

氧气顶吹熔融还原炼铁试验研究

齐翼龙, 王 华, 卿 山, 岳争超, 汤付江
(昆明理工大学 材料与冶金工程学院, 云南 昆明 650093)

摘要: 介绍了氧气顶吹熔融还原技术的工艺、设备和氧枪在反应中最佳喷溅效果的模拟; 此工艺采用浸入式水冷喷枪把富氧空气直接喷吹到渣层中来加强对熔池的搅拌, 强化传热传质. 通过用昆钢提供的原料初步试验, 得到了与传统高炉品质相当的优质铁水. 该工艺可以使用传统高炉无法使用的高磷铁矿石作为炼铁原料, 且能冶炼出含磷降低的铁水, 脱磷也是这种工艺的特点之一.

关键词: 氧气顶吹转炉熔融还原; 铁水; 炼铁; 脱磷

中图分类号: TF557 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2009)04-0014-05

Oxygen Top-blown Smelting Reduction

QI Yulong, WANG Hua, QING Shan, YUE Zhengchao, TANG Cufang

(Faculty of Materials and Metallurgical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract This paper introduces the top-blown oxygen smelting reduction process, equipment and best effect of the simulation about injection gun in the splash. This technique sprays oxygen-enriched air into the slag layer by the water-cooled injection gun directly in order to enhance the molten bath of stir and to strengthen heat and mass transfer. Through preliminary tests about the raw materials provided by Kunming Iron and Steel Company, hot metal identical with that of the traditional blast furnace is obtained. This process can also use high-phosphorus iron ore as raw materials and reduce the phosphorus out of the hot metal. Dephosphorization is one of the characteristics of this process.

Key words oxygen top-blown converter; smelting reduction; hot metal; iron making; dephosphorization

0 引言

钢铁工业是我国国民经济的支柱产业之一, 在 1999 年我国钢产量就达到 1.2 亿吨, 成为世界第一产钢大国. 中国钢铁工业的快速发展, 极大地促进我国经济的增长, 但随着钢铁产量的增加和企业规模的扩大, 所需要的资源越来越少, 尤其是近几年铁矿石的价格一路攀升, 致使钢铁成本升高, 严重影响着钢铁企业的经济利益; 钢铁生产需要消耗大量炼焦煤、喷吹煤和动力煤. 我国焦煤资源的储量较低, 仅占我国煤炭资源的 27%, 且大都集中在山西境内, 给运输也带来巨大的压力; 目前冶金焦的价格在 2400~2600 元/吨, 而且越来越严格的环保要求严重制约着炼焦工艺的生产. 因此, 发展一种新型的、不用焦炭的新方法、新工艺势在必行. 现在, 各国政府都比较重视对炼铁新技术的开发, 目前, 世界上主要有 COREX, FINEX, DIOS, HISMELT 等熔融还原炼铁新方法, 但只有由奥地利、奥钢联 (VAI) 和西德科夫 (Korf) 工程公司联合开发的 COREX 熔融还原炼铁技术是世界上惟一已工业化的以铁矿石和非焦煤为原料生产铁水的一种崭新的炼铁工艺, 实现了无焦 (或少焦) 炼铁的重大突破, 同时在环境保护方面具有十分明显的优势, 代表炼铁工艺的一种新的发展方向. 而氧气顶吹熔融还原炼铁新工艺也是一种不使用冶金焦而只采用煤粉的直接还原炼铁技术, 解决了因焦炭资源的短缺对钢铁工业发展的羁绊问题, 大大减少了对环境方面所带来的压力,

收稿日期: 2008-11-05

第一作者简介: 齐翼龙 (1983-), 男, 在读硕士研究生. 主要研究方向: 熔融还原新技术与工业节能.

E-mail: kusth52@126.com

降低了生产成本^[1].

1 氧气顶吹熔融还原工艺

1.1 原理

氧气顶吹熔融还原炼铁工艺主要的特点是: 加速还原过程、能耗降低、流程简短、热效率高、热利用率大, 在生成过程中以还原煤作为主要的能源, 将混合好的铁矿石、煤粉和熔剂直接由皮带机输送到加料仓内, 富氧空气和氮气在不同的压力下由浸入到熔池的水冷喷枪喷吹到炉内, 在高温状态下, 进入到熔池中的碳一部分燃烧放出大量的热量, 一部分溶解在高温熔池中把铁氧化物还原, 生产出液态铁水. 即在 1 450 ~ 1 650°C 高温条件下, 还原煤迅速地融解在铁液中, 从而与预热过的铁氧化物发生反应, 产生铁元素和 CO 的冶金过程; 工艺主要的两个重要反应发生在熔融还原炉的下部的高温铁水熔池中, 即碳素的快速溶解和熔融的铁氧化物的直接还原^[2], 主要反应:



