

钢铁技术发展趋势丛书

电弧炉炼钢法

——向高效率、低能耗、
高质量的挑战

〔日〕森井 廉 著

朱果灵 译

冶金工业出版社

钢铁技术发展趋势丛书

电弧炉炼钢法

——向高效率、低能耗、高质量的挑战

[日]森井 廉 著

朱果灵 译

北 京
冶金工业出版社
2006

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2005-2214 号

Electric Steelmaking Technology

The Progress for Higher Productivity Energy Saving, and
Excellent Quality

© 2000 The Iron and Steel Institute of Japan

图书在版编目(CIP)数据

电弧炉炼钢法:向高效率、低能耗、高质量的挑战/
〔日〕森井 廉著;朱果灵译. —北京:冶金工业出版社,
2006. 1

(钢铁技术发展趋势丛书)

ISBN 7-5024-3821-1

I. 电… II. ①森… ②朱… ③张… III. 电弧炉—
电炉炼钢 IV. TF741.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 098676 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 王贺兰 李文彦 责任印制 牛晓波

北京鑫正大印刷有限公司印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2006 年 1 月第 1 版, 2006 年 1 月第 1 次印刷

850mm × 1168mm 1/32; 9.375 印张; 249 千字; 280 页; 1 - 3000 册

30.00 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)

出版说明

20 世纪 90 年代末,日本钢铁学会组织日本国内钢铁界的专家学者,编写了《钢铁技术发展趋势丛书》。该丛书从不同专业,不同角度,对钢铁技术,尤其是对日本钢铁技术的发展历程进行了系统的回顾和总结,并对钢铁技术的现状及未来发展趋势进行了评价和预测。

日本是钢铁技术最先进的国家之一。虽然日本的国情及钢铁技术发展背景与我国不同,但其钢铁技术发展历程及经验教训对我国的钢铁工业会有一些的启迪价值。

冶金工业出版社在中国金属学会理事长翁宇庆同志及副理事长仲增墉同志的关心和支持下,准备陆续将此套丛书介绍给我国读者,并希望此套丛书(中文版)的出版,能对我国钢铁技术的发展有所裨益。

《钢铁技术发展趋势丛书》发刊词

日本的钢铁技术现在处于世界领先地位,这是先辈们长期不懈的努力所赐,令我们感到骄傲,同时也感到肩负着莫大的责任。为了构筑钢铁技术的工学体系,为了该领域新的研究和开发,我们作为当今的技术工作者,要承担起对技术中潜在的大量信息进行取舍和选择的基础性建设工作。

日本钢铁学会过去曾多次出版过反映日本钢铁技术状况的便览和技术资料。学术性刊物《鉄と鋼》也发表过许多研究成果,记述了不断进步的技术和我们在技术方面的成长过程。但是现在有种钢铁技术已经达到饱和点的感觉,弥漫着停滞的气氛。为了打破这种局面,以新的想像去发展钢铁技术,就要回顾一下我们曾经倾注了心血和努力所培养、积累的技术和研究经验,从中获取新的启示。有鉴于此,必须以先辈们积累的珍贵知识财富为背景来建立工学体系。

遗憾的是,日本的工程技术人员在这方面并不擅长。因此,我在副会长任上的1991年12月,曾向日本钢铁学会培训委员会提出出版具有以下特点的学术丛书,作为朝此方向迈进的第一步:

(1)作为展望技术发展历史的平台,其内容包括:技术是在怎样的背景下发生的,怎样展开的,又是怎样形成的,要从长远发展的目光来评述。

(2)组建“知识产权分会”,以该会的权威性来挑选执笔人。执笔人可按自己的意见对题材进行取舍、选择和评价,组织人员,确定内容等。

(3)基本内容应是《鉄と鋼》(或以此为基准的资料)所记载的具有历史价值的综述论文,并用现在的观点加以评价。

(4)经过数年形成一个系列之后,将它作为钢铁科学技术的路标,初级的知识财产。

幸运的是,此项工作得到了培训委员会和理事会的理解与支持,作为纪念日本钢铁学会成立80周年的规划,《钢铁技术发展趋势丛书》第1系列共10卷出版发行了。我们期待这一规划能在技术成就的背景下,为今后钢铁工学的研究及技术构成,提供积极发言的基础。

最后,对出版本丛书给予充分理解并鼎力支持的地人书馆表示衷心感谢。

(社团法人)日本钢铁学会 培训委员会 知识产权分会
委员长 增子 昇
1995年1月

第二系列丛书发刊词(前言)

