

# 热处理手册

工艺基础

中国机械工程学会热处理学会 编

第4版

第  
1 234  
卷



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

TG15-62/2

:1

2008

# 热处理手册

第1卷 工艺基础

第4版

中国机械工程学会热处理学会 编

机械工业出版社

本手册是一部热处理专业的综合工具书，共4卷。本书是第1卷，共11章，内容包括基础资料、金属热处理的加热、金属热处理的冷却、钢铁件的整体热处理、表面加热热处理、化学热处理、形变热处理、非金属的热处理、铁基粉末冶金件及硬质合金的热处理、功能合金的热处理、其他热处理技术。本手册由中国机械工程学会热处理学会组织编写，具有一定的权威性；内容系统全面，具有科学性、实用性、可靠性和先进性。

本手册可供热处理工程技术人员、质量检验和生产管理人员使用，也可供科研人员、设计人员、相关专业的在校师生参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

热处理手册. 第1卷, 工艺基础/中国机械工程学会热处理学会编. —4版. —北京: 机械工业出版社, 2008. 1  
ISBN 978-7-111-22289-7

I. 热… II. 中… III. ①热处理-手册②热处理-工艺-手册 IV. TG15-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 138160 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

责任编辑: 白刚 版式设计: 冉晓华 责任校对: 程俊巧  
吴美英

封面设计: 姚毅 责任印制: 邓博

北京京丰印刷厂印刷

2008年1月第4版·第1次印刷

169mm×239mm·26.375印张·3插页·1517千字

0 001—4 000册

标准书号: ISBN 978-7-111-22289-7

定价: 82.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换  
销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379644

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

按照中国机械工程学会热处理学会第二届三次理事扩大会议关于《热处理手册》将逐版修订下去的决议，为了适应热处理、材料和机械制造等行业发展的需要，应机械工业出版社的要求，热处理学会决定对2001年出版的《热处理手册》第3版进行修订。本次修订的原则是：去掉陈旧和过时的内容，补充新的科研成果、实践经验和先进成熟的生产技术等相关内容，保持其实用性、可靠性、科学性和先进性，使《热处理手册》这一大型工具书能对热处理行业的技术进步持续发挥推动作用。

根据近年来热处理技术进展和《热处理手册》第3版的使用情况，第4版仍保持第3版的体例。主要读者对象为热处理工程技术人员，也可供热处理质量检验和生产管理人员、科研人员、设计人员、相关专业的在校师生参考。《热处理手册》第4版仍为四卷，即第1卷工艺基础，第2卷典型零件热处理，第3卷热处理设备和工辅材料，第4卷热处理质量控制和检验。

《热处理手册》第4版与第3版相比，主要作了以下变动：

第1卷增加和修订了第1章中的热处理标准题录，由第3版的71个标准增加到了94个，并对热处理工艺术语等按新标准进行了修订。第2章增加了“金属和合金相变过程的元素扩散”；在“加热介质和加热计算”一节中，增加了“金属与介质的作用”与“钢铁材料在加热过程中的氧化、脱碳行为”；充实了加热节能措施的内容。第6章增加了近年来生产中得到广泛应用的“QPQ处理”一节；补充了“真空渗锌”的内容；“离子化学热处理”一节增加了“离子渗氮材料的选择及预处理”、“离子渗氮层的组织”、“离子渗氮层的性能”等内容；对“气相沉积技术”的内容进行了调整和补充，反映了该技术的快速发展；在“离子注入技术”中，增加了“非金属离子注入”、“金属离子注入”和“几种特殊的离子注入方法”。第8章增加了“高温合金的热处理”和“贵金属及其合金的热处理”两节，使其内容更加完整。第10章增加了“电合金及其热处理”一节，对各种功能合金的概念和性能作了一定的补充。增加了“第11章其他热处理技术”，包括“磁场热处理”、“强烈淬火”和“微弧氧化”三节。这些热处理技术虽然早已有之，但从20世纪90年代以来，在国内外，特别在一些工业发达国家得到了快速发展，并受到日益广泛的重视，从这个意义上也可称为热处理新技术。

第2卷修订时增加了典型零件热处理新技术、新材料和新工艺。第3章增加了“齿轮的材料热处理质量控制与疲劳强度”一节。第5章增加了55CrMnA、60CrMnA、60CrMnMoA钢等新钢种的热处理。第6章全部采用最新标准，增加了不少新钢种的热处理。第8章增加了“如何得到高速钢工具的最佳使用寿命”一节。第11章补充了“涨断连杆生产新工艺”。第12章增加了数控机床零件热处理的内容。第13章重写了“凿岩用钎头”一节，增加了很多新钢种及其热处理工艺。第14章增加了“预防热处理缺陷的措施”一节。第16章增加了“天然气压缩机活塞杆的热处理”一节。第17

