



冶金操作岗位培训丛书

YEJIN CAOZUO GANGWEI PEIXUN CONGSHU

轧钢加热工

ZHAGANG JIAREGONG

杨意萍 编著



化学工业出版社



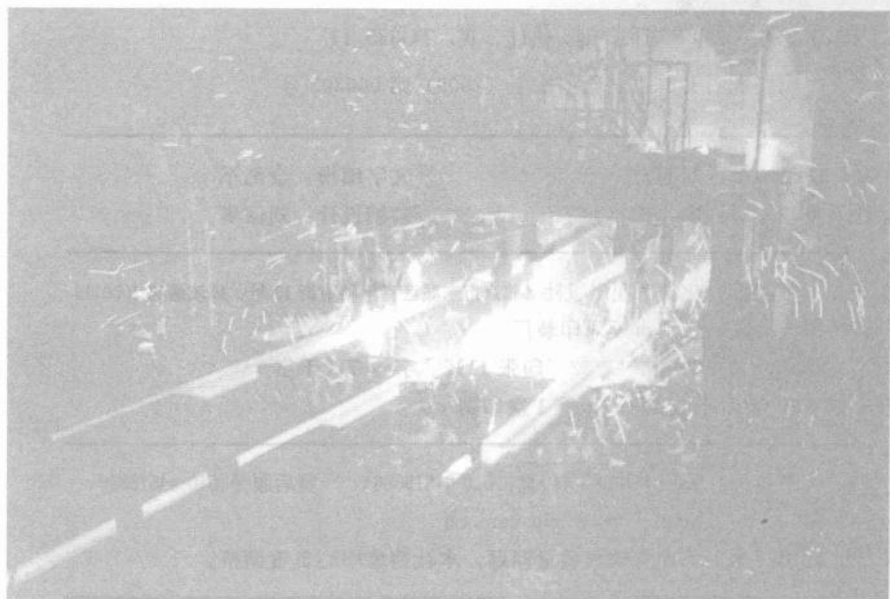
冶金操作岗位培训丛书

YEJIN CAOZUO GANGWEI PEIXUN CONGSHU

轧钢加热工

ZHAGANG JIAREGONG

杨意萍 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

轧钢加热工/杨意萍编著. —北京: 化学工业出版社,
2009. 6

(冶金操作岗位培训丛书)

ISBN 978-7-122-05314-5

I. 轧… II. 杨… III. 热轧 IV. TG335.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 060303 号

责任编辑: 刘丽宏

文字编辑: 余纪军

责任校对: 宋 玮

装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装厂

850mm×1168mm 1/32 印张 11 $\frac{3}{4}$ 字数 292 千字

2009 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究

前言

近十年来,我国钢铁工业快速发展,新设备和新技术不断涌现,产品的技术含量越来越高,对产品生产设备和操作技术的要求也越来越高,越来越多的轧钢生产企业急需大量能够及时掌握新设备性能、新操作技术和全面应用先进的自动化控制技术的技能人才。本书就是为适应上述要求而编写的。

钢坯加热是热轧生产的重要生产工序,其目的是按轧机节奏将钢坯加热到工艺要求的温度范围内,以保证钢坯的正常轧制。加热炉是热轧车间内将钢坯加热到满足轧制要求温度的主要设备,是钢材热轧生产线上的关键设备之一,轧钢生产的产量、质量、能耗以及经济效益和加热炉的生产操作情况有很大关系。为了实现加热炉优质、高产、低耗的生产目标,加热炉必须具有合理的结构、合理的加热工艺和合理的操作制度。随着轧钢生产的大型化、连续化,轧钢工艺技术、设备的发展与产品品种的增加、质量的升级,对加热炉高产、优质、低耗的要求不断提高,采用计算机控制加热炉生产已成为发展方向和必然趋势。

本书参照冶金行业职业技能标准和职业技能鉴定规范,根据冶金企业的生产实际和岗位群的技能要求,主要介绍了轧钢加热工所必须掌握的基本知识和技能。本书的特点是:基本概念清晰,重点突出,简明扼要,基本理论必需、够用,面向生产实际,服务实践,突出技能。在强调应用、注重实际操作技能的同时,本书也注意反映新知识、新技术、新工艺、新方法的应用和发展。希望本书能成为轧钢企业技术工人的良师益友。

