硫酸渣粒度对球团强度的影响

陈 栋[1],徐泽敏[1],霍海疆[1],孟庆林[1],胡富国[1],吕亚男[2]
(1. 苏州大学沙钢钢铁学院,江苏 苏州 215021;
2. 苏州工业职业技术学院机电工程系,江苏 苏州 215104)

摘 要: 对不同粒级的同一硫酸渣制备的球团进行预热焙烧性能研究。研究结果表明: 硫酸渣的粒度越细,球团的预热焙烧温度越低,其能耗也越低。硫酸渣粒度从小于75 μm含量69.47%降低到小于25 μm含量100%,其球团预热温度从1 150 ℃降低到1 050 ℃,焙烧温度从1 320 ℃降低到1 170 ℃;硫酸渣的粒度继续降低,其球团的预热、焙烧性能反而开始变差。

关键词: 硫酸渣; 粒度; 氧化球团; 抗压强度
中图分类号: TF046.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8764(2016)05-0034-04
doi: 10.13403/j.sjqt.2016.05.061

Effect of particle size distribution of pyrite cinder on pellet strength

Chen Dong[1], Xu Zemin[1], Huo Haijiang[1], Meng Qinglin[1], Hu Fuguo[1], Lv Yanan[2]
(1. *Shagang School of Iron and Steel, Soochow University, Suzhou* 215021, *Jiangsu*;
2. *Department of Mechanical and Electrical Engineering, Suzhou Institute of Industrial Technology, Suzhou* 215104, *Jiangsu*)

Abstract The preheating and roasting performance of pellets made from different size fraction of pyrite cinder was investigated. The results show that, the finer the particle size of the pyrite cinder is, the lower the pellet preheating and roasting temperature is, and the energy consumption is also lower. When the particle size of pyrite cinder decreases from less than 75 μm (accounting for 69.47%) to less than 25 μm (accounting for 100%), the pellet preheating temperature drops from 1 150 ℃ to 1 050 ℃ and the roasting temperature decreases from 1 320 ℃ to 1 170 ℃. However, when the particle size of pyrite cinder keeps reducing, the preheating and roasting performance of pellets decreases.

Key words pyrite cinder; particle size; oxidized pellet; compressive strength

1 前 言

硫酸渣是硫铁矿制酸后的副产物,其含铁一般为30%~63%,显著高于我国33%的铁矿平均品位。据统计,我国每年排出1500万t以上的硫酸渣,且全国的堆存量更是高达上亿t[1]。可见,硫酸渣是一种资源量较大,含铁丰富的二次资源。但由于硫酸渣难选难冶、铁品位低、硫含量高等原因,只有少量作为添加剂用于制备水泥、制砖、铺路和辅助添加剂等[2~4]。

近年来,随着钢铁行业的快速发展,越来越多的硫酸渣作为铁精矿,用于制备氧化球团矿[5]。然而由于硫酸渣的成球性能差、颗粒具备蜂窝状的独特结构、孔隙率高和表面活性低等特殊的物理化学特性,导致硫酸渣球团生球强度低、预热和焙烧温度高,其膨润土用量和能耗较普通铁精矿大大增加[6,7]。针对硫酸渣球团强度低、能耗高等问题,目前普遍采用在硫酸渣中添加磁铁精矿以改善硫酸渣球团预热焙烧性能,降低其能耗[8]。此外,采用润磨和高压辊

收稿日期: 2016-08-03
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51504155);江苏省青年基金资助项目(BK20140337)
作者简介: 陈 栋(1983-),男,博士,讲师,从事冶金资源综合利用和烧结球团方面的研究。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

磨等预处理技术提高硫酸渣颗粒表面的晶格缺陷，也可降低球团的焙烧温度，从而降低其燃耗[9]。

然而，众多研究表明，铁精矿的粒度对氧化球团的预热焙烧性能有很大影响，其粒度越细，球团的预热焙烧温度越低，其能耗也低[10]。目前，硫酸渣粒度对硫酸渣球团预热焙烧性能的影响规律尚不明确。因此，本文针对不同粒度的同一硫酸渣球团进行预热焙烧性能研究，以期为硫酸渣球团工艺的应用提供理论参考。

