

垃圾焚烧炉用耐火材料的研究现状

张丽^{1,2}

(1.中钢集团洛阳耐火材料研究院有限公司,河南洛阳 471039;
2.河南省特种耐火材料重点实验室,河南洛阳 471039)

摘要:介绍了目前国外垃圾焚烧炉的种类和特点,较系统地阐述了目前垃圾焚烧炉用耐火材料的研究现状。重点介绍了无铬耐火材料的研究现状并指出了焚烧炉用耐火材料今后的发展方向。

关键词:垃圾焚烧炉;耐火材料;研究现状

中图分类号:TF065.1*1 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-6988(2009)06-0040-05

Current Research Situation of Refractories for Waste Incinerator

ZHANG Li

(1.Luoyang Institute of Refractories Research Co., Ltd of Sinosteel Corporation, Luoyang 471039, China;
2.Henan Key Laboratory of Advanced Refractories, Luoyang 471039, China)

Abstract: Types and characteristics of current foreign waste incinerators are introduced, current research situation of refractories for waste incinerator is systematically formulated. The research situation of chrome-free refractories are focused on and the future development direction of refractories for incinerator is pointed out.

Key words: waste incinerator; refractory; research situation

随着世界人口的不断增加和经济的高速发展,城市垃圾和工业废物的数量急剧增多。垃圾的存在不仅占用大量的空间,而且对地球环境造成严重污染,危害人类和动植物的生存环境。因而城市垃圾和产业废弃物的处理是一个亟待解决的问题。

本文根据所收集的国内外资料,尝试对垃圾焚烧炉用耐火材料的研究现状进行介绍和分析。

1 垃圾焚烧炉的种类

目前世界各地应用的垃圾焚烧设备——垃圾焚烧炉达到200多种,但应用广泛、具有代表性的垃圾焚烧炉主要有四大类,即循环流化床焚烧炉(包括RDF焚烧炉)、回转窑焚烧炉、炉排型焚烧炉、垃圾热解气化焚烧炉(CAO)^[1-3]。

根据以上垃圾焚烧炉技术原理、特点、性能以及

优缺点,进行主要项目的对比分析,对比分析结果见表1^[4-7]。

2 垃圾焚烧炉用耐火材料的要求

当焚烧的垃圾为不同组成的非均匀性混合物时,其类型、数量和热含量方面也有很大不同。为此内衬的物理和化学性能应适应操作期间不同阶段的要求。垃圾焚烧炉的工作温度一般不超过1400℃,但复杂的工作环境(如气体的侵蚀、垃圾在高温移动过程中对炉体内部的磨损和冲击)要求优质的耐火材料内衬,而且需求量也不断增加。通常要求耐火材料有如下特点:①高强度和良好的耐磨性,以抵抗固体物料的磨损和热气流的冲刷;②良好的体积稳定性和耐酸性,以抵抗炉内酸性物质的侵蚀;③良好的热冲击稳定性,以抵抗炉温的变化对材料的破坏;④良好的抗侵蚀能力,以避免侵蚀而引起炉衬崩裂;⑤良好的高温强度和耐热、隔热性。

收稿日期:2009-08-28

作者简介:张丽(1975—),女,工程师,主要从事耐火材料的技术应用工作。

3 垃圾焚烧炉用耐火材料的研究现状

3.1 无铬耐火材料

(1) 碳化硅质耐火材料

SiC耐火材料由于其良好的性能而常用于生活垃圾焚烧炉中,其优良性能主要表现在抗侵蚀性和抗冲刷能力强、抗热震性良好、抗磨损性较高。在保证SiC耐火材料抗侵蚀性的情况下,材料的抗氧化性能成为决定其使用寿命的关键。

Junichi Moda等^[9]在固定材料中SiC和SiO₂含量不变的情况下,通过添加不同的抗氧化剂和改变颗粒的尺寸和分布,制备出四种不同的SiC材料。试样抗氧化实验结果表明,添加适当的抗氧化剂、调整材料的颗粒尺寸分布可改善SiC材料的性能。

