

直接还原和熔融还原 炼铁技术译文集

(1980~1989, 1993~1994 科技文献)

包头钢铁公司

经济技术情报研究所

科技处

出版

TF 50

9500194

直接还原和熔融还原 炼铁技术译文集

(1980~1989, 1993~1994 科技文献)

直接还原和熔融还原炼铁技术课题组 编

包头钢铁公司
经济技术情报研究所 出版
科 技 处

内 容 简 介

本书收集了 1980—1989、1993—1994 年国外铁矿石直接还原和熔融还原工业发展现状、理论基础、各种工艺流程和设备、热能利用、环境保护和技术经济对比等文献。(1990—1992 年的文章已由唐钢出版)

全书收集廿多个国家的六十余篇论文约六十余万字。可供从事铁矿石直接还原、铁矿粉选矿、炼铁、炼钢工程技术人员和有关科研院所、大专院校师生参考。

直接还原和熔融还原

炼铁技术译文集

包钢经济技术情报研究 出版

包钢印刷厂 印装

开本 787×1092 毫米 1/16 37.5 印张 600 千字

1994 年 12 月第一版 1994 年 12 月第一次印刷

印数 1—1000 册

定价 51.80 元

借鉴国外经验,促进
公司技术进步,在优化
结构中提高经济效益.

普国安

1994.12

包头钢铁公司经理、书记普国安题词

编委、审校人员

曾国安 范国光 徐福贵 唐嗣孝 张慧生 丁永昌 张顺臻
王国强 王振山 李实权 谭福华 徐广尧 罗敬逊 冯志坚
陈春元 周荣菊 郭景龙 汪大宏 杨 镛 智文斗 董 俊
刘越表

责任编辑

刘越表 智文斗 董 俊

编辑人员

全玉喜 刘兰英 韩广明 张 锦

前 言

直接还原和熔融还原炼铁技术属于非高炉炼铁方法两大课题,是炼铁冶金技术中的新工艺。从七十年代以来,世界上许多国家的冶金界投入大量的人力、物力和才力开发非焦炼铁,用以取代焦炉和高炉。目前这一技术已在德、日、美、南非、印度等国取得了很大进展。

直接还原技术发展较快,1989年世界海绵铁的年产量突破1600万吨,到1990年为1800万吨,1991年达到2000万吨。在一些国家和地区直接还原除回转窑有气、煤基法外,还有如反应罐、流化床、竖炉法等均为气基法。

熔融还原虽说在一定时期内还不能取代高炉,但也有新进展。日本政府在1988年由通产省和日本钢铁联盟开展了煤基矿石熔融还原法的七年计划(1988—1994年),投资130亿日元,预计1993年建成年产15万吨工业规模。澳大利亚奎纳纳建立年产10万吨生铁装置,在1993年投产。俄罗斯的莫斯科钢铁学院和新利别茨克钢铁公司合作建立一套年产30万吨液相铁还原设备。

我国钢铁工业近十几年来发展较快,但人均钢产量还是低的,预计到2020年产钢达到1.2亿吨时,人均钢产量也不过100公斤左右,相当世界平均水平。我国钢铁工业以高炉炼铁为主。高炉炼铁存在生产流程长、投资大、建设周期长、能耗高、成本高和污染严重等问题。从资源看我国煤藏量虽然丰富,但焦煤储量不多,其中焦煤仅占5—6%,分布不均,山西就占50%。鉴于此,开发直接还原和熔融还原技术已经提到了议事日程。

开发直接还原和熔融还原炼铁的重要意义可归纳如下几个方面:

1)以煤代焦。新工艺用非焦煤代替焦炭直接生产固态或液态铁。用非焦煤代替焦炭炼铁对发展钢铁工业和提高煤的综合利用效果,是具有战略性的重大问题。仅就经济效益而言,非焦煤代替焦炭两者差价每吨达200多元。

