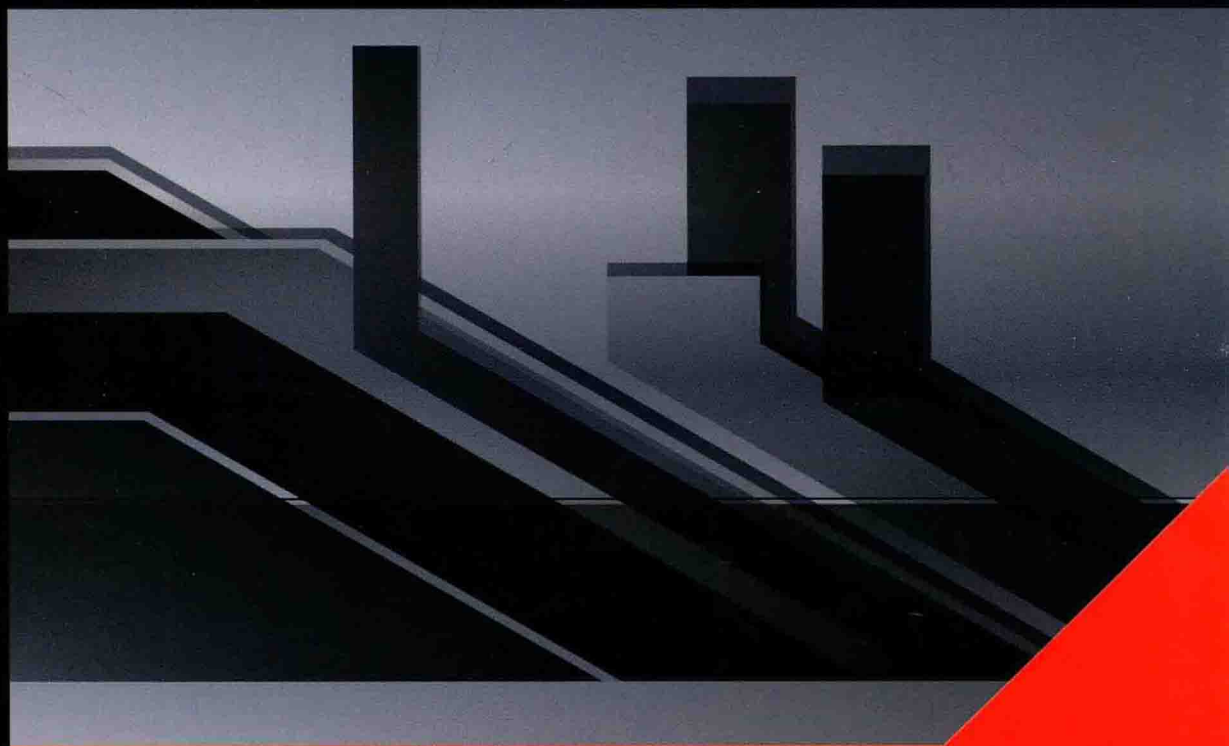


赵步青 编著

热处理

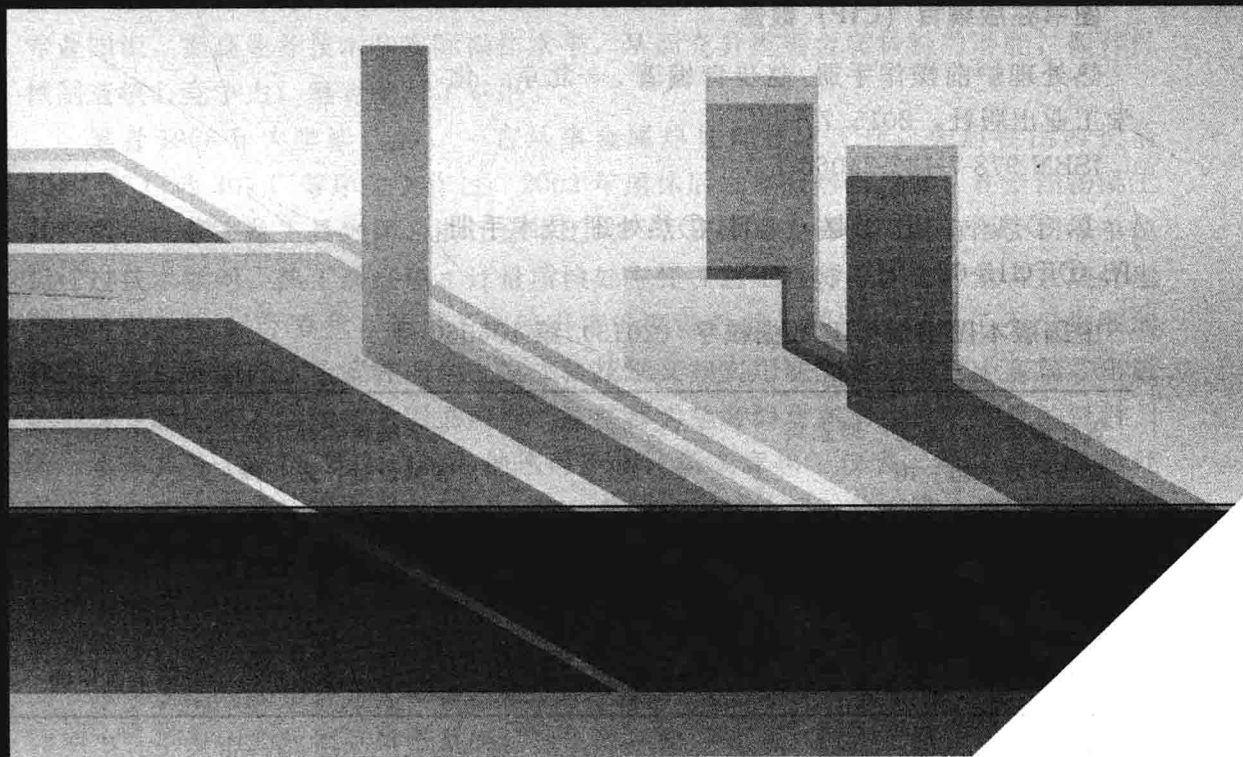
炉前操作手册



化学工业出版社

赵步青 编著

热处理 炉前操作手册



化学工业出版社

· 北京 ·

《热处理炉前操作手册》是一本热处理工人必备的实用技术工具书。其主要内容包括：钢的加热与冷却、结构钢热处理工艺、工具钢热处理工艺、铸钢和铸铁热处理工艺、不锈钢及耐热钢的热处理工艺、钢结硬质合金热处理工艺、有色金属热处理工艺、功能材料及稀有金属热处理工艺。此外，还简单介绍了热处理设备、热工仪表、热处理安全与环保、钢的火花鉴别等。本手册采用最新的标准技术资料，综合了国内外实用的热处理技术，内容丰富、图文并茂、数据翔实可靠、实用性广、可操作性强。

本手册可供生产第一线的工人、技术人员阅读和使用，也可供相关专业的师生参考，对营销人员、设计人员、管理者亦有实用价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

热处理炉前操作手册/赵步青编著. —北京：化学工业出版社，2015.7

ISBN 978-7-122-24065-1

I. ①热… II. ①赵… III. ①热处理-技术手册
IV. ①TG15-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 106560 号

责任编辑：卢萌萌 段志兵
责任校对：边 涛

文字编辑：孙凤英
装帧设计：张 辉

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 刷：北京云浩印刷有限责任公司

装 订：三河市瞰发装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 33 $\frac{3}{4}$ 字数 666 千字 2015 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

