

冶金研究



METALLURGY RESEARCH

(2006年)

主 编 朱鸿民

副主编 包燕平 李京社

冶金工业出版社



冶金研究

(2006 年)

主 编 朱鸿民

副主编 包燕平 李京社

北 京

冶金工业出版社

2006

内 容 提 要

本书收录了冶金方面的学术论文 103 篇,内容涉及钢铁冶金、有色金属冶金、冶金物理化学、冶金生态等专业;重点对炼铁原料与工艺优化、连铸工艺及质量控制、钢中合金元素行为、冶金物流管理、冶金生态等课题进行了深入探讨;所选论文内容均为近一两年科研项目和科研成果的总结。

本书可供冶金、环保、能源、管理等领域的科研、生产、教学人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

冶金研究. 2006 年/朱鸿民主编. —北京:冶金工业出版社, 2006. 4

ISBN 7-5024-3981-1

I. 冶… II. 朱… III. 冶金—文集 IV. TF-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 014686 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 刘小峰 于 光 美术编辑 李 心

责任校对 刘 倩 李文彦 责任印制 牛晓波

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2006 年 4 月第 1 版, 2006 年 4 月第 1 次印刷

210mm×297mm; 24.25 印张; 841 千字; 373 页; 1—1500 册

80.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

《冶金研究》编委会名单

主 编 朱鸿民

副主编 包燕平 李京社

委 员 (按姓氏笔画排序)

王新华 王福明 包燕平 邢献然

朱鸿民 苍大强 李京社 杨天钧

吴胜利 张建良 梅建军

前 言

金属作为重要的基础原材料,在社会发展和人民生活中发挥着举足轻重的作用。尽管面临着其他材料的竞争,由于金属材料在资源储量、生产成本、回收再使用率和良好的综合性能等方面所具有的明显优势,在可以预见的将来,金属材料在材料工业中占据的统治地位不会改变。

冶金工业是国民经济发展的重要基础产业,二十多年来我国冶金工业取得了令人瞩目的成就,已发展成为世界第一产钢大国和重要的有色金属生产大国。可以预计,今后10~20年是中国冶金工业更快发展、整体实现现代化、走在世界前列的重要时期。为实现这一目标,冶金高等学校应该在人才培养和科学研究方面做出重要的贡献。

北京科技大学冶金学科是国内历史最悠久的冶金学科,渊源于1895年伊始的北洋大学矿冶系。1952年全国高校院系调整时,北洋大学、唐山交通大学、西北工学院等5所高校的矿冶学科组建成北京钢铁学院(1988年改名为北京科技大学)并设立冶金系。冶金学科是北京科技大学的优势特色学科,师资雄厚,治学严谨,与冶金工业联系密切,半个世纪以来培养了大批高质量毕业生,获得了大批重要科学研究成果,为冶金工业的发展和冶金科技进步做出了重要的贡献,在国内外享有很高声誉。

2002年4月值北京科技大学建校50周年之际,北京科技大学发起举办了第一届“冶金工程科学论坛”,并对会议中发表的部分学术论文进行收录整理,由冶金工业出版社出版了《冶金研究》(2002)一书,受到了国内企业、院校、广大科技人员和冶金专业师生的欢迎。同年,北京科技大学还决定今后每年4月下旬都将定期举办“冶金工程科学论坛”,并对论坛上发表的学术论文进行整理,编辑出版《冶金研究》一书,以增强冶金学术交流,促进冶金科技发展,同时作为北京科技大学校庆的纪念。

“冶金工程科学论坛”学术报告范围包括冶金物理化学、钢铁冶金、有色金属冶金、冶金能源技术、冶金环境保护等领域的科学研究成果、新工艺、新技术、新产品等,欢迎国内冶金院校和企业的广大科技工作者踊跃投稿,共同办好“冶金工程科学论坛”。

为容纳更多的冶金前沿信息和冶金科研成果,更全面地反映冶金先进技术工艺和技术进步,并更好地保证文章的学术水平,《冶金研究》设立了编委会;编委会负责文章的组织、审定等工作。为便于读者查阅,在目录中对文章进行了粗略的分类。希望《冶金研究》能为广大冶金工作者提供更多的信息,为推动冶金技术进步,为推动技术创新,提供有益的参考。

编 者
2006年3月6日

目 录

炼铁原料与炼铁

烧结过程中 MgO 行为的试验研究(吴胜利 张作程 陈 泽 等)	1
温度对烧结脱硫影响的实验研究(刘凤娟 苍大强 李春增 等)	5
烧结布料均匀状态评价方法的研究(周 卫 张宗旺 赵晓骏 等)	8
莱钢低硅烧结技术生产实践及发展(裴春亭 杨世山 牛福成)	12
高配比烧结矿高炉炉料结构的优化(王高峰 刘志敏 杨世山)	16
鞍钢弓长岭球团矿配料结构优化研究(刘宏泉 孔令坛 梁德兰)	20
高炉内球团矿的高温反应性研究(吴胜利 田筠清 许海法)	24
新钢焦化炼焦配煤工艺优化(熊国兰 吴 铿 程兆源 等)	28
高产能高炉内物质流变化的解析及鼓风参数匹配技术的探讨(吴胜利 呼晓明 陈 辉)	31
邢钢纯高炉煤气提高风温的工业试验(郭保善 苍大强 宗燕兵)	36
炉渣性能对高炉低硅冶炼的影响研究(赵 霞 张建良 宋建成 等)	39
高炉风口循环区内煤粉燃烧率的研究(王保军 张建良 高征铠 等)	43
南钢 4 号高炉炉役后期的操作与维护(常 健 朱俊虹 郭 豪)	48
南(昌)钢 4 号无料钟高炉多环布料实践(万淑霞 杨世山 经文波)	51
邢钢 2 号高炉冷却水温差检测系统的开发与应用(马保良 左海滨)	56
埋纯铜管铸铜冷却壁传热性能研究(吴狄峰 程素森)	60
高炉铜冷却壁圆孔形与扁孔形水冷通道换热能力的比较(郑安阳 宗燕兵 苍大强 等)	63
新(余)钢铁水预处理脱硫工艺优化与生产实践(李京军 刘志敏 杨世山 等)	67

