

RH 精炼渣高熔点相作用浓度对粘渣的影响

梁小平, 金杨, 王雨, 段红玲

(重庆大学材料科学与工程学院, 重庆 400044)

摘要: 为抑制 RH 精炼过程中熔渣中高熔点镁铝尖晶石和铁铝尖晶石相的析出以减轻浸渍管粘渣, 基于分子离子共存理论, 建立了 $\text{CaO-SiO}_2\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO-CaF}_2\text{-MnO}$ 七元精炼渣系结构单元作用浓度的计算模型, 计算了高熔点相的作用浓度, 分析了熔渣组成对高熔点相作用浓度的影响. 结果表明, 当 RH 精炼渣的碱度($\text{CaO/SiO}_2, \omega$) 在 4.0~5.0, $\text{CaO/Al}_2\text{O}_3(\omega)$ 为 1.5~2.0, MgO 含量约 10%(ω), FeO 含量约 17%(ω), CaF_2 含量不高于 7.5%(ω) 时, 精炼渣中 $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{FeO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 的作用浓度处于较低水平, 不足以结晶析出, 因而可以减轻 RH 浸渍管的粘渣. 模型计算结果与实验结果一致, 为减轻粘渣用改质剂配方的设计提供了理论依据.

关键词: RH 浸渍管; 粘渣; 热力学; 作用浓度

中图分类号: TF769.4; TF703.6

文献标识码: A

文章编号: 1009-606X(2009)02-0324-05

1 前言

近年来, 国内许多钢铁企业均采用炉外精炼方法生产高品质钢种, 生产过程中经常出现精炼钢包渣与冶金设备耐火材料相容性不好的问题. 如宝钢、安钢等在生产过程中出现的钢包粘渣^[1-3], 宝钢集团上海第一钢铁有限公司在 LATS 精炼过程中出现了严重的浸渍罩罩群部位耐火材料粘渣^[4], 攀钢炼钢厂出现了 RH 精炼浸渍管粘渣^[5], 粘渣已经成为影响钢铁厂生产率提高的关键问题. 目前对粘渣的研究多集中在钢包内壁粘渣, 对 RH 浸渍管粘渣的研究较少. 研究^[1-5]表明, 冶金设备粘渣大多是生产过程中熔渣中析出的高熔点相粘附在耐火材料上. 因此, 目前大多是通过改善耐火材料的工作条件、改变生产工艺及加入改性剂等方法解决粘渣问题, 其中加入改性剂改善熔渣高温物理性质的方法是一种较经济且操作性较强的有效方法, 如王宏明等^[4,6]对 LATS 精炼时浸渍罩罩群部位耐火材料的粘渣进行了研究, 通过对熔渣组成及其熔点及粘度的实验研究获得了能够减轻粘渣的改质剂. 显然, 通过实验检测不同熔渣组成条件下的熔渣高温物理性质以寻求可抑制高熔点相析出的熔渣组成及相应的改质剂对于减轻粘渣是有效的, 但缺点是实验工作量较大、耗时长. 而利用熔渣结构理论, 采用热力学分析方法, 通过计算寻求能抑制高熔点相析出的熔渣组成, 则可为减轻粘渣用改质剂配方的设计提供理论依据, 从而减少实验工作量, 提高工作效率.

受研究方法和实验手段的限制, 目前高温液态渣的结构尚难由实验直接确定. 人们先后提出了分子理论和

离子理论, 但都存在一定的缺陷. 近年来提出的熔渣结构共存理论^[7-9]同时肯定了熔渣中存在分子和离子的事实, 在冶金定量研究方面有良好的应用前景^[10,11], 但目前尚缺乏利用该理论对 RH 精炼渣组成及高熔点相析出及浸渍管粘渣的热力学分析. 本研究针对攀钢炼钢厂 RH 精炼过程出现的浸渍管粘渣问题, 基于共存理论, 对 RH 精炼渣系的熔渣高熔点相作用浓度进行了热力学分析, 以寻求可抑制高熔点相析出的熔渣组成, 为减轻粘渣用改质剂的配方设计奠定基础.