2)流程缩短。传统流程炼铁法是焦炉—烧结(或球团)—高炉流程,新流程取消了焦化工序,甚至可能取消烧结工序。流程缩短基建投资大幅度降低,保守估计投资可节约四分之一。同时还可大大降低企业生产时对环境的污染。

3)生产灵活性大。有利于针对资源及经济地理特点因地制宜地发挥地区的优势,适宜于用户的要求,生产中小批量的钢铁产品。产品结构的易变性,生产组织的灵活性是今后国民经济和新技术不断发展的重要条件之一,并以此增强企业市场竞争能力。

4)符合我国实现情况。我国作为发展中国家需要长期持续稳定发展。实际上我国非焦煤储量丰富,分布较广,共生矿多。近年来进口矿逐年增加,含铁高的粉矿资源增加,可以采用新

工艺炼铁。建设资金不足,只有上短流程、投资省、见效快的工艺更符合实际。

包钢在本世纪末(2000年)钢的产量要达到600万吨,仍然是采用传统的工艺流程。虽然在短时期内还不至于淘汰,但跟踪世界钢铁工业发展的新技术,及时掌握其发展动态,不失时机地应用最新技术改造传统的工艺、流程及其装备,才能够进入市场竞争的行列。而直接还原和熔融还原炼铁新技术则在某些方面提供了这种可能。

本译文集在联机检索出大量的文献资料中筛选出六十余篇,约六十余万字,比较系统地介绍了该工艺的现状和发展、基础理论、半工业试验和工业性生产方面的应用状况及有关动态,现编译印发供广大科技人员和领导决策参考。

由于编译时间仓促,文集中可能有不妥之处,欢迎读者批评指正。

编 者

目 次

一、技术工艺发展现状及趋势

未来的钢铁生产.....	(1)
铁矿石直接还原和熔融还原工艺的现状与发展趋势.....	(7)
ISCOTT 为民用和出口市场生产直接还原铁.....	(2 1)
直接还原技术的发展现状和趋势.....	(2 7)
直接还原领域的新发展.....	(4 6)
东南亚的直接还原技术.....	(5 5)
直接还原和熔融还原的现状.....	(6 7)

二、工艺基础理论

使用旋涡预还原器单炉熔态还原.....	(7 6)
流化床还原反应中硫的分压和铁矿粉粘结之间的关系.....	(7 8)
预还原流化床中铁矿粉的循环特性和铁矿粉的还原行为.....	(8 6)
金属化球团矿熔融和反应期的质量交换.....	(1 0 0)
铁的液相还原现状和发展前景.....	(1 0 4)
原材料的加入和它对大渣量熔融还原工艺操作的影响.....	(1 0 8)
对循环元素在铁浴熔融还原过程中行为的热力学模拟研究.....	(1 1 8)
铁矿石用煤气直接还原气态热力学平衡状态.....	(1 3 1)
试验室原料选择试验对海绵铁生产的重要性.....	(1 4 1)

三、直接还原工艺和设备

克鲁伯厂用煤直接还原炼铁法的新发展.....	(1 5 6)
Elred 一种更经济的炼铁技术	(1 6 0)
SL/RN 煤基直接还原炼铁法	(1 6 1)
南非以煤为燃料的直接还原工艺设备.....	(1 6 6)
生产直接还原铁用原料的质量评价技术.....	(1 6 9)
KR 工艺—一个廉价生产铁水的途径	(1 7 7)
KR 法—非焦煤炼铁技术	(1 8 0)
铁矿石直接还原工艺.....	(1 8 7)
对回转窑生产海绵铁的物流研究.....	(1 9 7)
第一部分;一些操作参数的影响	
对回转窑生产海绵铁的物流研究.....	(2 0 6)
第二部分:窑的几何尺寸的影响	
对回转窑生产海绵铁的物流研究.....	(2 1 8)

