

中国铸造协会

铸造专业系列教材
铸造工程师认证培训用书

灰铸铁 球墨铸铁及其熔炼

吴德海 钱 立 胡家骢 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

策划编辑 王小英 曹 阳
加工编辑 曹 阳
版式设计 孟繁蓓
E-mail: cy@waterpub.com.cn

铸造工艺学

特种铸造

造型材料

● 灰铸铁、球墨铸铁及其熔炼

铸钢及其熔炼

铸造非铁合金及其熔炼

铸造设备

铸造企业管理

ISBN 7-5084-3606-7



9 787508 436067 >

ISBN 7-5084-3606-7

定价：58.00 元

中国铸造协会

铸造专业系列教材
铸造工程师认证培训用书

灰铸铁

球墨铸铁及其熔炼

吴德海 钱 立 胡家骢 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是中国铸造协会新世纪铸造专业系列教材之一,介绍了灰铸铁和球墨铸铁的组织、性能、应用及其熔炼技术,着重论述了近几年灰铸铁、球墨铸铁及其熔炼的发展应用的新成果,文中还突出介绍了蠕墨铸铁的最新发展。全书分铸铁的凝固结晶和灰铸铁、球墨铸铁、铸铁熔炼三篇,共十七章。

作为铸造工程师认证培训用书,本书可作为普通高等学校和大专院校铸造专业课程教材,还可供机械工程专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

灰铸铁、球墨铸铁及其熔炼 / 吴德海, 钱立, 胡家骢
编. —北京: 中国水利水电出版社, 2006
(铸造专业系列教材)
铸造工程师认证培训用书
ISBN 7-5084-3606-7

I. 灰... II. ①吴... ②钱... ③胡... III. ①球墨
铸铁—高等学校—教材②灰口铁—铸铁—高等学校—教
材③铸铁—熔炼—高等学校—教材 IV. ①TG143②
TG243

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 012077 号

书 名	铸造专业系列教材 铸造工程师认证培训用书 灰铸铁 球墨铸铁及其熔炼
作 者	吴德海 钱立 胡家骢 编
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市地矿印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16开本 23.25印张 551千字
版 次	2006年3月第1版 2006年3月第1次印刷
印 数	0001—3100册
定 价	58.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

“铸造”是一种既经济又便捷的金属成形工艺。无论过去、现在还是将来，铸造都是机械制造业的重要组成部分，它对社会进步和经济发展始终起着重要的作用。

我国的铸造业不仅历史悠久，而且在 21 世纪初，铸件产量已连续 4 年跃居世界第一位，已成为名副其实的铸造大国。然而铸造大国并不就是铸造强国。目前，我国铸造技术水平与发达国家相比仍存在不小的差距，主要表现在铸件质量较差、铸件产品构成落后、企业专业化程度低、绿色环境意识和可持续发展观念不强等方面。究其根本原因，在于人才素质与现代铸造要求不相适应。可以说，没有我国铸造专业人才素质的全面提高，就不会有我国现代铸造技术的进步和发展。

培养专业人才，教育要先行，教材是基础。以往，铸造专业教学及培训用教材大都是 20 世纪 80 年代末编印的，已不能适应培养现代铸造技术人才的需求，因此，编写出版新教材的工作已成为当务之急。同时，为开展铸造工程师的认证工作，也需要一套适用的考试用书。有鉴于此，中国铸造协会主动担起这一重任，并于 2004 年制订了“铸造专业人才教育培训和教材建设规划”，设立“教育培训专项基金”，组织和邀聘国内知名铸造专家、学者编写铸造专业培训系列教材，首批入选规划的教材包括《铸造工艺学》、《造型材料》、《特种铸造》、《灰铸铁、球墨铸铁及其熔炼》、《铸钢及其熔炼》、《铸造非铁合金及其熔炼》、《铸造设备》、《铸造企业管理》共 8 本专业教程。

以上教材都是为了在 21 世纪之初，满足我国铸造专业人才教育培训的迫切需要而优先规划并出版的，这批教材的编写既要从国情出发，又要面向世界、面向未来；既要保证基础性、实用性，又要突出新颖性；要体现本专业的崭新面貌、新特点，反映学科前沿，培养创新意识和创新精神。总之，应按精品教材的高标准来完成，希望这套铸造专业系列教材的问世，能够开创我国铸造专业技术培训的新局面，加速铸造队伍的专业水平和整体素质的提高，并为我国铸造行业的新发展作出贡献。

