不同粒度返矿镶嵌烧结技术的研究及工业应用

刘建波，裴元东，张俊杰，孙 晨，张巧玉，刘 桐
（江苏中天钢铁集团，江苏 常州 213000）

摘 要： 返矿镶嵌是一种优化烧结过程返矿利用效率的工艺。根据中天钢铁的烧结用料情况，提出应用返矿镶嵌工艺的技术路线，并通过烧结杯试验研究不同粒度返矿镶嵌的效果。结果表明：+1 mm 和 +3 mm 粒级的返矿镶嵌均有利于改善烧结矿的产、质量；+1 mm 粒级的返矿镶嵌更有利于提高烧结机利用系数，提产幅度为 6%；但一定占比（20%）的 +3 mm 粒级的返矿用于镶嵌更有利于改善烧结矿的质量，使转鼓指数、成品率、固体燃料消和 *RDI* 指标全面改善。在试验研究的基础上，进行返矿镶嵌烧结技术的工业应用，结果表明：在 +3 mm 粒级的返矿镶嵌比为 25% 时，废气温度提高 6.1 ℃，提产幅度为 2.8%。

关键词： 烧结；返矿镶嵌；不同粒度；冶金性能；工业应用
中图分类号： TF046.4；TF03 **文献标识码：** A **文章编号：** 1000－8764（2020）04－0022－05
doi： 10.13403/j.sjqt.2020.04.050

Research on MEBIOS technology of different particle sizes and its application

Liu Jianbo，Pei Yuandong，Zhang Junjie，Sun Chen，Zhang Qiaoyu，Liu Tong
（*Zenith Steel Group Co.，Ltd.，Changzhou* 213000，*Jiangsu*）

Abstract MEBIOS is a process to optimize the utilization efficiency of return ore in sintering process. According to the materials for sintering of Zenith steel group Co.，Ltd.，the technology by using MEBIOS process is put forward，and the effect of MEBIOS of different particle sizes is studied through the sintering cup test. The results show that the MEBIOS of +1 mm and +3 mm is beneficial to improve its production and quality of sinter，and the MEBIOS of +1 mm is more conducive to improving the utilization coefficient of sintering machine with an increasing output rate of 6%. However，a certain proportion（20%）of +3 mm return ore used for inlaying is more conducive to improving the quality of sinter，while the drum index，yield，solid fuel consumption and *RDI* index are comprehensively improved. On the basis of the research，the industrial application of the MEBIOS process device of sintering shows that the temperature of waste gas is increased by 6.1 ℃ and the yield is increased by 2.8% when the proportion of MEBIOS of +3 mm is 25%.

Key words sintering；mosaic embedding iron ore sintering（MEBIOS）；different particle sizes；metallurgical properties；industrial application

随着高炉生产对烧结矿产、质量要求的逐步提高，高效利用铁矿资源成为研究者的共识[1-4]。日本东北大学葛西荣辉提出镶嵌式铁矿石烧结技术[5-6]，该工艺用马拉曼巴矿制备生球并将其均匀地分布在烧结料层中，使烧结料层形成合适的空隙结构，达到既改变烧结矿质量，又提高烧结矿产量的作用。在此基础上，日本住友成功实施了返矿镶嵌工艺[7-8]。裴元东等[9]提出了在烧结进行大颗粒矿、返矿镶嵌的技术路线，并进行了相应的烧结杯试验，取得了利用系数提高 0.05 t/（m^2·h）以上，烧结矿质量可基本保证的效果。王兆才等[10]提出返矿

收稿日期：2019－12－23
作者简介：刘建波（1985—），男，硕士研究生，工程师，主要从事烧结技术研究与管理工作。
通讯作者：裴元东（1985—），男，博士研究生，高级工程师，主要从事烧结技术研究与管理工作。

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

分流强化制粒技术，即将一部分粗颗粒返矿单独处理而不直接参与制粒，使得剩余混合料中的成核粒子与黏附粉的质量比更有利于制粒要求，同时改变物料中水的分布状态，提升物料的制粒效果。该技术应用后使制粒小球的平均粒度得到提升，烧结速度和利用系数明显改善，并有助于提高料层厚度。

