

# 大型高炉用非氧化物复合耐火材料的演变及性能

李 勇<sup>1)</sup> 薄 钧<sup>2)</sup> 张建芳<sup>2)</sup> 刘雄章<sup>2)</sup>

1) 北京科技大学 材料科学与工程学院 北京 100083

2) 中钢集团耐火材料有限公司 河南洛阳 471039

**摘 要** 系统分析了大型高炉用 3 代非氧化物复合耐火材料的演变及其性能。从材料演变的角度阐述了近年来中国耐火材料行业技术进步的快速发展,并提出了不同材料未来需要改进和完善的方向。探讨了我国大型高炉用长寿型氧化物-非氧化物复合材料发展中存在及需要解决的问题。

**关键词** 高炉,非氧化物复合材料,长寿

实现高炉长寿化、大型化是炼铁工业的重要目标。随着我国钢铁冶金行业节能降耗和节能减排工作的不断深化和强力推进,开发适应高炉长寿用耐火材料是亟待解决的问题。高炉长寿是系统工程,高炉本体用耐火材料在其中发挥着重要作用,如何提高和改进其使用性能,是科技工作者广为关注的问题<sup>[1-13]</sup>。

高炉本体用耐火材料经历了从氧化物到氧化物-非氧化物复合的历程:氧化物是从高铝矾土到刚玉-莫来石和刚玉等系列产品演变的过程;非氧化物复合材料是从  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{C}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC} - \text{Si}$  (刚玉塑性相复合材料)等复合材料到  $\text{Si}_3\text{N}_4 - \text{SiC}$ 、 $\text{SiAlON} - \text{SiC}$ 、 $\text{SiAlON} - \text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Si}_3\text{N}_4 - \text{SiC} - \text{Si}$  等演变的过程。其中, $\text{SiAlON} - \text{Al}_2\text{O}_3$  已由棕刚玉为基体演变为以板状刚玉为基体的新型  $\text{SiAlON} - \text{Al}_2\text{O}_3$  制品。

近几年,我国拥有自主知识产权的廉价且可大规模生产的  $\text{Si}_3\text{N}_4$  和氮化硅铁原料的出现,加速了  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Si}_3\text{N}_4 - \text{SiC} - \text{Si}$  等新一代产品的发展。这类产品的显著特点是不需要繁杂的氮化烧成设备,同时克服了氮化烧成产品不易生产大型或超大型产品的困难,目前已成功试用于国内 3 000  $\text{m}^3$  以上的大型高炉上。而且采用  $\text{Si}_3\text{N}_4$  原料生产的刚玉-莫来石系高炉喷补料<sup>[14-15]</sup>,以及用  $\text{Si}_3\text{N}_4$  或氮化硅铁原料生产的高炉炮泥,均在大型高炉上取得了很好的使用效果<sup>[16-17]</sup>。含  $\text{Si}_3\text{N}_4$  或氮化硅铁的复合材料,将是今后炼铁工业用耐火材料发展的一个值得关注

的方向。因此,本文着重介绍了  $\text{SiAlON} - \text{SiC}$ 、 $\text{SiAlON} - \text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Si}_3\text{N}_4$  等复合材料的性能。

## 1 非氧化物复合耐火材料的生产特点

耐火非氧化物一般都是由人工合成的,其优点是对熔渣和金属熔体的抗渗透性和侵蚀性较好,线膨胀系数不大,导热性、抗热震性较好;但其最大缺点是抗氧化性欠佳,不宜在空气中或氧化气氛中较长时间使用。耐火材料行业从氧化物时代进入氧化物-非氧化物复合材料时代的重要标志是 20 世纪 70 年代钢铁冶金行业广泛使用的含碳耐火材料(即氧化物-碳复合材料),尤其是  $\text{MgO} - \text{C}$  复合材料的出现,给炼钢工业带来了革命性的变化,使炼钢电炉和转炉的寿命成倍增加。其基本原理是基于钢液的平衡氧分压不会引起复合材料中的碳发生剧烈氧化,而且碳具有非常好的抗钢液渗透性和抗炉渣浸润性以及优良的抗热震性。