2 $\text{CaO-SiO}_2\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO-CaF}_2\text{-MnO}$ 七元 RH 精炼渣系高熔点相作用浓度的计算模型

研究^[5]表明, RH 精炼过程中出现浸渍管粘渣是由于钢包渣中高熔点的镁铝尖晶石($\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, MA)和铁铝尖晶石($\text{FeO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, FeA)结晶析出并粘附在管壁上造成的. 因此, 只要将 MA 和 FeA 的作用浓度控制在未饱和状态, 就可有效抑制其析出, 抑制 RH 浸渍管粘渣.

熔渣分子离子共存理论认为, 熔渣由简单离子和分子状化合物组成, 熔渣组分间处于反应平衡状态, 而复杂化合物是在离子参与的协同作用下形成的, 熔渣内部的化学反应服从质量守恒定律.

根据 RH 精炼渣系的熔渣组成及相应的相图^[12], 确定了 $\text{CaO-SiO}_2\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO-CaF}_2\text{-MnO}$ 七元精炼渣系结构单元, 如表 1 所示.

表 1 七元渣系的结构单元

Table 1 Structural units of 7-component slag system	
Type	Structural unit
Simple ion	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Fe ²⁺ , Mn ²⁺ , O ²⁻ , F ⁻
Molecular compound	Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , CaO·SiO ₂ , 3CaO·SiO ₂ , MgO·SiO ₂ , MgO·Al ₂ O ₃ , 2FeO·SiO ₂ ,
	3CaO·Al ₂ O ₃ , 12CaO·7Al ₂ O ₃ , CaO·2Al ₂ O ₃ ,
	CaO·6Al ₂ O ₃ , CaO·MgO·SiO ₂ ,
	2CaO·MgO·2SiO ₂ , 2CaO·Al ₂ O ₃ ·SiO ₂ ,
	3CaO·3Al ₂ O ₃ ·CaF ₂ , MnO·SiO ₂ , 2MnO·SiO ₂

令 $b_1 = \sum n_{CaO}$, $b_2 = \sum n_{MgO}$, $b_3 = \sum n_{FeO}$, $b_4 = \sum n_{MnO}$, $a_1 = \sum n_{Al_2O_3}$, $a_2 = \sum n_{SiO_2}$, $a_3 = \sum n_{CaF_2}$, $N_1 = N_{CaO}$, $N_2 = N_{MgO}$, $N_3 = N_{FeO}$, $N_4 = N_{Al_2O_3}$, $N_5 = N_{SiO_2}$, $N_6 = N_{CaO \cdot SiO_2}$, $N_7 = N_{2CaO \cdot SiO_2}$, $N_8 = N_{3CaO \cdot SiO_2}$, $N_9 = N_{MgO \cdot SiO_2}$, $N_{10} = N_{2MgO \cdot SiO_2}$, $N_{11} = N_{MgO \cdot Al_2O_3}$, $N_{12} = N_{2FeO \cdot SiO_2}$, $N_{13} = N_{FeO \cdot Al_2O_3}$, $N_{14} = N_{3CaO \cdot Al_2O_3}$, $N_{15} = N_{12CaO \cdot 7Al_2O_3}$, $N_{16} = N_{CaO \cdot Al_2O_3}$, $N_{17} = N_{CaO \cdot 2Al_2O_3}$, $N_{18} = N_{CaO \cdot 6Al_2O_3}$, $N_{19} = N_{3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2}$, $N_{20} = N_{CaO \cdot MgO \cdot SiO_2}$, $N_{21} = N_{CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2}$, $N_{22} = N_{2CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2}$, $N_{23} = N_{3CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2}$, $N_{24} = N_{2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2}$, $N_{25} = N_{CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2}$, $N_{26} = N_{MnO}$, $N_{27} = N_{CaF_2}$, $N_{28} = N_{3CaO \cdot 3Al_2O_3 \cdot CaF_2}$, $N_{29} = N_{11CaO \cdot 7Al_2O_3 \cdot CaF_2}$, $N_{30} = N_{MnO \cdot SiO_2}$, $N_{31} = N_{2MnO \cdot SiO_2}$. 其中 $b_1 \sim b_4$, $a_1 \sim a_3$ 分别为 CaO, MgO, FeO, MnO, Al₂O₃, SiO₂, CaF₂ 总物质的量, $N_i (i=1, 2, \dots, 31)$ 分别为各结构单元作用浓度。

