

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiC - C 耐火材料抗 CaO - SiO<sub>2</sub> - K<sub>2</sub>O 渣侵蚀性能研究沈建国<sup>1,2)</sup> 于景坤<sup>2)</sup>

1) 宝山钢铁股份公司科技部 上海 201900

2) 东北大学材料与冶金学院

**摘要** 研究了 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiC - C 耐火材料的抗 CaO - SiO<sub>2</sub> - K<sub>2</sub>O 渣侵蚀性能, 以及添加 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 对 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiC - C 材料抗渣侵蚀性能的影响。研究表明: CaO - SiO<sub>2</sub> - K<sub>2</sub>O 熔渣对 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiC - C 材料具有明显的侵蚀作用; 在 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiC - C 材料中添加适量的 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 可以有效地抑制 CaO - SiO<sub>2</sub> - K<sub>2</sub>O 熔渣向耐火材料内部的渗透, 降低耐火材料的侵蚀速度。

**关键词** Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiC - C 耐火材料, 三氧化二铬, 抗渣侵蚀

冶金工业生产中要产生大量的炉渣, 废弃这些炉渣不仅要占用大量的土地, 而且还会对环境造成严重危害<sup>[1-2]</sup>。为了减少埋弃渣用地和防止环境污染, 目前世界各国都在对冶金炉渣的资源化利用进行积极的研究。其中, 利用铁水脱硅渣生产钾肥不但可以有效地利用脱硅渣的余热, 而且生产的钾肥还具有明显的缓释性效果<sup>[3]</sup>, 是农业生产的高级肥料。利用脱硅渣生产钾肥的工艺过程是: 在熔融的铁水脱硅渣中加入 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 或 KOH 等含钾化合物, 然后利用脱硅渣的余热使其分解并与脱硅渣反应形成钾肥。但是, 由于这一工艺过程是在盛放铁水的鱼雷罐车或铁水包中进行的, 因此生成的钾肥——即 CaO - SiO<sub>2</sub> - K<sub>2</sub>O 系熔渣会对包衬耐火材料(通常为 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiC - C 质材料)产生严重的侵蚀。因此, 研究适用于钾肥生产的包衬耐火材料, 对于提高鱼雷罐车或铁水包的使用寿命, 进一步完善利用铁水脱硅渣合成钾肥的生产工艺具有重要意义。

## 1 试验

试验使用的主要原料为高铝料( $w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 85.3\%$ ,  $w(\text{SiO}_2) = 4.6\%$ ,  $w(\text{TiO}_2) = 3.1\%$ ,  $w(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 1.5\%$ ), 碳化硅( $w(\text{SiC}) = 97.5\%$ ), 石墨( $w(\text{C}) = 98.2\%$ )和 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粉( $w(\text{Cr}_2\text{O}_3) = 99.0\%$ )。将原料配制成( $w$ ) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 65% ~ 68%, SiC 12% ~ 15%, C 4% ~ 5% 的试验用试样。另外, 为了研究 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 对 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiC - C 材料抗渣性能的影响, 向配制的试样中分别加入 5%、10%、15% 的 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。

抗渣侵蚀试验采用坩埚法。将各原料按预定的

配比称重混匀, 然后机压成型为外形尺寸为  $\phi 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ , 内孔尺寸为  $\phi 25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$  的坩埚。将成型后的坩埚在 1600 °C 下烧成后备用。

试验用渣为现场铁水脱硅渣, 其化学组成( $w$ )为: SiO<sub>2</sub> 39.85%, CaO 38.46%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5.94%, MnO 6.40%, MgO 1.47%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5.49%。含钾化合物为 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 化学试剂,  $w(\text{K}_2\text{CO}_3) > 99\%$ 。向铁水脱硅渣中加入不同量的 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 使 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 分解后渣中的 K<sub>2</sub>O 含量( $w$ )分别为 15%、20%、25% 和 30%。将一定量的铁水脱硅渣和 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 按预定的比例称重混匀, 放入坩埚试样内, 置于电炉中加热至 1500 °C 并保温 1 h, 然后随炉冷至室温。将坩埚纵向对称剖开, 以坩埚的内侧面为基准, 分别测量渣渗透和侵蚀的最大深度。

