

doi:10.3969/j.issn.1007-7545.2021.01.003

年产 30 万 t 矿铜热态三连炉连续炼铜生产实践

魏涛, 马宝军, 占煥武, 余旦新, 施贵添

(广西南国铜业有限责任公司, 广西 扶绥 532100)

摘要: 年产 30 万 t 的矿铜热态三连炉连续炼铜技术是重大工艺技术创新。介绍了热态三连炉连续炼铜工艺过程、工艺装备、技术特点及生产运行情况。生产一年多来, 系统作业率大于 97.5%, 熔炼冰铜品位稳定在 73%~76%, 熔炼渣型 $\text{Fe/SiO}_2=2$, 粗铜含硫低于 0.03%, 阳极铜含铜大于 99.3%。生产实践证明该技术具有原料适应性强、产能规模大、生产成本低、作业环境好、自动化程度高、投资省等特点。

关键词: 连续炼铜; 三连炉; 生产实践

中图分类号: TF811

文献标志码: A

文章编号: 1007-7545(2021)01-0015-04

Production Practice of Continuous Copper Smelting in Hot Triple-Furnace System with Annual Copper Output of 300 kt

WEI Tao, MA Bao-jun, ZHAN Huan-wu, YU Dan-xin, SHI Gui-tian

(Guangxi Nanguo Copper Co., Ltd., Fusui 532100, Guangxi, China)

Abstract: Continuous copper smelting technology with annual output of 300 kt is a major technological innovation. Process, equipment, technical characteristics and production operation of hot state continuous copper smelting furnace were introduced. In the past year, system operation rate was more than 97.5%, grade of matte was 73%—76%, slag $\text{Fe/SiO}_2=2$, sulfur content of crude copper was less than 0.03%, and copper content of anode copper is more than 99.3%. Production practice has proved that this technology has the characteristics of strong adaptability of raw materials, big capacity, low production cost, good working environment, high degree of automation and low investment.

Key words: continuous copper smelting, triple-furnace smelting system; production practice

火法炼铜工艺包括四个环节, 分别为铜精矿造钼熔炼产冰铜、冰铜吹炼产粗铜、粗铜火法精炼产阳极铜和阳极铜电解精炼产阴极铜。目前先进的熔炼工艺有闪速熔炼工艺、顶吹炉熔炼工艺(奥斯麦特炉及艾萨炉)、底吹炉熔炼工艺、白银炉熔炼工艺、竖式双侧吹熔炼工艺等^[1-5]。冰铜吹炼阶段国际上普遍采用 PS 转炉吹炼和闪速吹炼, 以及已工业化应用的其他吹炼技术如三菱 C 炉吹炼、顶吹炉吹炼(奥斯麦特炉)、底吹炉吹炼、多枪顶吹炉吹炼等。粗铜

火法精炼基本取消了传统的固定式反射炉, 采用回转式阳极炉火法精炼。在技术路线的选择上, 各冶炼企业会依据原料结构特点以及技术团队对冶炼技术的理解和掌握水平而选取适合自身发展的冶炼工艺, 而清洁环保、节能高效的连续炼铜技术一直是世界冶金工作者的重点研究内容和努力方向。

目前世界上已实现完全连续作业的冶炼工艺有: 三菱法连续炼铜工艺、双底吹连续炼铜工艺、富氧侧吹熔炼+多枪顶吹吹炼+回转式阳极炉精炼

收稿日期: 2020-09-26

作者简介: 魏涛(1985-), 男, 湖北公安人, 硕士研究生, 工程师

连续炼铜工艺。广西南国铜业年产30万t矿铜冶炼采用的“富氧侧吹熔炼+多枪顶吹吹炼+回转式阳极炉精炼”热态三连炉连续炼铜技术是重大工艺技术创新,实现了单体连续炼铜生产线规模、冶炼核心工艺控制指标的突破。

1 工艺过程及主要技术参数

1.1 工艺过程描述

“富氧侧吹熔炼+多枪顶吹吹炼+回转式阳极炉精炼”热态三连炉连续炼铜工艺是采用侧吹熔炼炉、多枪顶吹炉、回转式阳极炉实现的,相互之间通过溜槽连接,实现动态平衡连续性生产。

1.1.1 富氧侧吹熔炼

铜精矿、返料(渣精矿、吹炼渣、烟灰等)、燃煤和石英石熔剂等分别经计量后通过皮带输送至侧吹炉烟道两侧下料口加入熔炼炉中,物料在熔池中迅速完成加热、脱水、熔化、氧化、造铜硫、造渣等熔炼过程,反应生成的熔体在炉内分离成白冰铜和炉渣,并分别从白冰铜口和渣口放出。75%品位的白冰铜通过溜槽连续流入多枪顶吹炉进行吹炼,炉渣通过溜槽连续溢流至渣包中,经缓冷后送渣选工序。

