

RECHULI SHIYONG SHUJU
SUCHA SHOUC

热处理实用数据 速查手册

叶卫平 张覃轶 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



热处理实用数据 速查手册

叶卫平 张覃轶 主编



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。本书内容新,数据翔实可靠,实用性强。书中对热处理技术数据主要以表格形式进行编排,便于读者查找。

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及研究人员参考。

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. —北京:机械工业出版社, 2005.5

ISBN 7-111-16493-8

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 040689 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:陈保华 版式设计:张世琴 责任校对:魏俊云

封面设计:王伟光 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

890mm×1240mm A5·11.25 印张·329 千字

0 001—4 000 册

定价:26.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

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。

为了加入 WTO 后更好地与国际接轨,我国在 20 世纪 90 年代中后期,对金属材料及其热处理等国家标准陆续进行了修订。其中很多直接采用了具有国际通用性的国际标准。根据我们的了解,目前很多企业还一直沿用旧标准,很多教材和手册中也仍然采用旧的数据。为迅速改变这一现状,我们认为有必要编写一本新的热处理实用数据速查工具书。

《热处理实用数据速查手册》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。手册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,为此,对书中的数据我们力求做到准确、实用。例如,在很多书中,常用钢的淬火临界直径范围差别很大,这不利于读者对选材作出准确的评估。为此在编写过程中,我们对常用钢的淬火临界直径进行了仔细的核对,以确保数据的可靠性。本书的数据大部分源于一些国内外的专著和数据手册,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和工艺基本知识和有效压缩手册的篇幅,体现速查和便于生产第一线工程技术人员携带,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。

参照国外金属材料表示方法,近年来我国对金属材料牌号代号的表示方法进行了较大的修订,例如,铝合金中用 5A02 代替 LF2 等。

考虑到目前在很多生产企业中仍然习惯使用旧牌号,为方便查询起见,在本手册中同时列出新、旧牌号,以便读者对照。

积极采用基于国际先进标准的国家标准符合我国经济技术政策,有利于尽快将我国的标准与国际接轨,对推广新标准的采用具有积极的意义,这也是本书的特点之一。

本书共9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。第8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;第9章为热处理辅助数据,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等内容。本书的附录包括了世界常用钢号对照表和常用热处理设备等内容。为方便读者查找,在本书的附录E中列出了全书的图表号与图表名。

本书中热处理技术数据,尽可能以最清晰简明的表格形式进行编排,以便使读者在最短的时间里查询到所需的数据。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及研究人员参考。

本书由叶卫平、张覃轶主编,孙伟、彭敏红参编。其中第1章、第2章、第5章和第6章由叶卫平编写,第3章、第4章和第8章由张覃轶编写,第7章和第9章由孙伟编写,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!

编 者

yeweip@mail.whut.edu.cn

目 录

前言

第1章 钢铁热处理基础	1
1.1 Fe-Fe ₃ C 合金相图	1
1.2 钢的分类与编号	5
1.2.1 钢的分类	5
1.2.2 钢的编号	5
1.3 过冷奥氏体转变图主要类型及其应用	12
1.3.1 过冷奥氏体转变类型	12
1.3.2 过冷奥氏体转变图主要类型	13
1.3.3 过冷奥氏体转变图的应用	13
1.4 钢的淬透性	19
1.4.1 常用钢的淬火临界直径	19
1.4.2 淬火烈度 H 值	19
1.5 钢的加热计算	21
1.5.1 加热时间	21
1.5.2 钢件加热时间计算	22
1.6 晶粒度确定	25
1.7 热处理工艺种类	27
1.8 预留余量与热处理变形允差	32
第2章 钢的常规热处理	36
2.1 优质碳素结构钢	36
2.1.1 化学成分	36
2.1.2 临界温度及常规热处理工艺参数	38
2.2 合金结构钢	42
2.2.1 化学成分	42

