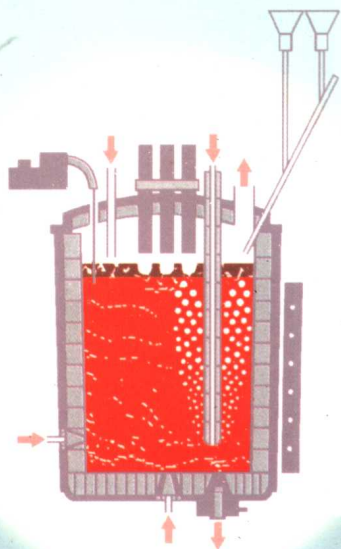


炉外精炼及 铁水预处理 实用技术手册

主 编 赵 沛

副主编 成国光
沈 甦



冶金工业出版社

炉外精炼及铁水预处理 实用技术手册

主 编 赵 沛
副主编 成国光 沈 甦

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2004

内 容 提 要

炉外精炼与铁水预处理已成为现代钢铁生产必不可少的环节,是现代钢铁生产技术进步的一项重要内容。它优化了钢铁生产流程,适应了优质、快节奏钢铁生产的要求,全面提高了钢材产品的附加值。由于在温度、成分及时间节奏匹配上具有协调和完善作用,因此对钢铁企业稳定生产、调整产品结构以及节能降耗具有重要意义。

本手册分8章,介绍了国内外炉外精炼及铁水预处理技术的现状;炉外精炼及铁水预处理的理论与技术基础;常用铁水预处理基本工艺及设备;常用炉外精炼基本工艺及设备;典型钢种的炉外精炼及铁水预处理工艺;炉外精炼及铁水预处理与炼钢、连铸的合理匹配和车间的工艺布置;炉外精炼及铁水预处理用耐火材料;炉外精炼及铁水预处理自动化。此外,还附有常用钢号成分对照表、常用法定计量单位换算关系、英汉专有名词对照表等内容。

本手册可供钢铁领域的生产、科研、设计、管理、教学人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

炉外精炼及铁水预处理实用技术手册/赵沛主编.

—北京:冶金工业出版社,2004.6

ISBN 7-5024-3497-6

I. 炉… II. 赵… III. 钢水—炉外精炼—技术手册 IV. TF769-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第026590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 刘小峰 美术编辑 王耀忠

责任校对 刘倩 李文彦 责任印制 牛晓波

北京市铁成印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2004年6月第1版,2004年6月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;48.25印张;1292千字;753页

146.00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)

编写人员及分工

章	节	编 写 人 员
1 概述		苏天森 赵 沛 焦晓渝
2 炉外精炼和铁水预处理的理论与技术基础	其余部分	成国光
	2.2.3.1 真空及其度量	刘良田
	2.2.3.2 真空泵	
	2.2.3.3 真空泵系统的检漏	
3 常用铁水预处理基本工艺及设备	其余部分	沈 魁
	3.5 铁水预处理设备	谭 健
4 常用炉外精炼基本工艺及设备	4.1 RH	刘良田
	4.2 LF	李 晶
	4.3 VOD	蔡永成
	4.4 VAD	
	4.5 AOD	单家富
	4.6 ASEA-SKF	王明林
	4.7 CAS	周 俐
5 典型钢种的炉外精炼	5.1 IF 钢	焦晓渝 赵 沛
	5.2 轴承钢	
	5.3 硬线用钢	
	5.4 石油用管线钢	赵 沛 焦晓渝
	5.5 齿轮钢	
	5.6 不锈钢	单家富 赵 沛
	5.7 重轨用钢	赵 沛 焦晓渝
	5.8 弹簧钢	
6 炉外处理与炼钢、连铸的合理匹配和车间的工艺布置		陈梦林
7 铁水预处理和炉外精炼用耐火材料		刘盛秋
8 炉外处理自动化		马竹梧
附录		吴 洁

前 言

炉外精炼和铁水预处理是现代钢铁生产流程中不可缺少的重要环节，对于提高产品质量、优化生产流程和降低生产成本，起着举足轻重的作用。

为了配合炉外精炼和铁水预处理技术的迅速发展，我们编写了这本实用手册。在编写过程中，主要收集近十余年国内外的钢铁生产实践和科学研究成果，力求具有先进性、实用性和指导性。本书的读者对象是从事钢铁生产、设计、科研和教学等方面的科技人员，也可供企业管理人员以及大专院校相关专业的研究生参考。

全书分为8章。第1章为概述；第2章为炉外精炼和铁水预处理的理论与技术基础；第3章为常用铁水预处理基本工艺及设备，介绍铁水预脱硫、预脱硅、预脱磷工艺和铁水预处理设备；第4章为常用炉外精炼基本工艺及设备，主要介绍LF、AOD、VOD、RH、SKF等基本工艺及设备；第5章为典型钢种的炉外精炼，包括IF钢、轴承钢、石油管线钢、硬线钢、齿轮钢、不锈钢、弹簧钢、重轨钢等重要品种的精炼工艺；第6章介绍炉外处理与炼钢、连铸的合理匹配原则和典型车间的工艺布置；第7章为铁水预处理和炉外精炼用耐火材料；第8章为炉外处理自动化，介绍检测传感器和仪表、基础自动化、过程自动化、管理自动化和典型的炉外处理三电系统。

