

钢铁生产工艺装备 新技术

周建男 编著

GANGTIE SHENGCHAN
GONGYI ZHUANGBEI
XINJISHU

冶金工业出版社

钢铁生产工艺装备新技术

周建男 编著

北 京

冶金工业出版社

2004

图书在版编目(CIP)数据

钢铁生产工艺装备新技术/周建男编著. —北京:冶金工业出版社, 2004. 1

ISBN 7-5024-3438-0

I. 钢… II. 周… III. ①炼铁设备 ②炼钢设备
IV. TF31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 112655 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 王雪涛 美术编辑 李 心 责任校对 刘 倩 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

2004 年 1 月第 1 版, 2004 年 1 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 14.125 印张; 376 千字; 438 页; 1-3000 册

39.00 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)

前言

钢铁生产工艺装备技术发展史就是一部人类社会的发展史。

在远古,我们的祖先是石器为主要工具的,他们在寻找石器的过程中认识了矿石,并在烧陶生产中发展了冶铜术,开创了冶金技术。公元前 5000 年,人类进入青铜器时代,公元前 1200 年左右,人类进入了铁器时代。开始使用的是铸铁,后来制钢工业得到迅速发展,成为 18 世纪产业革命的重要内容和物质基础。人类进入 20 世纪中叶以来,钢铁生产工艺装备技术得到了快速发展,尤其近 20 年来其发展更加突飞猛进。

千百年来,世界钢铁生产工艺流程经过长期的发展和选择,只剩下两种主要流程,即以氧气转炉炼钢工艺为中心的钢铁联合企业生产流程,即长流程;以电炉炼钢为中心的小钢厂生产流程,即短流程。在 21 世纪,两种生产工艺流程并存发展而且后者比前者有更广阔的发展空间,互相渗透。根据社会资源结构,技术进步的程 度,两者最终达到一个最佳的平衡点。

本书共分 6 章,对钢铁生产工艺装备技术作了叙述,重点介绍了用短流程工艺生产长型材的工艺装备新技术。在第 1 章讲述了三方面的内容:第一方面,钢铁生产工艺装备技术的新进展,对炼铁、炼钢、连铸、轧钢几个方面的新工艺、装备技术做了简介;第二方面,介绍了短流程工艺;第三方面,介绍了世界主要产钢国(地区)的钢铁工业的结构调整情况。第 2 章也讲述了三个方面的内容:第一方面,长流程工艺之采矿及选矿、人造块矿、炼焦、高炉炼铁、转炉炼钢、炉外精炼、连铸、轧钢各工序的工艺装备技术;第二方面,短流程工艺的兴起与未来及

与长流工艺的对比;第三方面,特殊钢生产的工艺流程,叙述了(1)电炉流程与转炉流程生产特殊钢时的对比及各种用于特殊钢冶炼、加工的工艺装备技术,如VIM、VAR、EBM、ESR等特冶方法、锻造工艺等;(2)特殊钢各钢类的性能、生产工艺介绍,同时将短流程专用技术放到第3、4、5、6章中专门阐述。第3、4、5、6章重点介绍了短流工艺长材生产的铁源、炼钢(含二次精炼)、连铸、轧钢近些年来出现的最新工艺装备技术。

作者多年来从事特殊钢生产工艺装备技术的研究和企业发展战略、规划的研究工作。自从所参加的“九五”国家重点科技项目《合金钢长型材新工艺流程技术开发》(该项目历时4年多),于2000年1月在原国家冶金局组织下由科技部验收后,加之近十年来几次出访美国、加拿大、德国、意大利、奥地利、韩国等国家,考察、调研了世界许多著名的钢铁生产企业、冶金设备制造企业,并在国内、外进行了数百次的学术交流,想把看到、听到和知道的钢铁生产工艺装备最新的技术写成一本专著以飨读者,在冶金工业出版社及有关领导、专家的支持下,这一心愿得以实现。