2.2.2 临界温度及常规热处理工艺参数	48
2.3 弹簧钢	59
2.3.1 化学成分	59
2.3.2 临界温度及常规热处理工艺参数	60
2.4 滚动轴承钢	63
2.4.1 化学成分	63
2.4.2 临界温度及常规热处理工艺参数	64
2.5 碳素工具钢	68
2.5.1 化学成分	68
2.5.2 临界温度及常规热处理工艺参数	69
2.6 合金工具钢	71
2.6.1 化学成分	71
2.6.2 临界温度及常规热处理工艺参数	76
2.7 高速工具钢	86
2.7.1 化学成分	86
2.7.2 临界温度及常规热处理工艺参数	90
2.8 不锈钢和耐热钢	94
2.8.1 化学成分	94
2.8.2 常规热处理工艺参数	108
第3章 表面加热热处理	116
3.1 感应加热热处理工艺	116
3.2 火焰加热热处理工艺	127
3.3 激光、电子束加热热处理工艺	129
3.3.1 激光热处理	129
3.3.2 电子束热处理	131
第4章 化学热处理	133
4.1 简介	133
4.2 渗碳工艺	134
4.2.1 气体渗碳	134
4.2.2 液体渗碳	136
4.2.3 固体渗碳	138

4.2.4 局部渗碳	139
4.2.5 渗碳件常用热处理工艺	139
4.3 渗氮工艺	142
4.3.1 渗氮用钢及其预处理	142
4.3.2 气体渗氮	145
4.3.3 其他渗氮方法	148
4.4 碳氮共渗工艺	149
4.5 氮碳共渗工艺	152
4.5.1 气体氮碳共渗	152
4.5.2 盐浴氮碳共渗	153
4.5.3 固体氮碳共渗	155
4.6 渗金属及碳氮之外的非金属	156
4.6.1 渗锌	156
4.6.2 渗铬	156
4.6.3 渗铝	158
4.6.4 渗硫	159
4.6.5 渗硼	160
4.6.6 渗硅、钛、铌、钒、锰	161
4.7 离子化学热处理	163
4.7.1 离子渗氮	163
4.7.2 离子氮碳共渗	164
4.7.3 离子渗碳	166
第5章 铸铁的热处理	167
5.1 铸铁牌号表示方法	167
5.2 灰铸铁	168
5.2.1 化学成分及组织控制	168
5.2.2 热处理工艺参数及性能	169
5.3 蠕墨铸铁	172
5.3.1 化学成分及组织控制	172
5.3.2 热处理工艺参数及性能	173
5.4 球墨铸铁	174
5.4.1 化学成分及组织控制	174

5.4.2 热处理工艺参数及性能	175
5.5 可锻铸铁	178
5.5.1 化学成分	178
5.5.2 热处理工艺参数	179
第6章 常用非铁金属及其合金的热处理	181
6.1 非铁金属及其合金表示方法简介	181
6.2 铜及铜合金的热处理	182
6.2.1 纯铜	182
6.2.2 黄铜	182
6.2.3 青铜	188
6.2.4 白铜	193
6.3 铝合金的热处理	195
6.3.1 变形铝合金	195
6.3.2 铸造铝合金	204
6.4 钛及钛合金的热处理	212
6.5 镁及镁合金的热处理	217
第7章 热处理质量检验	221
7.1 硬度检验方法	221
7.1.1 布氏硬度	221
7.1.2 洛氏硬度	232
7.1.3 维氏硬度	233
7.2 硬度与强度换算	243
7.3 金相组织侵蚀剂	252
7.4 热处理件质量要求与检验	258
第8章 热处理常见缺陷与对策	267
8.1 钢的常规热处理常见缺陷与对策	267
8.2 表面加热热处理常见缺陷与对策	272
8.3 化学热处理常见缺陷与对策	275
8.4 铸铁件热处理常见缺陷与对策	279