炼钢、精炼与连铸

南钢转炉炼钢过程温度优化研究(卢新春 常 健 刘 青)	70
邢钢 ML08Al 炼钢工艺研究(薛正学 钟保军 马富平 等)	74
集束氧枪射流特性的数值模拟(张 贵 朱 荣 韩丽辉 等)	78
集束油氧枪实验研究(张红兵 朱 荣 王振宙)	81
100 t 钢包底吹氩试验研究(朱经涛 谢翠红 王剑斌 等)	84
天津钢管公司 150 t 钢包底吹氩水模型试验(温德松 张 露 王振祥 等)	87
转炉出钢合成渣脱硫的应用研究(吴绍杰 陈伟庆)	90
LF 精炼过程完全自动化(于洪波 李 晶)	93
板坯连铸中间包流场数值模拟(王 霞 包燕平 金友林)	97
优化中间包结构提高方坯质量(陈付振 包燕平 岳 峰 等)	103
四流中间包水模优化实验(阮小江 李京社 王剑斌 等)	107
新钢板坯中间包采用控流槽的水模拟实验(夏文勇 赖朝彬 刘建华 等)	110
石钢中间包流场数学模拟及物理模拟的研究(刘志国 苍大强 刘卫华 等)	114
大方坯连铸结晶器内钢水的冲击深度与液面波动(王维维 张家泉 董进明 等)	118
旋流水口对结晶器流场影响的数值模拟(陈艳燕 范玉妹 张炯明)	122
新钢板坯结晶器黏结漏钢的探讨(廖 鹏 刘 青 赖朝彬)	126

矩形坯连铸结晶器温度场的数值模拟(白居冰 刘 青 丁秀中)	131
板坯连铸结晶器漏钢预报系统浅析(吴国庆 张家泉 江中块 等)	134
正交表试验设计在板坯连铸结晶器内钢液流场模拟中的应用(黄 筠 魏雪晴 李士琦 等)	137
结晶器内置式电磁搅拌器空载磁场特性分析(王 坤 张海宁 王新华 等)	141
180 mm ² 方坯内置式结晶器电磁搅拌的数值模拟(陈 峰 陈伟庆 李国忠 等)	145
拉速和比水量对连铸小方坯冶金长度的影响(钱宏智 张家泉 魏 军 等)	149
新钢板坯连铸二冷分析研究(李明发 张炯明)	153
连铸小方坯二冷控制参数优化与应用(王东柱 张家泉 顾兴钧 等)	157
马钢异形坯连铸机二冷制度的优化(陈高兴 刘建华 包燕平 等)	161
CSP 薄板坯连铸机液芯压下对比试验研究(阳 军 苏 亮 田乃媛 等)	165
浇铸过热度对轴承钢 GCr15 宏观碳偏析的影响(孙红英 成国光)	169
连铸坯不同凝固区域宏观偏析的研究(曾 涛 张炯明 王新华 等)	173
薄板坯生产深冲钢中洁净度研究(张彦欣 张炯明 王新华 等)	177
邯钢 CSP 薄板坯钢中氮化物的研究(张 文 吝章国 张 梅 等)	181
连铸板坯夹杂物的综合评定(任翠英 张家泉 韩乃川 等)	186
国内外含硫结构钢中硫化物形态的对比(简 龙 陈伟庆 惠 荣 等)	190
硫含量对中碳钢高温力学性能的影响(秦 哲 严国安 孙彦辉 等)	193
唐钢低碳铝镇静钢硅含量的控制研究(李 云 李 静 李 宏 等)	196
微合金高强度钢中的纳米铁碳析出物(吴华杰 傅 杰 刘阳春)	199
含铌易切削非调质钢 YF45VNb 性能的研究(薛立秋 朱 荣 梁立群 等)	203
20CrMnTi(H) 钢横向高温延塑性的研究(武守防 李 宏 王恭亮 等)	205
轴承钢中钙铝酸盐夹杂物行为研究(石超民 缪新德 于春梅 等)	209
国内外弹簧钢洁净度研究(李 奇 许中波 王海涛)	213
CaO-MnO-SiO ₂ -Al ₂ O ₃ 四元系夹杂物熔化性温度的计算(金利玲 王海涛 许中波 等)	217
螺纹钢控冷轧制的组织结构与性能研究(姜丰达 苍大强 宗燕兵)	221
Cr12 型模具钢氧化法冶炼新工艺(陈三芽 朱 荣 梁立群)	224
超声波导入方式对金属凝固组织的影响(李 杰 陈伟庆)	227
电处理对工业纯铝凝固组织的影响(崔 衡 李玲珍 宗燕兵 等)	230
直流电场对铝合金定向凝固过程的影响(章 俊 李玲珍 宗燕兵 等)	233
电脉冲孕育处理对 Al-18%Si 凝固过程及组织的影响(刘 波 王静松 于文涛 等)	237
电脉冲孕育处理时间对 Sn-15%Pb 合金凝固组织的影响(于文涛 王静松 唐培新 等)	241
硅含量对 Fe-Si 合金电脉冲孕育处理效果的影响(唐培新 王静松 刘 波 等)	245

冶金流程

宣钢取消混铁炉可行性分析(吕冬瑞 田乃媛 李相臣)	249
喷吹法和搅拌法铁水脱硫工艺生产成本的综合评估(姜晓东 徐安军 田乃媛 等)	252
超大型钢厂转炉公称容量优化选择(张 锦 张龙强 田乃媛 等)	256
中厚板加热炉生产能力的解析(张志宏 刘 青 赖朝彬)	260

有色金属冶金

超细及纳米硬质合金中碳含量的变化及对组织性能的影响(张梅琳 朱世根 朱守星)	263
用氧气直接氧化锰的水解物制备化学二氧化锰(邹 兴 侯丽娟 邹洁钢)	267
用硫酸锰溶液直接制备四氧化三锰反应机理的研究(陈德胜 邹 兴 侯丽娟)	270