本书的主要编写人员有赵沛、焦晓渝、王明林(钢铁研究总院)，成国光、沈甦、李晶、吴洁(北京科技大学)，陈梦林、谭健(北京钢铁设计研究总院)，刘盛秋(洛阳耐火材料研究院)，马竹梧(冶金自动化研究设计院)，苏天森(中国金属学会)，刘良田(武汉钢铁(集团)公司)，蔡永成(抚顺特殊钢公司)，单家富(太原钢铁(集团)公司)，周俐(安徽工业大学)等。

全书由赵沛任主编，成国光、沈甦任副主编。

在编写过程中，得到了冶金工业出版社以及宝钢、武钢、马钢、太钢等企业有关同志的大力支持和帮助，再此谨表示真诚的感谢。

由于编写水平和资料的局限性，本书难免有疏漏之处，恳请读者批评指正，以便再版时进行修订。

编 者

2004年5月

目 录

1 概 述	
1.1 炉外精炼和铁水预处理技术的发展历程	1
1.2 我国炉外处理技术的发展与完善	2
1.3 炉外处理技术的发展前景	3
1.4 各国主要炉外精炼的方法和装备	4
1.4.1 中国大陆及台湾省	4
1.4.2 日本和韩国	9
1.4.3 欧洲	11
1.4.4 美国和加拿大	14
参考文献	16
2 炉外精炼和铁水预处理的理论与技术基础	
2.1 炉外精炼和铁水预处理的理论基础	17
2.1.1 常用热力学数据	17
2.1.2 常用渣系活度	30
2.1.3 钢铁熔体和炉渣熔体常用物理性质	38
2.1.3.1 钢铁熔体的物理性质	38
2.1.3.2 熔渣的物理性质	42
2.1.4 脱氧	48
2.1.4.1 脱氧常用热力学数据	48
2.1.4.2 炉渣的氧化能力	56
2.1.5 脱硫	61
2.1.5.1 脱硫常用热力学数据	61
2.1.5.2 常用渣系的硫容量	66
2.1.6 脱磷	71
2.1.6.1 脱磷常用热力学数据	71
2.1.6.2 常用渣系的磷容量	76
2.1.7 脱硅	79
2.1.8 脱碳	81
2.1.9 脱氮	93
2.1.9.1 脱氮常用热力学数据	93
2.1.9.2 常用渣系的氮容量	97
2.1.10 脱氮	100
2.1.10.1 脱氮常用热力学数据	100
2.1.10.2 常用渣系的氮容量	111
2.1.11 夹杂物的变性	111
2.2 炉外精炼和铁水预处理的技术基础	114
2.2.1 挡渣	114
2.2.2 加热	117
2.2.2.1 电弧加热	117
2.2.2.2 铝—氧加热	120
2.2.2.3 氧—燃加热	122
2.2.3 真空	124
2.2.3.1 真空及其度量	124
2.2.3.2 真空泵	125
2.2.3.3 真空泵系统的检漏	126
2.2.3.4 真空处理装置的主要形式	128
2.2.4 搅拌	134
2.2.4.1 搅拌形式	134
2.2.4.2 搅拌工艺	135
2.2.5 喷粉和喂线	136
2.2.5.1 喷粉	136
2.2.5.2 喂线	137
参考文献	140
3 常用铁水预处理基本工艺及设备	
3.1 铁水预脱硫工艺	141
3.1.1 发展的原因	141
3.1.1.1 提高钢的质量和品种的需要	141
3.1.1.2 优化钢铁冶炼工艺的需要	143
3.1.2 铁水脱硫方法	144
3.1.2.1 KR 搅拌法	144
3.1.2.2 喷吹法	146
3.1.3 脱硫工艺技术	147
3.1.3.1 脱硫剂	148
3.1.3.2 喷吹技术	151