第三部分:回转窑结圈的影响	
回转窑直接还原时的能量利用	(2 2 7)
现代化的 HYL 设备	(2 3 3)
印度第一个 HYL III 直接还原炼铁厂结合能量的设计	(2 3 8)
Sicartsa/墨西哥 HYL III 直接还原设备的先进控制技术	(2 4 2)
HYL—III 的最新设计:Sicartsa 设备	(2 5 1)
竖炉中铁矿石原料金属化工艺的改进	(2 5 9)
竖炉中精矿质量、焙烧及未焙烧球团矿	
质量对予还原过程的影响	(2 6 3)
铁矿石气态还原成海绵铁的方法和设备	(2 6 8)
直接还原铁增加碳含量的方法及设备	(2 7 3)
直接还原铁的生产方法和设备	(2 8 0)
直接还原与熔融还原技术	(2 8 6)
煤基直接还原设备和现代电炉炼钢车间的设计	(2 9 1)
煤基炼铁	(3 0 2)
直接还原—电炉炼钢流程与高炉—转炉炼钢流程的比较	(3 3 9)
Sidor 厂的 Midrex 直接还原分厂存在的问题与对策	(3 4 2)
四、熔融还原工艺及设备	
Midrex Fastmet 工艺:一种简单经济的炼铁方法	(3 4 8)
川崎熔融还原工艺:燃料的灵活性	(3 5 5)
熔融还原的最小能量	(3 5 7)
铁矿石熔融还原方法及其设备	(3 6 8)
五、技术经济分析及应用	
直接还原铁在装运中技术和经济分析	(3 7 8)
高质量大块矿石:用于直接还原的经济和技术分析	(3 8 7)
在荷兰进行对直接还原经济性的讨论	(3 9 9)
高炉及液相铁还原设备燃料利用效率评估比较	(4 0 2)
使用新型球团工艺设备保证更经济的炼铁炼钢工艺	(4 0 6)
直接还原技术和经济	(4 1 1)
工业直接还原法的技术和经济对比	(4 7 2)
用于还原球团矿生产球墨铸铁	(4 8 7)
Scwa 金属直接还原厂两年操作经验	(4 9 8)
流化床直接炼钢工艺	(5 0 4)
生产铁和铁合金用的熔融还的开发	(5 1 4)
采用等离子技术直接还原熔炼	(5 2 2)
用焦炭充填层型熔融还原法生产铁合金	(5 2 4)
在 130'LD 转炉应用直接还原铁(DRI)的工艺和质量	(5 3 4)
电炉使用直接还原铁冶炼的地位	(5 4 8)
在电弧炉炼钢中使用废钢和直接还原铁的利弊	(5 5 5)

未来的钢铁生产

〔摘要〕 直接还原和接近成品浇铸为发展新型的炼钢厂—小型联合生产厂—提供了可能。但是,在目前的市场形势下,将这些新技术应用于已有厂家的条件尚不完备,只能用于发展的新建厂。

1、前 言

根据现有的预测来看,未来几年内钢铁生产将保持现有的水平,或者略有提高。

目前的生产技术可以分为两大类:

—传统用废钢进行生产的小型厂(简称 MM),其特点是成本低、生产率高,但产品质量差。

—联合生产厂(简称 IM),具有较高的生产率和产品质量,但成本也较高。

鉴于工业的不景气状况,迫切需要我们去研制一些新的生产工艺,这些工艺应当既可发挥小型厂和联合企业的优势,又可避免两者的弊端,同时还应考虑到对产品要求的不断提高,以及企业自身所需遵守的环保原则等问题。

在新技术的开发过程中,必须始终如一地着眼于以下四个方面:

- 提高产量,降低成本;
- 提高产品质量和性能,缩短交货时间;
- 不污染空气、水和土壤,以保护我们的环境;
- 节省原材料及能源。

对于钢铁生产部门和设计单位来说,要在尽可能短的时间内不断地开发和实现满足上述要求的新工艺,这确是一个巨大的挑战。

目前对新工艺的研究开发工作主要致力于铁矿的还原和直接成型铸造。

2、还原和熔炼

为了降低生产成本和满足环境要求,应当尽力减少生产工序。无论过去或现在,深入的研究和开发工作都在不停地向前发展,为的是探索其它可行的技术来生产铁水(直接熔炼)、甚至钢(钢的直接生产),以便取代高炉以及相应的烧结和焦化厂。这两个厂家对环境影响很大,即使使用了工艺气体除尘系统,废气的比率还很高。

