

电弧炉用耐火材料同步寿命技术开发

李纯¹⁾ 高东善²⁾ 任利华²⁾ 李宝生³⁾ 宋恩余³⁾

1) 辽宁科技大学材料学院 鞍山 114044

2) 鞍山申嘉新技术开发有限公司

3) 鞍钢重型机械有限责任公司

摘要 把炼钢条件与各部位耐火材料消耗相结合,用耐火材料成本进行检验,以最小炼钢耐火材料成本获取最大经济效益,实现电弧炉内衬耐火材料寿命同步提高。通过改进电弧炉内衬耐火材料结构和砌筑方法,与三种修补料(喷补料、手投料、自流料)相配合,将电弧炉内衬使用寿命在不增加耐火材料成本条件下提高1倍以上。修补技术是提高电弧炉内衬同步寿命的关键。

关键词 电弧炉,耐火材料,成本,同步寿命

电弧炉用耐火材料同步寿命技术是指电弧炉在一个炉役内各部位耐火材料使用寿命同步。既不希望哪一部位耐火材料提前损毁,也不希望增加费用来提高某一部位耐火材料使用寿命。因此,同步技术是当代耐火材料技术发展前沿,是多种科学技术的综合体现。把炼钢条件与各部位耐火材料消耗相结合,用耐火材料消耗成本进行检验,以最小炼钢耐火材料成本获取最大经济效益。

本工作以某厂的10 t电弧炉为研究对象,研究开发了电弧炉用耐火材料的同步寿命技术。

1 电弧炉用耐火材料使用情况

电弧炉用耐火材料的使用部位有:炉顶、炉墙、渣线、熔池、炉底、出钢口、炉门框、出钢槽。

炉墙、渣线、熔池、炉底、出钢口、炉门框全部采用镁碳砖砌筑,炉顶采用高铝砖,出钢槽采用高铝预制块。

一个炉役电弧炉整体寿命一般在160~180炉次,其中80~90炉次拆炉墙、渣线砖一次。

损毁最快的是出钢口、渣线部位,其次是熔池、炉底、炉门框,使用寿命最长的是炉墙(无水冷)。

炉顶、出钢槽在炼钢过程中可以进行快速更换,不影响炼钢能力,因此,不作为本课题研究内容。

影响电弧炉整体寿命的因素如下:

1) 各部位耐火材料本身质量和砌筑工艺;

2) 炼钢工艺条件:炼钢温度、炼钢时间、炼钢品种、炼钢脱C量、原料质量、投料方式、废钢规格尺寸、压料方式;

3) 修补技术:修补用耐火材料的选择和质量;修补方式:冷补、热补、投补、喷补、涂抹、捣打;修补频率。

2 电弧炉用耐火材料同步寿命技术

2.1 电弧炉各部位耐火材料损毁机理

(1) 渣线部位

渣线位于炉墙与熔池之间。炼钢过程中,钢熔化后,炉墙下部渣线部位长时间处于高温钢渣的侵蚀中。钢渣的物理渗透和化学侵蚀,以及通过流动钢渣、钢水的冲刷和空气的氧化,造成该部位耐火材料超前与其他部位形成深深的凹沟。特别是两个电极之间的热点区域温度最高,造成该渣线部位损毁最快。

(2) 熔池部位

熔池位于渣线与炉底之间。在电弧炉炼钢过程中,主要用于存放钢水。受钢水和钢渣物理渗透和化学侵蚀,以及通过流动钢渣、钢水冲刷作用,各部位侵蚀比较均匀。当电极操作不同步时,电极三角区出现凹坑。

(3) 炉底部位

炉底主要是存放钢水,受流动钢渣、钢水冲刷及渗透作用。

(4) 炉墙(无水冷)部位

炉墙在电弧炉炼钢过程中不接触钢水,对钢水起保温隔热作用。造成炉墙损毁的主要原因:飞溅的钢渣、电极弧光、高温气流冲刷、空气氧化、热震。

* 李纯:男,1956年生,教授研究员,高级工程师。

E-mail: 5545033@163.com

收稿日期:2006-10-30

(5) 炉门框部位

炉门主要是排放钢渣、吹氧、添加各种辅助材料,观察、检测炉内状态和钢水温度的地方。钢渣物理渗透和化学侵蚀、氧化、热震是造成损毁的主要原因。

(6) 出钢口部位

与渣线部位损毁机理相同,增加了钢水冲刷。

2.2 试验电弧炉各部位砌筑用耐火材料选择

渣线部位采用 MT14A 镁碳砖。熔池、炉墙(无水冷)部位采用 MT10B 镁碳砖。炉底采用捣打料,颗粒组成(w): $6 \sim 3 \text{ mm}$ 占 15%, $3 \sim 1 \text{ mm}$ 占 40%, $< 1 \text{ mm}$ 占 45%;化学组成(w): MgO 85.07%, CaO 6.30%, Fe_2O_3 3.53%, SiO_2 2.26%。炉门框采用铝镁质预制块,其理化指标见表 1。出钢口采用铝镁碳砖,其理化指标见表 1。