## 2 结果与讨论

### 2.1 渣中 K<sub>2</sub>O 含量对 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiC - C 材料抗渣性能的影响

图 1 示出了 CaO - SiO<sub>2</sub> - K<sub>2</sub>O 渣中 K<sub>2</sub>O 含量对 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiC - C 材料抗渣性能的影响。由图 1 可见, 炉渣的侵蚀和渗透深度均随着 K<sub>2</sub>O 含量的增加而增加。当 K<sub>2</sub>O 的含量由 0 增加到 15% 时, 耐火材料的侵蚀深度由 1.2 mm 增加到了 1.8 mm, 渗透深度由 3.2 mm 增加到了 4.8 mm。当 K<sub>2</sub>O 的含量增加到 20% 时, 炉渣的侵蚀和渗透深度进一步增加。但当 K<sub>2</sub>O 的含量超过 20% 时, 炉渣侵蚀和渗透深度的增加则趋于缓慢。

\* 沈建国: 男, 1962 年生, 硕士, 高级工程师。

收稿日期: 2005 - 03 - 01

编辑: 李光辉

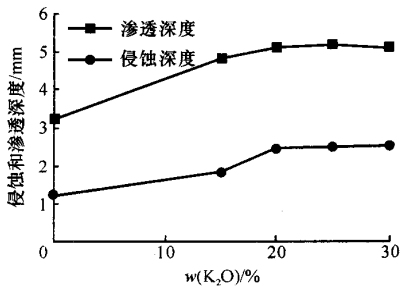


图1 渣中K<sub>2</sub>O含量对Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC-C材料侵蚀和渗透深度的影响

图2示出了CaO-SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O系相图<sup>[4]</sup>。如果将炉渣中各组分按酸碱性分类并将其视为CaO(MgO)-SiO<sub>2</sub>(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnO+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)-K<sub>2</sub>O三元系,则炉渣熔点随着K<sub>2</sub>O含量的变化趋势如图2中虚线所示。可见,当K<sub>2</sub>O的含量由0增加到20%时,对炉渣熔点的影响较大,当K<sub>2</sub>O的含量超过20%时,K<sub>2</sub>O含量对炉渣熔点影响的趋势减小。由图2可见,当K<sub>2</sub>O的含量由20%增加到30%时,炉渣的熔点基本波动在1250~1300℃之间,这与实际测得的炉渣的熔点(1299~1315℃)十分接近。另外,K<sub>2</sub>O含量对炉渣熔点的影响趋势与K<sub>2</sub>O含量对Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC-C材料的侵蚀和渗透深度的影响趋势(见图1)是相同的。即当渣中的K<sub>2</sub>O含量超过20%时,K<sub>2</sub>O含量对炉渣熔点和耐火材料的侵蚀与渗透深度的影响程度降低。因此可以推测,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC-C材料抗渣侵蚀和抗渣渗透性能的降低主要是由于K<sub>2</sub>O的加入使炉渣的熔点降低所致。

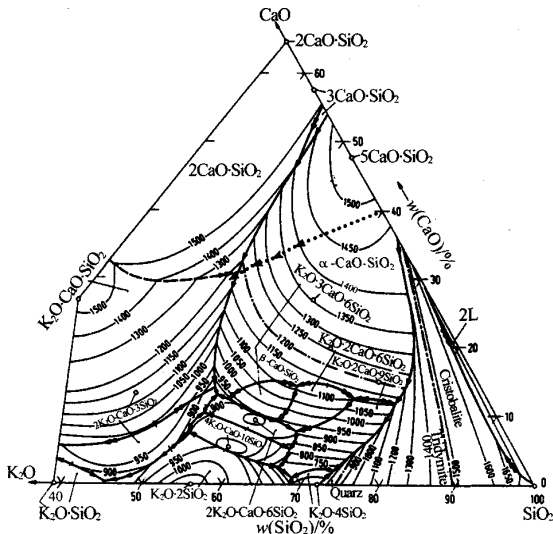


图2 CaO-SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O系相图

## 2.2 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>对Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC-C材料抗渣性能的影响