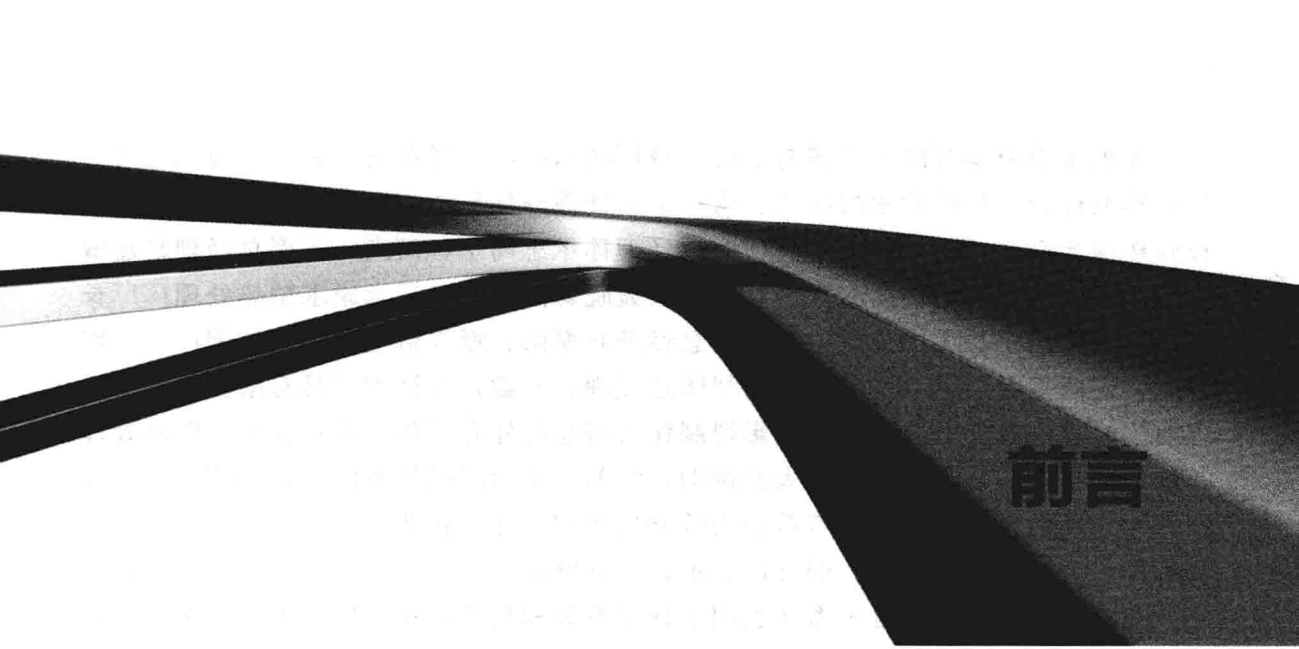
购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

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：99.00 元

版权所有 违者必究



前言

随着科学技术的飞速发展,各行各业对产品的使用性能、可靠性以及使用寿命提出了更高的要求,因而对金属热处理的期望值越来越高,即在提高机械零件力学性能、强化基体与提高表面性能方面都有数字化的要求。为了帮助热处理工人掌握专业知识,提高业务技术和实际操作水平,从而充分挖掘金属材料的潜能,提升机械制造核心竞争力,笔者编写了本书。

笔者 1968 年大学毕业后,一直从事金属热处理技术工作,先后在山西长治 304 厂、广西 301 厂等单位工作过。2002 年退休后发挥余热再就业,在浙江汤溪工具公司、江苏飞达工具集团、浙江金华工具厂、安徽嘉龙锋钢刀具有限公司等单位担任过技术顾问、热工部经理、计量质检处主任、总工程师等职务。笔者在热处理岗位辛勤耕耘 47 个春秋,积累了比较丰富的实践经验,同时也记录了不少失败的教训,先后在国内三十多种期刊上发表科技论文和实用性文章二百三十多篇,出版热处理专著三部,参编技术图书两部。这些都为笔者编写本书提供了宝贵的资料。

本书共分 12 章:第 1 章钢的加热与冷却,第 2 章热工仪表,第 3 章工具热处理设备,第 4 章热处理安全与环保,第 5 章结构钢热处理工艺,第 6 章工具钢热处理工艺,第 7 章不锈钢及耐热钢的热处理,第 8 章钢结硬质合金及其热处理,第 9 章铸钢和铸铁的热处理,第 10 章有色金属热处理工艺,第 11 章功能材料与稀有金属及合金的热处理,第 12 章常用钢火花鉴别,几乎涵盖了金属热处理的方方面面。

本手册编写的宗旨是为炉前操作工人及技术人员所用,重点是“用”,理论阐述不多。手册中的数据是笔者及同仁数十年经验的提炼,翔实可靠,实用度高,可操作性强,但应灵活运用,不能死搬教条,因为同一牌号同规格尺寸的钢用在不同的地方,施行的工艺有异。比如 GCr15 钢,它可以用来制造刀具、模具、量具、夹具、轴承。再则,热处理环境亦有影响,各厂的情况有别,也就是说,热处理工艺应该个性化。