本套系列教材适用于大学、大专层次的铸造专业教学用书，也是铸造工程师认证的培训用书，同时亦可供从事铸造生产的管理与技术人员和其他相关专业技术人员参考。

郭树言

2005 年 10 月

前 言

铸铁是近代工业生产中应用最为广泛的铸造金属材料。学习与研究铸铁技术,对于发展铸造生产,充分发挥铸铁在各个工业领域中的作用,具有重要的现实意义。

铸铁学应包括灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁和白口抗磨铸铁及其熔炼。但是,本教材的内容只包括灰铸铁、球墨铸铁及其熔炼,其中没有包括可锻铸铁和白口抗磨铸铁,这是基于如下的考虑:

(1) 据报导,2004年全世界铸件产量为7975万t,其中灰铸铁占4044万t,球墨铸铁占1870万t,可锻铸铁为112万t。由此,灰铸铁与球墨铸铁之和为5914万t,占当年全部铸件产量的74.2%;而可锻铸铁则仅占当年全部铸件产量的1.4%。由此表明,可锻铸铁所占比例很小,并且这个比例还在逐年减小。

(2) 白口抗磨铸铁虽有较大的市场,但在每年世界铸件年产量统计中,从未有它的统计数据。另外,白口抗磨铸铁是一个专门的领域,它的组织结构、性能、制取及其应用均与灰铸铁、球墨铸铁有很大的区别,并且已有许多相关的专著问世。因此,白口抗磨铸铁也不在本教材讨论之列。

本教材的基本内容是从冶金学(物理冶金和化学冶金)角度阐述灰铸铁和球墨铸铁的组织结构、性能、制取、质量控制及应用的全部生产技术。

在编写本教材过程中,编者在制定大纲的基础上,力求加强基础理论,阐明基本概念,尽可能结合国内当前的生产实际,并努力反映国内外的先进技术。考虑到本教材的读者对象及其特点,编者力求使本教材的内容简明,说理清楚,数据可靠、实用,便于学习和掌握,特别是能提高读者分析和解决生产实际问题的能力。

本教材由绪论、第一篇“铸铁的凝固结晶和灰铸铁”、第二篇“球墨铸铁”和第三篇“铸铁熔炼”组成。其中,第一篇由中国农业机械化科学研究院胡家骢教授级高工编写;绪论、第二篇由清华大学吴德海教授编写;第三篇由河北工业大学钱立教授编写。全书由陆文华教授统一审校。对陆文华教授在审校过程中付出的辛勤劳动,致以衷心的感谢。另外,在本书编写过程中得到了中国农业机械化研究院张伯明、薛纪二、郑丹云,津唐铸管王堂、许广荣,科兴铸机张明,唐冶机械宫恩学,亨特尔(天津)科技任玉宝等专家的支持和帮助,特此致谢。作者谨向在本书编写和出版过程中进行了大量组织工作的清华大学姜不居教授和雷霆高级工程师致以由衷的谢意。

编者衷心感谢中国水利水电出版社编辑的鼎力支持,他们严谨的科学精神和忘我的工作态度让我们铭记在心。在本书编写过程中,编者参阅并引用了大量专著和相关文献,在此向有关作者表示感谢。