根据当前烧结现状，围绕如何进一步提高烧结矿产量，通过烧结杯试验研究不同粒度返矿镶嵌对烧结的影响，以确定最终的返矿镶嵌粒度，并开展返矿镶嵌的工业改造，从而达到提高烧结矿产、质量的目的。

1　试验原料与方法

1.1　试验原料

试验所用原料为中天钢铁北区 180 m^2 烧结机所用的生产原料，铁矿粉有巴西混合粉、杨迪粉、PB 粉、纽曼粉、麦克粉 5 种，熔剂主要为生石灰、白云石，固体燃料为无烟煤，返矿包括高炉和烧结两种返矿。其中，混匀矿含有 28% 的高炉返矿，其相应的化学成分如表 1 所示。烧结内返矿的粒度组成如表 2 所示，其平均粒度为 2.01 mm，其粒级占比以 -5 mm 为主。

现场调研发现，高炉返矿以混匀矿的形式直接入仓参与配矿，将其进行返矿镶嵌改造的难度大。因此，立足于对烧结内返矿进行镶嵌改造，在此基础上开展不同粒度烧结返矿镶嵌试验研究，以期为实际生产提供参考。

表 1　原、辅料的化学成分(质量分数)　%

项目	TFe	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	H_2O	烧损
混匀矿(含高返)	59.40	4.87	2.98	0.65	1.91	6.60	5.60
白云石	—	1.50	30.25	20.2	0.17	8.20	45.96
生石灰	—	1.80	81.00	1.50	0.50	0.00	120.00

表 2　烧结内返矿的粒度组成和平均粒度

粒级占比(质量分数)/%					平均粒度/mm
+8 mm	5~8 mm	3~5 mm	1~3 mm	-1 mm	
0.00	2.74	25.36	46.89	25.11	2.01

1.2　试验方案及工艺参数

烧结杯试验的主要工艺参数如表 3 所示。试验采用现场生产方案，配矿方案如表 4 所示，碱度控制在 2.1 左右，水分控制为 7.5% 左右。制定 4 组返矿镶嵌试验方案，研究不同粒度返矿镶嵌对烧结过程参数及指标的影响。具体方案：①基准方案，烧结返矿全部参与正常烧结；②方案 1，按照烧结返矿的原始粒度分布，取 +1 mm 粒级占比为 74.89% 的烧结返矿用于二混后镶嵌(不参与混合)，剩余烧结返矿参与正常烧结杯试验；③方案 2，+3 mm 粒级占比为 28% 的返矿进行镶嵌，剩余返矿参与正常烧结杯试验；④方案 3，+3 mm粒级占比为 20% 的返矿进行镶嵌，剩余返矿参与正常烧结杯试验。

试验结束后，取样对不同试验方案的低温还原粉化性和还原性进行分析，评价不同方案烧结矿冶金性能的优劣。

表 3　烧结杯试验参数

料层厚度/mm	杯体直径/mm	点火负压/kPa	烧结负压/kPa	点火温度/℃	一混时间/min	二混时间/min	铺底料用量/kg
800	300	-8	-12	1050	4	3	2.5

表 4　试验配矿方案(质量分数)　%

烧结返矿	混匀矿(含高返)	白云石	生石灰	无烟煤
15.0	82.6	6.5	6.4	4.5

2　试验结果与讨论

2.1　不同粒度返矿镶嵌对制粒的影响

混合料的粒度组成如表 5 所示。由表 5 可

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

看出：不同粒度的烧结返矿镶嵌后，混合料的粒度均较基准有所提高，1～3 mm 的粒级占比下降明显，由基准的 8.56% 下降到 5.32% 以下，平均粒度由 6.23 mm 提高到 6.40 mm 以上。分析原因认为：较粗返矿镶嵌后，剩余物料由于水分的适当增加和填充率适当降低，造球效果有所改善，最终有利于提高物料的平均粒度；同时，由于烧结返矿是熟料，其中大颗粒的返矿作为核颗粒，与相同粒度的矿粉相比，其黏附性差，导致混匀矿的粒度组成变差，其不参与制粒后，使得其它物料的制粒效果得到改善。

