



技工系列工具书

主 编 / 樊新民

热处理工

(第2版)

实用技术手册

凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

技工系列工具书

热处理工实用技术手册

(第2版)

主 编 樊新民

凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

热处理工实用技术手册/樊新民主编. —2版. —南京:
江苏科学技术出版社, 2010. 1

(技工系列工具书)

ISBN 978-7-5345-6714-8

I. 热… II. 樊… III. 热处理—技术手册 IV. TG156-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 159344 号

热处理工实用技术手册(第2版)

主 编 樊新民

责任编辑 孙广能

责任校对 郝慧华

责任监制 曹叶平

出版发行 江苏科学技术出版社(南京市湖南路1号A楼, 邮编: 210009)

网 址 <http://www.pspress.cn>

集团地址 凤凰出版传媒集团(南京市湖南路1号A楼, 邮编: 210009)

集团网址 凤凰出版传媒网 <http://www.ppm.cn>

经 销 江苏省新华发行集团有限公司

照 排 南京展望文化发展有限公司

印 刷 南通印刷总厂有限公司

开 本 850 mm×1 168 mm 1/32

印 张 20.375

字 数 502 000

版 次 2010年1月第2版

印 次 2010年1月第1次印刷

标准书号 ISBN 978-7-5345-6714-8

定 价 46.00 元

图书如有印装质量问题,可随时向我社出版科调换。

再 版 前 言

金属热处理是机械制造业中的关键工序之一,对发挥材料潜力、提高零件的性能、降低能耗、保证提高机械产品使用寿命有着重要意义。《热处理工实用技术手册》自 2001 年出版以来,深受广大读者欢迎,已经先后印刷 4 次。随着我国经济建设的快速发展,材料热处理行业的技术不断进步,新工艺、新技术、新材料层出不穷,为机械产品热处理质量的提高奠定了坚实的基础,同时也对从事热处理工作人员的素质和技术水平提出了更高的要求。

为提高热处理操作人员的技术水平,修订版对第一章和第二章的内容进行了较大的调整,补充了金属学、热处理原理等相关基础知识,使操作人员对热处理工艺不仅知其然,而且知其所以然,增强其执行热处理工艺规范的自觉性、完整性和独立性。为满足生产技术发展的需要,其他的章节也补充了热处理新技术、新工艺,并依据新颁布或新修订的标准对有关的数据进行了修订补充,在附录中增加了一些资料数据。

本书由樊新民主编,孔见、黄洁雯、王建平等参加了编写工作。

编 者

2009 年 10 月

目 录

第一章 基础知识	1
第一节 金属材料的性能	1
一、金属材料的物理性能	1
二、金属材料的化学性能	2
三、金属材料的力学性能	3
四、金属材料的工艺性能	9
第二节 铁碳合金状态图	17
一、金属学基本知识	17
二、铁碳合金状态图及应用	24
三、合金元素对钢铁性能的影响	29
第三节 金属材料的分类及牌号表示方法	36
一、钢铁材料的分类及牌号表示方法	36
二、有色金属材料的分类及牌号表示方法	44
第二章 钢的热处理原理和基本工艺	52
第一节 热处理原理	52
一、钢在加热时的组织转变	52
二、过冷奥氏体的转变	58
三、回火转变	70
第二节 钢的退火与正火	77
一、退火	77
二、正火	82
第三节 淬火与回火	84
一、淬火	84

二、淬硬性 with 淬透性	92
三、回火	97
四、冷处理	102
第四节 淬火冷却介质	103
一、淬火冷却介质的冷却能力	103
二、水及无机物水溶液	104
三、有机聚合物水溶液	107
四、油	110
五、等温和分级淬火介质	112
第三章 常用钢热处理工艺参数	115
第一节 结构钢热处理工艺参数	115
一、概述	115
二、热处理工艺参数	116
第二节 弹簧钢热处理工艺参数	139
一、弹簧钢概述	139
二、弹簧钢的热处理工艺	141
第三节 轴承钢热处理工艺参数	144
一、轴承钢的类型	144
二、轴承钢的预处理	145
三、铬轴承钢锻件的正火工艺	146
四、轴承钢的淬火回火	146
五、渗碳轴承钢的热处理工艺	150
第四节 工具钢热处理工艺参数	153
一、工具钢的类型和应用	153
二、工具钢热处理特点	155
三、碳素工具钢的热处理工艺参数	160
四、合金工具钢的热处理工艺参数	163
五、非标准模具钢的热处理工艺参数	183

