

# 高压辊磨技术在铜冶炼渣粉磨工艺中的应用研究<sup>①</sup>

薛建森<sup>1</sup>, 赵建明<sup>2</sup>, 杨晨晨<sup>1</sup>, 卫晓岚<sup>1</sup>, 吕超飞<sup>1</sup>, 何嵩博<sup>1</sup>

(1. 国投金城冶金有限责任公司, 河南 灵宝 472500; 2. 成都利君实业股份有限公司, 四川 成都 610000)

**摘要:** 对铜冶炼渣进行了高压辊磨开路试验、边料循环试验、闭路粉磨试验以及与颚式破碎机产品的磨矿对比实验, 并对各产品进行了粒度分析。结果表明, 铜冶炼渣经高压辊磨处理后, 产品中细粒级含量明显增加, 可磨度提高约 36 个百分点, 高压辊磨有利于提高铜冶炼渣的磨矿效率和选矿技术指标。

**关键词:** 高压辊磨; 铜冶炼渣; 粒度; 可磨度; 磨矿

中图分类号: TD921

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2024.02.019

文章编号: 0253-6099(2024)02-0074-04

## Application of High Pressure Grinding Roll in Grinding Process of Copper Smelting Slag

XUE Jiansen<sup>1</sup>, ZHAO Jianming<sup>2</sup>, YANG Chenchen<sup>1</sup>, WEI Xiaolan<sup>1</sup>, LYU Chaofei<sup>1</sup>, HE Songbo<sup>1</sup>

(1. SDIC Jincheng Metallurgy Co Ltd, Lingbao 472500, Henan, China; 2. Chengdu Leejun Industrial Co Ltd, Chengdu 610000, Sichuan, China)

**Abstract:** High pressure grinding roll (HPGR) was used to comminute a copper smelting slag. An open-circuit test, edge-product cycling test and closed-circuit ball mill test were carried out using HPGR. The particle size of various products were measured, and the grinding results after HPGR were compared with those obtained after jaw crushing. The results show that after copper smelting slag is processed using HPGR and ball mill, the fine particle fraction of the products increases obviously, and the grindability increases by about 36 percentage point. It can be concluded that HPGR approach favors upgrading of grinding efficiency and beneficiation index in processing copper smelting slag.

**Key words:** high pressure grinding roll (HPGR); copper smelting slag; particle size; grindability; grinding

国内某铜冶炼厂采用富氧底吹造钼捕金三连炉热连工艺进行铜冶炼: 将采购的铜精粉、金精粉及石英熔剂等物料按一定比例混合, 经底吹熔炼-底吹吹炼-还原精炼三段火法粗炼, 产出阳极铜, 再经电解精炼产出国标 1# 阴极铜; 火法粗炼烟气进入制酸及环集烟气处理系统; 底吹熔炼产生的炉渣含铜约 3%、含金约 2 g/t、含银约 30 g/t, 炉渣进入铜冶炼渣选矿系统, 经渣缓冷-碎矿磨矿-浮选-浓密过滤等作业, 得到富含铜、金、银的铜精粉, 再配入入炉原料中。该铜冶炼渣选矿系统采用三段一闭路常规破碎及两段闭路磨矿分级的碎磨工艺, 设计处理能力 2 600 t/d, 磨矿细度-0.074 mm 粒级含量 95% 以上。在生产实践中, 经多次调试, 磨矿产品-0.074 mm 粒级含量 90%~95%, 实际生产能

力不足 2 300 t/d。铜冶炼渣具有硬度高、脆性大、韧性强的特性<sup>[1-2]</sup>, 这可能是造成选矿产能不足、磨矿指标低下的根本原因。

与传统破碎机随机破碎物料方式不同, 高压辊磨机破碎物料采用“层压破碎”机理, 能够实现物料颗粒的高效层间相互破碎<sup>[3]</sup>。自 20 世纪 80 年代起, 高压辊磨技术先后在水泥行业、金属矿山得到广泛应用。高压辊磨机具有设备性能稳定、产品粒度均匀、能耗低等优点, 利用高压辊磨机进行细碎或超细碎作业, 可降低磨机给料粒度、提高磨矿效率、节约磨矿能耗<sup>[4-8]</sup>。本文通过铜冶炼渣高压辊磨试验, 开展高压辊磨技术在冶炼渣粉磨工艺中的应用研究, 探寻提高该类性质冶炼渣磨矿效率和选矿技术指标的可行性。