杨笛等^[9]针对目前垃圾焚烧炉及其炉衬材料均从国外进口的现状,研究开发出具有自主知识产权、性能先进、适应各种窑炉运行工况的系列SiC不定形耐火材料。

实验选用含SiC 95%以上的碳化硅原料,经酸洗方式,剔除Fe₂O₃等杂质成分;选择可增加物料塑性和砌体强度及高温使用性能的复合结合剂;外加剂包括增柔剂、增强剂等6个品种,分别起到增加物料和易性、粘结性、速凝性,提高砌体低、高、中温强度,热导率及使用温度的作用。首先固定原料种类,根据对进口材料的粒度分析及现有SiC原料的粒度情况,调整不同粒径颗粒的加入量,使其成型体达到最大密度,最终确定合理的粒度组成。当SiC的粒度

组成确定后,再实验2种复合结合剂的数量、比例及6种外加剂的种类、数量对试样密度、强度、热导率及使用温度的影响,最终研制出了各项指标超过国外同类产品的新型碳化硅耐火材料。

(2) 氧化铝质耐火材料

目前国内外对氧化铝质耐火材料的研究较活跃,主要研究内容为在氧化铝质材料中添加各种添加剂,以改善材料的抗渣侵蚀性能。氧化铝含量较高的材料主要用于特殊垃圾焚烧炉,而氧化铝含量则取决于同一区域中产生的应力大小。

朱德龙^[10]以黏土熟料为主要原料,纯铝酸钙水泥为结合剂,并在细粉中引入铅莫来石,制备出重质浇注料,具有高强度、耐高温、热震稳定性好等特点,可用于垃圾焚烧炉工作层。以轻质砖破碎颗粒为主要原料,高铝水泥为结合剂制备出轻质浇注料,具有体积密度小、导热系数低、体积稳定性好等特点,可用于垃圾焚烧炉保温层。

王迎春等^[11]以致密电熔刚玉、特级矾土熟料和焦宝石为骨料及粉料,以适量纯铝酸钙水泥为结合剂,选用纯度较高、活性较大的氧化铝微粉及其他微粉和添加剂,利用材料烧成后在基质中形成大量莫来石高温结合相,制备出具有高热态强度垃圾焚烧炉用耐火浇注料。

Yoshimasa Miyagishi等^[12]针对工业垃圾焚烧炉用浇注料抗碱盐渗透性差、使用寿命低的情况,开发了具有高抗碱盐侵蚀性能的含SiC浇注料(A1₂O₃55%、SiO₂28%、SiC10%)。实验制备了3种氧

表1 几种垃圾焚烧炉技术比较

比较项目	循环流化床焚烧炉技术	回转窑焚烧炉技术	炉排型焚烧炉技术	垃圾热解气化焚烧炉技术
主要应用地区	日本、美国	美国、丹麦、瑞士	欧洲、美国、日本	加拿大
处理能力	中小型150 t/d以下	大中型200 t/d以上	大型200 t/d以上	中小型150 t/d以下
燃料适应性	燃料的种类受到限制	燃料的种类受到限制	燃料适应性广	燃料适应性较广
对垃圾要求	需分类破碎至15 cm以下	除大件垃圾外不需分类破碎	除大件垃圾外一般不分类破碎	除大件垃圾外一般不分类破碎
燃烧性能	燃烧温度较低,燃烧效率欠佳,燃烧稳定性一般,燃烧速度较快,燃尽率高	可高温安全燃烧,残灰颗粒小,燃烧稳定性一般,燃烧速度一般,燃尽率较高	燃烧可靠,余热利用较好,燃烧稳定性好,燃烧速度较快,燃尽率高	先热解、气化,再燃烧,燃烧稳定性较好,燃烧速度较慢,燃尽率高
炉内温度	流化床内燃烧温度800~900℃	回转窑内600~800℃,燃尽室温度为1000~1200℃	垃圾层表面温度800℃,烟气温度800~1000℃	第1燃烧室600~800℃、第2燃烧室800~1000℃
垃圾停留时间	固体垃圾在炉中停留1~2 h,气体在炉中约几秒钟	固体垃圾在回转窑内停留2~4 h,气体在燃尽室约几秒钟	固体垃圾在炉中停留1~3 h,气体在炉中约几秒钟	固体垃圾在第1燃烧室约3~6 h,气体在第2燃烧室约几秒钟
垃圾运动方式	炉内翻滚运动	回转窑内回转滚动	取决于炉排的运动	推进器推动
存在缺陷	操作运转技术高,需添加流动媒介,进料颗粒较小,单位处理量所需动力高,炉床材料易损坏	连接传动装置复杂,炉内耐火材料易损坏,焚烧热值较低,含水分的垃圾时有一定的难度	操作运转技术高,炉排易损坏	对氧量、炉温控制有较高要求,高水分的垃圾在无油助燃时不能稳定燃烧