为了提高Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC-C材料的抗渣侵蚀和抗渣渗透性能,在其中添加Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,考察Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>对其抗

CaO-SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O渣蚀性能的影响。抗渣侵蚀试验采用K<sub>2</sub>O含量为20%的炉渣进行。图3示出了Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC-C材料中Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>添加量对材料抗渣侵蚀和抗渣渗透性能的影响。

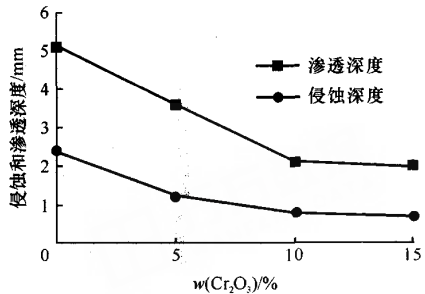


图3 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>添加量对Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC-C材料抗渣侵蚀和抗渣渗透性能的影响

由图3可见,随着耐火材料中Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>加入量的增加,材料的抗渣侵蚀和抗渣渗透性能均得到明显的改善。当Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的加入量为5%时,耐火材料的渣侵蚀和渣渗透深度分别为1.2 mm和3.6 mm,和不含Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC-C材料相比,渣的侵蚀和渗透深度明显降低。另外,当Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的加入量超过10%时,Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>加入量对耐火材料抗渣侵蚀和抗渣渗透性能的影响已经变得不明显。因此,在Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC-C系耐火材料中加入一定量的Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,可以显著提高其抗CaO-SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O系炉渣侵蚀的能力,满足利用铁水脱硅渣生产钾肥时对耐火材料使用寿命的要求。

研究表明,耐火材料的侵蚀一般是从熔渣渗透开始的。当耐火材料中加入Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>后,由于Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>不与炉渣组分反应,因此,与耐火材料的其他组分一同溶入、渗透熔渣内的Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>仍以固体颗粒的形式存在于渣中。而当熔渣内有弥散的固体颗粒存在时,熔渣的粘度会迅速升高,有效抑制了熔渣向耐火材料内部的渗透和侵蚀<sup>[5]</sup>。因此,在Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC-C材料中引入Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>会提高材料的抗渣侵蚀性。

## 3 结论

(1) 利用铁水脱硅渣生产钾肥时所形成的CaO-SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O系熔渣对Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC-C包衬耐火材料具有明显的侵蚀作用。

(2) 通过在Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC-C材料中添加适量的Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,可以有效抑制CaO-SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O系熔渣向耐火材料内部的渗透,降低耐火材料的侵蚀速度。

## 参考文献

- [1] 朱桂林,孙树杉,赵群. 冶金渣资源化利用的现状和发展趋势. 中国资源综合利用,2002,18(3):29-32

- [2] 彭志坚,吴卫国. 硫酸渣与冶金渣综合利用. 武汉科技大学学报 (自然科学版),2002,25(2):114-116 (54):149-187
- [3] 沈建国,郭春媛,于景坤,等. 脱硅渣合成钾肥的溶出特性. 东北大学学报(自然科学版),2005,26(3):263-265
- [4] Morey G, Kracek F C, Bowen N L. J Soc Glass Technol, 1930, 14 (54):149-187
- [5] Yamaguchi Akira, Yu Jingkun, Li Hongxia. Corrosion behavior of the refractories with  $Al_2O_3 - SiC$  or  $Sialon - SiC$  powders synthesized from clay and pyrophyllite. UNITECR '99 congress, Berlin, Germany, 1999:342-344

Study on corrosion resistance of  $Al_2O_3 - SiC - C$  refractories to  $CaO - SiO_2 - K_2O$  slag/Shen Jianguo, Yu Jingkun//Naihuo Cailiao. -2005,39(5):376

