

试验研究

# 易切削钢用高性能整体塞棒的研制与应用

周永涛, 鄢凤明, 徐文相, 郭江华, 温爱琳

(山东中齐耐火材料集团有限公司 技术中心, 山东 青岛 266043)

**摘要:**易切削钢对塞棒的损毁除高温熔融钢水的冲刷外,还有[Mn]、[O]等物质对棒头材质的侵蚀。以电熔镁砂、鳞片石墨、氮化物等为主要原料,添加复合高温抗氧化剂,采用分阶段保护的方式防止碳的氧化等,研制的塞棒耐材具有优良的高温抗氧化性能,应用表明,高性能整体塞棒浇注12L14易切削钢可连浇6炉,最长浇注时间达6.5 h。

**关键词:**整体塞棒;易切削钢;高温抗氧化性;电熔镁砂

**中图分类号:**TQ175.7

**文献标识码:**A

**文章编号:**1004-4620(2010)04-0047-02

## 1 前言

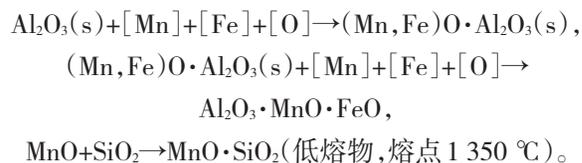
易切削钢是机械工业发展中应用日趋广泛的节能材料,是我国轿车用钢国产化急需解决的不易产生的特钢品种之一,目前国内仅少数几家钢厂能少量生产,产量、质量都远不能满足国内市场需求。主要原因是易切削钢是世界三大难以连铸的钢种之一,难点在于:一是易切削钢的高氧含量、高硫含量大大降低了钢水的表面张力,使钢渣分离困难,导致钢渣混卷,形成大量表面及皮下缺陷甚至漏钢;二是易切削钢中锰、氧、硫含量高,且浇钢温度高,高温下会与耐火材料中的某些成分发生理化反应,使耐火材料侵蚀,普通耐材难以满足要求<sup>[1]</sup>。

普通整体塞棒只能使用2~3 h。由于连铸时,长水口、外挂浸入式水口可随时更换,唯独中包水口、整体塞棒等不能更换,随着中间包内衬使用寿命的提高,目前整体塞棒、中包水口的使用寿命已经成为严重制约钢厂连浇炉数的主要因素。

## 2 研制过程及试验结果

### 2.1 易切削钢用整体塞棒的侵蚀机理

对于易切削钢来说,钢水对塞棒棒头的损毁除了高温熔融钢水的冲刷外,还有钢水中的[Mn]和[O]等物质对棒头材质的侵蚀。棒头材质中的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>等易与钢水中的[Mn]反应,生成低熔物,这些低熔物很容易熔融进入钢水中,被钢水带走,从而导致耐材熔损。具体反应如下:



易切削钢中[O]含量一般较高,较高含量的氧对含碳耐火材料而言更是致命的威胁,它会加速石墨等碳素的氧化,使与之接触的碳复合耐材中的重要成分—石墨消失殆尽。鳞片石墨氧化脱碳后将直接导致棒头结构疏松,抗侵蚀性能和抗冲刷性下降,从而加剧塞棒棒头损毁。

### 2.2 易切削钢用整体塞棒的研制思路

由上述分析可知,要提高易切削钢用整体塞棒的使用寿命,就要切实提高制品的抗氧化性能、抗锰侵蚀性能和抗冲刷性能。由于含碳耐材所用原料中的鳞片石墨具有热膨胀系数小,不易被熔渣润湿等特点,确保鳞片石墨不被氧化,就可提高材质的耐侵蚀性和抗热震稳定性能。提高含碳耐材抗氧化性能的措施有:

1)通过降低棒头材质中的石墨含量可以减轻棒头的氧化,但作用有限,却易使制品的抗热震稳定性能下降,使棒头出现剥落、掉片等现象。

2)通过在棒头材质中添加合适的抗氧化剂、在制品表面涂覆防氧化涂料等措施来延缓碳素的氧化,提高棒头的抗氧化性能。目前,这是应用最广泛的方法<sup>[2]</sup>。

