

实用热处理 技术手册

SHIYONG RECHULI JISHU SHOUGE

杨 满◎编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

实用热处理技术手册

杨满 编



机械工业出版社

本手册是一本热处理实用工具书。内容包括：钢铁材料、热处理技术基础、钢的整体热处理、钢的表面热处理、钢的化学热处理、铸铁的热处理、其他金属材料的热处理、热处理设备及热处理质量检验等。本书采用最新标准，内容丰富，图文并茂，数据翔实可靠，实用性强。

本手册适于热处理工程技术人员和工人使用，也可供相关专业在校师生和科研人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

实用热处理技术手册/杨满编. —北京：机械工业出版社，2010.6

ISBN 978 - 7 - 111 - 30447 - 0

I. ①实… II. ①杨… III. ①热处理—技术手册
IV. ①TG156-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 070397 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码

策划编辑：陈保华 责任编辑：崔滋恩

版式设计：霍永明 责任校对：李锦莉

封面设计：王伟光 责任印制：杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2010 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

148mm × 210mm · 23.625 印张 · 2 插页 · 792 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 30447 - 0

定价：66.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010) 68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010) 88379649

读者服务部：(010) 68993821 封面无防伪标均为盗版

前 言

随着我国机械工业的迅猛发展和技术水平的日益提高,各行业对机械产品的使用性能、可靠性及使用寿命提出了更高的要求。热处理是确保机械产品的使用性能、可靠性及使用寿命的关键工序。为了充分发挥热处理技术的作用,保证和提高热处理的质量,首先要求技术人员能够制订正确的热处理工艺,其次要求操作者能够严格地执行工艺。为更好地指导热处理工作人员正确地制订工艺、规范操作,我们编写了这本《实用热处理技术手册》。本书在编写过程中特别注意了体现内容的先进性和实用性。

本书共分9章。第1章介绍了钢铁材料的分类、牌号表示方法、钢铁材料牌号统一数字代号体系及钢的化学成分;第2章主要介绍了热处理理论基础及工艺基础方面的知识;第3章介绍了钢的整体热处理,主要包括钢的正火、退火、淬火及回火方面的内容;第4章介绍了钢的表面热处理,包括钢的表面淬火及表面改性方面的内容;第5章内容为钢的化学热处理,介绍了在工件表面渗非金属和渗金属方面的知识;第6章介绍了铸铁的热处理;第7章介绍了除钢铁材料外的各种金属及合金的化学成分及热处理工艺;第8章系统地介绍了各种热处理设备的构造、性能、技术参数,以及热处理常用的仪器、仪表及其使用方法;第9章内容为热处理检验,介绍了热处理的质量要求与检验方法、各种硬度的检验方法、金相试验、静拉伸试验、无损检测、材料化学成分的检验方法等内容。

在本书编写过程中得到了机械工业出版社的大力支持,王新利、孙韵生、杨鸿雁参加了部分书稿的编写、资料搜集和书稿整理工作,在此表示感谢!

由于编者水平有限,不足之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 钢铁材料	1
1.1 钢铁材料的分类	1
1.1.1 铸铁的分类	1
1.1.2 钢的分类	1
1.2 钢铁材料牌号的表示方法	1
1.2.1 基本原则	1
1.2.2 铸铁牌号的表示方法	3
1.2.3 铸钢牌号的表示方法	5
1.2.4 钢牌号的表示方法	5
1.3 钢铁材料的牌号统一数字代号体系	8
1.4 钢的化学成分	10
第2章 热处理技术基础	45
2.1 铁碳合金相图	45
2.1.1 Fe-Fe ₃ C 及 Fe-C 合金相图	46
2.1.2 合金元素对 Fe-Fe ₃ C 相图的影响	50
2.2 钢在加热时的转变	52
2.2.1 珠光体—奥氏体转变	52
2.2.2 奥氏体晶粒度与晶粒长大	53
2.2.3 碳含量对钢的组织 and 力学性能的影响	54
2.3 钢的奥氏体等温转变	54
2.3.1 奥氏体等温转变图的类型	56
2.3.2 奥氏体连续冷却转变图	57
2.3.3 共析钢奥氏体转变产物及其特性	59
2.3.4 过冷奥氏体等温转变图的应用	60
2.4 淬透性和淬硬性	60
2.4.1 淬透性	60
2.4.2 淬硬性	63
2.4.3 淬冷烈度	64

