

· 试验研究 ·

五元精炼渣系熔化温度的研究

李士琦¹ 李瑾^{1,2} 刘锦霞¹ 张艳艳¹ 庞永刚³ 王会中¹

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083;2 北京市环境保护科学研究院,北京 100037;

3 北京科大方兴高新技术有限公司,北京 100083)

摘要 利用正交实验的方法对 CaO-Al₂O₃-SiO₂-MgO-CaF₂ 精炼渣的熔点进行了研究。经过方差分析和显著性检验,得出该五元精炼渣系的最佳组成为:25% Al₂O₃、12% CaF₂、7% MgO、R₂(CaO/SiO₂) = 2.5。并用 SPSS 软件回归出了可信度高的组分与精炼渣熔化温度之间的数学关系式: $T_m = 1451.3 - 6.25CaF_2 - 7.36R_2$ 。

关键词 LF 五元精炼渣 熔化温度

A Study on Melting Temperature of Pentatomic Refining Slag Series

Li Shiqi¹, Li Jin^{1,2}, Liu Jinxia¹, Zhang Yanyan¹, Pang Yonggang³ and Wang Huizhong¹

(1 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083;

2 Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037;

3 Beijing Keda Fangxin High and New Technology Co Ltd, Beijing 100083)

Abstract A study on melting temperature of CaO-Al₂O₃-SiO₂-MgO-CaF₂ refining slag has been carried out by using orthogonal experimental method. With variance analysis and significance criterion it is obtained that the optimum ingredient of the pentatomic refining slag is 25% Al₂O₃, 12% CaF₂, 7% MgO and R₂(CaO/SiO₂) = 2.5. And the regression analysis is carried out by using SPSS software to get the math relationship equation between ingredient with high reliability and melting temperature of refining slag: $T_m = 1451.3 - 6.25CaF_2 - 7.36R_2$.

Material Index LF, Pentatomic Refining Slag, Melting Temperature

1 实验设计

本实验研究的是 CaO-Al₂O₃-SiO₂-MgO-CaF₂ 五元渣系的熔化温度,记作 y 。参考目前精炼渣研究现状^[1-3],选定 4 个影响因子,分别是二元碱度(CaO 和 SiO₂ 的质量比),记作 x_1 ; Al₂O₃、CaF₂、MgO 的配入质量百分含量分别记作 x_2 、 x_3 、 x_4 。

考虑到生产实际情况,主要考查 4 项因子的影响,每项影响因子取 4 个水平,见表 1。采用正交表 $L_{16}(4^5)$ 实验设计方法安排实验,得出 16 种渣成分配比列于表 2。实验装置有高温管式电阻炉(表 3)和多功能物性仪。

精炼渣总质量 5 g,采用白金坩埚,在高温管式电阻炉中加热至 1600 ℃使其全部熔化,恒温 40 min,随炉冷却至室温。把预熔好的精炼渣放在二氧化硅研钵中研磨至 200 目。然后将渣粉置于蒸发皿

表 2 正交实验渣系组分和熔化温度

Table 2 Ingredient and melting temperature of orthogonal experimental refining slag series

序号	组分/%					熔化温度/℃		
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaF ₂	MgO	T ₁	T ₂	T ₃
1	56.43	22.57	15	3	3	1 540	1 540	1 540
2	45.71	18.29	25	6	5	1 361	1 362	1 368
3	35.00	14.00	35	9	7	1 378	1 370	1 374
4	24.29	9.71	45	12	9	1 394	1 395	1 400
5	57.60	14.40	15	6	7	1 400	1 395	1 405
6	50.40	12.60	25	3	9	1 363	1 357	1 357
7	40.00	10.00	35	12	3	1 341	1 336	1 341
8	32.80	8.20	45	9	5	1 363	1 362	1 360
9	56.69	10.31	15	9	9	1 325	1 325	1 326
10	47.38	8.62	25	12	7	1 283	1 281	1 280
11	48.23	8.77	35	3	5	1 388	1 384	1 389
12	38.92	7.08	45	6	3	1 404	1 402	1 407
13	59.50	8.50	15	12	5	1 380	1 383	1 380
14	55.13	7.88	25	9	3	1 321	1 322	1 326
15	43.75	6.25	35	6	9	1 361	1 363	1 364
16	39.38	5.63	45	3	7	1 400	1 396	1 395

表 1 因子水平表
Table 1 Factor level list

因子	水平			
x_1 ($R_2 = CaO/SiO_2$)	2.5	4.0	5.5	7.0
x_2 (Al ₂ O ₃ /%)	15.0	25.0	35.0	45.0
x_3 (CaF ₂ /%)	3.0	6.0	9.0	12.0
x_4 (MgO/%)	3.0	5.0	7.0	9.0

中,加入少许糊精液,均匀混合,放在制样器中制成 $\Phi 3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ 的圆柱形试样,以备测定精炼渣的熔化温度。

将两个垫片放在支撑管的一端,并且保持水平,再将试样放在垫片上,其位置正好处于热电偶工作端的上方。然后移动炉体,置试样于炉体高温区中部;调整物镜、目镜位置,使试样在屏幕上呈清晰放

表 3 高温管式电阻炉参数

Table 3 Parameters of high temperature tube-type electric resistance furnace

项目	参数	项目	参数
型号	SGDZ16-BLL	功率/kW	30
常用温度/℃	1 600	电压/V	380
最高温度/℃	1 650	相数	2 相
加热时尺寸/cm × cm	Φ25 × 35	重量/kg	250