参加本手册编写的人员还有上海工具厂技术中心主任祝新发高工、成都量具刃具厂热处理分厂厂长谢永辉高工、哈一工热处理分厂厂长年佩玉高工、哈量副总工程师杨国光高工、陕西关中工具厂副总经理孙承志高工、河南一工副总经理赵建敏高工、南京科润工业介质有限公司董事长聂晓霖高工、浙江永康求精热处理厂厂长夏明道、浙江宁波大山金属科技公司总经理叶振阳、浙江台州达兴热处理厂厂长罗永敏、安徽嘉龙锋钢刀具有限公司胡明总经理、安徽嘉龙锋钢刀具有限公司副总经理胡会峰等。此外，金华市金维影视制作公司赵苏桂总经理在资料收集、图片处理及版面安排处理方面提供了很大的帮助，江苏天工国际股份有限公司的周英孝工程师、徐文瑛助工提供了不少有益的失效分析金相图片。在此，一并向关心和支持本书编写出版的领导、同事、朋友们表示衷心的感谢。

在编写过程中，笔者参考和引用了许多专著和论文，在此向专著和论文的作者们表示深深的谢意！

由于笔者的水平有限，书中不足之处在所难免，敬请广大读者及专家斧正，谢谢。

赵步青

2015 年 5 月

第 1 章

钢的加热与冷却

1.1	加热方式	4
1.2	加热时间的计算	6
1.2.1	加热时间的经验计算法	6
1.2.2	加热时间的节能计算法	7
1.2.3	加热时间的简易计算法	8
1.3	钢件在盐浴中的加热	8
1.3.1	热处理浴炉的分类	9
1.3.2	金属及其化合物的熔点	9
1.3.3	常用混合盐相图	9
1.3.4	钢在盐浴中的加热特点	13
1.4	钢件在真空中的加热	18
1.4.1	真空热处理技术特点	19
1.4.2	真空热处理加热工艺参数的设定	22
1.5	淬火冷却介质	29
1.5.1	淬火介质应具备的性能	30
1.5.2	淬火介质的分类	30
1.5.3	水及无机水溶液淬火介质	31
1.5.4	水溶性聚合物淬火介质	42
1.5.5	淬火油	51

1.5.6	分级淬火、等温淬火用盐浴或碱浴淬火介质	58
1.5.7	气体淬火介质	62
1.5.8	悬浮粒子淬火介质	64
1.5.9	浆状淬火介质	65
1.5.10	用金属板散热冷却淬火	66

第 2 章

热工仪表

2.1	传感器与温度计	67
2.1.1	热电偶	67
2.1.2	热电阻	70
2.1.3	辐射感温器	71
2.1.4	光学高温计	72
2.1.5	光电高温计	73
2.1.6	红外光电高温计	73
2.2	温度显示与调节仪表	74
2.3	温度控制系统	78
2.3.1	电阻炉温度自动控制回路	78
2.3.2	真空炉温度控制系统	79
2.3.3	盐浴炉温度控制系统	79
2.4	热处理炉内的气氛控制系统	80
2.5	流量计	82
2.6	压力测量仪表	83

第 3 章

热处理设备

3.1	真空热处理炉	86
3.1.1	真空热处理炉的分类方法	86
3.1.2	外热式真空炉	87
3.1.3	内热式真空炉	89
3.2	电极盐浴炉	99
3.2.1	电极盐浴炉的结构	99
3.2.2	电极盐浴炉的设计	103

3.2.3	电极盐浴炉的启动	104
3.2.4	盐炉变压器	105
3.2.5	盐浴炉的操作及维护	106
3.2.6	筑炉工艺	107
3.3	离子氮化炉(渗氮炉)	108
3.4	井式电阻炉	110
3.5	物理气相沉积(PVD)涂层设备	113
3.6	喷砂机	114
3.7	矫直(校直)设备	115

第4章

热处理安全与环保

4.1	热处理生产过程中的安全问题	118
4.1.1	热处理生产中的危险因素	118
4.1.2	热处理生产中的有害因素	118
4.1.3	热处理生产厂房及作业环境	119
4.1.4	热处理设备的安全	121
4.1.5	热处理工艺作业的安全	123
4.1.6	生产物料和剩余物料	124
4.2	热处理环保	126
4.2.1	热处理盐浴有害固体废物污染管理的一般规定	126
4.2.2	热处理车间空气中有害物质的限值	128
4.2.3	热处理盐浴有害固体废物无害化处理方法(JB/T 6047)	129