第五节 高速钢热处理工艺参数	191
一、高速钢热处理特点	191
二、高速钢交货状态的硬度及试样淬火回火硬度	195
三、高速钢退火工艺参数	196
四、高速钢淬火回火工艺参数	198
第四章 表面热处理	201
第一节 感应热处理	201
一、感应热处理方法	201
二、感应器	203
三、感应加热淬火工艺	211
四、感应加热淬火后的回火	215
第二节 火焰加热淬火	217
一、火焰加热淬火的特点	217
二、常用工件火焰加热淬火工艺	222
第三节 高能束热处理	225
一、高能束的类型	225
二、激光热处理	227
三、电子束热处理	230
四、电火花表面强化	231
第五章 钢的化学热处理	233
第一节 化学热处理简介	233
一、常用化学热处理	233
二、化学热处理的基本过程	235
三、加速化学热处理的途径	236
第二节 钢的渗碳及碳氮共渗	237
一、概述	237
二、气体渗碳	240

三、液体渗碳	259
四、固体渗碳	261
五、膏剂渗碳及其他渗碳方法简介	262
六、碳氮共渗	264
七、渗碳、碳氮共渗后工件的热处理	271
第三节 钢的渗氮及氮碳共渗	272
一、渗氮基本原理	272
二、气体渗氮	276
三、离子渗氮	283
四、氮碳共渗	287
第四节 渗硫、硫氮共渗与硫氮碳共渗	293
一、基本原理	293
二、渗硫及复合渗	294
三、低温化学热处理工艺方法选择原则	300
第五节 渗硼	303
一、固体渗硼	303
二、盐浴渗硼	306
三、气体渗硼	307
四、渗硼工件的前处理和后处理	307
第六节 渗金属及其复合渗	308
一、渗铝	308
二、渗铬	310
三、渗其他金属	312
四、复合渗	314
第六章 可控气氛与真空热处理	318
第一节 可控气氛热处理	318
一、概述	318
二、可控气氛的分类及用途	318

三、可控气氛的制备及典型成分	319
四、气氛控制方法	323
五、可控气氛热处理炉	324
第二节 真空热处理	325
一、真空热处理的特点和质量影响因素	325
二、真空热处理设备简介	326
三、真空热处理工艺	327
第七章 铸铁与铸钢的热处理	332
第一节 铸铁的热处理	332
一、铸铁热处理的名称及代号	332
二、灰铸铁的热处理	333
三、球墨铸铁的热处理	337
第二节 铸钢的热处理	347
一、铸钢热处理的名称及代号	347
二、一般工程用铸造碳钢及合金铸钢的热处理	347
三、高锰铸钢的热处理	358
四、一般用途耐蚀钢铸件的热处理及性能	360
第八章 特殊钢及合金的热处理	362
第一节 不锈钢的热处理	362
第二节 耐热钢的热处理	370
第三节 高温合金热处理	375
第四节 耐磨钢的热处理	379
第五节 磁性材料的热处理	380
一、软磁合金热处理	380
二、硬磁合金热处理	384
第六节 粉末冶金件热处理	386
第七节 弹性合金热处理	388

第八节 膨胀合金热处理	390
第九章 有色金属的热处理	393
第一节 铝合金的热处理	393
一、铝合金的种类及其强化途径	393
二、铸造铝合金的热处理	394
三、变形铝合金的热处理	399
第二节 铜及铜合金的热处理	410
一、铜和加工铜合金的热处理	410
二、铸造铜合金的热处理	422
第三节 钛及钛合金的热处理	423
一、钛及钛合金的退火	424
二、钛及钛合金的强化热处理	428
三、注意事项	429
第十章 典型零件热处理	431
第一节 齿轮热处理	431
一、齿轮用钢	431
二、齿轮热处理实例	434
第二节 主轴热处理	435
一、主轴用钢	435
二、主轴热处理实例	437
第三节 模具热处理实例	439
一、冷作模具热处理	439
二、热作模具热处理	448
三、塑料模具热处理	454
四、高强度模具材料的热处理工艺及应用	463
五、模具强韧化处理实例	465
六、模具表面强化的应用	466