3.1.3.3 原始含硫量和目标含硫量	153	3.5.1.4 喷枪传动设备	180
3.1.3.4 铁水温度与处理过程的温降	154	3.5.1.5 摆动溜嘴除尘罩	180
3.1.3.5 脱硫渣的扒除	154	3.5.2 铁水脱硫设备	182
3.1.3.6 深脱硫工艺特点	155	3.5.2.1 KR (搅拌法) 脱硫的主要设备性能和参数	182
3.2 铁水预脱硅工艺	155	3.5.2.2 钙基、镁基脱硫的主要设备性能和参数	190
3.2.1 铁水预脱硅的方法	155	3.5.3 铁水三脱设备 (全处理设备)	198
3.2.1.1 出铁场脱硅	156	3.5.3.1 铁水罐内三脱设备	198
3.2.1.2 铁水罐脱硅	157	3.5.3.2 混铁车内三脱设备	204
3.2.2 脱硅工艺	158	参考文献	221
3.2.2.1 合适的铁水含硅量	158		
3.2.2.2 影响脱硅的因素	158	4 常用炉外精炼基本工艺及设备	
3.2.2.3 脱硅渣起泡	162	4.1 RH	223
3.2.2.4 炉前脱硅的过程控制	162	4.1.1 RH 真空精炼法的发展概况	223
3.2.2.5 脱硅用耐火材料	163	4.1.2 RH 真空精炼的钢水循环	226
3.3 铁水预脱磷工艺	164	4.1.2.1 钢水循环原理	226
3.3.1 铁水预脱磷的处理方法	164	4.1.2.2 循环速度	227
3.3.1.1 铁水包喷吹法	164	4.1.2.3 提高钢水循环速度的方法	229
3.3.1.2 鱼雷罐喷吹法	165	4.1.3 RH 真空室	232
3.3.1.3 专用炉处理	167	4.1.3.1 RH 真空室主体设备	232
3.3.2 脱磷剂	170	4.1.3.2 RH 真空室支撑设备	234
3.3.2.1 苏打 (Na_2CO_3) 脱磷剂	170	4.1.4 真空室的加热	236
3.3.2.2 石灰系 (CaO) 脱磷剂	170	4.1.4.1 煤气烧嘴加热系统	236
3.3.3 石灰系脱磷剂处理时的工艺因素	172	4.1.4.2 石墨电极加热系统	237
3.3.3.1 脱磷剂用量与熔渣碱度	172	4.1.5 铁合金加料系统	237
3.3.3.2 铁水温度的控制	173	4.1.5.1 旋转给料器	238
3.3.3.3 助熔剂的选择	173	4.1.5.2 真空料斗和真空电磁振动给料器	239
3.3.3.4 铁水初始含硅量的要求	175	4.1.6 RH 真空精炼的冶金功能和冶金效果	239
3.3.4 中磷铁水脱磷	175	4.1.7 RH 真空吹氧技术	241
3.4 预脱磷过程中同时脱硫	176	4.1.7.1 RH-O 真空吹氧技术	241
3.4.1 影响同时脱硫率的工艺因素	176	4.1.7.2 RH-OB 真空吹氧技术	241
3.4.1.1 防止渣中含铁量过高	176	4.1.7.3 RH-KTB 真空吹氧技术	242
3.4.1.2 供氧制度	177	4.1.7.4 RH 多功能喷嘴	242
3.4.2 分期脱磷脱硫	177	4.1.8 RH 合金化和成分微调	243
3.5 铁水预处理设备	178	4.1.8.1 对合金的要求	243
3.5.1 铁水脱硅设备	178	4.1.8.2 合金加入速度	244
3.5.1.1 贮粉仓	179	4.1.8.3 添加合金的时间	244
3.5.1.2 喷吹罐	180		
3.5.1.3 贮粉仓卸料溜管	180		

4.1.8.4	成分的混合	245	4.2.2.2	渣层厚度对钢液温度的影响	259
4.1.8.5	合金添加量的计算方法	245	4.2.2.3	合金加入对钢液温度的影响	260
4.1.8.6	合金收得率	245	4.2.2.4	吹氩搅拌对钢液温度的影响	261
4.1.8.7	成分微调	246	4.2.2.5	LF 过程成渣热及渣钢反应热对钢液温度的影响	261
4.1.9	RH 精炼过程的温度控制	246	4.2.2.6	电极供热	261
4.1.9.1	钢包容量	246	4.2.2.7	LF 精炼过程的温度变化及控制精度	262
4.1.9.2	真空室和钢包内衬的加热温度	246	4.2.3	LF 精炼过程的成分控制	262
4.1.9.3	钢包内渣层厚度	246	4.2.4	LF 精炼过程的纯净度控制	263
4.1.9.4	合金和冷却剂、脱硫剂的种类	246	4.2.4.1	氧的控制	263
4.1.9.5	板坯热浸降温	247	4.2.4.2	硫的控制	266
4.1.10	RH 脱氮	247	4.2.4.3	LF 精炼过程中防止钢液吸氮	267
4.1.11	RH 真空脱碳	248	4.3	VOD	268
4.1.11.1	碳氧平衡原理	248	4.3.1	VOD 法的主要设备	269
4.1.11.2	降碳量和降氧量的关系	248	4.3.1.1	钢包	271
4.1.11.3	真空脱碳速度	250	4.3.1.2	真空罐	272
4.1.11.4	真空脱碳反应的速度限制性环节	250	4.3.1.3	真空系统	272
4.1.11.5	提高脱碳速度的工艺措施	251	4.3.1.4	吹氧系统	274
4.1.12	RH 对 [N] 的控制	252	4.3.1.5	吹氩系统	274
4.1.12.1	RH 真空精炼过程中的脱氮	252	4.3.1.6	加料系统	274
4.1.12.2	RH 真空精炼过程中氮的控制	253	4.3.1.7	冶炼过程控制仪表	274
4.1.13	RH 轻处理工艺	253	4.3.2	VOD 的基本功能	275
4.1.14	RH 真空深度脱硫	254	4.3.2.1	吹氧脱碳	275
4.1.14.1	RH 真空深度脱硫的工艺参数	254	4.3.2.2	去碳保铬	277
4.1.14.2	RH 真空深度脱硫中的几个问题	255	4.3.2.3	吹氧升温	277
4.1.14.3	RH 真空深度脱硫的效果	255	4.3.2.4	脱气	280
4.1.15	RH 真空精炼周期	255	4.3.2.5	造渣、脱氧、脱硫、去夹杂	280
4.1.15.1	RH 真空精炼时间	255	4.3.2.6	合金化	282
4.1.15.2	钢包移动时间	256	4.3.3	VOD 精炼操作工艺	282
4.1.15.3	RH 真空精炼周期	257	4.3.3.1	EF→VOD 冶炼不锈钢工艺	282
4.2	LF	257	4.3.3.2	EF→VOD 冶炼纯铁及精密合金工艺	284
4.2.1	LF 设备简介	257	4.3.3.3	转炉→VOD 冶炼不锈钢工艺	286
4.2.2	LF 精炼过程的温度控制	259	4.4	VAD	286
4.2.2.1	钢包预热对钢液温度的影响	259	4.4.1	VAD 法的主要设备及其布置	287