镁及镁合金中夹杂的分析及其提纯方法(朱 骏 薛济来)	274
采用真空薄带速凝工艺研制低钴贮氢合金(张树雄 宋 波 毛璟红 等)	279
铬盐清洁新工艺中富铁渣用作脱硫剂的研究(杨文刚 张 梅 王习东 等)	283
偏钒酸铵热分解机构的研究(张 梅 林 勤 徐爱菊 等)	286
TiO ₂ 纳米流体的导热系数测定(金 翼 苍大强 宗燕兵 等)	290
WSi ₂ 基陶瓷材料的研究(韩欢庆 卢惠民 邱定蕃)	293
电化学方法制备钕铁合金的探讨(赵进宣 郭兴敏)	296
NaCl-2CsCl 熔盐体系中 NdCl ₃ 阴极过程(肖赛君 焦树强 朱鸿民)	299
液相还原制备纳米 NbN 粉末(张威峰 马春红 杨 梅 等)	301
纳米钼粉的制备及其晶体结构(马春红 张威峰 杨 梅 等)	304
太空反射绝热涂料在高温下保温机理的研究(曹光远 郭汉杰 姜碧涛)	307

冶金生态

钢铁企业水系统集成研究(刘 建 苍大强 李素芹 等)	311
电磁处理热轧废水技术研究(张雪峰 牛永红 苍大强 等)	314
固定化活细胞工艺处理焦化废水试验研究(鲁晓娟 苍大强 王庆旺 等)	317
复合电化学法预处理焦化废水试验研究(姜军芳 苍大强 刘凤娟)	320
高温下固体颗粒层过滤除尘技术的实验室研究(秦红霞 宗燕兵 何 鹏 等)	322
压力损失对颗粒床除尘的影响研究(何 鹏 宗燕兵 秦红霞 等)	325
南钢高炉煤气布袋除尘工艺应用实践(苍大强 黄永强 邓小明 等)	328
邢钢转炉污泥再资源化的试验研究(李 鑫 王灿国 孙汉勇 等)	331
换向方式对蓄热式加热炉的影响分析(章伟成 张武军)	335
烟道内导流板的优化设计(张少华 程树森)	338
氧气高炉—联合循环发电的研究(刘 佳 张建良 赵志星 等)	343
钢铁行业铁素生态化代谢途径(唐 卓 苍大强 宗燕兵 等)	348
生态钢铁工业发展方法研究(但智钢 苍大强 宗燕兵 等)	351
生态工业技术评价指标体系在钢铁行业中的应用(杨 明 苍大强 宗燕兵 等)	354
脲酶抑制剂的作用机理与效应(李 彬 郑福丽 石元亮)	357
冶金企业 B/S 模式管理信息系统的网络安全(张广彬 苍大强 宗燕兵 等)	360
新疆钢铁工业发展的优势和制约因素探讨(郝经纬 张汉东 陈 煜 等)	363
石灰石最佳煅烧条件的研究(孟金霞 陈伟庆)	367
红柱石合成莫来石结构的研究(宋 文 康华荣 张 玲 等)	371

烧结过程中 MgO 行为的试验研究

吴胜利 张作程 陈 泽 董亚峰 余晓波

(北京科技大学)

摘 要:长期以来,人们对 MgO 在烧结矿中的作用给予了积极评价。但是随着烧结矿中 SiO_2 含量的降低, MgO 在烧结矿中的负面作用逐渐显现。本文通过试验研究 MgO 对烧结固相固结强度、液相固结强度以及液相生成状况的影响规律,对烧结过程中 MgO 的行为进行了深入考察。研究表明, MgO 对液相固结强度的影响具有两面性,但它会阻碍固相反应的进行,且会抑制烧结液相的形成和流动。

关键词: 铁矿粉 烧结 MgO 固相反应 液相生成

The Experimental Study on the Behavior of MgO in the Sintering

Wu Shengli Zhang Zuocheng Chen Ze Dong Yafeng Yu Xiaobo

(University of Science and Technology Beijing)

Abstract: For a long time, an active estimate was given to the effect of MgO in the sintering. As the lower content of SiO_2 in the sintering, the negative action of MgO in the sintering gradually appeared. On the basis of studying the orderliness of solid-phase concretion intension, liquid phase concretion intension and liquid creating what the action of MgO was in the sintering in laboratory, the action of the MgO was studied in the sintering process deeply. The study indicated: the effect of MgO worked for the liquid phase concretion intension had two-sidedness; MgO blocked the process of solid phase reaction and bated the forming and flowing of sintering liquid phase.

Keywords: iron ore sinter MgO solid reaction liquid creating

1 引言

国内多数高炉都使用高碱度烧结矿配加酸性球团矿或天然块矿的复合型炉料结构,烧结矿的使用比例在 70% 以上,故烧结矿的产、质量对钢铁企业的生产有举足轻重的影响。

20 世纪 50 年代,当时生产的烧结矿属于自熔性烧结矿,由于其冶金性能差,人们开始把白云石加到烧结料中,研究和生产含 MgO 的烧结矿。到了 70 年代,含 MgO 的烧结矿在我国逐渐发展起来^[1]。进入 80 年代后,我国在开始生产高碱度烧结矿的同时,依然重视 MgO 在烧结矿中的正面效果,对改善高碱度烧结矿的自然粉化起到了重要作用^[2]。

另外,在高炉炼铁过程中,为了改善炉渣性能,需要入炉原料中含有一定的 MgO。因为我国高炉炉料结构中烧结矿的比例高,加之 MgO 在烧结矿中的上述正面效果,所以长期以来烧结矿中的 MgO 含量维持在较高水平。

但是,90 年代以后,随着高炉精料技术的发展,烧结矿的含铁品位不断提高,烧结矿中的 SiO_2 含量逐渐降低到 5% 或以下水平^[3]。笔者认为,在这样的条件

下,应当重新审视烧结矿中 MgO 的作用。事实上,高品位、低 SiO_2 烧结矿的固结强度不足的问题已经显现,而昔日的软熔性能差、易自然粉化的情况,已随着烧结矿 SiO_2 含量的降低而得到明显改善。另外,笔者之一曾在国内相关学术会议上多次提出,在新的精料技术条件下, MgO 在烧结矿中的负面影响已成事实,应该考虑如何降低 MgO 对烧结矿固结强度的影响,并考虑在球团矿中加入 MgO 或者以其他方式确保高炉造渣所需的适宜 MgO 含量,即:高炉炼铁过程合理的 MgO 配置问题已成为钢铁企业亟待解决的研究课题。

