

国外工程技术

澳斯麦特技术—铜吹炼的发展

李卫民 摘译

(云南铜业股份有限公司, 云南 昆明 650102)

[摘要] 用于铜生产的澳斯麦特顶吹浸没喷枪(TSL)技术已被证明是一种低成本的技术, 该技术在精矿熔炼的应用中得到了普遍的认可。这一技术在吹炼中的应用也具有同样的优点。本文总结了澳斯麦特技术在吹炼工艺中的应用, 对目前的工厂应用及最新的工艺发展做了描述。

[关键词] 铜吹炼; 熔炼; 顶吹浸没式喷枪; 冰铜

[中图分类号] TF811.031.1*1

[文献标识码] B

[文章编号] 1672-6103(2009)01-0001-05

1 澳斯麦特顶吹浸没喷枪(TSL)吹炼的历史

澳斯麦特技术是在 20 世纪 70 年代由约翰·弗洛伊德博士及其在联邦科学与工业研究组织(CSIRO)的团队发明和开发的, 是由最初的顶吹浸没喷枪(TSL)技术演变而来。该技术首先用于锡渣还原, 称为“赛洛熔炼”(Sirosmelt)。弗洛伊德博士看到了该技术的潜力, 于 1981 年组建了澳斯麦特公司, 推进该技术的商业化并将其应用范围从锡冶金扩展到了其它工艺。

此后, 由澳斯麦特完成的工厂和项目覆盖了广泛的物料范围, 主要是有色金属领域。最近, 该技术也用于废料处理和炼铁。

通过 1984 年在澳大利亚 Roxby Downs 进行的工作, 澳斯麦特公司很早就开始涉足铜的生产。该厂的加料量达到 2 t/h, 处理含铀铜精矿。该厂的目的是调查研究铀和铜在包括铜冰铜在内的产品中的行为, 直至产出粗铜, 从此开始了 TSL 和澳斯麦特技术在铜冶金领域的应用。

自此, TSL 铜熔炼成为一种成熟及优选的处理方法。TSL 吹炼现已成为了在该领域引人注目的新

技术。

2 重大事件

在铜熔炼和吹炼领域, 澳斯麦特为表 1 所示的冶炼厂提供了澳斯麦特技术。

表 1 采用澳斯麦特技术的炼铜厂

年份	公司	铜的应用
1992	津巴布韦 Eiffel Flats	铜/镍浸出渣熔炼
1995	津巴布韦 Bindura 镍公司	铜/镍浸出渣熔炼、吹炼及金属生产
1997	纳米比亚 Gold Fields	铜/铅精矿熔炼
1999	中国中条山	精矿熔炼和吹炼
2002	南非 Anglo 铂金公司	铜/镍/铂族金属冰铜吹炼
2003	中国安徽铜陵	精矿熔炼
2003	印度 Birla 铜厂	精矿熔炼和吹炼
2005	韩国锌公司	残渣熔炼
2005	俄罗斯铜公司	精矿熔炼

2.1 津巴布韦 Rio Tinto 公司

津巴布韦 Rio Tinto 公司经营 Eiffel Flats 的 Empress 镍精炼厂。精炼厂于 1968 年投产。精炼由附近的 Empress 镍矿产出的镍铜冰铜。由于经济矿储量耗尽, 1982 年矿山关闭。不过, 精炼厂的生产依然继续, 主要处理博茨瓦纳 BCL 生产的冰铜。

1992 年, 建了一座采用澳斯麦特炉系统的镍厂, 每年熔炼 10 000 t 浸出残渣 (Ni 13.5%、Cu56.1%、S

[译者简介] 李卫民(1971—), 男, 云南大理人, 云南铜业股份有限公司技术部工程师。

[收稿日期] 2006-01-16

15.8%),产出适于精炼厂处理的含硫低(S 6%)的水淬冰铜。尽管这家工厂初期遇到了一些问题,但设备及操作规程的改进使处理量及效率两方面都有持续的改善,成功达到了设计产能。

2.2 Bindura 镍公司

津巴布韦 Bindura 镍公司的澳斯麦特技术熔炼炉每年处理 10 000 t 镍厂铜硫化物浸出渣(Ni 0.75%、Cu 70.0%),产出粗铜和弃渣。

在该工艺中,残渣物料熔炼产出冰铜。随后的吹炼和炉渣还原阶段分别产出粗铜和弃渣。由于在单台澳斯麦特炉内组合了熔炼、吹炼和炉渣还原,因此该工艺具有新颖性。为了适应后续处理要求,澳斯麦特炉需要满足粗铜对高砷、镍物料严格的质量要求。