本书写作过程中,参考了国内外有关书籍和资料,谨向有关作者致以深深的谢意。对参与本书文字整理工作的中国人民解放军海军某部孙洪田中校、青岛钢铁集团公司袁长波、谭瑞林工程师等同志们表示感谢。感谢原抚顺特钢集团公司张玉颖、董学东、戴建明、张立成、周宝生等同志们给予的关怀和帮助。

本书的出版我要特别感谢我的领导青岛钢铁控股集团公司董事长、党委书记、首席执行官王玉科老师的支持和指导。

限于作者水平及钢铁生产工艺装备技术日新月异,书中难免有不足之处,殷切希望广大读者批评指导。

周建男

2003年8月于青岛

目 录

1 概述	1
1.1 钢铁生产工艺装备技术的新进展	4
1.1.1 无焦钢铁生产技术	5
1.1.2 高炉炼铁新技术	9
1.1.3 炼钢先进技术	14
1.1.4 轧钢先进技术	18
1.2 钢铁生产短流程工艺	21
1.3 世界钢铁工业的结构调整	21
1.3.1 美国钢铁工业结构调整	22
1.3.2 日本钢铁工业结构调整	24
1.3.3 欧盟钢铁工业结构调整	26
1.3.4 其他欧洲国家钢铁工业结构调整	27
1.3.5 俄罗斯钢铁工业结构调整	28
1.3.6 中国钢铁工业结构调整	29
2 钢铁生产工艺流程	35
2.1 长流程工艺装备技术	35
2.1.1 采矿及选矿	36
2.1.2 人造块矿	39
2.1.3 炼焦	41
2.1.4 高炉炼铁	44
2.1.5 转炉炼钢	51
2.1.6 炉外精炼	58
2.1.7 连续铸钢	76

2.1.8	轧钢	85
2.2	短流程工艺	97
2.2.1	短流程的兴起	98
2.2.2	短流程与长流程的比较	102
2.2.3	短流程的未来发展	105
2.3	特殊钢生产工艺流程	111
2.3.1	电炉流程与转炉流程的比较	112
2.3.2	特种冶金工艺技术	115
2.3.3	锻造工艺装备技术	137
2.3.4	合金结构钢生产工艺技术	142
2.3.5	弹簧钢生产工业技术	145
2.3.6	轴承钢生产工艺技术	149
2.3.7	合金工具钢生产工艺技术	156
2.3.8	高速工具钢生产工艺技术	164
2.3.9	不锈钢生产工艺技术	169
3	短流程炼钢的铁源	174
3.1	废钢铁处理技术	175
3.1.1	废钢铁的来源	176
3.1.2	废钢铁分类	177
3.1.3	废钢的管理与要求	184
3.1.4	废钢的处理工艺装备技术	185
3.2	直接还原铁的生产工艺装备技术	195
3.2.1	直接还原铁发展概况	197
3.2.2	直接还原铁的生产工艺装备技术	203
3.2.3	直接还原铁的性能	214
4	电弧炉炼钢工艺装备新技术	218
4.1	电炉设备	219
4.1.1	炉壳	221

4.1.2	炉门	222
4.1.3	出钢口和流钢槽(出钢槽)	222
4.1.4	炉盖	222
4.1.5	电极密封圈	223
4.1.6	倾动机构	223
4.1.7	电极装置	224
4.1.8	炉顶装料系统	230
4.1.9	电炉电气设备	233
4.2	电炉炼钢工艺	238
4.2.1	补炉	238
4.2.2	装料	239
4.2.3	熔化期	239
4.2.4	氧化期	241
4.2.5	还原期	247
4.2.6	出钢	253
4.3	现代电炉炼钢技术	254
4.3.1	强化冶炼技术概述	255
4.3.2	超高功率电炉	258
4.3.3	水冷炉壁和水冷炉盖技术	268
4.3.4	无渣出钢技术	271
4.3.5	泡沫渣埋弧技术	273
4.3.6	电炉底吹搅拌技术	274
4.3.7	碳氧喷枪、氧燃烧嘴技术	284
4.3.8	二次燃烧技术	298
4.3.9	导电电极臂(导电横臂)技术	300
4.3.10	废钢预热技术	300
4.3.11	直流电炉	311
4.3.12	高阻抗、变阻抗交流电炉	319
4.3.13	带风口喷吹的电炉	322
4.3.14	转炉—电炉组合炉(Converter and EAF)	323

