

渣成分对冶炼 28MnCr5 齿轮钢时 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 精炼渣系熔点的影响

梁 娜¹ 吴德发² 翟正龙¹ 张利平¹

(莱芜钢铁集团有限公司 1 特钢事业部; 2 宽厚板厂, 莱芜 271104)

摘 要 以 28MnCr5 齿轮钢(C : 0.28%, Si : 0.09%, Mn : 0.70%, P : 0.015%, S : 0.027%, Cr : 0.95%) 50 t 电弧炉-LF-VD 的生产过程为对象, 利用热力学计算软件 FactSage, 研究 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 精炼渣系中不同成分比例对其熔点的影响, 找出最佳的比例使夹杂物控制在低熔点区域, 以便于去除。结果表明, $(\text{CaO})/(\text{SiO}_2) \leq 1$ 时, 低熔点区域占总相图面积的百分比比较大; 当 CaO 含量为 30% 时, 低熔点区域占总相图面积的百分比达到所有的最大值, 为 53.2%; 4 组元最佳配比为(CaO : 30%, SiO_2 : 30%, Al_2O_3 : 25%, MgO : 15%)。

关键词 28MnCr5 齿轮钢 精炼渣 相图 低熔点

Effect of Slag Ingredient on Melting Point of $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ Refining Slag Series for Gear Steel 28MnCr5 Steelmaking

Liang Na¹, Wu Defa², Zhai Zhenglong¹ and Zhang Liping¹

(1 Special Steel Division; 2 Heavy Plate Plant, Laiwu Iron and Steel Group Co Ltd, Laiwu 271104)

Abstract Based on the process of 50 t EAF-LF-VD for gear steel 28MnCr5 (C : 0.28%, Si : 0.09%, Mn : 0.70%, P : 0.015%, S : 0.027%, Cr : 0.95%), the effect of proportion of each ingredient in slag on melting point of $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ refining slag series has been studied by using thermodynamic calculation software FactSage, to get optimum proportion of ingredients in order to control the inclusions in low melting point region and remove out. Results show that as $(\text{CaO})/(\text{SiO}_2) \leq 1$, the percentage of low melting point region to whole phase diagram area is larger and as CaO content in slag (CaO) is 30%, the percentage of low melting point region to whole phase diagram area is maximum i. e. 53.2%; the optimum ingredient of quaternary refining slag series is (CaO : 30%, SiO_2 : 30%, Al_2O_3 : 25%, MgO : 15%).

Material Index Gear Steel 28MnCr5, Refining Slag, Phase Diagram, Low Melting Point

钢中夹杂物的存在是不可避免的, 但可以通过各种方法提高钢材纯净度, 有效地控制夹杂物, 使其细小、球形、弥散分布。目前控制夹杂物的主要方法是通过炉渣来控制夹杂物^[1-3], 通过改造炉渣成分, 改善动力学条件, 扩大夹杂物在相图中的低熔点区域, 这样在炼钢温度下由于夹杂物是固体颗粒, 更容易聚集、长大、上浮, 以达到去除的目的。

本文以莱钢特钢事业部电弧炉生产线冶炼 28MnCr5 钢的生产过程为对象, 利用热力学计算软件 FactSage, 通过钢液/炉渣/夹杂物的平衡热力学计算, 研究 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 精炼渣系不同成分比例对其熔点的影响, 以确定何种成分比例的精炼渣有更大的低熔点区域, 这样可以控制渣成分在该区域, 通过渣钢反应来尽量控制夹杂物成分也落在这个区域, 以达到去除效果。

1 热力学计算所需数据和方案

表 1 为 28MnCr5 钢的化学成分, 其冶炼工艺为 50 t EAF→60 t LF→60 t VD。钢的液相线温度计算

表 1 齿轮钢 28MnCr5 的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of gear steel 28MnCr5 / %

