

# 加强耐火材料研发技术应用 适应宝钢炼钢技术发展

郑贻裕 牟济宁 沈钟铭

宝山钢铁股份有限公司 炼钢厂 上海 200941

**摘要** 结合宝钢股份公司炼钢厂重点耐火材料的技术开发和应用,提出了炼钢技术发展对耐火材料的安全高效、节能降耗、绿色环保等要求。

**关键词** 炼钢,有效底吹风口,RH无铬化耐火材料,湿法喷涂

耐火材料是钢铁工业的重要辅助材料,其产量的70%左右用于钢铁工业。经过20世纪80年代以来的耐火材料技术研发和攻关,特别是在原冶金部相关部委的直接组织和推动下,广大耐火材料技术工作者面向用户,产供研联合攻关,明显提高了我国耐火材料工业水平,使钢铁工业用耐火材料的品种、质量得到了进一步发展和提高。

宝钢经过20多年的建设和生产发展,已成为世界500强钢铁企业。宝钢的发展史从一个侧面也记录了我国耐火材料工业的发展史,宝钢在建设和投产初期,使用了大量的进口耐火材料,但随着我国耐火材料工业水平的提高,宝钢用耐火材料的国产化率由投产初期的23%提高到1995年的98%;同时,宝钢还开发研制了一批新型高效的耐火材料,有力保证了宝钢钢铁的高效生产,使宝钢吨钢耐火材料单耗指标处于国际先进水平,也推进了我国钢铁工业和耐火材料技术的进步。

炼钢耐火材料的品种和质量直接影响炼钢生产的稳定、顺行和钢种开发,在炼钢企业取得效益的同时,凝聚着耐火材料企业的支持和奉献。当前,随着国内外钢铁企业竞争的不断加剧,生产经营任务依然艰巨,炼钢企业为提高钢铁产品在市场上的竞争力,不断拓展品种、提升质量,优化生产组织模式,提高高附加值钢种的生产规模,同时对冶炼环境要求日趋强化,提出绿色采购,因此对耐火材料的品种和质量要求高,这为耐火材料技术的发展提供了广阔的发展空间。在本文中,结合宝钢股份公司炼钢厂重点耐火材料的技术开发和应用,试图提出炼钢技术对耐火材料的品种质量要求。

## 1 转炉用耐火材料

### 1.1 转炉炉龄管理

转炉复吹工艺是转炉炼钢工艺的核心技术

之一。转炉顶底复合吹炼技术可缩短冶炼时间,降低渣中FeO的量,提高金属收得率,使钢液的温度和成分均匀。在宝钢,随着纯净钢和电工钢等钢种冶炼技术的开发,对转炉底吹技术提出了明确要求。根据生产实践发现,转炉底吹要强调其有效性,即底吹风口要“裸露”(所谓“裸露”,就是肉眼观察风口有黑点),这是发挥转炉复吹冶炼技术的关键,要努力提高转炉的有效底吹寿命。转炉炉龄管理就是要提高转炉的质量,其“质”体现在底吹风口的有效性上,其“量”体现在生产的高节奏上(日出钢炉数),通过转炉质量的提高,实现经济炉龄水平的提高。

