

叶卫平 张覃轶 主编

热处理实用数据 速查手册

第2版



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

热处理实用数据 速查手册

第 2 版

主编 叶卫平 张覃轶

参编 孙 伟 彭敏红 陈 文

彭 胜 郭明星



机械工业出版社

本书是一本热处理实用数据速查工具书。其主要内容是常用的钢铁材料、非铁金属及其合金的热处理工艺参数,以及与热处理技术密切相关的各种实用数据。这些数据主要是热处理工程技术人员在实际生产中需要经常查阅的数据。本书采用热处理相关最新国家标准和行业标准,内容新,数据翔实,实用性强。书中数据及资料主要以图表形式进行编排,书后附录中附有全书图表一览,便于读者查阅。

本书可供热处理工程技术人员、工人使用,也可供相关专业在校师生、研究人员及产品设计人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

热处理实用数据速查手册/叶卫平,张覃轶主编. —2版.
—北京:机械工业出版社,2010.11
ISBN 978-7-111-31989-4

I. ①热… II. ①叶…②张… III. ①热处理—
技术手册 IV. ①TG15-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第186061号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:陈保华

版式设计:霍永明

封面设计:姚毅

北京京丰印刷厂印刷

2011年1月第2版·第1次印刷

148mm×210mm·15.875印张·516千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-31989-4

定价:49.00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

策划编辑:(010) 88379734

社服务中心:(010) 88361066

网络服务

销售一部:(010) 68326294

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

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,以及制造水平的日益提高,企业对机器零件的内在质量提出了更高的要求。而掌握材料组织与性能之间的变化规律,正确选择热处理工艺参数正是提高产品质量的有效措施之一。本书采用简练明了的数据表格形式,介绍了常用钢铁材料、非铁金属及其合金的热处理工艺参数,以及与热处理技术密切相关的各种实用数据。以便于热处理工程技术人员及时进行工艺优选、确定工艺规范、预测热处理后的材料性能。

本书的编写宗旨是为工作在生产第一线的热处理工程技术人员所用,书中的数据主要是生产第一线的工程技术人员经常需要查阅的数据。本书的数据大部分源于一些国内外的专著、数据手册和国家标准,这些数据是作者在多年来从事金属材料热处理研究中收集和整理的,具有权威性和实用性。考虑到读者具有热处理原理及工艺基本知识,本书对热处理原理部分没有介绍,以充分体现本书以实用数据为主的特点。

《热处理实用数据速查手册》第1版于2005年5月出版,得到了热处理同行的关注与肯定。这次修订再版,我们参考了2005年至2009年颁布或修改的有关金属材料与热处理的国家标准和行业标准达38个,根据我国现行的国家标准和行业标准对书中的数据进行了全面修订。我们力求通过这次修订再版使这本手册成为促进企业积极采用、贯彻和执行现行金属材料 and 热处理国家标准的有力助手,使企业的文明生产、规范工艺操作、按国际水准实施全面热处理质量管理上一个新台阶。

《热处理实用数据速查手册》第2版,增加了“热处理能耗计算与节能”和“热处理环保”等章节,其目的是为了企业能有效提高热处理的能源利用率,提高劳动生产率和降低生产成本,有利于企业根据自身具体条件提出行之有效的热处理节能措施;增加了铸钢及热处理数据,冷锻、冷挤压用钢热处理数据,高压锅炉用钢热处理数据;尤其应该指出的是,增加了近年来我国引进的新型齿轮

钢成分和热处理数据,这些数据是从大量文献和资料中筛选出来,对新型齿轮钢的国产化,选择合理的热处理工艺,提高齿轮齿面啮合和使用寿命具有较大的现实意义;新版中还增加了“真空热处理”一章,主要是为了适应真空热处理技术在生产实际中得到越来越广泛使用的需要。

本书共10章。第1章为钢铁热处理基础,主要介绍了钢铁热处理技术的基础知识。第2章~第6章为本书的主要内容,主要介绍了钢铁材料、非铁金属及其合金等材料的热处理工艺常用数据。这些数据都是经过严格的核对,具有较高的实用价值。第7章为真空热处理的相关技术数据。第8章为热处理质量检验,主要包括各种硬度检验、硬度与强度的换算,以及热处理件的质量要求与检验等内容,该章突出了热处理质量检验,为产品质量仲裁提供依据。第9章为热处理常见缺陷与对策,主要包括钢铁材料常规热处理、表面热处理与化学热处理中常见缺陷与对策,以及非铁合金热处理中常见缺陷与对策,为提高热处理产品的合格率提供了方法。第10章为热处理工艺材料、安全与环保,主要包括热处理用盐和冷却介质的实用数据,常用热电偶技术规范,以及热处理安全与环保要求等有关内容。