由于编者的水平所限,书中难免有错误和欠妥之处,对此敬请读者批评指正,编者将不胜感激。

编 者

2005年8月于清华园

目 录

序 前言

绪 论

第一篇 铸铁的凝固结晶和灰铸铁

第一章 铸铁的凝固结晶及组织形成

第一节 铁—碳双重相图	5	(四) 蠕虫状石墨的形成	15
一、铁—碳双重相图及其分析	5	三、初析奥氏体的结晶	16
二、Fe—C、Fe—Fe ₃ C 双重相图中的		(一) 初析奥氏体枝晶的	
基本组成	7	凝固过程	16
(一) 纯铁	7	(二) 初生奥氏体的形态	17
(二) 渗碳体 (Fe ₃ C)	8	(三) 奥氏体枝晶中的	
(三) 石墨	9	成分偏析	17
三、Fe—C、Fe—Fe ₃ C 双重相图中的		(四) 影响奥氏体枝晶数量及	
组成相	9	粗细的因素	19
四、铁—碳—硅准二元相图	9	四、共晶凝固过程	21
五、铸铁中常见元素对铁—碳相图上		(一) 稳定系的共晶转变	21
各临界点的影响	11	(二) 介稳定系的共晶转变	22
六、碳当量和共晶度的意义		五、磷共晶的形成	24
及表达式	11	第三节 铸铁的固态相变	25
第二节 铸铁的一次结晶过程	12	一、奥氏体中碳的脱溶	25
一、铸铁熔液的结构	12	二、铸铁的共析转变	26
二、石墨的结晶	13	(一) 形貌	26
(一) 初析石墨的凝固过程	13	(二) 形核	26
(二) 石墨的晶体结构及片状		(三) 生长	26
石墨的长大	14	三、过冷奥氏体的中温及低温转变	27
(三) 球状石墨的形成	15	思考题	28

第二章 灰铸铁的组织及性能

第一节 灰铸铁的金相组织及其对性能

的影响..... 29

一、灰铸铁的金相组织..... 29

(一) 石墨..... 29

(二) 基体..... 30

(三) 碳化物..... 30

(四) 磷共晶..... 31

(五) 共晶团..... 31

二、金相组织对性能的影响..... 31

(一) 石墨的影响..... 31

(二) 基体的影响..... 34

(三) 共晶团的影响..... 34

(四) 非金属夹杂物的影响..... 35

第二节 灰铸铁的性能..... 35

一、力学性能..... 35

(一) 抗拉强度..... 36

(二) 断后伸长率..... 36

(三) 抗压强度..... 36

(四) 抗弯强度..... 36

(五) 硬度..... 36

(六) 拉伸弹性模量(杨氏模量) ... 37

(七) 冲击性能..... 38

(八) 断裂韧度..... 38

(九) 疲劳极限..... 38

(十) 高低温力学性能..... 39

二、物理性能..... 40

(一) 密度..... 40

(二) 比热容..... 40

(三) 线膨胀系数..... 40

(四) 热导率..... 40

(五) 电阻率..... 40

(六) 磁性能..... 40

三、使用性能..... 41

(一) 耐磨性..... 41

(二) 减振性..... 41

(三) 耐热疲劳性能..... 41

(四) 抗氧化、抗生长性能..... 42

(五) 致密性..... 42

四、工艺性能..... 42

(一) 铸造性能..... 42

(二) 切削性能..... 45

(三) 焊补性能..... 45

第三节 对灰铸铁组织和性能的影响因素..... 45

影响因素..... 45

一、冷却速度的影响..... 45

二、化学成分的影响..... 46

(一) 各元素在铸铁中存在的
状态与分布..... 46

(二) 化学成分对灰铸铁组织的影响... 47

(三) 五个常见元素的影响..... 48

(四) 合金元素的影响..... 51

(五) 常见微量元素的影响..... 54

三、其他铸造工艺条件的影响..... 55

(一) 铁液的过热和高温静置的影响... 55

(二) 孕育处理的影响..... 56

(三) 气体的影响..... 56

(四) 炉料的影响..... 57

思考题..... 58

第三章 灰铸铁件的生产

第一节 灰铸铁的标准及合理选用

原则..... 59

一、灰铸铁的力学性能标准..... 59

二、灰铸铁力学性能与铸件壁厚的关系... 59

三、试棒与铸件本体性能	60	四、非金属夹杂物	79
四、合理选用原则	61	(一) 存在形态	79
第二节 灰铸铁冶金质量的指标	62	(二) 非金属夹杂物对灰铸铁件质量的影响	79
一、成熟度及相对强度	63	(三) 非金属夹杂物的控制	79
二、硬化度及相对硬度	63	五、气孔	81
三、品质系数	64	(一) 析出性气孔的形成及其防止	81
第三节 提高灰铸铁性能的主要途径	64	(二) 反应性气孔的形成及其防止	81
一、合理选择化学成分	64	(三) 裂隙状氮气孔的形成及其防止	82
二、改变炉料组成	66	(四) 渣气孔的形成及其防止	82
三、铁液孕育处理	66	第六节 灰铸铁的热处理	83
(一) 孕育目的及其效果的评定	67	一、灰铸铁常用的热处理工艺	83
(二) 孕育处理要求的铁液条件	67	(一) 去除应力处理	83
(三) 孕育剂的成分及选用	69	(二) 改善切削加工性能的石墨化退火	84
(四) 孕育方法	70	(三) 表面热处理	85
四、低合金化	72	二、其他热处理工艺	85
第四节 灰铸铁件生产中炉前质量控制	74	(一) 正火	85
一、炉前试样质量控制	74	(二) 淬火回火	86
(一) 三角试样	74	(三) 等温淬火	86
(二) 圆柱试样	76	(四) 化学热处理	86
二、热分析仪	76	第七节 几个典型的灰铸铁件	86
第五节 主要缺陷及防止	77	一、机床铸件	86
一、料硬、白口与反白口	77	二、发动机气缸体、气缸盖	88
二、缩孔与缩松	77	三、薄壁减磨灰铸铁件	91
(一) 形成原因	77	(一) 气缸套	91
(二) 防止方法	78	(二) 活塞环	94
三、铸造应力、变形和开裂	78	四、D型石墨铸铁件	96
(一) 影响铸造应力的因素	78	思考题	97
(二) 减小铸造应力的方法	79	参考文献	99