第四节 工具的热处理	467
一、合金工具钢的热处理	467
二、高速钢工具的热处理	470
三、工具热处理实例	473
四、工具真空热处理实例	477
第五节 农机具零件的热处理	478
一、耕作机械典型零件的热处理	478
二、收割机刀片热处理	480
三、粉碎机零件热处理	480
四、小农具热处理工艺	481
第十一章 计算机在热处理中的应用	483
第一节 基础知识	483
一、计算机的基本构成	483
二、热处理中常用计算机类型	483
第二节 计算机在热处理工艺控制中的应用	484
一、计算机在热处理中的应用概况	484
二、计算机在热处理工艺控制中的应用	485
三、计算机碳势检测方法	485
四、气体渗碳炉的计算机控制	487
第三节 计算机在热处理工艺优化中的应用	489
一、热处理加热与冷却过程的模拟与计算	489
二、热处理工艺专家系统	490
第十二章 热处理产品的质量检验与控制	493
第一节 热处理常见缺陷及防止措施	493
一、热处理缺陷分类	493
二、裂纹与变形	496
三、组织不合格	518

四、力学性能不合格	524
五、脆性	528
六、化学热处理不合格	529
七、耐腐蚀性不合格	533
第二节 热处理质量与性能检验方法	533
一、成分分析	533
二、组织分析	539
三、无损检测	549
第十三章 热处理主要设备及安全技术	550
第一节 电阻炉	550
第二节 真空热处理炉	564
第三节 浴炉	568
一、常用浴炉	568
二、常用溶剂	571
三、盐浴脱氧	574
第四节 热工仪表	577
一、热电偶	577
二、热电阻	579
三、测温仪表	579
第五节 热处理安全知识	581
附 录	583
附录 1 碳钢及合金钢硬度换算值	583
附录 2 低碳钢硬度与强度换算值	588
附录 3 常用钢的回火经验方程	593
附录 4 常用钢的临界温度	598
附录 5 中外常用钢号对照	605
主要参考文献	640

第一章 基础知识

第一节 金属材料的性能

一、金属材料的物理性能

金属材料物理性能的符号及其名称和含义见表 1.1-1。

表 1.1-1 金属材料物理性能的符号及其名称和含义

名 称	符 号	单 位	含 义 说 明
密 度	ρ	kg/m ³	表示单位体积的质量
熔 点	T_m	K、℃	材料由固态转变为液态时的熔化温度称为熔点
比热容	c	J/(kg·K)	单位质量的某种物质,在温度升高(或降低)1 K(或 1℃)时吸收(或放出)的热量
热导率	λ	W/(m·K)	在单位时间内,当沿着热流方向的单位长度上温度降低 1 K(或 1℃)时,单位面积容许导过的热量称为热导率或导热系数
线膨胀系数	α	K ⁻¹	金属温度每升高 1℃所增加的长度与原来长度的比值。线膨胀系数大的材料,受热后膨胀性大,反之则小。金属的热膨胀系数随温度的升高而增加。钢的热膨胀系数一般在 $(10\sim 20)\times 10^{-6}$ 的范围内
电阻率	ρ	$\Omega\cdot m$	金属材料在常温下(20℃)电阻值的大小
电导率	γ, κ	S/m	表示导体导电能力的性能指标。电导率越大,材料的导电性能越好
磁导率	μ	H/m	磁导率是衡量磁性材料磁化难易程度(导磁能力)的性能指标,又称导磁系数

(续表)

名 称	符 号	单 位	含 义 说 明
磁感应强度	B	T	磁感应强度是表示磁场强度与方向特性的物理量
磁场强度	H	A/m	表示磁场中各点磁力大小和方向的物理量,有时也称为磁化力
矫顽力	H_c	A/m	磁性材料经过一次磁化并除去磁场强度 H 后,磁感应强度并不消失,仍保留一定的剩磁感应强度,这种剩留的磁性称为剩磁,这种性质称为顽磁性。要想消去这个剩磁感应强度,必须另加一个反向的磁场,不断地增大此反向磁场强度,直到该剩磁感应强度恰好消失时的磁场强度 H_c 的绝对值,就称为矫顽力 软磁材料要求矫顽力越小越好,硬磁材料要求矫顽力越大越好
铁 损	p	W/kg	单位质量的电机或变压器铁芯材料,在交变磁场磁化下所消耗的功率,称为铁芯损耗,简称铁损,它包括磁滞损耗、涡流损耗和剩余损耗