以生成 CaO·SiO₂ 为例, 说明熔渣内部结构单元的化学平衡。

Ca²⁺+O²⁻+SiO₂=CaO·SiO₂, $K_1 = N_6 / (N_1 N_5)$, 则 $N_6 = K_1 N_1 N_5$, 根据熔渣内部结构单元的化学平衡可得:

$$\left. \begin{aligned} N_6 &= K_1 N_1 N_5, & N_7 &= K_2 N_1^2 N_5, \\ N_8 &= K_3 N_1^3 N_5, & N_9 &= K_4 N_2 N_5, \\ N_{10} &= K_5 N_2^2 N_5, & N_{11} &= K_6 N_2 N_4, \\ N_{12} &= K_7 N_3^2 N_5, & N_{13} &= K_8 N_3 N_4, \\ N_{14} &= K_9 N_1^3 N_4, & N_{15} &= K_{10} N_1^{12} N_4^7, \\ N_{16} &= K_{11} N_1 N_4, & N_{17} &= K_{12} N_1 N_4^2, \\ N_{18} &= K_{13} N_1 N_4^6, & N_{19} &= K_{14} N_4^3 N_5^2, \\ N_{20} &= K_{15} N_1 N_2 N_5, & N_{21} &= K_{16} N_1 N_2 N_5^2, \\ N_{22} &= K_{17} N_1^2 N_2 N_5^2, & N_{23} &= K_{18} N_1^3 N_2 N_5^2, \\ N_{24} &= K_{19} N_1^2 N_4 N_5, & N_{25} &= K_{20} N_1 N_4 N_5^2, \\ N_{28} &= K_{21} N_1^3 N_4^2 N_{27}, & N_{29} &= K_{22} N_1^{11} N_4^7 N_{27}, \\ N_{30} &= K_{23} N_{26} N_5, & N_{31} &= K_{24} N_{26}^2 N_5 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中, $K_1 \sim K_{24}$ 分别为各生成化合物的平衡常数, 相关的热力学数据见表 2。

由熔渣体系组元的质量平衡可得方程组(2)。方程组(1), (2)即为 CaO-SiO₂-MgO-Al₂O₃-FeO-CaF₂-MnO 七元 RH 精炼渣系结构单元作用浓度的计算模型。联立方程组求解, 即可求得高熔点的 MA 和 FeA 相达到平衡时的作用浓度, 即 N_{MA} , N_{FeA} 。

表 2 化合物的热力学数据

Table 2 The thermodynamic data of compounds		
Molecular compound	ΔG^0 (J/mol)	Reference
CaO·SiO ₂	-81416-10.498T	
2CaO·SiO ₂	-160431+4.160T	
3CaO·SiO ₂	-92366-23.02T	
MgO·SiO ₂	43400-40.0T	
2MgO·SiO ₂	-77403+11.0T	
MgO·Al ₂ O ₃	-35530-2.09T	
2FeO·SiO ₂	-28596+3.349T	
FeO·Al ₂ O ₃	-33272.8+6.1028T	
3CaO·Al ₂ O ₃	-17000-32.0T	
12CaO·7Al ₂ O ₃	-86100-205.1T	
CaO·Al ₂ O ₃	-18120-18.62T	[9]
CaO·2Al ₂ O ₃	-16400-26.8T	
CaO·6Al ₂ O ₃	-17430-37.2T	
3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂	8589.9-17.39T	
CaO·MgO·SiO ₂	-124766.6+3.768T	
CaO·MgO·2SiO ₂	80387-51.916T	
2CaO·MgO·2SiO ₂	-73688-63.639T	
3CaO·MgO·2SiO ₂	-315469+24.786T	
2CaO·Al ₂ O ₃ ·SiO ₂	-17092+8.778T	
CaO·Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂	28006-74.195T	
3CaO·3Al ₂ O ₃ ·CaF ₂	-6356-10.45T	
11CaO·7Al ₂ O ₃ ·CaF ₂	-12040-8.2T	
MnO·SiO ₂	-38291.43-0.519T	[11]
2MnO·SiO ₂	-86670+16.81T	