第5章

结构钢热处理工艺

5.1	结构钢退火正火工艺	131
5.1.1	结构钢的退火,正火目的及其操作	131
5.1.2	结构钢正火、退火工艺规范	133
5.1.3	结构钢退火、正火后热处理质量检验	137
5.1.4	结构钢退火、正火常见的缺陷及其对策	137
5.2	结构钢调质工艺	138
5.2.1	调质预备热处理	138

5.2.2	调质工艺	139
5.2.3	低碳钢调质工艺	140
5.2.4	调质注意事项及质量检验	141
5.2.5	热水淬火新工艺	142
5.3	常用结构钢淬火回火工艺	143
5.3.1	淬火工艺	143
5.3.2	淬火方法	144
5.3.3	淬火介质	145
5.3.4	钢的淬透性	145
5.3.5	结构钢的回火	146
5.3.6	工艺参数	146
5.3.7	淬火回火热处理常见缺陷及其对策	150
5.4	结构钢渗碳	151
5.4.1	气体渗碳	151
5.4.2	液体渗碳	156
5.4.3	固体渗碳	157
5.4.4	真空渗碳	159
5.4.5	离子渗碳与其他渗碳方法	160
5.4.6	渗碳件的质量检验、常见缺陷及其对策	162
5.5	结构钢渗氮	164
5.5.1	气体渗氮	164
5.5.2	离子渗氮	167
5.5.3	其他渗氮方法	169
5.5.4	渗氮件的质量检验	171
5.5.5	渗氮件常见的缺陷、产生原因及其对策	173
5.6	弹簧钢的热处理	174
5.6.1	弹簧钢的预备热处理	174
5.6.2	弹簧钢的淬火回火	175
5.6.3	弹簧件的热处理质量检验、缺陷及其对策	178
5.7	轴承钢热处理工艺	179
5.7.1	轴承钢的预备热处理	180
5.7.2	轴承钢淬火回火	183
5.7.3	渗碳轴承钢及其热处理	186
5.7.4	特殊用途轴承零件的热处理	187
5.7.5	轴承钢制工件热处理质量检验、缺陷及其对策	193

5.8 大型锻件热处理工艺	195
5.8.1 大型锻件的锻后热处理（预备热处理）	196
5.8.2 大型锻件的最终热处理	197
5.8.3 大型锻件的其他热处理	203
5.8.4 大型锻件热处理实例	204

第6章

工具钢热处理工艺

6.1 热作模具钢热处理工艺	206
6.1.1 热作模具钢的预备热处理	206
6.1.2 热作模具钢淬火回火处理	208
6.1.3 热作模具热处理操作注意事项	211
6.1.4 热作模具热处理质量检验及缺陷分析	212
6.2 冷作模具钢热处理工艺	214
6.2.1 冷作模具钢的预备热处理	215
6.2.2 冷作模具钢的淬火回火处理	217
6.2.3 模具的真空热处理	220
6.2.4 冷作模具钢热处理操作注意事项	221
6.2.5 冷作模具钢热处理质量检验及缺陷分析	221
6.3 塑料模具钢热处理工艺	224
6.3.1 塑料模具钢的分类	224
6.3.2 对塑料模具钢的基本性能要求	224
6.3.3 塑料模具钢热处理工艺规范	226
6.4 玻璃模具钢热处理工艺	232
6.5 金属切削刀具用钢热处理工艺	234
6.5.1 刀具的服役条件及失效特征	234
6.5.2 刀具用钢原材料质量要求	235
6.5.3 碳素工具钢与合金工具钢的热处理	237
6.5.4 高速工具钢的热处理	241
6.6 五金工具及木工工具用钢及其热处理	260
6.6.1 常用五金工具、木工工具用材及热处理工艺	260
6.6.2 五金工具热处理实例	262
6.6.3 木工工具热处理实例	265
6.7 农机具及园林工具等工具的热处理工艺	269