目前,宝钢炼钢厂转炉炉龄在6000~7000炉,有效复吹比约85%。

### 1.2 转炉底吹风口裸露与炉底厚度的关系

宝钢2008年离线的6座转炉的各炉役炉龄与炉底残厚关系图见图1。

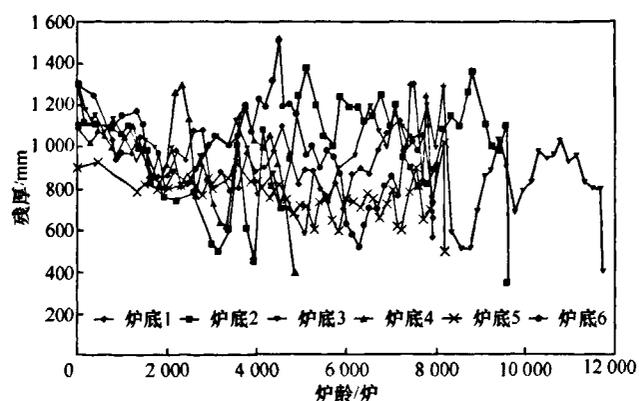


图1 2008年转炉各炉役炉龄与炉底残厚  
Fig.1 Bottom remaining thickness vs lining life in 2008

从图1中可看出,总体上在炉龄达到2000炉以后,开始出现炉底厚度的较大波动,导致底吹风口“裸露”的不稳定。其表现形式主要有如下4种:(1)风

\* 郑贻裕:男,1960年生,高级工程师。

收稿日期:2011-06-24

编辑:柴剑玲

口裸露明显并凹陷,表面无渣层;(2)风口状态良好,表面覆盖渣层;(3)风口状态模糊,表面覆盖渣层;(4)风口无裸露,表面覆盖渣层,风口与炉底为一体。综合这4种风口状态发现,炉渣对风口的“裸露”影响直接,表现在炉底的厚度发生较大波动。

在底吹风口良好状况下控制炉底厚度波动是提高底吹风口寿命的关键。通过强化操作,提高溅渣护炉技术和风口挂渣作业,炉底厚度控制目标为:炉役前期2 000炉时>800 mm;中期2 000~4 000炉时600~800 mm;后期>4 000炉时400~700 mm。

### 1.3 底吹风口用耐火材料

国内外广泛使用的转炉底吹风口砖主要是定向多孔型透气砖(MHP),见图2。宝钢炼钢厂使用的也是这种透气砖。MHP砖的设计思想是选择合适的金属管径和管数,在气源所提供的压力范围内,满足工艺要求的最大搅拌强度(以适应BRP强底吹脱磷工艺要求)和最小搅拌强度,同时不发生钢水倒灌现象。

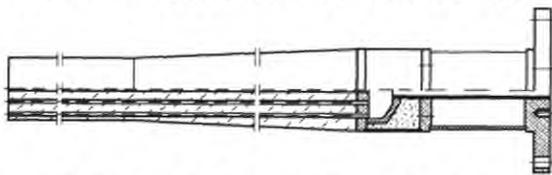


图2 定向多孔型透气砖(MHP)的结构图  
Fig. 2 Structure scheme of MHP

如何降低转炉底吹风口砖熔损,提高使用寿命,其设计和制作工艺十分重要。根据炼钢工艺确定钢液的温度、底吹气体流量、金属管个数、炉渣的成分等及其关系,进一步确定底吹气体冷却强度,使各金属气管上形成蘑菇头。通过严格控制配料、混练等环节,尤其是等静压成型质量(需对不锈钢管气道进行定位,以确保气道的垂直和均匀的间距)和焊接质量,确保气室的整体密封性能和气道的畅通,并检测每个风口砖的压力-流量曲线。

### 1.4 转炉热补用耐火材料

推进清洁生产,追求经济效益、环境效益和社会效益的协调,宝钢积极研发和应用绿色环保产品,将传统的含沥青和焦油的碳质热补料改为无碳自流热补料,取得了较好的使用效果。

## 2 RH精炼炉用耐火材料

RH精炼炉用耐火材料随精炼工艺的发展不断更新进步,从早期的高铝质耐火材料,更新为普通烧成镁铬质耐火材料,并进步为直接结合镁铬砖、半再结合或再结合镁铬砖。尽管RH精炼功能的发展导致炉内工况条件不断严酷,但耐火材料技术的进步还是

使炉衬寿命得到了显著提高。然而,在高温和碱性使用环境下,含 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 耐火材料在氧化气氛与强碱性氧化物如 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 或 $\text{CaO}$ 存在的条件下,三价铬 $\text{Cr}^{3+}$ 能转变为六价铬 $\text{Cr}^{6+}$ 。而六价铬是一种致癌物,对人体有害且易溶于水, $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 可以气相存在,在生产使用中会随烟气排入空中污染空气,污染环境。为了防止 $\text{Cr}^{6+}$ 公害,世界发达国家如欧美、日本等国家已经立法禁止使用镁铬砖,并正在从各种技术途径寻求镁铬砖的替代品。