有关出版《钢铁技术发展趋势丛书》的宗旨,在第一系列丛书的发刊词中已有阐明。第二系列丛书发行目的亦是相同的,如果说稍有不同之处,便是此系列丛书的作者大多年轻一些,他们正好是日本钢铁工业独立自主、蓬勃发展时期,活跃在第一线的学者们。因此,在阅读第二系列丛书时,似乎能感受到他们的朝气与活力。

作者们在百忙之中勤于笔耕,使此丛书得以在进入 21 世纪前顺利出版,在此向作者们诚致敬意。同时向日本钢铁学会生产技术部事務局渡辺昭子女士致谢,感谢她在本系列丛书编辑工作中的辛勤劳动。

(社团法人)日本钢铁学会 培训委员会 丛书 WG

主编 崔部実

1999 年 12 月

前言

钢铁称谓产业界的米,是支撑 20 世纪的金属,特别是后半世纪受旺盛的需求所驱使,产量、生产技术都得到了飞跃的发展。可大规模生产钢铁的高炉—转炉技术承担了重要的任务,出于回收利用社会废钢冶炼高级钢的目的,连年来电弧炉炼钢技术得到了飞速发展。现在,电弧炉钢占世界钢产量 8 亿 t 的 34%,而日本的 1 亿 t 钢则占到了 33%。

电弧炉炼钢技术诞生在欧洲,是在 1912~1926 年间(大正初期)引进到日本的,当时,是在电力、钢铁资源贫乏的状况下发展起来的。在经历了一段时间的军需以及毁灭性的激烈震动后,找到了高合金钢或特殊钢生存的出路。20 世纪 60 年代初期开始,废钢逐渐丰富,电弧炉炼钢技术从此开始进入飞速增长的时代,电弧炉大型化和各种各样的技术革新,使其得到了今天的发展,获得的成果可以说是努力追赶占绝对优势的高炉

—转炉法生产的结果。长期以来大量生产特殊钢的大同特殊钢公司知多厂置身于其中,作为参与电炉钢的生产者感受颇深。

本书是按照日本钢铁学会的要求,作为《钢铁技术发展趋势丛书》第二系列的第三卷。全书分为 12 章,叙述了最近 30 余年电弧炉炼钢技术的发展过程和成果,目的是有益于 21 世纪的年轻技术工作者进行新的开发。本书尽可能地忠实于电弧炉炼钢的发展历史,全面且通俗易懂地介绍了电弧炉炼钢技术的基础、最新技术和设备。

炉外精炼技术对电弧炉炼钢有极大的影响,本书详细地介绍了它的操作和影响。另外,第 3 章中对在某时期以电弧炉炼钢技术为主的不锈钢等高合金钢的精炼工艺,不仅仅只介绍了电弧炉操作,对具有代表性的 AOD、VOD 等炉外精炼技术也进行了介绍。

但是,因凝固过程重大革命给电弧炉操作带来了种种苛刻要求的连铸法以及高级钢用生产技术的 VIF、SER 及 VAR 等特殊熔炼法,与工艺有着密切的关系,在本书中没有涉及。另外,关于使用的图或数据,本书尽可能采用公开发表过的,但部分不得不使用我个人的资料,也许有片面的地方,这一点请原谅。

本书与钢铁学会的主旨相吻合,暗暗地祈祷它对今后继续生活在钢铁循环时代的年轻技术工作者进行新技术的开发能起一点点作用。

森井 廉

1999 年

目 录

1 电弧炉炼钢发展的过程和历史	1
1.1 电弧炉炼钢生产量的变化	1
1.2 电弧炉炼钢工艺	4
1.2.1 炼钢生产工艺的比较	4
1.2.2 电能的特点	5
1.2.3 电弧炉的种类	6
1.2.4 电弧炉原料——废钢	7
1.3 电弧炉发展的历史	9
1.3.1 电弧炉的发明和工业化	9
1.3.2 电弧炉发展的历史	10
1.3.3 新技术的动向和今后的 课题	14
参考文献	17
2 原料、电力	18
2.1 废钢	18
2.1.1 钢铁原料的流通和废钢炼钢 的社会地位	18
2.1.2 世界的供需和流通	19
2.1.3 日本的供需和流通	21
2.1.4 日本国内流通废钢的品位	22
2.1.5 废钢质量恶化的对策	25
2.2 新铁源	29