现将在铁矿还原和熔炼领域中所取得的主要进展概括如下,见所列各表。

Corex(VAI)

供料:

- 块矿(6~30mm)
- 球团矿(6~30mm)
- 烧结矿(6~45mm)(进行了几次试验)
- 非焦煤(5~40mm)
- 供竖炉使用的添加剂(8~16mm)
- 供熔融气化器使用的添加剂(4~10mm)

主要组成

- 还原竖炉
- 熔融气化器
- 氧气厂

产品

- 铁水
- 4.3%
- 0.3%si
- 0.04%S
- 0.09%P
- 废气
- 1650 米³/吨铁水
- 7 兆焦尔/米³
- 典型的组份:
- CO 45%
- CO₂ 32%
- H₂ 16%
- H₂S 10~70ppm

目前状况

- 1981~1988年,在试验性厂家试行,年产铁水6万吨
- 从1989年起,首家商业化工厂在南非的比勒陀利亚厂(属南非钢铁工业公司)投产,年产铁水30~35万吨。
- 年产铁水60~80万吨的厂家设计已完成,并签订了一项合同。

HI-Smelt(澳大利亚)

供料

- 铁矿粉
- 煤粉
- 石灰粉

主要组成

- 原材料的研磨设备
- 预还原系统(环流化床)
- 卧式熔融还原容器,煤从下部喷射,二次燃烧在顶部区内进行
- 热交换器
- 热风炉

产品

- 熔铁水
 - 3.8%C
 - 含硫量高
 - 渣中 FeO 含量高
- 废气
 - 1850 米³/吨铁水
 - 1.44 兆焦尔/米³

目前状况

- 首家试验性工厂于 1993 年投产,小时产量为 10~20 吨
- 年产近 50 万吨铁水的大型厂家设计正欲进行

DIOS(铁矿直接熔融还原—日本)

供料

- 铁矿粉
- 煤粉和大颗粒添加剂

主要组成

- 预还原流化床
- 预热流化床
- 熔融还原炉
- 氧气厂

产品

- 铁水
 - 约 4%C
 - Si 含量低
 - S 含量高
- 废气
 - 2080 米³/吨铁水
 - 3.74 兆焦尔/米³

目前状况

- 首家试验性工厂于 1993 年投产,其日生产能力为 500 吨
- 日本化学工业所、日本钢铁公司及日本其他的钢铁生产部门正在进行初步的小规模研究

AISI-DOE 直接炼钢法

(美国)

供料

- 球团铁矿或经预还原的铁
- 煤粉

主要组成

- 预还原炉
- 池内熔炼器
- 氧气设备
- 连续式除硫和脱碳装置
- 钢包处理设备

产品

- 粗钢

目前状况

- 小时产量不足 8 吨的试验性厂家于 1993 年投产
- 目前尚未获得有关进展情况的资料

碳化铁(美国)

供料

- 铁矿粉
- 经重整的天然气

主要构成

- 铁矿粉预热器
- 处理天然气用的蒸汽重整炉
- 还原反应装置(流化床反应装置)

产品

- 碳化铁
- | | | |
|--------------------------|--|---------------------------------------|
| - 6.1% C | - 0.29% Al ₂ O ₃ | |
| - 81.3% Fe | - 87.8% Fe ₃ C - 1.79% Mn | - 4.6% Fe ₃ O ₄ |
| - 0.004% P | - 1.8% Fe | |
| - 3.11% SiO ₂ | - 0.01% Fe ₂ O ₃ | |

目前状况

- 几年前,投产了一个日产 25 吨的试验厂,刊物上曾登过一些有关试验情况。

根据过去发展的时间情况可以看出,从试验厂的建设,到工业化规模厂实现稳定的生产,将要经历大约十年左右时间。由此可见,所述的大多数工艺在 2000 年以前甚至更晚些,都不会用于工业化规模的生产中。