化铝质浇注料,通过实炉试验结果发现,以黏土和碳化硅为原料的浇注料的抗碱侵蚀性能较仅以黏土为原料及以黏土和莫来石为原料的浇注料的抗碱侵蚀性能优异。

Michinori Yoshikawa 等^[13]以 MgO-尖晶石砖和 Al₂O₃-尖晶石砖为研究对象,以 Cr₂O₃ 含量为 3.5% 的 Al₂O₃-Cr₂O₃ 砖为对比样,研究了 3 种材料的抗侵蚀性能(实验条件:1 650 ℃×5 h,渣碱度分别为 0.4、1.0、2.0)。实验结果发现,MgO-尖晶石砖和 Al₂O₃-尖晶石砖可以替代低铬含量的 Al₂O₃-Cr₂O₃ 砖用于垃圾焚烧炉中,进一步的实炉实验也得到了相同的结论。

Kaoru Aoki 等^[14]利用坩埚侵蚀实验法,检测了氧化铝含量分别为 42.2%、75% 和 98% 的 3 种氧化铝质耐火材料的抗灰渣及 HCl 气体侵蚀情况,并分析了渣的侵蚀机理。侵蚀实验在 1 000 ℃ 下进行 48 h,实验用渣为合成的垃圾焚烧炉灰渣((NaCl-KCl-Na₂SO₄-K₂SO₄):Al₂O₃ 为 3:7),并通入干燥空气或潮湿的含 HCl 1.86% 的空气。通过分析试样侵蚀实验前后质量变化及显微结构发现,在不通入含 HCl 气体的情况下,3 种氧化铝试样表面形成了组成为 Na-K-Si-O 的玻璃相;在 HCl 气体存在的情况下,试样中含有碱性氧化物玻璃相的形成受到抑制。当耐火材料暴露在含有 HCl 气体的环境中时,位于晶界处的碱性氧化物与其反应生成氯化物,随之晶界变脆,材料中颗粒更易脱失。可见,通过降低材料的显气孔率和碱性氧化物的含量,可改善材料的抗 HCl 气体侵蚀性能。

Hirohito Takeuchi 等^[15]通过研究垃圾焚烧炉炉顶用 Al₂O₃-SiO₂ 耐火材料的抗侵蚀、剥落情况,对传统炉顶用耐火材料进行了改进。研究发现,增加液体结合剂及硅灰的添加量可提高材料的使用寿命。

Hideyuki Tsuda 等^[16]将高熔点的 Y₂O₃ 引入到氧化铝质耐火材料中开发出一种 Al₂O₃-Y₂O₃ 质垃圾焚烧炉用无铬耐火材料。实验在普通高铝浇注料中引入适量的 Y₂O₃ 细粉制备出 Al₂O₃-Y₂O₃ 质试样,采用回转抗渣实验法检测研制材料、普通高铝浇注料和 Al₂O₃-Cr₂O₃ 浇注料(Cr₂O₃10%)的抗渣侵蚀性能,检测各试样干燥和烧成后的抗折强度及高温抗折强度随温度的变化情况。结果发现,研制的 Al₂O₃-Y₂O₃ 质耐火材料较 Al₂O₃-Cr₂O₃ 浇注料(Cr₂O₃10%)的抗渣侵蚀性能更好,其原因是 Al₂O₃ 和 Y₂O₃ 反应形成

了一层致密的 YAG 层,阻止了熔渣的进一步渗透。

Junichi Moda 等^[17]制备出一种 Al₂O₃-MgO-NiO 质垃圾焚烧炉用耐火材料,并与含铬耐火材料抗渣侵蚀性能进行了对比。实验研究表明,氧化铝质试样中添加 MgO、NiO 后,材料中形成了(Mg,Ni)O 固溶体,Al₂O₃-MgO-NiO 质材料的抗渣侵蚀性与氧化铬含量 30% 的 Al₂O₃-Cr₂O₃ 耐火材料相当。当在氧化铝质材料中直接添加(Mg,Ni)O 熟料时,材料的抗渣侵蚀性也得到改善。接下来将进一步研究材料的抗热剥落性能及渣碱度和其他因素变化对 Al₂O₃-MgO-NiO 质材料性能的影响。