章补充了柱塞泵热处理新工艺（真空热处理、稳定化热处理等）。第19章补充了飞机起落架新材料16Co14Ni10Cr2Mo热处理工艺、涡轮叶片定向合金和单晶合金热处理工艺。

第3卷的修订注意反映热处理设备相关领域的技术进展情况，增加了近几年开发的新技术和新设备方面的内容，增加了热处理节能、环保和安全方面的技术要求。各章增加的内容有：第5章增加了“活性屏离子渗氮炉”。第9章增加了“淬火冷却过程的控制装置”和“淬火槽冷却能力的测定”。第10章增加了“溶剂型真空清洗机”。第11章增加了“热处理过程真空控制”与“冷却过程控制”。第12章增加了“淬火介质的选择”与“淬火介质使用常见问题及原因”。

第4卷中对各章节内容进行了调整和充实，部分章节进行了重新编写。第1章充实了“计算机在质量管理中的应用”一节。第3章改写并充实了“光谱分析”与“微区化学成分分析”两节的内容。第7章重新编写了“内部缺陷检测”与“表层缺陷检测”，更深入地介绍了常用无损检测方法的原理与技术。第10章充实了金属材料全面腐蚀的内容，增加了液态金属腐蚀。第11章调整了部分内容结构，增加了相关的实用数据。

近年来，我国的国家标准和行业标准更新速度加快。2001年至今，与热处理技术相关的相当数量的标准被修订，并颁布了一些新标准，本版手册内容基本上按新标准进行了更新。对于个别标准，如GB/T 228—2002《金属材料 室温拉伸试验方法》，新旧标准指标、名称和符号差异较大，又考虑到手册中引用的资料、数据形成的历史跨度长，目前在手册中贯彻新标准，似乎尚不成熟。为了方便读者，我们采用了过渡方法，参照GB/T 228—2002《金属材料 室温拉伸试验方法》，在第4卷附录部分列出了拉伸性能指标名称和符号的对照表，供读者查阅参考。