2　原料性能及研究方法

2.1　原料性能

试验所用硫酸渣的化学成分和粒度组成分别如表 1 和表 2 所示。2#～5#硫酸渣均为 1#硫酸渣经过球磨后得到。由表 2 可知，1#硫酸渣小于 75 μm 含量为 69.47%，2#硫酸渣小于 75 μm 含量为 99.83%，3#硫酸渣小于 45 μm 含量为 99.96%，4#硫酸渣小于 25 μm 含量达到 100%，而 5#硫酸渣小于 10 μm 含量为 99.07%。

表 1　硫酸渣的化学成分(%)

TFe	FeO	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	P	S	LOI
59.00	12.30	7.70	1.21	0.51	0.41	0.16	0.07	0.06	0.92	0.89

表 2　硫酸渣的粒度组成(%)

编号	<10 μm	10～25 μm	25～45 μm	45～75 μm	>75 μm
1#	3.42	15.75	19.36	30.94	30.53
2#	12.86	40.99	37.70	8.28	0.17
3#	26.62	54.31	18.41	0.04	0
4#	83.49	16.51	0	0	0
5#	99.07	0.93	0	0	0

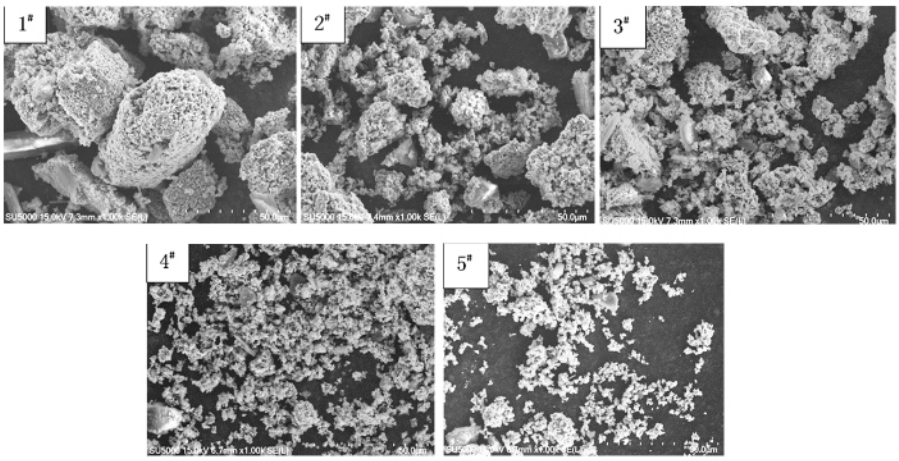


图 1　不同硫酸渣的颗粒形貌(放大 1 000 倍)

1#～5#硫酸渣的颗粒形貌如图 1 所示。可见，1#硫酸渣的颗粒较粗，孔隙率大，蜂窝状结构明显，这也是导致硫酸渣球团抗压强度低、预热和焙烧温度高的原因之一。随着粒度逐渐变细，2#和 3#硫酸渣中大颗粒明显减少，4#和 5#硫酸渣中出现大量粒度细、没有孔隙的实心硫酸渣颗粒，其蜂窝状结构的颗粒基本消失。

2.2　研究方法

试验流程包括：磨矿、配料、混匀、造球、干燥、预热和焙烧等过程。首先，将 4 kg 硫酸渣(按干重量计算)和一定比例的膨润土混匀后造球，在圆盘造球机(Φ1 000 mm)中制备出直径 10～12.5 mm 的生球，生球在 105 ℃的鼓风干燥箱里烘干 4 h 后备用。接着，球团预热和焙烧试验在卧式管炉(Φ80 mm×1 200 mm)中进行，等炉膛温度升到预定温度时进行预热和焙烧试验。焙烧球团冷却后在数显式球团压力试验机(WDW－QT10S)中进行抗压强度的测定。硫酸渣粒度

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

测试采用 HYL－1076 型激光粒度分布仪。

3 结果与分析

3.1 硫酸渣粒度对球团预热的影响

图 2 为预热温度对不同粒度硫酸渣制备的球团抗压强度的影响。由图 2 可知，随着预热温度的升高，球团的抗压强度均增加，且粒度细的硫酸渣球团抗压强度更高。当预热温度从 1 000 ℃升高至 1 150 ℃时，1# ～5# 球团的抗压强度分别从 87 N/个、105 N/个、141 N/个、374 N/个、511 N/个升高至 894 N/个、971 N/个、1 077 N/个、1 821 N/个和 1 039 N/个。这主要是因为预热温度的升高，促进了球团内铁氧化物颗粒的微晶键连接和再结晶，而粒度越细，颗粒的比表面积和铁氧化物的晶格缺陷增加越明显，从而可显著增加颗粒表面原子的扩散能力，极大地促进了铁氧化物微晶键连接，其球团强度也增加的更快。但硫酸渣粒度也不宜过细，其低于 10 μm 粒级的含量不宜过高，如 5# 球团的抗压强度反而低于 3# 和 4# 球团，这主要是因为硫酸渣低于 10 μm 粒级过多，预热时球团内部发生铁氧化物再结晶的速度较快而产生较大应力，从而导致球团表面开始出现裂纹，球团抗压强度反而降低的缘故。