氧化物-非氧化物复合材料的生产工艺主要有两大类型:一类是在氧化或埋碳气氛下烧成或低温处理的氧化物-非氧化物复合材料,如  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{C}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Si}_3\text{N}_4$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Si}_3\text{N}_4 - \text{SiC} - \text{Si}$  等。其中,从  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC}$  到  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Si}_3\text{N}_4$  经历了相当长的时间,大约在 20 世纪 90 年代, $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Si}_3\text{N}_4$  材料才开始在我国大型高炉上试用。由于在高炉这种特

\* 李勇:男,1964 年生,博士,教授。

E-mail: lirefractory@vip.sina.com

收稿日期:2008-06-24

编辑:柴剑玲

定的还原气氛中,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{Si}_3\text{N}_4$  在高温下可以固溶形成  $\text{SiAlON}$  相, 不仅可以使材料强度增大, 而且可使材料的抗侵蚀性进一步提高, 因此是新一代大型、长寿高炉用较理想的耐火材料<sup>[18-23]</sup>。另一类是氮化烧成的氧化物-非氧化物复合材料, 如  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -SiC、 $\text{SiAlON}$ -SiC、 $\text{SiAlON}-\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{SiAlON}-\text{Al}_2\text{O}_3$ -SiC 等, 这类产品的生产特点是需要能在能抽真空的电窑或能隔焰烧成的梭式窑中于高纯氮气气氛下高温烧成。电窑烧成的氮化制品在我国的研究与生产时间较早, 隔焰烧成的梭式窑始于 20 世纪 90 年代中期。根据实际生产经验, 氮化反应开始后, 梭式窑匣钵内所释放的热量足以维持氮化反应的持续进行(如视其为一个绝热体系), 这是实现大型梭式窑氮化烧成的理论依据。

## 2 非氧化物复合材料的性能

我国大型高炉用非氧化物复合系统的研究和应用始于宝钢高炉的国产化。 $\text{Si}_3\text{N}_4$ -SiC 材料是当时高炉用的高性能耐火材料<sup>[24-31]</sup>, 引进、消化、吸收, 实现  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -SiC 耐火材料国产化是当初工作的重点之一。笔者将我国大型高炉用非氧化物复合材料的演变划分为 3 代产品: 第一代产品在氧化或还原气氛下烧成或低温处理的氧化物-非氧化物复合材料, 如  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -C、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ -SiC 等; 第二代产品是在高纯氮气气氛下高温烧成的非氧化物复合材料, 如  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -SiC、 $\text{SiAlON}$ -SiC、 $\text{SiAlON}-\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{SiAlON}-\text{Al}_2\text{O}_3$ -SiC 等; 第三代产品是以氮化硅等为原料, 采用洪彦若教授提出的逆反应烧结法制备的, 不需氮化烧成设备亦可生产氮化物分布均匀且尺寸很大的砖, 如  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$ -SiC-Si 等。

$\text{Si}_3\text{N}_4$  材料具有优良的常温、高温强度和较高的断裂韧性和耐磨性, 碳化硅陶瓷有高的硬度、优良的抗蠕变和抗氧化性能。因此, 从 20 世纪 70 年代到 90 年代, 全世界有 65% 以上的高炉使用  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -SiC 材料, 使一代高炉寿命延长了 20%~40%。研究表明:  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -SiC 材料虽然化学性能稳定, 抗碱性和抗渣侵蚀性优良, 但其力学性能与抗热震性不如  $\text{SiAlON}$  结合碳化硅或刚玉材料好。而且  $\text{SiAlON}$ -SiC、 $\text{SiAlON}-\text{Al}_2\text{O}_3$  材料的氮化烧成温度高于  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -SiC 材料, 故目前大型高炉广泛使用的是  $\text{SiAlON}$ -SiC、 $\text{SiAlON}-\text{Al}_2\text{O}_3$  和第三代产品  $\text{SiAlON}-\text{Al}_2\text{O}_3$ -SiC、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ -

$\text{Si}_3\text{N}_4$ -SiC-Si 等。

衡量  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -SiC 材料质量的关键指标是烧成制品中游离硅和  $\text{Si}_3\text{N}_4$  的含量以及  $\text{Si}_3\text{N}_4$  在制品中的分布均匀性。游离硅含量越高, 表明制品的氮化越不完全, 制品的使用性能越差。在生产实践中发现, 游离硅含量高的  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -SiC 制品, 其抗碱蒸气的侵蚀能力和高温性能均较差。游离硅含量不同的  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -SiC 材料的显微结构示于图 1。

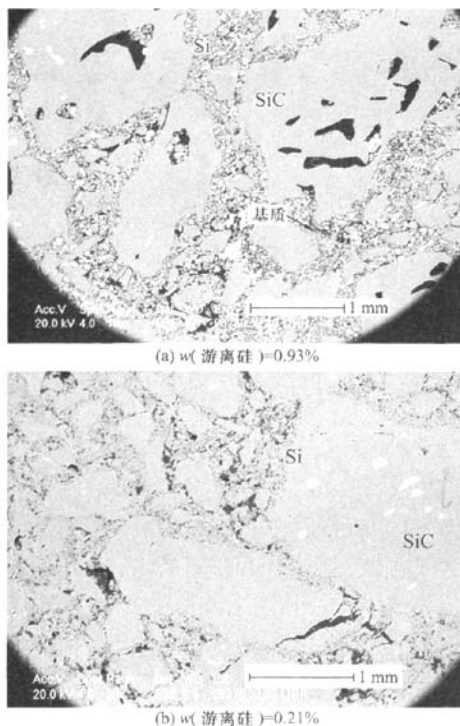


图1 游离硅含量不同的  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -SiC 材料的显微结构照片

氮化硅作为结合相可以大大提高材料高温性能; 但游离硅含量高, 会导致材料被碱蒸气侵蚀后强度的降低。目前, 随着装备水平的不断提升和生产技术的不断完善, 常规的  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -SiC 制品的游离硅含量已完全可以控制在 0.5% ( $w$ ) 以内。但当制品的厚度  $\geq 120$  mm 时, 砖被氮化的完全性和均匀性难度加大, 甚至是非常困难的。

$\text{SiAlON}$ -SiC 和  $\text{SiAlON}-\text{Al}_2\text{O}_3$  制品的性能要优于传统  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -SiC 制品的<sup>[32-35]</sup>。但笔者在生产中发现, 如果氮化温度较低, 则  $\text{SiAlON}$ -SiC 和  $\text{SiAlON}-\text{Al}_2\text{O}_3$  产品中生成的  $\text{SiAlON}$  含量会很低, 有相当一部分的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  不能形成  $\text{SiAlON}$  固溶体(见图 2), 从而影响制品的使用性能。经 EDAX 分析发现,  $\text{SiAlON}$  固

溶体中硅、铝、氧、氮各元素的含量变化较大,说明赛隆相成分是不均匀的。由于氮化产品在生产过程需要氮化窑炉、高纯氮气以及特殊生产设备,同时大型制品中心部位难以氮化完全,难以生产尺寸很大的SiAlON-SiC和SiAlON-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>砖;再者,氮化温度偏低妨碍了长径比大的赛隆相的形成,从而也影响了赛隆结合产品的性能。因此,就有Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>和Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-SiC-Si等第三代产品应运而生。

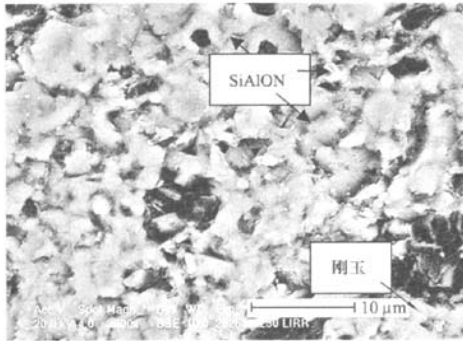


图2 SiAlON中残存有一定的刚玉

具有耐强碱侵蚀、抗氧化、高导热、高强度等特点的Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>与刚玉复合,可制备出高温强度和硬度大且抗热震性优良的复合材料。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>复合材料既有Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>的高强度和硬度,又克服了Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的脆性,可大大改善材料的抗热震性,是一种很有前途的耐火材料,其典型显微结构示于图3。该产品的生产优势是国内已经拥有能大批量生产高性价比的Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>原料的燃烧合成制备技术<sup>[36]</sup>。

