doi:10.3969/j.issn.1007-7545.2020.09.009

富氧顶吹熔炼炉炉体结构研究

刘风华[1],周立杰[1],邹结富[1],黄文[2]

(1. 中节能工程技术研究院有限公司,北京 100082;
2. 中节能(汕头)再生资源技术有限公司,广东 汕头 515157)

摘要:从炉膛内径、耐火材料寿命和炉顶盖寿命三个方面开展了富氧顶吹熔池熔炼炉炉体结构的研究,整体寿命可达12个月,满足熔炼工艺要求。

关键词:炉体结构;富氧顶吹;熔池熔炼

中图分类号:TF806 **文献标志码**:A **文章编号**:1007-7545(2020)09-0045-04

Study on Structure of Oxygen-enriched Top-blowing Smelting Furnace

LIU Feng-hua[1], ZHOU Li-jie[1], ZOU Jie-fu[1], HUANG Wen[2]

(1. CECEP Engineering Technology Research Institute Co., Ltd., Beijing 100082, China;
2. CECEP (Shantou) Recycling Resources Technology Co., Ltd., Shantou 515157, Guangdong, China)

Abstract: Furnace structures of oxygen-enriched top-blowing bath smelting were studied from three aspects, i.e., furnace hearth inner diameter, lifetime of refractory materials, and furnace top cover. Overall life of smelting furnace can reach 12 months, which can meet the requirements of smelting process.

Key words: furnace structure; oxygen-enriched top-blowing; bath smelting

经济的快速发展加快了电子产品更新换代的速度,电子废弃物的产生量和报废量呈逐年增加趋势[1-2]。电子废弃物具有资源性和污染性的双重属性,科学、高效、合理地回收电子废弃物中的有价金属意义重大[3]。

针对废旧印刷电路板的特性,中国节能建设了国内首个火法熔炼废线路板的示范平台,开发出了高效熔炼、环保达标的顶吹熔池熔炼炉。顶吹熔池熔炼炉炉体主要由直筒段炉壳、锥段炉壳、炉壳法兰管、托板和炉顶盖组成,其中炉壳和炉顶盖均可采取水冷保护,内部砌筑耐火材料,协同废电路板冶炼的专用富氧喷枪,共同组成顶吹熔池熔炼炉核心装备[4-6]。本文从炉膛内径、耐火材料寿命和炉顶盖寿命三个方面开展研究。

1 炉膛内径研究

在相同物料、相同控制参数条件下,不同内径尺寸的熔炼炉炉膛对生产组织方式、产能效果、生产成本等影响较大。本研究为验证顶吹熔炼炉尺寸大小对富氧顶吹熔池熔炼废电路板的影响情况,选择炉膛内径为1 200 mm和1 600 mm两个尺寸的顶吹炉进行研究。顶吹熔池熔炼炉结构图如图1所示。

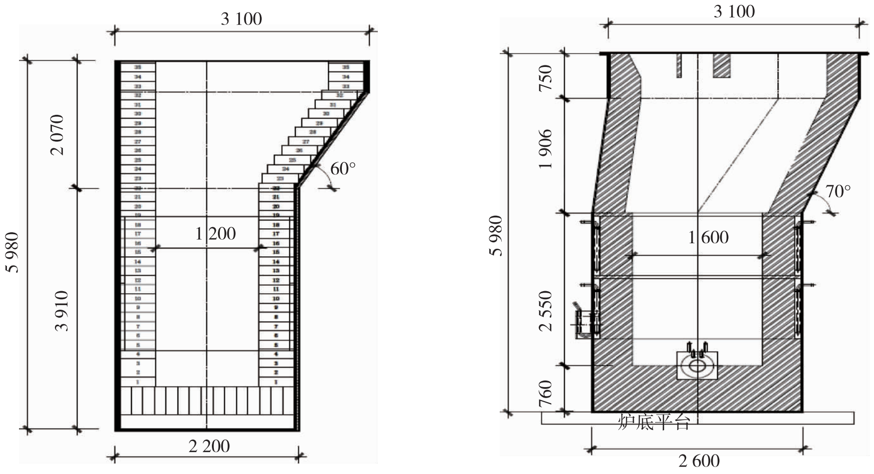
炉膛内径为1 200 mm和1 600 mm的主要尺寸变化与主要技术参数变化如表1所示。由表1可看出,将炉膛内径由1 200 mm扩大为1 600 mm后,炉床面积扩大1.8倍,为炉内物料燃烧提供更大