本书在编写过程中得到了许多同行的大力帮助，在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平所限，编写时间仓促，书中不当之处难免，敬请读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 钢铁基本知识	1
1.1 钢的晶体结构	1
1.2 铁碳合金相图	2
1.2.1 纯铁的同素异构转变	2
1.2.2 铁碳合金相图	3
1.3 钢的性能	7
1.3.1 物理性能	8
1.3.2 化学性能	8
1.3.3 力学性能	8
1.4 钢的分类和编号.....	11
1.4.1 钢的分类.....	11
1.4.2 我国钢号的表示方法.....	13
1.5 常见钢种的用途和性能.....	16
1.5.1 碳素结构钢.....	16
1.5.2 优质碳素结构钢.....	17
1.5.3 合金结构钢.....	17
1.5.4 弹簧钢.....	17
1.5.5 轴承钢.....	18
第 2 章 燃料与燃烧	19
2.1 燃料的特性.....	19
2.1.1 化学组成及表示方法.....	19

2.1.2	发热量	20
2.2	加热炉常用燃料	21
2.2.1	天然气	21
2.2.2	高炉煤气	22
2.2.3	焦炉煤气	22
2.2.4	高-焦混合煤气	22
2.2.5	转炉煤气	23
2.2.6	发生炉煤气	23
2.2.7	重油	23
2.3	燃烧计算	25
2.3.1	燃烧的基本概念	25
2.3.2	燃烧计算	26
2.4	燃烧技术	31
2.4.1	气体燃料的燃烧过程	31
2.4.2	重油燃烧	34
2.5	加热炉新型燃烧技术	36
2.5.1	油掺水乳化燃烧技术	36
2.5.2	高效蓄热燃烧技术	37

第3章 加热设备 40

3.1	加热炉炉型	41
3.1.1	加热炉炉型的基本特征	41
3.1.2	加热炉主要尺寸参数	44
3.1.3	加热炉常用炉型	45
3.2	加热炉的炉体结构	46
3.2.1	炉子外壳和钢结构	48
3.2.2	装出料	48
3.2.3	炉子内衬	52
3.2.4	炉底水管和炉底支承梁	55

3.2.5	炉底密封与清渣结构	57
3.2.6	排烟方式	58
3.2.7	供热方式	59
3.2.8	步进机械	60
3.2.9	炉内坯料终点位置控制装置	64
3.2.10	炉门	65
3.3	燃烧装置	66
3.3.1	煤气烧嘴	66
3.3.2	燃油烧嘴	72
3.4	汽化冷却装置	74
3.5	废气热量回收装置	75
3.6	加热炉上常见的阀门	77
3.6.1	截止阀	77
3.6.2	闸阀	78
3.6.3	止回阀	79
3.6.4	球阀	80
3.6.5	旋塞阀	81
3.6.6	蝶阀	82
3.6.7	盲板阀	82
3.7	加热炉热工仪表	83
3.7.1	测温仪表	83
3.7.2	测压仪表	93
3.7.3	流量仪表	96
3.8	筑炉材料	98
3.8.1	耐火材料的一般性能	98
3.8.2	加热炉常用耐火材料	100
3.9	高效蓄热加热炉	106
3.9.1	烧嘴式蓄热加热炉	107
3.9.2	内置通道蓄热式加热炉	111
3.9.3	外置式蓄热室加热炉	112

第 4 章 钢坯加热工艺	113
4.1 加热基本知识	113
4.1.1 热量传递的基本方式	113
4.1.2 钢坯在炉膛内的加热	117
4.1.3 加热过程中钢坯组织性能的变化	119
4.2 加热工艺参数	121
4.2.1 加热温度	121
4.2.2 加热速度	122
4.2.3 加热时间	124
4.3 钢的加热制度	125
4.3.1 钢的预热、加热和均热	125
4.3.2 钢的加热制度	125
 第 5 章 加热炉的热工操作	127
5.1 加热炉的干燥和烘炉	127
5.1.1 干燥	127
5.1.2 烘炉	128
5.2 装出炉操作	135
5.2.1 装炉操作	135
5.2.2 出钢操作	142
5.3 点炉、停炉操作	147
5.3.1 放散吹扫操作	147
5.3.2 送煤气操作	149
5.3.3 送油操作	149
5.3.4 点火操作	150
5.3.5 停炉操作	152
5.4 加热炉的日常管理与检查	155
5.4.1 操作室的检查与确认	155
5.4.2 炉内坯料检查与确认	156