4.4.1.1 真空系统	287	4.6.2 ASEA-SKF 炉的布置	314
4.4.1.2 精炼钢包	288	4.6.3 精炼工艺及操作	314
4.4.1.3 加热系统	289	4.6.3.1 初炼钢液	314
4.4.1.4 加料系统	290	4.6.3.2 初炼炉熔渣的清除	315
4.4.1.5 吹氩系统	290	4.6.3.3 两种基本精炼操作工艺	315
4.4.1.6 测温取样系统	291	4.6.3.4 脱硫	316
4.4.1.7 冷却水系统	291	4.6.3.5 真空脱气	316
4.4.1.8 压缩空气系统	291	4.6.3.6 真空脱碳	317
4.4.1.9 动力蒸汽	291	4.6.3.7 搅拌钢液的作用	317
4.4.2 VAD 精炼设备的基本功能	291	4.6.4 精炼效果	318
4.4.2.1 造渣	291	4.7 CAS	319
4.4.2.2 脱硫	291	4.7.1 概述	319
4.4.2.3 脱氧、去夹杂	292	4.7.2 工艺原理	320
4.4.2.4 脱氢	294	4.7.3 设备特点	321
4.4.2.5 脱氮和增氮	295	4.7.3.1 新日铁八幡钢厂一炼钢 CAS-OB 装置	321
4.4.2.6 合金化	295	4.7.3.2 宝钢 CAS 装置	322
4.4.3 VAD 操作工艺	295	4.7.3.3 武钢罩式升温装置	323
4.4.3.1 普通电炉与 VAD 双联 操作工艺	295	4.7.3.4 鞍钢 ANS-OB 装置	323
4.4.3.2 转炉与 VAD 双联	298	4.7.3.5 氧枪	323
4.5 AOD	300	4.7.3.6 隔离罩 (潜罩)	324
4.5.1 AOD 法的特点及发展概况	300	4.7.4 工艺参数的选择	325
4.5.1.1 AOD 法的特点	300	4.7.4.1 发热剂选择的理论依据 及其加入量	325
4.5.1.2 AOD 法的发展概况	302	4.7.4.2 供氧量与供氧强度	327
4.5.2 AOD 法的基本工艺	302	4.7.4.3 升温过程钢中元素的 变化规律	328
4.5.2.1 AOD 法的基本工艺	302	4.7.4.4 氧枪枪位的控制	329
4.5.2.2 顶底复吹 AOD 法的 基本工艺	303	4.7.4.5 吹氩排渣	329
4.5.2.3 AOD 炉的设备	305	4.7.5 工艺流程	330
4.5.2.4 AOD 冶炼工艺对炉衬 寿命的影响	307	4.7.5.1 八幡厂一、三炼钢厂的 工艺操作	331
4.5.2.5 各国 AOD 炉设备参数 及操作情况举例	308	4.7.5.2 宝钢 300t 钢包 CAS 工艺操作	331
4.6 ASEA-SKF	309	4.7.5.3 武钢二炼钢 CAS-OB 工艺操作	332
4.6.1 ASEA-SKF 炉的设备	310	4.7.5.4 鞍钢 ANS-OB 工艺操作	332
4.6.1.1 钢包	310	4.7.6 精炼效果	333
4.6.1.2 电磁感应搅拌器	310	4.7.6.1 CAS 法的精炼效果	333
4.6.1.3 加热系统	311	4.7.6.2 CAS-OB 法的精炼效果	334
4.6.1.4 真空密封炉盖	312	参考文献	335
4.6.1.5 真空泵	312		
4.6.1.6 铁合金加料系统	312		
4.6.1.7 钢包车	312		