本书中的热处理技术数据,尽可能以最清晰简明的表格形式进行编排,并且书后附录中附有全书图表一览,以便使读者在最短的时间里查寻到所需的数据。本书数据密集,内容全新,资料翔实,实用性强。本书可供热处理工程技术人员、工人使用,也可供相关专业在校师生、研究人员及产品设计人员参考。

本书由叶卫平、张覃轶主编,参加编写的人员有孙伟、彭敏红、陈文、彭胜和郭明星。其中第1章、第2章和第5章由叶卫平编写,第3章、第4章和第9章由张覃轶编写,第8章和第10章由孙伟编写,第6章和第7章由彭胜、陈文和郭明星编写,附录由彭敏红编写。在编写过程中得到了机械工业出版社的大力支持,在此表示最诚挚的感谢!

限于编写者水平有限,书中缺点在所难免,希望读者批评指正。

编者

yeweip@whut.edu.cn

目 录

前言

第 1 章 钢铁热处理基础	1
1.1 铁碳系合金相图	1
1.2 钢的分类与牌号表示方法	6
1.2.1 钢的分类	6
1.2.2 钢的牌号表示方法	6
1.3 过冷奥氏体转变图的主要类型及其应用	15
1.3.1 过冷奥氏体转变类型	15
1.3.2 过冷奥氏体转变图的主要类型	15
1.3.3 过冷奥氏体转变图的应用	20
1.4 钢的淬透性	21
1.4.1 常用钢的淬火临界直径	21
1.4.2 淬冷烈度 H 值	26
1.4.3 淬火硬度经验计算	27
1.5 钢的加热计算	27
1.5.1 钢件加热时间计算	27
1.5.2 热处理能耗计算与节能	31
1.6 钢的相变温度经验计算	36
1.7 回火硬度计算及回火方程	36
1.8 整体热处理工艺种类	42
1.8.1 正火与退火	42
1.8.2 淬火与回火	46
1.9 热处理预留加工余量	49
第 2 章 常用钢材及热处理工艺参数	55
2.1 碳素结构钢	55
2.1.1 化学成分	55
2.1.2 常规热处理工艺参数	57
2.2 合金结构钢	62
2.2.1 化学成分	62

2.2.2 临界温度及常规热处理工艺参数	68
2.3 低合金高强度结构钢	79
2.3.1 化学成分	79
2.3.2 热处理工艺	81
2.4 低碳马氏体钢	81
2.5 弹簧钢	85
2.5.1 化学成分	85
2.5.2 临界温度及常规热处理工艺参数	86
2.6 轴承用钢	89
2.6.1 化学成分	89
2.6.2 临界温度及常规热处理工艺参数	91
2.7 碳素工具钢	92
2.7.1 化学成分	92
2.7.2 临界温度及常规热处理工艺参数	93
2.8 合金工具钢	95
2.8.1 化学成分	95
2.8.2 临界温度及常规热处理工艺参数	100
2.9 高速工具钢	110
2.9.1 化学成分	110
2.9.2 常规热处理工艺参数	112
2.10 不锈钢和耐热钢	113
2.10.1 化学成分	113
2.10.2 热处理工艺与性能	128
2.11 铸钢	138
2.11.1 铸造碳钢的化学成分、力学性能及热处理工艺	138
2.11.2 一般用途耐蚀铸钢的化学成分、力学性能及热处理工艺	141
2.12 专业用钢	144
2.12.1 新型齿轮钢的化学成分及热处理工艺	144
2.12.2 冷镦、冷挤压用钢的热处理工艺及力学性能	149
2.12.3 高压锅炉用钢的热处理工艺	150
2.12.4 汽轮机叶片用钢的热处理工艺	153
第3章 表面热处理	155
3.1 感应热处理	155
3.2 火焰热处理	168
3.3 激光、电子束热处理	171