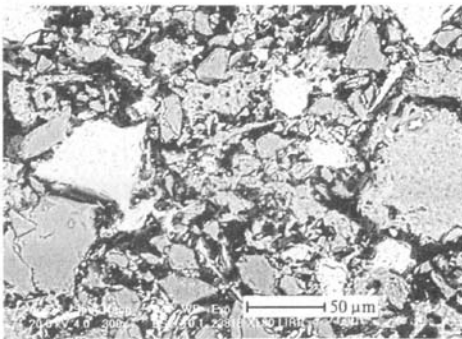


图3 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>复合材料的典型显微结构

合成Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>原料所用的单质硅粉的典型化学组成(w)为:Si 97.7%, TiO<sub>2</sub> 0.21%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.96%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.07%, CaO 0.22%, MgO < 0.1%;平均粒径在1~5 μm,比表面积 > 6 m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup>。合成所用的氮气纯度(φ)为99.9%。所制备Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>原料的相组成以β-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>为主,其质量分数≥98%,残余硅很少,见图

4。第三代产品Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-SiC-Si等就是在此基础上进入工业化生产的。

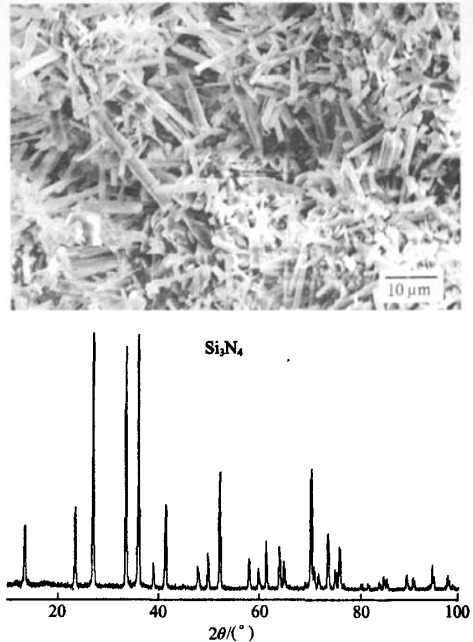


图4 合成Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>原料的SEM照片和XRD图谱

经过近10年工业规模的生产和使用,第三代产品在大型高炉(高炉本体、高炉喷补、炮泥和铁沟等)已取得非常好的使用效果。该系列产品具有生产工艺简单的优点,而且在高炉使用环境条件下,产品中的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>在使用过程中可固溶形成SiAlON而进一步改善和提高材料的使用性能。笔者曾研究过Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>复合材料分别在1400、1500和1600℃埋炭条件下处理后的结构与性能变化,表明:SiAlON相在1500℃下已经显著形成(见图5和图6)。该Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>复合材料目前已在国内某3200 m<sup>3</sup>高炉上使用近3年了,运行情况很好。