含碳耐材易氧化,而且氧化温度较低(如树脂炭约600℃就已比较明显<sup>[3]</sup>),而整体塞棒的使用温度较高(1550℃左右),因此,防止碳氧化的温度范围要求较宽。由于防氧化涂料是依靠生成低熔物保护层来防止碳氧化,且涂层厚度有限(约在0.5 mm以下),难以兼顾低、中、高温,只能在部分温度范围起作用。目前常用的防氧化添加剂如硅粉、碳化硼等,在提高材质抗氧化性能的同时,也降低了材质的抗侵蚀性能,加入量受限,作用也有限;而铝粉、氮化铝等添加剂易导致制品出现裂纹等缺陷。

通过分析各种防氧化措施的优缺点,决定提高棒头材质的高温抗氧化性能,采用分阶段保护的方式来阻止碳的氧化:即在烘烤及浇铸初期时,主要

收稿日期:2010-03-10

作者简介:周永涛,男,1976年生,2000年毕业于武汉科技大学无机非金属材料专业。现为山东中齐耐火材料集团有限公司技术中心工程师,从事耐火材料产品的研发工作。

依靠制品表面的防氧化涂料来阻止碳的氧化。将防氧化涂层的熔融温度控制在 $650\sim 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,使制品中的碳在中、低温度期间得到有效保护。在高温浇铸时,主要依靠制品材质本身的高温抗氧化性能来阻止碳的氧化,通过在棒头材质中加入复合高温抗氧化剂,使材质具备高温防氧化性能。二者的无缝衔接,使耐材中的碳在使用时得到全程保护,从而提高材质的抗氧化性能。

### 2.3 材质配比设计和优化

通过以上分析,选用了耐锰侵蚀性能更好的电熔镁砂作为主要氧化物原料,配以鳞片石墨。提高材质的抗热震稳定性能及抗侵蚀性能。在普遍采用的以氧化物+石墨为主要组成的镁碳材质中,增加了氮化物,该氮化物热膨胀系数小、高温强度高、抗熔渣侵蚀能力强,从而在根本上提高了材质的抗热震稳定性能及抗侵蚀性能<sup>[2]</sup>。

通过试验,在棒头材质中加入了特制的复合高温抗氧化剂,在高温( $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右)条件下,材质可生成致密的保护层,使石墨等碳素免于氧化,材质的高温抗氧化性能得以大幅提高,达到了提高材质高温抗氧化性能的目的。同时,当材料中引入复合抗氧化剂后,材料的常温、高温强度均有较大程度的提高,强化了基质,使得材料本身的结合力提高,进而改善了材料的抗冲刷性。复合抗氧化剂的引入,使得材质的气孔率降低,减少了夹杂物进入脱碳层内的通道,增强了材质的抗冲刷性能。

通过采用添加复合高温抗氧化剂和分阶段防止碳氧化的方式来提高制品的抗氧化性能,没有降低制品中的石墨含量,避免了制品抗热震稳定性能的下降,而且添加的复合高温抗氧化剂为高温相,在使用时并不会明显降低制品的抗侵蚀性能。

### 2.4 试验结果

优选后材质熟坯的性能指标如下:体积密度 $2.77\sim 2.78\text{ g/cm}^3$ ,显气孔率 $13.86\%\sim 14.26\%$ ,耐压强度 $32.5\sim 33.5\text{ MPa}$ ,抗折强度 $5.56\text{ MPa}$ 。

高温条件下( $1500\text{ }^{\circ}\text{C}\times 1\text{ h}$ ,氧化气氛)与现有镁碳材质进行试验对比,结果如下:现有材质失重率 $6.7\%$ ,脱碳层厚度 $2.5\text{ mm}$ ;新研制材质失重率 $2.3\%$ ,脱碳层厚度 $0.5\text{ mm}$ 。