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^{31} N_i &= 1 \\ b_1 &= \sum n(0.5N_1 + N_6 + 2N_7 + 3N_8 + 3N_{14} + 12N_{15} + N_{16} + N_{17} + N_{18} + N_{20} + N_{21} + 2N_{22} + 3N_{23} + 2N_{24} + N_{25} + 3N_{28} + 11N_{29}) \\ b_2 &= \sum n(0.5N_2 + N_9 + 2N_{10} + N_{11} + N_{20} + N_{21} + N_{22} + N_{23}) \\ b_3 &= \sum n(0.5N_3 + 2N_{12} + N_{13}) \\ b_4 &= \sum n(0.5N_{26} + N_{30} + 2N_{31}) \\ a_1 &= \sum n(N_4 + N_{11} + N_{13} + N_{14} + 7N_{15} + N_{16} + 2N_{17} + 6N_{18} + 3N_{19} + N_{24} + N_{25} + 3N_{28} + 7N_{29}) \\ a_2 &= \sum n(N_5 + N_6 + N_7 + N_8 + N_9 + N_{10} + N_{12} + 2N_{19} + N_{20} + 2N_{21} + 2N_{22} + 2N_{23} + N_{24} + N_{25} + N_{30} + N_{31}) \\ a_3 &= \sum n(1/3 N_{27} + N_{28} + N_{29}) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

3 计算结果与讨论

结合 RH 精炼钢包渣的组成, 计算时熔渣中熔渣碱度 $R(CaO/SiO_2, \omega)$ 为 2.5~5.0, Al₂O₃=15%~30%(ω), MgO=5%~15%(ω), FeO=10%~30%(ω), CaF₂=0~7.5%(ω)。利用所建立的模型, 计算了不同组成条件下的 RH 精炼钢包渣的 N_{MA} 和 N_{FeA} , 并研究了其与熔渣组成之间的关系。计算温度为 1773 K。

3.1 碱度对 N_{MA} 和 N_{FeA} 的影响

图 1 为碱度与 N_{MA} 和 N_{FeA} 的关系。从图可以看出, 随着碱度增加, N_{MA} 和 N_{FeA} 呈下降趋势。当碱度在 4~5 之间时, N_{MA} 和 N_{FeA} 处于较低的水平, 高熔点的 MA 和 FeA 相不易从熔渣中析出, 因而可减轻浸渍管的粘渣。

3.2 CaO/Al₂O₃对 N_{MA} 和 N_{FeA} 的影响

图2为CaO/Al₂O₃(ω)对 N_{MA} 和 N_{FeA} 的影响. 可见随CaO/Al₂O₃的增加, 熔渣中 N_{MA} 和 N_{FeA} 逐渐下降. 为抑制MA和FeA从熔渣中析出, 同时考虑对RH精炼渣流动性的要求, 合适的CaO/Al₂O₃(ω)宜在1.5~2.0之间.

3.3 CaO/MgO和FeO对 N_{MA} 和 N_{FeA} 的影响

图3为CaO/MgO和FeO对 N_{MA} 和 N_{FeA} 的影响. 从

图可以看出, 随着CaO/MgO和FeO增加, 熔渣中 N_{MA} 呈现下降的趋势, 但 N_{FeA} 的变化趋势则与之相反. 为保证MA及FeA的作用浓度均处于合适的水平, 同时考虑耐火材料的熔损和熔渣的氧化性, 合适的熔渣组成为MgO含量10%, FeO含量17%左右. 此时熔渣具有适宜的流动性, 有利于RH精炼处理.