现在,只有 Corex 工艺得到了充分的发展,并使用在工业化规模的生产中。

结果表明,与高炉生产工艺相比(指包括环境控制工艺设备在内者,如烧结厂使用的除尘、除硫设备,焦化厂使用的无水冷却设备),用 Corex 工艺方法生产铁水,可降低成本 10%,参见图 1(略)

市场透视

Corex 工艺技术适合于怎样的市场条件呢?今后一段时间里,铁水的生产能力将基本保持稳定,或略有下降。当今钢铁工业的状况是:利润率低,市场不景气。这些情况都给 Corex 工艺(以及其他的熔炼及还原工艺)深入市场造成了巨大的困难。

因市场疲软,用于新技术的各种投资都必须同已的生产方法进行对比,而采用已有工艺的大多数厂家都已贬值。

从我们目前正在对 Corex 工艺要求所作的分析看,首先突破这些障碍的最好办法必须基于以下条件:

- 现有钢厂需要提高其铁水的生产能力;
- 需要建新型的联合生产厂;
- 因设备陈旧或环境要求,必须对高炉或高炉生产工艺中的某一主要预处理厂进行现代化改造;
- 需要采用纯净原料代替废钢。

对于那些非焦煤且没有天然气,或天然气价格相当昂贵,但有块矿资源的国家来说,如印度、南非和澳大利亚,常用 Corex 工艺方法来代替已有的高炉生产。

在 Corex 工艺成功地用于若干厂家之后,包括其它种铁矿还原和熔炼工艺,这些工艺就可能进一步发展成为取代传统高炉生产方法的实用技术。

3. 接近成品浇铸

与传统的生产方法相比,薄板坯铸造(简称 TSC)工艺和扁坯铸造(简称 SC)工艺可大大降低生产的成本,这一巨大的潜力推动着两种工艺的发展。它们主要是将铸机直接与轧机相连接,因为这样可以减少人工,减少加热及变形过程中的能耗,降低投资并省掉半成品存放的费用。

该领域的研究开发工作十分兴旺,目前已知的扁坯、薄板坯铸造及轧制方面项目有 40 多个,其中大多数尚处于研制阶段,只有四种薄板坯连铸工艺达到了工业化应用的水平。

这些工艺或多或少都是以采用固定式振动模的传统连铸工艺为基础。图 2(略)表示出是年产 60 万吨~180 万吨的几种生产工艺。

位于印度 Crawfordsville 的 Nucor 厂,就是采用薄板坯连铸和连轧技术(又称紧凑式带钢生产)的一个实例。50 毫米的薄板坯连铸机装有一漏斗形的铸模,浇铸出的高温坯要进行切割,轧制前,需进一步加热,温度由辊底式炉控制,然后用四辊轧机机组轧制,轧出的最小厚度为 2.5 毫米。产品包括热轧带钢(碳素钢),以及用于生产屋顶、板壁和汽车部件的冷轧板。曼乃斯曼的德马克公司在意大利的 Arvedi 建成并投产了一个顺列式带钢生产厂(简称 ISP)。

设计的基本思想是首先采用一个 60~70mm 的铸模,经液芯或无液芯压缩后,用 Cremona 卷取箱进行带卷的卷取和存放,最后由四辊轧机机组进行轧制。

Danieli 在其设于 Sabolarie 的研究设备中建了一台连铸机,可以生产出 2.2 米的宽板坯,最小厚度为 30 毫米。利用一座加热炉便可将该铸机与轧机连接起来。

VAI 公司于 1988 年在 Avesta 建造了第一台薄板坯连铸机,采用的是一个 80 毫米的联体模,用于生产宽度可达 2100 毫米的不锈钢板坯。其基本思想为生产高质量的产品,设备组成包括一个 70 毫米的联体模,一座辊底式炉和 4~6 架轧机(取决于最终要求的厚度)。根据 AV-Linz 厂所生产的大量薄板坯连铸和轧制的结果看,这种工艺设想确可应用于工业化生产中。