C	Si	Mn	P	S	Cr
0.28	0.09	0.70	0.015	0.027	0.95

公式如式(1)所示^[4], 经计算为 1 510 ℃。

$$T_{\text{液相线}} = 1\,535 - 65[\text{C}] - 30[\text{P}] - 25[\text{S}] - 20[\text{Ti}] - 8[\text{Si}] - 7[\text{Cu}] - 5[\text{Mn}] - 2.5[\text{Ni}] - 2.7[\text{Al}] - 2[\text{V}] - 1.7[\text{Mo}] - 1.5[\text{Cr}] - 1.7[\text{Co}] - [\text{W}] - 1\,300[\text{H}] - 90[\text{N}] - 80[\text{B}] - 80[\text{O}] - 5[\text{Ce}] - 6.5[\text{Nb}] \quad (1)$$

根据炼钢温度, 热力学温度采用 1 600 ℃。根据 1 600 ℃ 时元素相互作用系数, 按式(2)计算元素亨利活度系数^[5]。计算结果见表 2 所示。

$$\lg f_i = \sum_j e_j^i \cdot [j] \quad (2)$$

式中: f_i - 元素 i 的亨利活度系数; e_j^i - 元素 j 对 i 的相互作用系数; $[j]$ - 钢液中元素 j 的质量百分浓度。

表 2 元素的亨利活度系数 f_i (1 600 ℃)
Table 2 Henry activity coefficients f_i of elements, 1 600 ℃

C	Si	Mn	P	S	O	Al	Ca
1. 013	1. 084 5	0. 998 6	1. 074	0. 959 3	0. 833 6	1. 037 1	$3. 29 \times 10^{-5}$

利用 FactSage 软件研究 CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO 精炼渣系 4 种组元含量及 (CaO)/(SiO₂) 的变化对冶炼 28MnCr5 齿轮钢熔点的影响,计算对应条件下低熔点区域 (<1 400 ℃) 面积占总相图面积的百分比,从而确定夹杂物最易去除时各组元的含量范围。具体的方案为 (CaO)/(SiO₂) 为 1~3;渣中 CaO 含量- (CaO) 为 0~40%;渣中 SiO₂ 含量- (SiO₂) 为 0~40%;渣中 Al₂O₃ 含量- (Al₂O₃) 为 0~35%,渣中 MgO 含量- (MgO) 为 0~30%。

2 各组分对四元精炼渣熔点的影响

2.1 (CaO)/(SiO₂)

CaO:SiO₂ 分别为 1:1、1.5:1、2:1、3:1 时,CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO 四元系相图的低熔点区域占总相图的百分比如图 1 所示。

从图 1 可以看出,当渣中 (CaO)/(SiO₂) 比值从 1 到 1.5 时,低熔点区域占总相图的百分比降低明显,(CaO)/(SiO₂) 比值为 1 时,低熔点区域占总相图的面积最大,为 12.48%。当 (CaO)/(SiO₂) 比值从 1.5 到 3 之间变化时,低熔点区域占总相图的百分比逐渐减小,但总体变化不大,当 (CaO)/(SiO₂) 比值为 3 时,低熔点区域占总相图的面积最小,为 4.60%。因此,应尽量控制 (CaO)/(SiO₂) 比值 < 1.5,最好控制在 1 左右。

2.2 (CaO)

当 CaO 含量在 0~40% 时,CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO 系相图的低熔点区域占总相图的百分比如图 2(a)

所示。
通过图 2(a) 可以看出,CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO 四元系的低熔点区域比不含 CaO 的 SiO₂-Al₂O₃-MgO 三元系的低熔点区域要大。CaO 含量从 0 逐渐增大到

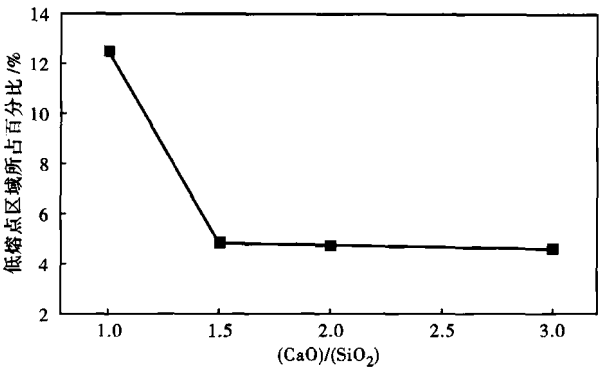


图 1 (CaO)/(SiO₂) 对低熔点区域占总相图面积的影响
Fig. 1 Effect of (CaO)/(SiO₂) on percentage of low melting point region to whole phase diagram area

