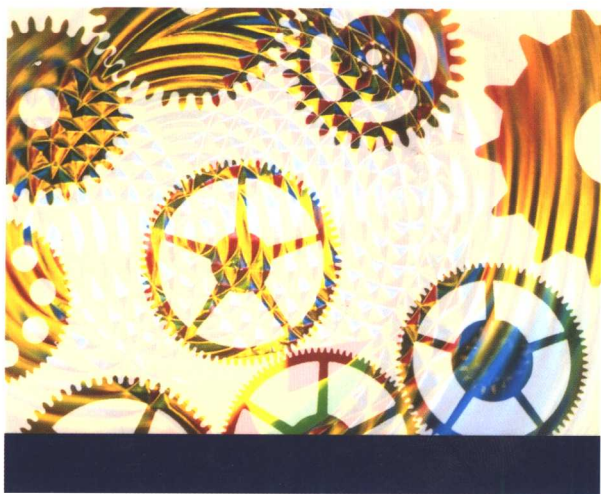


许天己 编著

钢铁热处理实用技术



Chemical Industry Press



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

钢铁热处理实用技术

许天己 编著



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

钢铁热处理实用技术/许天已编著. —北京:化学工业出版社, 2005. 2
ISBN 7-5025-6499-3

I. 钢… II. 许… III. ①钢-热处理②铁-热处理 IV. TG161

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 137200 号

钢铁热处理实用技术

许天已 编著

责任编辑: 丁尚林

责任校对: 李 林

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市兴顺印刷厂印装

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 8 $\frac{3}{4}$ 字数 231 千字

2005 年 2 月第 1 版 2005 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6499-3/TG·16

定 价: 20.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

我国当代科学在飞跃快速发展之中，高新技术、高新工艺及其开发应用层出不穷。钢铁热处理技术的应用对金属材料物理性能、化学性能、机械性能、工艺性能起着重要作用。

我们知道，不同化学成分的材料，可以具有不同的机械性能。而同一化学成分的材料由于有不同的内部组织，具有不同的性能。通过不同的热处理方法，可以改善内部组织。例如把 45[#] 钢加热到 $(850 \pm 10)^{\circ}\text{C}$ ，保温一定时间后，有的在 10% NaCl 水溶液中冷却，有的在空气中冷却，有的随炉缓冷，则得到的硬度就不同。水冷硬度最高，空气其次，缓冷硬度最低。这是由于不同的冷却方式，所得到的内部组织不一样的缘故。

热处理质量直接影响各种机械、运输、工具等产品的性能、使用寿命和使用安全等。对开发新产品和提高产品竞争力有着重要作用。因此钢铁热处理技术在工业领域将越来越受到重视。提高热处理质量是热处理技术人员的重要使命。

为了普及钢铁热处理技术知识，满足广大企业工厂热处理技术工人岗位培训的需要，增强在科学迅速发展形势下的技术素质，进一步提高专业技术水平，推动钢铁热处理技术和生产发展，促进产品质量的提高，作者结合本人几十年实际生产工作的经验，编写了此本将实例（都是作者本人实际操作的成熟经验）与理论相结合的图书。

这本书列举了生产中典型实例。书中列举了 20 个实例，在生产中有较好的借鉴和参考推广价值。实例中有常用机械、运输、工模具、机车、车辆、铁路典型配件、各种弹簧、钢锹、表面热处理、化学热处理、铸铁热处理等各种各样的实例。

本书简要介绍金属学有关基础知识、热处理原理，全面介绍了

钢铁的各种热处理工艺以及操作技术方法、注意事项、安全技术规程、热处理高新技术、工艺、方法等。

本书体现实用性、新颖性、先进性、可靠性、可操作性，在具体编写时，根据实际生产中的技术难点，选出合适的实例说明问题，语言精练，顺理成章，做到通俗、易读、易懂、易记、在形式上有创新内容，重点说明怎样在实际操作中解决怎样做的问题。

此书可供工厂学徒工人、刚入门钢铁热处理技术理论学习和实际生产现场、车间应用，可供小型工厂应用，也可作为技工学校学员的教材。

由于编者水平有限，书中可能会有一些不妥之处，恳请广大读者批评指正。

许天己

2004 年 11 月

目 录

第一章 金属材料基础知识	1
第一节 钢铁材料分类	1
一、钢、铸铁（生铁）	1
二、钢中元素对钢的性能影响	1
第二节 金属材料性能	5
一、物理性能	5
二、化学性能	6
三、机械性能	7
四、工艺性能	8
第三节 金属晶体结构	10
一、晶体概念	10
二、金属结构	11
三、结晶概念	12
四、金属结晶过程	12
五、金属结晶过程的一般规律	13
六、影响形核和长大的因素	13
七、金属铸锭缺陷	14
八、合金的相结构	15
第二章 铁碳合金	16
第一节 金属在固态下的转变	16
第二节 铁碳合金基本组织结构及其性能	18
第三节 钢铁基本组织	21
一、铁素体	21
二、渗碳体	21
三、珠光体	22
四、莱氏体	22
五、奥氏体	22