表5 各方案混合料的粒度组成

项目	粒级占比(质量分数)/%						平均粒度/mm
	+10 mm	8～10 mm	5～8 mm	3～5 mm	1～3 mm	-1 mm	
基准	7.85	14.03	49.48	19.88	8.56	0.2	6.23
方案1	8.75	15.22	53.92	17.44	4.67	0.0	6.54
方案2	8.12	12.44	55.76	18.36	5.32	0.0	6.40
方案3	8.16	14.06	54.53	18.24	5.01	0.0	6.46

2.2 不同粒度返矿镶嵌对烧结的影响

各方案的烧结指标如表 6 所示。由表 6 可知：各方案与基准相比，其烧结速度均有所提升，并且一定程度上烧结速度与平均粒度呈现正相关关系，可见物料制粒效果的改善影响了料层的透气性，有利于烧结过程的进行；同时，各镶嵌方案的转鼓指数、成品率和固体燃料消耗指标也均好于基准，说明造球效果的改善，在一定程度上也提高了烧结矿的质量。分析原因认为：烧结返矿均匀地分散在混匀料中进行镶嵌，有利于其作为固结块的骨架，在液相的作用下，牢固地与周围物料结合，提高烧结矿质量。

就不同粒度返矿的镶嵌效果进行分析，可知：方案1(即 +1 mm 的返矿镶嵌)的烧结速度最快，达到了 32.35 mm/min，利用系数最高，为 1.57 t/(m^2·min)，但终点温度最低，只有 206 ℃；方案 2 的利用系数相对最低，为 1.48 t/(m^2·min)，同时转鼓强度相对最低，只有 58.20%，但终点温度最高，达到了 327 ℃；方案 3 的利用系数居中，为 1.52 t/(m^2·min)，转鼓强度和成品率均最高，分别达到了 67.07% 和 71.94%。

表6 各方案的烧结指标

项目	固体燃料消耗/(kg·t^{-1})	利用系数/(t·m^{-2}·h^{-1})	烧结速度/(mm·min^{-1})	终点温度/℃	质量分数/%		
					成品率	转鼓指数	烧成量
基准	81.72	1.48	30.59	266	68.58	54.93	77.19
方案1	80.85	1.57	32.35	206	69.86	61.87	77.33
方案2	79.41	1.48	30.17	327	70.99	58.20	77.02
方案3	79.02	1.52	30.18	306	71.94	67.07	76.30

各方案烧结矿的粒度组成如表 7 所示。由表 7 可知：方案 1、2 中，成品矿中 -10 mm 的粒级占比相比基准分别提高了 4.92% 和 0.69%，方案 3 则较基准下降了 0.35%，其整体粒度分布更为合理。

表7 各方案的烧结矿粒度组成(质量分数) %

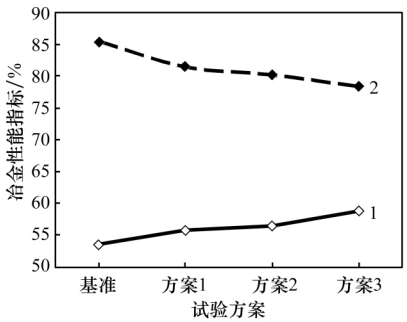
项目	+40 mm	40～25 mm	25～16 mm	16～10 mm	10～5 mm	5～0 mm
基准	3.65	20.00	28.70	22.96	24.70	30.47
方案1	4.15	16.32	22.97	26.51	29.62	29.28
方案2	5.47	20.71	25.40	24.09	25.39	27.81
方案3	7.00	21.24	27.81	22.89	24.35	27.50

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

从综合烧结指标和烧结矿粒度组成结果来看，方案 3 的镶嵌效果最佳。分析原因认为：在当前原料下，将烧结返矿中 +1 mm 返矿（占比为 74.89%）用于镶嵌更有利于提高烧结机利用系数，但只将烧结返矿中 +3 mm 返矿（占比为 20%）用于镶嵌更有利于改善烧结矿的质量。