(3)MgO 质材料

Masaaki Mishima 等^[18]借鉴 MgO-TiO₂-Al₂O₃ 用于钢铁冶炼工艺中的成功表现,结合对垃圾焚烧炉用耐火材料的性能要求研究发现,通过控制 MgO-TiO₂-Al₂O₃ 的组成和基质的含量,可改善材料的性能。如通过在小于 0.7 的范围内增加 TiO₂、Al₂O₃ 的摩尔比可改善材料的抗渣侵蚀性能,其原因是改变了材料中气孔的形态、分布及基质的致密程度。

试验以镁铬砖(MgO72.3%、Cr₂O₃12.2%、Al₂O₃8.9%)、铝铬砖(Al₂O₃82.1%、Cr₂O₃9.9%、ZrO₂3.6%)和 MgO-TiO₂-Al₂O₃ 砖(MgO82.3%、TiO₂7.5%、Al₂O₃8.2%)为研究对象,利用回转侵蚀实验(垃圾焚烧炉渣碱度为 0.8,实验温度为 1 600 ℃×16 h)检测材料的抗侵蚀性能。研究发现,MgO-TiO₂-Al₂O₃ 砖具有比镁铬砖更好的抗渣侵蚀性能,其热面侵蚀层更薄,几乎没有渣渗透的现象。

Satoshi Sakamoto 等^[19]利用 MgO 和 ZrO₂ 比 Al₂O₃ 更难被渣熔融的特性,选用 MgO 和 ZrO₂ 做骨料,研制了一种新型的 MgO-MgO·Al₂O₃-ZrO₂ 浇注料。MgO 和 Al₂O₃ 以两种方式加入,一种是直接加入尖晶石,另一种是加入一定量的 MgO 和 Al₂O₃ 代替部分尖晶石,利用 MgO 和 Al₂O₃ 反应形成尖晶石产生的体积膨胀促使材料的致密化,从而改进其抗渣渗透性。实验结果表明,当尖晶石的加入量达到 30%~45% 时,材料的抗渣侵蚀性最好。当 MgO 和 Al₂O₃ 的加入量为 8% 时,效果最佳,如果形成过量的尖晶石,过多的体积膨胀会导致试样性能恶化。研制的 MgO-MgO·Al₂O₃-ZrO₂ 浇注料的化学组成(w)为 ZrO₂5%、Al₂O₃32%、MgO 61%。使用结果表明,研制的 MgO-MgO·Al₂O₃-ZrO₂ 浇注料的抗渣侵蚀性优于传统的 Al₂O₃-Cr₂O₃ 材料。

Koichi Igabo 等^[20]制备出一种 MgO-Al₂O₃ 质无铬耐火材料,并且研究了添加 ZrO₂ 的作用。实验制备了 3 组试样,其中 MgO-Al₂O₃ 质中 MgO/Al₂O₃ 摩尔比分别为 30/70、50/50、70/30,一组试样中不添加 ZrO₂,另一组 ZrO₂ 添加量为 10%vol。含铬耐火材料中 Cr₂O₃10%、Al₂O₃90%。MgO-Al₂O₃ 质材料压成球状经 1 600 °C×1 h 烧成,含铬耐火材料压成球状经 1 500 °C×1 h、氩气氛下烧成。回转抗渣实验法检测 3 组材料的抗渣侵蚀性能。实验发现,与其他试样相比,MgO/Al₂O₃ 摩尔比为 50/50,ZrO₂ 含量为 10% 的试样的抗渣侵蚀性能与含铬耐火材料相当。

3.2 含铬耐火材料

含 Cr₂O₃ 的耐火材料具有优良的耐蚀性,所以多被用于条件苛刻的废弃物熔融炉等。研究发现,随着 Cr₂O₃ 含量的增加,材料耐蚀性也提高。因此在垃圾焚烧炉用含铬耐火材料早期的研究中通常通过增加材料中氧化铬的含量来提高材料的抗侵蚀性。目前的研究方向为尽可能少的使用氧化铬,通过引入其他添加物的方法提高材料的性能。