富氧空气 (30% ~ 90%) 由停留熔池上部的氧气夹套喷吹到上部氧化区来强化气体的燃烧, 从而在炉子的氧化区域形成了高温环境; 从炉顶下落的还原煤经过高温区域, 挥发出大量的 [H₂] 和碳氢化合物与氧气发生氧化反应, 放出大量的热量, 在熔融还原炉的上部发生的主要反应:



没有反应完全的还原煤由于重力的作用, 落在下部熔池内迅速溶解, 见 (1) 式; 熔融的铁氧化物在铁水熔池发生反应, 见 (2) 式, 产生的 CO 与喷枪喷吹的搅拌气体 N₂ 形成混合煤气, 会不断地从渣层逸出, 强烈逸出的上升煤气又引起了熔渣的剧烈搅动, 使液态渣铁形成了混合“涌泉”. 熔融还原炉上部燃烧放热所产生的热能, 通过对流和辐射把热量传递给了熔池, 提高了熔池温度, 为铁水熔池内的反应 (1) 和 (2) 式提供热量, 维持还原反应的正常进行.

1.2 工艺流程和工艺技术简介

氧气顶吹熔融还原炼铁反应是在熔融还原炉内进行的. 将矿石 (粒度 2~ 25mm)、还原煤和熔剂按一定比例配料并充分混合后, 从炉顶加入到炉内, 下落的矿物经过 2 次燃烧区被初步预热, 同时也将氧化区的部分热量带到下部熔池内, 在此过程中完成了多种物理化学反应, 部分矿石被初步还原; 随着炉料落在熔池内, 已溶解在熔池中的炭粒与高温铁氧化物迅速发生反应, 还原出铁水. 由于渣、铁密度不同, 实现渣、铁分离, 渣、铁分别由出铁口和出渣口间歇式放出; 反应过程中所产生的高温烟气从烟道排出, 所带出的大量热量, 经过余热回收处理系统加以回收, 对低温烟气经过除尘净化处理, 直接排空. 工艺流程图见图 1:

正常作业时, 矿石、煤粉和造渣所需要的石灰石、菱镁石经过鄂式破碎机破碎分成小块, 混合均匀后不断地加入高温炉内, 煤中的挥发份和水分受热挥发, 产生大量可燃气体, 为上部的氧化反应提供足够的原料, 以保证 2 次燃烧的顺利进行; 同时热矿粉中的铁氧化物也在熔池中迅速被溶解的碳素还原, 产生出 CO; 在一定压力下, N₂ 通过浸入式水冷喷枪喷吹进渣层, 使得渣层剧烈搅动, 形成“涌泉”, 并将包括大量炉渣的熔融物质喷到上部空间, 在熔池的上部形成了一个气固、固液、气液等多相复杂混合流; 富氧空气由喷枪最外层套管正好喷吹到熔池上部的空间, 从熔池下部逸出的煤气, 在高温的富氧条件下迅速燃烧, 放出大量的热, 又被飞溅到氧化区域的液态渣滴带回熔池内, 保证了熔池内的温度始终维持在一定高度. 矿石中的脉石、煤中