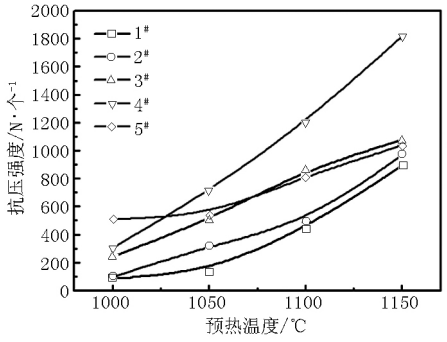


图 2 预热温度对不同粒度硫酸渣制备的球团抗压强度的影响(焙烧时间 15 min)

3.2 硫酸渣粒度对球团焙烧的影响

图 3 为焙烧温度对不同粒度硫酸渣制备的球团抗压强度的影响。由 3 图可知，随着焙烧温度的升高，球团的抗压强度急剧增加，且硫酸渣粒度越细，球团焙烧所需的温度越低。如 1# ～4# 球团达到约 2 500 N/个时，焙烧温度分别为 1 320 ℃、1 290 ℃、1 200 ℃、1 170 ℃，出现此现象主要与两方面有关：①随着球团粒度变细，特别是小于 25 μm 的粒级大幅增加，大颗粒硫酸渣明显减少(如图 1)，颗粒内部的孔隙大幅降低且出现大量实心的细颗粒，球团的比表面积和晶格缺陷大幅增加，球团内铁氧化物发生再结晶的温度大幅降低，球团抗压强度增加。②硫酸渣的粒度变细，球团在预热和焙烧过程中 Fe_3O_4 的氧化程度也越高(如图 4)。但硫酸渣粒度过细，焙烧温度反而有增高的趋势，如 5# 球团焙烧温度明显高于 4# 球团，这主要是因为粒度太细，预热过程中产生的裂纹无法在焙烧过程中愈合，从而导致球团焙烧强度降低。且硫酸渣粒度太细，球团外层的铁氧化物再结晶速度过快，形成的致密球壳使得球团核心的氧化变得困难，焙烧球团中 Fe_2O_3 的含量降低(如图 4)，形成少量的同心裂纹。

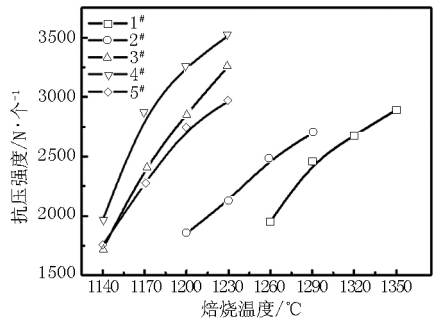


图 3 焙烧温度对不同粒度硫酸渣制备的球团抗压强度的影响(焙烧时间 12 min)

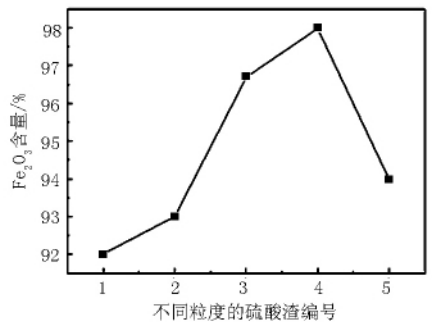


图 4 不同粒度硫酸渣焙烧球团中 Fe_2O_3 的含量

4 结 论

随着硫酸渣粒度变细，其蜂窝状结构逐渐

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

消失，用其制备的球团的预热和焙烧温度显著降低。随着硫酸渣粒度从小于 75 μm 占 69.47% 降低到小于 25 μm 占 100%，预热球抗压强度达到 500 N/个的温度从 1 150 ℃降低到 1 050 ℃，焙烧球抗压强度达到 2 500 N/个的温度从 1 320 ℃降低到 1 170 ℃。硫酸渣的粒度继续变细，球团的预热和焙烧温度反而有所升高。

参考文献

[1] 王莹，廖康程. 2013 年我国磷肥、硫酸行业生产运行情况及发展趋势[J]. 磷肥与复肥，2014，29(4)：1－5.