(1) Al₂O₃-Cr₂O₃ 质

Takahiro Miyaji 等^[21]以目前垃圾焚烧炉主要使用的 Al₂O₃-Cr₂O₃ 浇注料为研究对象,研究了 Cr₂O₃ 在改善 Al₂O₃-Cr₂O₃ 材料中的作用。

实验制备了 Cr₂O₃ 含量为 10%、不含氧化硅的 Al₂O₃-Cr₂O₃ 浇注料,Al₂O₃-SiO₂ 系浇注料和不含氧化硅的氧化铝浇注料 3 种试样。利用回转抗渣法检测试样的抗渣侵蚀性能,分析试样的显微结构。分析实验结果发现,对于 Al₂O₃-Cr₂O₃ 浇注料试样,由于 Cr₂O₃ 向熔渣中的迁移,试样热面处 Cr₂O₃ 含量降低,熔渣黏度增大,试样的抗渣渗透和侵蚀能力提高。Al₂O₃ 和 Cr₂O₃ 高温下反应形成固溶体也使材料的抗侵蚀性及使用寿命提高。此外,由于 Al₂O₃-Cr₂O₃ 浇注料中氧化硅含量低,因此不会生成大量的低熔点化合物影响材料的抗侵蚀性。

Junichi Moda 等^[22]研制出一种不增加 Cr₂O₃ 含量,而耐蚀性和抗热震性都良好的含 Cr₂O₃ 尖晶石耐火材料。实验通过对比添加含 Cr₂O₃ 尖晶石前后耐火砖的抗侵蚀性发现,在氧化铬含量相同的情况下,通过添加尖晶石骨料可以制备出 Cr₂O₃ 含量少、耐侵蚀性和抗热震性优良的垃圾焚烧炉用耐火材料。此外,通过对比含 Cr₂O₃ 浇注料 1 500 °C 烧成前后的抗侵蚀性,得出了浇注料成型体经烧成会生成

Al₂O₃-Cr₂O₃ 固溶体,因此能够提高浇注料耐蚀性,可以制成不亚于烧成砖的耐火材料的结论。

Motoki Hayashi 等^[23]针对含氧化铬的浇注料耐蚀性、防渗透性优良,但易发生剥离损伤的现状,通过提高二氧化硅和氧化铬含量来减轻剥离损伤和提高材料耐蚀性。

实验以 Al₂O₃77%、Cr₂O₃20%、SiO₂2% 的试样为对比样,以 Al₂O₃72%、Cr₂O₃20%、SiO₂7% 的试样和 Al₂O₃22%、Cr₂O₃62%、SiO₂1% 的试样为研究对象。试样的结构剥落实验和回转抗渣实验结果发现,试样中二氧化硅含量增加,试样工作面生成液相,抑制了渣的侵入;由于增加了渣难以润湿的氧化铬原料,试样的耐蚀性提高。

Junichi Moda 等^[24]利用抗渣侵蚀实验研究了 Al₂O₃-Cr₂O₃ 耐火材料和 MgO-Cr₂O₃ 耐火材料的抗渣侵蚀性能。实验条件为:实验用渣含饱和石灰 40%、SiO₂25%、Al₂O₃15%、TiO₂5%、MgO5%、Fe₂O₃5%、NaCl15%、碱度为 1.2。实验温度为 1 710 °C×7 h,每隔 1 h 换渣一次,实验过程中重复换渣 3 次。实验结果发现,在高碱度渣的情况下,垃圾焚烧炉用耐火材料使用含铬高的 Al₂O₃-Cr₂O₃ 耐火材料较好,但当渣中含有铁和铜的化合物时,MgO-Cr₂O₃ 耐火材料的使用效果较 Al₂O₃-Cr₂O₃ 材料更好。

(2) Al₂O₃-Cr₂O₃-ZrO₂ 质

Kiyoto Sekine 等^[25]通过分析 Al₂O₃68%、Cr₂O₃6.6%、ZrO₂13.3% 和 Al₂O₃63.8%、Cr₂O₃23.6%、ZrO₂6.5% 的两种 Al₂O₃-Cr₂O₃-ZrO₂ 砖抗侵蚀性,并将两种砖用于实炉实验 8 个月,来评价两种砖的性能。结果发现,Cr₂O₃ 含量为 24% 的 Al₂O₃-Cr₂O₃-ZrO₂ 砖性能最好,寿命有望达到 1 年。