表 1 铝镁质预制块和铝镁碳砖的理化指标

项 目	铝镁质预制块	铝镁碳砖
Al_2O_3	70.07	75.10
MgO	15.07	10.58
$w/\%$		
SiO_2	3.58	3.13
Fe_2O_3	2.53	-
C	-	8.50
体积密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	2.98	3.05
耐压强度/MPa	54.0	80.0
抗折强度/MPa	10.80	18.20

2.3 同步寿命使用试验

(1) 炼钢工艺条件

炼钢温度: $> 1650 \text{ }^\circ\text{C}$;炼钢周期:8 炉次/天,连续炼钢;炼钢品种:碳素钢、合金钢、低合金结构钢等;每炉炼钢量:10~15 t。

(2) 修补用耐火材料品种和理化指标

电弧炉修补用耐火材料根据相似相溶原理,采用喷补料、手投料、自流料 3 种。经 $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ 烧结后的理化性能指标如表 2 所示。

表 2 修补料的理化指标

修补料种类	喷补料	手投料	自流料
$w(\text{MgO})/\%$	70.07	86.3	78.5
$w(\text{CaO})/\%$	6.30	2.0	1.53
$w(\text{SiO}_2)/\%$	3.2	2.1	2.5
体积密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	2.35	2.40	2.32
耐压强度/MPa	15.2	18.4	17.6

(3) 修补制度制定

修补制度是按每次修补前炉衬剩余修补料平均大于 20% 制定的。修补间隔炉次数 $\leq 0.8 \times$ 修补料量/每炉次消耗修补料量。

(4) 电弧炉修补试验过程

修补试验从炼钢第 24 炉次开始热态喷补,以后每 16 炉喷补一次,主要修补出钢口、渣线、炉门框,每

次用料量 500 kg。第 40 炉次时电弧炉内衬状态如图 1 所示。第 180 炉次电弧炉内衬状态如图 2 所示。此时,更换炉门框铝镁质预制块,改为每 8 炉热态喷补一次,主要修补破损的部位,每次 500 kg。第 250 炉次时渣线、熔池与炉门框侵蚀情况见图 3。此后改为每 6 炉热态喷补一次,修补破损的各部位,每次 500 kg。



图 1 第 40 炉次时电弧炉内衬状态



图 2 第 180 炉次时电弧炉内衬状态



图 3 第 250 炉次时渣线、熔池与炉门框侵蚀情况

炉底修补采用手投料方式,从第 180 炉次开始,每 20 炉热态投补一次,每次手投料 500 kg。到 250 炉次和 300 炉次时对炉底进行 2 次热态自流料修补,每次投料量 800 kg。

到 311 炉时,已超过该电炉 4 倍炉役寿命,为防止炉底钻钢,钢厂提出终止试验。结果表明,在不拆电弧炉内衬情况下,整体使用寿命达到 311 炉次。整个炉役过程消耗修补用耐火材料 25 余吨,更换炉门框预制块 1 次。

试验结束,通过拆扒炉衬耐火材料发现,炉衬呈

圆形锅底状态,渣线砖上面剩余的修补料厚度有 150 mm,这是一个炉役喷补过程中的残厚,说明喷补效果比较理想。渣线部位厚度由砌筑时 520 mm 侵蚀剩余为 400 mm,渣线和渣线以下部位一直到炉底全部被修补料所覆盖,无钢水和钢渣侵蚀现象。炉底耐火材料完好无损,如图 4 所示。



图 4 使用 311 炉次后炉底耐火材料情况

3 分析与讨论

(1) 电弧炉耐火材料同步寿命的核心是修补技术
渣线用的 MT14A 镁碳砖,如果不修补,10 t 电弧炉的使用寿命为 40 ~ 60 炉次。而炉墙中部 MT10B 镁碳砖,即使不修补,使用寿命也可达 150 炉次以上,二者使用寿命相差 3 倍。第 24 炉次以后开始对渣线部位进行热态喷补,使渣线部位始终被喷补料所覆盖,钢水、钢渣实际接触的是修补料,阻断了钢水、钢渣对渣线部位镁碳砖的侵蚀,从拆扒炉状态看,渣线镁碳砖上面剩余的喷补料厚度有 150 mm,渣线镁碳砖长度为 400 mm。因此修补技术在提高电弧炉整体使用寿命显得非常重要。

(2) 渣线部位的耐火材料侵蚀最严重

炉渣中含有 CaO 、 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 CaF_2 、 MnO 、 Al_2O_3 等,在高温条件下,这些物质与 MgO 反应,生成低熔点的化合物,降低了炉衬的耐火度,加上钢渣流动的物理冲刷作用,故炉衬的渣线损失得最厉害。而电极附近的渣线部分,由于受到电弧光的高温辐射作用,损坏更严重。

(3) 电弧炉炉墙在电极附近损坏较严重

电弧炉炼钢的电弧温度约达 3 000 °C,在电极附近是一个高温区域,电弧的弧光辐射在炉墙上,炉墙承受高温达 1 700 °C 以上,加上钢水剧烈冲刷,钢渣喷溅侵蚀作用,因此,电极附近高温区域炉墙容易损坏。