本文主要针对 MgO 在烧结过程中的行为进行深入研究,明确在高品位、低 SiO_2 烧结矿中 MgO 影响烧结固相反应、液相生成以及固结成矿的内在机理,以正确评价 MgO 在烧结过程中的作用,为钢铁企业根据其原料条件确定烧结矿中适宜的 MgO 含量水平,以及为在整个高炉炼铁工艺过程中合理配置 MgO 提供理论基础和技术依据。

2 试验方法

MgO 在烧结过程中的行为,可以通过试验研究含

MgO的烧结原料在烧结过程中的固相固结强度、液相固结强度以及液相生成状况等予以把握。

本文应用微型烧结方法,试验研究了MgO对烧结固相固结强度、液相固结强度以及液相生成状况的影响规律。微型烧结法所用的主要设备包括微型烧结装置、压样装置和抗压强度检测装置等^[4]。

本试验所用的烧结原料来源于国内某大型钢铁企业,其主要的化学成分列于表1。

表1 试验用混匀矿以及碱性熔剂的化学成分(%)

原料	TFe	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	P	S	烧损
混匀矿	61.78	3.67	0.74	1.39	0.23	0.13	0.015	4.52
MgO试剂			0.01		98.00			1.01
CaO试剂	0.01		98.00				0.01	1.23

3 MgO对烧结固相反应的影响

烧结料固相反应主要是在液相还没有充分生成之前,相互接触的某些组分之间,在固体状态下发生接触反应,生成新的化合物等,且铁氧化物也会发生再结晶和晶体长大^[5],这些固相反应的结果可以使得散状料固结成块。本文通过烧结混匀矿来研究MgO对试样固相固结反应的影响规律。由于其是各种高品位铁矿粉的组合,脉石含量很少,基本上可以忽略液相的生成。

在烧结混匀矿条件下,首先考察了不外加MgO的情况,然后通过配加MgO试剂考察了不同MgO含量下的情况。MgO含量的改变对混匀矿固相固结反应的影响,可以通过试样的固相固结强度变化来反映。在本试验中,则是由不同试样的烧结后抗压强度来表示。本试验在三个温度水平下进行了研究,其试验结果的比较见图1。图中不添加任何MgO试剂的标为“自然”(下同)。

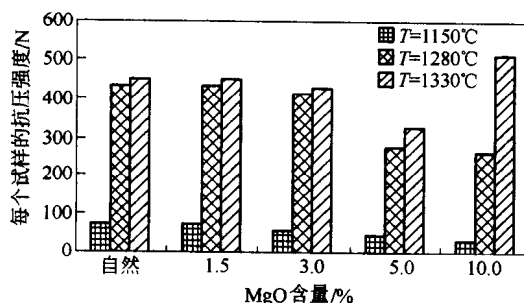


图1 混匀矿固相固结强度随试样MgO含量的变化

由以上结果可知:

(1) 随着MgO含量的升高,烧结混匀矿在1280℃及以下温度时,其固相反应后试样的固结强度下降。分析认为,由于温度较低,MgO不能有效地参与物理化学反应,再加上固相反应本身进行的就比较慢,故MgO的正面作用的发挥受到限制。相反,由于未反应

的MgO颗粒阻碍了铁矿粉颗粒之间连晶以及新化合物生成等反应的发展,因此出现了试样固结强度下降的现象。

(2) 当试验温度达到1330℃时,烧结混匀矿固相反应后,试样固结强度呈一个随MgO含量升高而先下降后升高的趋势。分析认为,在1330℃的高温下,固相反应进行得较充分,生成了一定量的磁铁矿,当MgO含量达到一定程度时,MgO稳定磁铁矿的作用开始显现,且在MgO含量为10%时,还可以生成镁橄榄石等低熔点物质,部分填充在铁矿物之间,直接成为胶结相,提高了试样的强度,再加上磁铁矿的连晶能力比赤铁矿强,所以在1330℃下,当MgO含量达到一定程度后试样强度会升高。

应当指出,烧结矿中的MgO含量一般不会超过4%,因此在这一MgO含量范围内,MgO的存在将在一定程度上阻碍烧结过程的固相反应,从而对烧结矿的固相固结强度产生负面影响。

4 MgO对烧结液相固结强度的影响

在本试验中,烧结混合料是在混匀矿基础上配加熔剂,使其二元碱度达到2.0。在使用这样的烧结混合料的条件下,采用上述试验方法,考察MgO含量变化对试样固结强度的影响规律。试验结果如图2所示。

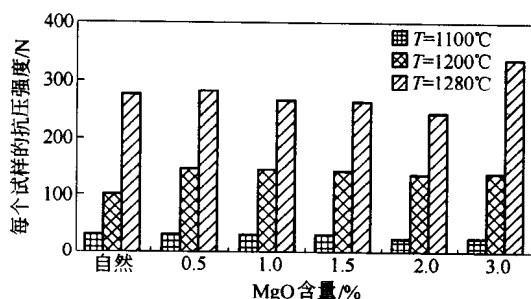


图2 不同MgO含量的、二元碱度2.0的烧结混合料的固结强度比较

由以上结果可知:

(1) 当试验温度在1100℃时,随着试样MgO含量在0~3%范围内逐步增加,在1% MgO含量处有一个固结强度的最高点,但总体上看固结强度呈下降趋势。

(2) 当试验温度在1200℃时,当试样中的MgO含量在0~3%范围内逐步增加时,在其含量0.5%附近有一个固结强度的最高点,随后固结强度呈下降趋势。

(3) 当试验温度在1280℃时,随着MgO含量的增加,试样的固结强度基本呈现“先降低后升高”的趋势,其转折点在MgO含量为2%附近。另外,相对固结强度的下降幅度而言,升高的幅度大得多。

分析认为,当烧结混合料中含有较高的CaO之后,由于液相的生成,以及正硅酸钙(2CaO·SiO₂,简记

为 C_2S) 的出现,影响试样液相固结的因素复杂化,导致 MgO 的影响也不再是单调的了。这是因为 MgO 属于高熔点物质,它的存在会影响液相的生成;而 MgO 同时又具有能够阻止 C_2S 相变的正面作用。