① 收稿日期: 2023-11-19

作者简介: 薛建森(1972—), 男, 河南灵宝人, 高级工程师, 主要研究方向为金银及有色金属选冶。E-mail: jiansen.xue@163.com

## 1 试验原料及试验方法

### 1.1 试验原料

河南某铜冶炼厂熔炼炉产出的约 1 150 °C 的熔炼渣在 12 m<sup>3</sup> 铸造渣包中自然风冷 24 h 后再水冷 40 h, 渣包包壁温度降至 55 °C 左右时用渣包车将凝结的熔渣从渣包中倒出, 再用液压破碎机破碎成 200 mm 左右的渣块(生产中破碎至 500 mm 以下即可), 经摊均匀布点采样, 获得试验原料。试验原料最大块度不超过 80 mm。

用 PEF-200×150 型颚式破碎机将试验原料破碎至 -20 mm, 采用堆锥法对破碎样品混匀, 采用四分法将混匀的样品缩分, 取样进行粒度分析, 结果见表 1。试验原料经颚式破碎机破碎后, 产品中 -5 mm、-0.5 mm、-0.074 mm 粒级累计含量分别为 37.97%、12.74%、3.88%。经测定, 原料密度为 4.02 g/cm<sup>3</sup>。

表 1 试验原料粒度组成

| 粒级/mm       | 产率/%  | 负累计产率/% |
|-------------|-------|---------|
| +15         | 13.46 | 100.00  |
| -15+10      | 31.28 | 86.54   |
| -10+5       | 17.29 | 55.26   |
| -5+3.2      | 6.40  | 37.97   |
| -3.2+2.0    | 5.94  | 31.57   |
| -2.0+0.9    | 8.91  | 25.63   |
| -0.9+0.5    | 3.98  | 16.72   |
| -0.5+0.15   | 5.73  | 12.74   |
| -0.15+0.074 | 3.13  | 7.01    |
| -0.074      | 3.88  | 3.88    |

### 1.2 试验方法

试验所用主要设备包括 PEF-200×150 颚式破碎机、PEF-100×60 颚式破碎机、CLM25/10 高压辊磨机、ZBSX-92A 震击式标准振筛机、SMLF500×900 直线振动筛(筛孔 3 mm)、ET-320 密度检测仪以及 XMQ-240×90 实验室小型球磨机等。依照 GB/T 10322.7—2004《铁矿石粒度分布的筛分测定》进行粒度分析。

#### 1.2.1 高压辊磨一次开路试验

取样品 20 kg, 高压辊磨机工作转速 20 r/min, 在高压辊磨机工作压力分别为 8.0、10.0、12.0 MPa 条件下进行高压辊磨开路试验。辊磨后的物料经充分混匀, 用分样器缩分, 取样进行粒度分析, 确定高压辊磨机适宜的工作压力。

#### 1.2.2 高压辊磨边料循环试验

取样品 10 kg, 首次高压辊磨完成后, 对辊压中料和边料分别称重; 将辊压边料与新给料混合, 再次给入

高压辊磨机进行辊磨并对产品称重。重复这一操作过程, 直至辊压中料质量稳定在某一数值, 表明试验达到平衡状态, 试验结束。将平衡后的辊压中料充分混匀, 用分样器缩分后, 取样进行粒度分析, 确定边料平均循环量, 计算高压辊磨边料循环负荷。高压辊磨边料循环试验流程见图 1。

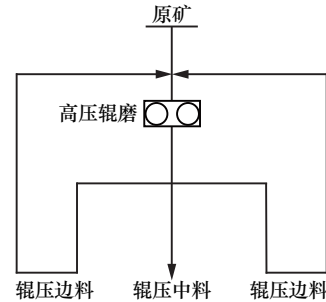


图 1 铜冶炼渣高压辊磨边料循环试验流程

#### 1.2.3 高压辊磨 3 mm 闭路粉磨筛分试验

取样品 10 kg, 高压辊磨后物料经 3 mm 直线振动筛筛分, 将筛上产品、筛下产品分别称重; 筛上产品与第二次新给料混合, 再次给入高压辊磨机进行辊磨和筛分、称重。重复这一操作过程, 当筛下产品质量稳定在某一数值或接近于新给料质量时, 试验达到平衡状态, 试验结束。将平衡后的筛下物料充分混匀, 用分样器缩分后, 取样进行粒度分析, 分析闭路粉磨筛分循环产品粒度分布情况。高压辊磨 3 mm 闭路粉磨筛分试验流程见图 2。