工厂 1995 年 9 月投产后达到设计要求。残渣物料此后获得了当时铜市场非常优惠的直接销售条件,工厂于 2000 年停产。

Bindura 的发展对于铜行业中铜直接吹炼澳斯麦特技术商业示范特别重要。

2.3 Tsumeb 公司

单台炉装置最初设计为铅精矿熔炼炉,但后来用于处理富铅铜精矿(Cu 20%和 Pb 12%),产出洁净的冰铜及富铅尘。

1998 年初,澳斯麦特炉从铅熔炼炉改为铜熔炼炉,每小时处理 25~30 t 铜精矿(Cu 15%~27%、Pb 8%~12%、Zn 2%~5%及 S 20%~27%),操作温度 1 180 ℃,产出铜冰铜。工厂每年处理 100 000 至 120 000 t 精矿。澳斯麦特炉产出的冰铜含 Cu 55%~65%、Fe 7%及 S 20%,弃渣含铜 0.4%,出炉烟尘含 Pb 39%、Cu 0.1%及 Zn 8%。

2.4 中条山

位于中国山西侯马市的中条山冶炼厂(ZTS)于 1999 年底投产,是第一家结合了 TSL 操作生产粗铜的冶炼厂。该厂处理各种品位的精矿(Cu 17%~30%),每年产出 35 000 到 40 000 t 粗铜。所产粗铜在相距 70 km 的中条山精炼厂加工成阳极和阴极铜。

中条山铜熔炼炉是一个三炉系统,组合了澳斯麦特熔炼炉、吹炼炉及澳斯麦特设计的沉降炉。铜精矿在熔炼炉中处理,产出品位为 60%的铜冰铜和含铜 0.6%的弃渣。炉渣和冰铜通过专门设计的溜槽—出口/进口溢流堰系统送入沉降炉内。冰铜和炉渣在沉降炉内分离后,通过另一个溜槽—溢流堰系统送至澳斯麦特吹炼炉吹炼成粗铜。弃渣经过一个

出口堰从沉降炉中排放并水淬。水淬渣在环保方面是安全的,可用于铺路或作为水泥添加剂。

澳斯麦特吹炼炉可以接受水淬或液态冰铜。吹炼炉为半连续操作,产出含硫低于 0.3%的粗铜。

2.5 安徽铜陵

中国安徽铜都的铜陵冶炼厂兴建了一座澳斯麦特熔炼炉替代两台鼓风机。

澳斯麦特熔炼炉和沉降电炉每年处理低品位铜精矿(Cu 约 18%~20%)330 000 t,产出品位为 50%的冰铜。澳斯麦特熔炼系统位于现有转炉工段的末端,冰铜用包子输送至 3 台 PS 转炉。

该厂自 2003 年第四季度以来一直运行到现在。

2.6 南非 Anglo 铂金公司

南非 Anglo 铂金公司的 Rustenburg 厂改造中兴建了两台澳斯麦特吹炼炉,其中第 1 台自 2003 年第 1 季度以来一直运行到现在。工厂选择了澳斯麦特吹炼炉取代 6 台 PS 转炉,以减少 SO₂ 及固体物质的逸散。每台澳斯麦特吹炼炉每年大约处理 213 000 t 含铜、镍和铂族金属的电炉冰铜,产出高品位冰铜。冰铜产品的成分对所含的铂、钯回收至关重要。

除了操作更为清洁之外,该项目也利用了澳斯麦特专有技术自动控制产品中的铁和硫满足±0.5%和±0.2%的偏差。

第 2 台吹炼炉目前正在设计和施工阶段。

2.7 Birla 铜厂

第二代澳斯麦特熔炼、沉降和吹炼三炉组合系统于 2004 年在印度湾有限公司的 Birla 铜厂投产。该厂年处理精矿 270 000~350 000 t,产出大约 70 000 t 粗铜,预计在不远的将来,粗铜年量可以达到 100 000 t。

Birla 铜厂的设计和施工在 20 个月内完成,目前工厂正在满负荷生产。

2.8 韩国锌公司

韩国锌公司在韩国温山安装了 1 台澳斯麦特炉,进行次生铜的处理。

该台炉子设计为年处理 70 000 t 韩国锌公司铅精炼厂的铜浮渣和其它次生铜物料。铜冰铜在新的电解精炼厂处理。

这台澳斯麦特炉定于 2005 年上半年满负荷生产,它是第 8 台由韩国锌公司采用的澳斯麦特炉。

2.9 俄罗斯铜公司(RCC)