收稿日期:2020-01-13

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFC1903103);广东省科技计划项目(2017B020238001)

作者简介:刘风华(1979-),男,吉林白山人,博士,高级工程师;**通信作者**:周立杰(1987-),男,辽宁阜新人,硕士,工程师

空间,改善炉内物料燃烧条件,保证物料的充分燃烧降低烟灰率,满足环保要求;炉渣单次排放量提高到1.8倍,作业率由45%提升至60%,月处理能力由200 t提升至600 t,生产成本降低,降低操作人员劳动强度。



(a)炉膛内径1 200 mm (b)炉膛内径1 600 mm

图1 顶吹熔池熔炼炉结构图

Fig. 1 Structure of top-blowing bath melting furnace

表1 不同内径顶吹炉主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of top-blowing melting furnace with different inner diameters

分类	项目	Φ1 200 mm	Φ1 600 mm
主要结构尺寸	熔炼炉总高/mm	5 980	5 980
	炉膛高度/mm	5 220	5 220
	炉壳外径/mm	2 172	2 400
	熔炼炉倾角/(°)	60	70
	炉底厚度/mm	460	460
	渣面控制高度/mm	1 100	1 100
	渣口距炉底高度/mm	680	680
	铜口距炉底高度/mm	0	0
	铜口衬套内径/mm	45	45
	渣口衬套内径/mm	65	65
	耐火材料尺寸/mm	460	460
主要生产技术参数	月处理量/t	200	600
	小时处理能力/t	0.6~1.5	1.0~3.0
	生产作业率/%	45	65
	每次排渣量/t	2.5	4.5
	烟灰率/%	8	6
	烟灰性质	温度高、发黑	温度适中、发灰
	环保要求	不满足	满足

2 耐火材料寿命研究

顶吹熔池熔炼炉原料适应性强、操作简单、生产效率高、环保设施齐全,在有色金属冶炼行业广泛应用,然而炉寿命短却是其最大的软肋,国内同类炉子寿命最长也仅18个月。熔炼过程中,熔体始终处于剧烈翻腾的状态,高温熔体对炉衬的冲刷损害较严重,同时受各相关辅助工序设备故障停炉等影响,炉温波动较大,员工操作不合理等原因,导致顶吹炉炉衬寿命相对较短[7]。

为研究顶吹熔池熔炼炉处理废电路板耐火材料的使用寿命,通过对不同种类耐火材料及增设水冷件前后对比分析,探索对耐火材料使用寿命的影响。耐火材料性能对比和耐火材料使用寿命分别如表2和表3所示。由表2和表3可知,铝铬尖晶石致密度最高,抗压强度更大,熔炼过程中更能抵抗高温熔体的冲刷。采用高铝砖为顶吹炉内衬耐火材料,因耐火材料结构及性能不合适致耐火材料掉落,高铝砖使用寿命仅为1个月;采用直接结合镁铬砖为顶吹炉内衬耐火材料,因熔池区耐火材料损耗大停炉检修,镁铬砖保温型炉型使用寿命仅为2个月;采用直接结合镁铬砖做为顶吹炉内衬耐火材料,熔池区设置1层铜水套,因熔池区渣线区域耐火材料损耗严重停炉检修,镁铬砖冷却炉型(熔池区1层水套)使用寿命延长至4个月;采用铝铬尖晶石砖为顶吹炉内衬耐火材料,熔池区增设1层铜水套,因炉体锥段下沿耐火材料损耗严重致炉壳发红停炉检修,铝铬尖晶石砖冷却炉型(熔池区2层水套)使用寿命达到13个月,可满足顶吹熔池熔炼炉处理废电路板的工艺要求。