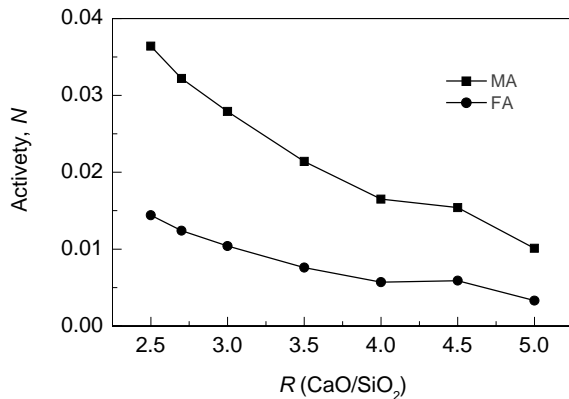


图1 碱度对 N_{MA} 和 N_{FeA} 的影响
Fig.1 Effect of basicity on activities of MgO·Al₂O₃ and FeO·Al₂O₃

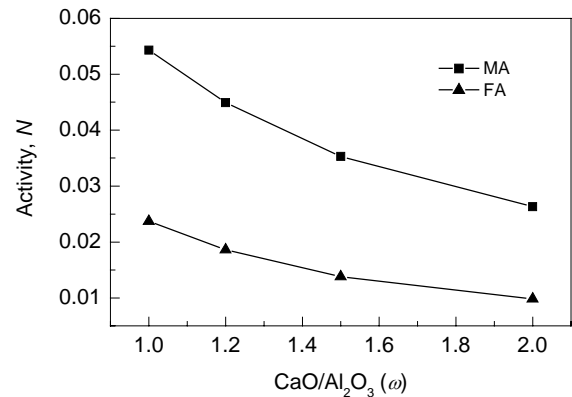


图2 CaO/Al₂O₃(ω)对 N_{MA} 和 N_{FeA} 的影响
Fig.2 Effect of CaO/Al₂O₃(ω) on activities of MgO·Al₂O₃ and FeO·Al₂O₃

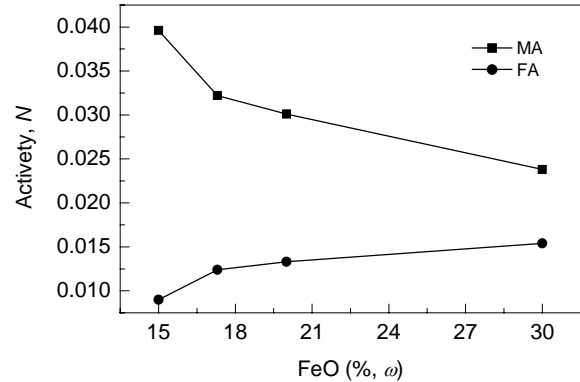
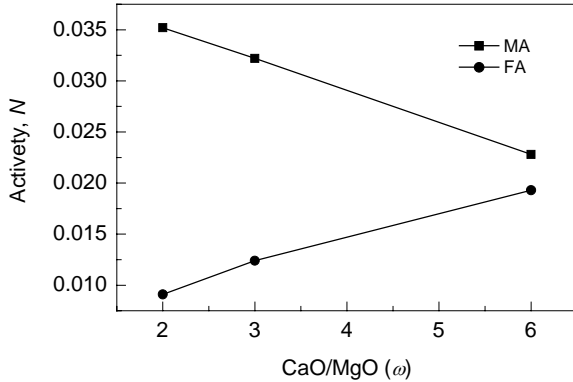


图3 CaO/MgO和FeO对 N_{MA} 和 N_{FeA} 的影响
Fig.3 Effects of CaO/MgO和FeO on activities of MgO·Al₂O₃和FeO·Al₂O₃

3.4 CaF₂对 N_{MA} 和 N_{FeA} 的影响

图4为CaF₂对 N_{MA} 和 N_{FeA} 的影响. 从图可以看出, 随着CaF₂含量增加, FeA和MA作用浓度缓慢下降, 对降低MA和FeA的作用浓度效果不明显. 但由于CaF₂的熔点很低, 能与多种氧化物形成低熔点共晶体(CaF₂·Al₂O₃共晶温度1400℃), 共晶体的形成使渣中自由的高熔点相减少, 可降低熔渣的熔点. 此外, F⁻可促使复合阴离子解体, 改善熔渣的流动性. 综合考虑并根据生产实践经验, 熔渣中CaF₂量应控制在7.5%以内.