(4) 炉门框是电弧炉内衬最难热态修补的部位

炉门框耐火材料结构和质量影响电弧炉整体寿命。10 t 电弧炉炉门尺寸:宽 × 高 = 600 mm × 500

mm,如果考虑到炉门框两侧破损状态,见图 3,炉门框上梁长度需要 1 300 mm,才能保证炉门框耐火材料结构稳定。而如此大的镁碳砖在国内是找不到的,因此本次试验采用了铝镁质预制块,试验达到了 180 炉次使用寿命,说明材料选择是正确的。

(5) 新型喷补技术的开发

采用雾化热态喷补技术代替传统的堆积热态喷补方法,完成出钢口、炉墙(无水冷)耐火材料寿命同步。出钢口既是渣线又是电弧炉出钢位置,是电弧炉耐火材料使用寿命最短、破损最严重的地方。能够把喷补料均匀喷补到出钢口四周,而不堵塞出钢口,体现了喷补设备特性。在炉墙立面喷补 10 ~ 50 mm 涂层,减少炉墙与钢渣、高温、气氛接触,达到保温、提高炉墙耐火材料同步寿命的目的。从图 4(拆炉时)可以看到在渣线上部炉墙上剩余的喷补料。

(6) 手投料、自流料对电弧炉整体寿命的影响

手投料、自流料主要用于熔池、炉底的热态修补。手投料、自流料在电弧炉内烧结后,具有与炉底捣打料相似的显微结构和抗钢渣性能。自流料是针对炼钢过程中比钢水密度大、熔点低的重金属沉积在炉底形成熔洞,防止漏钢事故发生而采取的必要措施,热态修补时,自流料受热自动向低洼凹坑处流淌,钻入凹坑、孔洞,渗透到耐火材料内部,烧结形成完整体。拆扒炉底时发现耐火材料完好无损,充分体现自流料的作用。

(7) 不同部位耐火材料热态修补难易程度

修补难度最大的是炉门框,其次是炉墙,容易修补的是炉底、熔池部位。

(8) 试验结果

用耐火材料同步使用寿命技术将 10 t 电弧炉原来一个炉役 180 炉次(炉役中期拆渣线、炉墙砖一次),在不拆渣线、炉墙砖条件下提高到 311 炉次,创造连续炼钢 52 天记录。而耐火材料消耗总量与原来一个炉役 180 炉次的相同。

4 结论

(1) 电弧炉耐火材料同步寿命技术是多种科学技术水平的综合体现,必须因地制宜,结合本地的炼钢工艺条件进行。

(2) 修补技术是电弧炉耐火材料同步寿命技术的关键。

(3) 影响电弧炉耐火材料同步寿命的主要问题是渣线部位寿命问题。

(4) 电弧炉耐火材料设计与修补技术相结合是提高电弧炉耐火材料同步寿命最有效的办法。

电弧炉用耐火材料同步寿命技术开发

作者: [李纯](#), [高东善](#), [任利华](#), [李宝生](#), [宋恩余](#)
作者单位: [李纯\(辽宁科技大学材料学院, 鞍山, 114044\)](#), [高东善, 任利华\(鞍山申嘉新技术开发有限公司\)](#), [李宝生, 宋恩余\(鞍钢重型机械有限责任公司\)](#)
刊名: [耐火材料](#) [ISTIC](#) [PKU](#)
英文刊名: [REFRACTORIES](#)
年, 卷(期): 2007, 41 (3)

本文读者也读过(10条)

1. [陈海龙](#) [首特直流电弧炉底电极和炉底耐材结构运行实践](#)[会议论文]-2002
2. [尹华斌](#) [提高电弧炉炉龄的措施与效果](#)[会议论文]-2008
3. [F. Golestani-Fard, A. Shojai](#) [伊朗耐火材料的需求和发展策略](#)[会议论文]-2005
4. [胡新福, 王薇](#) [电弧炉工作层耐材砌衬技术改造及其经济效益](#)[期刊论文]-[工业加热](#)2004, 33 (4)
5. [崔振浩, 朱宝成](#) [浅谈提高电炉炉衬寿命的措施](#)[期刊论文]-[山东机械](#)2001 (6)
6. [于平, 张俊元, 温德松, 徐德红, 孙大才, 包克非](#) [提高150t超高功率电炉炉衬寿命的探讨](#)[会议论文]-1999
7. [李存弼](#) [直流电弧炉炉底电极用MgO-C砖](#)[期刊论文]-[国外耐火材料](#)2001, 26 (1)
8. [林涤凡, LIN Di-fan](#) [提高电弧炉炉衬寿命的措施](#)[期刊论文]-[铸造](#)2006, 55 (11)
9. [王芙云, 王蕊](#) [Timken公司的全线服务流程](#)[期刊论文]-[耐火与石灰](#)2007, 32 (6)
10. [华夏, HUA Xia](#) [直流电弧炉的底电极结构及其耐火材料](#)[期刊论文]-[工业加热](#)2001 (1)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_nhcl200703019.aspx