5.4.3	炉外设备的检查与确认	156
5.5	加热炉热工操作、控制与优化	156
5.5.1	加热炉热工参数	156
5.5.2	加热炉热工制度的控制和调节	158
5.5.3	正确的操作方法	162
5.6	加热炉工作状况的目测分析	164
5.6.1	钢温目测	164
5.6.2	目测火焰颜色判断烧嘴工作状况	165
5.6.3	目测烟气判断燃料燃烧情况	166
5.6.4	冷却水温估计	166
5.6.5	油的黏度目测	166
5.6.6	压力和流量的目测	166
5.6.7	设备状况的目测	167
5.7	正常炉况的仪表判别	168
5.8	加热质量及其控制	169
5.8.1	氧化烧损	169
5.8.2	脱碳	172
5.8.3	过热与过烧	174
5.8.4	烧化(化钢)与粘钢	175
5.8.5	加热温度不均匀	175
5.8.6	加热裂纹	177
5.8.7	质量管理基本知识	177
5.9	加热炉常见故障及排除	178
5.9.1	煤气加热炉的常见故障及排除	178
5.9.2	烧嘴常见故障及其排除方法	179
5.9.3	烧油操作中的常见故障及排除	181
5.9.4	热电偶的故障及排除	182
5.9.5	全辐射高温计的故障及排除	183
5.9.6	步进系统中故障和排除	184
5.9.7	炉底水管故障	185

5.10	加热炉常见生产事故的预防与排除	186
5.10.1	坯料跑偏	186
5.10.2	翻炉事故	187
5.10.3	钢坯碰头及刮墙事故	189
5.10.4	掉钢事故	189
5.10.5	拱钢、卡钢事故	189
5.10.6	混钢事故	191
5.10.7	粘钢	191
5.10.8	坯料在炉内的塌头塌腰（向下弯曲）	192
5.11	加热炉的安全操作技术	192
5.11.1	加热工的安全职责	192
5.11.2	加热炉的安全操作要点	193
5.11.3	煤气的安全使用	196
第6章	加热炉的维护与检修	204
6.1	加热炉的日常维护	204
6.1.1	耐火砌体的维护	204
6.1.2	钢结构的维护	205
6.1.3	炉底清理和维护	206
6.1.4	加热炉机械的日常维护	206
6.1.5	液压系统的维护	207
6.1.6	水冷设施的维护	208
6.1.7	燃烧装置的维护	208
6.1.8	烟道、闸门的维护	209
6.1.9	换热器的维护	210
6.1.10	空气、煤气系统的维护	210
6.1.11	加热炉风机的维护	211
6.2	加热炉的检修	211

6.2.1	炉子的热修	211
6.2.2	加热炉的定期检修	212
6.2.3	加热炉各部位的检修	213
第 7 章	加热炉的自动化	219
7.1	加热炉的自动化简介	219
7.1.1	加热炉区自动化的功能	219
7.1.2	加热炉区的自动化系统配置	220
7.1.3	加热炉区的自动化过程	220
7.1.4	控制系统操作画面	221
7.2	加热炉的自动控制	222
7.2.1	加热炉自动控制的方式	223
7.2.2	加热炉的燃烧控制	224
第 8 章	加热炉的经济指标与节能技术	229
8.1	加热炉的生产率	229
8.2	加热炉能耗及热效率	231
8.2.1	加热炉能耗	231
8.2.2	加热炉的热效率	232
8.2.3	提高炉子热效率和降低能耗的措施	232
8.3	加热工序管理与节能降耗	233
8.3.1	热送热装	233
8.3.2	合理热负荷	234
8.3.3	加热炉的节能措施	236
附录 1	加热工理论知识复习题	237
附录 2	加热工理论知识复习题参考答案	316
	参考文献	358

第1章 钢铁基本知识

1.1 钢的晶体结构

绝大多数金属和合金都是由按一定次序规则排列的原子构成的（图 1-1），金属原子的这种规则排列就称为金属的晶体结构，有时简称结构。金属的晶体结构通常采用空间晶格来描述。空间晶格就是将各原子看成一个个点，以假象的线条连接起来而形成的空间格子。

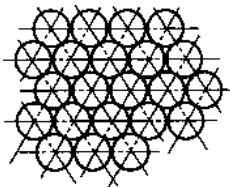


图 1-1 金属原子排列

金属的晶体结构有多种类型，但大多数金属属于体心立方、面心立方和密排六方三种结构类型（图 1-2）。

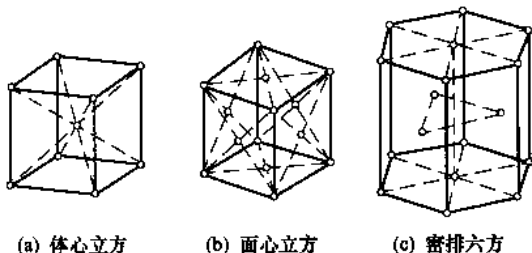


图 1-2 常见的晶体结构类型

实践证明，实际金属的原子在排列过程中会遇到很多不完整的——晶体缺陷，实际金属是由大量的不完整的结晶形体制成的，即晶粒组成（可在金相显微镜下看到，即金相组织）。晶粒与晶粒之间的边界称为晶界（图 1-3），晶界处的原子排列规