4.4	炉外精炼技术	325
4.4.1	LF 炉的设备构成	325
4.4.2	LF 炉精炼工艺	326
4.4.3	LF 炉在短流程工艺中的缓冲作用	327
5	连续铸钢工艺装备新技术	331
5.1	现代连铸机的追求目标	331
5.1.1	提高连铸机生产率	331
5.1.2	提高连铸坯质量	333
5.2	保护浇注技术	334
5.2.1	保护渣与伸入式水口的作用	336
5.2.2	保护渣在结晶器中的行为	336
5.2.3	保护渣的组成及性能	337
5.2.4	保护渣应用实例	338
5.3	中间包等离子加热技术	339
5.3.1	浇注温度的确定	340
5.3.2	低过热度浇铸的优势	341
5.3.3	等离子加热技术	342
5.4	结晶器液位控制	345
5.4.1	结晶器液位控制的重要性	345
5.4.2	结晶器液位控制原理	347
5.5	连铸电磁搅拌技术	355
5.5.1	结晶器电磁搅拌(M-EMS)	357
5.5.2	二次冷却区电磁搅拌(S-EMS)	359
5.5.3	凝固末端电磁搅拌(F-EMS)	360
5.5.4	电磁搅拌组合	361
5.6	二次冷却控制技术	362
5.6.1	二次冷却的设计目标	364
5.6.2	二次冷却控制的原理	365
5.7	液相穴压下技术	368

5.7.1	轻压下技术(Soft Reduction)	369
5.7.2	重压下技术(Heavy Reduction)	371
5.7.3	连续锻压技术(Continuous Forging)	371
5.7.4	热应力压下技术(Thermal Soft Reduction)	373
6	轧钢工艺装备新技术	375
6.1	棒线材轧制工艺装备技术的新发展	376
6.2	棒线材无头轧制技术	378
6.2.1	钢坯焊接技术	380
6.2.2	EBROS 无头棒线材轧制系统	383
6.2.3	20MnSi 钢棒线材无头轧制组织性能的研究	389
6.3	棒线材定径/减径机组	393
6.3.1	棒材精密轧制技术	393
6.3.2	线材减径/定径机组	397
6.4	高刚度轧机技术	406
6.4.1	轧机刚度	406
6.4.2	提高轧机刚度的原理	407
6.4.3	预应力轧机刚度的讨论	410
6.5	棒材筒卷线生产技术	413
6.5.1	Ferriere Nord 棒材筒卷线工艺特点	413
6.5.2	Ferriere Nord 棒材筒卷线设备简介	416
6.6	一种新型高精度方/扁钢轧制技术	417
6.6.1	抚钢高精度方/扁钢生产线工艺流程	418
6.6.2	WF5-40 轧钢机组成	419
6.6.3	WF 型方/扁钢轧机的特点	421
6.6.4	WF5-40 方/扁钢机组工艺软件系统	422
6.6.5	宽展数学模型的评价和改进意见	427
6.7	控制轧制及控制冷却技术	428
6.7.1	低温精轧技术	428
6.7.2	棒材水冷表面淬火芯热回火工艺	430
	参考文献	432

1 概 述

钢铁工业是指以黑色金属(铁、铬、锰 3 种金属元素)作为主要开采、冶炼及压延加工对象的工业产业。现代钢铁工业是个庞大的工业生产系统,主要生产部门包括采矿、选矿、烧结球团、炼铁、炼钢、轧钢等;还包括大量的辅助生产部门,如焦化、耐火材料、炭素、机修、动力、运输等。钢铁生产流程详见第 2 章。