在 MgO 含量很低时,它对液相生成的影响较小,而抑制 C_2S 相变的作用相对大,因此有利于改善试样的液相固结强度;随后,当 MgO 含量继续升高时,它的高熔点特征表现相对强烈,使得黏结相熔化温度上升,在温度一定时,相对减少了液相数量,而抑制 C_2S 相变的作用相对变小,从而影响试样的液相固结强度;当温度较高时,含 CaO 较多的烧结混合料将出现较多的正硅酸钙,其在冷却过程中会发生 $\beta-C_2S$ 向 $\gamma-C_2S$ 转变的相变反应,这个过程将有 10% 的体积膨胀,从而导致固结强度的下降。而 MgO 可以固溶于 $\beta-C_2S$ 中,有稳定 $\beta-C_2S$ 的作用, C_2S 的相变受到抑制,从而可以改善试样的液相固结强度。本试验中 1280℃ 时的高 MgO 试样的液相固结强度明显上升就是这个原因所致。

由此可见,MgO 对烧结液相固结强度的影响有两面性,当液相不足是主要矛盾时,MgO 的负面影响起主要作用;而当正硅酸钙相变是固结强度的限制性环节时,MgO 则可以发挥其正面作用。

另外,与纯固相反应的图 1 情况相比,在相同的 MgO 含量下,配入 CaO 后试样的固结强度下降。分析认为,除了正硅酸钙存在的原因之外,主要还是因为添加碱性熔剂后可以生成低熔点化合物,而液相固结比固相固结强度要弱,同时液相的生成也会阻断固相固结,故引起试样固结强度的降低。

5 MgO 对烧结液相生成的影响

烧结过程中,一些低熔点物质在高温作用下熔化成液态物质,在冷却过程中,液体物质凝固而成为那些尚未熔化和溶入液相的颗粒的坚固连接桥。因此,液相生成是烧结矿固结的基础,液态物质的数量直接关系到烧结混合料的固结状况。

本文通过测定烧结混匀矿的有效液相的形成温度以及液相流动性,考察了试样中 MgO 含量对烧结液相生成的影响规律。试验方法基于铁矿粉烧结基础特性中液相流动性的测定方法^[4]。不同 MgO 含量下烧结混匀矿的有效液相开始形成温度见图 3,而不同温度下烧结混匀矿的液相流动性指数随 MgO 含量变化的特征示于图 4。

由以上试验结果可以看出,随着试样中 MgO 含量的升高,有效液相开始形成温度明显升高,且烧结液相流动性逐渐降低。分析认为,由于 MgO 属于高熔点物质,在烧结温度一定时,随着 MgO 配加量的增加,烧结液相的形成温度必然升高,液相黏度增大,流动性降低。因为烧结过程中烧结原料并不是全部熔化后再凝固,而是部分原料熔化后靠其流动将未熔化的原料黏

结成一体,所以烧结液相生成和流动的状况将对烧结矿固结强度产生重要影响。由此可见,烧结矿中 MgO 含量的增加会导致烧结液相生成和流动状况变差,而 MgO 的这一烧结行为,正是它影响烧结矿冷态强度的关键。

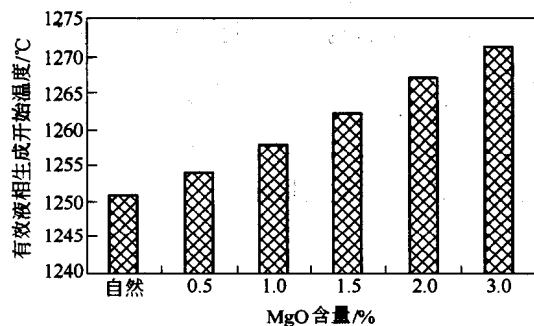


图 3 不同 MgO 含量下混匀矿的有效液相开始形成温度

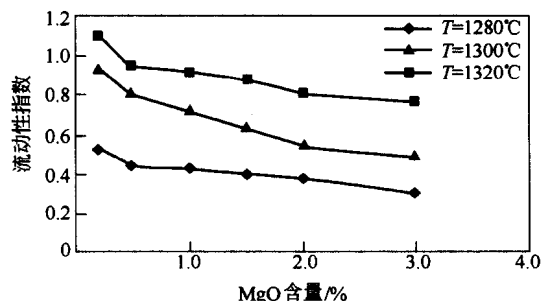


图 4 混匀矿的液相流动性指数随 MgO 含量变化的特征

当烧结原料中使用的铁矿粉的液相流动性不足时,过多配加 MgO 将会突显它的负面影响,导致烧结矿冷态强度下降,烧结矿粒度组成变差,平均粒度减小,5~10 mm 的小粒度烧结矿量升高。但是在烧结原料的液相流动性较高的情况下,MgO 的这一负面影响将减小。因此,在评价 MgO 在烧结过程中的作用时,应根据具体情况予以正确的分析和判断。

应当指出,在当今生产高品位、低 SiO_2 烧结矿的情况下,特别是进口矿使用比例较高时,烧结液相生成条件较苛刻,此时不宜过多提高烧结矿的 MgO 含量,以避免影响烧结矿的强度和粒度组成等指标。

6 结论

通过对 MgO 在烧结过程中行为的试验研究,可以归纳得到如下认知:

(1) 在铁矿粉烧结工艺条件下,烧结原料中配加 MgO 时,MgO 颗粒将会阻碍铁矿粉颗粒之间的连晶以及新化合物生成反应的发展。MgO 的这一影响固相反应的行为导致了烧结矿的固相固结强度的下降。

(2) MgO 对烧结原料液相固结的影响具有两面性,它的高熔点特征将会使得液相固结减弱,而它易固溶于 $\beta\text{-C}_2\text{S}$ 中使其稳定的作用,可以抑制烧结矿的粉化,从而可以改善固结强度。

(3) 随着烧结矿中 MgO 含量的增加,烧结有效液相形成温度明显上升,烧结液相流动性降低。MgO 的这一烧结行为,是影响烧结矿强度和粒度组成的本质问题所在。

(4) 在进口矿使用比例较高条件下生产高品位、低 SiO_2 烧结矿时,应注意控制烧结矿中的 MgO 含量,以改善烧结矿的产、质量指标。

参考文献

- 1 毛学庆,译.白云石对烧结矿性能的影响.烧结球团,1982,(3)
- 2 胡桂生,谭福华,冯志坚.包钢烧结矿适宜 MgO 含量工业试验总结.包钢科技,1996,(3)
- 3 余永富,段其福.降硅提铁对我国钢铁工业发展的重要意义.矿冶工程,2002,(9)
- 4 吴胜利,杜建新,马洪斌,张作程,陈辉.铁矿粉烧结液相流动特性.北京科技大学学报,2002,24(3):254~257
- 5 王筱留,主编.钢铁冶金学(炼铁部分).第2版.北京:冶金工业出版社,2000