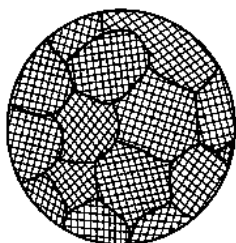


图 1-3 金属多晶体结构

则性很差，原子能量较高。晶界对金属的力学、物理及化学性能以及晶体内部的转变都有重要的影响。

一种金属元素与其他金属元素或非金属元素，经熔炼、烧结或其他方法结合成具有金属特性的物质称为合金。组成合金的最基本的独立物质称为组元，合金中具有同一聚集状态、同一结构和

性质的均匀组成部分称为相。相可以由一种或几种包含在合金成分中的化学元素所组成。

多数合金组元液态时都能互相溶解，形成均匀液相。当液态合金结晶凝固成固态时，各组分之间相互作用形成固溶体、金属化合物和机械混合物三类固相组织。一组元均匀溶解在另一组元中形成的单相组织称为固溶体，组元间发生相互作用形成的具有金属特性的物质称为金属化合物，两种或两种以上的相按一定质量百分数组成的物质则称为机械混合物。金属化合物一般用化学分子式表示，是合金中的强化相。

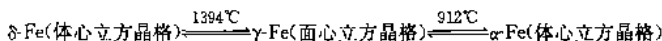
钢的基本组元是铁和碳，固态下的基本相是碳溶解于 α -Fe 和 γ -Fe 中形成的固溶体——铁素体和奥氏体以及铁与碳形成的金属化合物——渗碳体。

1.2 铁碳合金相图

1.2.1 纯铁的同素异构转变

大多数金属由液态变为固态后，其晶格类型不再发生变化。只有少数金属，如铁、钴、锡、钛等，在固态下，随温度的变化，其晶格类型会发生转变。这种转变现象称为同素异构（或同素异晶）转变。

固态下的铁在 912°C 和 1394°C 发生两次晶格转变。



金属的同素异构转变又称重结晶，是原子的重新排列过程。与液态金属凝固一样，也是在恒温下进行。由于同素异构转变前后晶格类型不同，因此金属体积会发生改变。由 $\alpha\text{-Fe}$ 转变为 $\gamma\text{-Fe}$ 的过程中会发生体积收缩。

钢的同素异构转变是钢铁进行热处理的依据，也是钢铁材料品种较多、用途广泛的主要原因之一。

1.2.2 铁碳合金相图

铁碳合金相图是指在极缓慢加热（或冷却）条件下，不同成分的铁碳合金，在不同温度下具有的状态或组织的图形，如图 1-4 所示。铁碳合金相图是研究铁碳合金组织与性能关系的重要工具，了解和掌握铁碳合金相图对于制定钢铁材料的各种热加工工艺有重要的指导意义。