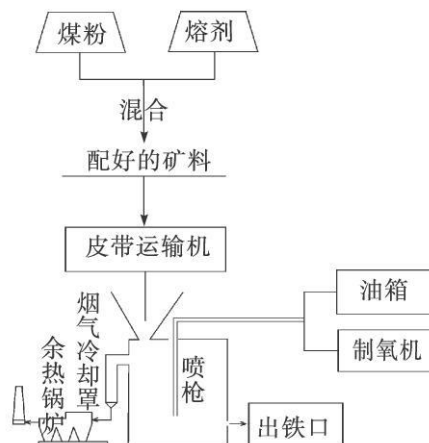


图 1 氧气顶吹熔融还原工艺示意图
Fig 1 Oxygen top-blown smelting reduction process diagram

的灰分和熔剂在铁水熔池中形成熔渣,一部分遇到水冷喷枪,由于温度相对较低,凝固在喷枪外管表面,保护了喷枪,延长使用寿命;大部分熔渣覆盖在铁水层的上部,在活泼的铁水和提高 2 次燃烧率所需要的较高富氧之间形成阻隔^[3],可以减少熔池中的热量的散失,同时也使还原出的铁水避免再次被氧化.由于此技术采用的是富氧顶吹强化熔炼,其 2 次燃烧率较高,2 次燃烧率即 $PC = (CO_2 + H_2O) / (CO + CO_2 + H_2 + H_2O)$ ^[4],高达 60% ~ 70%;氧气的纯度越高,2 次燃烧率越高,煤气燃烧的就比较充分,放出的热量高,煤的消耗量就降低,热效率越好.由于反应器内氧化性气氛较强,熔渣中 FeO 的含量比高炉高,约为 5%;由于炉内强烈的搅拌,炉衬受到热循环的强烈冲击,致使耐火材料消耗大,炉子寿命缩短,生产效率低.因此,选择合适的耐高温、耐 FeO 侵蚀的耐火材料是此工艺成败的关键.

2 氧气顶吹熔融还原设备

2.1 氧气顶吹熔融还原炉

氧气顶吹熔融还原炉炉高 2.5 m,外径为 1.0m,熔池深度约为 0.35 m,在微负压下工作,工作压力为 100 kPa 氧气顶吹熔融还原炉根据反应中气氛分为上、下 2 部分,上部分是 CO 和 H₂ 在富氧气体中充分燃烧,并放出大量的热量,为氧化区;下部主要是铁氧化物在高温熔池中被还原,生产铁水的部位,为还原区.氧气顶吹熔融还原炉的上部,CO 和 H₂ 燃烧所放出的大量的热,通过对流和辐射把热能传给了下部熔池,而飞溅到高温区域的炉渣能把大量的热能连续传递到还原区的熔池,从而来维持熔池中矿粉、煤和熔剂反应所需要的热量.铁水熔池炉缸侧壁和炉底的温度高,采用高铝尖晶石砌筑,渣线附近安装了渣线水箱来进一步提高耐火材料的寿命.下部渣层搅动比较剧烈,对炉子耐火材料的侵蚀较为严重,选用耐高温、耐 FeO 侵蚀的镁铬砖.氧气顶吹熔融还原炉的示意图见图 2

