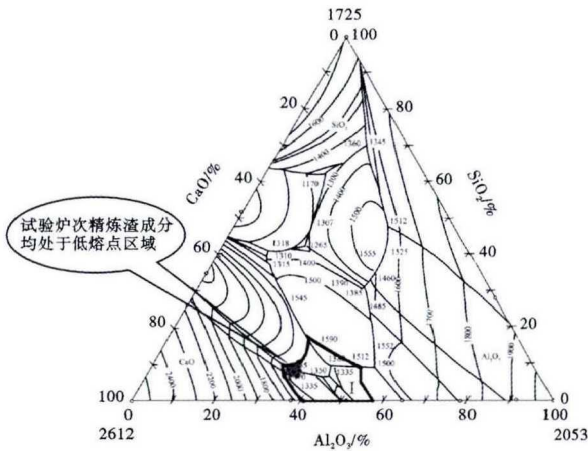


图 4 CaO-Al₂O₃-SiO₂ 三元渣系中低熔点区域
Fig.4 Low melting region in CaO-Al₂O₃-SiO₂ ternary slag system

的区域,由于 20 钢管采用的是铝脱氧,因此在脱氧合金化之后终渣中的 Al₂O₃ 都在 20% 以上,此时试验炉次的精炼渣均落在低熔点的 B 区,故冶炼时渣系熔点均在 1 550 ℃ 以下,加上氩气搅拌,整个 LF 内的精炼渣有很好的流动性。

当精炼渣中 CaO 处于高活度,Al₂O₃ 处于低活度时,脱氧,脱硫以及去夹杂等反应才能在更好的热力学条件下进行^[6]。将试验炉次的精炼渣中的 CaO、Al₂O₃ 和 SiO₂ 组成在 CaO-Al₂O₃-SiO₂ 的三元渣系的等活度图^[4]中标出,如图 5 所示。可以看出,试验后的渣系使 CaO 活度大于 0.3,Al₂O₃ 活度小于 0.03。

对比渣系优化之前的平均水平,新设计的精炼渣系使用后钢水中 Al₂O₃ 类夹杂评级均小于 1.0 (表 6),这是因为精炼渣有良好流动性的同时能够很好的吸附钢中上浮的 Al₂O₃ 夹杂。

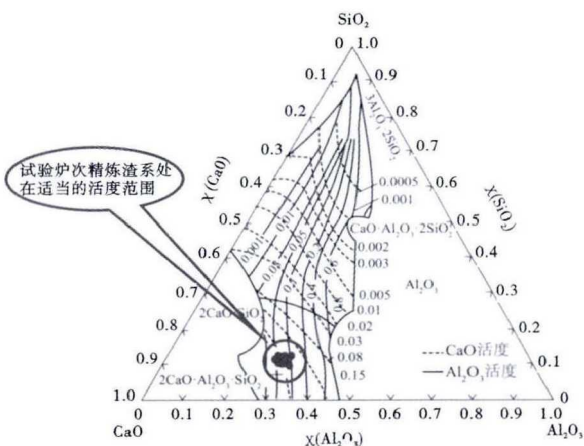


图 5 试验炉次精炼渣在 CaO-Al₂O₃-SiO₂ 三元渣系等活度图中的位置

Fig.5 Location of test heats refining slag in isoactivity diagram of CaO-Al₂O₃-SiO₂ ternary slag system

表 6 试验钢各炉次 B 类夹杂评级水平
Table 6 Rating of B inclusion rating in steel of test each heats

| 炉次 | B 类夹杂/级 | |
|----|---------|-----|
| | 粗 | 细 |
| 1 | 1.0 | 0.5 |
| 2 | 0.5 | 1.0 |
| 3 | 1.0 | 0.5 |
| 4 | 0.5 | 0.5 |
| 5 | 0.5 | 0.5 |
| 6 | 0.5 | 1.0 |
| 7 | 0.5 | 0.5 |
| 8 | 1.0 | 0.5 |
| 9 | 0.5 | 0.5 |
| 10 | 1.0 | 0.5 |

总体对比渣系优化前后的效果,在渣系优化设计之前的 20 钢管精炼渣黏度小于 1.5 Pa·s,此时渣系流动性可以但对夹杂物的吸附性不够,钢中夹杂增多;且由于人为加料的不稳定性,此时精炼渣的碱度和钙铝比波动较大,出现连续炉次碱度差值达到 7.0 的情况。对渣系进行优化并规定炉次加料范围后,渣系的吸附夹杂物能力增强,钢中夹杂减少,每炉精炼渣的碱度和钙铝比波动不超过 ±0.5。

3 结论

(1)从精炼渣粘度角度出发,再通过从动力学和热力学角度的分析,设计出精炼渣系的合理范围为:(SiO₂) 6% ~ 15%、(Al₂O₃) 24% ~ 34%、(CaO) 58% ~ 65%,此时渣系的黏度在 1.5 ~ 2.0 Pa·s,流动性好,吸附溶解夹杂物的能力强。

(2)设计控制的渣系能够很好地实现去夹杂的目的,对比渣系优化之前 B 类夹杂评级,渣系优化后的钢中 B 类和夹杂评级均在 1.0 以下,有效的改善了钢水洁净度。

参考文献

[1]冯远超,陈天明,孙彦辉,等.高品质管坯钢夹杂物控制技术研究[J].炼钢,2015,31(3):54-58.
 [2]李红光.管坯钢纯净度控制研究[J].钢铁钒钛,2015,36(4):88-93.
 [3]陈家祥.钢铁冶金学(炼钢部分)[M].北京:冶金工业出版社,1990:105.
 [4]CHOI J Y, LEE H G, KIM J S. Dissolution Rate of Al₂O₃ Into Molten CaO-SiO₂-Al₂O₃ Slags [J]. ISIJ International, 2007, 42 (8) : 852-860.
 [5]德国钢铁工程师协会.渣图[M].北京:冶金工业出版社,1989:65.
 [6]邓志银.铝镇静钢精炼和浇注过程夹杂物行为及其控制研究[D].沈阳:东北大学,2016.

朱富强(1978-),男,工程师,安徽工业大学(本科)毕业,电炉厂厂长,钢铁冶金研究。E-mail:zfq.shy@163.com

收稿日期:2020-05-03