3.3.1 激光热处理	171
3.3.2 电子束热处理	173
第4章 化学热处理	176
4.1 渗碳工艺	176
4.1.1 常用渗碳钢热处理工艺规范	177
4.1.2 气体渗碳	178
4.1.3 液体渗碳	187
4.1.4 固体渗碳	188
4.1.5 局部渗碳	191
4.1.6 渗碳后热处理	191
4.2 渗氮工艺	193
4.2.1 常用渗氮钢及预备热处理	193
4.2.2 气体渗氮	198
4.2.3 离子渗氮	205
4.3 碳氮共渗工艺	207
4.3.1 气体碳氮共渗	208
4.3.2 液体碳氮共渗	211
4.3.3 碳氮共渗后热处理	212
4.4 氮碳共渗工艺	213
4.4.1 气体氮碳共渗	213
4.4.2 盐浴氮碳共渗	216
4.4.3 离子氮碳共渗	220
4.5 渗金属及碳氮之外的非金属	221
4.5.1 渗锌	222
4.5.2 渗铬	222
4.5.3 渗铝	224
4.5.4 渗硫	224
4.5.5 渗硼	225
4.5.6 渗硅、钛、铌、钒、锰	227
第5章 铸铁的热处理	230
5.1 铸铁牌号表示方法	230
5.2 灰铸铁	232
5.2.1 化学成分及组织控制	232
5.2.2 热处理工艺参数及性能	232
5.3 蠕墨铸铁	239

5.3.1 化学成分及组织控制	239
5.3.2 热处理工艺参数及性能	240
5.4 球墨铸铁	241
5.4.1 化学成分及组织控制	241
5.4.2 热处理工艺参数及性能	242
5.5 可锻铸铁	250
5.5.1 化学成分	250
5.5.2 热处理工艺参数及性能	250
5.6 特种性能铸铁	252
5.6.1 抗磨白口铸铁及热处理	253
5.6.2 高硅耐蚀铸铁及热处理	257
第6章 常用非铁金属及合金热处理	259
6.1 铜及铜合金的热处理	259
6.1.1 纯铜	260
6.1.2 黄铜	261
6.1.3 青铜	267
6.1.4 白铜	273
6.1.5 铸造铜合金	275
6.2 铝合金的热处理	276
6.2.1 变形铝合金	276
6.2.2 铸造铝合金	286
6.3 钛及钛合金的热处理	297
6.3.1 化学成分及力学性能	297
6.3.2 加工钛合金热处理工艺	301
6.3.3 典型铸造钛合金热处理工艺	305
6.4 镁合金的热处理	305
6.4.1 镁合金热处理类型	305
6.4.2 变形镁合金热处理	306
6.4.3 铸造镁合金热处理	309
第7章 真空热处理	312
7.1 真空热处理特点	312
7.2 真空退火	316
7.3 真空淬火与真空回火	318
7.4 真空渗碳	321
第8章 热处理质量检验	325

8.1 热处理件质量要求与检验	325
8.2 硬度检验	333
8.2.1 布氏硬度检验	333
8.2.2 洛氏硬度检验	338
8.2.3 维氏硬度检验	341
8.3 显微晶粒度级别评定	351
8.4 退火及正火组织检验	355
8.5 淬火及回火组织检验	356
8.5.1 马氏体金相组织检验	356
8.5.2 调质预备热处理金相组织检验	360
8.6 感应淬火硬化层质量检验	361
8.6.1 感应淬火硬化层深度检测	361
8.6.2 感应淬火硬化层组织评级	362
8.7 化学热处理渗层质量检验	363
8.7.1 渗碳及碳氮共渗淬火硬化层深度及金相组织检验	363
8.7.2 薄层碳氮共渗或薄层渗碳钢件金相组织检验	366
8.7.3 渗氮层和氮碳共渗层深度及金相组织检验	368
8.8 脱碳层深度测定	371
8.9 硬度与强度换算	375
8.9.1 钢的硬度与强度换算	375
8.9.2 铝合金的硬度与强度换算	384
8.9.3 铜合金的硬度与强度换算	390
8.10 常用金相检验侵蚀剂	398
第9章 热处理常见缺陷与对策	404
9.1 热处理前锻造和铸造工序常见缺陷	404
9.2 钢的常规热处理常见缺陷与对策	408
9.3 真空热处理和可控气氛热处理常见缺陷与对策	422
9.4 表面热处理常见缺陷与对策	424
9.5 化学热处理常见缺陷与对策	426
9.6 铸铁件热处理常见缺陷与对策	444
9.7 非铁金属及其合金热处理常见缺陷与对策	446
第10章 热处理工艺材料、安全与环保	451
10.1 热处理用盐	451
10.2 冷却介质	456
10.3 常用热电偶技术规范	461

10.3.1	常用热电偶技术条件	461
10.3.2	热电偶校验	465
10.4	热处理安全与环保	472
10.4.1	热处理安全	472
10.4.2	热处理环保	477
附录		481
附录 A	新、旧标准拉伸性能指标名称和符号对照	481
附录 B	全书图表一览	482
参考文献		496