综上所述, 熔渣碱度增加、Al₂O₃含量减少及CaF₂增加均可降低熔渣中MA的作用浓度. 其中, 碱度的影

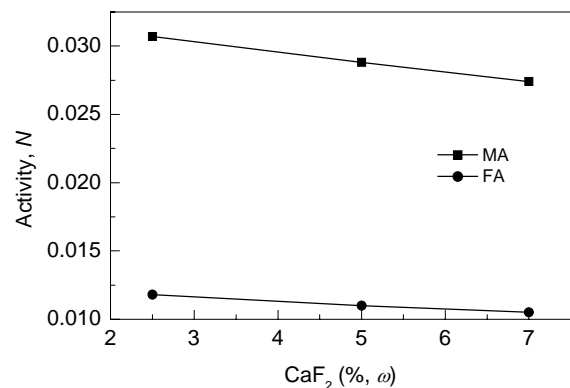


图4 CaF₂对 N_{MA} 和 N_{FeA} 的影响
Fig.4 Effect of CaF₂ on activities of MgO·Al₂O₃和FeO·Al₂O₃

响最显著, Al_2O_3 次之, CaF_2 基本不起作用. 在 RH 精炼过程中, 精炼渣的碱度控制在 4.0~5.0 之间、 CaO/Al_2O_3 在 2.0 左右、 MgO 含量约为 10%, FeO 含量约为 17%, CaF_2 含量不高于 7.5% 时, 熔渣中 N_{MA} 和 N_{FeA} 均处于较低的水平, MA 和 FeA 不易从熔渣中结晶析出, 可减轻 RH 浸渍管的粘渣.

4 计算结果的实验验证

为验证理论计算结果的可靠性, 按理论计算的化学成分, 使用分析纯化学试剂配制不同的渣样, 其组成如

表 3 所示. 在中频炉中预熔-冷凝后进行扫描电镜及能谱分析. 实验用扫描电镜(SEM)型号为 TESCAN VEGA II LMU, 能谱分析采用电镜附属的 OXFORD INCA ENERGY X 射线能谱仪. 图 5 为实验渣背散射电子富集像结果, 表 4 为能谱分析结果.

表 3 实验渣组成

Table 3 Compositions of experimental slag samples

Slag	R	CaO/ Al_2O_3	CaO/MgO	FeO (% , ω)	CaF ₂ (% , ω)
1	2.73	1.63	2.88	17.3	0.75
2	3.36	1.86	3.56	15.73	2.05
3	4.18	2.50	4.42	14.42	3.13
4	4.64	2.23	4.90	13.31	7.50

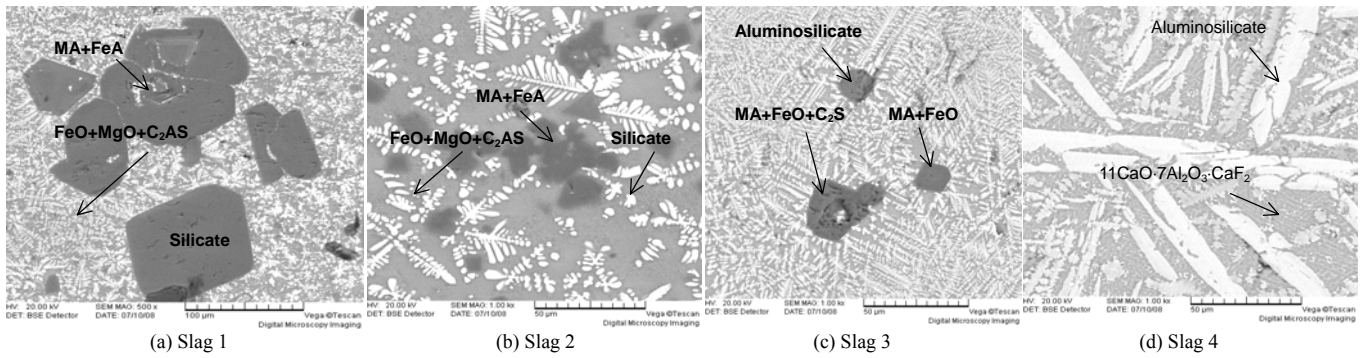


图 5 实验用渣的背散射电子富集图像

Fig.5 SEM-BSE images of experimental slags (C₂AS: gehlenite, C₂S: dicalcium silicate)