2.5 热处理的加热	64
2.5.1 加热方式	64
2.5.2 加热介质	65
2.5.3 钢在空气介质中加热时的氧化和脱碳	70
2.6 热处理的冷却	71
2.6.1 淬火介质	71
2.6.2 制冷剂	87
2.7 热处理的工艺分类及代号	88
2.7.1 基础分类	88
2.7.2 附加分类	88
2.7.3 常用热处理工艺及代号	90
2.8 图样中标注热处理技术条件用符号	92
第3章 钢的整体热处理	93
3.1 钢的退火与正火	93
3.1.1 退火与正火的目的及工艺特点	93
3.1.2 退火与正火操作要点	97
3.1.3 退火与正火常见缺陷	98
3.2 钢的淬火	99
3.2.1 淬火温度	99
3.2.2 加热时间	100
3.2.3 淬火冷却方法	103
3.2.4 淬入冷却介质的方式	109
3.2.5 淬火工艺装备	109
3.2.6 淬火操作	111
3.2.7 淬火缺陷	114
3.3 钢的回火	118
3.3.1 回火的目的及分类	118
3.3.2 回火工艺	119
3.3.3 回火方法	120
3.3.4 钢在回火时的组织转变	121
3.3.5 回火对力学性能的影响	122
3.3.6 回火操作要点	123
3.3.7 回火缺陷	124
3.4 冷处理	125
3.4.1 制冷方法	125

3.4.2 冷处理工艺	126
3.4.3 冷处理操作	127
3.5 钢的热处理工艺参数	127
3.5.1 优质碳素结构钢的热处理工艺参数	127
3.5.2 合金结构钢的热处理工艺参数	130
3.5.3 弹簧钢的热处理工艺参数	136
3.5.4 滚动轴承钢的热处理工艺参数	139
3.5.5 碳素工具钢的热处理工艺参数	141
3.5.6 合金工具钢的热处理工艺参数	143
3.5.7 高速工具钢的热处理工艺参数	156
3.5.8 不锈钢和耐热钢的热处理工艺参数	158
3.6 常用钢的回火经验方程	164
第4章 钢的表面热处理	169
4.1 感应淬火	169
4.1.1 感应淬火的基本原理	169
4.1.2 感应淬火工艺	173
4.1.3 表面淬火后的组织与性能	180
4.1.4 感应加热设备的选择	181
4.1.5 感应加热的电气规范	190
4.1.6 工频感应淬火	193
4.1.7 感应器	194
4.1.8 感应淬火后的回火	215
4.1.9 钢的感应穿透加热调质	217
4.1.10 感应淬火操作	220
4.1.11 感应淬火缺陷	222
4.2 火焰淬火	223
4.2.1 常用火焰淬火用燃料	223
4.2.2 火焰淬火方法	224
4.2.3 火焰淬火工艺	226
4.2.4 常用火焰喷射工具	229
4.2.5 火焰淬火应用实例	233
4.2.6 火焰淬火操作及安全技术	235
4.2.7 火焰淬火缺陷	236
4.3 接触电阻加热淬火	237
4.3.1 淬火机	237