1.1.2 多枪顶吹吹炼

侧吹熔炼炉产出的熔融态白冰铜通过溜槽连续流入多枪顶吹连续吹炼炉,同时通过设置在炉顶的熔剂加入口向炉内加入相应数量的石灰石熔剂;

25%~30%的富氧空气通过设置在炉顶的喷枪吹入炉内熔体中。富氧空气中的氧气迅速与白冰铜中的铁、硫发生剧烈的氧化反应;铁被氧化生成氧化亚铁后大部分与氧化钙结合形成铁酸钙造渣,生成的吹炼渣浮在熔体上面,定期溢流放出,吹炼渣冷却破碎后返回侧吹炉。

顶吹炉反应生成的粗铜沉入炉体下部通过虹吸口放出,再通过溜槽流入阳极炉。在连续吹炼过程中,根据炉膛温度,适时通过设置在炉顶的残极加料装置向连续吹炼炉内加入从电解工序返回的残极,既可利用吹炼余热融化残极,又利用残极来调节炉温。

1.1.3 回转式阳极炉精炼

根据连续吹炼炉的操作周期,每次连续吹炼炉放铜时,熔融粗铜通过溜槽溜入阳极炉。阳极炉在加料过程中保温,加料完成后开始氧化还原精炼。阳极精炼过程采用天然气稀氧燃烧维持热平衡,采用天然气作还原剂,由氧化还原口鼓入,还原期结束后的铜液含铜达到99.3%以上。

阳极炉烟气通过兑入吹炼炉环集烟气后进入水冷换热器降温,降温后烟气再经过布袋收尘,最终进入离子液脱硫系统。

1.2 主要技术参数

以广西南国铜业生产实际为例,将“富氧侧吹熔炼+多枪顶吹吹炼+回转式阳极炉精炼”热态三连炉连续炼铜工艺主要技术参数列于表1~3。

表1 富氧侧吹炉主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of oxygen-enrichment side-blown smelting furnace

项目	单位	参数	项目	单位	参数
日处理铜精矿量	t/BD	4 257	一次风压	MPa	0.11~0.12
渣精矿	t/BD	226	一次风富氧浓度	%	80~90
石英砂	t/BD	272.5	消耗氧流量*	m ³ /h	40 900
侧吹炉返尘	t/BD	59.92	氧气压力	MPa	0.13~0.14
投料量	t/h	207.5	二次风量*	m ³ /h	26 598
白铜硫品位	%	75	二次风压	MPa	0.018
白铜硫产量	t/BD	1 226.6	燃煤率	%	1.16
炉渣产量	t/BD	2 639	烟道出口烟气量*	m ³ /h	100 200
熔炼开路烟尘	t/BD	20.7	烟道出口烟气温度	℃	1 250
炉渣含铜	%	2.2	烟气 SO ₂ 浓度	%	37.82
渣中铁硅比	Fe/SiO ₂	2.0	烟尘率	%	1.69
一次风量*	m ³ /h	54 530			

注: * 指在标准状态下的数值,下同

表2 多枪顶吹炉主要技术参数

Table 2 Main technical parameters of top-blown smelting furnace with multiple gun

项目	单位	参数	项目	单位	参数
处理白铜硫产量	t/BD	1 226.6	连续吹炼炉工艺风量*	m ³ /h	36 400
白铜硫品位	%	75	氧流量*	m ³ /h	1 845
石灰石熔剂	t/BD	18.4	氧气压力	MPa	0.4
粗铜产量	t/BD	1 040.9	富氧浓度	%	25~30
粗铜含铜	%	99	连续吹炼炉烟气量*	m ³ /h	42 100
含硫	%	0.03	连续吹炼炉烟气含硫	%	17.34
连续吹炼炉渣量	t/BD	103.1			

表 3 回转式阳极炉主要技术参数

Table 3 Main technical parameters of rotation anode furnace

项目	单位	参数	项目	单位	参数
处理粗铜量	t/BD	1 040.9	不良阳极率	%	2.5
阳极炉规格	t	480	炉周期	h	18.66
合格阳极铜产量	t/BD	1 031.85	精炼渣量	t/BD	11.9
阳极板含铜	%	99.3	精炼渣含铜	%	35
吨铜天然气单耗*	m ³	17.93	阳极板重量	kg	~400
吨铜氧气单耗*	m ³	30.24			

2 工艺装备及技术特点

2.1 侧吹熔炼炉

熔炼系统配置一台面积为 50 m² 的反应床富氧侧吹熔炼炉,熔炼炉炉体两侧分别设上、下两排风口。下排风口(一次风口)使用氧枪鼓入浓度 80%~90%的富氧空气,使熔池形成激烈搅拌。上排风口(二次风口)使用风枪鼓入熔炼炉区域的环集烟气,燃烧熔池反应烟气中未充分燃烧的单体硫和一氧化碳。