8.5 非铁金属及其合金热处理常见缺陷与对策	281
第9章 热处理辅助数据	285
9.1 热处理用盐	285
9.2 冷却介质	290
9.3 热处理设备常用材料	295
9.4 常用热电偶技术规范	302
9.4.1 常用热电偶技术条件	302
9.4.2 热电偶校验	306
附录	314
附录 A 世界常用钢号对照表	314
附录 B 常用热处理设备	326
附录 C 钢件加热火色和回火色	335
附录 D 回火脆性	336
附录 E 全书图表一览	337
参考文献	347

第 1 章 钢铁热处理基础

1.1 Fe-Fe₃C 合金相图

Fe-Fe₃C 合金相图如图 1-1 所示，图中各点、线以及各种相的特

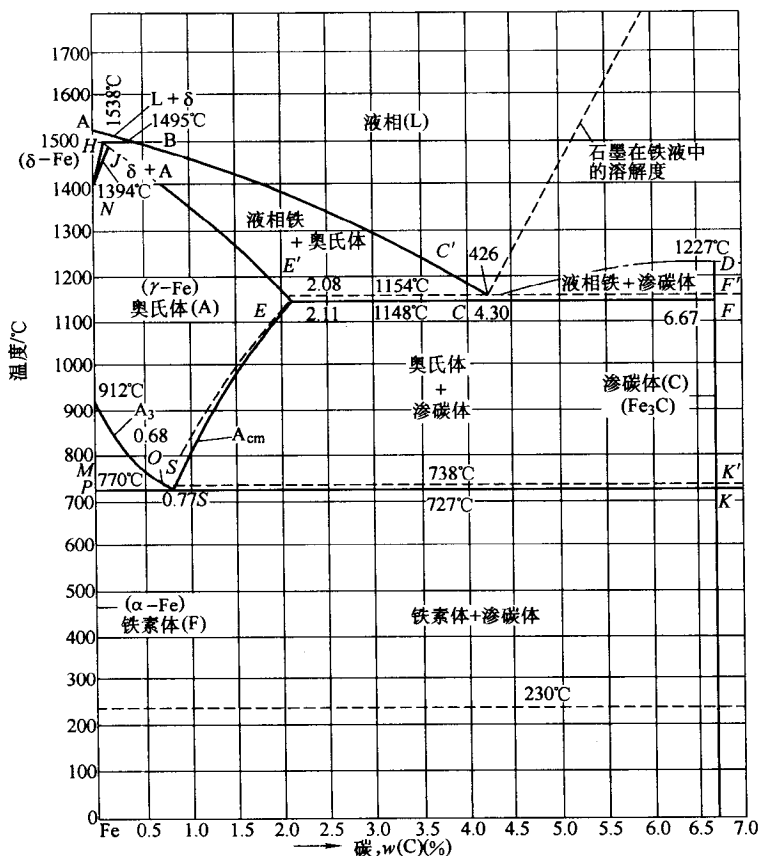


图 1-1 Fe-Fe₃C 合金相图

征分别列于表 1-1 ~ 表 1-3 中。

表 1-1 Fe-Fe₃C 相图中的特征点

特征点	温度/°C	碳含量 $w(C)(\%)$	说 明
A	1538	0	纯铁熔点
B	1495	0.53	包晶转变时, 液态合金的碳浓度
C	1148	4.30	共晶点 $L_C \rightleftharpoons \gamma_E + Fe_3C$
D	1227	6.69	渗碳体 (Fe_3C) 的熔点 (理论计算值)
E	1148	2.11	碳在 γ 相中最大溶解度
F	1148	6.69	共晶转变线与渗碳体成分的交点
G	912	0	$\alpha-Fe \rightleftharpoons \gamma-Fe$ 同素异构转变点 (A_3)
H	1495	0.09	碳在 δ 相中的最大溶解度
J	1495	0.17	包晶点 $L_B + \delta_H \rightleftharpoons \gamma_J$
K	727	6.69	共析转变线与渗碳体成分线的交点
M	770	0	α 相磁性转变点 (A_2)
N	1394	0	$\gamma-Fe \rightleftharpoons \delta-Fe$ 同素异构转变点 (A_4)
O	770	≈ 0.50	α 相磁性转变点 (A_2)
P	727	0.0218	碳在 α 相中的最大溶解度
Q	≈ 600	≈ 0.005	碳在 α 相中的溶解度
S	727	0.77	共析点 $\gamma_S \rightleftharpoons \alpha_P + Fe_3C$