表 2　耐火材料性能对比

Table 2　Performance comparison of refractory materials

耐火材料	显气孔率/%	体积密度/(g·cm^{-3})	常温耐压强度/MPa	莫氏硬度	热震稳定性(1 100 ℃,水冷)/次
高铝砖	≤22	—	≥39.2	≥7	—
直接结合镁铬砖	≤17	3.0～3.2	70～80	≥6	—
铝铬尖晶石砖	≤11	3.4～3.6	130～-270	≥9	2～6

表 3　耐火材料使用寿命统计

Table 3　Statistic of service life of refractory materials

耐火材料	基本尺寸	主要性质	水套保护	平均损耗	寿命/月	备注
高铝砖	长 460 mm	Al_2O_3≥48%	无	≥230 mm	1	烟气区耐火材料掉落
直接结合镁铬砖	宽 150 mm	Cr_2O_3≥18%	无	≥200 mm	2	—
			熔池区 1 层水套	≥200 mm	4	熔池区设置水套
铝铬尖晶石砖	高 85 mm	(Al_2O_3+Cr_2O_3)≥87%	熔池区 2 层水套	≥260 mm	13	熔池区增设水套

2.1　耐火材料寿命短的原因分析

1)高温熔体对炉衬的强力冲刷。顶吹熔池熔炼炉内剧烈翻腾的熔体在富氧熔炼过程中加剧了对耐火材料的侵蚀。

2)高温下的热震应力。在不规则甚至间隙冶炼作业工况下,炉内温度梯度不均匀,这种温度的骤变使耐火材料容易产生热震应力,当热震应力达到砖体的极限,砖体将可能开裂和剥落。

3)炉渣控制和炉况稳定。高温碱性条件下硅酸铁盐($2FeO \cdot SiO_2$)的碱性渣与炉衬反应,在炉衬耐火砖的内部物相结构中形成固溶体,工作温度高时,其重新熔化,整块掉落。为确保混合熔体有较好的流动性、降低炉子的摇摆程度,选用 Fe/SiO_2=1.2～1.4 渣型,满足冶炼反应要求。加强对炉衬的挂渣保护,减少耐火材料的损耗。

4)健全冷却水监管制度。实时监控冷却水供应情况,确保有足够的压力和足够的回水量;对冷却水成分进行监测,防止冷却元件堵塞;保证冷却水回水温度在 30～38 ℃,防止炉体冷却效果不佳,影响炉体局部或大面积的冷却效果,引起耐火砖热震,缩短耐火材料寿命;时常对回水流量偏小的钢水套和铜水套进行清洗,保证回水流量。

2.2　延长耐火材料寿命措施

1)炉内挂渣的精细化操作制度。提高炉衬最有效、成本最低的措施是让高温高磁性的炉渣尽可能地粘结在炉壁的砖衬上,即形成炉衬挂渣保护层。

2)稳定的实时进料速率。使各工艺参数相对平稳,炉内反应温度维持平衡,较小的温度梯度波幅可以减弱耐火材料的热震力度。

3)选择合适的耐火砖型。

4)工艺设备及技术改进实践。通过设备改进保证实时入炉物料的物性及料量平稳性,通过喷枪结构优化、炉体结构优化等方式延长耐火材料的使用寿命。

5)工艺参数优化。稳定进料速率,熔池温度控制在 1 170～1 240 ℃,渣型控制 Fe/SiO_2=1.2～1.4、粗铜品位≥89%、炉渣 Fe_3O_4%控制≤8%。

3　炉顶盖结构研究

炉顶盖是顶吹熔池熔炼炉炉顶上方的密封盖子,结构主要包括:进料口、喷枪口、排烟口和检尺口等。炉顶盖的正常使用是安全生产和连续生产作业的必要保障,但使用过程中存在炉顶盖变形严重、整体性烧蚀严重、与烟道连接位置短时间烧漏等问题。为延长炉顶盖使用寿命,保障安全生产作业的正常进行,本研究对炉顶盖采取水冷件保护前后寿命进行了分析。