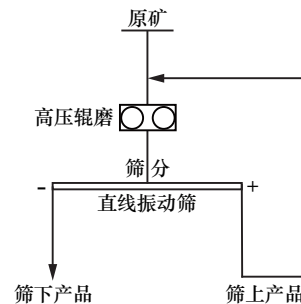


图 2 铜冶炼渣高压辊磨 3 mm 闭路粉磨筛分试验流程

#### 1.2.4 磨矿对比试验

将铜冶炼渣常规破碎样品 -20 mm 物料用 PEF-100×60 型颚式破碎机再次破碎, 用 3.2 mm 方孔筛筛分, 筛下产品混匀后, 分成若干个 500 g 样品, 分别进行磨矿试验。同样, 将高压辊磨后样品用 3.2 mm 方孔筛筛分, 得到 -3.2 mm 粒级产品, 混匀后分成若干个 500 g 样品, 分别进行磨矿试验。磨矿试验条件为: 磨矿矿浆液固比 2:3, 磨矿时间分别为 3、6、9、12 min。将未磨矿的 -3.2 mm 粒级样品以及磨矿后产品均进行

湿式筛分,筛上产品、筛下产品经 101-2A 型电热鼓风干燥箱中 105 ℃ 烘干 8 h 后称重,计算各产品粒级含量。

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 高压辊磨一次开路试验结果

铜冶炼渣原矿在不同压力条件下通过 CLM25/10 高压辊磨机开路辊磨,所对应的功耗情况见表 2,不同压力条件下辊磨产品的粒度分析结果见表 3。由表 2~3 可知,辊磨机工作压力 8.0 MPa、10.0 MPa、12.0 MPa 时,对应的辊磨产品 -0.5 mm 粒级含量分别为 27.35%、29.24%、32.83%, -0.074 mm 粒级含量分别为 8.54%、9.51%、10.31%。随着辊磨机工作压力提高,辊磨产品细粒级含量升高,但升高幅度不大;与辊磨前原料中 -0.5 mm 粒级和 -0.074 mm 粒级含量相比,细粒级含量增加显著;表明高压辊磨机对该铜冶炼渣有较好的挤压粉磨效果。综合考虑,确定高压辊磨机适宜的工作压力为 10.0 MPa。

表 2 不同工作压力对应的高压辊磨功耗情况

| 工作压力/MPa | 功耗/(kWh · t <sup>-1</sup> ) |
|----------|-----------------------------|
| 8.0      | 1.49                        |
| 10.0     | 1.81                        |
| 12.0     | 2.27                        |

表 3 不同工作压力下高压辊磨产品粒度分析结果

| 粒级/mm       | 产率/%    |          |          | 负累计产率/% |          |          |
|-------------|---------|----------|----------|---------|----------|----------|
|             | 8.0 MPa | 10.0 MPa | 12.0 MPa | 8.0 MPa | 10.0 MPa | 12.0 MPa |
| +5          | 23.64   | 20.25    | 15.70    | 100.00  | 100.00   | 100.00   |
| -5+3.2      | 10.49   | 11.00    | 10.26    | 76.36   | 79.75    | 84.30    |
| -3.2+2.0    | 13.27   | 12.36    | 12.27    | 65.87   | 68.75    | 74.04    |
| -2.0+0.9    | 16.95   | 18.44    | 19.22    | 52.60   | 56.39    | 61.77    |
| -0.9+0.5    | 8.30    | 8.71     | 9.72     | 35.65   | 37.95    | 42.55    |
| -0.5+0.15   | 12.27   | 12.45    | 13.71    | 27.35   | 29.24    | 32.83    |
| -0.15+0.074 | 6.54    | 7.28     | 8.80     | 15.07   | 16.80    | 19.12    |
| -0.074      | 8.54    | 9.51     | 10.31    | 8.54    | 9.51     | 10.31    |

### 2.2 高压辊磨边料循环试验结果

铜冶炼渣高压辊磨边料循环试验结果见表 4,最终辊压中料粒度分析结果见表 5。由表 4 可知,铜冶炼渣边料循环试验在第 4 次达到平衡,边料平均循环量为 1.68 kg,计算得到铜冶炼渣高压辊磨边料循环作业的循环负荷为 16.80%。由表 5 可知,铜冶炼渣高压辊磨边料循环试验的辊压中料中, -5 mm、-3.2 mm、-0.5 mm、-0.074 mm 粒级累计产率分别为 82.02%、71.30%、31.49%、9.67%。

表 4 铜冶炼渣边料循环试验结果

| 试验次数 | 新给矿量/kg | 通过量/kg | 边料质量/kg | 中料质量/kg |
|------|---------|--------|---------|---------|
| 1    | 10.00   | 10.00  | 1.29    | 8.46    |
| 2    | 10.00   | 11.29  | 1.62    | 9.56    |
| 3    | 10.00   | 11.62  | 1.71    | 9.76    |
| 4    | 10.00   | 11.71  | 1.67    | 9.94    |
| 5    | 10.00   | 11.67  | 1.68    | 9.93    |
| 平均   | 10.00   | 11.69  | 1.68    | 9.94    |