表 1-2 Fe-Fe₃C 相图中的特性线

特性线	说 明
AB	δ 相的液相线
BC	γ 相的液相线
CD	Fe_3C 的液相线
AH	δ 相的固相线
JE	γ 相的固相线
HN	碳在 δ 相中的溶解度线
JN	($\delta + \gamma$) 相区与 γ 相区分界线
GP	高于 A_1 时, 碳在 α 相中的溶解度线
GOS	亚共析 Fe-C 合金的上临界点 (A_3)
ES	碳在 γ 相中的溶解度线, 过共析 Fe-C 合金的上临界点 (A_{cm})
PQ	低于 A_1 时, 碳在 α 相中的溶解度线
HJB	$\gamma_J \rightleftharpoons L_B + \delta_H$ 包晶转变线
ECF	$L_C \rightleftharpoons \gamma_E + Fe_3C$ 共晶转变线
MO	α 铁磁性转变线 (A_2)
PSK	$\gamma_S \rightleftharpoons \alpha_P + Fe_3C$ 共析反应线, Fe-C 合金的下临界点 (A_1)
230°C 线	Fe_3C 的磁性转变线 (A_0)

表 1-3 Fe-Fe₃C 相图中各相的特性

名称	符号	晶体结构	说 明
铁素体	α	体心立方	碳在 α -Fe 中的间隙固液体, 用 F 表示
奥氏体	γ	面心立方	碳在 γ -Fe 中的间隙固液体, 用 A 表示
δ 铁素体	δ	体心立方	碳在 δ -Fe 中的间隙固液体, 又称高温 α 相
渗碳体	Fe ₃ C	正交系	是一种复杂的化合物
液相	L		铁碳合金的液相

Fe-Fe₃C 相图表示不同成分的铁碳合金在各个温度区域内平衡存在的相的结构、成分与相对含量(两相区可利用杠杆定律计算), 能够指明在加热和冷却过程中相变的方向, 对热处理工作有重要参考意义。但是, Fe-Fe₃C 相图所表明的热力学平衡(稳定)状态, 只有在极为缓慢的加热及冷却条件下才能达到。在实际上热处理工艺中, 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。表 1-4 列出了热处理常用的临界温度。图 1-2 为铁碳合金在 Fe-Fe₃C 相图中常用的热处理工艺加热区间的示意图。表 1-5 列出了铁碳合金中各种组织的力学性能。

表 1-4 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, 即一般所说的下临界点
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, 即亚共析钢的上临界点
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, 即过共析钢的上临界点
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, 开始形成奥氏体的温度
Ac ₃	亚共析钢加热时, 所有铁素体均转变为奥氏体的温度
Ac _{cm}	过共析钢加热时, 所有渗碳体和碳化物完全溶入奥氏体的温度
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

表 1-5 铁碳合金中各种组织的力学性能

组织	硬度 HBS	σ_b /MPa	δ (%)	a_K / (kJ/m ²)
铁素体	≈ 80	245 ~ 294	30 ~ 50	≈ 2942
渗碳体	≈ 800	—	—	≈ 0
奥氏体	170 ~ 220	834 ~ 1030	20 ~ 25	—
片状珠光体	190 ~ 250	804 ~ 863	10 ~ 20	—
球状珠光体	160 ~ 190	618	20 ~ 25	—
索氏体	250 ~ 320	883 ~ 1079	10 ~ 20	—
托氏体	330 ~ 400	1128 ~ 1373	5 ~ 10	—
上贝氏体	42 ~ 48HRC	—	—	—
下贝氏体	50 ~ 55HRC	—	—	—
板条马氏体	600 ~ 700HBW	1177 ~ 1569	—	≥ 588
片状马氏体	600 ~ 700HBW	1177 ~ 1569	—	—
莱氏体	> 700HBW	—	—	—