表 4 能谱分析结果

Table 4 Compositions of various phases encountered in the tested ladle slag samples

Slag	Phase	Element (%)							
		CaF ₂	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MnO	FeO	
1	MA+FeA	Element (% , at.)	-	9.70	23.74	-	-	0.40	3.32
		Oxide (% , ω)	-	20.92	64.79	-	-	1.52	12.78
	Aluminosilicate	Element (% , at.)	-	14.04	0.99	18.30	-	-	0.34
		Oxide (% , ω)	-	32.51	2.90	63.17	-	-	1.42
	(FeO+MgO)+C ₂ AS	Element (% , at.)	-	3.94	6.89	1.78	6.11	1.12	18.16
		Oxide (% , ω)	-	6.77	15.01	4.56	14.62	3.38	55.66
2	MA	Element (% , at.)	-	7.90	22.71	-	0.40	0.36	4.16
		Oxide (% , ω)	-	17.47	63.51	-	1.23	1.40	16.40
	Aluminosilicate	Element (% , at.)	-	0.55	12.07	3.47	13.62	0.31	4.47
		Oxide (% , ω)	-	1.14	31.51	10.68	39.11	1.13	16.45
	(FeO+MgO)+C ₂ AS	Element (% , at.)	-	3.40	4.88	1.01	4.62	1.31	22.00
		Oxide (% , ω)	-	5.76	10.46	2.55	10.89	3.91	66.44
3	MA+FeO	Element (% , at.)	-	9.44	22.26	-	0.31	0.49	5.15
		Oxide (% , ω)	-	19.64	58.57	-	0.90	1.79	19.10
	Aluminosilicate	Element (% , at.)	-	2.82	10.67	2.57	11.08	0.69	11.21
		Oxide (% , ω)	-	4.97	23.78	6.75	27.16	2.14	35.21
	FeO+MA+C ₂ S	Element (% , at.)	-	5.33	10.17	2.11	5.13	1.17	21.36
		Oxide (% , ω)	-	7.77	18.75	4.58	10.40	3.00	55.50
Oxide (% , ω)	15.91	12.93	2.02	2.49	1.85	18.81	45.99		
	Aluminosilicate	Element (% , at.)	-	-	8.19	0.68	19.28	0.32	9.99
Oxide (% , ω)		-	-	18.31	1.79	47.42	1.00	31.48	
4	11CaO·7Al ₂ O ₃ ·CaF ₂	Element (% , at.)	7.37	1.03	10.68	4.33	17.35	0.23	1.89
		Oxide (% , ω)	14.02	2.02	26.53	12.68	37.34	0.80	6.62

从图 5 和表 4 可以看出, 渣样 1 物相中含有大量的块状致密的 MA+FeA, 渣样 2 中的 MA+FeA 已明显减少, 且颗粒明显变小; 渣样 3 中只有极少的 MA+FeA,

且已有大量的 FeO 固溶在 MA 中; 渣样 4 中已经没有高熔点的 MA+FeA, 主相为 11CaO·7Al₂O₃·CaF₂、硅铝酸盐及 FeO+MgO 固溶体等低熔点物质. 由此可见, 随

着碱度增加、 Al_2O_3 含量减少及 CaF_2 增加, 熔渣物相中高熔点的 MA 和 FeA 相逐渐减少, 硅铝酸盐峰低熔点物质则不断增加, 这与前述热力学计算结果一致。

在渣样 4 的组成条件下, 即当熔渣的碱度为 4.64, $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 为 2.23, CaO/MgO 为 4.90, FeO 含量约为 13.31%, CaF_2 含量约为 7.5% 时, 熔渣物相中不存在导致粘渣的高熔点的 MA 和 FeA 相, 这与理论计算结果基本吻合。