自进入铁器时代以来,钢铁一直是人类社会所使用的最重要的材料。近百年来,钢铁工业得到了蓬勃发展,钢铁生产工业装备技术不断出新,第二次世界大战后氧气转炉、电炉炼钢、连续铸钢、大型高炉、二次精炼、连续轧制、控轧控冷等一系列技术的开发、应用,使得钢铁工业日臻完善,在世界范围内,钢铁工业已是相当成熟的传统制造业。钢产量从 1900 年的 3000 万 t 增加到 2002 年的近 9 亿 t,产能 10 亿 t。世界钢产量分布见表 1-1、表 1-2。

表 1-1 世界主要产钢国家和地区的钢产量(万 t)

名 称	2000 年	1999 年	增长率/%	名 称	2000 年	1999 年	增长率/%
奥地利	564.5	520.2	8.5	荷 兰	572.0	607.5	-5.9
比利时	1164.2	1093.2	6.5	葡萄牙	105.7	103.8	1.8
丹 麦	78.2	72.9	7.3	西班牙	1598.7	1483.9	7.7
芬 兰	409.3	395.6	3.5	瑞 典	522.7	506.6	3.2
法 国	2096.7	2020.0	3.8	英 国	1509.7	1661.5	-9.1
德 国	4637.2	4206.2	10.2	欧盟总计	16309.6	15547.0	4.9
希 腊	101.4	95.1	6.6	保加利亚	203.0	186.5	8.9
爱尔兰	37.8	33.5	12.8	克罗地亚	7.1	7.4	-4.0
意大利	2654.4	2487.8	6.7	捷 克	621.5	561.6	10.7
卢森堡	257.1	259.2	-0.8	匈 牙 利	183.9	181.3	1.4

续表 1-1

名 称	2000 年	1999 年	增长率/%	名 称	2000 年	1999 年	增长率/%
挪 威	67.9	61.1	11.1	哥伦比亚	64.3	52.3	23.0
波 兰	1056.8	880.3	20.0	厄瓜多尔	6.6	5.3	24.9
罗马尼亚	469.7	431.9	8.8	巴拉圭	7.7	5.0	55.7
斯洛伐克	373.3	356.9	4.6	秘 鲁	74.1	56.5	31.0
斯洛文尼亚	46.5	40.5	14.8	乌拉圭	3.8	4.6	-17.0
土耳其	1432.5	1413.3	0.1	委内瑞拉	383.8	324.9	18.2
南斯拉夫	69.6	24.4	185.6	南美总计	3897.2	3456.9	12.7
其他欧 洲国家总计	4531.8	4163.2	8.9	埃 及	282.0	262.7	7.3
白俄罗斯	150.4	134.5	11.8	利比亚	105.5	96.6	9.2
哈萨克斯坦	477.0	411.6	15.9	南 非	701.9	683.0	2.8
摩尔多瓦	82.2	79.6	3.3	突尼斯	23.0	23.1	-0.1
俄罗斯	5758.7	4975.9	15.7	津巴布韦	26.9	25.5	5.3
乌克兰	3129.3	2675.7	17.0	非洲总计	1139.4	1090.9	4.4
乌兹别克斯坦	42.0	34.4	22.0	伊 朗	660.0	607.1	8.7
独联体总计	9639.6	8311.7	16.0	卡塔尔	72.9	62.9	15.8
加拿大	1656.0	1623.9	2.0	沙特阿拉伯	297.3	261.0	13.9
古 巴	33.7	30.1	12.0	中东总计	1030.2	931.0	10.7
多米尼加	3.1	3.4	-6.5	中 国	12579.0	12364.3	1.7
萨尔瓦多	4.1	3.1	29.6	印 度	2692.4	2426.9	10.9
墨西哥	1594.0	1529.9	4.2	日 本	10644.2	9419.2	13.0
特立尼达	76.0	72.9	4.3	韩 国	4311.6	4104.2	5.1
美 国	10099.0	9615.4	5.0	中国台湾省	1679.3	1539.3	9.1
中北美总计	13466.0	12878.7	4.6	亚洲总计	31906.4	29853.9	6.9
阿根廷	447.4	379.7	17.8	澳大利亚	851.1	817.2	4.2
巴 西	2775.1	2499.6	11.0	新西兰	76.5	77.5	-1.3
智 利	134.4	129.1	4.1	大洋洲总计	927.6	894.6	3.7
				全表总计	82847.8	77128.0	7.4