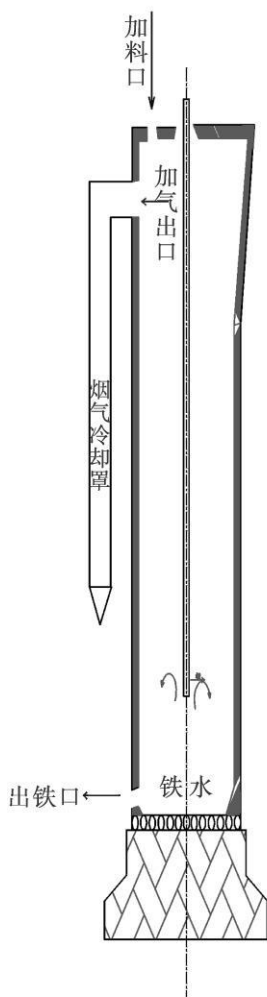


图 2 氧气顶吹熔融还原炉
Fig 2 Smelting reduction of oxygen top-blown furnace

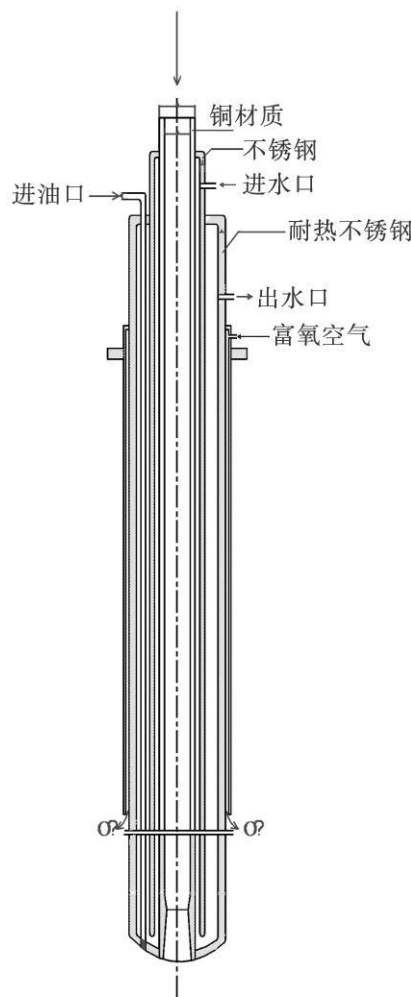


图 3 氧枪示意图
Fig 3 Lance diagram

2.2 氧枪

氧气顶吹熔融还原炼铁过程是依靠喷枪喷射的氮气气流对熔池的强烈搅拌,喷吹富氧空气强化燃烧来实现反应的正常进行,因而,喷枪的喷射行为对冶金过程至关重要.喷枪由多层同心圆套管组成:氧气管 1、冷水进入套管 2、冷水排出套管 3、油管 4 和氮气管 5 组成,循环冷却水从套管壁之间的通道通过,实现对枪体的冷却.枪末端是一个可更换的喷嘴,由喷嘴喷出压力为 0.2~ 1.0 MPa 的气流来加强对渣层的搅动,加速炉料的熔化和冶金过程^[5].如图 3 高压氮气喷吹入到炽热熔池内,引起渣层剧烈的搅动,强化了传热效率,提高了反应速度,大大缩短了反应时间.合理的喷吹强度不但能使

炉料的熔化速度和反应速度加快, 渣铁分离良好, 还要使熔体对炉衬的冲刷腐蚀最轻、烟尘量最小。在生产初期, 由于烟气和热量较低, 首先往炉内加入大量的还原煤并由油管经雾化喷头喷吹柴油, 以提高炉内温度和增加煤气量, 在炉内温度达到一定的温度后, 同时由喷枪喷吹氧气和氮气, 来强化熔炼并加强对熔池的搅拌。喷头的结构决定着射向熔池的气流特性和熔体的扰动情况, 因此, 氮气的出口风压和氧气枪口的位置是生产控制的关键, 要通过不断的试验, 摸索出最佳的枪位, 达到对渣层搅拌程度的控制, 提高炉内的传热传质效果, 改善还原反应的动力学条件。

3 试验

3.1 试验原料

试验采用的原料是昆明钢铁公司所提供的铁矿石、煤炭及熔剂, 其成分见表 1~3

表 1 铁矿石成分

Tab 1 Composition of iron ore

单位: 百分数 %

| TFe | S | P | Pb | As | T _{D2} | Zn | Cu | Sn | K ₂ O | Na ₂ O | CaO | MgO | Al ₂ O ₃ | MnO | SiO ₂ |
|-------|-------|------|-------|------|-----------------|-------|-------|-------|------------------|-------------------|-------|-------|--------------------------------|-------|------------------|
| 58.08 | 0.318 | 0.46 | 0.006 | 0.01 | 0.09 | 0.008 | 0.049 | 0.009 | 0.143 | 0.028 | 2.449 | 1.434 | 1.317 | 0.162 | 4.963 |

3.2 试验设备

氧气顶吹熔融还原炉、60 m³/h 制氧机、80 m³/h 制氮机、高温测试热电偶、煤气收集装置、水冷系统

表 2 还原煤工业分析

Tab 2 Industry analysis of the coal 单位: 百分数 %

| 煤种 | A _{ad} | S | V _{ad} | C _{ad} | M _{ad} |
|-----|-----------------|------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 无烟煤 | 11.61 | 0.58 | 6.86 | 80.63 | 0.81 |
| 瘦煤 | 10.21 | 0.61 | 13.42 | 76.07 | 0.41 |

3.3 技术参数

此工艺操作简单灵活、反应速度快, 熔炼周期短。氧气顶吹熔融还原炼铁试验的主要技术参数为:

$\varnothing \times H$: 1 260 × 2 200 mm; 温度: 1 450 °C ~ 1 550 °C; 工作压力: 80 kPa 喷枪: 1 × \varnothing 2 700 × 100 mm; 氧气纯度: 3% ~ 93%; 氧气流量: 25 m³/h 氮气出口压力: 0.5 ~ 1.0 MPa

3.4 试验结果

生产的铁水质量较为稳定、洁净, 杂质进入炉渣而很少进入铁水中, 铁水部含硅, 适用于炼钢低渣量操作^[6]。铁水成分见表 4:

表 3 熔剂的成分

Tab 3 Flux composition

单位: 百分数 %

| 熔剂 | SD ₂ | Al ₂ O ₃ | CaO | MgO | P ₂ O ₅ | 烧损 | 合计 |
|-----|-----------------|--------------------------------|-------|------|-------------------------------|--------|---------|
| 石灰石 | 1.73 | 1.13 | 48.81 | 4.51 | 0.01 | 43.796 | 100.000 |

表 4 2种方法的铁水成分

Tab 4 Hot metal components of the two methods

单位: 百分数 %

| 成分 | 高炉铁水 | 氧气顶吹熔融还原铁水 |
|------|------------------|------------------|
| C | 4.2 | 4.0 |
| P | < 0.04 | 0.038 |
| S | 0.04 ~ 0.08 | 0.1 |
| Si | < 0.01 | 0 |
| 铁水温度 | 1 450 ~ 1 500 °C | 1 480 ~ 1 550 °C |