第四节 铁碳合金状态图	22
一、对铁碳合金状态图及其分析	23
二、共晶转变	24
三、共析转变	24
四、平衡组织	25
五、白口铸铁	25
六、工业纯铁	25
第三章 钢的热处理原理	27
第一节 概述	27
第二节 临界点	27
第三节 热处理对钢性能的影响	28
一、马氏体	28
二、索氏体	29
三、屈氏体	29
四、贝氏体	29
第四节 钢在加热时的组织转变	30
一、奥氏体形成过程	30
二、奥氏体晶核形成	30
三、奥氏体晶核长大	30
四、奥氏体成分均匀化	31
五、奥氏体粒度	31
六、钢的加热工艺	33
七、加热温度的选择	34
八、加热时间的估算	35
第五节 钢在冷却时的组织转变	36
一、过冷度	36
二、临界冷却速度	36
三、奥氏体冷却方式	37
四、C-曲线	37
五、过冷奥氏体等温转变	37
第六节 钢在连续冷却时的组织转变	40
一、钢的马氏体转变	43
二、残余奥氏体的影响	43

第七节 钢在回火时的转变	43
第四章 钢的热处理工艺	47
第一节 钢的退火与正火	47
一、退火	47
二、退火的目的	48
三、退火类别	48
四、影响退火因素	55
五、正火	55
六、退火与正火常见缺陷及补救方法	56
第二节 钢的淬火与实例	57
一、完全淬火	57
二、不完全淬火	57
三、淬火的目的是	57
四、淬火加热温度的确定	57
五、淬火加热时间的确定	58
六、热处理工件加热时间的计算	58
七、淬火介质（淬火剂）	60
实例 1：淬火用硝酸盐冷却介质	61
八、几种介质的淬火冷却曲线	64
九、淬火方法	66
实例 2：钢锹制造、热处理等温淬火及制造工艺	71
实例 3：对尖铲、扁铲等工具采用局部淬火法	73
十、淬火冷却操作方式方法	74
十一、把已透热工件或工具浸入淬火剂时必须遵循的基本规律	75
第三节 钢的冷处理与时效处理	76
一、冷处理	76
二、时效处理	79
第四节 钢的回火	80
一、回火的主要目的	80
二、钢的回火工艺及应用	80
三、制定回火工艺时的注意事项	83
第五章 钢的表面热处理	84
第一节 表面淬火	84

一、表面淬火的应用	84
二、表面淬火的分类	84
三、火焰加热表面淬火法	84
实例 4: 齿轮用火焰表面淬火法	90
四、感应加热表面淬火	90
实例 5: 采用高频感应加热炼钢对各种机械设备小型零件、 精密铸造及其热处理工艺	95
实例 6: 单根大直径弹簧电阻加热进行热处理	98
实例 7: 采用电阻加热炭精棒发出热量炉对小型工件局部热处理	100
第二节 钢的化学热处理及实例	101
一、概述	101
二、钢的化学热处理目的	102
三、钢的化学热处理种类	102
四、钢的化学热处理特点	102
五、钢的化学热处理原理	102
六、钢的渗碳	103
实例 8: 固体渗碳	104
七、气体渗碳	106
八、液体渗碳	106
九、渗碳件常见的缺陷及其补救方法	108
十、钢的氮化(渗氮)	109
十一、渗金属	110
第三节 氧化处理及实例	110
一、简介	110
二、氧化处理(发蓝处理)应用	111
三、氧化处理的目的	111
四、氧化处理操作技术	111
实例 9: 发蓝处理	111
五、发蓝工件缺陷产生原因及其防止与补救的方法	120
六、氧化处理用设备及要求	121
七、氧化槽液和酸洗槽液的配制方法和注意事项	122
八、氧化处理操作时的注意事项	122
九、氧化处理安全技术	124