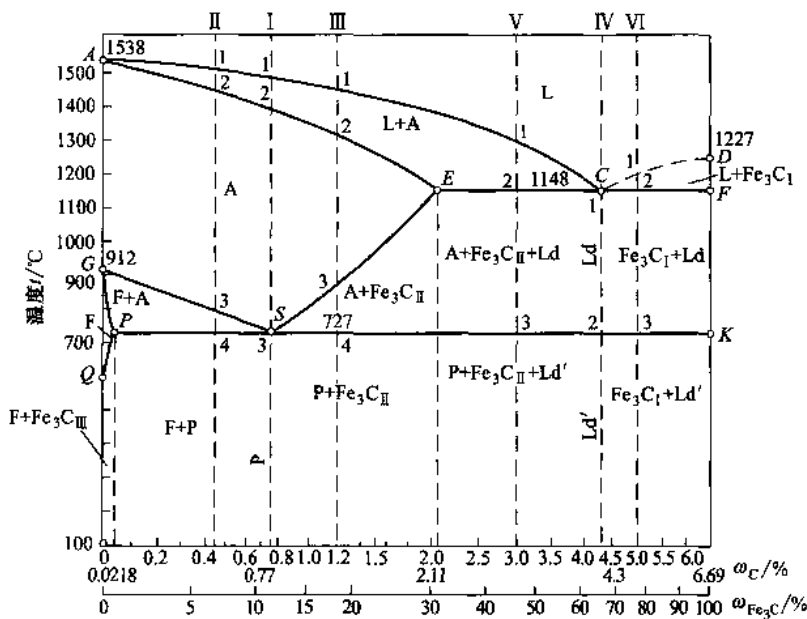


图 1-4 简化的铁碳合金相图

1.2.2.1 铁碳合金中的基本组织

铁和碳钢是铁碳合金的基本组元。固态下，碳既可以溶解于铁中形成间隙固溶体——铁素体和奥氏体，又能与铁作用形成金属化合物——渗碳体。铁碳合金的基本组织有以下几种。

(1) 铁素体 F 铁素体是碳溶于 α -Fe 或 δ -Fe 中的所形成的固溶体，具有体心立方晶格。铁素体的溶碳能力很差，在 727℃ 达到最大溶碳能力 0.0218%，室温下的铁素体溶碳量为 0.06%，所以与纯铁没有明显区别。铁素体强度、硬度低，塑性、韧性好。

铁素体与纯铁一样，在 770℃ 以上具有顺磁性，在 770℃ 以下呈铁磁性。

(2) 奥氏体 A 碳在 γ -Fe 中的固溶体称为奥氏体，具有面心立方晶格。奥氏体的溶碳能力较大，在 727℃ 可溶 0.77%，在 1148℃ 最大为 2.11%。铁碳合金中奥氏体仅存在于 727℃ 高温以上，奥氏体没有磁性，塑性好，是锻造轧制理想的加工温度范围。

(3) 渗碳体 Fe_3C (金属化合物) 铁和碳形成的化合物 Fe_3C 称为渗碳体，其具有复杂斜方晶格，含碳 6.67%，熔点 1227℃，硬度很高，耐磨，很脆，塑性几乎为零。 Fe_3C 是钢中的强化相，它的数量、形状和分布对钢材的力学性能影响很大。

(4) 珠光体 P 珠光体是铁素体和渗碳体两者组成的机械混合物，平均含碳量为 0.77% 的常温下的珠光体内铁素体约占 88%，而渗碳体占 12%。珠光体的性能介于硬而脆的渗碳体与软而韧的铁素体之间。

(5) 莱氏体 L_d 莱氏体是奥氏体 ($\omega_{\text{C}} = 2.11\%$) 和渗碳体两者组成的机械混合物，其形态一般是点条状奥氏体均匀分布在渗碳体基体上。

铁素体、奥氏体和渗碳体均属于单相组织，称为铁碳合金的基本相。

1.2.2.2 铁碳合金相图中的主要特征线和特征点

表 1-1 为铁碳合金相图中的特征点和特征线及其含义。

表 1-1 铁碳相图中的主要特征线和特征点

特征线点	字母	含 义
液相线	ABCD	铁碳合金的液相线
固相线	AECF	铁碳合金结晶终了线
A_1	PSK	奥氏体开始转变为珠光体的温度线(缓冷)
A_s	GS	由奥氏体析出铁素体的温度线(缓冷)
A_{cm}	ES	由奥氏体析出渗碳体(Ⅱ)的温度线(缓冷)
共析点	C	发生共析反应转变生成珠光体 $A_s \longrightarrow F_p + Fe_3C_{II}$
分界点	E	钢和铸铁的分界点,碳在 γ -Fe 中的最大溶解度
熔点	A	纯铁的熔点 1535℃
Fe_3C	FK	含碳量 6.67% 的渗碳体线
溶度	Q	室温下碳在 α -Fe 中的溶解度(0.006%)
溶度	P	碳在 α -Fe 中的最大溶解度(0.0218%)
转变点	G	α -Fe、 γ -Fe 纯铁的同素异构转变点(910℃)

1.2.2.3 铁碳合金的分类

根据铁碳合金的含碳量及室温组织的不同,铁碳合金可以分为以下几大类。

(1) 工业纯铁 工业纯铁是含碳量小于 0.0218% 的铁碳合金,室温显微组织为铁素体。

(2) 钢 钢是含碳量在 0.0218%~2.11% 的铁碳合金,其特点是高温固态组织为塑性很好的奥氏体,因而可以进行热压力加工。根据其室温组织不同,钢又分为三种:

① 亚共析钢 含碳量为 0.2%~0.77%,室温组织为铁素体和珠光体;

② 共析钢 含碳量为 0.77%,室温组织是珠光体;