表 5 铜冶炼渣边料循环中料粒度分析结果

| 粒级/mm       | 产率/%  | 负累计产率/% |
|-------------|-------|---------|
| +5          | 17.98 | 100.00  |
| -5+3.2      | 10.72 | 82.02   |
| -3.2+2.0    | 11.84 | 71.30   |
| -2.0+0.9    | 18.72 | 59.46   |
| -0.9+0.5    | 9.25  | 40.74   |
| -0.5+0.15   | 13.78 | 31.49   |
| -0.15+0.074 | 8.04  | 17.71   |
| -0.074      | 9.68  | 9.67    |

### 2.3 高压辊磨 3 mm 闭路粉磨筛分试验结果

铜冶炼渣高压辊磨 3 mm 闭路粉磨筛分试验结果见表 6,最终筛下产品粒度分析结果见表 7。由表 6 可知,铜冶炼渣高压辊磨 3 mm 闭路粉磨筛分试验在第 4 次达到平衡,3 mm 筛上产品循环量为 5.75 kg,计算得到铜冶炼渣高压辊磨 3 mm 循环作业的循环负荷为 57.5%。由表 7 可知,辊磨机工作压力 10.0 MPa 时,铜冶炼渣高压辊磨 3 mm 闭路粉磨筛分循环试验的辊压产品 -0.5 mm 粒级含量为 42.02%, -0.074 mm 粒级含量为 13.67%。

表 6 铜冶炼渣高压辊磨 3 mm 闭路粉磨筛分试验结果

| 试验次数 | 新给矿量/kg | 通过量/kg | 筛分产品质量/kg |      |
|------|---------|--------|-----------|------|
|      |         |        | 筛上产品      | 筛下产品 |
| 1    | 10.00   | 10.00  | 3.75      | 6.01 |
| 2    | 10.00   | 13.75  | 5.21      | 8.55 |
| 3    | 10.00   | 15.21  | 5.76      | 9.42 |
| 4    | 10.00   | 15.76  | 5.74      | 9.97 |
| 5    | 10.00   | 15.74  | 5.76      | 9.95 |
| 平均   | 10.00   | 15.75  | 5.75      | 9.96 |

表 7 铜冶炼渣高压辊磨 3 mm 闭路粉磨筛下产品粒度分析结果

| 粒级/mm       | 产率/%  | 负累计产率/% |
|-------------|-------|---------|
| +2.0        | 17.70 | 100.00  |
| -2.0+0.9    | 27.14 | 82.30   |
| -0.9+0.5    | 13.14 | 55.16   |
| -0.5+0.15   | 18.96 | 42.02   |
| -0.15+0.074 | 9.39  | 23.06   |
| -0.074      | 13.67 | 13.67   |

## 2.4 磨矿对比试验结果

对-3.2 mm 粒级铜冶炼渣进行了磨矿对比试验,并根据颚式破碎和高压辊磨产品的磨矿试验数据绘制了磨矿曲线对比图,见图3。由图3可知,在相同的磨矿条件下,高压辊磨产品较常规破碎产品-0.074 mm 粒级含量提高了约10个百分点。该冶炼渣磨矿细度-0.074 mm 含量60%时,高压辊磨和常规破碎所需时间分别为5.11 min 和6.95 min;磨矿到-0.074 mm 粒级含量60%时的可磨度为136%,说明在该给料粒度情况下,高压辊磨产品比常规破碎产品更易磨,可磨度提高了36个百分点。

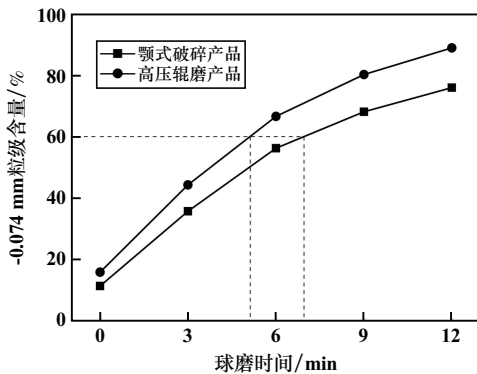


图3 -3.2 mm 粒级铜冶炼渣磨矿曲线对比

## 3 结 论

1) 铜冶炼渣原料密度为  $4.02 \text{ g/cm}^3$ 。铜冶炼渣经颚式破碎后,-5 mm 粒级含量为37.97%,-0.5 mm 粒级含量为12.74%,-0.074 mm 粒级含量为3.88%。