5 典型钢种的炉外精炼	
5.1 IF 钢	339
5.1.1 IF 钢的化学成分	340
5.1.1.1 碳含量	341
5.1.1.2 钛含量	341
5.1.2 IF 钢的生产工艺特点	342
5.1.2.1 铁水预处理	342
5.1.2.2 转炉冶炼	342
5.1.2.3 出钢操作	342
5.1.2.4 RH 精炼	342
5.1.2.5 残余元素控制	342
5.1.2.6 严格的保护浇铸	342
5.1.2.7 防止增碳	342
5.1.3 国外 IF 钢的精炼工艺	343
5.1.3.1 日本川崎制钢	343
5.1.3.2 日本神户制钢	344
5.1.3.3 日本新日铁公司	345
5.1.3.4 德国蒂森钢铁公司	346
5.1.3.5 美国内陆钢铁公司	348
5.1.4 国内 IF 钢生产技术	349
5.1.4.1 宝钢	349
5.1.4.2 鞍钢	350
5.1.4.3 武钢	352
5.1.4.4 台湾中钢	353
5.2 轴承钢	354
5.2.1 轴承钢的生产质量	354
5.2.1.1 轴承钢的氧含量	355
5.2.1.2 轴承钢的非金属夹杂物	355
5.2.1.3 国外轴承钢中微量元素、 残余元素和气体的含量	355
5.2.2 轴承钢的生产工艺	357
5.2.2.1 轴承钢电炉生产技术	357
5.2.2.2 轴承钢转炉生产技术	357
5.2.2.3 轴承钢炉外精炼技术	358
5.2.2.4 轴承钢连铸工艺	359
5.2.3 国外轴承钢的生产企业	361
5.2.3.1 国外轴承钢的生产特点	361
5.2.3.2 瑞典	362
5.2.3.3 日本	363
5.2.3.4 前苏联	366
5.2.3.5 德国	368
5.2.3.6 韩国浦项钢铁厂	369
5.2.3.7 法国 Ascometal 公司 Dunes 厂	370
5.2.3.8 意大利 ABS 钢铁厂	371
5.2.4 国内轴承钢生产工艺	371
5.2.4.1 国内典型的轴承钢 工艺流程	371
5.2.4.2 上钢五厂	372
5.2.4.3 兴澄特钢公司	375
5.2.4.4 大冶钢厂	375
5.2.4.5 北满特殊钢厂	376
5.3 硬线用钢	376
5.3.1 硬线钢的基本质量要求	376
5.3.2 硬线钢的基本生产工艺	378
5.3.2.1 硬线钢的电炉冶炼	378
5.3.2.2 硬线钢的转炉冶炼	379
5.3.2.3 硬线钢的炉外精炼	379
5.3.2.4 硬线钢对连铸工艺 的要求	381
5.3.3 国内硬线钢生产工艺	382
5.3.3.1 首钢	382
5.3.3.2 沙钢	383
5.3.3.3 宝钢	384
5.3.3.4 鞍钢	386
5.3.3.5 包钢	386
5.3.3.6 攀钢	386
5.3.4 国外硬线盘条的生产工艺	386
5.3.4.1 德国蒂森公司	386
5.3.4.2 法国 Unimetal 公司	386
5.3.4.3 日本住友金属工业公司	387
5.3.4.4 日本川崎公司	388
5.3.4.5 日本新日铁公司	388
5.3.4.6 美国北极星钢铁公司	388
5.3.4.7 印度 Usha Martin 公司	389
5.3.5 小结	390
5.4 石油用管线钢	390
5.4.1 管线钢的质量要求	390
5.4.2 管线钢的成分	390
5.4.2.1 X52 管线钢	390
5.4.2.2 X60 管线钢	390
5.4.2.3 X65 管线钢	393
5.4.2.4 X70 管线钢	396

5.4.2.5 X80 管线钢	396	5.6.1.2 复吹脱碳 AOD 法	432
5.4.2.6 X100 管线钢	399	5.6.1.3 真空 AOD 法(AOD-VCR)	433
5.4.2.7 X120 管线钢	400	5.6.1.4 VOD 炉脱碳工艺	433
5.4.3 管线钢的生产工艺	401	5.6.1.5 SS-VOD 法	433
5.4.3.1 转炉冶炼超低硫钢的生产 工艺	401	5.6.2 不锈钢脱硫	435
5.4.3.2 电炉冶炼超低碳钢的 生产工艺	403	5.6.2.1 AOD 炉脱硫工艺	435
5.4.3.3 连铸	403	5.6.2.2 VOD 炉脱硫工艺	436
5.4.4 国内管线钢的生产企业	403	5.6.3 不锈钢控氮	436
5.4.4.1 宝钢	403	5.6.3.1 AOD 炉生产的氮合金化 工艺	436
5.4.4.2 武钢	404	5.6.3.2 AOD 法超低氮不锈钢的 冶炼工艺	436
5.4.4.3 鞍钢	405	5.6.3.3 VOD 炉超低氮不锈钢的 冶炼工艺	437
5.4.4.4 舞钢	407	5.6.4 不锈钢二步法冶炼工艺	437
5.4.5 国外管线钢的生产工艺	409	5.6.4.1 转炉冶炼不锈钢的二步法 工艺	438
5.4.5.1 日本日新制钢超低硫管线钢 的生产工艺	409	5.6.4.2 芬兰 Tormio 公司的铬矿粉 生产不锈钢二步法工艺	438
5.4.5.2 日本钢管京滨厂	410	5.6.4.3 中国太钢的不锈钢二步法 生产工艺	439
5.4.5.3 日本新日铁	411	5.6.5 三步法冶炼不锈钢工艺	440
5.4.5.4 俄罗斯	413	5.6.5.1 川崎用铬矿砂和双转炉 冶炼不锈钢三步法工艺	440
5.4.5.5 德国蒂森钢铁公司	413	5.6.5.2 德国曼内斯曼—德马克 不锈钢三步法生产流程	442
5.5 齿轮钢	413	5.6.6 不锈钢冶炼三步法和二步法 的比较	442
5.5.1 齿轮钢技术条件	414	5.6.6.1 主要特点比较	442
5.5.1.1 国家标准	414	5.6.6.2 工艺参数比较	444
5.5.1.2 企业内部标准和技术协议	415	5.6.7 国内主要不锈钢生产企业	444
5.5.1.3 新型齿轮钢技术条件	416	5.7 重轨用钢	445
5.5.2 齿轮钢的质量要求与控制措施	418	5.7.1 重轨钢的质量要求	446
5.5.2.1 齿轮钢的质量要求	418	5.7.2 国外高质量重轨的生产技术	447
5.5.2.2 质量控制措施	420	5.7.2.1 重轨钢的化学成分	447
5.5.3 国内齿轮钢的生产工艺	421	5.7.2.2 钢水温度的控制	448
5.5.3.1 齿轮钢生产技术要点	421	5.7.2.3 重轨钢炉外精炼工艺	448
5.5.3.2 LF (VD) 冶炼齿轮钢 工艺	422	5.7.2.4 重轨钢的连铸	449
5.5.3.3 EF→VAD (VHD) 冶炼 齿轮钢工艺	422	5.7.3 国外重轨生产厂家概况	450
5.5.3.4 国内齿轮钢生产的企业	423	5.7.3.1 法国	451
5.5.4 国外齿轮钢的生产工艺	426	5.7.3.2 前苏联	452
5.5.4.1 国外汽车齿轮钢的特点	426	5.7.3.3 英国	453
5.5.4.2 日本齿轮钢生产现状	428		
5.6 不锈钢	430		
5.6.1 不锈钢脱碳	430		
5.6.1.1 AOD 炉脱碳工艺	431		