图 1-1 Fe-Fe₃C 及 Fe-C 合金相图

重要参考意义。但是, $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$ 及 Fe-C 合金相图所表明的是热力学平衡 (稳定) 状态, 只有在极为缓慢的加热及冷却条件下才能达到。在实际热处理工艺中, 采用的加热及冷却大都是偏离平衡状态, 因而相变温度总是偏离相图上所示的位置。因此, 探讨钢铁材料在加热及冷却中的组织转变时必须考虑动力学 (相变与温度、时间的关系) 及形态学的关系。

1. $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$ 及 Fe-C 合金相图 (见图 1-1)

2. $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$ 及 Fe-C 合金相图中的特性和特性线

$\text{Fe-Fe}_3\text{C}$ 及 Fe-C 合金相图中特性点的温度、碳含量及其物理意义, 如表 1-1 所示, $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$ 及 Fe-C 合金相图中特性线的含义, 如表 1-2 所示。

表 1-1 $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$ 及 Fe-C 合金相图中的特性点

特性点	温度/ $^{\circ}\text{C}$	$w(\text{C})(\%)$	说 明
A	1538	0	纯铁的熔点
B	1495	0.53	包晶线的端点
C	1148	4.3	共晶点 ($\text{Fe-Fe}_3\text{C}$ 系)
C'	1154	4.26	共晶点 (Fe-C 系)
D	1227	6.69	渗碳体的熔点
E	1148	2.11	碳在 A 中的最大溶解度 ($\text{Fe-Fe}_3\text{C}$ 系)
E'	1154	2.08	碳在 A 中的最大溶解度 (Fe-C 系)
F	1148	6.69	共晶线的端点 ($\text{Fe-Fe}_3\text{C}$ 系)
F'	1154	6.69	共晶线的端点 (Fe-C 系)
G	912	0	$\alpha\text{-Fe} \rightleftharpoons \gamma\text{-Fe}$ 同素异构转变点
H	1495	0.09	包晶线的端点
J	1495	0.17	包晶点
K	727	6.69	共析线的端点 ($\text{Fe-Fe}_3\text{C}$ 系)
K'	738	6.69	共析线的端点 (Fe-C 系)
M	770	0	$\alpha\text{-Fe}$ 的磁性转变点
N	1394	0	$\gamma\text{-Fe} \rightleftharpoons \delta\text{-Fe}$ 同素异构转变点
O	770	≈ 0.50	铁素体的磁性转变点

(续)

特性点	温度/ $^{\circ}\text{C}$	$w(\text{C})(\%)$	说 明
P	727	0.0218	Fe-Fe ₃ C 系碳在 F 中的最大溶解度
P'	738	0.02	Fe-C 系碳在 A 中的最大溶解度
Q	≈ 600	≈ 0.008	碳在 F 中的常温溶解度
S	727	0.77	Fe-Fe ₃ C 系中的共析点
S'	738	0.68	Fe-C 系中的共析点

表 1-2 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
CD'	G 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	$\delta \rightarrow \text{A}$ 始温线
JN	$\delta \rightarrow \text{A}$ 终温线
GS	A $\rightarrow$ F 始温线(A_3)
GS'	A $\rightarrow$ F 始温线(Fe-C 系)
230 $^{\circ}\text{C}$ 水平线	Fe ₃ C 的磁性转变线
GP	A $\rightarrow$ F 终温线
ES	A $\rightarrow$ Fe ₃ C 始温线(A_{cm})
ES'	A $\rightarrow$ 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	$L_B + \delta_H \rightleftharpoons A_J$ 包晶转变线
ECF	$L_C \rightleftharpoons A_E + \text{Fe}_3\text{C}$ 共晶转变线

(续)

特性线	说 明
$E'C'F'$	$L \rightleftharpoons A_E + G$ 共晶转变线(Fe-C系)
PSK	$A_S \rightleftharpoons F_P + Fe_3C$ 共析转变线(A_1)
$P'S'K'$	$A_S \rightleftharpoons F_{P'} + G$ 共析转变线(Fe-C系)

3. 热处理常用的临界温度符号及说明 (见表 1-3)