由于熔融还原炉内氧化性气氛强, 因而炉渣脱磷效果非常好, 非常适合于冶炼高磷铁矿。这是区别于高炉和其它非高炉炼铁工艺的特点^[7]。即使原料采用含磷较高的铁矿石也可以生产出磷含量较低的优质铁水。昆钢周边地区的高磷难选铁矿石资源非常丰富, 惠民铁矿、罗茨铁矿等矿山的高磷铁矿石总储量超过 20 亿 t^[8], 若能采用氧气顶吹熔融还原技术工艺合理开发使用这些铁矿石对

于企业甚至我国钢铁工业的发展都具有重要的意义。我国现在高炉无法使用的高磷铁矿石可以大量地作为炼铁原料, 丰富了原料的来源, 降低了进口份额, 大大降低了原料成本, 提高了企业的市场竞争力。

4 结 论

1) 与传统高炉相比, 氧气顶吹熔融还原炼铁技术的基建投资少, 所需要的设备少. 目前高炉炼铁的大多设备, 都直接可以使用在氧气顶吹熔融还原炉上, 可以使用现在高炉无法使用的高磷铁矿石, 改善了资源结构, 充分利用了现有资源, 降低了原料成本.

2) 省去了在高炉炼铁中污染最为严重的炼焦和烧结工序, 且能使用高磷铁矿石作为炼铁原料, 开辟了炼铁原料来源; 在生产过程中, SO_x 、 NO_x 小的排放量减少, 大大改善了环境质量, 减轻了环境污染, 是新一代的绿色清洁炼铁工艺.

3) 通过初步试验得到的铁水与传统高炉所生产的铁水进行比较可知, 采用此技术所生产的铁水与高炉所生产的相差无几, 对炼钢工序影响步大.

尽管工艺还只是一种新的、不算成熟的炼铁工艺, 但它凭借其所具有的独特优势, 在不久的将来会有很大的发展空间, 这在世界范围内尤其在我国具有更广阔的发展前景.

参考文献:

- [1] 陈津, 林万明, 赵晶. 非焦煤冶金技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007 26- 28
- [2] 徐书刚, 李木子, 吕庆. 熔融还原炼铁技术考察与分析 [J]. 本钢技术, 2006(4): 1- 5.
- [3] 徐国群. AusIron 炼铁新技术 [J]. 上海金属, 2003 1(25): 30- 35
- [4] 杨天均. 熔融还原技术 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1991 17- 18
- [5] 朱祖泽, 贺家齐. 现代铜冶金学 [M]. 北京: 科学教育出版社, 2003 348- 350
- [6] 迟京东. H Smelt 熔融还原技术的发展 [J]. 国外钢铁, 2004(3): 33- 35
- [7] 周渝生. 煤基熔融还原炼铁新工艺开发现状评述 [J]. 钢铁, 2005 11(40): 1- 8
- [8] 杨雪峰, 张竹明, 唐启荣, 等. 昆钢应用 H Smelt 工艺的可行性 [J]. 昆钢科技, 2005(4): 1- 4

简讯

昆明理工大学喜获国家高技术研究发展计划 (863计划)项目立项

我校竺培显教授申报的“稀有金属电解用节能型层状复合电极材料的开发研究”项目 2009年 5月 23日获准立项, 被列为国家高技术研究发展计划(863)计划新材料技术领域 2009年度专题课题(项目编号: 2009AA03Z512). 该项目总经费 110万元, 其中国拨经费 100万元.

课题组在国家自然科学基金资助项目(项目编号: 50664005)的前期研究基础上, 将进一步开发研制适合我国国情的有色(稀有)金属电解用节能型电极材料, 技术性能将达到国际先进水平, 填补此领域的国内技术空白. 其主要研究内容是: 新型电极材料(析氧型、析氯型、混合型)结构设计与制作、生产设备设计与制造、废电极回收再利用. 该课题的研发成功, 将解决当前在有色(稀有)金属电解生产领域能耗高、产品质量不稳定等技术难题, 而且对氯碱、电镀、水处理、有机合成、电渗析等应用领域的技术进步、节能减排、环境保护等都有着极其重要的意义.

国家“863计划”专题课题申报技术性强、要求高、竞争激烈, 以地方院校为技术依托单位获得立项的专题课题实属不易. 该专题课题是我校又一次以第一技术依托单位获得的国家“863计划”项目, 再次充分说明我校科研水平的稳步提升.

(供稿人 周生刚)