5.7.3.4 日本	454	6.3.3 典型的 RH 真空精炼装置的 布置	498
5.7.3.5 澳大利亚	454	6.3.4 典型的 VOD、VD、VAD 炉外 精炼装置的布置	503
5.7.3.6 德国	456	6.3.5 典型的钢包炉 (LF) 炉外 精炼装置的布置	509
5.7.4 国内高质量重轨的生产技术	456	7 铁水预处理和炉外精炼用耐火材料	
5.7.4.1 国内重轨生产概况	456	7.1 铁水预处理用耐火材料	513
5.7.4.2 国内重轨钢生产厂家简介	457	7.1.1 铁水预处理对耐火材料的 作用与要求	513
5.8 弹簧钢	462	7.1.2 铁水预处理用耐火材料基础	513
5.8.1 弹簧钢的质量要求	464	7.1.2.1 预处理剂对耐火材料的 侵蚀作用	513
5.8.2 超洁净化冶炼技术	464	7.1.2.2 相平衡关系	514
5.8.2.1 降低夹杂物含量	464	7.1.2.3 耐火材料抵抗铁水预处 理剂侵蚀的性能	514
5.8.2.2 夹杂物变形处理	465	7.1.3 高炉出铁沟用耐火材料	515
5.8.3 国外弹簧钢生产工艺	465	7.1.3.1 出铁沟耐火材料内衬	515
5.8.3.1 日本	466	7.1.3.2 耐火材料的应用与性能	515
5.8.3.2 瑞典	471	7.1.3.3 Al_2O_3 -SiC-C 浇注料	519
5.8.3.3 前苏联	471	7.1.3.4 Al_2O_3 -MgO 浇注料	523
5.8.3.4 巴西	473	7.1.3.5 出铁沟耐火材料内衬的 损毁	525
5.8.4 国内弹簧钢生产工艺	473	7.1.3.6 出铁沟内衬的施工	527
5.8.4.1 稀土处理	473	7.1.3.7 出铁沟内衬喷补维护	528
5.8.4.2 终脱氧工艺	473	7.1.4 鱼雷混铁罐车用耐火材料	530
5.8.4.3 国内弹簧钢的生产企业	473	7.1.4.1 耐火材料内衬的工作环境	530
参考文献	477	7.1.4.2 耐火材料的应用与性能	530
6 炉外处理与炼钢、连铸的合理 匹配和车间的工艺布置		7.1.4.3 鱼雷混铁罐车用 Al_2O_3 - SiC-C 砖	533
6.1 炉外处理与炼钢、连铸的合理匹配	481	7.1.4.4 鱼雷混铁罐车耐火材料 内衬的喷补	536
6.1.1 合理匹配的必要性	481	7.1.5 铁水预处理喷枪用耐火材料	537
6.1.2 匹配原则	482	7.1.5.1 喷枪耐火材料的工作 环境	537
6.1.2.1 冶炼炉和精炼设备匹配 原则	482	7.1.5.2 喷枪耐火材料的应用与 性能	538
6.1.2.2 冶炼炉和连铸机的匹配 原则	482	7.1.5.3 喷枪耐火材料的蚀损	539
6.2 典型的铁水预处理车间工艺布置	484	7.1.6 KR 铁水脱硫搅拌器耐火材料	540
6.2.1 高炉炉前预脱硅的布置	484	7.1.6.1 KR 搅拌器耐火材料的 工作环境	540
6.2.2 在炼钢和炼铁车间之间独立 设置的铁水预处理间的布置	486		
6.2.3 在炼钢车间设置铁水预处理 装置的布置	490		
6.3 典型的炉外精炼车间工艺布置	494		
6.3.1 概述	494		
6.3.2 有吹氩、合金微调、喷粉、 吹氧升温等功能的精炼装置 的布置	495		