10 目 录

2.2.1 新铁源所处的地位	29
2.2.2 使用天然气的新铁源生产工艺	31
2.2.3 使用煤的新铁源生产工艺	34
2.2.4 电弧炉使用的新铁源	35
2.3 铁合金	38
2.3.1 炼钢用的铁合金及生产方法	38
2.3.2 铁合金的供需情况	38
2.4 电力	41
2.4.1 主要国家的电力情况	42
2.4.2 电力需求的构成	43
2.4.3 电力供给的构成	43
2.4.4 电弧炉厂使用的电力	44
参考文献	47
3 电弧炉操作	49
3.1 低合金钢	50
3.1.1 操作法	50
3.1.2 低合金钢的炼钢反应	58
3.2 不锈钢、高合金钢	64
3.2.1 操作	64
3.2.2 不锈钢的炼钢反应	80
3.3 物料平衡和热量平衡	90
3.3.1 物料平衡	91
3.3.2 能量平衡	91
3.3.3 能量平衡计算结果示例	96
3.3.4 热效率	97
参考文献	99
4 三相交流电弧炉的高效率化	100
4.1 概论	100
4.2 高功率操作	105

4.3	三相非平衡问题和补助热源的应用	107
4.4	富氧操作和喷吹炭粉	107
4.4.1	富氧操作的历史	107
4.4.2	富氧操作及效果	108
4.4.3	炭粉喷吹技术	109
4.5	电弧炉的功能分化	112
4.6	结束语	117
	参考文献	118
5	电弧炉钢的质量	119
5.1	前言	119
5.2	真空脱气法的出现	122
5.3	LF 处理钢的质量	128
5.4	复合精炼工艺的完成	132
5.5	成分控制范围缩小和淬透性控制	137
	参考文献	139
6	电弧炉技术近期的进步	141
6.1	电弧炉技术的发展	141
6.2	直流电弧炉	142
6.2.1	历史	142
6.2.2	直流电弧炉的设备	144
6.2.3	直流电弧炉的操作特性	145
6.3	排出气体回收型电弧炉(废钢预热)	158
6.3.1	双炉座	158
6.3.2	竖炉式预热法	159
6.3.3	炉内连续装料式竖炉预热炉	161
6.4	炉体技术	163
6.4.1	出钢方式	163
6.4.2	底吹搅拌技术	167
6.5	铁水并用操作技术	169

参考文献	172
7 电弧炉设备	174
7.1 电弧炉设备的进步	174
7.2 炉体结构	176
7.3 水冷箱	177
7.4 炉盖	178
7.5 炉盖的开闭机构	180
7.5.1 固定柱塞动力油缸式	180
7.5.2 整体摇架柱塞动力油缸式	181
7.5.3 轴承整体摇架旋转式	182
7.6 出钢方式	183
7.6.1 槽式出钢法	183
7.6.2 EBT 出钢法	184
7.7 炉体倾动机构	185
7.7.1 倾动机构	185
7.7.2 炉台	186
7.8 电极升降装置	187
7.8.1 电动卷扬机式	187
7.8.2 油压升降式	188
7.9 电极横臂	190
7.9.1 标准的电极横臂	190
7.9.2 三角排列的电极横臂	190
7.9.3 H 形排列的电极横臂	190
7.9.4 导体横臂	191
7.10 变压器二次侧的供电导体配置	192
7.10.1 交流电弧炉的导体配置	193
7.10.2 直流电弧炉的导体配置	193
7.11 直流电弧炉用炉底电极	193
7.11.1 水冷钢棒式	195

7.11.2	空冷多针式	195
7.11.3	导电耐火材料炉床式	195
7.12	交流电弧炉的电气设备	195
7.12.1	电气设备构成	195
7.12.2	炉用变压器	196
7.12.3	电弧炉断路器	196
7.12.4	电极自动控制装置	197
7.12.5	电气特性	200
7.12.6	炉体控制	203
7.13	直流电弧炉的电气设备	203
7.13.1	主要设备的构成	203
7.13.2	炉用变压器和整流器	204
7.13.3	直流电弧炉断路器	206
7.13.4	直流电抗器(DCL)	207
7.13.5	直流电流检测器(DCCT)	207
7.13.6	电极自动控制装置和定电流控制	207
7.13.7	直流电弧炉的电力特性	208
7.14	功率因数改善、高次谐波对策、抑制 闪烁等的装置	210
7.14.1	改善功率因数的装置	210
7.14.2	解决高次谐波用设备	211
7.14.3	闪烁和闪烁抑制装置	212
7.15	电弧炉的附属设备	213
7.15.1	合金加入设备	213
7.15.2	除尘设备、密闭罩式	214
8	电弧炉耐火材料和水冷技术	216
8.1	电弧炉技术和耐火材料	216
8.2	电弧炉耐火材料的概况	217
8.2.1	炉顶用耐火材料	217
8.2.2	炉壁用耐火材料	219