第二篇 球 墨 铸 铁

第四章 概 述

第一节 球墨铸铁的发现	103	二、在铁液中加入铈处理	104
一、前期工作	103	三、在铁液中加入镁处理	104

第二节 球墨铸铁的发展	106
-------------------	-----

第五章 球墨铸铁的凝固

第一节 球状石墨的形成	108	(一) 薄壁球墨铸铁的奥氏体枝晶	115
一、球状石墨的形核	108	(二) 厚壁球墨铸铁的奥氏体枝晶	115
(一) 球状石墨呈液态形核	108		
(二) 球状石墨是多相形核			
——球化剂是必需的	108		
二、球状石墨的长大	110	第三节 球墨铸铁的组织	116
(一) 呈离异共晶生长——球状石墨的形成	110	一、石墨	116
(二) 界面张力的行为	111	(一) 石墨的形貌	116
(三) 球状石墨的长大方式		(二) 球状石墨的结构	117
——呈螺旋长大	112	(三) 球状石墨晶核的成分	119
第二节 球墨铸铁的凝固特性	113	二、基体组织	119
一、呈粥样凝固	113	(一) 珠光体和铁素体	119
二、奥氏体枝晶发达	114	(二) 奥氏体	119
		(三) 贝氏体	119
		(四) 马氏体及其回火组织	121
		思考题	121

第六章 球墨铸铁的化学成分

第一节 基本元素	122	(二) 锰对球墨铸铁力学性能的影响	126
一、碳	122	四、磷	127
(一) 碳对球墨铸铁铸造性能和球化效果的影响	122	(一) 磷与磷共晶	127
(二) 碳对球墨铸铁力学性能的影响	122	(二) 磷对球墨铸铁力学性能的影响	127
(三) 碳当量	123	五、硫	128
二、硅	123	(一) 硫在球墨铸铁中的存在形态	128
(一) 硅对球墨铸铁基体组织的影响	123	(二) 硫对球化效果的影响	129
(二) 硅对球墨铸铁力学性能的影响	124	(三) 降低原铁液含硫量	129
三、锰	124	第二节 合金元素	129
(一) 锰对球墨铸铁基体组织的影响	124	一、铜	129
		(一) 铜对石墨形状的影响	129
		(二) 铜对球墨铸铁基体组织	

的影响	130	(二) 铬对球墨铸铁力学性能的影响...	136
(三) 铜对球墨铸铁力学性能的影响	130	五、钒	136
二、钼	131	(一) 钒对球墨铸铁基体组织的影响	136
(一) 钼对球墨铸铁基体组织的影响	131	(二) 钒对球墨铸铁力学性能的影响	137
(二) 钼对球墨铸铁力学性能的影响	132	第三节 微量元素	138
三、镍	133	一、微量干扰球化元素	138
(一) 镍对球墨铸铁基体组织的影响	133	二、微量合金化元素	139
(二) 镍对球墨铸铁力学性能的影响	134	(一) 铈	139
四、铬	134	(二) 铈	139
(一) 铬对球墨铸铁基体组织的影响	134	(三) 钛	139
		(四) 铅	139
		(五) 锡	139
		(六) 锶	140
		思考题	140