大像,然后调整屏幕上下左右位置,使试样像位于屏幕的中部,便于判断熔化温度;用程序温控仪给电炉供电升温,不断观察屏幕上试样的高度变化,取试样高度降到1/2时的温度为熔化温度。渣样熔化图见图 1。

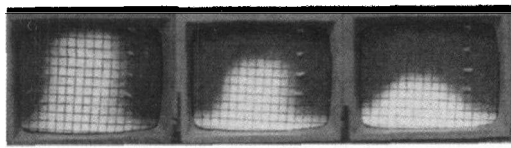


图 1 渣样熔化图 Fig. 1 Figure of slag sample melting

2 结果分析

每种精炼渣熔化温度(每种渣系 3 组平行实验)测试结果列于表 2。通过方差分析^[4,5],4 种影响因素对熔化温度影响的结果列于表 4。

表 4 方差分析结果

Table 4 Results of variance analysis

因子	平方和	自由度	显著性
R_2	32 696.562 5	3	*
Al_2O_3	42 170.395 8	3	**
CaF_2	43 713.562 5	3	**
MgO	12 675.562 5	3	-
误差	6 271.395 8	35	-

由方差分析可知,因子 CaF_2 对熔点的贡献最显著, Al_2O_3 的贡献也比较显著。

对作用显著的两个因子,做关于 CaF_2 - 熔点和 Al_2O_3 - 熔点关系图,由图 2(a,b)可看出,精炼渣的熔点随 CaF_2 的增加而降低,而随 Al_2O_3 的含量变化出现拐点:在含量低于 25% 时,渣系熔点随 Al_2O_3 的含量增大而减小;但 Al_2O_3 的含量大于 25% 时,则随其含量的增大而增大。由此得出该渣系的 CaF_2 和 Al_2O_3 最佳配比分别为 12% 和 25%。

CaF_2 和 Al_2O_3 含量较低的炉渣熔点分散程度较大,表明该种渣性能不稳定,不宜使用。

利用 SPSS 软件分析实验结果,做相关性分析(表 5)。由表 5 看出,二元碱度和 CaF_2 与熔化温度都呈负相关关系,即随着二者含量的增加,熔化温度

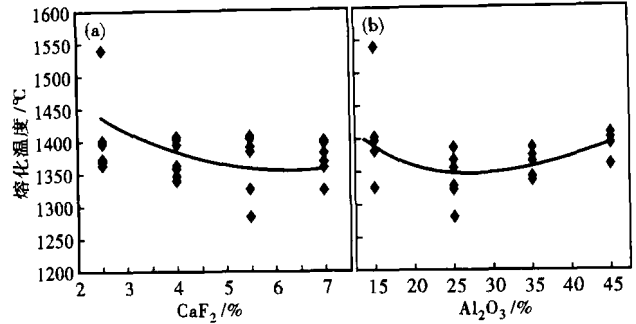


图 2 CaF_2 (a) 和 Al_2O_3 (b) 含量对精炼渣熔化温度的影响 Fig. 2 Effect of CaF_2 (a) and Al_2O_3 (b) content on melting temperature of refining slag

表 5 校正系数和显著系数表

Table 5 List of correction coefficient and significant coefficient

因子	R_2	Al_2O_3	CaF_2	MgO	T_m	
R_2	r	1	-0.085	-0.085	-0.247	
	P		0.575	0.575	0.097	
Al_2O_3	r	-0.085	1	-0.085	0.156	
	P	0.575		0.575	0.300	
CaF_2	r	-0.085	-0.085	1	-0.467	
	P	0.575	0.575		0.001	
MgO	r	-0.085	-0.085	-0.085	1	
	P	0.575	0.575	0.575		
T_m	r	-0.247	0.156	-0.467	-0.132	1
	P	0.097	0.300	0.001	0.381	

呈降低的趋势。这与实验结果基本吻合。熔化温度与两个显著性因子的关系式: $T_m = 1451.3 - 6.25CaF_2 - 7.36R_2$ 。按最佳配比 (CaF_2) = 12%, $R_2 = 2.5$, (Al_2O_3) = 25%, 估算,该渣系的熔点期望值为 $T_m = 1451.3 - 6.25 \times 12 - 7.36 \times 2.5 = 1358 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。

3 结论

(1) 熔化温度与两个显著性因子的回归式为 $T_m = 1451.3 - 6.25 CaF_2 - 7.36R_2$ 。

(2) 5 元渣系最佳组分为: 25% Al_2O_3 、12% CaF_2 、7% MgO、 $R_2 = 2.5$ 。

参考文献

- 张 鉴. CaO-SiO₂ 渣系作用浓度的计算模型. 北京钢铁学院学报, 1988, 10(4): 412
- Turkdogan E. T. Slag and Fluxes for Ferrous Ladle Metallurgy. Iron and Steelmaking, 1985, 12(2): 64
- Hideaki Suito, Hajime Inoue, Ryo Inoue. Aluminum-Oxygen Equilibrium Between CaO-Al₂O₃ Melts and Liquid Iron. Iron & Steelmaking, 1991, 31(12): 1389
- 东方人华, 周 皓. 统计基础和 SPSS 11.0 入门与提高. 北京: 清华大学出版社, 2004
- 试验设计法讲义. 北京: 北京大学出版社, 1966

李士琦(1942-), 男, 教授, 《特殊钢》编委, 钢铁冶金研究。

收稿日期: 2009-11-09