6.7.1	农机具热处理实例	269
6.7.2	园林工具热处理实例	273
6.7.3	其他工具热处理实例	274
6.8	量具用钢及热处理工艺	278
6.8.1	量具用钢	278
6.8.2	量具热处理工艺	280
6.8.3	量具热处理实例	284
6.9	夹具热处理工艺	287
6.9.1	夹具用钢	288
6.9.2	夹具热处理质量检验	289
6.9.3	典型夹具的热处理实例	289
6.10	工模具钢的强韧化处理	297
6.10.1	细化奥氏体晶粒的工艺与实例	297
6.10.2	工模具双细化处理实例	299
6.10.3	等温淬火提高模具寿命实例	301
6.10.4	工模具钢强韧化处理实例	304
6.11	工模具表面强化	306
6.11.1	渗碳及碳氮共渗	306
6.11.2	工模具渗氮及氮碳共渗	319
6.11.3	工模具氧氮共渗及氧氮碳共渗等	322
6.11.4	工模具渗硫、硫氮共渗及硫氮碳共渗等表面强化	326
6.11.5	工模具蒸汽处理	332
6.11.6	工模具渗硼及其共渗	333
6.11.7	渗金属及其共渗	347
6.11.8	气相沉积	349
6.11.9	高能束表面改性	350
6.12	工模具热处理缺陷分析	352
6.12.1	热处理裂纹	353
6.12.2	热处理畸变	356
6.12.3	热处理过热过烧	358
6.12.4	刀具表面脱碳	362
6.12.5	腐蚀麻点	363
6.12.6	热处理后硬度不合格	365
6.12.7	金相组织不合格	365
6.12.8	其他缺陷	367

第 7 章

不锈钢及耐热钢的热处理

7.1 铁素体不锈钢及热处理	373
7.1.1 铁素体不锈钢热处理目的	374
7.1.2 铁素体不锈钢热处理工艺	375
7.1.3 铁素体不锈钢热处理缺陷及其防护	376
7.2 奥氏体不锈钢及热处理	376
7.3 马氏体不锈钢及热处理	380
7.4 沉淀硬化不锈钢及热处理	383
7.5 双相不锈钢及热处理	387
7.6 不锈钢的其他热处理工艺	388
7.7 不锈钢工件热处理实例	390

第 8 章

钢结硬质合金及其热处理

8.1 钢结合金的锻造及退火	393
8.2 钢结合金淬火、回火	394
8.3 表面强化处理	396
8.4 其他钢结合金的热处理	396
8.5 钢结合金工件热处理实例	398

第 9 章

铸钢和铸铁的热处理

9.1 铸钢热处理	401
9.1.1 退火	401
9.1.2 正火-回火处理	403
9.1.3 调质	405
9.1.4 高锰钢铸件的热处理工艺	406
9.2 铸铁热处理	408
9.2.1 灰铸铁件热处理	410
9.2.2 球墨铸铁件热处理	414

9.2.3	可锻铸铁件热处理	420
9.2.4	蠕墨铸铁件热处理	423
9.2.5	其他铸铁的热处理工艺	424
9.3	铸铁件的热处理操作	429
9.3.1	铸铁件的退火、正火操作	429
9.3.2	铸铁的淬火及回火操作	430
9.4	铸铁件热处理常见缺陷及其防护	430

第 10 章

有色金属热处理工艺

10.1	有色金属及其合金的热处理概论	432
10.1.1	退火	432
10.1.2	固溶处理	434
10.1.3	时效	435
10.2	铝及铝合金的热处理	437
10.2.1	铝及铝合金热处理概述	437
10.2.2	铝合金的热处理操作	443
10.3	铜及铜合金的热处理	446
10.3.1	退火	446
10.3.2	淬火及回火	452
10.3.3	铜及铜合金的热处理操作	453
10.4	钛合金的热处理	454
10.4.1	退火	454
10.4.2	固溶处理和时效	457
10.4.3	形变热处理	458
10.4.4	化学热处理	459
10.4.5	钛合金的污染问题	459
10.4.6	钛合金热处理常见缺陷	460
10.5	镁合金的热处理	460

第 11 章

功能材料与稀有金属及合金的热处理

11.1	功能材料的热处理	464
------	----------	-----

11.1.1	软磁合金材料的热处理	464
11.1.2	硬磁合金的热处理	468
11.1.3	膨胀合金的热处理	469
11.1.4	弹性合金的热处理	471
11.1.5	形状记忆合金的热处理	474
11.2	稀有金属热处理工艺	476
11.2.1	锆及其合金的热处理	477
11.2.2	钼及其合金的热处理	478
11.2.3	钨及钨合金的热处理	479
11.2.4	铌、钽及其合金的热处理	480
11.2.5	稀有金属板材中间热处理及成品热处理工艺	484