40% 的过程中,低熔点区域所占总相图的百分比呈现先增大后减小的趋势。当 CaO 含量为 30% 左右时,低熔点区域所占总相图的百分比达到最大,占 53.2%。因此,应尽量控制 CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO 四元系中 CaO 含量在 30% 左右。

2.3 (SiO₂)

当 SiO₂ 含量在 0~40% 时,CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO 系相图的低熔点区域占总相图的百分比如图 2(b) 所示。

通过图 2(b) 可以看出,当 SiO₂ 含量在 0~25% 变化时,低熔点区域占总相图的百分比呈现先增加后减小的趋势,但总体波动不大。所以当 SiO₂ 含量小于 25% 时,SiO₂ 含量对 CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO 系低

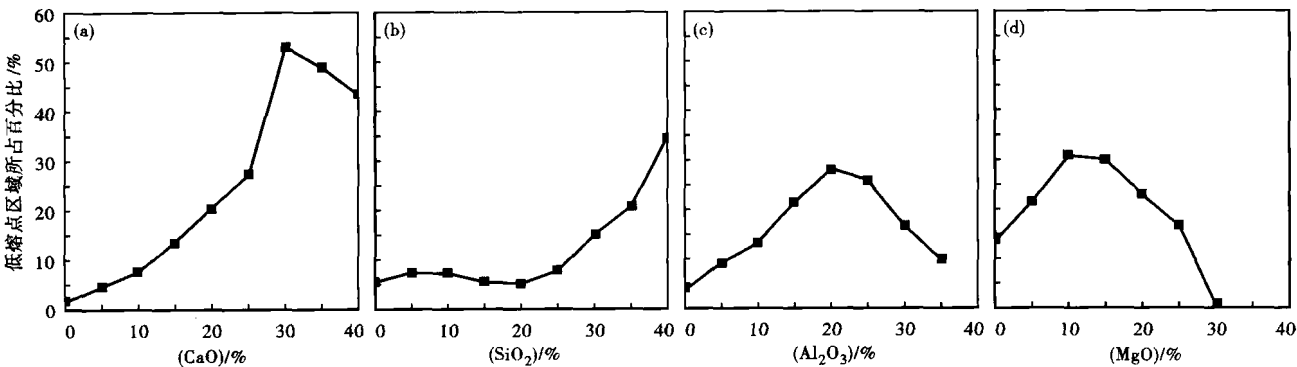


图 2 (CaO) (a), (SiO₂) (b), (Al₂O₃) (c), (MgO) (d) 对低熔点区域占总相图面积的百分比的影响
Fig. 2 Effect of (CaO) (a), (SiO₂) (b), (Al₂O₃) (c) and (MgO) (d) on percentage of low melting point region to whole phase diagram area

熔点区域影响较小。 SiO_2 含量大于 25% 时,低熔点区域占总相图的百分比逐渐增大,当 SiO_2 含量为 40% 时,低熔点区域占总相图的百分比为 34.7%。因此,应尽量控制 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 中 SiO_2 含量大于 25%。

2.4 (Al_2O_3)

当 Al_2O_3 含量在 0 ~ 35% 时, $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 系相图的低熔点区域占总相图的百分比如图 2(c) 所示。

通过图 2(c) 可以看出, $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 四元系的低熔点区域比不含 Al_2O_3 的 $\text{CaO-SiO}_2\text{-MgO}$ 三元系的低熔点区域要大。 Al_2O_3 含量从 0 逐渐增大到 35% 的过程中,低熔点区域所占总相图的百分比先增大后减小。当 Al_2O_3 含量为 20% 左右时,低熔点区域占总相图的百分比达到最大,为 28.2%。因此,应尽量控制 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 四元系中 Al_2O_3 含量在 20% ~ 25%。

2.5 (MgO)

当 MgO 含量在 0 ~ 30% 时, $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 系相图的低熔点区域占总相图面积的百分比如图 2(d) 所示。