8.2.3	炉底用耐火材料	221
8.2.4	出钢槽用耐火材料	221
8.2.5	炉底出钢技术	223
8.3	电弧炉的水冷化	224
8.3.1	炉壁的 WCP 的应用	225
8.3.2	WCP 寿命的改善	226
8.4	总结	228
	参考文献	229
9	电极的进步	230
9.1	前言	230
9.2	电极单位消耗量的演变	230
9.3	电弧炉操作的变化	230
9.4	电极制造技术的进步	233
9.5	电极消耗的原因	236
9.5.1	电极端部消耗	238
9.5.2	电极侧面消耗	239
9.5.3	电极折损	241
9.6	今后的展望	243
	参考文献	243
10	电弧炉厂的系统化、操作自动化	244
10.1	电弧炉厂的系统化	244
10.2	电弧炉操作的自动化技术	246
10.2.1	废钢配料、装料作业的自动化	246
10.2.2	电极升降控制设备	246
10.2.3	功率输入模式的自动化和操作监视与记录	248
10.2.4	氧、碳自动吹入装置	248
10.2.5	清扫出钢口、填砂装置	249
10.2.6	自动出钢控制装置	250
10.2.7	钢包车	251

10.2.8	电极连接装置、自动松紧装置	252
10.2.9	排渣及渣罐车	254
10.2.10	DC 炉用炉底电极更换装置	254
11	环境技术	255
11.1	产业界、钢铁界与环境的协调	255
11.2	关于环境的法令	255
11.2.1	日本的环境行政机构和法规体系	255
11.2.2	大气污染防治法	256
11.2.3	水质污浊防治法	259
11.2.4	噪声限制法	262
11.3	环境对策技术	263
11.3.1	防治大气污染技术	263
11.3.2	废弃物处理技术	269
11.3.3	环境管理体系	270
11.4	今后的环境课题	271
	参考文献	271
12	今后的动向	272
12.1	今后的动向	272
12.2	促进废钢铁的循环利用	273
12.3	代替废钢的铁源使用技术	273
12.4	新熔炼法	274
12.4.1	不用电操作的生产均衡化	274
12.4.2	废钢的高温预热技术	274
12.4.3	连续熔炼操作	275
12.4.4	下一代电弧炉(转炉型混合电弧炉)	275
12.5	环境技术	277
	参考文献	278
	结束语	279

电弧炉炼钢发展的过程和历史

一直以来,电弧炉炼钢法在不锈钢、耐热钢等高合金钢冶炼中起着主要的作用,电弧炉钢产量占钢铁生产总量的比率已超过30%,作为世界钢铁生产的发展趋势正在引起人们注意。其主要理由为:

- (1) 初期设备费用比高炉法低。
- (2) 对市场动向的适应性强,设备运行的控制相对比较容易。
- (3) 已经大容量化或已经有了种种电弧炉炼钢技术的进步。
- (4) 近年来,在工业发达国家中,以钢铁积蓄量增长为背景,提高了在原料成本方面的相对竞争力。
- (5) 因为对环境问题关心程度的提高,将废钢作为钢铁资源来有效利用的再循环产业已成为可行。
- (6) 高炉法中焦炉的寿命已临近。

根据这些,电弧炉的地位相对上升了。

本章将介绍电弧炉炼钢法,讲述设备与技术革新的历史、最新的技术开发动向以及今后的课题。

1.1 电弧炉炼钢生产量的变化

近年来,各国电弧炉炼钢比例稳步上升。从十年间的变化看,电弧炉钢占全部钢产量的比例从20%上升到超过30%的水平。表1-1为世界各国的钢产量和电弧炉钢的比例,图1-1为日本的钢产量、电弧炉钢比例的变化。从世界钢铁业钢生产量的排列顺序中可以看到,各国的电弧炉厂也处于前面的位置,证实了电弧炉地位的稳步上升。

在工业发达国家里,随着钢铁积蓄量的增加,所提供的废钢有年年增长的趋势,作为炼钢原材料的废钢价格趋向低而稳定。另