Yoshiki Tsuchiya 等^[26]利用三点弯曲应力实验和回转抗渣侵蚀实验对比 Cr₂O₃ 含量分别为 7%、28%、28% (部分 Cr₂O₃ 以粗颗粒形式加入) 的 3 种 Al₂O₃-Cr₂O₃-ZrO₂ 砖的韧性及抗渣侵蚀性。研究发现,Cr₂O₃ 含量高并且材料中含有 Cr₂O₃ 组颗粒的 Al₂O₃-Cr₂O₃-ZrO₂ 砖的韧性和抗渣侵蚀性能最好,其原因是在应力情况下,引入的粗颗粒产生了微裂纹从而使材料的韧性提高。

4 垃圾焚烧炉用耐火材料的发展趋势

(1) 含氧化铬砖由于具有优异的抗渣侵蚀性能仍将继续用于垃圾焚烧炉炉衬,但其高的密度和强

度导致材料的韧性差,因此材料的抗结构剥落性差,在材料中引入微裂纹的方法可平衡材料抗侵蚀性和抗剥落性的差距。


(2) 大部分的垃圾焚烧炉均设有水冷结构, SiC 浇注料由于具有高的热导率因此是理想的砌筑材料。其在垃圾焚烧炉其他部位的使用也将成为垃圾焚烧炉用耐火材料无铬化的重要方向。

(3) 垃圾焚烧炉用耐火材料的无铬化将继续成为研究热点。

参考文献:

- [1] 黄家瑶,浅谈垃圾焚烧与热能利用[J].福建能源开发与节约,2002(3):30-31.
- [2] 姚珉芳,城市生活垃圾焚烧处理技术及资源化利用[J].能源技术,2000(2):97-100.
- [3] 赵绪新,王恩堂,马晓茜, CAO 垃圾焚烧系统热力模型研究[J].热能工程,2001(1):14-16.
- [4] 王丰春,田新珊.垃圾焚烧发电技术在我国的应用[J].中国电力,2002,35(6):36-38.
- [5] 赵继增,刘忠选,陈路兵,等.垃圾焚烧炉用耐火材料的现状与发展[J].耐火材料,2000,34(6):353-355,358.
- [6] 马晓茜,张笑冰,卢苇,等.垃圾焚烧层燃炉与 CAO 系统的分析比较[J].工业炉,1999,21(3):12-13.
- [7] 杜军,王彬彬,金霄.国内外垃圾焚烧炉技术概述[J].工业锅炉,2003(5):15-19.
- [8] JUNICHI M,ZHE W,KISABURO A.Development of refractories for waste melting furnaces the transition from high chromia to chrome-free refractories[J]. Journal of the Technical Association of Refractories,2006,26(2):123-127.
- [9] 杨笛,李寅雪,李纯.新型碳化硅耐火材料的研制[J].电力建设,2001,22(2):42-45.
- [10] 朱德龙.垃圾焚烧炉耐火浇注料的研制[J].辽宁城乡环境科技,2000,20(4):26-27.
- [11] 王迎春,高文军.垃圾焚烧炉用不定形耐火材料的研制[J].辽宁建材,2003(4):18-19.
- [12] YOSHIMASA M,KIMIO O,YASUHIRO M.The application of alkali resistance castable for industrial waste incinerators [J]. Journal of the Technical Association of Refractories,2005,25(3):231.
- [13] MICHINORI Y,EISHI L,HIROYUKI S.Application of chrome-free bricks for incinerated-ash melting furnaces [J]. Journal of the Technical Association of Refractories,2005,25(3):232.
- [14] KAORU A,YUSUKE D,YOSHIMASA M,et al.High temperature corrosion of refractories in simulated incinerator ash under hydrogen chloride gas [J]. Journal of the Technical Association of Refractories,2003,23(1):20-21.
- [15] HIROHTTO T,RYOSUKE N,TOSHIHIKO K,et al.Development of castable for roof of ash melting furnaces [J]. Journal of the Technical Association of Refractories,2002,22(2):203.
- [16] HIDEYUKI T,YUTAKA K,YUKIHIRO S,et al.Development of Cr₂O₃-free castable for waste melting furnaces[J]. Journal of the Technical Association of Refractories,2008,28(2):103-108.
- [17] JUNICHI M,KUNICHI T,SHINICHI K.Chrome-free castables for waste melting furnaces[J]. Journal of the Technical Association of Refractories,2008,28(3):204-209.
- [18] MASAOKI M,HIDEYUKI T,TOSHIYUKI H.Corrosion behavior of Cr-free MgO-TiO₂-Al₂O₃ bricks for waste melting furnaces [J]. Journal of the Technical Association of Refractories,2005,25(4):300-304.
- [19] SATOSHI S,YOSHIMASA M.Development of a Cr₂O₃-free castable for waste melting furnaces[J]. Journal of the Technical Association of Refractories,2002,22(2):197.
- [20] KOICHI I,SHINICHI S,YASUHIKO B,et al.Development of Cr-free refractories for high temperature municipal waste incinerators[J]. Journal of the Technical Association of Refractories,2003,23(2):125.
- [21] TAKAHIRO M,SATOSHI S,EIICHI K.Role of Cr₂O₃ in Al₂O₃-Cr₂O₃ castable for waste melting furnaces [J]. Journal of the Technical Association of Refractories,2002,22(2):118-121.
- [22] JUNICHI M,WANG Z,JUNICHI H.Application of Cr₂O₃-containing spinel bricks in waste melting furnaces [J].Journal of the Technical Association of Refractories,2004,24(3):227.
- [23] MOTOKI H,JUNICHI H,JUNICHI M.Improvement of Cr₂O₃-containing castables for waste melting furnaces [J]. Journal of the Technical Association of Refractories,2004,24(3):226.
- [24] JUNICHI M,ZHE W,KISABURO A.Development of refractories for waste melting furnaces the transition from high chromia to chrome-free refractories[J]. Journal of the Technical Association of Refractories,2006,26(2):123-127.
- [25] KIYOTO S,YOSHIKI T,HISAO K.Improvement of Al₂O₃-Cr₂O₃-ZrO₂ bricks for waste melting kiln [J]. Journal of the Technical Association of Refractories,2005,25(3):231.
- [26] YOSHIKI T,KATSHUHISA M K,et al.Characteristics of Al₂O₃-Cr₂O₃-ZrO₂ bricks for wastemelting kilns[J]. Journal of the Technical Association of Refractories,2003,23(2):196.