市场透视

象氧气顶吹转炉炼钢工艺一样,通过对上述各种新工艺进入市场深度所作的分析看,这些工艺只有在钢铁工业呈现稳定的发展阶段时,才得以深入市场。由于当今市场疲软,产品供应过剩,产品价格低廉,所以接近成品艺必须克服巨大的困难才可能充分占领市场。

现有板带钢生产的钢铁联合企业,轧机的热轧生产能力可达 3 百万吨/年,甚至更高。钢的生产主要集中在某一具有大型熔炼设备的炼钢车间里。炼钢厂和轧钢厂各自的限制条件引起许多技术方面的问题,阻碍了两个生产工艺过程之间的连接。

所以,接近成品浇铸技术跨入市场的第一步必须以下列条件为基础:

- 新建厂,用于生产各种要求十分严格的产品;
- 在那些无热轧带卷生产的国家或地区新建中型生产厂;
- 某些钢铁联合企业,虽然具有足够的炼钢和轧钢生产能力,但是连铸设备及/或加热设备能力不足”。

虽然薄板坯连铸和连轧技术所能生产的品种规格同传统的生产方式相比,仍然受到许多限制,如尺寸和变形量限制,最终产品的用途限制,以及钢种成分的限制(指废钢在电弧炉中炼成的钢),但在这方面技术将来必定能够成功地跨入市场,而且其命运也会不同于六十年代的那些思想。当时采用的是电弧炉/传统的连铸机/Steckel 轧机或行星轧机这种组成形式,虽说也勉强地进入了市场,但不久便消失了。

4、在钢铁联合企业中,新技术的透人性

以建在 Linz 的钢铁联合企业为例,便可对这些新技术能否进入一个联合企业的可能性加以讨论。

Corex 工艺的可能性

有关能否在 Linz 采用 Corex 工艺这个问题的讨论是从 1989 年年底开始的。当时正在进行现代化的设计方案。

对于 Linz 的 VA 钢公司来说,最主要的问题是进一步降低其铁水的成本。为采用 Corex 技术曾做过这样细的研究,而且今天仍在进行,尽管用 Corex 取代高炉看来是可行的。

吕之康 译

梅美武 校

铁矿直接还原和熔融 还原工艺的现状与发展趋势

〔摘要〕 本文对几种铁矿还原的新工艺进行了热力学、动力学及工艺条件和局限性的研究,并对熔融还原和直接还原工艺的发展现状做了分析。目前的直接还原和熔融还原工艺已成为高炉生产工艺的竞争对象,而且这两种还原工艺的发展表明,熔融还原工艺在世界范围内现在的铁水生产中占据着主要地位,同时,其它的生产工艺也取得了很大的进展,特别用天然气或煤作还原剂来生产固态海绵铁尤为如此。然而,尽管在某些地方直接还原工艺已取得了明显的经济效益,但是九十年代期间在德国,出于能源方面的原因铁水—氧气转炉炼钢工艺的地位仍将不变。

1. 前 言

除了高炉炼铁工艺外,还有许多将铁矿石直接还原的其它工艺,这些工艺的生产效率已于近年内得到了证实。同过去一样,高炉生产工艺仍然在铁矿石还原中占主导地位,尤其体现其工艺技术不断改进和降低能耗方面所取得的成就。但是,直接还原工艺也具有某些优点,主要依地区的条件而定。直接还原工艺的这些优点说明了其使用的合理性,同时也为进一步发展提供了可能性,直接还原工艺的优点表现在:

- 一用当前的煤或天然气资源来代替焦炭;
- 一能源混(化)合物的需求量极少,甚至可不用;
- 一采用某些直接还原工艺,其配料准备工作不像高炉生产那样复杂;
- 一生产设备规格小,以适应灵活多变的要求,并可采取小规模投资方法来改进生产。