7.1.6.2 耐火材料的应用与性能	541	耐火材料	584
7.2 炉外精炼用耐火材料	543	7.2.8 炉外精炼钢包内衬用耐火材料	584
7.2.1 炉外精炼对耐火材料的要求	543	7.2.8.1 钢包内衬耐火材料的工作环境	584
7.2.1.1 耐火材料的使用条件	543	7.2.8.2 钢包内衬耐火材料的问题	586
7.2.1.2 对炉外精炼用耐火材料的要求	545	7.2.8.3 钢包内衬耐火材料的应用与性能	586
7.2.2 炉外精炼用耐火材料基础	546	7.2.9 钢包吹氩透气砖	596
7.2.2.1 耐火材料在真空下的稳定性	546	7.2.9.1 透气砖的工作环境及对透气砖的要求	596
7.2.2.2 耐火材料与炉渣的相容性	546	7.2.9.2 透气砖的应用与性能	598
7.2.2.3 耐火材料对钢洁净度的影响	547	7.2.10 喷射冶金喷枪用耐火材料	601
7.2.2.4 炉外精炼用主要耐火材料	551	7.2.10.1 喷枪用耐火材料的工作环境	601
7.2.3 RH真空循环脱气法用耐火材料	560	7.2.10.2 喷枪用耐火材料的应用与性能	601
7.2.3.1 RH真空脱气装置用耐火材料的工作环境	560	7.2.10.3 喷枪用耐火材料的蚀损	603
7.2.3.2 RH真空脱气装置用耐火材料的应用与性能	560	参考文献	604
7.2.3.3 RH真空脱气装置用耐火材料的蚀损	568	8 炉外处理自动化	
7.2.3.4 RH真空脱气装置用耐火材料的热修	569	8.1 概述	608
7.2.4 DH真空脱气法用耐火材料	570	8.1.1 炉外处理自动化的作用和必要性	608
7.2.4.1 DH真空脱气装置用耐火材料的工作环境	571	8.1.2 炉外处理自动化的内容	608
7.2.4.2 DH真空脱气装置用耐火材料的应用与性能	571	8.1.2.1 现代工业自动化系统结构	608
7.2.5 AOD炉用耐火材料	571	8.1.2.2 现代工业自动化的进步	609
7.2.5.1 AOD炉用耐火材料的工作环境	571	8.1.2.3 炉外处理自动化的内容概要	610
7.2.5.2 AOD炉用耐火材料的应用与性能	572	8.2 主要检测用传感器和仪表	612
7.2.5.3 AOD炉用耐火材料内衬的蚀损	577	8.2.1 钢(铁)水温度测量传感器与检测仪表	613
7.2.6 VOD炉用耐火材料	579	8.2.1.1 浸入式热电偶	613
7.2.6.1 VOD炉用耐火材料的工作环境	579	8.2.1.2 消耗式热电偶	614
7.2.6.2 VOD炉用耐火材料的应用与性能	580	8.2.1.3 钢(铁)水温度连续测量	615
7.2.7 CAS/CAS-OB精炼处理装置用		8.2.2 钢(铁)水成分分析用的传感器与检测仪表	617
		8.2.2.1 钢水定碳传感器与检测仪表	617
		8.2.2.2 钢水定氧传感器与检测仪表	618
		8.2.2.3 铁水定硅传感器	619

8.2.2.4 硫含量的检测	622	8.3.3.8 喂线机自动化	655
8.2.2.5 磷含量的检测	622	8.4 过程自动化	655
8.2.2.6 锰含量的检测	622	8.4.1 过程自动化级的作用和目的 ..	655
8.2.2.7 钢水中氢含量在线检测 ..	623	8.4.2 过程自动化级的功能	657
8.2.2.8 钢(铁)水中全元素的 在线检测	624	8.4.3 过程自动化使用的设备	658
8.2.2.9 光电直读光谱成分分析仪 ..	624	8.4.4 过程自动化举例	658
8.2.3 测量温度、成分用取样枪	626	8.4.4.1 铁水预处理过程自动化 ..	658
8.2.4 脱气槽气体成分分析装置	626	8.4.4.2 RH真空处理装置过程 自动化	660
8.2.5 鱼雷铁水车、铁水罐等砌体 形状等检测	626	8.5 过程控制数学模型和人工智能 的应用	663
8.2.6 铁(钢)水液位高度检测	627	8.5.1 过程控制数学模型的应用	663
8.2.7 混铁车车号监测	628	8.5.1.1 LF/VD炉外精炼数学模型 ..	663
8.2.8 铁水运输动态监测	629	8.5.1.2 RH真空精炼数学模型	665
8.2.9 钢(铁)水重量检测	629	8.5.1.3 CAS-OB精炼数学模型	671
8.2.9.1 称重测量传感器	629	8.5.2 人工智能的应用	674
8.2.9.2 重量测量方法	630	8.5.2.1 LF炉能量输入设定点的 人工智能优化系统	675
8.2.10 钢水中渣的检测	631	8.5.2.2 基于人工智能的LF炉钢 水温度预报模型	677
8.3 基础自动化	632	8.5.2.3 LF炉氩气串级模糊控制 ..	677
8.3.1 基础自动化的作用及其内容 ..	632	8.5.2.4 LF炉电极升降模糊控制 ..	679
8.3.2 铁水预处理的基础自动化	633	8.5.2.5 LF炉电极升降智能控制 系统	680
8.3.2.1 高炉前脱硅基础自动化 ..	633	8.6 管理自动化与信息化	681
8.3.2.2 喷吹法铁水单脱硫预处理 基础自动化	634	8.6.1 概述	681
8.3.2.3 搅拌法铁水单脱硫预处理 基础自动化	638	8.6.2 炼钢制造执行系统(MES) ..	682
8.3.2.4 喷吹法脱硫、脱磷、脱硅的铁水 三脱预处理基础自动化	639	8.6.2.1 炼钢制造执行系统的目的 ..	682
8.3.3 炉外精炼的基础自动化	641	8.6.2.2 炼钢制造执行系统的结构 ..	682
8.3.3.1 真空吹氩脱气装置(VD) 的基础自动化	641	8.6.2.3 炼钢制造执行系统的主要 功能	682
8.3.3.2 钢包炉真空精炼(LFV) 的基础自动化	641	8.6.2.4 炼钢制造执行系统数学 模型及其建立	683
8.3.3.3 VOD精炼炉的基础自动化 ..	642	8.6.3 炼钢制造执行系统(MES) 举例	684
8.3.3.4 RH真空处理装置基础 自动化	643	8.6.3.1 系统目标	684
8.3.3.5 钢包喷粉装置(KIP)基础 自动化	650	8.6.3.2 实施要点	684
8.3.3.6 CAS或CAS-OB密封氩吹气 成分微调装置基础自动化 ..	652	8.6.3.3 网络结构	684
8.3.3.7 IR-UT钢包冶金站基础 自动化	653	8.6.3.4 体系结构	685
		8.6.3.5 主要功能	685
		8.7 典型的炉外处理三电自动化系统 ..	688
		8.7.1 宝钢一二期铁水预处理三电	