宝钢2003年开始启动镁铬砖替代产品的实际工业使用项目,现已进入全面替代镁铬砖耐火材料阶段,并且可以满足RH脱硫钢种的冶炼要求,各部位产品达到甚至超过镁铬砖使用性能水平,为RH精炼炉炉衬无铬化积累了宝贵的经验。下面介绍了宝钢RH精炼炉各部位的无铬材质配置和工业应用实绩。

### 2.1 中上部槽无铬化材质选择和工业应用实绩

通过局部工业试验,确定在RH炉的中上部槽使用 $w(\text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3) > 95\%$ 的镁尖晶石砖,其高温抗折强度在6 MPa以上(1 450℃ 1 h),抗热震性在3次以上(1 100℃水冷)。这种镁尖晶石砖已在宝钢3# RH炉(生产脱硫钢)和5# RH炉上实现稳定的工业化批量使用,使用比例分别占到60%和40%,其在使用中的抗渣侵蚀性能和抗剥落性能丝毫不逊色于镁铬砖。2009年1月至2010年6月,3# RH炉无铬上、中部槽的平均槽龄分别达到1 089和560炉,同时期用镁铬砖的平均槽龄分别为1 021和530炉;5# RH无铬上、中部槽平均槽龄分别为1 693和846炉,同时期镁铬砖的平均槽龄分别为1 631炉和814炉。可见,镁尖晶石质中上部槽的使用寿命达到甚至超过镁铬质的水平。

### 2.2 下部槽、环流管、浸渍管的无铬材质配置及工业应用实绩

RH真空精炼过程在真空和高温下间歇进行,真空室的中下部槽内衬和环流管、浸渍管衬体,经受着钢液喷溅和环流的冲刷作用,并伴有炉渣的侵蚀和间歇作业带来的周期性的温度波动。耐火材料损毁形式除常见的冲刷蚀损外,还同时存在不同程度的结构剥落和热剥落,见表1。浸渍管和环流管耐火材料受到的上述冲刷侵蚀和热震作用是最强的,相对的其损毁较严重,寿命也较低。

#### 2.2.1 材质的选择和配置

下部槽无铬砖的选用,应确保其下部熔池的抗冲刷、抗热震性,同时兼顾其上部的抗渣性。材质方面,在下部熔池部位选用了刚玉-尖晶石预制块,在上部则

采用了与中部槽相同的镁尖晶石砖,获得了良好的冶炼使用效果。刚玉-尖晶石预制块的理化指标见表2。

环流管、浸渍管是采用刚玉-尖晶石浇注料整体浇注的,该浇注料的理化指标亦见表2。

表1 下部槽、环流管和浸渍管耐火材料的主要损毁形式  
Table 1 Main destruction forms of refractories for RH lower vessel, circulating and immersion snorkels

部位	耐火材料主要损毁形式	耐火材料的重点性能
下部槽	冲刷、渣侵、热震	高温强度、抗渣侵蚀性
环流管	冲刷、热震	高温强度、抗热震性
浸渍管	热震、冲刷	抗热震性、高温强度

表2 下部槽、环流管、浸渍管无铬耐火材料理化指标  
Table 2 Chemical compositions and physical properties of chrome free refractories for lower vessel, circulating and immersion snorkels

项目	刚玉-尖晶石 预制块	刚玉-尖晶石 浇注料
使用部位	下部槽	整体浸渍管、 环流管
体积密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	≥3.3	≥3.0
显气孔率/%	≤15	≤17
高温抗折强度/MPa(1 450 °C 1 h)	≥3(平均)	≥13
抗热震性/次(1 100 °C ⇌ 水冷)	≥8(平均)	
化学组成(w)/%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + MgO ≥97	≥95.5
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	≥91
	MgO	≥2.0

2.2.2 无铬下部槽、环流管、浸渍管的工业应用实绩

宝钢的5台RH均为为300t及250t转炉配套的大型真空二次精炼设备,具有大直径、大循环流量的特点,其主要工艺参数见表3。生产钢种主要包括IF钢、电工钢、船板钢等精品钢种,在部分钢种精炼过程中还要实施顶枪吹氧脱碳、喷粉脱硫等工艺,对槽衬及浸渍管耐火材料的抗侵蚀性能要求更加苛刻。通过不断摸索、积累和改进,宝钢RH无铬耐火材料已逐步适应高节奏的生产要求,使用比例50%,寿命达到高质量的镁铬砖水平,并在质量稳定性、抗热震性等方面具有明显优势。