2.3　不同粒度返矿镶嵌对冶金性能的影响

对各方案烧结矿进行冶金性能分析，结果如图 1 所示。



1—$RDI_{+3.15\ mm}$；2—RI。

图 1　各方案的还原粉化指数及还原度指数

由图 1 可知：方案 1～3 的低温还原粉化性优于基准，其 $RDI_{+3.15\ mm}$ 由 52.34% 提高到 55% 以上，特别是方案 3，其还原粉化指数最优，提高到了 58.78%；烧结矿还原度指数与还原粉化指数呈现负相关关系，但还原度指数整体在 75% 以上，满足高炉炼铁对烧结矿的需求。返矿镶嵌技术应用后，烧结指标及烧结矿粒度组成的改善是还原粉化指数整体提升的主要原因。

3　返矿镶嵌技术的工业应用

前述研究表明：返矿镶嵌技术有利于提高烧结矿质量，改善烧结矿冶金性能，有利于高炉的稳产顺行。在此研究基础之上，2019 年 10 月，在中天钢铁北区 180 m^2 烧结机实施返矿镶嵌技术的工业应用。将烧结返矿用 3 mm 孔径筛子筛出后，在二混后加入 +3 mm 粒级的返矿，并设定返矿镶嵌比约为 25%。现场实施场景如图 2 所示。工业试验结果如表 8 所示。由表 8 可知：在烧结返矿镶嵌比为 25% 的情况下，废气温度提高 6.1 ℃，负压降低 0.33 kPa，利用系数提高 2.8%，转鼓指数提高 0.2%。后续将根据实际情况，继续探索适宜的返矿镶嵌粒度、占比和对应的工艺制度。

表 8　烧结返矿镶嵌工业试验

项目	总管废气温度/℃	总管负压/kPa	利用系数/($t \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)	转鼓指数/%
无返矿镶嵌	121.71	12.22	1.81	77.83
返矿镶嵌比为 25%	127.84	11.89	1.86	78.03

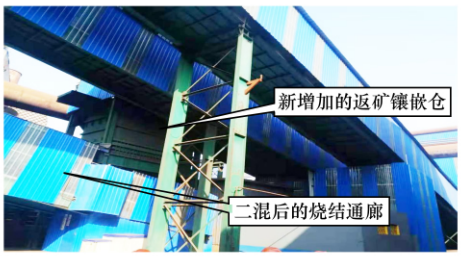


图 2　返矿镶嵌技术工业应用场景

4　结　论

（1）采用返矿镶嵌烧结技术可以提高烧结制粒效果和料层的透气性，促进烧结矿产量的提高。

（2）在中天钢铁的原料结构下，+1 mm 或 +3 mm 粒级的烧结返矿进行镶嵌后，烧结各项指标及低温还原粉化性均较不镶嵌时有所改善；+1 mm 粒级的返矿镶嵌更有利于提高烧结机利用系数，但一定占比（20%）+3 mm 粒级的返矿用于镶嵌更有利于改善烧结矿的质量。

（3）返矿镶嵌工艺技术的工业应用表明：在烧结返矿镶嵌比为 25% 时，废气温度提高 6.1 ℃，主管负压降低 0.33 kPa，烧结机利用系数提高 2.8%，烧结矿转鼓强度提高 0.2%。

参考文献

[1]　廖继勇，何国强．近五年烧结技术的进步与发展[J]．烧结球团，2018，43(5)：1－13.

[2]　胡俊鸽，周文涛，赵小燕．日本降低生产成本的烧结技术进展[J]．冶金丛刊，2010(5)：46－50.

[3]　周文涛，胡俊鸽，郭艳玲．高效利用低价劣质铁矿资源的烧结新技术[J]．烧结球团，2014，39(4)：16－27.