第 12 章

常用钢火花鉴别

12.1	火花的形成原理	488
12.2	火花的主要术语	489
12.3	碳及合金元素对火花特征的影响	491
12.3.1	碳对火花特征的影响	491
12.3.2	合金元素对火花特征的影响	492
12.4	常用钢火花特征	495
12.5	火花鉴别要领	500

附录

附录 A	高速钢刀具淬火晶粒度级别图谱 ($\times 500$)	503
附录 B	高速钢刀具过热级别图谱 ($\times 500$)	512
附录 C	高速钢刀具回火程度级别图谱 ($\times 500$)	519
附录 D	常用钢临界淬火直径	522
附录 E	钢材加热颜色及回火颜色和温度的关系	523
附录 F	各种硬度之间的换算关系	523

参考文献

第1章

钢的加热与冷却

热处理是通过加热和冷却改变钢铁材料的内部组织、性能和应力场，以满足工

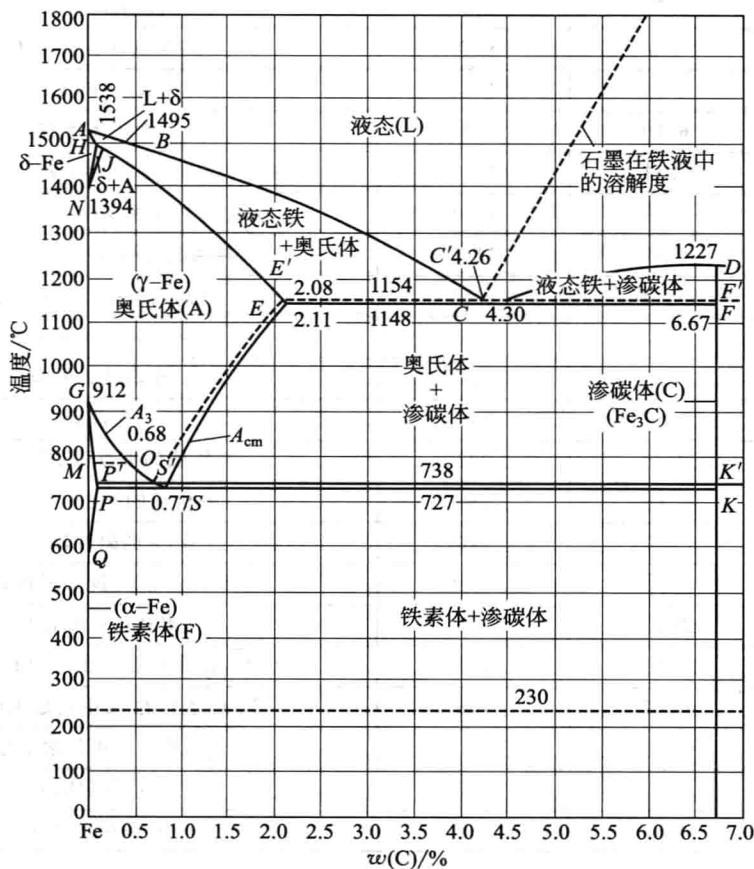


图 1-1 Fe-Fe₃C 及 Fe-C 合金相图

件使用和后续加工的要求。

钢和铁是现代工业中应用最广泛的材料，它们的基本组成元素是 Fe 和 C。Fe、C 合金相图是研究钢、铁组织与性能的基础，是制订热处理工艺的科学依据之一。Fe-Fe₃C 及 Fe-C 合金相图见图 1-1。

图 1-1 表示 Fe-C 合金在极其缓慢的加热和冷却过程中，温度、成分与组织之间的相互关系，相图中有三个重要的转变，见表 1-1。

表 1-1 Fe-Fe₃C 及 Fe-C 合金相图中三个重要的转变

转变名称	代表线	转变温度/℃	转变方程式
包晶转变	HJB	1495	$L_B + \delta_H \rightleftharpoons A_J$
共晶转变	ECF	1148	$L_C \rightleftharpoons A_E + Fe_3C$
共析转变	PSK	727	$A_S \rightleftharpoons F_P + Fe_3C$