4.3.2 接触电阻加热淬火工艺	237
4.4 激光淬火	238
4.4.1 激光淬火原理	239
4.4.2 激光淬火工艺	240
4.4.3 常用表面预处理的方法	241
4.5 电解液淬火	243
4.6 电子束加热淬火	244
第5章 钢的化学热处理	246
5.1 渗碳	248
5.1.1 气体渗碳	248
5.1.2 液体渗碳	255
5.1.3 固体渗碳	258
5.1.4 膏剂渗碳	262
5.1.5 真空渗碳	263
5.1.6 离子渗碳	269
5.1.7 渗碳后的热处理	269
5.1.8 常用渗碳钢的热处理规范	272
5.1.9 常见的渗碳缺陷	274
5.2 渗氮	275
5.2.1 气体渗氮	275
5.2.2 离子渗氮	288
5.2.3 高频感应渗氮	295
5.2.4 其他渗氮方法	296
5.3 碳氮共渗	298
5.3.1 气体碳氮共渗	298
5.3.2 液体碳氮共渗	302
5.3.3 碳氮共渗后的热处理	304
5.3.4 碳氮共渗常见缺陷	305
5.4 氮碳共渗	305
5.4.1 气体氮碳共渗	306
5.4.2 盐浴氮碳共渗	308
5.4.3 固体氮碳共渗	311
5.4.4 离子氮碳共渗	312
5.5 渗硼	313
5.5.1 固体渗硼	313

5.5.2 膏剂渗硼	314
5.5.3 气体渗硼	315
5.5.4 盐浴渗硼	315
5.5.5 电解渗硼	317
5.5.6 渗硼缺陷	318
5.6 渗硫	319
5.6.1 低温熔盐电解渗硫	319
5.6.2 离子渗硫	321
5.7 渗铬	321
5.7.1 固体渗铬	321
5.7.2 气体渗铬	322
5.7.3 液体渗铬	322
5.7.4 真空渗铬	323
5.7.5 渗铬层的组织和性能	323
5.7.6 渗铬缺陷及预防措施	324
5.8 渗铝	325
5.8.1 粉末渗铝	325
5.8.2 热浸镀铝	326
5.9 渗锌	328
5.9.1 粉末渗锌	328
5.9.2 热浸镀锌	328
5.10 渗硅	329
5.11 渗钛	330
5.12 渗铌、钒、锰	330
5.13 以渗硼为主的共渗	331
5.14 铝铬共渗	332
第6章 铸铁的热处理	333
6.1 灰铸铁	333
6.1.1 灰铸铁的特性及力学性能	333
6.1.2 灰铸铁的热处理	336
6.2 球墨铸铁	341
6.2.1 球墨铸铁的特性及力学性能	341
6.2.2 球墨铸铁的热处理	343
6.3 可锻铸铁	348
6.3.1 可锻铸铁的特性及力学性能	348

6.3.2 可锻铸铁的热处理	350
6.4 蠕墨铸铁	355
6.5 特殊性能铸铁	356
6.5.1 耐热铸铁	356
6.5.2 抗磨白口铸铁	359
6.5.3 高硅耐蚀铸铁	363
6.6 铸铁的热处理操作	364
6.7 铸铁热处理的常见缺陷	366
第7章 其他金属材料的热处理	367
7.1 其他金属材料的分类	367
7.2 铜及铜合金的热处理	369
7.2.1 纯铜	369
7.2.2 黄铜	371
7.2.3 青铜	379
7.2.4 白铜	390
7.2.5 铜及铜合金的热处理操作	396
7.3 铝及铝合金的热处理	397
7.3.1 铝及铝合金牌号的表示方法	397
7.3.2 铝及铝合金的牌号及化学成分	399
7.3.3 铝合金的热处理	408
7.3.4 铝合金的力学性能	420
7.3.5 铝合金的热处理操作	425
7.3.6 铝合金热处理的常见缺陷	426
7.4 镁合金及其热处理	428
7.4.1 镁及镁合金牌号、代号的表示方法	429
7.4.2 镁及镁合金的牌号及化学成分	430
7.4.3 镁合金的热处理	434
7.4.4 镁合金的力学性能	437
7.4.5 镁合金的热处理操作	439
7.4.6 镁合金的热处理缺陷	440
7.5 钛及钛合金的热处理	441
7.5.1 钛及钛合金牌号表示方法	441
7.5.2 钛及钛合金的牌号及化学成分	442
7.5.3 钛及钛合金的热处理	443
7.5.4 钛及钛合金的力学性能	450