侧吹炉是一座固定式、整体呈长方体的冶金炉,炉体由铜水套和耐火材料组合而成,可分为炉缸、炉体中段、炉体上段及上升烟道,其中炉缸分为渣室区和熔池反应区,两区通过端墙水套隔开。炉体两端墙分别设放白冰铜口,铜铋经白冰铜口放出,由溜槽送连续吹炼炉吹炼,炉体端墙及侧墙设放渣口,熔炼渣从端墙渣口溢流连续放出。双侧吹熔炼炉反应区采用全铜水套冷却,靠铜水套外挂炉渣延长炉寿命,铜水套为两层,可拆卸,方便损坏时即时更换,同时炉子寿命也比较长。

侧吹熔炼炉是该技术的核心设备,具有原料适应性强,混合铜精矿可直接入炉,工艺过程及设备简单、作业率高、炉子寿命长、烟尘率低、能耗低、操作条件好、直收率高、熔炼效率高、渣型调整灵活,易于操作。

2.2 多枪顶吹炉

连续吹炼工序配置一台 65.7 m² 多枪顶吹炉。炉型结构为椭圆形,由炉底、炉墙及炉顶组成。炉底采用反拱形耐火砖砌筑;炉墙采用表面耐高温合金堆焊的铜水套内置于墙体耐火砖砌体中,有很好的挂渣保护作用;炉顶采用铜水套吊挂式安装。炉顶设置 8 根顶吹喷枪,喷枪底部位置位于渣层上方。炉体端墙上设置了一个采用虹吸结构的粗铜排放口,同时端墙也设置了一个采用溢流形式的渣排放口。连续吹炼炉烟道内部是直升式结构,采用耐火砖砌筑结构。

多枪顶吹炉为热料富氧吹炼,白冰铜吹炼反应时释放大 量热能,顶吹炉热能过剩,在炉顶上方设置一个加料口,可处理残极等冷料。

2.3 回转式阳极炉

阳极精炼工序配有两台 480 t 的回转式阳极炉和一套能力为 90~110 t/h 的双二十模圆盘浇铸机。阳极炉筒体尺寸为 $\Phi 4.6\text{ m}\times 13.3\text{ m}$,耐火砖砌筑后内部尺寸为 $\Phi 3.546\text{ m}\times 11.93\text{ m}$,设置氧化还原口 4 个,驱动功率 132 kW。

3 热态三连炉连续炼铜技术特点

1)单条生产线年处理 30 万 t 矿铜,规模大。该工艺技术无 20 万 t 以上的生产实践经验可供借鉴,完全依靠自主创新与实践探索,实现突破单条生产线处理能力达到矿铜 30 万 t 以上规模。

2)工艺流程简单,生产高效、环保。实现了热态三连炉连续生产,富氧侧吹熔炼炉产出热态铜铋直接流入多枪顶吹连续吹炼炉,多枪顶吹连续吹炼炉产出的粗铜直接流入阳极炉,与传统的 PS 转炉吹炼工艺采用包子和吊车转运方式相比,此工艺成功地解决了低空污染的问题,消除了熔体吊运的安全隐患,同时连续性生产作业效率高。

3)该技术采用 1 台多枪顶吹连续吹炼炉替代传统的 3 台 PS 转炉,设备减少、人员减少,可降低项目的投资和运行成本。

4)核心工艺指标优,提升金属收率、降低能耗。冶炼渣型 $\text{Fe/SiO}_2 = 2.0$,减少熔剂消耗、降低冶炼渣量带走金属损失;烟尘率小于 1.8%,降低收尘负荷、减少返料冶炼成本及金属损耗;侧吹熔炼白冰铜品位 75%,吹炼渣量显著降低,矿热利用率高、金属直收率较其他工艺可提高 3~5 个百分点。

5)采用多枪顶吹连续吹炼,粗铜质量高、含硫低,减少阳极炉氧化时间,提升阳极炉作业效率、降低天然气消耗。

6)富氧侧吹熔炼炉的富氧浓度为 80%~90%,多枪顶吹连续吹炼炉的富氧浓度为 25%~30%,熔炼和吹炼烟气 SO₂ 浓度高且稳定、烟气量小,有利于降低制酸系统的投资和运行成本。

7)三连炉通过溜槽连接连续生产,炉窑负压控

制,溜槽经溜槽盖密闭后通过环集风机汇入冶炼烟气中作为二次风补充,岗位作业环境好,且无需单独设立环集烟气处理系统,投资减少、运行费用低。

8)系统具备综合处理金精矿、铜米、二次铜物料等物料,以铜为载体,综合回收金、银、铅、锌等有色金属,经济效益显著。

综上所述,热态三连炉连续炼铜技术具有投资少、炉体结构简单、工艺过程易控制、技术指标先进、对物料适应性强、金属综合回收率高等优点,能实现生产过程自动化连续作业,降低生产能耗和劳动强度、改善作业环境、从而实现清洁化生产。