第七章 球化处理和孕育处理

第一节 球化处理	141	四、球化检测	151
一、球化剂	141	(一) 炉前三角试样检验	151
(一) 镁系球化剂	141	(二) 炉前快速金相检验	151
(二) 稀土系球化剂	143	第二节 孕育处理	152
(三) 钙系球化剂	146	一、孕育剂	152
二、球化处理方法	147	二、孕育处理工艺	154
(一) 冲入法	147	(一) 一次孕育	154
(二) 喂丝法	148	(二) 二次孕育	154
三、球化处理工序	149	(三) 孕育衰退与防止	156
(一) 球化处理前的工序	149	思考题	157
(二) 球化处理	151		

第八章 铸造缺陷及防止

第一节 球化不良与球化衰退	158	(四) 炉料中含有反球化元素	158
一、球化不良	158	(五) 关于铁液的状态	159
(一) 原铁液含硫高	158	(六) 孕育效果差	159
(二) 球化元素残留量低	158	二、球化衰退	159
(三) 铁液氧化	158	(一) 铁液的球化衰退	159

(二) 界面反应的球化衰退	160	二、皮下气孔	167
(三) 球片状畸变石墨	160	(一) 现象	167
第二节 缩孔和缩松	161	(二) 产生的原因	167
一、特点	161	(三) 防止措施	167
二、产生的原因	162	第四节 夹渣	168
(一) 收缩前膨胀量大	162	第五节 石墨漂浮	169
(二) 型壁移动	162	第六节 反白口	170
(三) 球化处理使铁液的过冷度 加大	162	一、现象	170
三、防止措施	162	二、产生的原因	170
(一) 铁液成分	162	三、防止措施	171
(二) 铁液性状	163	第七节 碎块状石墨	171
(三) 铸型的刚度	163	一、现象	171
(四) 浇注温度	163	二、产生的原因	172
(五) 浇注系统	163	三、防止措施	173
第三节 气孔	164	(一) 化学成分	173
一、氮气孔	164	(二) 孕育	173
(一) 氮气孔形成的热力学	164	(三) 微量元素	173
(二) 氮气孔形成的冶金条件	165	(四) 工艺措施	174
(三) 防止产生氮气孔的措施	166	思考题	174

第九章 球墨铸铁热处理

第一节 球墨铸铁热处理基础	175	第二节 球墨铸铁热处理工艺	182
一、球墨铸铁共析转变的临界 温度范围	175	一、退火	182
二、加热时的组织转变	176	二、正火	183
(一) 在共析转变温度范围以上 ($>A_{C1}^s$) 加热	176	(一) 普通正火	183
(二) 在共析转变温度范围内 ($A_{C1}^s \sim A_{C1}^s$) 加热	177	(二) 部分奥氏体化正火	184
(三) 在共析转变温度范围以下 ($<A_{C1}^s$) 加热	178	三、淬火与回火	185
三、冷却时的组织转变	178	(一) 淬火	185
四、奥氏体等温转变曲线	180	(二) 回火	185
五、奥氏体连续冷却转变	181	四、等温淬火	186
		(一) 上贝氏体等温淬火工艺	188
		(二) 下贝氏体等温淬火工艺	188
		思考题	188

第十章 铸态球墨铸铁

第一节 生产铸态球墨铸铁铸件的可能性	189	问题	192
一、石墨球数与冷却速度对基体组织和力学性能的影响	190	一、100%的基体组织	192
二、合金元素对铸态基体组织的影响	190	二、化学成分的范围	193
第二节 铸态球墨铸铁生产工艺要点	191	(一) 铜	193
一、铁素体基体	191	(二) 硅	193
二、珠光体基体	191	(三) 锰	193
三、铁素体—珠光体混合基体	192	(四) 磷	194
第三节 铸态球墨铸铁生产中的		三、铸态球墨铸铁的技术经济效益	194
		(一) 铸态球墨铸铁曲轴	194
		(二) 铸态球墨铸铁的经济效益	195
		思考题	195

第十一章 厚大断面球墨铸铁

第一节 厚大断面球墨铸铁的凝固特性	197	三、球化剂	202
一、凝固时间长	197	四、热处理	202
二、基体组织反常	198	五、微量元素的作用	203
三、石墨球数减少和畸变	198	六、工艺条件的改进	204
四、冷却曲线的特征	199	(一) 孕育	204
第二节 提高厚大断面球墨铸铁质量的措施	200	(二) 浇注	204
一、原材料	200	(三) 采用金属型	205
二、化学成分	201	第三节 核燃料储运器	205
		思考题	206