表3 宝钢各RH炉的主要工艺参数  
Table 3 Main parameters of Baosteel RH furnaces

项目	1 <sup>#</sup> RH	2 <sup>#</sup> RH	3 <sup>#</sup> RH	4 <sup>#</sup> RH	5 <sup>#</sup> RH
容量/t	300	300	250	300	250
浸渍管直径/mm	750	750	750	750	750
最大循环量/(t·min <sup>-1</sup> )	230	230	230	240	240
吹氧流量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	2 500	2 500	3 000	2 500	2 500
67 Pa抽气能力/(kg·h <sup>-1</sup> )	1 100	1 100	1 100	1 500	1 200

3 钢包用耐火材料

钢包是炼钢厂重要的热工设备。随着宝钢炼钢技术的不断发展,冶炼温度提高和连铸比增加,钢水在钢包中停留时间延长,尤其是炉外精炼LF、RH工艺对钢包内衬的要求越来越苛刻,钢包内衬的材质以

及维护施工工艺也需不断改进,努力降低耐火材料消耗和成本,提高钢包热状态,为精炼和连铸提供符合工艺要求的钢包。

3.1 优化钢包结构,提高钢包热状态

钢包内衬分为工作层和永久层,视包底和包壁蚀损机制的差异而采用不同的材质体系和施工方式。

包底永久层采用高铝浇注料;包壁永久层采用高铝浇注料(紧贴包壳砌筑一层薄的轻质隔热高铝砖,能有效降低钢包外壳温度)或砖砌(蜡石砖和高铝砖,适用于包壳严重变形而无法实施整体浇注的钢包)。

包底工作层由于要承受钢水冲击和较大的静压力,需采用高荷软、低蠕变和抗热震性好的耐火材料,因此选用刚玉浇注料;为提高包底的抗冲刷性能,在包底冲击区采用大型预制块砌筑;为方便拆修并预留一定膨胀缝,又在透气砖座砖和水口座砖周围砌筑了镁碳砖。包壁工作层由于精炼时受钢水吸碳作用和翻滚冲刷以及炉渣侵蚀,应有良好的耐冲刷、抗侵蚀和抗氧化的性能,同时还要求热膨胀率低,以保持包壁无裂缝。因此,包壁选用刚玉浇注料(整体浇注钢包)或预制块(砖砌钢包)。

钢包渣线部位要承受炉渣侵蚀和电弧的灼烧脱碳,要求耐火材料有较强的抗氧化、抗侵蚀能力,因此渣线部位砌筑镁碳砖。

宝钢钢包内衬砌筑图如图3所示。

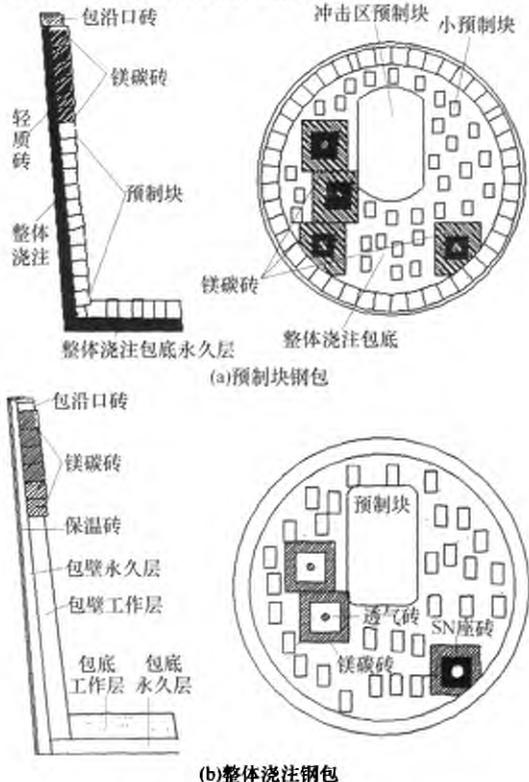


图3 钢包内衬砌筑图  
Fig. 3 Masonry scheme of ladle lining

钢包工作层选用的铝镁尖晶石浇注料具有密度大、强度高、耐侵蚀、抗剥落、磨损率低等优点,能显著提高包龄,因而被众多厂家广泛采用。永久层选用高铝质浇注料,能提高永久层的保温性和抗侵蚀能力,有效阻止钢水进一步渗透,确保生产安全。

宝钢2006年以前整浇永久层结构为18 mm厚纤维板+62 mm厚整体浇注(代号a<sup>#</sup>包),2006年以后进行了改进试验,整浇永久层结构改为18 mm厚轻质预制块+62 mm厚整体浇注(代号b<sup>#</sup>包)。使用中对这两种包壳进行了测温比较,如图4所示。

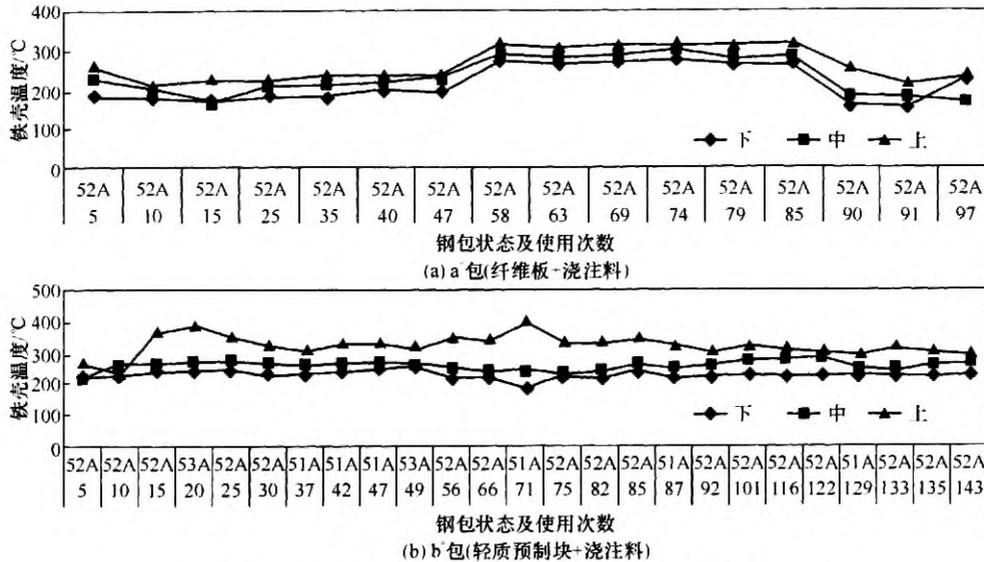


图4 钢包不同部位铁壳的温度随使用次数的变化  
Fig. 4 Shell temperature changes of different parts in ladle with used times

从图4可见,采用纤维板的a<sup>#</sup>钢包在使用前期铁壳温度最低,使用中期温度上升,但在使用后后期温度又下降,较新试高铝轻质预制块的b<sup>#</sup>钢包的保温效果略好。纤维板在钢包使用前期虽然起到了较好的保温效果,但使用中后期由于包衬耐火材料的膨胀挤压,使纤维板的厚度压缩至原来的三分之一,导致其保温效果下降,同时内衬耐火材料受热膨胀挤压纤维板也促使了永久层浇注料裂纹的产生及扩大,对钢包的安全使用极为不利。轻质预制块的体积稳定性优于纤维板,减少了永久层裂纹的产生,在钢包使用全过程中保温效果稳定,目前已在整个宝钢炼钢厂区域推广使用。

### 3.2 钢包内衬维护

钢包工作层熔损受出钢温度、钢种成分、精炼方式和传搁时间等影响,变化较大。宝钢在传统修补方式基础上开发试验了湿法喷涂。经湿法喷补修补后,修补区域与包壁结合程度非常牢固,使用中未出现剥落和掉落现象,如图5所示。

钢包湿法喷涂的试验成功,为宝钢钢包耐火材料的纯化,不断满足品种钢开发的要求创造了条件。

## 4 连铸用耐火材料

从20世纪90年代初以来,宝钢依靠科技进步,着手研究开发纯净钢冶炼技术。宝钢在纯净钢生产

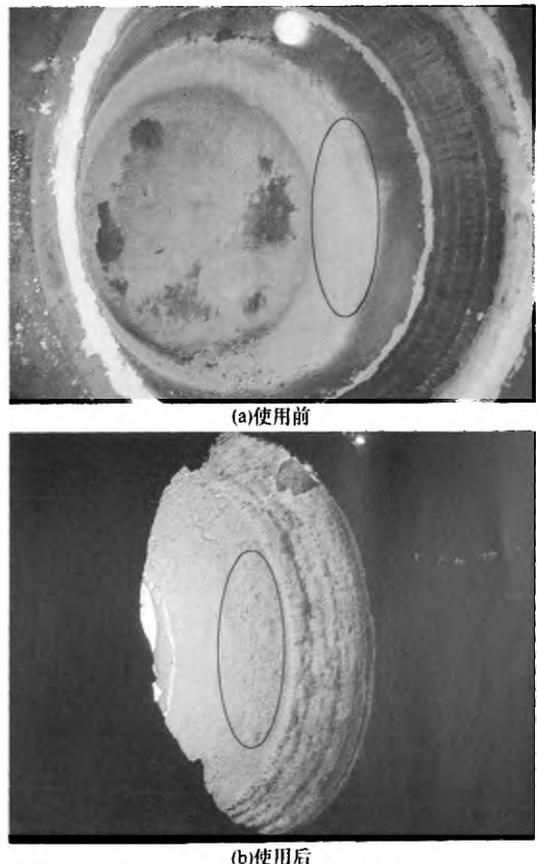


图5 湿法喷补钢包使用前后对比  
Fig. 5 Contrast of wet gunning coated ladle before and after use

单项技术研究的基础上,以超低碳IF钢和X系列管线钢为对象钢种进行联动试验,开发了批量生产纯净

IF钢、管线钢生产技术和管技术,旨在带动宝钢纯净钢综合控制水平进步,增强产品竞争力。在中间包耐火材料中,宝钢开发了包括镁钙涂料、碱性过滤器等全碱性耐火材料。宝钢炼钢厂2010年品种钢的生产比例大幅增加,达到了65.3%,2011年还在继续上升,因此要求连铸耐火材料使用稳定,功能高效:一要继续确保连铸中间包耐火材料使用的稳定性;二要进一步优化中间包耐火材料的功能,尤其在中间包系统吹氩、提高中间包钢水纯净度方面,为品种钢的高质量生产提供技术支撑。

## 5 耐火材料供应管理

宝钢炼钢厂2008年开始在相关工序耐火材料相继实施了承包管理,使传统的耐火材料供应采购变为战略合作的承包采购,近几年的实践证明,初步实现了宝钢与供应商的互利双赢。作为宝钢的战略合作

供应商,要进一步加强耐火材料产品的生产过程控制,稳定产品质量,加强耐火材料研发,拓展品种,加强耐火材料功能化的深度开发以满足钢种开发要求,提升耐火材料使用效果,进一步适应宝钢生产发展对耐火材料品质和管理的要求,共同发展宝钢耐火材料技术。

## 6 结语

炼钢生产技术的发展是推动炼钢耐火材料进步的原动力和重要基础。“十二五”期间,炼钢耐火材料要在安全高效、节能降耗、绿色环保方面加大行业研发投入,坚持自主创新,推动耐火材料科技继续发展;要继续面向用户,加强“产、供、研”的联合攻关,提高耐火材料产品品质和应用水平,推动高效、低耗、功能化、节能、环保、安全智能的先进炼钢耐火材料的发展。

Research on refractories applications to meet demands of steel-making process in Baosteel/Zheng Yiyu, Mou Jining, Shen Zhongming//Naihuo Cailiao. -2011,45(5):345

Based on the refractories research of Steel-making Plant of Baosteel, this article displayed the demands for refractories from the developing steel-making technology such as high security, high efficiency, energy saving, and environment friendly.

Key words: Steel-making, Effective bottom blowing tuyere, Chrome free RH refractories, Wet gunning

Author's address: Steel-making Plant of Baoshan Iron & Steel Co., Ltd., Shanghai 200941, China

### · 研究动态 ·

#### 添加 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 对尖晶石材料抗渣性的影响

日本冈山陶瓷研究所的研究人员在尖晶石材料中外加0.1%~10%(w)的 $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,研究了 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 对尖晶石材料抗渣性的影响。

试样配比(w)为:1~0.15 mm的 $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  60%, <0.75  $\mu\text{m}$ 的 $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  40%,分别外加(w)0.0.1%、0.3%、1%、3%、10%的 $\text{Si}_3\text{N}_4$ (0.7  $\mu\text{m}$ )和12.8%的 $\text{SiO}_2$ (0.8  $\mu\text{m}$ ),试样编号分别记为1#~6#。

按配比称取原料,混匀后,以150 MPa压力单轴加压成型为25 mm×25 mm×120 mm的试样,于1500℃保温1 h烧成,其中, $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ - $\text{SiO}_2$ 试样在大气气氛中烧成, $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$ 试样在 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 粉末中烧成。

抗渣试验采用回转抗渣法。试验用渣为 $m(\text{CaO}):m(\text{SiO}_2)=1.32$ 的合成渣,渣的化学组成(w)为:CaO 41%, $\text{SiO}_2$  31.2%, $\text{Al}_2\text{O}_3$  25.4%, $\text{Na}_2\text{O}$  2.4%。试验程序如下:将试样悬

挂固定于旋转机构,下端浸入1500℃的熔渣中,开动旋转机构以3 r·min<sup>-1</sup>的速度旋转,1 h后结束试验。

将试验后试样纵向对称剖开。观察并测量渣的渗透深度,同时采用EDS分析渣成分(Ca)在试样中的分布,然后综合判定渣的渗透深度;测量试样纵向剖面的非蚀损面积,按100-(试验后非蚀损面积/试验前面积)×100%计算试样的蚀损率。抗渣试验结果见表1。

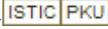
表1 抗渣试验结果

试样编号	1#	2#	3#	4#	5#	6#
渗透深度/mm	5.8	1.9	1.5	1.0	1.4	
蚀损率/%	70	68	65	58	50	98

结果表明:在尖晶石材料中添加 $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,可以提高材料的抗渣侵蚀性和抗渣渗透性; $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$ 材料的抗渣侵蚀性和抗渣渗透性优于 $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ - $\text{SiO}_2$ 材料。

(宋玉涛 编译)

# 加强耐火材料研发技术应用 适应宝钢炼钢技术发展

作者: [郑贻裕](#), [牟济宁](#), [沈钟铭](#), [Zheng Yiyu](#), [Mou Jining](#), [Shen Zhongming](#)  
作者单位: [宝山钢铁股份有限公司炼钢厂](#) 上海200941  
刊名: [耐火材料](#)   
英文刊名: [Refractories](#)  
年, 卷(期): 2011, 45(5)

## 本文读者也读过(6条)

1. [张艳利](#) [旋转喷涂耐火材料的研究开发](#)[期刊论文]-[耐火与石灰](#)2009, 34(6)
2. [刘艳妹](#). [赵成林](#) [耐火材料喷涂技术在承钢的应用](#)[期刊论文]-[耐火材料](#)2005, 39(5)
3. [李雪冬](#). [王米娜](#). [范青松](#). [傅秋华](#) [连铸中间包涂料热负荷反应](#)[期刊论文]-[耐火材料](#)2011, 45(5)
4. [章荣会](#). [徐吉龙](#). [刘贯重](#). [于运祥](#) [炼铁系统用耐火材料技术新进展](#)[会议论文]-2011
5. [赵显久](#). [冯黎明](#). [程申涛](#). [王远明](#). [Zhao Xianjiu](#). [Feng Liming](#). [Cheng Shentao](#). [Wang Yuanming](#) [宝钢股份炼钢厂300t转炉工序能耗分析](#)[期刊论文]-[上海金属](#)2011, 33(5)
6. [王爱明](#). [余西平](#). [刘静轩](#). [梁化吉](#). [丰文祥](#). [徐延庆](#) [提高精炼钢包渣线砖寿命的措施](#)[期刊论文]-[耐火材料](#)2011, 45(5)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_nhc1201105007.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_nhc1201105007.aspx)