第六章 合金钢的热处理	125
第一节 合金元素在钢中的作用	125
一、合金元素与铁的作用	125
二、合金元素与碳的作用	126
第二节 结构钢的热处理与实例	126
一、渗碳钢	127
二、调质钢	127
实例 10: 内燃机车东方红型拉臂销制造工艺及调质处理	129
三、弹簧钢的热处理	131
实例 11: 冷成形弹簧及其热处理	133
实例 12: 内燃机车牵引电机弹性垫片的制造及热处理工艺	136
实例 13: 铁道线上预应力钢筋混凝土轨枕上面使用的 铁路配件——弹条扣件的制造工艺及热处理	138
四、轴承钢的热处理	143
第三节 工具钢的热处理与实例	145
一、切削工具钢的基本要求	145
二、刀具钢(低合金刀具钢)及其热处理	146
实例 14: 钢的分级淬火、等温淬火及回火使用硝酸盐配方	148
实例 15: 碳素钢与合金钢淬火加热、高速钢和高合金钢预热使用 中性盐浴炉配方	148
三、碳素工具钢及其热处理	148
四、高速钢及其热处理	151
五、模具钢及其热处理	158
六、制造冲模的工艺	169
实例 16: 东风型内燃机车使用的“钢背铝瓦”在制造时, 冷压 成形大型模具热处理	173
实例 17: 焊接高速钢机械加工用刀具的药品配方	176
实例 18: 捣固机上, 采用极薄弹簧片组装一起的成组弹簧片的 热处理	176
第四节 特殊性能钢及其热处理	178
一、不锈钢的热处理	178
二、耐热钢热处理	183
三、耐磨钢热处理	186

第七章 铸铁热处理	188
第一节 铸铁分类	188
一、白口铸铁	188
二、灰口铸铁	188
三、可锻铸铁	188
四、球墨铸铁	189
五、普通铸铁成分	189
六、铸铁的石墨化过程	189
七、铸铁组织	191
八、铸铁的性能	192
九、石墨的影响	192
第二节 铸铁热处理基础	192
一、铸铁热处理的必要性	192
二、铸铁热处理的特点	193
三、铸铁热处理时应采取的措施	194
第三节 灰口铸铁热处理	194
一、灰口铸铁的化学成分	194
二、灰口铸铁的退火和正火	195
三、灰口铸铁的淬火与回火	196
第四节 可锻铸铁热处理	197
一、可锻铸铁化学成分	197
二、可锻铸铁的牌号、机械性能和应用举例	198
三、可锻铸铁的热处理	198
四、白心可锻铸铁的热处理	199
五、黑心可锻铸铁的热处理	201
六、可锻铸铁热处理过程中的缺陷及其防止与补救方法	203
七、获得不同基体可锻铸铁的方法	204
第五节 石墨化钢与激冷铸铁热处理	206
一、工厂中常用石墨化退火方法	206
二、激冷铸铁及其热处理	207
第六节 球墨铸铁热处理	208
一、球墨铸铁分类及化学成分	208
二、球墨铸铁热处理	209

三、球墨铸铁的化学热处理	212
第七节 特殊性能铸铁	213
一、耐磨铸铁	214
二、耐热铸铁	214
三、耐蚀铸铁	215
实例 19: 活塞环热处理	215
第八章 金属热处理缺陷分析及其防止措施	217
第一节 概论	217
第二节 过热与过烧	217
一、过热	217
二、过烧	218
第三节 氧化与脱碳	218
一、氧化	218
二、脱碳	219
三、防止和减轻氧化、脱碳的措施	219
实例 20: 工件在热处理加热过程中防止氧化和脱碳方法	219
第四节 热处理变形	220
一、热处理变形原因	220
二、热处理变形规律	222
三、热处理变形的校正	226
四、防止淬火工件变形及常用的补救变形的的方法	227
第五节 热处理裂纹	228
一、热处理裂纹的一般概念	228
二、金属零件的淬火裂纹	228
三、影响淬火裂纹形成的因素	232
四、预防淬火裂纹的方法	236
五、热处理技术条件	239
六、预防淬火裂纹的工艺路线与淬火方法	240
七、淬火介质的选择	241
八、其他热处理裂纹	241
第六节 残余内应力	244
一、热处理内应力	244
二、表面淬火工件的残余应力	244