二、金属材料的化学性能

金属材料的主要化学性能指标及其意义见表 1.1-2。

表 1.1-2 金属材料的主要化学性能指标及其意义

指标项目	单 位	意 义
腐蚀速度	mg/(dm ² ·d) 或 g/(m ² ·d)	单位面积的金属材料在单位时间内经腐蚀之后的失重。计算方法为: $\text{腐蚀速度} [\text{mg}/(\text{dm}^2 \cdot \text{d})] = \frac{\text{试样腐蚀前重}(\text{g}) - \text{试样腐蚀后重}(\text{g})}{\text{试样总面积}(\text{dm}^2)} \times \frac{1000}{\text{试验时间}(\text{d})}$
腐蚀率	mm/a	金属材料在单位时间内腐蚀掉的材料深度称为腐蚀率。计算方法: $\text{腐蚀率}(\text{mm}/\text{a}) = \frac{0.0365 \times \text{腐蚀速度} [\text{mg}/(\text{dm}^2 \cdot \text{d})]}{\text{试样密度}(\text{g}/\text{cm}^3)}$

(续表)

指标项目	单 位	意 义
抗氧化性	$\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$ mm/a	金属材料在室温或高温条件下,抵抗氧化作用的能力,称为抗氧化性。一般可以用一定时间内,金属表面经腐蚀之后,质量损失的大小,即用金属减重的腐蚀速度来表示(减重法)。计算方法: $K = \frac{m_0 - m_t}{S_0 t}$ 式中 K——气体腐蚀速度$[\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})]$; m_0——腐蚀前的质量(g); m_t——材料受 t 小时腐蚀后的质量(g); S_0——金属受腐蚀前的表面积(cm^2); t——受腐蚀的时间(h) $R = 8.67 \frac{K_w}{\rho} (\text{mm/a})$ 式中 R——以深度表示的氧化腐蚀速度(mm/a); K_w——以质量表示的氧化腐蚀速度$[\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$; ρ——金属密度(g/cm^3)

三、金属材料的力学性能

金属材料力学性能的符号及其名称和含义见表 1.1-3。

表 1.1-3 金属材料力学性能的符号及其名称和含义

名 称	符号	单位	含 义 说 明
正弹性模数	E	MPa	金属在弹性范围内,外力和变形按比例地增长,即应力与应变成正比例关系时(符合虎克定律),这个比例系数就称为弹性模数或弹性模量。根据应力、应变的性质通常又分为:正弹性模数(E)和剪切弹性模数(G)。弹性模数的大小,相当于引起物体单位变形时所需应力之大小,所以,它在工程技术上是衡量材料刚度的指标,弹性模数愈大,刚度也愈大,亦即在一定应力作用下,发生的弹性变形愈小。任何机器零件,在使用过程中,大多处于弹性状态,对于要求弹性变形较小的零件,必须选用弹性模数大的材料。材料的弹性模数只与材料的成分、原子结构、温度有关,材料热处理对其影响不大
剪切弹性模数	G	MPa	

(续表)