注：此表包含 63 个国家和地区的钢产量，约占世界钢产总量的 98%。

表 1-2 2002 年世界主要产钢国家和地区粗钢产量统计 (kt)

名 称	2002 年	增长率 %	名 称	2002 年	增长率/%
奥地利	6189	5.5	前南斯拉夫	562	-6.2
比利时	11407	6.0	其他欧洲国家	46951	4.7
丹 麦	392	-47.7	白俄罗斯	1484	-0.2
芬 兰	4004	1.7	哈萨克斯坦	4814	3.4
法 国	20478	5.6	摩尔多瓦	514	-46.8
德 国	45004	0.4	俄罗斯	58567	1.9
希 腊	1801	40.6	乌克兰	34049	2.9
爱尔兰		-100.0	乌兹别克斯坦	450	3.7
意大利	25970	-1.9	独联体	99878	1.8
卢森堡	2719	-0.2	加拿大	15992	4.7
荷 兰	6144	1.8	古 巴	263	-3.7
葡萄牙	791	8.8	多米尼克		
西班牙	16348	-0.9	萨尔瓦多	50	28.8
瑞 典	5754	4.3	危地马拉	217	7.4
英 国	11682	-13.9	墨西哥	14221	7.0
欧盟 15 国	158681	0.1	特立尼达和多巴哥	817	22.2
波斯尼亚— 黑塞哥维纳	70	-15.7	美 国	92378	2.5
保加利亚	1880	-7.6	北美国家	123937	3.4
克罗地亚	32	-44.5	阿根廷	4355	6.0
捷 克	6512	3.1	巴 西	29604	10.8
匈牙利	2052	5.0	智 利	1289	3.4
挪 威	694	9.3	哥伦比亚	652	2.2
波 兰	8349	-5.3	厄瓜多尔	66	8.0
罗马尼亚	5562	12.8	巴拉圭	81	20.8
斯洛伐克	4284	7.4	秘 鲁	617	-18.5
斯洛文尼亚	481	4.1	乌拉圭	36	15.0
土耳其	16472	10.0	委内瑞拉	4128	8.3
			南美国家	40827	9.1

续表 1-2

名 称	2002 年	增长率/%	名 称	2002 年	增长率/%
埃 及	4358	14.7	中 国	181552	20.3
利比亚	886	4.7	印 度	28814	5.6
南 非	9095	3.1	日 本	107748	4.7
突尼斯	204	-14.6	韩 国	45390	3.5
津巴布韦	106	-28.9	中国台湾省	18184	5.6
非洲国家	14649	5.7	亚洲国家及地区	381687	11.6
伊 朗	7321	5.9	澳大利亚	7454	6.0
卡塔尔	1027	15.2	新西兰	780	-5.6
沙特阿拉伯	3556	4.2	大洋洲国家	8233	4.8
中东地区	11905	6.1	65 个国家及地区总计	886748	6.4

钢铁材料在 21 世纪乃至相当长的时期仍然是人类所使用的最主要的材料,因为钢铁材料在性能、价格上与其他材料相比将继续保持明显的优势,并具有资源广泛、再循环使用的明显优势。