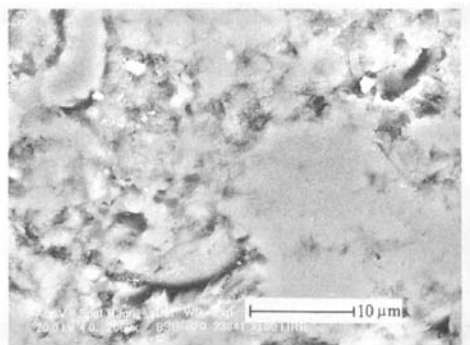


图5 1500℃处理后Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>复合材料中形成的SiAlON相

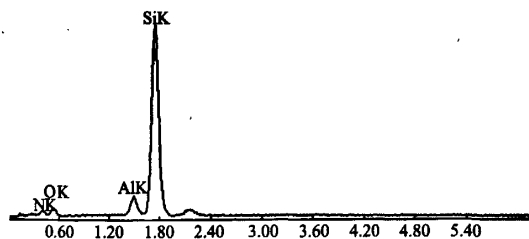


图6 SiAlON 固溶体的 EDAX 图谱

### 3 大型高炉用非氧化物复合材料性能的改进和优化

以 SiAlON - SiC 和 SiAlON - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等为代表的第二代产品(理化性能见表 1)需要改进的重点是如何提高大型制品氮化的均匀性,提高 SiAlON 相的生成量、均匀性及 SiAlON 固溶体(其形貌特征见图 7)的长径比,还需进一步研究 Si<sub>(6-z)</sub>Al<sub>z</sub>O<sub>2</sub>N<sub>(8-z)</sub>(即 SiAlON)的最佳 Z 值等。第二代产品也尚需进一步探究以棕刚玉为基体的 SiAlON - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和以板状刚玉为基体的 SiAlON - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 两种产品使用性能的差异,同时尽快建立赛隆系列产品的国家标准,使赛隆系列产品的检测更加准确和科学。

表1 非氧化物结合系列耐火材料的理化性能

性能	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> - SiC	SiAlON - SiC	SiAlON - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
w(SiC)/%	73.04	74.86	79.14(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
w(Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> )/%	23.82	5.95(N)	5.39(N)
w(游离 Si)/%	0.3	0.27	≤0.3
w(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/%	0.25	0.32	0.48
显气孔率/%	14	8.6	9.0
体积密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	2.74	2.86	3.30
常温耐压强度/MPa	205	211	198
常温抗折强度/MPa	56	59	33
高温抗折强度/MPa (1 400 °C 0.5 h)	69	63	27.3
抗热震性/次 (1 100 °C ⇌ 水冷)	>30	>30	≥15
热膨胀系数 × 10 <sup>6</sup> /K <sup>-1</sup> (20 ~ 1 000 °C)	4.5	5.1	5.8
热导率/[W·(m·K) <sup>-1</sup> ] (1 000 °C)	17.84	16.5	4.08

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> - SiC、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> - SiC - Si 等第三代产品需改进的重点有以下几方面:进一步研究分别以棕刚玉和板状刚玉为基体的两种 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 产品之间使用性能的差异;寻求 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> - SiC - Si 等产品优化的性价比;充分利用第三代产品不需氮化且可以预制的优势优化其性能;研究在高炉使用条件下 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> -

Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 系列产品所发生的结构与性能变化;寻求 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> - SiC - Si 等产品达到最佳的性价比。

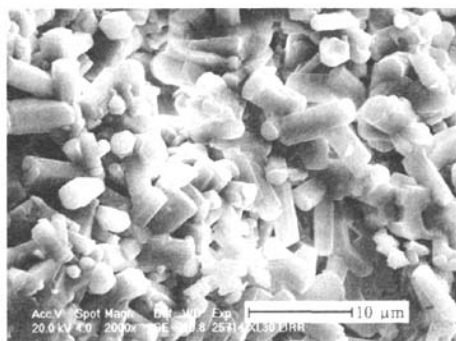


图7 1 500 °C 烧成的赛隆结合刚玉制品中的赛隆形貌

### 4 结论

大型高炉长寿化是目前炼铁工业的重要任务,耐火材料在高炉长寿系统工程中起着重要的作用。目前,大型高炉本体用耐火材料仍然以 SiAlON - SiC 和 SiAlON - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等第二代产品为主,因此,对第二代产品进行性能优化,同时探究第三代产品的推广应用,具有重要的意义。

### 参考文献

- [1] 李楠. 耐火材料与高炉的长寿高效[J]. 炼铁, 1991, 10(1): 1-5.
- [2] 伍积明. 高炉用碳化硅砖性能的评价[J]. 炼铁, 1992, 11(2): 47-51.
- [3] 伍积明. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 结合 SiC 砖的生产及其在炼铁工业上的应用[J]. 炼铁, 1993, 12(1): 47-51.
- [4] 张寿荣. 延长高炉寿命是系统工程 高炉长寿技术是综合技术[J]. 炼铁, 2000, 19(1): 1-4.
- [5] 杨佳龙, 李怀远, 李国清. 武钢 4 号高炉采用的长寿技术[J]. 炼铁, 2000, 19(1): 5-8.
- [6] 王维兴. 我国高炉结构调整方向初探[J]. 炼铁, 2000, 19(6): 19-22.
- [7] 戴中海, 汤葆熙, 傅连春, 等. 欧洲高炉大修改造技术发展趋势[J]. 炼铁, 2002, 21(6): 1-6.
- [8] 刘琦. 采用铜冷却壁延长高炉炉体寿命[J]. 炼铁, 2002, 21(6): 7-10.
- [9] 吴金源. 宝钢高炉用耐火材料的发展[J]. 炼铁, 1995, 14(3): 41-45.
- [10] 伍积明. 高炉炉体长寿设计探讨[J]. 炼铁, 1995, 14(4): 4-7.
- [11] 刘海欣. 武钢高炉炉体结构的演变[J]. 炼铁, 1997, 16(2): 1-5.
- [12] 杜鹤桂. 国外高炉炼铁技术的进步[J]. 炼铁, 1999, 18(1):