7.5.5 钛合金的热处理常见缺陷	452
7.6 高温合金	453
7.6.1 高温合金的牌号表示法	453
7.6.2 高温合金的强化方法与热处理	453
7.7 钢结硬质合金	458
7.7.1 钢结硬质合金的牌号、化学成分及相变温度	458
7.7.2 钢结硬质合金的热处理	460
7.8 磁性合金的热处理	462
7.8.1 软磁合金的热处理	462
7.8.2 硬磁合金的热处理	473
第8章 热处理设备	481
8.1 热处理设备的分类	481
8.2 电阻炉	482
8.2.1 箱式电阻炉	482
8.2.2 台车式电阻炉	484
8.2.3 井式电阻炉	485
8.2.4 电阻炉的保养与维修	490
8.3 连续作业电阻炉	491
8.4 可控气氛多用炉	493
8.5 真空热处理炉	494
8.5.1 真空炉的组成	495
8.5.2 真空炉实例	496
8.5.3 真空炉的操作	503
8.6 盐浴炉	504
8.6.1 电极式盐浴炉	504
8.6.2 电极盐浴炉的启动	512
8.6.3 盐浴炉的操作	514
8.6.4 盐浴炉的维护与保养	515
8.7 流态粒子炉	515
8.8 感应加热装置	516
8.8.1 高频感应加热装置	516
8.8.2 中频变频装置	522
8.8.3 真空管式高频感应加热装置的操作	525
8.8.4 感应加热装置的维护与保养	526
8.8.5 振荡管与瓷介电容器的使用与维护	527

8.8.6 感应淬火机床	528
8.9 离子渗氮炉	532
8.9.1 离子渗氮炉的结构	532
8.9.2 离子渗氮炉的技术要求	534
8.9.3 离子渗氮炉的技术参数	534
8.9.4 离子渗氮炉的操作	535
8.10 热处理炉常用材料	535
8.10.1 筑炉材料	535
8.10.2 耐热金属材料	546
8.10.3 电热元件	549
8.10.4 隔热屏	569
8.11 校正设备	570
8.11.1 手动压力机	571
8.11.2 液压校直机	571
8.11.3 校直机的操作	573
8.12 冷却设备	573
8.12.1 冷却设备的分类	573
8.12.2 淬火冷却设备的基本结构	574
8.12.3 淬火槽的操作	583
8.12.4 淬火油的维护	583
8.12.5 有机物水溶性淬火介质质量分数的测定	585
8.12.6 冷处理设备	586
8.13 可控气氛制备装置	588
8.13.1 吸热式气氛发生装置	588
8.13.2 放热式气氛发生器	589
8.13.3 氨分解气氛制备设备	590
8.13.4 氮制备装置	591
8.14 热工测量与控制仪表	592
8.14.1 温度传感器与温度计	592
8.14.2 温度显示与调节仪表	603
8.15 热处理气氛检测与控制仪表	608
8.15.1 氧气氛传感器——氧探头	608
8.15.2 红外线气体分析仪	610
8.15.3 氯化锂露点仪	610
8.15.4 热丝电阻法测量炉气的碳势	612