最近,澳斯麦特与俄罗斯第三大铜生产厂俄罗

斯铜公司签订合同, 提供澳斯麦特熔炼技术, 作为俄罗斯乌拉尔车里雅宾斯克地区的卡拉巴什冶炼厂改造项目的一部分。

1 台澳斯麦特熔炼炉将取代 3 台鼓风炉。新的熔炼系统年处理精矿 500 000 t, 产出的冰铜随后在现有的 PS 转炉中吹炼成粗铜。

目前, 工厂的设计和施工正在紧张进行, 定于 2006 年年中投产。

3 连续吹炼的发展

3.1 吹炼要求

铜市场呈现的一个趋势就是, 通过应用大规模的单台熔炼炉, 扩大生产能力。这一趋势总体上并没有相应的吹炼技术的进展与其相匹配。这种依赖典型表现为较小操作设备的分批处理, 比如依旧在整个行业中占据吹炼主要地位的 PS 转炉。尽管转炉吹炼具有较高的地位, 但是也有诸如分批操作、烟量大、逸散物控制困难等缺点, 从而 PS 转炉会被效率更高、环保更好的吹炼工艺取代。

澳斯麦特已经提供了半连续吹炼形式的直接代替方法。这类似于 PS 转炉的操作, 没有操作或硬件

方面的困难。单炉半连续吹炼可以直接替代几台 PS 转炉, 年产铜约 100 000 t, 将来的趋势是单炉年产量超过 200 000 t。

为了达到这一要求, 澳斯麦特进行了澳斯麦特连续铜吹炼(C3)工艺的开发, 这将有可能会提供更大的生产能力, 同时简化操作和控制。澳斯麦特 C3 工艺也具有现有的澳斯麦特熔炼和吹炼联合流程易于应用的优点。

3.2 基础

澳斯麦特 C3 工艺建立在澳斯麦特半连续吹炼工业实践的基础上, 基本上采用同种炉型和硬件设施。方法是提供不将吹炼与熔炼操作分离的联合粗铜工艺流程。

基本的半连续工艺可以用如图 1 所示的简化流程来说明。在此模式中, 吹炼操作包括两个阶段: 白冰铜生产及随后的硫化铜最终氧化成粗铜。吹炼开始时, 熔融冰铜或水淬冰铜以恒定速率加入, 同时通过喷枪喷入可控的反应空气量。物料的氧化反应使铁含量从冰铜中的 15% 减少至白冰铜中的大约 0.5%。操作中加入二氧化硅, 有时也加入其它物料, 与氧化的铁一起造渣, 产出流动性良好的炉渣。

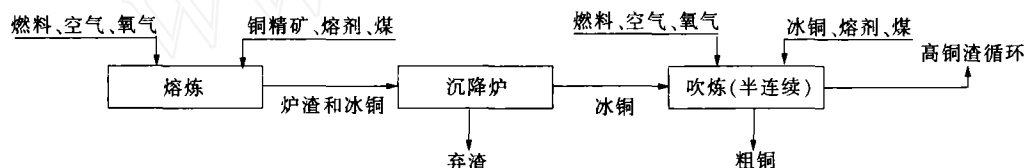


图 1 澳斯麦特半连续铜吹炼流程图

一旦炉子装满, 就停止加入冰铜, 开始铜硫化物的最终氧化。

3.3 概念

澳斯麦特 C3 工艺的发展起始于消除半连续吹炼中的生产限制阶段, 即冰铜最终吹炼成粗铜的空载时间的概念。这样, 就可以有更多的时间将冰铜加入系统中, 实现转炉处理量的较大改进, 如表 2 所示。

正是在这些表面上看较为简单的概念的应用中, 出现了一些问题。主要是使用的渣型和产出的粗铜质量。

3.4 渣型

吹炼采用的三种可能的渣型(铁橄榄石、铁酸钙、硅酸亚铁钙)中, 铁酸钙渣型似乎更有利于连续吹炼工艺。Yazawa 对这种普遍接受的观点进行了很好的

表 2 吹炼系统生产率比较

吹炼系统	生产 (tCu/m ³ 熔池)
PS 转炉	1 500
澳斯麦特半连续吹炼	3 500
澳斯麦特连续铜吹炼	10 000+

总结, 参见表 3 中铜工艺中与这些渣型相关的因素对比。

铜吹炼中传统上使用硅酸铁炉渣, 采用这种渣型主要是担心会使渣中三价铁(Fe^{3+})含量增加的较高氧分压的影响。三价铁在纯硅酸铁炉渣中的有限溶解度会导致磁性氧化铁的沉淀, 增加表观粘度。除非采用更高的温度, 否则就会产生泡沫渣。此问题的解决方法就是采用三菱法中使用的铁酸钙渣($\text{CaO-FeO-Fe}_2\text{O}_3$)。主要原因有二: 更高的磁性氧化