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

[4] 裴元东,赵志星,马泽军,等. 国外铁矿粉烧结理论与技术的进展(二) [J]. 烧结球团,2010,35(4):1-5.
[5] Naohito HAYASHI, Sergey V. KOMAROV, Eiki KASAI. Heat transfer analysis of the mosaic embedding iron ore sintering(MEBIOS) process [J]. ISIJ International,2009,49(5):681-686.
[6] Eiki KASAI, Sergey KOMAROV, Koichi NUSHI RO, et al. Design of bed structure aiming the control of void structure formed in the sintercake [J]. ISIJ International,2005,45(4):538-542.
[7] Chikashi KAMIJO, Masaru MATSUMURA, Takazo KAWAGUCHI. Sintering behavior of raw material bed placing large particles [J]. ISIJ International,2005,45(4):544-550.
[8] Yasuhide YAMAGUCHI, Chikashi KAMUO, Masaru MATSUMURA, et al. Improvement of permeability of sintering bed by adding dry particles to granulated raw materials [J]. ISIJ International,2013,53(9):1 538-1 544.
[9] 裴元东,吴胜利,熊军,等. 大粒度矿/返矿镶嵌烧结技术研究及其在首钢应用的分析 [J]. 烧结球团,2014,39(2):1-3.
[10] 王兆才,周志安,何国强,等. 基于返矿分流的烧结强化制粒技术研究 [J]. 烧结球团,2018,43(4):12-16.

(上接第5页)

改善。主要原因:$CaCl_2$ 呈片状和颗粒状黏附在烧结矿表面上,阻碍了还原气体与烧结矿表面的接触,从而抑制了烧结矿表面的还原;$CaCl_2$ 堵塞气孔,阻碍了烧结矿内部的还原。

(3)现场调查发现,由于烧结矿中 $CaCl_2$ 的存在,高炉煤气中含有大量氯化物,腐蚀炉顶设备及煤气管道,降低炉顶设备的使用寿命,影响高炉产量,降低生产效率。如何寻找 $CaCl_2$ 的替代品或通过其他手段提高烧结矿质量,仍是高炉生产亟待解决的问题。

参考文献

[1] 任允芙. 钢铁冶金岩相矿相学 [M]. 北京:冶金工业出版社,1982:179-202.
[2] 杜鹤桂. 高炉冶炼钒钛钛磁铁矿原理 [M]. 北京:科学出版社,1996:1-15.
[3] 李小松,杨广庆,杨文康,等. 攀钢钒钛烧结矿与莱钢普通烧结矿冶金性能对比研究 [J]. 烧结球团,2018,43(1):10-14.
[4] 白冬冬,韩秀丽,李昌存,等. 钒钛烧结矿矿相结构对其冶金性能的影响 [J]. 钢铁钒钛,2018,39(5):111-115.
[5] 廖继勇,何国强. 近五年烧结技术的进步与发展 [J]. 烧结球团,2018,43(5):1-11.
[6] 谢国海,帐兴华,尹怡. 喷洒 $CaCl_2$ 溶液控制烧结矿低温还原粉化的试验研究 [J]. 炼铁,1998(17):68-70.
[7] 李学仁,吴捐献. 降低烧结矿球团矿低温还原粉化指数的新方法 [J]. 钢铁研究,1993(3):56-59.
[8] Zhang Xu, Zhang Jianliang, Hu Zhengwen. Effect of $CaCl_2$ on *RDI* and *RI* of Sinter [J]. Journal of Iron and Steel Research(International),2010,17(11):7-12.
[9] 王珂. 莱钢烧结厂喷洒 $CaCl_2$ 降低烧结矿低温还原粉化率的实践 [C]//2009 年山东省炼铁学术交流会论文集. 日照:山东省科学技术协会,2009:13-14.
[10] 李咸伟. 氯化物对烧结矿 *RDI* 影响的试验研究 [J]. 宝钢技术,1998(1):19-28.
[11] 杨华明,邱冠周,唐爱东. $CaCl_2$ 对烧结矿 *RDI* 的影响 [J]. 中南大学学报,1998,29(3):229-232.
[12] 梁山南. 氯化钙对烧结矿低温还原粉化的微观影响研究 [J]. 金属材料与冶金工程,2016,42(1):44-48.

本刊调价声明

由于纸张及印刷费上涨,《烧结球团》从2020年起每本定价调为25元,仍为双月刊,全年六期,共150元。本刊邮发代号为42-23,请读者到当地邮局订阅。

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