8.15.5 可编程碳势/温度控制仪	613
8.15.6 氮分解率测定仪	614
第9章 热处理质量检验	616
9.1 热处理质量的检验项目及要求	616
9.1.1 一般机械零件的热处理质量检验规程	616
9.1.2 退火及正火件的质量检验项目及要求	618
9.1.3 淬火与回火件的质量检验项目及要求	619
9.1.4 感应淬火件的质量检验项目及要求	621
9.1.5 火焰淬火件的质量检验项目及要求	623
9.1.6 渗碳和碳氮共渗件的质量检验项目及要求	624
9.1.7 渗氮件的质量检验项目及要求	626
9.1.8 渗硼件的质量检验项目及要求	629
9.1.9 渗金属工件的质量检验项目及要求	630
9.2 硬度试验	631
9.2.1 布氏硬度试验	631
9.2.2 洛氏硬度试验	636
9.2.3 维氏硬度试验	641
9.2.4 努氏硬度试验	647
9.2.5 肖氏硬度试验	647
9.2.6 里氏硬度试验	649
9.2.7 硬度的锉刀检验方法	650
9.3 金相试验	652
9.4 静拉伸试验	656
9.4.1 静拉伸试样	657
9.4.2 力-变形曲线和应力-应变曲线	658
9.5 无损检测	661
9.5.1 磁粉检测	662
9.5.2 渗透检测	668
9.5.3 超声波检测	670
9.6 材料化学成分的检验	670
9.6.1 钢的火花鉴别	670
9.6.2 其他分析方法	677
附录	678
附录 A 金属布氏硬度 (HBW) 数值表	678
附录 B 压痕对角线长度与维氏硬度值 (HV10) 对照表	681

附录 C 各种硬度换算表	688
附录 D 工件加工预留余量与热处理变形允差	695
附录 E 钢件加热颜色及回火后颜色	700
附录 F 拉伸性能指标名称和符号对照	701
附录 G 部分国家标准代号	702
附录 H 中外常用钢牌号对照	702
附录 I 中外常用有色金属及其合金牌号对照	722
参考文献	738

第1章 钢铁材料

1.1 钢铁材料的分类

钢铁是以铁和碳为主要组成元素的合金。钢铁材料是工业中应用最广、用量最多的金属材料，其品种繁多、性能各异。

1.1.1 铸铁的分类

铸铁的分类如图 1-1 所示。

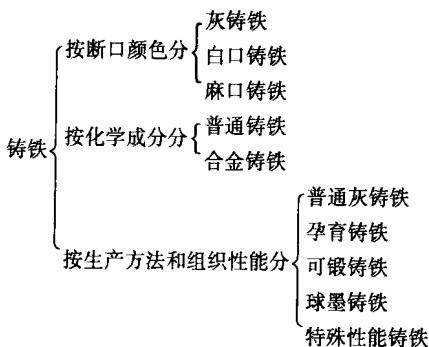


图 1-1 铸铁的分类

1.1.2 钢的分类

钢的分类如图 1-2 所示。

1.2 钢铁材料牌号的表示方法

1.2.1 基本原则

1) 钢铁产品牌号，通常采用大写汉语拼音字母、化学元素符号和阿拉伯数字相结合的方法表示。

2) 采用汉语拼音字母或英文字母表示产品名称、用途、特性和工艺方法时，一般从产品名称中选取有代表性的汉字的汉语拼音的首位字母或英文单词的首位字母。当和另一产品所取字母重复时，改取第二个字母或第三个字母，或同时选取两个（或多个）汉字或英文单词的首位字母。