4 生产实践及主要指标

2019年4月10日广西南国铜业年产30万t矿铜热态三连炉连续炼铜生产线正式投料运行,2019年6月系统进入生产平稳运行阶段,在较短时间内打通全工艺流程,主要生产指标均达到或优于设计值,标志着这一重大技术创新的连续炼铜工艺技术取得了成功。

试生产期间,三连炉运行平稳,渣型、冰铜品位、渣含铜、粗铜含硫、熔池温度等主要控制指标正常,其中熔炼渣 Fe/SiO_2 稳定在1.95~2.05,冰铜品位稳定在73%~76%,熔炼渣含铜1.8%~2.0%,粗铜含硫小于0.03%,阳极板含铜大于99.3%。初期熔炼炉投精矿量120~135 t/h,后期投精矿量稳定在170~180 t/h。

试生产期间充分暴露系统存在的一些问题,公司依据生产实际情况,规划了计划性年度停机检修任务,2019年12月16日系统停机,对存在问题进行集中整改。至此,2019年生产系统产出并销售合格阴极铜9.03万t,产出合格阳极铜12.6万t。试生产期间三连炉系统产出的阳极板化学成分(%):Cu 99.42、S 0.002、O 0.13、Pb 0.12、As 0.11、Bi 0.025、Sb 0.017、Ni 0.02。

2020年2月15日完成生产系统年度检修工作,复产投料稳定运行,至2020年9月共产出阴极铜17.32万t。

总体来说,热态三连炉连续炼铜生产系统投产运行比较顺利,结果好于预期,三连炉运行稳定、各项工艺参数指标受控正常,系统作业率大于97.5%,其中最好的月份作业率达到99.5%。

5 结束语

广西南国铜业年产30万t矿铜热态三连炉连

续炼铜工艺系统生产一年多以来,系统作业率大于97.5%,侧吹富氧浓度达到80%~85%,熔炼冰铜品位稳定在73%~76%,熔炼渣型 $\text{Fe/SiO}_2=2$,熔炼渣含铜1.8%~2.0%,粗铜含硫低于0.03%,阳极铜含铜大于99.3%,烟尘率小于1.8%。

生产实际表明,该规模下的连续炼铜技术工业化应用是成功的,核心设备能够满足工艺要求。侧吹熔炼产出的炉渣及白冰铜连续溢流,多枪顶吹炉连续吹炼操作简单,产出粗铜质量高,为阳极炉火法精炼创造很好条件,三连炉实现三个工艺环节环环相扣,生产组织流畅。实践证明,该技术具有原料适应性强、产能规模大、生产成本低、作业环境好、自动化程度高、投资省等特点。该工艺及装备的产业化成功应用,为国内外铜冶炼企业的技术升级改造提供引领和示范作用,具有广阔的推广应用前景。

参考文献

- [1] 蒋继穆. 氧气底吹炉连续炼铜新工艺及装置简介[C]//中国首届熔池熔炼技术及装备专题研讨会. 昆明:中国有色金属学会,2007:1-5.
JIANG J M. Brief introduction of new technology and equipment for continuous copper smelting with oxygen bottom blowing furnace[C]//The first symposium on molten pool smelting technology and equipment in China. Kunming: China Society of Nonferrous Metals, 2007:1-5.
- [2] 唐尊球. 论我国铜吹炼技术发展方向[J]. 有色冶炼, 2002(6):6-7.
TANG Z Q. Development direction of copper blowing technology in China[J]. Nonferrous Metallurgy, 2002(6):6-7.
- [3] 韩志. 双炉侧顶吹粗铜连续吹炼工艺介绍及应用意义[J]. 科技与创新, 2015(19):84-85.
HAN Z. Introduction and application of double furnace side top blown copper continuous blowing process[J]. Science and Technology and Innovation, 2015(19):84-85.
- [4] 袁俊智,王新民. 华鼎铜业双底吹连续炼铜的生产实践[J]. 有色设备, 2017(6):34-37.
YUAN J Z, WANG X M. Production practice of double bottom blowing continuous copper smelting in Huading Copper Co., Ltd. [J]. Nonferrous Metal Equipment, 2017(6):34-37.
- [5] 赵体茂,吴艳新. 双底吹连续炼铜工艺装备及产业化应用[J]. 世界有色金属, 2015(12):16-21.
ZHAO T M, WU Y X. Process equipment and industrial application of double bottom blowing continuous copper smelting[J]. World Nonferrous Metals, 2015(12):16-21.