21 世纪钢铁工业将继续不断发展。为适应市场竞争的需要,全世界钢铁企业将进一步进行工艺装备结构、品种结构、组织结构、资本结构的重组和调整。高产量、多品种、低成本、资源节约、环境友好是钢铁生产最重要的追求目标,为此钢铁生产工艺装备技术必将迈上一个更高的台阶。

1.1 钢铁生产工艺装备技术的新进展

钢铁工业的生产工艺装备技术已经相当完善和成熟,但人们仍然在不断地追求其进步和发展,并进一步探寻重大的工艺技术的改革。例如,采用直接还原炼铁工艺技术,是为了解决从铁矿石直接冶炼成粗钢的全新的工艺生产技术;采用薄板坯连铸连轧工艺技术,是为了进一步减少从粗钢到薄板的生产环节,节约投资和生产成本等。在加快钢铁生产工艺技术进步的同时,一些消耗高、质量差、不经济和污染环境的落后生产工艺技术已逐步被淘汰,如平

炉炼钢、模铸、吨位较小的生产设备等。随着电炉炼钢技术装备的发展和废钢资源的积累,20 世纪 80 年代后,世界钢铁生产技术在继续发展传统的从转炉炼钢工艺为中心的钢铁联合生产企业的基础上,又出现了以电炉炼钢工艺为中心的“短流程”的钢铁生产流程,即废钢(或直接还原铁)—电炉炼钢(含二次精炼)—连铸—轧钢,这种新流程优势就是“流程短”,它投资少、成本低。

1.1.1 无焦钢铁生产技术

当今以高炉炼铁为主的炼铁工艺,已受到可炼焦煤资源、过高的投资和世界上对环境保护要求不断提高的限制,以煤代焦直接还原炼铁法和熔融还原炼铁新工艺得到了迅速开发和研制,已成为钢铁工业的前沿技术。为此,许多国家正积极研究各种无焦钢铁工艺,并取得一定的进展,几种直接还原技术和 Corex 熔融还原工艺已用于工业化生产。不仅从铁源的高效率生产和煤的利用,而且从环保措施和再循环利用的观点出发,还原炼铁法的发展将是 21 世纪钢铁工业的一个重点。据 Midrex 直接还原公司的统计数据显示,2000 年世界直接还原铁总量达 4320 万 t,比 1999 年增长 12%,这是世界直接还原铁产量连续第 18 年的持续增长。直接还原铁产量的增加在于电炉钢产量的增加,由于废钢的供应不足,直接还原铁(DRI)、热压块(HBI)、生铁和铁水在电炉中的应用量急剧增加,目前,全世界电炉上述料的装入量已超过 20%。

1.1.1.1 直接还原技术

直接还原铁是铁矿在固态直接还原成铁,可以为电炉冶炼高级钢提供优质原料,也可作为铸造、铁合金、粉末冶金等工艺含铁原料。由于这种工艺可不用焦炭炼铁,原料也可使用冷压球团不用烧结矿。

直接还原炼铁工艺按还原剂种类可分为气基法和煤基法;按主体设备分为竖炉法、回转窑法、转底炉法、反应罐法、罐式炉法和流化床法等,目前气基竖炉法占绝对优势。我国已建成 DRI 式工

厂近 30 个,生产能力 60 万 t/a,世界直接还原铁产量 2000 年为 4320 万 t,预计 2005 年可达到 6000 万 t。该技术详见第 3 章。

1.1.1.2 熔融还原法

熔融还原铁是指用熔融还原法从铁矿石中还原出的液态金属铁。它可不用焦炭而直接使用煤,并可用块矿、球团、烧结及其混合物。与高炉炼铁法比较,熔融还原法工艺流程简单、生产流程短、效率高、成本低、能耗少、投资和生产费用低、生产灵活性大、工艺流程易控制并可实现自动化,另外省去了炼焦工序,使环境污染大大减轻,但氧气消耗较多。近 10 年来,许多国家积极开发不同的熔融还原技术,目前已有 Corex 熔融还原工艺用于工业化生产,其他最有进展的熔融还原方法有 DIOS、Hismelt 和 Romelt 等工艺。