1.2 钢的分类与编号

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的类别。例如, 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, 如图 1-3 所示。

1.2.2 钢的编号

我国钢铁产品牌号表示方法采用 GB/T 221—2000《钢铁产品牌号表示方法》。该标准于 2000 年发布并开始实施。GB/T 221—2000《钢铁产品牌号表示方法》与旧标准相比, 其主要技术内容作了如下变动:

1) 由于一些钢铁产品牌号有它们专用的标准, 故取消了原标准中铁合金、铸造合金、高温合金、精密合金、耐蚀合金和铸铁、铸钢、粉末材料等牌号表示方法。

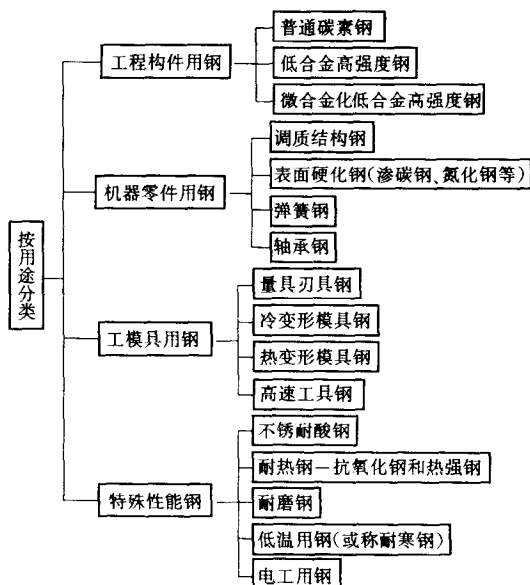


图 1-3 钢按用途分类

2) 一些新的钢铁产品的出现，更加完善了原标准。新标准增加了脱碳低磷粒铁、含钒生铁 JP2、铸造耐磨生铁、保证淬透性钢、非调质机械结构钢、塑料模具钢、取向硅钢（电信用）等牌号表示方法。

3) 对不适应科技发展和与生产不协调的一些用钢牌号作了彻底改变或修改。如碳素结构钢 A3 改为 Q235，低合金高强度结构钢 16Mn 改为 Q345 等。对不锈钢、耐热钢和冷轧硅钢等的牌号表示方法也进行了修改。

1. 钢铁产品牌号表示方法的基本原则

1) 凡国家标准和行业标准中钢铁产品的牌号均应按 GB/T 221—2000 标准规定的牌号表示方法编写。凡不符合规定编写的钢铁产品牌号，应在标准修订时予以更改。一些新的钢铁产品，其牌号也应按此予以编写牌号。

2) 产品牌号的表示，一般采用汉语拼音字母、化学元素符号和

阿拉伯数字相结合的方法来表示。

3) 采用汉语拼音字母表示产品名称、用途、特性和工艺方法时,一般从代表产品名称的汉语拼音中选取第一个字母。当和另一个产品所选用的字母重复时,可改用第二个字母或第三个字母,或同时选取两个汉字中的第一个拼音字母。

4) 暂时没有可采用的汉字及汉语拼音的,采用符号为英文字母。

2. 钢铁产品名称、用途、特性和工艺方法表示符号

钢铁产品名称、用途、特性和工艺方法表示符号见表 1-6。

表 1-6 钢铁产品名称、用途、特性和工艺方法表示符号

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
含钒生铁	钒	FAN	F	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
耐候钢	耐候	NAI HOU	NH	牌号尾
保证淬透性钢			H ^①	牌号尾
易切削非调质钢	易非	YIFFI	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
压力容器用钢	容	RONG	R	牌号尾
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	牌号尾

① 采用符号为英文字母。