表 1-3 热处理常用的临界温度符号及说明

符号	说 明
A_0	渗碳体的磁性转变点
A_1	在平衡状态下, 奥氏体、铁素体、渗碳体或碳化物共存的温度
A_3	亚共析钢在平衡状态下, 奥氏体和铁素体共存的最高温度
A_{cm}	过共析钢在平衡状态下, 奥氏体和渗碳体或碳化物共存的最高温度
A_4	在平衡状态下 δ 相和奥氏体共存的最低温度
Ac_1	钢加热时, 珠光体转变为奥氏体的温度
Ac_3	亚共析钢加热时, 铁素体全部转变为奥氏体的温度
Ac_{cm}	过共析钢加热时, 渗碳体和碳化物全部溶入奥氏体的温度
Ac_4	低碳亚共析钢加热时, 奥氏体开始转变为 δ 相的温度
Ar_1	钢高温奥氏体化后冷却时, 奥氏体分解为铁素体和珠光体的温度
Ar_3	亚共析钢高温奥氏体化后冷却时, 铁素体开始析出的温度
Ar_{cm}	过共析钢高温奥氏体化后冷却时, 渗碳体或碳化物开始析出的温度
Ar_4	钢在高温形成的 δ 相冷却时, 完全转变为奥氏体的温度
B_s	钢奥氏体化后冷却时, 奥氏体开始分解为贝氏体的温度
M_s	钢奥氏体化后冷却时, 其中奥氏体开始转变为马氏体的温度
M_f	奥氏体转变为马氏体的终了温度

4. Fe-Fe₃C 合金相图中各种组织组成物的特性及力学性能

Fe-Fe₃C 合金相图中各种组织组成物及其特性如表 1-4 所示, 铁碳合金中各种组织的力学性能如表 1-5 所示。

表 1-4 Fe-Fe₃C 合金相图中各种组织组成物及其特性

组成物	代号	组织分类	w(C)(%)	晶格结构	性能	说明
铁素体	α(F)	单相	0~0.0218	体心立方	强度低、硬度低、塑性好	碳在 α-Fe 中的间隙固溶体
奥氏体	γ(A)	单相	0~2.11	面心立方	强度较低、硬度较低、塑性较好,无磁性	碳在 γ-Fe 中的间隙固溶体
δ 铁素体	δ	单相	0~0.09	体心立方	—	碳在 δ-Fe 中的间隙固溶体
渗碳体	Fe ₃ C	单相	6.7±0.2	正交晶系复杂结构	极硬、脆性大,其形状对力学性能影响很大	碳和铁的金属化合物,形状有片状、条状、粒状、网状
珠光体	P	两相	—	—	强度、硬度与片层的粗细有关	由铁素体和渗碳体组成的机械混合物
莱氏体	Ld	两相	—	—	—	奥氏体与渗碳体的机械混合物
石墨	G	—	—	密排六方	—	游离的碳晶体
液相	L	—	—	—	—	铁碳合金的液相

表 1-5 铁碳合金中各种组织的力学性能

组织		硬度 HBW	R _m /MPa	A (%)	a _K /(kJ/m ²)	比体积/ (cm ³ /g)
铁素体		≈80	245~291	30~50	≈2942	0.1271
渗碳体		≈800	—	—	≈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+0.0005w(C)
	球状	160~190	618	20~25	—	

(续)

组织	硬度 HBW	R_m /MPa	A (%)	α_K /(kJ/m ²)	比体积/ (cm ³ /g)
索氏体	250 ~ 320	883 ~ 1079	10 ~ 20	—	0.1271 + 0.0005 w (C)
托氏体	330 ~ 400	1128 ~ 1373	5 ~ 10	—	0.1271 + 0.0005 w (C)
贝氏体	上贝氏体	42 ~ 48HRC	—	—	0.1271 + 0.0015 w (C)
	下贝氏体	60 ~ 55HRC	—	—	
马氏体	板条(高碳)	600 ~ 700HBW	—	≥588	0.1271 + 0.00265 w (C)
	片状(低碳)		—	—	
莱氏体	>700HBW	—	—	—	—

1.2 钢的分类与牌号表示方法

1.2.1 钢的分类

钢的种类很多,为了便于管理和选用,根据钢的某些特性,可以把它们分成若干具有共同特点类别。其分类方法有按用途分类、按金相组织分类、按化学成分分类和按冶炼方法分类等。其中最常用的是按用途分类,见图1-2。

1.2.2 钢的牌号表示方法

我国现行钢铁产品牌号表示方法 GB/T 221—2008《钢铁产品牌号表示方法》适用于生铁、碳素结构钢、低合金结构钢、优质碳素结构钢、易切削钢、合金结构钢、弹簧钢、工具钢、轴承钢、不锈钢、耐热钢、焊接用钢、冷轧电工钢、电磁纯铁、原料纯铁、高电阻电热合金及有关专用钢等产品牌号。粉末冶金材料、铸铁(件)、铸钢(件)、铁合金、高温合金和金属间化合物高温材料、耐蚀合金、精密合金等产品的牌号表示方法分别符合其他我国国家标准规定。

1. 牌号表示基本原则

1) 凡列入国家标准和行业标准的钢铁产品,均应按 GB/T 221—2008 标准规定的牌号表示方法编写牌号。

2) 钢铁产品牌号的表示,采用大写汉语拼音字母、化学元素符号