从试样的各项检测结果看,研制的材质具有优良的高温抗氧化性能。

### 2.5 生产工艺

将优选后的材质用于整体塞棒棒头部位,以大型冷等静压机为成型设备,将棒身料与棒头料直接复合,一次高压压制成型;采用隧道窑无氧化烧成工艺;用数控机床对整体塞棒尺寸进行精确加工,

并全部进行X光探伤,以确保制品质量。生产工艺流程如下:配料→混炼→干燥→复合成型→制品干燥→烧成→附属加工→X光探伤→喷涂防氧化涂层→外观检查→包装入库。

## 3 应用情况

将研制的易切削钢用整体塞棒在国内某钢厂试用,浇注钢种均为对耐材侵蚀性最强的硫磷铅复合系易切削钢12L14。试验塞棒连浇最高炉数为6炉(该钢厂目前该钢种的最高连浇炉数),最长浇注时间为 $6.5\text{ h}$ ,所有使用的试验塞棒均控流良好,关闭效果好,停浇后无漏钢、淌钢等现象,从用后塞棒外观看,棒头形状完好,侵蚀较轻。而原有整体塞棒在浇注普通钢种时,能够满足使用要求,但浇注易切削钢时因棒头侵蚀较严重,只能连浇2、3炉,最高使用寿命为4炉,约 $4\text{ h}$ 。研制的易切削钢用整体塞棒使用效果较好,现已批量供货。

由于易切削钢具有高氧、高锰、高硫等特性,易切削钢用高性能整体塞棒不仅适用于易切削钢,在浇注高锰钢、高氧钢等强侵蚀性钢种时也同样具有很好的抗侵蚀性能和较高的使用寿命,目前,研制的高性能整体塞棒已经广泛应用于这类钢种,使用寿命均有大幅提高,现已有多家钢厂使用。高性能整体塞棒适应和推动了连续铸钢技术的发展,具有明显的社会效益。

## 4 结论

4.1 在整体塞棒棒头材质中加入氮化物,利用该氮化物热膨胀系数小、高温强度高、抗熔渣侵蚀能力强的特点,可以有效提高材质的抗侵蚀性、抗冲刷性和抗热震稳定性。

4.2 在整体塞棒棒头材质中加入复合高温抗氧化剂,使材质具有高温自我防氧化能力,采用分阶段保护的方式来阻止碳的氧化,可以有效提高含碳耐材的抗氧化性能。

4.3 研制的易切削钢用高性能整体塞棒,在浇注易切削钢时的使用寿命由约 $3\text{ h}$ 提高到 $6.5\text{ h}$ 以上,提高了易切削钢、高氧钢及高锰钢用整体塞棒的使用性能及使用寿命,适应和推动了目前连铸技术的发展,具有广阔的市场前景和明显的社会效益。

### 参考文献:

- [1] 王小红,谢兵,冯仲渝,等.易切削钢连铸工艺开发[J].西南石油学院学报,2005,27(6):88.
- [2] 李红霞.耐火材料手册[M].北京:冶金工业出版社,2007.
- [3] 王诚训.MgO-C质耐火材料[M].北京:冶金工业出版社,1995.

(下转第50页)

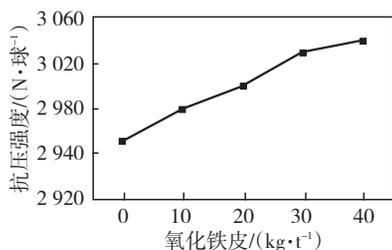


图5 氧化铁皮加入量对球团抗压强度的影响

由图4、图5可知,添加了氧化铁皮后,能耗降低了6 m<sup>3</sup>/t,抗压强度提高了90 N/球。

### 3 添加炼钢精炼渣

炼钢炉外精炼产生的精炼渣是以7Al13Ca为主

表1 添加炼钢精炼渣各试验方案配料结构 kg/t

试验方案	智利	国内碱	低价矿A	俄罗斯	MBR	污泥	低价矿B	精炼渣	膨润土
基准	150	385	200	0	0	90	200	0	24
方案1	300	385	100	90	0	90	0	65	24
方案2	200	340	150	0	175	90	0	75	24
方案3	340	430	100	0	0	90	0	70	24
方案4	150	350	400	0	0	90	0	35	24