- 1-5.
- [13] 李冰. 英国炼铁技术简况[J]. 炼铁, 1999, 18(2): 50-52.
- [14] 熊尾贞. 常压合成氮化硅及其在高炉喷补料中的应用研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2002.
- [15] 孙荣国. 刚玉(莫来石)-氮化硅高炉喷补料性能应用的研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2005.
- [16] 陈俊红. Fe-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 组成、结构及其对 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC-C 体系材料高温性能的影响[D]. 北京: 北京科技大学, 2005.
- [17] 邓小玲. Fe-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 对 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC-C 质浇注料性能影响的研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2004.
- [18] 涂军波. 硅(铝)-刚玉-氮化硅材料的研究与应用[D]. 北京: 北京科技大学, 2005.
- [19] 孙加林, 洪彦若. 非氧化物复合耐火材料在中国的进展(I)——新产品的开发和应用[J]. 耐火材料, 2006, 40(特刊): 77-83.
- [20] 孙加林, 洪彦若. 非氧化物复合耐火材料在中国的进展(II)——新工艺新理论的探索[J]. 耐火材料, 2006, 40(特刊): 84-89.
- [21] Sun J L, Tu J B, Li X M, *et al.* The mechanism of making Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite under oxidizing atmosphere[J]. J Aust Ceram Soc, 2004, 40(2): 43-48.
- [22] 洪彦若, 孙加林, 王玺堂, 等. 非氧化物复合耐火材料[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2003: 59-85.
- [23] 陈肇友. 化学热力学与耐火材料[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2005: 545-554.
- [24] Brown R W. Property cooled silicon carbide refractory, Another major milestone in blast furnace technology[J]. Industrial Heating, 1981, 48(8): 42-45.
- [25] Hiragushi K, Mizutani K, Nagai T. A new approach to blast furnace stack linings[J]. Iron and Steel Engineer, 1978, 55: 47-53.
- [26] Sugita K, Hiragushi K, Ochiai T. Some current trends in blast-furnace refractories in Japan[J]. Proceedings British Ceramic Society, 1980, 29(2): 60-72.
- [27] Brown R W. Bond development in silicon carbide blast furnace refractories during the 1980's[J]. Interceram(1988 Aachen Proceedings), 1989: 41-46.
- [28] Campos - Loriz, Holmes T R. Development and properties of silicon carbide refractories for blast furnace use[C]//Ceramic Engineering and Science Proceedings, American Ceramic Society, 1986, 7(1-2): 100-118.
- [29] Brown R W. 1987 world report on silicon carbide blast furnace refractories[C]//Proceedings Second International Conference on Refractories, Tokyo, Japan, 1987(1): 83-105.
- [30] Kaufman J W. Performance characteristics of silicon carbide refractories in blast furnaces[J]. Interceram (1982 Aachen Proceedings), 1983(32): 48-55.
- [31] Brown R W. Silicon carbide blast furnace refractories[J]. Iron and Steel Maker, 1983, 10(5): 17-27.
- [32] 李友芬. 复相 β-SiAlON 结合 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 复合材料的制备、显微结构和性能[D]. 北京: 北京科技大学, 1998.
- [33] 陈仕华. 宝钢高炉用 β-SiAlON 结合刚玉砖的研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2003.
- [34] 黄朝晖. β-SiAlON-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC 复相材料的制备、性能和显微结构的研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2002.
- [35] 罗星源. 碳氮复合材料的基础研究[D]. 北京: 北京科技大学, 1999.
- [36] 祝少军. 氮化硅闪速燃烧合成机理研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2005.