第十二章 等温淬火球墨铸铁

第一节 等温淬火球墨铸铁的特征及应用	207	(二) 质量轻	209
一、发展概况	207	(三) 疲劳强度和断裂韧度与低合金钢相当	209
二、等温淬火球墨铸铁的优点	209	(四) 减振性良好	209
(一) 强度高、塑性好	209	(五) 生产成本比钢低	209

三、应用	209	三、合金元素在等温转变过程	
第二节 等温淬火过程的组织转变	210	中的行为	214
一、概述	210	(一) 钼	214
二、在等温淬火过程中贝氏体组织的转变	210	(二) 铜(镍)	214
第三节 化学成分	211	第四节 热处理	215
一、概述	211	一、奥氏体化温度和时间	216
二、基本元素在等温转变过程中的行为	212	二、奥氏体等温转变温度和时间	217
(一) 碳	212	第五节 力学性能	218
(二) 硅	212	一、抗拉性能	219
(三) 锰	213	二、冲击韧度	219
		三、疲劳性能	219
		思考题	221

第十三章 球墨铸铁的性能

第一节 力学性能	222	六、磁性	230
一、常温静态拉伸性能	222	第三节 工艺性能	231
(一) 抗拉强度和伸长率	222	一、铸造性能	231
(二) 屈服强度	222	(一) 流动性	231
(三) 弹性模量	223	(二) 收缩倾向	232
(四) 硬度	223	(三) 裂纹倾向	233
二、常温动态力学性能	224	二、切削性能	234
(一) 疲劳强度	224	第四节 使用性能	235
(二) 韧度	226	一、耐热性能	235
第二节 物理性能	227	(一) 抗氧化性	235
一、密度	227	(二) 抗生长性	236
二、线膨胀系数	227	(三) 热疲劳性	238
三、热导率	228	二、耐磨性	238
四、比热容与熔化潜热	228	三、耐蚀性	239
五、电阻率	229	思考题	242

第十四章 球墨铸铁的生产应用

第一节 应用领域	243	(一) 铸管及管件	246
一、概述	243	(二) 汽车铸件	246
二、应用范围	244	(三) 机床铸件	246

(四) 球墨铸铁轧辊	246	(一) 根据铸件性能要求选择牌号...	250
第二节 球墨铸铁标准和选用	249	(二) 制造工艺性	251
一、球墨铸铁的牌号和标准	249	(三) 生产条件	251
二、选用原则	250	思考题	252

第十五章 蠕 墨 铸 铁

第一节 蠕墨铸铁的发现与进展	253	(一) 蠕化剂	260
一、发现	253	(二) 蠕化处理	262
二、组织特点	254	(三) 蠕墨铸铁的炉前检验	263
三、最新发展	255	三、蠕墨铸铁的质量控制	263
第二节 蠕墨铸铁的性能	255	第四节 蠕墨铸铁的生产应用	263
一、力学性能	255	一、生产概况	263
二、耐热性能	256	二、生产应用实例	264
三、蠕墨铸铁的标准	258	(一) 汽缸体	264
第三节 蠕墨铸铁的制取	259	(二) 汽缸盖	264
一、化学成分	259	(三) 排气管	265
(一) 碳和硅	259	(四) 液压件	266
(二) 锰	259	(五) 榨糖机轧辊	266
(三) 磷	259	(六) 大型机床铸件	266
(四) 硫	259	思考题	267
(五) 合金元素	260	参考文献	268
二、炉前处理	260		

第三篇 铸 铁 熔 炼

第十六章 冲天炉熔炼

第一节 概述	273	(二) 底焦燃烧的强化途径	279
一、冲天炉的基本构成与主要结构参数	273	(三) 冲天炉的燃烧比	280
二、冲天炉作业原理	274	三、炉内热交换	281
三、对冲天炉熔炼的要求	275	(一) 预热带的热交换	281
四、冲天炉的类型与应用	275	(二) 熔化带的热交换	282
第二节 冲天炉内的燃烧过程	276	(三) 过热带的热交换	282
一、碳氧反应	276	(四) 炉缸的热交换	283
二、底焦内的燃烧	277	(五) 冲天炉的热效率	283
(一) 底焦燃烧与区域划分	277	四、影响铁液温度的主要因素	284