同采用大型高炉加氧气顶吹转炉的钢铁厂相比,用直接还原法进行生产的炼钢厂,其每吨粗钢的投资比确会高些,但对小型设备而言,便可显示出其优点,图1表示是用煤作燃料时炼钢生产情况的对比结果。

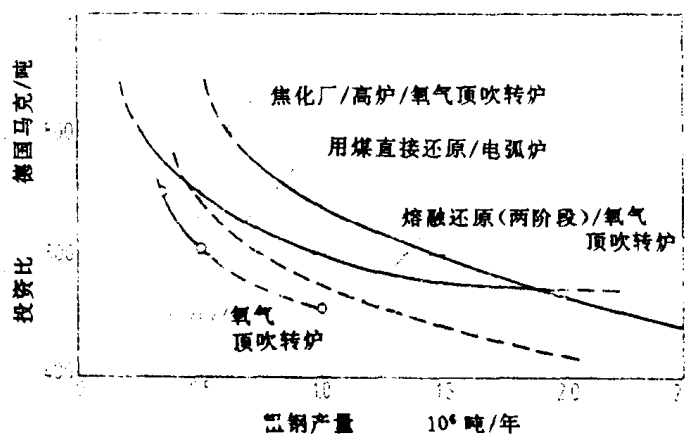


图1 用煤作燃料的炼钢厂的投资比例

上述诸项优点对于发展中国家的钢铁工业来说是有益的。但是,由于连铸技术的推广使炼钢厂废钢大量减少,所以即便在工业国,直接还原技术的应用也显著增加。

2、改进还原工艺的基本条件

还原工艺的基本要求以及应用的可能性,概括地列于表 1 中。一般希望煤和精矿直接装炉,这一点对高炉或竖炉来说是做不到的,但可用于回转炉。为减少能量消耗,应尽最大的可能充分利用生产过程中的能量,至少也要尽一切努力对所提供的能量加以利用,高炉生产最适于此项要求,在一定程度上讲,竖炉直接还原工艺亦可满足要求。单位体积的生产能力、单一设备的总生产能力以及灵活性,都是重要的评估指标。例如,单位体积的生产能力依次:高炉为 0.1 吨/(米³·时),回转炉内直接还原为 0.05 吨/(米³·时),直接还原的竖炉为 0.45 吨/(米³·时)。若能生产出与钢相近的液态产品自然有利,但没有一种生产工艺能达到这种理想状态。尽管高炉生产较其它一些工艺来说,不仅单位体积的生产能力低,而且灵活性差,但就其产量高而言,仍是非常有利的。

还原工艺的要求

表 1

要求	具体应用的可能性				
	高炉	直接还原			熔融还原
		竖炉	流化床	回转炉	
装料					
直接装煤	-	-	-	+	+
直接装精矿	-	-	(+)	+	+
能源					
降低主要能耗	+	+	-	-	(+)
废气利用					
—生产过程中	-	-	-	-	(+)
—提供给生产过程	+	+	+	(+)	(+)
反应容器					
生产率	-	+	+	-	+
大规模生产的能力	+	-	-	-	-
设备灵活性	-	+	+	+	+
产品					
液态	+	-	-	-	+
类似钢	-	+	+	(+)	(+)

在高炉生产的冶金工艺技术方面,也取得了进展。已采用了几种工艺模型来研究天然气、焦炉煤气和氧气的喷吹情况,分析了高炉气体的循环状态,炉温升高以及蒸汽和煤的喷吹状况。从各种不同的变化看,只有煤的喷射能瞬时提高炉温,从而为降低成本提供有利条件。另一种变化体现在尺寸较小的竖炉上,即在煤的喷射和炉气的循环过程中,用纯氧代替鼓风,根据资料报导,其产量可提高 50% 左右。而且,这些技术将导致新的生产工艺的发展。

从工艺技术的角度讲,固态反应和固态下扩散都会使反应速率受到限制,而且,由于反应过程会产生类似“粘结”的不良后果,所以尽管采取颗粒状还原的办法,也不可能用提高温度来增加反应的速度。另一项基本的工艺技术要求是应符合逆流原理。

• • •