表3 Yazawa 总结的渣型对比

炉渣	硅酸铁	铁酸钙	硅酸亚铁钙(橄榄石)
粘度	高	低	中
铜夹带	高	低	中
磁性氧化铁沉淀	高	低	中
泡沫渣趋势	高	低	中
耐火材料磨损速度	中	高	中
碱性	酸性	碱性	

注:下划线=不利;黑体=有利

铁溶解度限制以及更低的粘度(通常为~0.03 Pa.s 而硅酸盐炉渣 0.20~0.30 Pa.s)。不过,这样低的粘度会产生其它问题,主要是炉子容量以及耐火材料磨损,对此种类型炉渣的炉子操作人们已经有了丰富的经验。

据报导,Cu₂O 形式的铜损失低于硅酸铁炉渣中的铜损失。其它特点包括酸性氧化物(包括砷和锑)较高的溶解度以及诸如钴和镍之类的更有价值金属的更低的溶解度。

由于对炉渣中的硫化物具有更高的亲合力,铁酸钙炉渣只适用于吹炼。此外,如果物料中有太多的二氧化硅,铁酸钙炉渣就会引起操作困难。二氧化硅含量只要有~5%,硅酸二钙就足以达到饱和及随后沉淀。

如果加入更多的二氧化硅,铁酸钙炉渣的粘度就会明显增加,炉渣的排放就会困难。硅酸亚铁钙(橄榄石)渣是上面提到的两种渣型间的另一种渣型,吹炼时使用硅酸铁渣或硅酸亚铁钙渣时可以避免前面提到的问题。不过,这些渣存在着炉渣容量增大的问题,并由此造成了渣铜损失。

从其在吹炼中的广泛应用,澳斯麦特发现采用通常的熔炼炉渣型,即硅酸铁炉渣和硅酸亚铁钙炉渣型,可以控制磁性氧化铁而不需采用专门用于吹炼的有缺陷的过高操作温度或渣型,比如铁酸钙炉渣。硅酸铁和硅酸亚铁钙炉渣可以用于连续吹炼操作,优点如下:

- 渣型与传统铜熔炼炉渣相符,采用硅酸铁炉渣时操作工会感到比较熟悉。

- 与铁酸钙炉渣相比,可以从吹炼炉渣流中回收铜,包括能吸收更大的循环吹炼炉渣。在铁酸钙炉渣中,为维持熔炼炉中的最佳化学反应,循环料加料量存在限制(CaO≤5%)。

- 炉渣腐蚀性更弱,从而所造成的容纳问题更小,这在熔池熔炼操作中是一种非常重要的因素。

3.5 粗铜质量

吹炼的另一个关键因素就是金属产品质量,特别是预期的粗铜含硫量。这一目标通常取决于采用的工艺和可以接受的渣含铜及以 Fe³⁺形态存在的铁。粗铜中典型的硫含量为 0.25%至 1.20%。与此密切相关的是渣铜损失以及粗铜含硫和渣含铜的关系。渣含铜低意味着粗铜含硫高。

事实上,所有吹炼产出的粗铜都要送去电解精炼,因此铜必须适合于浇铸成平滑的阳极板,以与阴极交错排列。这就需要首先脱除大部分的硫和氧。含硫高的粗铜需要在阳极炉中长时间氧化,并且对阳极炉烟气进行处理以回收硫需要花费较高成本。这就将负担转给了阳极炉,在阳极炉中必须脱除过量的硫并从烟气中捕集硫。

作为一种可以接受的替代工艺,这两个参数取得低值就成为了目标。根据对生产商要求的审查和分析,澳斯麦特将粗铜含硫目标定为 0.2%、渣含铜目标定为 20%。

4 试验规模连续铜吹炼

4.1 目标和结果

如同澳斯麦特已取得的许多进展一样,试验工厂的试验工作提供了确定工业规模生产的操作范围。如上所述,澳斯麦特 C3 工艺最佳起点是目前澳斯麦特半连续吹炼操作中使用的典型渣型。

幸运的是,澳斯麦特拥有现代化的试验工厂可以模拟工业生产。试验工厂允许对输入的物料流,即从原料到经喷枪喷入的气体进行严格的控制,这对于此类技术的发展特别关键。为了准备小型试验,试验人员对工艺控制进行了总结,这样澳斯麦特的吹炼工艺方式得到了延伸,对冶金专家在定期取样和分析的基础上对物料前向控制评估提供指导。

试验工作的主要目标是连续吹炼典型的工业冰铜(外购),产出含硫大约 0.2%的粗铜,同时维持渣含铜大约为 20%。

对三种渣型进行了试验:硅酸铁、氧化钙改性硅酸铁和橄榄石炉渣。在所有的试验中都成功产出了粗铜。

试验没有遇到泡沫渣问题,且粗铜中的硫含量比较令人满意。这些结果特别鼓舞人心,特别是对于硅酸铁炉渣,同时也否定了高铁渣不适于连续吹

炼的传统看法。

粗铜质量也起到至关重要的作用,吹炼过程中,粗铜中硫含量低也意味着氧化铜形式的渣铜损失增大。试验工厂生产的粗铜含硫与行业中当前含量相比相对较好。试验结果中硫含量从 0.03% 至 0.3%。最值得注意的是,高数值来自第一次进行的试验。所获得的最佳结果是渣含铜为 23% 时粗铜含硫 0.03%。这一结果表明,澳斯麦特 C3 工艺对于当前的连续吹炼技术来说是一种更吸引人的工业选择。

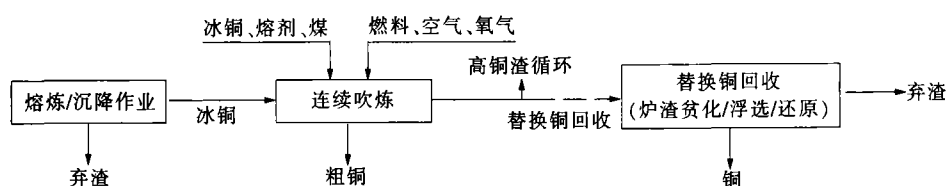


图 2 澳斯麦特 C3 工艺概念流程图

5 下一步——工业操作

澳斯麦特目前正在审查其 C3 工艺的工业规模的应用,其概念流程图见图 2。现有的澳斯麦特操作正在快速得到推广,具有增大生产能力的潜力。

与传统吹炼工艺相比,C3 工艺的潜在优点包括:

- 单炉大规模生产粗铜,与传统单台转炉相比,其生产率是一个大的跃进。
- 产出硫和其它杂质含量低的高品位粗铜。
- 可以处理熔融冰铜、固态冰铜或者是这两种冰铜的组合。
- 剧烈的熔池搅拌保证了较高的能量传递和氧气利用。
- 与传统旋转技术不同,澳斯麦特吹炼炉连续处理冰铜,直至产出粗铜,而无需在各阶段之间停止

4.2 试验结论

这些试验结果使澳斯麦特得出了关于其 C3 工艺的如下结论:

- 硅酸铁和硅酸亚铁钙炉渣都是合适的渣型,尽管它们在传统上都被认为不适合于连续吹炼应用。
- 从块状冰铜或水淬冰铜生产的粗铜含硫 0.03% 至 0.3%。
- 维持可以接受的粗铜含硫时渣含铜就低。
- 吹炼过程中氧的利用率比较高。

操作以加入熔剂或排走炉渣。澳斯麦特吹炼炉的作业率更高,吹炼炉的生产时间为 90%,而 PS 转炉只有 40%~50%。这就意味着生产每吨铜所需的炉子更少、维护量更小且能量效率更高。

·同澳斯麦特熔炼炉的配置一样,澳斯麦特 C3 工艺吹炼炉的固定性质确保了炉子和烟气系统间的良好密封、超过 98% 的较高的硫捕集率以及烟气流的较低稀释,使得 SO_2 的浓度比较高(烟气 SO_2 浓度 > 8%)。

预计随着该技术的推广,操作范围也会扩大。

澳斯麦特 C3 工艺正处于这样一个位置,那就是顶吹浸没喷枪(TSL)技术已出现了十多年。首次在吹炼中工业应用标志着新的里程碑,我们将会看到顶吹浸没喷枪技术进入新的金属生产领域。

王永慧 校

Ausmelt technology—developments in copper converting

Translated selectively by LI Wei-min

Abstract: Ausmelt's Top Submerged Lancing (TSL) technology for copper production has proven to be a low cost solution and has gained widespread acceptance in the concentrate smelting application. The application of the technology for converting applications promises to deliver the same benefits. This paper reviews the application of Ausmelt Technology for converting processes, describing both current plant applications and recent process developments.

Key words: copper converting; smelting; Top Submerged Lancing; matte