垃圾焚烧炉用耐火材料的研究现状

作者: 张丽, ZHANG Li
作者单位: 中钢集团洛阳耐火材料研究院有限公司, 河南, 洛阳, 471039; 河南省特种耐火材料重点实验室, 河南, 洛阳, 471039
刊名: 工业炉 
英文刊名: INDUSTRIAL FURNACE
年, 卷(期): 2009, 31(6)
被引用次数: 1次

参考文献(26条)

1. 黄家瑶 浅谈垃圾焚烧与热能利用[期刊论文]-福建能源开发与节约 2002(03)
2. 姚珉芳 城市生活垃圾焚烧处理技术及资源化利用 2000(02)
3. 赵绪新;王恩堂;马晓茜 CAO垃圾焚烧系统热力模型研究[期刊论文]-热能动力工程 2001(01)
4. 王丰春;田新珊 垃圾焚烧发电技术在我国的应用[期刊论文]-中国电力 2002(06)
5. 赵继增;刘忠选;陈路兵 垃圾焚烧炉用耐火材料的现状与发展[期刊论文]-耐火材料 2000(06)
6. 马晓茜;张笑冰;芦苇 垃圾焚烧层燃炉与CAO系统的分析比较[期刊论文]-工业炉 1999(03)
7. 杜军;王怀彬;金霄 国内外垃圾焚烧炉技术概述[期刊论文]-工业锅炉 2003(05)
8. JUNICHI M;ZHE W;KISABURO A Development of refractories for waste melting furnaces the transition from high chromia to chrome-free refractories[外文期刊] 2006(02)
9. 杨笛;李寅雪;李纯 新型碳化硅耐火材料的研制[期刊论文]-电力建设 2001(02)
10. 朱德龙 垃圾焚烧炉耐火浇注料的研制 2000(04)
11. 王迎春;高文军 垃圾焚烧炉用不定形耐火材料的研制[期刊论文]-辽宁建材 2003(04)
12. YOSHIMASA M;KIMIO O;YASUHIRO M The application of alkali resistance castable for industrial waste incinerators 2005(03)
13. MICHINORI Y;EISHI L;HIROYUKI S Application of chromefree bricks for incinerated-ash melting furnaces[外文期刊] 2005(03)
14. KAORU A;YUSUKE D;YOSHIMASA M High temperature corrosion of refractories in simulated incinerator ash under hydrogen chloride gas[外文期刊] 2003(01)
15. HIROHTTO T;RYOSUKE N;TOSHIHIKO K Development of castable for roof of ash melting furnaces 2002(02)
16. HIDUEYUKI T;YUTAKA K;YUKIHIRO S Development of Cr₂O₃-free castable for waste melting furnaces 2008(02)
17. JUNICHI M;KUNIIHIKO T;SHINICHI K Chrome-free castables for waste melting furnaces 2008(03)
18. MASAACKI M;HIDEYUKI T;TOSHIYUKI H Corrosion behavior of Cr-free MgO-TiO₂-Al₂O₃ bricks for waste melting furnaces 2005(04)
19. SATOSHI S;YOSHIMASA M Development of a Cr₂O₃-free castable for waste melting furnaces 2002(02)
20. KOICHI I;SHINICHI S;YASUHIKO B Development of Crfree refractories for high temperature municipal waste incinerators 2003(02)
21. TAKAHIRO M;SATOSHI S;EIICHI K Role of Cr₂O₃ in Al₂O₃-Cr₂O₃ castable for waste melting furnaces 2002(02)