第七节 力学性能不合格	245
一、热处理和硬度	245
二、软点产生的主要原因及应采取措施	245
三、硬度不足的主要原因	246
四、高频淬火工件的软点和硬度不足	246
五、防止感应加热淬火时产生硬化层过浅或过深缺陷现象及应 采取的措施	247
六、感应加热淬火产生硬化层不均匀缺陷的原因及防止方法	247
七、化学热处理渗碳硬化层深度不合格的原因及防止方法	247
第八节 热处理缺陷预防与全面质量控制	249
一、热处理全面质量控制的概念	249
二、基础条件控制	249
第九节 热处理前各工序质量控制	253
一、铸造质量控制	253
二、锻件质量控制	254
三、焊接质量控制	256
四、机械加工质量控制	257
第十节 热处理中质量控制	258
一、待处理的核查	258
二、预备热处理质量控制	258
三、最终热处理质量控制	259
四、安排热处理位置	259
五、对淬火介质的一般要求	260
六、热处理生产操作控制	260
第十一节 热处理工件质量要求与检验	260
一、淬火回火件的金相检查	260
二、淬火回火件的变形要求	261
三、校形后应达到的要求	261
四、表面热处理与化学热处理的质量控制	261
第十二节 热处理生产技术安全	263
一、热处理生产中常见危险因素	263
二、热处理生产的技术安全防护措施	264
参考文献	265

第一章 金属材料基础知识

第一节 钢铁材料分类

一、钢、铸铁（生铁）

黑色金属是以铁（Fe）和碳（C）为主的铁碳合金。因为冶炼关系，不可避免地还会有硅（Si）、锰（Mn）、磷（P）、硫（S）等杂质。含硅（Si）大于0.40%或含锰（Mn）大于0.8%算合金元素；含碳小于2%的称为钢；含碳2%~6.67%称为生铁。

通常钢按化学成分有碳素钢、合金钢。碳素钢以铁（Fe）和碳（C）为主，简称碳钢。

碳钢根据含碳（C）的不同可分为：低碳钢，含碳量为小于0.25%；中碳钢，含碳量为0.25%~0.55%或0.25%~0.60%；高碳钢，含碳量为0.60%~2%。

钢与铸铁（生铁）主要区别是含碳量不同，生铁含碳量为2%~6.67%（或 $> 2.11\%$ ）；钢的含碳量为0.25%~2%（或 2.11% ）。

合金钢：在碳钢中特意加入一种或者几种其他合金元素所组成的钢称为合金钢。如：含铬（Cr）、钨（W）、钼（Mo）、钒（V）、钛（Ti）、锰（Mn） $> 0.8\%$ ，含硅（Si） $> 0.4\%$ 。根据钢中的合金元素含量不同可分为：低合金钢，合金元素的总含量小于3.5%；中合金钢，合金元素总含量为3.5%~10%；高合金钢，合金元素总含量为10%以上。

二、钢中元素对钢的性能影响

1. 碳（C）

钢的性能与含碳量有直接关系。含碳量越高，硬度越高，合金的硬度取决于合金中渗碳量的多少，含碳量增加，渗碳体组织多，

硬度呈直线上升。

合金的强度也是随含碳量多少而变化的。对亚共析钢来说，含碳量增加，组织中珠光体量也增多，铁素体量减少，故强度直线上升。对于过共析钢来说，随着含碳量增加，二次渗碳体出现并增多，强度增大的趋势减缓。含碳量到 0.9% 后，二次渗碳体逐渐构成网状，包围了珠光体，使合金强度呈下降趋势。含碳量增至 2.11% 后，合金中出现脆性更大的莱氏体，强度降到一个很低的值。以后含碳量继续增加，合金的基体是连片的渗碳体，强度变化不大，但其数值是很低的。

合金的塑性主要是由铁素体提供的，低碳钢的铁素体组织多，所以塑性最好。随着含碳量的增加。铁素体减少，合金的塑性也不断下降。当合金的基体为渗碳体时，塑性趋于零。合金的冲击韧性随着脆性的渗碳体的增多，急剧下降。

碳对焊接性有着不良影响。含碳愈高，它的熔点愈低；反过来含碳愈低熔点愈高。

2. 锰 (Mn)

锰是炼钢生铁和脱氧剂锰铁带入钢中的杂质元素。锰的脱氧能力很好，能还原钢中的氧化铁，提高钢的产量。锰能溶入铁素体，提高钢的强度和硬度，并使钢材在热轧后冷却时得到片层较细、强度较高的珠光体。锰还能与硫形成 MnS ，以消除硫的有害作用。

工业用钢一般都含有一定数量的锰，它能消除或减弱钢因硫所引起的热脆性，从而改善钢的热加工性能。锰在钢中由于降低临界转变温度而起到细化珠光体的作用。它具有使钢形成和稳定奥氏体组织的能力，锰也强烈增加钢的淬透性。它还能减低钢的红折性。含锰量大于 0.5%，而含碳较高时，水淬时容易发生裂纹，主要是由于锰会促使晶粒长大的原因。锰钢可做火车轮、钢轨、道岔等。锰是钢中的有益元素。