名 称	符号	单位	含 义 说 明
屈服强度 上屈服强度 下屈服强度	(σ_s) R_{eH} R_{eL}	MPa	当金属材料呈现屈服现象时,在试验期间达到塑性变形发生而力不增加的应力点称为屈服强度,应区分上屈服强度和下屈服强度。上屈服强度为试验发生屈服而力首次下降前的最高应力。下屈服强度为在屈服期间,不计初始瞬时效应时的最低应力
规定非比例延伸强度	R_p (σ_p)	MPa	非比例延伸率等于规定的引伸计标距百分率时的应力。使用的符号应附以下脚注说明所规定的百分率, $R_{p0.01}$ 、 $R_{p0.05}$ 、 $R_{p0.2}$ 分别表示规定非比例延伸率为0.01%、0.05%和0.2%时的应力
规定总延伸强度	R_t	MPa	总延伸率等于规定的引伸计标距百分率时的应力。使用的符号应附以下脚注说明所规定的百分率,例如 $R_{t0.5}$,表示规定总延伸率为0.5%时的应力
规定残余延伸强度	R_r	MPa	试样卸除应力后残余延伸率等于规定的引伸计标距百分率时对应的应力。使用的符号应附以下脚注说明所规定的百分率。例如 $R_{r0.2}$,表示规定残余延伸率为0.2%时的应力
抗拉强度	R_m (σ_b)	MPa	与试样在屈服阶段之后所能抵抗的最大力相应的应力
断后伸长率	A (δ) $A_{5.65}$ (δ_5) $A_{11.5}$ (δ_{10})	%	拉伸试样被拉断后,断后标距的残余伸长($L_u - L_0$)与原始标距(L_0)之比的百分率。对于比例试样,若原始标距不为 $5.65 S_0$ (S_0 为平行长度的原始横截面积),符号 A 应附以下脚注说明所使用的比例系数,例如 $A_{11.3}$ 表示原始标距(L_0)为 $11.3 S_0$ 的断后伸长率。对于非比例试样,符号 A 应附以下脚注说明所使用的原始标距,以毫米(mm)表示,例如, A_{80mm} 表示原始标距(L_0)为80 mm的断后伸长率
断裂总伸长率	A_t	%	拉伸试验断裂时刻原始标距的总伸长(弹性伸长加塑性伸长)与原始标距(L_0)之比的百分率
断面收缩率	Z (ψ)	%	试样断裂后试样横截面积的最大缩减量($S_0 - S_u$)与原始横截面积(S_0)之比的百分率
抗弯强度	σ_{bb}	MPa	弯曲试验时,试样弯曲至断裂,断裂前所达到的最大弯曲应力

(续表)

名 称	符号	单位	含 义 说 明
抗压强度	R_{mc} (σ_{bc})	MPa	压缩试验时,试样压至破坏过程中的最大压缩应力。压缩试验主要适用于低塑性材料,如铸铁、木材、塑料等
抗扭强度	τ_b	MPa	扭转试验时,试样在扭断前承受的最大扭转切应力
持久强度 极限	σ_t^i	MPa	指金属试样在一定的高温条件下,达到规定时间而不发生断裂的最大应力
蠕变极限	σ_t^i $\sigma_{\delta/\tau}^i$	MPa	金属在高温环境下,即使所受应力小于屈服点,也会随时间的增加而缓慢地产生永久变形,这种现象叫做蠕变。蠕变极限是金属材料对蠕变的抗力指标,有两种表示方式:一种是在规定温度(t)下,使试样在规定时间内产生的稳态蠕变速率($\dot{\epsilon}$)不超过规定值的最大应力,以符号 σ_t^i 表示;另一种是在规定温度(t)下和规定的试验时间(τ)内,使试样产生的蠕变总伸长(δ)不超过规定值的最大应力,以符号 $\sigma_{\delta/\tau}^i$ 表示
疲劳极限	σ_{-1} 或 σ_{-1n}	MPa	金属材料在交变负荷的作用下,经过无限次应力循环而不致引起断裂的最大循环应力,称为疲劳极限或疲劳强度 σ_{-1} ——光滑试样的对称弯曲疲劳极限 σ_{-1n} ——缺口试样的对称弯曲疲劳极限
布氏硬度	HBW		用一定直径 $D(\text{mm})$ 的硬质合金球为压头,施以一定的试验力 $F(\text{N})$,将其压入试样表面,经规定保持时间 $t(\text{s})$ 后卸除试验力,试样表面将残留压痕。测量压痕平均直径 $d(\text{mm})$,求得压痕面积 $A(\text{mm}^2)$ 。以试验力除以压痕球形表面积 A 所得的商,即为试样的布氏硬度数值。硬度表示方法示例:600HBW1/30/20表示用直径1 mm的硬质合金球在294.2 N试验力下保持20 s测定的布氏硬度值为600。试验力保持时间为10~15 s时不标注
洛氏硬度			洛氏硬度试验以测量压痕深度表示材料的硬度值。所用的压头有两种,一种是圆锥角 $\alpha=120^\circ$ 的金刚石圆锥体,另一种是一定直径的小淬火钢球或硬质合金球。不同的压头和试验力组合成9种不同的洛氏硬度标尺。常用的为HRA、HRB和HRC三种。在表示硬度时钢球用S表示,硬质合金球用W表示。硬度表示方法示例:35HRC表示用C标尺测得的洛氏硬度值为35,60HRBW表示用硬质合金压头在B标尺上测得的洛氏硬度值为60