22. [JUNICHI M;WANG Z;JUNICHI H Application of Cr2O3-containing spinel bricks in waste melting furnaces](#)[外文期刊] 2004(03)
23. [MOTOKI H;JUNICHI H;JUNICHI M Improvement of Cr2O3-containing caetables for waste melting furnaces](#) [外文期刊] 2004(03)
24. [JUNICHI M;ZHE W;KISABRO A Development of refractories for waste melting furnances the transition from hish chromia to chrome-free refractories](#)[外文期刊] 2006(02)
25. [KIYOTO S;YOSHIKI T;HISAO K Improvement of Al2O3-Cr2O3ZrO2 bricks for waste melting kiln](#)[外文期刊] 2005(03)
26. [YOSHIKI T;KATSHUHISA M K Characteristics of Al2O3 Cr2O3-ZrO2bricks for wastemelting kilns](#) 2003(02)

本文读者也读过(9条)

1. [赵继增. 刘忠选. 陈路兵. 周磊. 张广智. 刘永楷 垃圾焚烧炉用耐火材料的现状与发展](#)[期刊论文]-[耐火材料](#) 2000, 34(6)
2. [云斯宁. 蒋明学. 高里存. 唐仕英 垃圾焚烧炉用耐火材料的使用现状及发展趋势](#)[期刊论文]-[西安建筑科技大学学报\(自然科学版\)](#) 2002, 34(2)
3. [吴秋玲. 辛英杰 垃圾焚烧炉用耐火材料及发展趋势](#)[期刊论文]-[国外耐火材料](#) 2001, 26(1)
4. [华夏 城市垃圾焚烧炉的结构与炉衬用耐火材料](#)[期刊论文]-[工业加热](#) 2001(3)
5. [桂明玺. 秦福平 混合飞灰熔融对灰熔融炉用耐火材料损毁的影响](#)[期刊论文]-[国外耐火材料](#) 2003, 28(2)
6. [王迎春. 高文军 垃圾焚烧炉用不定型耐火材料的研制](#)[期刊论文]-[辽宁建材](#) 2003(4)
7. [崔春姬. 杨笛 碳化硅质耐火材料的开发与应用](#)[期刊论文]-[硅酸盐通报](#) 2001, 20(6)
8. [杨笛. 李寅雪. 李纯. Yang Di. Li Yingxue. Li Chun 新型碳化硅耐火材料的研制](#)[期刊论文]-[电力建设](#) 2001, 22(2)
9. [桂明玺. 全荣 新型炉排式焚烧炉](#)[期刊论文]-[国外耐火材料](#) 2004, 29(5)

引证文献(1条)

1. [宋明川. 王家彩. 王秋慧. 刘晓霞. 林艳娥 焚烧法处理巴豆醛废水](#)[期刊论文]-[环境科技](#) 2010(5)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_gyl200906012.aspx