由德国 Korf 和奥地利 VAI 共同开发的 Corex 法是目前已商业化的,不用焦炭的煤基炼铁法。此法中所有冶金过程是在两个分离开的反应器中进行,即在还原竖炉和熔融制气炉内进行,见图 1-1。铁矿和球团矿装入一座还原竖炉中,它们被相向运动的还原气直接还原(DRI)。卸料螺旋将 DRI 从还原竖炉输送到熔融制气炉中,在其中完成最后的还原和熔化,以及其他冶金和炉渣反应。铁水与炉渣的排放与传统高炉操作相同。喷入熔融制气炉中的煤同氧燃烧产生还原气。从还原竖炉出来的煤气经洗涤塔冷却和清洗后是高值煤气,可供发电厂或 DRI 生产使用。第一座有商业价值的工厂 Corex C-1000(30 万 t/a)是 1989 年在南非伊斯科尔(ISCOR)公司比勒陀利亚厂建成。Corex C-2000 的规模扩大到 60 万 t/a,1995 年 11 月在韩国的浦项钢铁公司建成投产,11 月 14 日生产出铁水,目前设备运转正常。根据工程设计以及生产经验分析,预计在 21 世纪还将出现 C-3000 型 Corex 生产设备,年产 90~120 万 t。

DIOS 熔融还原工艺是在日本政府支持下,由 8 个最大的钢铁公司联合开发的铁矿石还原法,始于 1988 年 4 月。在研究的基

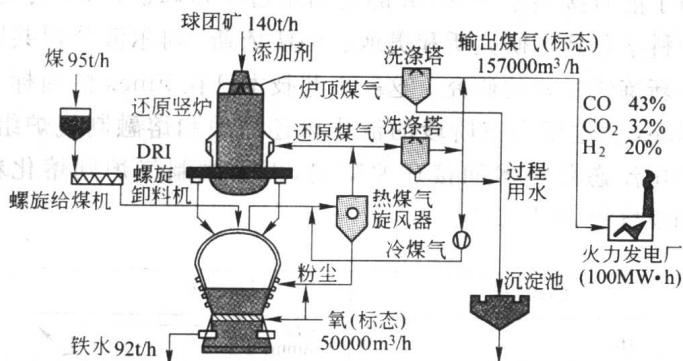


图 1-1 Corex 法流程图

基础上,于 1993 年 9 月在日本钢管公司京滨厂建成日产 500t(18 万 t/a)的工业试验厂,主要设备包括流态化预还原炉、熔融还原炉和煤气改质系统。

DIOS 熔融还原法是采用预还原和熔融还原炉的二段方式的炼铁工艺方法。粉矿石被预热,在预还原炉中被熔融还原炉产生的还原气体还原 20%左右后,在熔融还原炉中最终还原。在熔融还原炉中利用炭化的煤发生最终还原反应,同时利用氧气进行煤化,进而 50%的高效率二次燃烧产生的热量有效地供给铁熔池,高速生产铁水。

Hismelt 法由澳大利亚里奥延托联合锌公司(CRA)和美国 MIDREX 公司联合开发,直接使用粉矿、非焦煤、熔剂和各种气体在铁熔池内冶炼铁水。Hismelt 公司认为,该法可强化生产工艺,降低原料成本,提高效率。

ROMELT 法由俄罗斯莫斯科钢铁学院开发。该法与其他熔池熔炼法比较相似,但未采用预还原,用矿石或废氧化物为原料。它是一段方式,将含铁原料和煤在输送皮带上混合,从一个地方装入炉内,所以粒度和水分限制颇为宽裕。还原反应在渣层发生,分为下部风口和上部风口,供给必需的氧气,进行二次燃烧。二次燃烧的炉内壁,由于采用水冷方式,热损失大,但耐火结构上问题少。