温度对烧结脱硫影响的实验研究

刘凤娟¹ 苍大强¹ 李春增² 姜军芳¹

(1 北京科技大学 2 石家庄钢铁有限公司)

摘 要:用烧结饼微型试验法研究了温度对烧结过程脱硫的影响。在电阻炉中焙烧烧结小饼,采用化学方法对烧结饼进行分析,结果表明温度对烧结过程的脱硫有显著影响,合适的烧结温度可以使烧结料中 70% 以上的硫固化在烧结矿中,大大减少烧结废气中 SO_2 排放量。在此基础上提出了烧结过程进行固硫控制的思想和建议。

关键词: 烧结 脱硫 温度

Experimental Study on the Temperature Effect on the Desulfurization in Sintering

Liu Fengjuan¹ Cang Daqiang¹ Li Chunzeng² Lou Junfang¹

(1 University of Science and Technology Beijing 2 Shijiazhuang Iron and Steel Liability Co., Ltd.)

Abstract: Temperature effect on the desulfurization of sintering process is investigated by mini-sintering test. The boasted batch agglomerations with resistance furnace are analyzed with chemical methods. The results show that the desulfurization is affected dramatically by the sintering temperature, and over 70% sulfur remains in the sinter with the ideal temperature, while SO_2 of emitted exhaust gas is reduced efficiently. Based on these results, some ideas and suggestions are presented on the fixing sulfur of sinter process.

Keywords: sintering desulfurization temperature

1 引言

SO_2 与工业粉尘、烟尘并列为三大污染物。1995 年我国二氧化硫排放总量为 2370 万 t, 达到最高水平, 居世界第一位, SO_2 污染使我国近三分之一国土面积出现酸雨, 成为世界三大酸雨地区之一^[1]。大气中 SO_2 污染主要由燃煤、石油燃烧和烧结过程外排的含 SO_2 烟气造成的。生产烧结矿所使用的原、燃料含有的硫在烧结过程中约有 90% 呈 SO_2 状态脱出。我国大部分烧结厂未采取烟气脱硫措施, 用高烟囱稀释扩散的方法直接排入大气。烧结生产过程中原燃料中大部分的硫以气态 SO_2 形式随机头废气排除, 严重污染空气, 危害生物和人体健康, 因此烧结过程排放的二氧化硫日益引起人们的重视。

目前对烧结烟气 SO_2 排放的控制方法^[2]主要有低硫原料配入法、高烟囱扩散稀释法、烟气脱硫法等。国家标准对大气污染物控制实行的是浓度和排放总量必须同时达标, 因此, 高烟囱排放法在我国受到限制; 低硫原料配入法由于对原料含硫要求严格, 使原料来源受到了一定的限制; 烟气脱硫法是控制烧结烟气中 SO_2 污染最有效的方法, 但基建投资和日常运行费用高。因此在烧结过程进行固硫, 从过程上控制污染, 对

控制 SO_2 排放有重要意义。本文采用烧结饼微型试验方法在这方面做了一些探索性研究。

2 实验方法

采用烧结生产用料和化学试剂压制成小饼, 在电炉中焙烧成烧结小饼。将铁精矿、生石灰、白云灰和硫化亚铁研磨至 0.9 mm 以下, 焦粉研磨至 1.6 mm 以下, 实验用铁精矿粉为首钢烧结生产所用精矿, 硫化亚铁为化学试剂。烧结的原燃料、硫化亚铁和添加剂按一定配比加水混匀, 配成水分为 7% 的混合料, 在一定压力下保压 1 min, 压制成 $\phi 30 \times 9$ mm 的混合料小饼, 自然风干后, 放入箱式电阻炉中加热, 自然通风, 将各矿粉制成的小饼试样在不同的烧结制度下进行焙烧, 烧结饼研磨后, 进行化学分析。

在配加燃料和不配加燃料的条件下, 分别进行温度为 T_1 、 T_2 、 T_3 的系列试验。

3 实验结果与分析

3.1 实验结果

3.1.1 配加燃料时不同温度的脱硫效果

为了分析实验过程中烧结料中硫含量的变化, 在

烧结配料时配入硫化亚铁,配比为0.6%,以提高烧结料中硫含量,相当于使用高硫铁料,焦粉配比为2.9%,碱度为2.1,焙烧时间为10 min,实验结果见表1。烧结的脱硫率的变化见图1。脱硫率用下式计算:

$$D_s = \left(1 - \frac{Q_2 S_2}{Q_1 S_1}\right) \times 100$$

式中 Q_1, Q_2 ——分别表示干烧结料的质量和成品烧结矿的质量,kg;

S_1, S_2 ——分别表示干烧结料和成品烧结矿的平均含硫量,%。

表1 配加燃料时不同温度实验混合料及烧结饼中的硫含量(%)

混合料	烧 结 饼		
	T_1	T_2	T_3
0.36	0.16	0.044	0.024

从表1和图1可以看到,随着焙烧温度的升高,烧结饼中硫的含量下降,脱硫率升高。温度为 T_1 时,烧结脱硫率为57.14%;温度升高到 T_2, T_3 ,烧结过程脱硫率显著升高,分别为88.21%、93.57%。

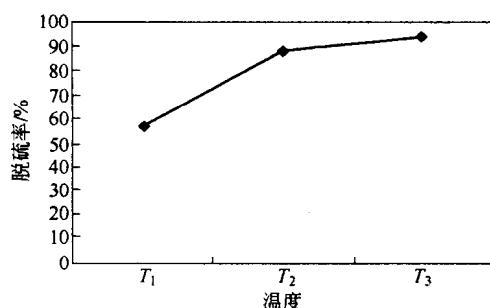


图1 配加燃料时不同温度烧结的脱硫率

3.1.2 不配燃料时不同温度的脱硫效果

在铁料中配入硫化亚铁试剂提高原料硫的含量,碱度为2.2,焙烧时间为6 min,为了排除碳在烧结过程给脱硫效果带来的影响,混合料中不配焦粉,这样压制的小饼内部不含燃料,其物化反应和液相形成都靠外来热量支持,与烧结过程的焦粉燃烧相比,温度容易控制,经过一定的时间才能达到内外均匀,结果较为稳定。实验结果见表2。