5 结论

(1) 基于分子离子共存理论, 建立了 $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{MnO}-\text{FeO}-\text{CaF}_2$ 七元渣系作用浓度的计算模型, 并用该模型计算分析了熔渣组成对高熔点 MA 和 FeA 相的作用浓度的影响。

(2) 熔渣碱度增加、 Al_2O_3 含量减少及 CaF_2 含量增加均可降低熔渣中 MA 的作用浓度, 其中, 碱度的影响最显著, Al_2O_3 次之, CaF_2 基本不起作用。

(3) 在 RH 精炼过程中, 为抑制高熔点的 MA 和 FeA 从熔渣中析出以减轻粘渣, 熔渣的碱度应控制在 4~5 之间, $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 在 1.5~2.0 之间, MgO 含量约为 10%, FeO 含量约为 17%, CaF_2 含量不高于 7.5%。计算结果与实验结果一致。

(4) 通过热力学计算寻求可抑制高熔点相析出的熔

渣组成的方法是可行的, 研究结果为减轻粘渣用改质剂配方的设计提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 邱文冬, 王燕群, 牟济宁. 宝钢 300 t 钢包粘渣的原因及对策 [J]. 耐火材料, 1999, 33(4): 208-210.
- [2] 姚金甫, 田守信. 钢包粘渣与包衬耐火材料 [J]. 耐火材料, 2003, 37(2): 108-110.
- [3] 陈树林, 李勇, 寿业红, 等. 安钢 25 t 钢包粘渣原因分析 [J]. 河南冶金, 2006, 14(增刊): 149-151.
- [4] 王宏明, 李桂荣, 徐明喜, 等. 改质剂对 LATS 精炼钢包渣粘度的影响 [J]. 过程工程学报, 2006, 6(2): 227-230.
- [5] 梁小平, 金杨, 王雨, 等. RH 浸渍管的粘渣原因研究 [A]. 2008 年全国冶金物理化学学术会议专辑[C]. 2008. 725-727.
- [6] Wang H M, Li G R, Ding Z T, et al. Effect of Additives on Melting Point of LATS Refining Ladle Slag [J]. J. Iron Steel Res. Int., 2007, 14(2): 25-29.
- [7] 朱苗勇. 现代冶金学 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2005. 160-164.
- [8] 黄希祐. 钢铁冶金原理, 第 2 版 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1997. 163-188.
- [9] 张鉴. 冶金熔体的计算热力学 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1998. 167-235, 358-365.
- [10] 张鉴, 袁伟霞. $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 熔渣的作用浓度计算模型 [J]. 北京科技大学学报, 1995, 17(5): 418-423.
- [11] 李金锡. 埋弧渣物理性质的理论与实践的研究 [D]. 北京: 北京科技大学, 1998. 32-45.
- [12] 陈家祥. 炼钢常用数据图表手册 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1984. 121-125.

Effect of Effective Concentration of High Melting Point Phases in RH Refining on Slag Sticking

LIANG Xiao-ping, JIN Yang, WANG Yu, DUAN Hong-ling

(College of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: To avoid crystallization of high melting point phases in refining slag, such as $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ and $\text{FeO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, during RH refining process, a calculation model of effective mass concentration for $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{MnO}-\text{FeO}-\text{CaF}_2$ slag system was established based on the coexistence theory of slag structure, and the influences of slag components on effective concentrations of high melting point phases were studied. The results show that when slag basicity is more than 4, $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ between 1.5 and 2.0, MgO content about 10%, FeO content about 17%, and CaF_2 content less than 7.5%, the effective concentrations of $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ and $\text{FeO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ are at low level, $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ and $\text{FeO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ could not be crystallized from the refining slag. In this case, the slag sticking on RH immersion tube can be reduced. The calculation results are consistent with those of experiments, which may supply the theoretical basis for development of slag sticking free modifying agent of RH refining slag.

Key words: RH immersion tube; slag sticking; thermodynamic; effective mass concentration