3. 硅 (Si)

硅也是由炼钢生铁和脱氧剂硅铁带入钢中的杂质元素。硅能更好地消除氧化铁对钢的不良影响。硅也能溶入铁素体，使铁素体强

化，提高钢的强度、硬度和弹性、弹性极限和耐磨性。

硅提高钢的 A_{c3} 温度，一般要求较高淬火和退火温度。硅的导热性较差，脱碳倾向比较严重。所以加热时必须注意升温速度不宜太快，如果加热速度太快，就会有一定数量的珠光体没来得及转变，即保留一部分珠光体，这样对以后的热处理结束时的机械性能、使用寿命都有影响，需要有一定保温时间。由于导热性差，钢内外温差较大，容易有开裂危险。

硅对钢的回火稳定性和抗氧化性有很大好处，因此，硅在钢中也是有益元素。

4. 硫 (S)

硫是在炼钢时由矿石和燃料带到钢中来的有害杂质。硫与铁化合成硫化铁 (FeS) 存在于钢中， FeS 的塑性差，因此，含硫多的钢脆性大。更为严重的是在 $989^{\circ}C$ ， FeS 于 Fe 形成低熔点的共晶体分布在奥氏体晶界上。当钢加热到 $1000^{\circ}C$ 进行压力加工时，晶界上的共晶体熔化，使钢材在加工过程中沿晶界开裂。这种现象称为“热脆”。硫在钢中是有害元素。为了消除硫的有害作用，可增加钢的含锰量，锰能从 FeS 中夺走 S 而形成硫化锰 (MnS)，熔点 $1620^{\circ}C$ ，并呈粒状分布在晶粒内，能有效消除热脆性。

5. 磷 (P)

磷也是钢中有害杂质，容易形成“冷脆”。冷加工时如含磷量高时，很容易开裂，在常温用力击打就可以折断。

6. 钨 (W)

钨是合金元素，熔点为 $3370^{\circ}C$ ($3410^{\circ}C$)，钨对钢的淬透性不大。它在钢中的用途主要是增加钢的回火稳定性。它在钢中增加红硬性和热强性，增加耐磨性。钨提高钢的临界温度，必须采用较高的加热温度和较长保温时间，不然达不到所期待的结果。钨能阻止钢的晶粒长大，可细化晶粒。钨的塑性低，导热性差。

7. 铬 (Cr)

铬是合金钢的元素，加入钢中能显著改善钢的抗氧化作用，增加钢的抗腐蚀能力。能显著增加钢的淬透性，增加钢的回火脆性倾

向。铬加入纯铁和钢中在一定含铬量时，能提高强度、硬度、耐磨性。

8. 钒 (V)

钒是合金钢元素，它在钢中的作用为细化钢组织和晶粒，提高钢的强度、韧性、耐磨性。但是含钒量过高会使钢的锻造性变坏。当钒在高温溶入奥氏体时，会增加钢的淬透性，增加淬火钢的回火稳定性。钒在高速钢中也有增加赤热性能作用。钒对热处理的影响：由钒提高钢的上临界点 A_{c3} ，钒的碳化物溶入奥氏体内又很慢，所以，含钒钢在热处理时一般需要较高加热温度和较长的保温时间。

9. 钼 (Mo)

钼是合金钢元素。它在钢中的作用为提高淬透性、热强性，防止回火脆性。钼提高钢的临界点，含钼钢在热处理时温度偏高一些。

10. 镍 (Ni)

镍是合金钢元素。镍和碳不形成碳化物，它是形成和稳定奥氏体 (A) 的主要元素。Ni 由于降低临界转变温度和降低钢中各元素的扩散速度，因而提高钢的淬透性。

11. 铝 (Al)

铝在钢中的作用：①是作为炼钢时脱氧，并且细化晶粒；②作为合金元素加入钢中，提高钢抗氧化性；③它也有不良影响，在某些钢中脱氧，如果用量过多，会促进钢石墨化倾向。

12. 钛 (Ti)

钛是合金钢元素，钛提高钢的临界点，由于钢中的钛和碳形成十分稳定的碳化钛 (TiC)，在一般热处理的奥氏体化温度范围内，碳化钛 (TiC) 极难溶解。由于 TiC 颗粒，使奥氏体晶粒细化，奥氏体分解转变时，新相晶核形成的机会增多，这些都将加速奥氏体的转变。

13. 硼 (B)

硼在钢中主要用途是增加钢的淬透性，从而节约其他较稀缺、