自动化系统	688	功能	710
8.7.2 宝钢三期铁水预处理三电		8.7.10.3 AOD 氩氧炉炉体计算机	
自动化系统	688	系统配置	711
8.7.3 宝钢三期计算机铁水监控及		8.7.10.4 主要控制系统简述	712
管理系统	692	8.7.11 国外炉外精炼设备三电	
8.7.3.1 工艺简述	692	自动化系统	713
8.7.3.2 系统构成	694	8.7.11.1 日本大同钢铁公司知多厂	
8.7.3.3 铁水监控系统主要功能	694	钢包精炼炉(LF)三电	
8.7.3.4 铁水管理系统主要功能	695	自动化系统	713
8.7.3.5 信息流程	697	8.7.11.2 美国内陆钢铁公司印第	
8.7.4 本钢二炼钢铁水预处理三电		安纳港厂的 ASEA 精炼炉	
自动化系统	697	三电自动化系统	713
8.7.4.1 工艺简述	697	8.7.11.3 加拿大 Dofasco 钢铁公	
8.7.4.2 三电自动化系统	698	司的钢包精炼装置三电	
8.7.5 首钢二炼钢脱硫三电自动化		自动化系统	715
系统	699	8.7.11.4 美国 LTV 钢铁公司印	
8.7.5.1 工艺简述	699	第安纳港厂钢包炉	
8.7.5.2 三电自动化系统结构	699	三电自动化系统	716
8.7.5.3 三电自动化系统功能	699	8.7.11.5 美国内陆钢铁公司印第	
8.7.6 宝钢二期工程炉外精炼三电		安纳港厂 RH-OB 精炼装	
自动化系统	700	置三电自动化系统	717
8.7.7 宝钢三期工程炉外精炼三电		8.7.11.6 意大利 Terni 特殊钢厂	
自动化系统	701	AOD 炉三电自动化	
8.7.7.1 三炼钢(电炉、圆(方)坯连铸)		系统	718
炉外精炼三电自动化系统	701	8.7.11.7 德国 SMS-DEMAG 不锈钢	
8.7.7.2 二炼钢炉外精炼三电自动		生产线三电自动化系统	719
化系统	701	参考文献	723
8.7.8 包钢新建钢包精炼炉三电自动			
化系统	706		
8.7.8.1 包钢新建钢包精炼炉基础			
自动化	706		
8.7.8.2 包钢新建钢包精炼炉过程			
自动化	708		
8.7.9 武钢 2 号 RH 真空处理装置三			
电自动化系统	709		
8.7.9.1 三电自动化系统配置和			
控制范围	709		
8.7.9.2 自动化系统主要功能	710		
8.7.10 太钢 AOD 氩氧炉自动化系统	710		
8.7.10.1 AOD 氩氧炉自动化系统			
设备选型	710		
8.7.10.2 AOD 氩氧炉自动化系统			

附 录

附录 1 常用钢号的成分对照表	725
1.1 结构用钢	725
1.1.1 碳素结构钢	725
1.1.2 低合金高强度结构钢	725
1.1.3 合金结构钢	726
1.1.4 低淬透性钢	728
1.1.5 易切削钢	728
1.1.6 弹簧钢	728
1.1.7 轴承钢	729
1.2 不锈钢	729
1.3 耐热钢	732
1.4 高温合金	733
1.4.1 变形高温合金	733

1.4.2 铸造高温合金	735	1.6.5 不锈、耐蚀铸钢	740
1.5 工具钢和硬质合金	736	1.6.6 耐热铸钢	741
1.5.1 碳素工具钢	736	1.6.7 高锰铸钢	741
1.5.2 合金工具钢	736	附录2 常用法定计量单位换算	741
1.5.3 高速工具钢	737	2.1 SI词头	741
1.5.4 硬质合金	738	2.2 常用法定计量单位及换算关系 ...	742
1.6 铸钢	739	2.3 不同黏度表示方法及其换算关系 ...	744
1.6.1 一般工程用碳素铸钢	739	2.4 不同浓度表示方法及其换算关系 ...	744
1.6.2 焊接结构用碳素铸钢、 低合金铸钢	739	2.5 相关常数	744
1.6.3 一般工程与结构用低合金 铸钢	739	附录3 英汉专有名词对照表	745
1.6.4 合金铸钢	740	3.1 常用名词	745
		3.2 炉外处理常用英文缩写	750
		3.3 化学元素	752