图 1-1 中特性点的温度、碳含量及其物理意义如表 1-2 所示。

表 1-2 Fe-Fe₃C 及 Fe-C 合金相图中特性点的温度、碳含量及其物理意义

特性点	w(C)/%	温度/℃	物理意义
A	0	1538	纯铁的熔点
B	0.53	1495	包晶线的端点
C	4.3	1148	共晶点(Fe-Fe ₃ C 系)
C'	4.26	1154	共晶点(Fe-C 系)
D	6.69	1227	渗碳体熔点
E	2.11	1148	碳在 A 中的最大溶解度(Fe-Fe ₃ C 系)
E'	2.08	1154	碳在 A 中的最大溶解度(Fe-C 系)
F	6.69	1148	共晶线的端点(Fe-Fe ₃ C 系)
F'	6.69	1154	共晶线的端点(Fe-C 系)
G	0	912	$\delta\text{-Fe} \rightleftharpoons \gamma\text{-Fe}$ 同素异构转变
H	0.09	1495	包晶线的端点
J	0.17	1495	包晶点
K	6.69	727	共析线的端点(Fe-Fe ₃ C 系)
K'	6.69	738	共析线的端点(Fe-C 系)
M	0	770	$\alpha\text{-Fe}$ 的磁性转变点
N	0	1394	$\gamma\text{-Fe} \rightleftharpoons \delta\text{-Fe}$ 同素异构转变点
O	约 0.5	770	铁素体的磁性转变点
P	0.0218	727	Fe-Fe ₃ C 系 C 在 δ 相中的最大溶解度
P'	0.02	738	Fe-C 系 C 在 A 中的最大溶解度
Q	0.008		C 在 δ 相中的溶解度
S	0.77	727	Fe-Fe ₃ C 系中的共析点
S'	0.68	738	Fe-C 系中的共析点

合金相图中的特性线含义见表 1-3，各组织的力学性能见表 1-4。

表 1-3 Fe-Fe₃C 及 Fe-C 合金相图中的特性线

特性线	说 明
AB	δ 相的液相线
BC	A 的液相线
CD	Fe ₃ C 的液相线
C'D	C 的液相线(Fe-C 系)
AH	δ 的固相线
JE	A 的固相线
JE'	A 的固相线(Fe-C 系)
HN	δ→A 始温线
JN	δ→A 终温线
GS	A→F 始温线(A ₃)
GS'	A→F 始温线(Fe-C 系)
230℃水平线	Fe ₃ C 的磁性转变线
GP	A→F 终温线
ES	A→Fe ₃ C 始温线(A _{cm})
ES'	A→G 始温线(Fe-C 系)
PQ	碳在 F 中的溶解度线
P'Q	碳在 F 中的溶解度线(Fe-C 系)
MO	F 的磁性转变线
HJB	L _B +δ $\rightleftharpoons$ A _J 包晶转变线
ECF	L _C $\rightleftharpoons$ A _E +Fe ₃ C 共晶转变线
E'C'F'	L $\rightleftharpoons$ A _{E'} +G 共晶转变线(Fe-C 系)
PSK	A _S $\rightleftharpoons$ F _P +Fe ₃ C 共析转变线(A ₁)
P'S'K'	A _S $\rightleftharpoons$ F _{P'} +G 共析转变线(Fe-C 系)

表 1-4 铁碳合金中各组织的力学性能

组织名称		硬度(HBW)	σ _b /MPa	δ/%	α _k /(kJ/m ²)	比体积/(cm ³ /g)
铁素体		约 80	245~291	30~50	约 2942	0.1271
渗碳体		约 800	—	—	约 0	0.136±0.001
奥氏体		170~220	834~1030	20~25	—	0.1212+0.0033w(C)
珠光体	片状	190~250	804~863	10~20	—	0.1271+0.005w(C)
	球状	160~190	618	20~25	—	
索氏体		250~320	883~1079	10~20	—	0.1271+0.005w(C)
托氏体		330~400	1128~1373	5~10	—	0.1271+0.005w(C)
贝氏体	上贝氏体	42~48HRC	—	—	—	0.1271+0.015w(C)
	下贝氏体	55~60HRC	—	—	—	
马氏体	板条(高碳)	600~700	1177~1569	—	≥588	0.1271+0.00265w(C)
	片状(低碳)			—	—	
莱氏体		≥700	—	—	—	