通过图 2(d) 可以看出, MgO 含量从 0 逐渐增大到 30% 的过程中,低熔点区域占总相图的百分比呈现先增大后减小的趋势。当 MgO 含量从 0 逐渐增大到 10% 时,随着 MgO 含量的增大,低熔点区域所占总相图的百分比几乎是直线上升,当 MgO 含量为 10% 左右时,低熔点区域占总相图的百分比达到最大 30.9%。当 MgO 含量超过 15% 后,低熔点区域占总相图的百分比急剧下降。当 MgO 含量超过 30% 后,低熔点区域所占总相图的百分比已经很小,为 0.6%,很难发现低于 1400 °C 的低熔点区。因此,应尽量控制 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 四元系中 MgO 含量在 10% ~ 15%。

3 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 精炼渣系组元最佳含量

从以上结果分析可以看出,低熔点区域占总相图面积的最大百分比 53.2% 出现在 CaO 含量为 30% 时,此时 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 系的相图如图 3 所示。从图 3 上可以看出,此时的低熔点区域主要在 $0 < \text{SiO}_2 < 92\%$, $0 < \text{Al}_2\text{O}_3 < 92\%$, $0 < \text{MgO} < 38\%$ 的范围,结合以上实验结果,4 组元最佳含量为 (%) 30 CaO -30 SiO_2 -25 Al_2O_3 -15 MgO 。

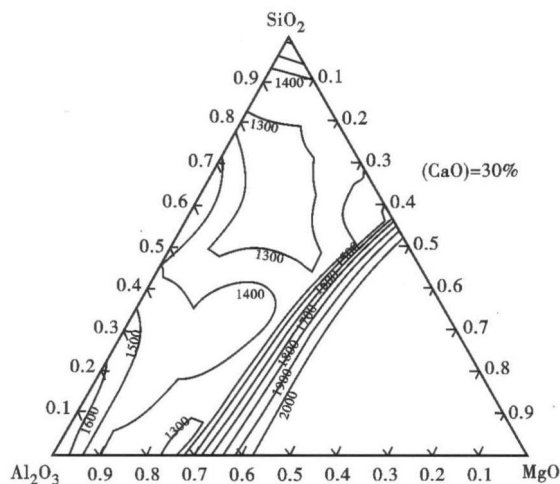


图 3 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 系相图, (CaO) = 30%

Fig. 3 Phase diagram of $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ slag series, (CaO) = 30%

4 结论

(1) 随着 (CaO)/(SiO_2) 比值的增大,低熔点区域占总相图面积的百分比逐渐减少,当比值从 1 增加到 1.5 时,下降趋势明显。

(2) 当 CaO 含量为 30% 时, SiO_2 含量大于 25%、 Al_2O_3 含量在 20% ~ 25%、 MgO 含量在 10% ~ 15% 时,达到各自低熔点区域占总相图面积的百分比的最大值。

(3) 当 CaO 含量为 30% 时,低熔点区域占总相图面积的百分比达到所有的最大值为 53.2%,实验结果表明,最佳 4 组元精炼渣配比为 (%) 30 CaO -30 SiO_2 -25 Al_2O_3 -15 MgO 。

参考文献

- 1 汤曙光. LF-VD 精炼渣组成对冶金效果的影响. 炼钢, 2001, 17(4): 29
- 2 陈 斌, 姜 敏, 王新华. 高碱度高 Al_2O_3 炉渣下合金钢液中非金属夹杂物的行为. 特殊钢, 2008, 29(2): 7
- 3 杨接明, 王春琼, 李长荣, 等. LF 精炼炉渣成分对 H13 钢中夹杂物的影响. 特钢技术, 2010, 16(4): 26
- 4 曲 英. 炼钢学原理. 北京: 冶金工业出版社, 2002
- 5 黄希祜. 钢铁冶金原理. 北京: 冶金工业出版社, 1994

梁 娜(1982-), 女, 硕士, 工程师, 2007 年昆明理工大学毕业, 特殊钢的工艺技术及产品开发。

收稿日期: 2012-01-13