[2] Liu Z C，Zheng Y J. Hexagonal hematite platelets synthesized from pyrite cinders by hydrothermal process[J]. Journal of central south university of technology，2011，18：1 377－1 382.

[3] Kovkov I V，Abdrakhimov V Z. Thermomechanical studies of ceramic tile made from technogenic raw materials[J]. Glass and Ceramics(English translation of Steklo i Keramika)，2011，68：128－130.

[4] Alp I，Deveci H，Yazici E Y，et al. Potential use of pyrite cinders as raw material in cement production：Results of industrial scale trial operations[J]. Journal of Hazardous Materials，2009，166：144－149.

[5] 曾文波，蓝庆滔，李要武. 铜陵有色高配比硫酸渣球团生产实践[J]. 烧结球团，2010，35(5)：40－44.

[6] 刘树立. 铜陵有色高配比硫酸渣球团技术的工业化应用[J]. 烧结球团，2010，35(1)：15－20.

[7] 朱德庆，陈栋，潘建. 高压辊磨和润磨预处理强化硫酸渣球团对比研究[J]. 中南大学学报(自然科学版)，2011，42：1 825－1 832.

[8] 白国华，周晓青. 硫酸渣配加磁铁矿制备氧化球团试验研究[J]. 中南大学学报(自然科学版)，2009，44(7)：7－10.

[9] Zhu，D. Q.，Chen，D.，Pan，J.，et al. Pretreatment of Pyrite Cinder Before Pelletization by High Pressure Roller Grinding[J]. Journal of Iron and Steel Research International，2009，16：345－349.

[10] 范晓慧，袁晓丽，姜涛，等. 铁精矿粒度对球团强度的影响[J]. 中国有色金属学报，2006，16(11)：1 965－1 970.

(上接第 12 页)

同程度的减小。台车摇臂装置的受力情况有所改善，其性能得到提高，适应性加强。

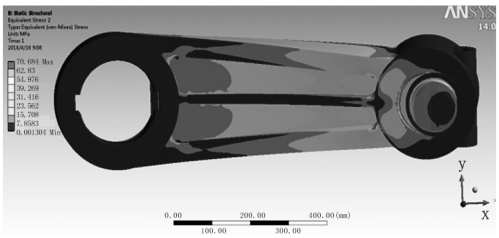


图 8　台车摇臂应力分布云图

5　结　论

1) 利用 ansys workbench 软件，建立了环冷机台车摇臂装置的三维物理模型和仿真模型。

2) 基于环冷机台车摇臂装置正常工况的分析对仿真模型加载，进而对环冷机台车摇臂装置进行仿真计算。

3) 通过对翼板角度和翼板厚度等引起摇臂装置受力因素的分析，得到减少翼板角度与适当增大翼板厚度可改善摇臂装置的受力情况。并通过此结果对摇臂装置进行了优化设计，且其仿真计算结果表明，该优化设计方案可减少摇臂装置的最大应力，改善摇臂装置的整体结构强度。其为今后的设计及制造提供了理论基础。

参考文献

[1] P. M. Pelagagge，A. C. Caputo and G. Cardareli. OPTIMIZATION CRITERIA OF HEAT RECOVERY FROM SOLID BEDS[J]. Applied thermal engineering，1997，17(1)：57－64.

[2] 蔡九菊，董辉，杜涛，等. 烧结过程余热资源分级回收与梯级利用研究[J]. 钢铁，2011，46(04)：88－92.

[3] 冯军胜，董辉，王爱华，等. 烧结余热罐式回收系统及其关键问题[J]. 钢铁研究学报，2015，27(6)：8－11.

[4] 张小辉，张家元，戴传德，等. 烧结矿冷却过程数值仿真与优化[J]. 化工学报，2011，62(11)：3 081－3 087.

[5] 田万一，张家元，戴传德，等. 基于环冷机集热罩的烧结矿余热回收优化[J]. 东北大学学报(自然科学版)，2015，36(8)：1 130－1 135.

[6] 彭威，王磊，卢德唐. 局部到整体的六面体网格质量优化算法[J]. 机械工程学报，2014，50(23)：140－146.

[7] 李海峰，吴冀川，刘建波，等. 有限元网格剖分与网格质量判定指标[J]. 中国机械工程，2012，23(3)：368－377.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net