试验过程中记录生球的各项指标,包括抗压、落下、粒度、水分;记录生球的爆裂、烘干效果以及各项焙烧工艺参数运行指标;检测记录成品球团矿的各项性能指标,包括抗压强度、转鼓强度、筛分、返粉、低温还原粉化率等。

试验结果表明,方案4的生球指标最好,能够满足竖炉生产需求,其成品球抗压强度可以达到2 650 N/球,符合炼钢用球团矿的要求,既合理利用了炼钢精炼渣,又降低了生产成本。

### Application of Solid Waste in the Shaft Furnace Pellet Production

WU Ming-li, XU Yi, YIN Xiu-li, LIU Hua-xin

(The Pellet Plant of Jinan Iron and Steel Co., Ltd., Jinan 250101, China)

**Abstract:** By appending steelmaking sludge instead of the same proportion of iron ore fines for reducing bentonite consumption, the amount reached 60 kg/t. Then Jinan Steel Pellet Plant increased the benefit of 40 million above per year. The roasting properties of the materials were improved by adding oxide scale, reducing gas consumption 6 m<sup>3</sup>/t and the cost of more than 6 million annual. The application range of the raw materials for pellet was widened by the addition of refining slag, increasing CaO content and the basicity of the pellet and reducing the cost of the raw materials.

**Key words:** shaft furnace pellet; steelmaking sludge; refining slag; oxide scale

(上接第48页)

### Development and Application of Monolithic Stopper with High Property for Free-cutting Steel

ZHOU Yong-tao, YAN Feng-ming, XU Wen-xiang, GUO Jiang-hua, WEN Ai-lin

(The Technology Center of Shandong Zhongqi Refractory Group Co., Ltd., Qingdao 266043, China)

**Abstract:** The damage of the stopper caused by free-cutting steel includes the erosion for the material by element Mn and O in the molten steel besides eroding. Taking fused magnesia, flake graphite and nitride as main raw materials, adding composite high temperature antioxidant and preventing the oxidation of carbon by stages protecting, the refractory for stopper with excellent high temperature oxidation resistance was developed. Applications showed that the monolithic stopper was used continuously for six heats in casting free-cutting steel 12L14 and the longest casting time was 6.5 hours.

**Key words:** monolithic stopper; free-cutting steel; high temperature oxidation resistance; fused magnesia

要成分的硅铝酸盐物质,基本属于CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaF<sub>2</sub>渣系或CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaF<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>四元渣系,其主要成分CaO含量50%左右,是转炉渣料所必须的。所以,配加精炼渣既可提高球团矿CaO含量和碱度,满足炼钢要求,又可降低原料成本。

利用济钢球团厂14 m<sup>2</sup>竖炉进行工业试验,炼钢精炼渣单料槽皮带秤配料,烘干机混匀,润磨机百分百全磨,保证混合料的准确性、均匀性和活性;造球使用φ7.5 m造球盘;竖炉焙烧燃烧室温度设定为1 140 ℃,烘床烘干,保证烘干效果。每种方案运行时间为1周。

各试验方案的配料结构见表1。

### 4 结语

科学合理地消化钢铁企业副产品,拓展低成本资源,降低球团生产成本,是球团生产的发展方向。添加炼钢污泥同比代替铁矿精粉,大幅度降低皂土消耗,年增经济效益可达4 000多万元;添加氧化铁皮,可以改善物料焙烧性能,降低能耗,年降成本600余万元;添加炼钢精炼渣,拓宽了球团矿原料的使用范围,开辟了球团生产新途径。