表2 不配燃料时不同温度实验混合料及烧结饼硫含量(%)

混合料	烧 结 饼		
	T_1	T_2	T_3
0.31	0.25	0.053	0.018

由表2和图2可见,随着焙烧温度的升高,烧结饼中的硫含量随之降低,脱硫率升高。温度为 T_1 时,烧结饼中硫的含量降低幅度不大,脱硫率为22.24%;温

度升到 T_2 ,焙烧后,烧结饼中硫的含量降低的幅度较大、烧结的脱硫率平均为81.95%;温度升到 T_3 ,烧结的脱硫率高达94.40%。

除了焙烧温度对烧结过程的硫的变化影响较大外,从图1和图2还可以看出,不配燃料和缩短焙烧时间后,焙烧温度为 T_1 时,烧结的脱硫率较低。

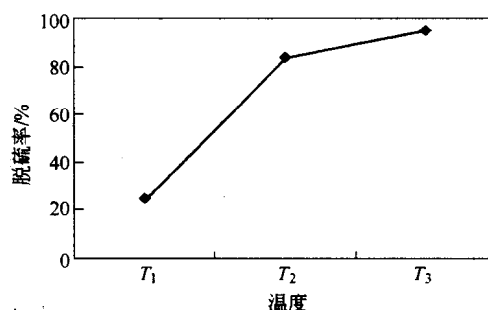


图2 不配燃料时不同温度烧结的脱硫率

3.2 结果分析

众所周知,烧结过程脱硫效果和燃料用量和性质、烧结矿碱度及矿石的物理化学性质等因素有关。用烧结饼微型实验法研究温度对烧结脱硫的影响,由于用电炉外部加热,不同于烧结生产燃料燃烧生热,因此主要考虑了焙烧温度、燃料用量、烧结料初始硫含量及焙烧时间的因素:

(1) 由于铁料中的硫多数以硫化物形式存在,为了较好地反映烧结实验过程硫的变化,在混合料中配入硫化亚铁试剂,提高烧结料中初始硫含量。实验结果发现,在烧结过程硫的含量发生了明显变化。

(2) 燃料的用量对烧结脱硫有较大的影响,燃料配比高时,还原气氛增强,抑制硫化物的氧化,不利于烧结的脱硫;另外,烧结料中氧化亚铁含量升高,氧化亚铁和硫化亚铁形成易熔的共晶,液相增多^[3],这样就导致了扩散条件恶化,影响烧结过程的脱硫。因此实验是在配加燃料和不配加燃料两种条件下进行的。配加燃料时焦粉配比为2.8%、焙烧时间为10 min,烧结的脱硫率较高;不配燃料和缩短焙烧时间后,烧结的脱硫率降低。

(3) 焙烧温度对烧结过程脱硫有显著影响,降低烧结温度不利于脱硫。不配燃料,焙烧温度为 T_1, T_2, T_3 时,烧结的脱硫率分别为22.24%、81.95%、94.40%,由于铁料中的硫主要以硫化物形式存在,而硫化物烧结脱硫主要是氧化反应,高温、氧化性氛围有利于脱硫;燃料量不足时,烧结温度低,氧化反应速度慢,使脱硫率降低。尤其是焙烧温度为 T_1 时,烧结的脱硫率较低,仅为22.24%,相当于有77.76%的硫残存在烧结矿中。

4 结论

焙烧温度对烧结过程脱硫有显著影响,降低烧结温度不利于脱硫。在不配燃料、焙烧温度低时,烧结过程脱硫率较低,70%以上的硫留在烧结矿中,也就是说,降低烧结温度有利于固硫,从而可减少烧结废气中 SO_2 的排放量。因此对于无法避免而带入烧结料中的硫,控制烧结温度进行固硫值得深入研究。

参考文献

- 1 孙荣庆. 我国二氧化硫污染现状与控制对策. 能源与环境, 2006, 25(7): 26
- 2 胡国生. 攀钢烧结烟气脱硫技术研究. 工业安全与环保, 2002, 28(8): 8~9
- 3 中南矿冶学院团矿教研室. 铁矿粉造块. 北京: 冶金工业出版社, 1978: 80

烧结布料均匀状态评价方法的研究

周 卫¹ 张宗旺¹ 赵晓骏¹ 马骆文²

(1 北京科技大学 2 宝钢股份有限公司)

摘 要: 首次提出了烧结机宽度方向上布料均匀性的定量评价指数,采用检测废气温度的方法,构建烧结机尾废气平面温度场,并通过对该温度场的分析和对烧结料层的微分热平衡分析,建立该评价指数的数学模型。该模型可以比较客观、科学、定量的反映烧结布料的均匀程度。

关键词: 均匀性评价指数 温度场 数学模型

Study of the Evaluated Method about the Distribution Evenness along the Width of Sinter Machine

Zhou Wei¹ Zhang Zongwang¹ Zhao Xiaojun¹ Ma Luowen²

(1 University of Science and Technology Beijing 2 Baosteel)

Abstract: Evaluated evenness index about the burden's consistency in the sinter machine's width has been firstly put forward in this paper. And at the same time, its mathematical model is created by means of analyzing the thermo-balance of differential burden sector, and the discharge gas temperature pattern that is provided by the thermocouples installed under the sinter machine. The evenness index is able to reflect the uniformity degree of mixture's distribution objectively, scientifically and quantitatively.