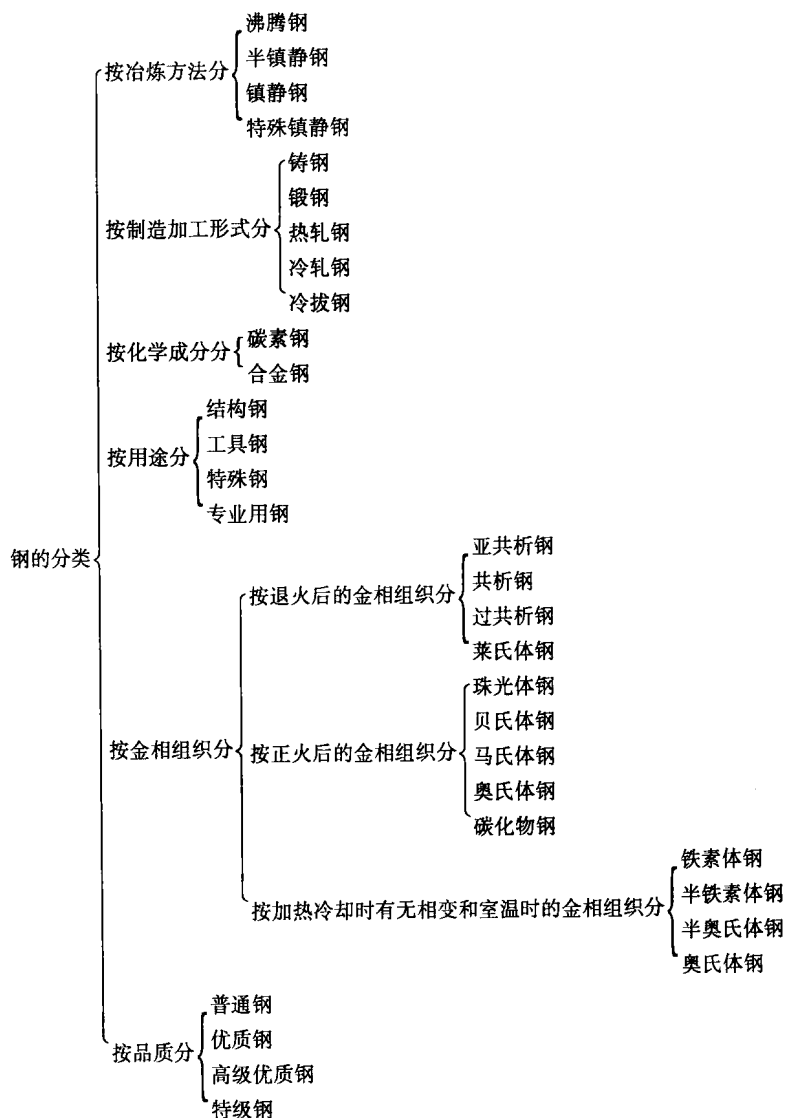


图 1-2 钢的分类

3) 采用汉语拼音字母或英文字母, 原则上只取一个, 一般不超过三个。

4) 产品牌号中各组成部分的表示方法应符合相应规定, 各部分按顺

序排列，如无必要可省略相应部分；除有特殊规定外，字母、符号及数字之间应无间隙。

5) 产品牌号中的元素含量用质量分数表示。

钢铁产品名称、用途、特性和工艺方法的表示符号如表 1-1 所示。

表 1-1 钢铁产品名称、用途、特性和工艺方法的表示符号

名 称	采用的汉字及汉语拼音		采用符号	位置
	汉字	汉语拼音		
炼钢用生铁	炼	LIAN	L	牌号头
铸造用生铁	铸	ZHU	Z	牌号头
脱碳低磷粒铁	脱炼	TUO LIAN	TL	牌号头
碳素结构钢	屈	QU	Q	牌号头
低合金高强度结构钢	屈	QU	Q	牌号头
易切削非调质钢	易非	YI FEI	YF	牌号头
热锻用非调质钢	非	FEI	F	牌号头
易切削钢	易	YI	Y	牌号头
碳素工具钢	碳	TAN	T	牌号头
塑料模具钢	塑模	SU MO	SM	牌号头
(滚珠) 轴承钢	滚	GUN	G	牌号头
焊接用钢	焊	HAN	H	牌号头
沸腾钢	沸	FEI	F	牌号尾
半镇静钢	半镇	BAN	b	牌号尾
镇静钢	镇	ZHEN	Z	牌号尾
特殊镇静钢	特镇	TE ZHEN	TZ	牌号尾
质量等级			A、B、C、D、E	牌号尾

1.2.2 铸铁牌号的表示方法

1. 铸铁代号

1) 铸铁基本代号由表示该铸铁特征的汉语拼音字母的第一个大写正体字母组成，当两种铸铁名称的代号字母相同时，可在该大写正体字母后加小写正体字母来区别。

2) 当要表示铸铁的组织特征或特殊性能时，代表铸铁组织特征或特殊性能的汉语拼音的第一个大写正体字母排列在基本代号的后面。