Corrosion resistance of  $Al_2O_3 - SiC - C$  refractories to  $CaO - SiO_2 - K_2O$  slag and effect of  $Cr_2O_3$  addition on corrosion resistance of the refractories were investigated. The research results showed that the  $Al_2O_3 - SiC - C$  refractories were obviously corroded by the  $CaO - SiO_2 - K_2O$  slag, and by adding appropriate amount of  $Cr_2O_3$  in  $Al_2O_3 - SiC - C$  materials, the penetration of  $CaO - SiO_2 - K_2O$  molten slag into the refractories could be effectively inhibited and the slag corrosion could be decreased.

Key words:  $Al_2O_3 - SiC - C$  refractories, Chromium oxide, Slag corrosion resistance

Author's address: Baoshan Iron & Steel Co., Ltd., Shanghai 201900, China

作·编·读信箱

### 《耐火材料》杂志参考文献的著录格式

根据新的国家标准,本刊从2005年第一期起已实行新的文后参考文献著录格式,作者投稿时请按此格式著录参考文献。

本刊文后参考文献的著录要求:文献序号由阿拉伯数字外加[ ]组成;当作者人数为3人或不足3人时全部著出,人名之间用逗号分隔;当超过3人时只著出前3人,在第3人后加逗号,然后加“等”字;对于国外作者,姓(全称)在前,名(缩写)在后。不同文献的具体著录格式如下:

#### 1 译著

著者.译著名称.译者.译.出版地:出版社名称,出版年:起止页码

例:[1]安迪,西罗夫,昂温,等.外国出版史.周红,译.北京:文艺出版社,1998:35-40

#### 2 中(外)期刊

作者名.文章题名.期刊名,年,卷(期):起止页码

例:[1]Baklouti S, Pagnoux C, Chartier T, et al. Processing of aqueous  $\alpha-Al_2O_3$ ,  $\alpha-SiO_2$ , and SiC suspension with polyelectrolyte. J Eur Ceram Soc, 1997, 17(12):1387-1392

[2]李友芬,洪彦若,钟香崇,等.复相  $\beta-Sialon$  的合成和烧结行为.耐火材料,1998,32(2):87-91

#### 3 会议文集

参考文章的作者名.参考文章题名.会议文集名称,举办地,举办时间:起止页码

例:[1]Ye Fangbao, Rigaud M, Liu Xinhong, et al. Rheological behavior of the matrixes of bauxite-based castables. Proc of the 4th Intern Symp on Refr, Japan, 2003:373-380

[2]柳伟,梁永和,吴芸芸.抗水化  $MgO - CaO$  系耐火原料.第八届耐火材料青年学术研讨会论文集,西安,2001,10:206-212

#### 4 专著论文集

参考文章的作者名.参考文章题名//专著著者.专著名称.出版地:出版社名称,出版年:起止页码

例:[1]陈肇友.  $Cr_2O_3$  对耐火材料性能的影响//蒋明学,李勇.陈肇友耐火材料论文选.北京:冶金工业出版社,1998:401-413

#### 5 专著

著者.专著名称.版本.出版地:出版社名称,出版年:起止页码

例:[1]钱之荣,范广举.耐火材料实用手册.第一版.北京:冶金工业出版社,1992:267-332

#### 6 专利

专利申请者或所有者.专利题名.专利国别,专利号.公告日期或公开日期

例:[1]杨水进,张劲松,刘强,等.一种连续微波烧结炉.中国专利,00123259.2000-11-20

[2]Brennan, John H. Hybrid method for firing of ceramics. US Patent, 6344635. 2002-03-05

#### 7 学位论文

作者名.题名:[学位论文].保存地:保存者,保存年

例:[1]苏新禄.  $AlON$  及  $Sialon$  加入物对  $MgO - Al_2O_3$  质钢包浇注料性能的影响:[硕士学位论文].洛阳:洛阳耐火材料研究院, 2001

# Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC-C耐火材料抗CaO-SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O渣侵蚀性能研究

作者: [沈建国](#), [于景坤](#), [Shen Jianguo](#), [Yu Jingkun](#)  
作者单位: [沈建国, Shen Jianguo \(宝山钢铁股份公司科技部, 上海, 201900; 东北大学材料与冶金学院\)](#), [于景坤, Yu Jingkun \(东北大学材料与冶金学院\)](#)  
刊名: [耐火材料](#) [ISTIC](#) [PKU](#)  
英文刊名: [REFRACTORIES](#)  
年, 卷(期): 2005, 39(5)  
被引用次数: 2次

## 参考文献(5条)

1. 朱桂林;孙树杉;赵群 [冶金渣资源化利用的现状和发展趋势](#)[期刊论文]-[中国资源综合利用](#) 2002(03)
2. 彭志坚;吴卫国 [硫酸渣与冶金渣综合利用](#)[期刊论文]-[武汉科技大学学报\(自然科学版\)](#) 2002(02)
3. 沈建国;郭春媛;于景坤 [脱硅渣合成钾肥的溶出特性](#)[期刊论文]-[东北大学学报\(自然科学版\)](#) 2005(03)
4. Morey G;Kracek F C;Bowen N L [查看详情](#) 1930(54)
5. Yamaguchi Akira;Yu Jingkun;Li Hongxia [Corrosion behavior of the refractoreis with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiC or Sialon - SiC powders synthesized from clay and pyrophyllite](#) 1999

## 本文读者也读过(10条)

1. [王博](#) [熔渣对RH炉用耐火材料的侵蚀及解决措施](#)[期刊论文]-[科技信息](#)2010(14)
2. [陈仕华](#). [洪彦若](#). [孙加林](#) [基于显微边界形貌分形特征的耐火材料侵蚀维数研究](#)[期刊论文]-[耐火材料](#)2003, 37(2)
3. [刘景林](#) [赛隆保护层](#)[期刊论文]-[国外耐火材料](#)2006, 31(2)
4. [李晓君](#) [使用不同的碳源原位反应合成Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC纳米结构](#)[期刊论文]-[耐火与石灰](#)2010, 35(5)
5. [伍利群](#). [吴万荣](#). [WU Liqun](#). [WU Wanrong](#) [鱼雷式铁水罐车大桥架强度分析](#)[期刊论文]-[山西冶金](#)2008(5)
6. [Santanu MUKHOPADHYAY](#). [Shankha CHATYERJEE](#). [Manoj K NANDA](#) [Eco-Friendly Smokeless Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC-C Brick for Hot Metal Ladle](#)[期刊论文]-[中国耐火材料\(英文版\)](#) 2008, 17(1)
7. [张雅娟](#). [王晓阳](#) [铝铬陶瓷材料抗熔渣腐蚀性的提高](#)[期刊论文]-[国外耐火材料](#)2005, 30(2)
8. [许刚](#). [王守权](#) [添加膨胀料对Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>系浇注料的影响](#)[期刊论文]-[耐火与石灰](#)2007, 32(5)
9. [吴秋玲](#). [楚雪田](#) [采用自动喷补镁质涂层技术提高钢包寿命](#)[期刊论文]-[国外耐火材料](#)2003, 28(6)
10. [程金树](#). [李宏](#). [刘凤鹃](#). [汤李纓](#) [CAS系统微晶玻璃对白泡石耐火材料侵蚀的研究](#)[期刊论文]-[武汉理工大学学报](#) 2002, 24(9)

## 引证文献(2条)

1. [韩兵强](#). [李友胜](#). [李楠](#) [电熔镁砂加入量对Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC-C浇注料性能的影响](#)[期刊论文]-[耐火材料](#) 2008(1)
2. [韩茂赬](#). [薛文东](#). [孙加林](#) [添加SiC对高温下铝铬体系中铬价态的影响](#)[期刊论文]-[耐火材料](#) 2008(2)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_nhcl200505016.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_nhcl200505016.aspx)