未装有水冷件的炉顶盖为曲钢结构,采取浇筑料一体浇筑与法兰管嵌入式安装,使用 50 d 发现炉顶盖排烟口与烟道连接处(靠喷枪口一侧)有烧穿痕迹,实践证明炉顶盖未安装水冷件保护其使用寿命不足 2 个月,不能满足顶吹熔池熔炼废电路板处理工艺与生产要求。

为防止炉顶盖排烟口与烟道连接处短时间内烧穿影响生产作业,本研究对炉盖进行了改造。通过在喷枪口右侧的排烟口与烟道口连接位置增加水冷梁,水冷梁内部设置有多层、多组管束,本体采取浇筑料一体浇筑,其具有拆装迅速、布置合理、点检方便等优点;炉顶盖喷枪口及进料口两侧采取水套保护,并增设 1 台循环水泵供应水冷梁及炉顶吊挂水套的循环水,同时循环水运行情况的监控方式采取更为合理的外部水箱实时监控,从而使炉顶盖的使

用寿命满足连续生产与安全操作等要求。经过生产实践验证,炉顶盖可正常运行12个月以上。

4 结语

针对富氧顶吹熔炼炉炉体结构,研究了炉膛内径、耐火材料寿命和炉顶盖寿命的影响因素及改进措施。顶吹熔池熔炼炉炉膛内径由1 200 mm扩大为1 600 mm,炉床面积扩大1.8倍,可提高生产能力,改善人工条件,提高生产作业率,降低生产成本和满足环保要求;通过耐火材料使用比较和选择,铝铬尖晶石砖使用寿命长达13个月,满足顶吹熔池熔炼炉处理废电路板的工艺要求;采用水冷件保护的炉顶盖,使用寿命可达12个月。

参考文献

[1] 周立杰,刘风华,邹结富,等.废线路板冶炼烟灰脱铅渣中金的回收试验研究[J].中国资源综合利用,2019,37(8):1-4.
ZHOU L J, LIU F H, ZOU J F, et al. Experimental study on the recovery of gold from lead removal slag from ash of waste printed circuit board smelting[J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2019, 37(8):1-4.

[2] 王芳芳,赵跃民,张涛,等.废弃线路板中金属资源的物理回收[J].矿产综合利用,2017(2):1-7.
WANG F F, ZHAO Y M, ZHANG T, et al. Adaptation of mechanical recycling operations for metal resource in waste printed circuit board[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2017(2):1-7.

[3] 郭键柄,张琪,陈正,等.废旧印刷电路板回收利用的研究进展[J].有色金属(冶炼部分),2015(7):66-69.
GUO J B, ZHANG Q, CHEN Z, et al. Research progress of recycling of waste printed circuit boards[J]. Nonferrous Metals(Extractive Metallurgy), 2015(7):66-69.

[4] 刘健平,刘风华,黄文,等.废线路板火法熔炼过程控制及炉体设备的研究与实践[J].矿冶,2019,28(6):78-82.
LIU J P, LIU F H, HUANG W, et al. Study on the process control of WPCBs smelting and the research and practice of furnace[J]. Mining and Metallurgy, 2019, 28(6):78-82.

[5] 刘风华,黄文,丁勇,等.富氧顶吹熔池熔炼处理废线路板初探[J].有色金属(冶炼部分),2019(9):92-96.
LIU F H, HUANG W, DING Y, et al Study on treatment of waste printed circuit board by oxygen-enriched top blown bath smelting[J]. Nonferrous Metals(Extractive Metallurgy), 2019(9):92-96.

[6] 邹结富,刘风华,丁勇,等.熔池熔炼工艺处理废线路板关键技术探讨[J].有色金属(冶炼部分),2019(9):83-86.
ZOU J F, LIU F H, DING Y, et al. Study on the key technology of wasted printed circuit board processing by bath smelting method[J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2019(9):83-86.

[7] 李红霞.耐火材料发展概述[J].无机材料学报,2018,33(2):198-205.
LI H X. Development overview of refractory materials[J]. Journal of Inorganic Materials, 2018, 33(2):198-205.