Evolution and properties of nonoxide composite refractories for large-size blast furnaces in China/Li Yong, Bo Jun, Zhang Jianfang, *et al.*//Naihuo Cailiao. -2009, 43(2): 140

Evolution and properties of three generation oxide and nonoxide-oxide composites used at large-size blast furnaces were analyzed systematically. The rapid development and application of Chinese nonoxide-oxide composite were presented. How to improve their performance in the future was proposed. And the problem for developing long campaign oxide and nonoxide composites for blast furnaces was discussed.

**Key words:** Blast furnaces, Nonoxide composite, Long campaign

**Author's address:** School of Material and Science, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

## · 专利信息 ·

### 一种溶胶结合耐火修补材料及修补方法

申请号: 200810196814.1 公开号: CN101348378 申请人: 武汉钢铁(集团)公司

本发明涉及一种溶胶结合耐火修补材料及修补方法。本发明为了克服现有耐火修补料高温粘接强度低、凝固慢、难于快速烘烤、容易脱落、抗侵蚀能力差等缺点, 提供一种溶胶结合耐火修补材料, 由修补料基体、碳化硅、二氧化硅或氧化铝的微粉、溶胶、促凝剂组成。与现有技术相比, 本发明可以提高修补料与主沟、渣沟、铁水包、鱼雷罐等修补部位炉衬的粘结强度, 耐用性能好, 可延长炉衬的寿命, 减少修补时间; 同时提高了炉衬的抗侵蚀能力, 降低炼铁系统的耐火材料消耗。

# 大型高炉用非氧化物复合耐火材料的演变及性能

作者: [李勇](#), [薄钧](#), [张建芳](#), [刘雄章](#)  
作者单位: [李勇\(北京科技大学材料科学与工程学院, 北京, 100083\)](#), [薄钧, 张建芳, 刘雄章\(中钢集团耐火材料有限公司, 河南洛阳, 471039\)](#)  
刊名: [耐火材料](#) **ISTIC PKU**  
英文刊名: [REFRACTORIES](#)  
年, 卷(期): 2009, 43 (2)

## 参考文献(36条)

1. [李楠](#) [耐火材料与高炉的长寿高效](#) 1991 (01)
2. [伍积明](#) [高炉用碳化硅砖性能的评价](#) 1992 (02)
3. [伍积明](#) [Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>结合SiC砖的生产及其在炼铁工业上的应用](#) 1993 (01)
4. [张寿荣](#) [延长高炉寿命是系统工程高炉长寿技术是综合技术](#)[期刊论文]-[炼铁](#) 2000 (01)
5. [杨佳龙](#); [李怀远](#); [李国清](#) [武钢4号高炉采用的长寿技术](#)[期刊论文]-[炼铁](#) 2000 (01)
6. [王维兴](#) [我国高炉结构调整方向初探](#)[期刊论文]-[炼铁](#) 2000 (06)
7. [藏中海](#); [汤葆熙](#); [傅连春](#) [欧洲高炉大修改造技术发展趋势](#)[期刊论文]-[炼铁](#) 2002 (06)
8. [刘琦](#) [采用铜冷却壁延长高炉炉体寿命](#)[期刊论文]-[炼铁](#) 2002 (06)
9. [吴金源](#) [宝钢高炉用耐火材料的发展](#) 1995 (03)
10. [伍积明](#) [高炉炉体长寿设计探讨](#) 1995 (04)
11. [刘海欣](#) [武钢高炉炉体结构的演变](#) 1997 (02)
12. [杜鹤桂](#) [国外高炉炼铁技术的进步](#) 1999 (01)
13. [李冰](#) [英国炼铁技术简况](#) 1999 (02)
14. [熊尾贞](#) [常压合成氮化硅及其在高炉喷补料中的应用研究](#)[学位论文] 2002
15. [孙荣国](#) [刚玉\(莫来石\)-氮化硅高炉喷补料性能应用的研究](#)[学位论文] 2005
16. [陈俊红](#) [Fe-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>组成、结构及其对Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC-C体系材料高温性能的影响](#)[学位论文] 2005
17. [邓小玲](#) [Fe-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>对Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC-C质浇注料性能影响的研究](#)[学位论文] 2004
18. [涂军波](#) [硅\(铝\)-刚玉-氮化硅材料的研究与应用](#)[学位论文] 2005
19. [孙加林](#); [洪彦若](#) [非氧化物复合耐火材料在中国的进展\(I\)--新产品的开发和应用](#) 2006 (tk)
20. [孙加林](#); [洪彦若](#) [非氧化物复合耐火材料在中国的进展\(II\)--新工艺新理论的探索](#) 2006 (tk)
21. [Sun J L](#); [Tu J B](#); [Li X M](#) [The mechanism of making Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite under oxidizing atmosphere](#) 2004 (02)
22. [洪彦若](#); [孙加林](#); [王玺堂](#) [非氧化物复合耐火材料](#) 2003
23. [陈肇友](#) [化学热力学与耐火材料](#) 2005
24. [Brown R W](#) [Property cooled silicon carbide refractory, Another major milestone in blast furnace technology](#) 1981 (08)
25. [Hiragushi K](#); [Mizutani K](#); [Nagai T](#) [A new approach to blast furnace attack linings](#) 1978
26. [Sugita K](#); [Hiragushi K](#); [Oehiai T](#) [Some current trends in blast-furnace refractories in Japan](#) 1980 (02)
27. [Brown R W](#) [Bond development in silicon carbide blast furnace refractories during the 1980's](#) 1989
28. [Campos-Loriz](#); [Holmes T R](#) [Development and properties of silicon carbide refractories for blast furnace use](#) 1986