Keywords: evaluated evenness index temperature pattern mathematical model

1 引言

烧结混合料在台车上分布是否均匀,直接影响着烧结矿的产量、质量和能耗,均匀布料是烧结系统自动控制的主要目标之一。

长期以来,有关研究工作的重点主要放在如何改进布料装置,以实现混合料床的密实程度、料面高度的均匀一致,并取得了良好的生产效果。

由于烧结过程的连续性和长滞后的特点,混合料一经布到烧结机上,即无法实施再调整。其分布是否均匀,只能通过机尾操作工对机尾烧结矿床断面情况的人工经验判断,并将分析判断结果反馈给自动控制系统,这种生产结果信息的反馈方式,严重制约了基础自动控制系统效能的发挥。

近年来,国内外已在此方面开展了一定程度的研究工作^[1],而在布料均匀性的定量评价上未见文献报道。本文以宝钢3号烧结机为研究对象,在定义布料均匀性指数定量评价方法的基础上,尝试通过对烧结混合料床的热平衡和气体力学分析,构建表述该评价指数的数学模型,以期利用生产过程废气温度检测信息,实现混合料床均匀状态的在线定量分析。

2 布料均匀性评价指数的提出及定义

如图1所示,沿烧结断面宽度方向将烧结混合料床等分为 $M(j=1, 2, \dots, M)$ 个区域,并认为烧结混合料床宽度方向上除密实度外无其他偏析,如果第 j 区域的混合料质量为 $m_j(\text{kg})$,各等分区域的混合料平均质量为 $\bar{m}(\text{kg})$ 。

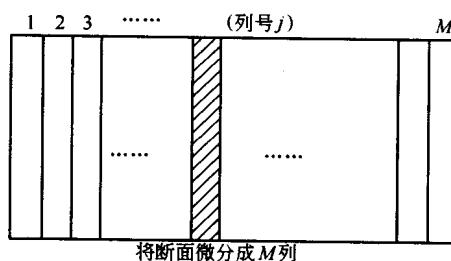


图1 烧结宽断面微分示意图

定义:第 j 区域的布料均匀性指数 θ_j 为:

$$\theta_j = \frac{m_j}{\bar{m}}$$

由物理学知:

$$m_j = \Delta L \Delta w h \rho_0 (1 - \epsilon_j)$$

$$\bar{m} = \Delta L \Delta w h \rho_0 (1 - \bar{\epsilon})$$

式中 θ_j ——第 j 列的布料均匀性指数;

h ——料层厚度, m;

$m_j, \bar{m}$ ——第 j 区域混合料质量和各个区域的平均质量, kg;

$\Delta L, \Delta w$ ——分别是烧结机长度和宽度方向上的微分量, m;

ϵ_j ——第 j 区域料床的空隙率;

$\bar{\epsilon}$ ——料层的平均空隙率。

则第 j 列的布料均匀性指数 θ_j 可表示为:

$$\theta_j = \frac{1 - \epsilon_j}{1 - \bar{\epsilon}} \quad (1)$$

式(1)即为所定义的布料均匀性指数的数学表达式。

3 机尾废气平面温度场的建立及分析

本研究以宝钢3号烧结机为对象,在15~23号风箱间,每个风箱安装6个热电偶(均布),形成6×9的烧结废气温度检测阵列(见图2),建立烧结机尾废气温度平面温度场。



图2 热电偶分布图

通过对上述温度场的分析,发现对于任意一列废气温度测点,其温度分布均具有如图3所示的特征。取其拟合曲线 $y = f(x)$ 上与45°直线相切的点为温度上升点(x_1),而曲线上的最高温度点为烧结终点(x_2)。

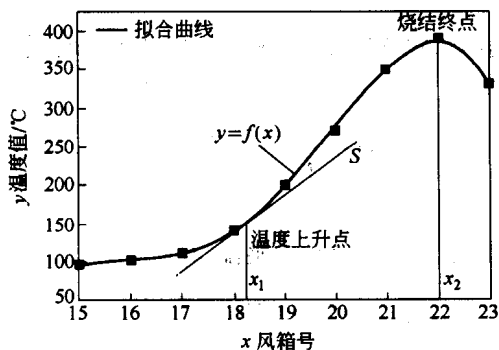


图3 温度拟合曲线

由烧结工艺理论可知: x_1 点对应燃烧带前沿接近台车算子的位置,而 x_2 点对应燃烧带最高温度抵达台

车算子的位置,燃烧过程即将完成。因此,曲线在 $[x_1, x_2]$ 区间与横坐标轴所围区域的面积 $S = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx$,一定程度上表征了这一期间废气由烧结过程所获得的热量。

按上述方法处理,6列检测点将获得6组对应混合料区域的温度上升点 x_1 、烧结终点 x_2 和面积 S 。

4 布料均匀性指数模型的建立及推导

在烧结料床横向等分微分的基础上,选取其中一列(第 j 列),并对料层高度方向上进行微分,如图4所示。并做如下假定:

(1) 混合料层各列等分区域间只存在密实度上的差异;

(2) 同一列等分区域的上下料层间(粒度、配料比、堆密度等)无偏析;

(3) 同一列等分区域的垂直烧结速度不随料层高度位置而变化;

(4) 烧结过程中,宽度方向上各等分区域间无窜风现象;

(5) 微分区域的高度为烧结过程本列的燃烧带的宽度。

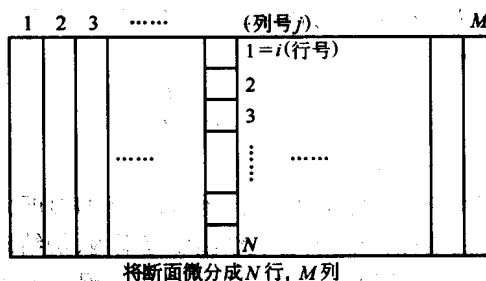


图4 热平衡模型微分示意图

当第(i, j)微分区域进入燃烧状态时,存在如图5所示的热平衡关系,即

$$q_{ij}^1 + q_{ij}^2 + q_{ij}^3 = q_{ij}^4 + q_{ij}^5 + q_{ij}^6 \quad (2)$$

其中:

(1) 混合矿中燃料燃烧放热为:

$$q_{ij}^1 = \alpha m_{ij} q_0 \quad (3)$$

式中 α ——燃料配比, %;

m_{ij} ——第 i, j 料层区域混合料质量, kg;

q_0 ——单位质量燃料燃烧放热, kJ/kg。

(2) 成矿及反应耗热为:

$$q_{ij}^4 = m_{ij} q_{成矿} \quad (4)$$

式中 $q_{成矿}$ ——单位质量混合矿烧结过程反应耗热, kJ/kg。

显然, $\alpha q_0 - q_{成矿}$ 为单位质量混合料的有效热量, 用 $q_{有效}$ 表示, 即: