

钢铁企业废弃耐火材料的再利用工艺

包向军，何亚斌，赵鹏，张振国，赛音巴特尔

(首钢环保产业事业部, 北京 100041)

摘要: 综述了钢铁企业废弃耐火材料回收处理现状, 分析了首钢废弃耐火材料的来源和分类, 并提出了一种废弃耐火材料的集中再利用工艺。

关键词: 耐火材料; 再利用; 处理工艺

中图分类号: X705; TQ175

文献标志码: A

文章编号: 1002-1639(2009)01-0001-02

Reusing Technology of Waste Refractories of Iron & Steel Enterprise

BAO Xiang-jun, HE Ya-bin, ZHAO Peng, ZHANG Zhen-guo, SAIYIN Bater

(Shougang Environmental Protection Industry Department, Beijing 100041, China)

Abstract: The status of waste refractories disposal technology in iron & steel enterprise is summarized. The source and classify of waste refractories in Shougang is analysed. The new concentrated reusing technology of waste refractories is provided.

Key words: refractories; reusing; disposal technology

耐火材料是钢铁冶金行业的重要辅助材料, 在钢铁企业有着广泛的应用^[1]。我国目前年消耗耐火材料约1 000万t, 废旧耐火材料达到400万t, 若能使废旧耐火材料循环利用, 还可大幅度降低耐火材料的制备成本, 并带动钢铁行业工业产品的成本下降与发展必将带来显著的经济与社会效益。

我国耐火材料的再生利用率还不高, 仅达到20%, 冶金行业废旧耐火材料回收利用率约为40%。目前, 多数企业的废旧耐材基本上采用掩埋处理, 即使再利用, 也基本上是简单的加工与掺入, 没有与科学的再生技术结合起来, 因此没有产生明显的经济效益和社会效益。但是, 目前有关的试验研究显示: 采用高比例的废旧耐火材料可以制成优质的耐火砖、浇注料、捣打料、修补料、溅渣护炉料、出钢口填料、引流砂和造渣剂等非常有价值的产品, 而且产品性能可接近或达到原产品的水平, 有些还可以超过原产品的水平。因此, 在耐火原材料市场不断涨价, 耐火制成品市场价格受用户成本需求而不断降低的今天, 充分发挥废旧耐材作为耐火制成品的替代物, 通过技术手段, 进一步提升其利用价值, 具有重要的意义。

1 国内外处理现状

国外许多国家, 尤其是发达国家, 对废旧耐火材料的再利用非常重视^{[2][3]}。在日本, 鹿岛钢铁厂成功研制出滑板的再利用工艺, 他们使用浇注料浇注复原的方法和圆环镶嵌法, 使修复后滑板和新滑板的使用寿命相同。知多钢厂以废旧砖为原料, 开发出钢包底周边捣打料, 钢

包浇注料以及不定形产品。新日铁公司已成功地将用过的MgO-C耐火材料加入到MgO-C砖中, 在铝尖晶石浇注料中加入了20%的回收铝尖晶石骨料。吴制铁所为了提高废旧耐火材料的再循环利用比率, 研究了在Al₂O₃-SiC砖中添加滑动水口耐火材料的方法, 得出了很多有益的结论。总体看, 日本在废旧耐火材料回收利用技术方面已取得明显的成效, 尤其表现在增值型产品上。

美国钢厂每年产生100万t废旧耐火材料^{[2][3][6]}, 以前几乎全被掩埋, 仅有少量回收。1998年美国能源部、工业技术部和钢铁生产者联合制定了用来延长耐火材料的使用寿命和回收利用废旧耐火材料的计划。政府的支持、生产企业、用户和研究机构之间的合作, 加强了对废旧耐火材料利用的研制。回收耐火材料的应用范围是脱硫剂、炉渣改质剂, 耐火混凝土骨料、制造原材质耐火产品。

意大利Omcine Meccaniche di Ponzano Veneto公司开发出一种回收利用钢铁工业各种炉子、中间包、铸造模和钢包内衬用耐火材料的方法, 将所回收的耐火材料直接喷吹入炉以保护炉壁。

国内方面, 近几年随着国家环保政策的推行力度加大, 以及耐火材料原材料市场价格的提升, 废旧耐火材料的再利用逐步受到重视。宝钢利用添加50%的废旧镁碳砖料再生的镁碳砖, 用在120t钢包渣线, 使用寿命达到120次, 经过一年多的使用证明, 优于用电熔镁砂制成的新的镁碳砖^[4]。另外, 宝钢对铝镁碳钢包砖废旧耐火材料进行的再生前期研究显示, 用超过90%的废砖量研制出再生铝镁碳砖的性能可达到: $\omega(\text{Al}_2\text{O}_3)=69\%$, $\omega(\text{MgO})=14\%$, $\omega(\text{C})=8.5\%$, 体积密度为3.01 g/cm³, 气孔率为8.7%, 耐压强度44 MPa。

淮钢将废旧滑板作为中间包抗冲击板使用^[5]; 以废旧镁碳砖为原料作为钢包的填充料; 与耐火生产厂进行

收稿日期: 2008-08-04; 修回日期: 2008-09-03

作者简介: 包向军(1972—), 贵州都匀人, 热能工程高级工程师, 从事钢铁企业环境保护和资源综合利用技术研究。

合作，用80%的废砖量研制出再生LMT砖的性能为： $\omega(\text{Al}_2\text{O}_3) = 69\%$ ， $\omega(\text{MgO}) = 14\%$ ， $\omega(\text{C}) = 8.5\%$ ，体积密度为 3.61 g/cm^3 ，显气孔率为8%，耐压强度为39 MPa；利用废旧黏土砖，加入硫酸铝溶液做胶结剂配制耐火混凝土，用作中包包盖浇注料，使用效果非常明显。

鞍钢将从废铝镁尖晶石浇注料中分离出的颗粒重新作为浇注料原料加入（配加量为20%），一年的使用结果表明，全年平均包龄达到了97.3炉，比上一年不加废浇注料颗粒的包衬平均还高3炉。这说明回收的废浇注料颗粒完全可以再利用。

2 首钢炼钢用废弃耐火材料现状

首钢北京地区耐火材料采购费用6亿元/a，全公司废旧耐火材料总量目前难以得到精确的统计数据。其中第

二炼钢厂和第三炼钢厂废旧耐火材料的来源主要是铁水包、转炉、钢包以及中间包，不同设备以及同一设备的不同部位使用的耐火材料种类都不相同，种类繁多，主要包括废旧黏土砖、镁碳砖、镁铝碳砖、铝镁尖晶石碳砖、高铝砖、铝镁浇注料、滑板等。这些废旧耐火材料若经严格的拣选、分类和特殊的工艺处理，即可获得利用价值更高的耐火原料。用这些精加工处理后的再生料，根据国内外同类技术经验的分析，可以生产优质的不定形耐火材料，还可再生出优质的定形产品。剩余的边角料还可考虑作为冶金辅料，如溅渣护炉料、造渣剂等的原材料，这不仅可以节约国家的矿物资源和能源，而且也减少了环境污染，大大降低耐火材料的成本。表1列出首钢炼钢厂废旧耐火材料名称及其用途。

表1 首钢炼钢厂废旧耐火材料名称及其用途

废旧耐材名称	可再生产品	再生产品用途
钢包、转炉镁碳砖	再生镁碳砖、捣打料、修补料和溅渣料等冶金辅料	用于转炉、精炼炉和钢包以及冶金辅料等
铝镁碳砖	再生铝镁碳砖	钢包用铝镁碳砖
中间包永久层和浇注料	轻质浇注料和轻质砖	热工窑炉保温和钢包及中间包永久层
中间包涂料	冶金辅料和喷补料	溅渣护炉料、造渣剂、中间包覆盖剂、中间包工作层
碱性挡渣堰	再生溅渣料、挡渣堰和冶金辅料	挡渣堰、溅渣护炉料、造渣剂、中间包覆盖剂
镁质定径水口	再生定径水口和滑板等产品的添加剂	定径水口、滑板等
刚玉质上水口和座砖	浇注料、捣打料、喷补料、湿式浇注料、铝镁（碳）砖	用于电炉盖、钢包衬、包口和接缝料；钢包的各种修补料，也可作为水泥原料和磨料
铝碳质上水口和下水口	再生浸入式水口、长水口、上水口和下水口、滑板和各种含碳散状料	用于连铸控流系统和各种补炉料
滑板	再生滑板、长水口、高铝铝碳砖、AMC砖和各种散状料	用作连铸控流的耐材和鱼雷车等盛铁水设备的炉衬和相应的修补料
整体塞棒、长水口、浸入式水口	再生塞棒、长水口、浸入式水口	再生塞棒、长水口、浸入式水口用于连铸控流

虽然这些废旧耐火材料若经严格的拣选、分类和特殊的工艺处理，可获得利用价值更高的耐火原料。但从首钢废旧耐火材料的产生量和能够快速实现产业化的角度上来说，利用价值较高的废旧耐火材料主要有转炉和钢包内衬使用的镁碳砖和铝镁碳砖以及滑动水口使用的铝碳滑板。这些镁碳砖、铝镁碳砖颗粒是生产再生镁碳砖和铝镁碳砖等定形和不定形耐火材料的良好的原料。滑动水口使用的铝碳滑板，其回收利用率在90%以上。废旧铝碳滑板颗粒是生产铝碳滑板、铁沟料、鱼雷罐砖、下水口的良好再生原料。

3 首钢废弃耐火材料集中回收工艺

根据首钢废弃耐火材料来源和特性，首钢开发了一种废弃耐火材料集中回收再利用工艺，如图1所示。具体工艺流程为：废弃耐火材料经过集中收集、分选和切割，分为变质层和原生层两部分，其中变质层主要由亚铁侵蚀造成，在变质层表面含有一定量的磁性铁，经过破碎和磁选可以将含铁物质分离出来，分离的含铁颗粒可以作为烧结配料使用，不含铁颗粒可以进入炼钢造渣剂配料使用。原生层经过分选后，将镁碳、镁铝碳、铝碳等材料分开，经过分级破碎后，将不同粒级的颗粒作为耐火材料配料使用。一些高档次耐火材料，例如水口、滑板、塞棒等材

料，可以经过修补后继续使用，也可以采用降级使用的方式回收利用。

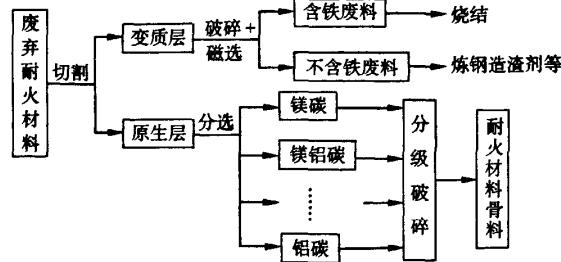


图1 再利用工艺流程图

该回收工艺有如下优点：①体现了循环经济的概念，本工艺处理的是钢铁企业生产过程中产生的废弃耐火材料，产品基本上全部回收利用，实现了废弃物的零排放；②工艺处理能力灵活，根据钢铁企业钢铁产量、产品结构、耐火材料寿命变化，可以灵活调整工艺设备配置和处理能力；③经济效益高，本工艺利用的是废弃的耐火材料，经过加工处理后，生产的产品多为高附加值产品，在

（下转第22页）

表1 原型与模型操作参数对比表

压力/MPa	流速/m·s ⁻¹	流量/m ³ ·h ⁻¹
原型液相	0.25	19.882 9
模型液相	5.307 6	86.525 6
原型气相	0.1	23.583 2
模型气相	1.668 6	87.446 5
		15 453.072 1

2.3 原型及模型自模化区的确定

气、液路处于第二自模化区条件是其各自雷诺数大于等于对应的第二临界雷诺数，旋流喷嘴的第二临界雷诺数 Re_{L2} ^{[4]43}为 1.8×10^5 ，因此原型与模型的第二临界雷诺数 Re_{L2} 为 1.8×10^5 。

代入数据计算可得，液路的雷诺数

$$Re_{p1} = \frac{\rho_{p1} u_{p1} d_{p1}}{\mu_{p1}} = Re_{m1} = 4.825 1 \times 10^5 > 1.8 \times 10^5 = Re_{L2}$$

气路的雷诺数

$$Re_{p2} = \frac{\rho_{p2} u_{p2} d_{p2}}{\mu_{p2}} = Re_{m2} = 1.518 2 \times 10^6 > 1.8 \times 10^5 = Re_{L2}$$

气路和液路的原型及模型雷诺数均大于第二临界雷诺数，因此气路原型与模型的流动状态都处于“第二自模化区”^{[4]38}，因此该模型符合相似理论要求，即该模型能够代替原型进行相关实验研究。

2.4 实验所需最小流速、流量及压力的计算

根据各自的雷诺数等于对应的第二临界雷诺数可得实验所需的最小流速、流量及压力。

(1) 液路

$$\text{根据 } Re_{m1} = \frac{\rho_{m1} u_{m1\min} d_{m1}}{\mu_{m1}} = Re_{L2}$$

得实验所需喷嘴的最小出口流速

$$u_{m1\min} = \frac{\mu_{m1} Re_{L2}}{\rho_{m1} d_{m1}}$$

因此，喷嘴的最小流量

$$q_{m1\min} = \frac{\pi d_{m1}^2 u_{m1\min}}{4}$$

(上接第2页)

当前资源、能源紧张的市场条件下，具有很高的经济效益；④市场供销稳定，由于本工艺依托钢铁企业的废弃资源，每年钢铁企业在生产经营过程中产生的废弃耐火材料数量相对稳定，对于处理企业来说有稳定的资源来源，生产的产品主要回用钢铁企业，有稳定的用户，因此市场供销有保障。

4 结语

钢铁企业每年产生大量的废弃耐火材料，采用科学合理的工艺进行处理后回收利用，在满足耐火材料生产工艺要求的基础上，实现固体废弃物的循环使用，降低资源和能源消耗，对于实施循环经济产业政策，实现国

喷嘴的最小压力

$$p_{m1\min} = \frac{p_{p1} \rho_{m1} u_{m1\min}^2}{\rho_{p1} u_{p1}^2}$$

(2) 气路

$$\text{根据 } Re_{m2} = \frac{\rho_{m2} u_{m2\min} d_{m2}}{\mu_{m2}} = Re_{L2}$$

得实验所需气路的最小出口流速

$$u_{m2\min} = \frac{\mu_{m2} Re_{L2}}{\rho_{m2} d_{m2}}$$

实验所需气路的最小流量

$$q_{m2\min} = \frac{\pi d_{m2}^2 u_{m2\min}}{4}$$

实验所需气路的最小压力

$$p_{m2\min} = \frac{p_{p2} \rho_{m2} u_{m2\min}^2}{\rho_{p2} u_{p2}^2}$$

代入数据计算可得模型所需最小流速、流量及压力如表2所示。

表2 模型所需最小流速、流量及压力表

	流速/m·s ⁻¹	流量/m ³ ·h ⁻¹	压力/MPa
液相	32.278 6	2.281 6	0.738 6
气相	10.368 0	1 832.176 8	0.023 46

3 结论

根据相似准则计算出了实验模型在理想情况下所需的流速、流量及压力，并根据原型与模型同处于第二自模化区计算出实验所需的最小流速、流量及压力。

参考文献：

- 王松汉, 何细藕. 乙烯工艺与技术 [M]. 北京: 中国石化出版社, 2000: 190-330.
- 陈文义. 流体力学 [M]. 天津: 天津大学出版社, 2004: 2.
- 刘光启. 化学化工物性数据手册 [M]. 北京: 化学工业出版社工业装备与信息工程出版中心, 2002: 1.
- 李之光. 相似与模化 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1982: 12.

家“节能减排”总体目标，有重大和现实的意义。

参考文献：

- 李林, 洪彦若. 第九届国际耐火材料技术大会评述 [J]. 耐火材料, 2006, 40: 290-297.
- 佚名. 废弃耐火材料的回收利用 [J]. 徐庆斌, 译. 国外耐火材料, 1999, (7): 36-38.
- 佚名. 炼钢厂用过的耐火材料的回收再利用 [J]. 徐庆斌, 译. 国外耐火材料, 1999, (10): 3-11.
- 刘百臣. 废弃耐火材料资源化的研究与实践 [J]. 工业加热, 2007, 36 (6): 68-70.
- 王成. 废弃耐火材料的回收利用 [J]. 江苏冶金, 2003, 31, (6): 56-57.