2) 铜冶炼渣高压辊磨适宜的工作压力为10.0 MPa,对应的功耗为1.81 kWh/t。

3) 高压辊磨工作压力10.0 MPa时,铜冶炼渣一次开路辊磨产品中,-5 mm 粒级含量79.75%,-0.5 mm 粒

级含量29.24%,-0.074 mm 粒级含量9.51%;辊磨产品-0.5 mm 粒级和-0.074 mm 粒级含量增加显著,证实高压辊磨对该铜冶炼渣有良好的挤压粉磨效果。

4) 铜冶炼渣高压辊磨3 mm 闭路粉磨筛分试验循环负荷为57.5%,产品中-0.5 mm 粒级和-0.074 mm 粒级含量分别为42.02%和13.67%;边料循环试验循环负荷为16.80%,产品中-0.5 mm 粒级和-0.074 mm 粒级含量分别为31.49%和9.67%。闭路粉磨效果优于边料循环粉磨效果。

5) 在相同的磨矿条件下,高压辊磨产品较颚式破碎产品-0.074 mm 粒级含量提高约10个百分点,可磨度提高36%,证实高压辊磨有利于提高铜冶炼渣的磨矿效率和选矿技术指标。

## 参考文献:

- [1] 周松林,耿连胜. 铜冶炼渣选矿[M]. 北京:冶金工业出版社,2014.
- [2] 熊 锋. 高压辊磨机在铜冶炼炉渣选矿中的应用探讨[J]. 现代矿业,2020(4):252-254.
- [3] 瞿 铁,杨剑波,辛亚淘,等. 有色金属选矿用高压辊磨机结构及其工艺[J]. 中国有色金属学报,2022,32(8):2405-2420.
- [4] 陈 兴,陈铁军,韦 东,等. 高压辊磨超细碎对铜铁共生矿分选的影响[J]. 矿冶工程,2023,43(4):61-64.
- [5] 王中才,陈 兴,韦 东,等. 高压辊磨对大冶铁矿碎磨能耗及分选的影响[J]. 矿冶工程,2023,43(2):81-85.
- [6] 朱泊翰,张鹏羽,欧乐明,等. 高压辊磨对低品位金矿浮选的影响研究[J]. 矿冶工程,2022,42(3):80-83.
- [7] 刘 磊,韩跃新,袁致涛,等. 高压辊磨机工作原理及其工艺性能的探讨[J]. 金属矿山,2010(增刊):594-599.
- [8] 魏 波,张宏伟,李丽匣,等. 高压辊磨机粉碎工艺国外应用进展与发展趋势[J]. 金属矿山,2022(2):10-18.

引用本文:薛建森,赵建明,杨晨晨,等. 高压辊磨技术在铜冶炼渣粉磨工艺中的应用研究[J]. 矿冶工程,2024,44(2):74-77.

(上接第73页)

2) 针对该矿石特点,采用可溶性淀粉为碳抑制剂,闭路试验获得了锌品位48.71%、含碳0.86%、锌回收率90.28%的锌精矿。与现场原工艺指标相比,在提高锌精矿品位及回收率的同时,将锌精矿中碳含量降至1%以下,降碳效果显著。

3) 本试验推荐药剂制度简单、药剂成本低、生产指标稳定。研究结果对同类矿石选矿具有较大的借鉴意义。

## 参考文献:

- [1] 李 强,常永强,王荣生. 某微细粒含碳高硫铅锌矿选矿试验研究[J].

有色金属(选矿部分),2022(2):108-116.

- [2] 陈经华. 含碳铜钴矿石抑碳提质浮选工艺[J]. 有色金属(选矿部分),2017(1):26-30.
- [3] 于 雪. 某含碳微细粒金矿石浮选工艺研究[J]. 黄金,2011(10):52-56.
- [4] 李 洁,马 晶,等. 某含碳富含磁黄铁矿细粒嵌布铅锌矿石选矿工艺研究[J]. 有色金属(选矿部分),2012(4):23-29.
- [5] 胡熙庚. 有色金属硫化矿选矿[M]. 北京:冶金工业出版社,1987.
- [6] 曹 飞,曹进成,吕 良,等. 内蒙古某富银铅锌硫化矿浮选分离试验研究[J]. 矿冶工程,2023,43(3):67-71.

引用本文:梁治安. 某复杂铅锌矿锌精矿降碳试验研究[J]. 矿冶工程,2024,44(2):71-73.