29. [Brown R W 1987 world report on silicon carbide blast furnace refractories](#) 1987
30. [Kaufman J W Performance characteristics of silicon carbide refractories in blast furnaces](#) 1983(32)
31. [Brown R W Silicon carbide blast furnace refractories](#) 1983(05)
32. [李友芬 复相  \$\beta\$ -SiAlON结合Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合材料的制备、显微结构和性能](#)[学位论文] 1998
33. [陈仕华 宝钢高炉用  \$\beta\$ -SiAlON结合刚玉砖的研究](#) 2003
34. [黄朝晖  \$\beta\$ -SiAlON-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC复相材料的制备、性能和显微结构的研究](#)[学位论文] 2002
35. [罗星源 碳氮复合材料的基础研究](#) 1999
36. [祝少军 氮化硅闪速燃烧合成机理研究](#)[学位论文] 2005

#### 本文读者也读过(10条)

1. [谢大勇, 彭云涛, 董丽 高炉本体常见问题剖析及解决新方法](#)[会议论文]-2008
2. [姜华, 傅思荣, 王立辉, JIANG Hua, FU Sir-ong, WANG Li-hui 高炉本体内衬耐火材料技术进步](#)[期刊论文]-[中国冶金](#)2007, 17(8)
3. [冯仕海, Feng Shihai 高炉喷补技术的发展](#)[期刊论文]-[矿业研究与开发](#)2006, 26(z1)
4. [陈凯平 浅谈对高炉内衬耐火材料的选择原则](#)[会议论文]-2007
5. [甘菲芳, 沈强, 夏欣鹏 大型高炉及热风炉用耐火材料的研究和使用](#)[会议论文]-2002
6. [冯力, 熊滨生, 林留柱, 张进 高炉送风支管内衬耐火材料的研究](#)[会议论文]-2007
7. [黄朝晖, 潘伟, 孙加林, 王金相, 洪彦若 CaCl<sub>2</sub>对高炉用  \$\beta\$ -SiAlON结合刚玉耐火材料的侵蚀](#)[期刊论文]-[耐火材料](#) 2004, 38(1)
8. [徐国涛 高炉长寿顺行中的耐火材料研究进展](#)[会议论文]-2005
9. [梁丽华, 戈青, Liang Lihua, Ge Qing 浅析高炉耐火材料的选用](#)[期刊论文]-[太原科技](#)2004(5)
10. [白纪周, 何汝生 长寿高炉用耐火材料内衬](#)[会议论文]-2001

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_nhcl200902014.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_nhcl200902014.aspx)