(一) 焦炭的影响	284	(二) 风量检测	313
(二) 送风的影响	286	(三) 炉气分析	315
(三) 金属炉料的影响	287	(四) 铁液温度检测	316
(四) 炉型的影响	288	(五) 炉前热分析	317
(五) 操作因素的影响	288	(六) 其他项目检测	318
第三节 冲天炉内的冶金过程	289	四、炉况判断	318
一、冶金介质	289	(一) 风口判断	318
(一) 焦炭	289	(二) 加料口判断	318
(二) 炉气	290	(三) 风量、风压判断	319
(三) 炉渣	290	(四) 出渣口判断	319
二、冲天炉内铁液化学成分的变化	291	(五) 炉渣判断	319
(一) 碳的变化	291	(六) 铁液判断	319
(二) 硅、锰的变化	294	(七) 炉衬侵蚀状况判断	320
(三) 硫的变化	297	五、常见事故	320
(四) 磷的变化	300	(一) 上部棚料	320
(五) 氢、氧、氮的变化	300	(二) 下部棚料	320
(六) 关于矿物在炉内还原的提示	303	(三) 落生	321
三、配料计算和炉前调整	303	(四) 爆炸	321
(一) 配料计算	303	(五) 炉壳发红	321
(二) 炉前调整	305	(六) 炉底漏铁液	321
第四节 冲天炉作业与炉况	306	(七) 过桥阻塞	321
一、程序作业	306	(八) 出铁口冻结	321
(一) 修炉	306	(九) 铁液氧化	322
(二) 点火与烘炉	306	(十) 发渣	322
(三) 装料与熔化	306	第五节 炉例	322
(四) 打炉	307	一、普通冲天炉	323
二、基本熔炼工艺参数的确定	307	(一) 多排小风口冲天炉	323
(一) 冲天炉网状图	307	(二) 两排大间距冲天炉	323
(二) 风量的确定	308	二、水冷长炉龄冲天炉	324
(三) 风压的参考范围	309	(一) 3t/h 水冷长炉龄冲天炉	324
(四) 冲天炉对送风的要求与		(炉胆热风)	324
风机选择	310	(二) 15t/h 水冷长炉龄冲天炉	326
(五) 层铁量和层焦量的确定	311	(冷风)	326
(六) 底焦高度的确定	312	(三) 14t/h 水冷长炉龄冲天炉	326
(七) 熔剂量的选定	313	(炉外热风)	326
三、冲天炉检测	313	(四) 6t/h 水冷长炉龄冲天炉	328
(一) 风压检测	313	(炉顶热风)	328
		思考题	329

第十七章 感应炉熔炼

第一节 概述	330	六、节能措施	346
一、感应炉工作原理	330	第三节 有芯感应炉熔炼	347
二、感应炉分类与应用	330	一、有芯感应炉的炉型与感应体	347
(一) 按电流频率分类	330	(一) 炉型	347
(二) 按炉体结构分类	331	(二) 感应体	348
三、感应炉熔炼的优势	331	二、有芯感应炉的容量与规格	348
四、感应炉的发展方向	332	三、炉衬材料	349
第二节 无芯感应炉熔炼	332	(一) 酸性炉衬材料	349
一、无芯感应炉的构成	332	(二) 中性炉衬材料	349
(一) 炉体系统	332	(三) 碱性炉衬材料	350
(二) 倾炉系统	333	(四) 面料和隔离料	350
(三) 水冷系统	334	四、熔炼保温作业	350
(四) 电气系统	334	(一) 起熔	350
二、无芯感应炉的容量与规格	335	(二) 投料与熔化	351
三、炉衬材料	336	(三) 调整	351
(一) 炉衬分类	336	(四) 出铁	351
(二) 硅质炉衬及其捣打、烧结	337	(五) 待用	351
四、炉内电磁现象的正确运用	341	(六) 熔沟状态的监视	351
(一) 电流透入深度与炉料块度	341	五、铸铁的双联熔炼	351
(二) 有功功率、电效率与炉料	343	(一) 冲天炉与感应炉双联	352
(三) 电磁搅拌的利用与限制	343	(二) 感应炉与感应炉双联	353
五、装料与熔炼作业	344	六、浇注保温炉	353
(一) 装料	344	(一) 对浇注保温炉的要求	353
(二) 熔化	344	(二) 气压式浇注保温炉	353
(三) 精炼	345	(三) 浇注中间包	353
(四) 出铁	346	思考题	354
		参考文献	355