本次参与修订工作的人员众多，从编写、审定到出版的时间较紧，手册不足之处在所难免，恳请读者指正。

中国机械工程学会热处理学会  
《热处理手册》第4版编委会

# 目 录

## 前言

## 第 1 章 基础资料 ..... 1

### 1.1 金属热处理分类及代号 ..... 1

#### 1.1.1 基础分类 ..... 1

#### 1.1.2 附加分类 ..... 1

#### 1.1.3 常用热处理工艺及代号 ..... 2

### 1.2 合金相图 ..... 3

#### 1.2.1 铁碳系合金相图 ..... 3

#### 1.2.2 其他铁基合金相图 ..... 9

#### 1.2.3 铝基、铜基及钛基合金相图 ..... 10

### 1.3 现行热处理标准题录 ..... 16

### 参考文献 ..... 19

## 第 2 章 金属热处理的加热 ..... 20

### 2.1 金属和合金相变过程中的 元素扩散 ..... 20

#### 2.1.1 扩散的一般规律 ..... 20

#### 2.1.2 碳在钢中的扩散 ..... 20

### 2.2 钢的加热转变 ..... 21

#### 2.2.1 珠光体—奥氏体转变 ..... 21

#### 2.2.2 铁素体—珠光体向奥氏体的 等温转变 ..... 23

#### 2.2.3 连续加热时的奥氏体形成 过程 ..... 24

#### 2.2.4 钢加热时的奥氏体晶粒 长大 ..... 26

#### 2.2.5 过热和过烧 ..... 27

#### 2.2.6 钢的晶粒度对性能的 影响 ..... 28

#### 2.2.7 奥氏体晶粒度的显示和 测定 ..... 29

### 2.3 加热介质和金属与介质的 作用 ..... 31

#### 2.3.1 加热介质分类 ..... 31

#### 2.3.2 金属在各种介质中加热时的

行为 ..... 31

### 2.4 加热计算公式及常用 图表 ..... 42

#### 2.4.1 影响加热速度的因素 ..... 42

#### 2.4.2 钢件加热时间的经验 计算法 ..... 42

#### 2.4.3 从节能角度考虑的加热时间 计算法 ..... 43

### 2.5 加热节能措施 ..... 47

#### 2.5.1 加热设备的节能 ..... 47

#### 2.5.2 加热工艺措施节能 ..... 50

#### 2.5.3 合理的生产管理 ..... 53

### 2.6 可控气氛 ..... 53

#### 2.6.1 分类及用途 ..... 53

#### 2.6.2 制备方法 ..... 61

#### 2.6.3 炉气控制原理 ..... 81

#### 2.6.4 炉气检测方法 ..... 85

### 2.7 加热熔盐和流态床 ..... 90

#### 2.7.1 加热熔盐的成分及用途 ..... 90

#### 2.7.2 盐浴的脱氧及脱氧剂 ..... 95

#### 2.7.3 长效盐 ..... 95

#### 2.7.4 流态床加热的特点 ..... 95

### 2.8 真空中的加热 ..... 102

#### 2.8.1 金属在真空中加热时的 行为 ..... 102

#### 2.8.2 金属在真空中的加热 速度 ..... 103

### 参考文献 ..... 105

## 第 3 章 金属热处理的冷却 ..... 106

### 3.1 钢的过冷奥氏体转变 ..... 106

#### 3.1.1 过冷奥氏体的高温分解 ..... 106

#### 3.1.2 马氏体转变与马氏体 ..... 109

#### 3.1.3 贝氏体转变与贝氏体 ..... 114

#### 3.1.4 过冷奥氏体等温分解转变 动力学 ..... 117

### 3.2 钢件热处理的冷却过程 ..... 122

3.2.1 热处理的各种冷却方式 .....	122	特点 .....	239
3.2.2 钢冷却时的内应力 .....	123	5.1.3 感应器 .....	244
3.2.3 淬火裂纹 .....	125	5.1.4 感应淬火工艺 .....	260
3.2.4 淬火畸变 .....	127	5.1.5 超高频脉冲和大功率脉冲感应 淬火 .....	275
3.3 淬火冷却介质 .....	130	5.1.6 感应淬火件的回火 .....	277
3.3.1 淬火冷却介质应具备的特性 及其分类 .....	130	5.1.7 感应淬火常见的质量问题及 返修 .....	278
3.3.2 淬火介质冷却特性的评价 方法 .....	130	5.2 火焰淬火 .....	278
3.3.3 常用淬火介质及冷却 方式 .....	139	5.2.1 火焰加热方法 .....	279
3.4 淬火冷却过程的计算机 模拟 .....	152	5.2.2 火焰喷嘴和燃料气 .....	280
3.4.1 导热计算 .....	152	5.2.3 火焰淬火工艺规范 .....	283
3.4.2 相变量的计算 .....	153	5.3 激光、电子束热处理 .....	287
3.4.3 应力场分析 .....	154	5.3.1 激光热处理的特点 .....	287
3.4.4 复杂淬火操作的模拟以及 非线性处理 .....	154	5.3.2 电子束热处理的特点 .....	289
3.4.5 借助于计算机模拟进行热处理 虚拟生产 .....	155	5.3.3 表面相变硬化 .....	289
参考文献 .....	155	5.3.4 表面熔化快速凝固硬化 .....	300
<b>第4章 钢铁件的整体 热处理</b> .....	157	5.3.5 表面合金化和熔覆 .....	303
4.1 钢的热处理 .....	157	5.3.6 激光热处理设备 .....	305
4.1.1 钢的退火与正火 .....	157	5.4 其他表面热处理方式 .....	307
4.1.2 钢的淬火 .....	163	5.4.1 接触电阻加热表面淬火 .....	307
4.1.3 钢的回火 .....	184	5.4.2 电解液加热表面淬火 .....	308
4.1.4 钢的感应穿透加热调质 .....	191	5.4.3 浴炉加热表面淬火 .....	309
4.2 铸铁的热处理 .....	194	参考文献 .....	309
4.2.1 铸铁的分类和应用 .....	194	<b>第6章 化学热处理</b> .....	310
4.2.2 铸铁热处理基础 .....	199	6.1 钢的渗碳 .....	311
4.2.3 白口铸铁的热处理 .....	207	6.1.1 渗碳原理 .....	311
4.2.4 灰铸铁的热处理 .....	209	6.1.2 渗碳方法 .....	313
4.2.5 球墨铸铁的热处理 .....	216	6.1.3 渗碳用钢及渗碳后的热 处理 .....	327
4.2.6 可锻铸铁的热处理 .....	229	6.1.4 渗碳层的组织和性能 .....	329
参考文献 .....	235	6.1.5 渗碳件质量检查、常见缺陷及 防止措施 .....	331
<b>第5章 表面加热热处理</b> .....	236	6.2 钢的碳氮共渗 .....	332
5.1 感应加热热处理 .....	236	6.2.1 概述 .....	332
5.1.1 感应加热原理 .....	236	6.2.2 气体碳氮共渗 .....	333
5.1.2 钢件感应加热时的相变 特点 .....	239	6.2.3 其他碳氮共渗方法 .....	336
		6.2.4 碳氮共渗用钢及共渗后的 热处理 .....	337
		6.2.5 碳氮共渗层的组织和 性能 .....	339

6.2.6 碳氮共渗工件质量检查与常见缺陷及防止措施 .....	341	7.3.1 高温形变热处理工艺 .....	458
6.3 渗氮及以氮为主的共渗 .....	342	7.3.2 钢高温形变淬火的组织变化 .....	461
6.3.1 渗氮 .....	343	7.3.3 钢高温形变热处理后的力学性能 .....	463
6.3.2 氮碳共渗 .....	359	7.3.4 钢的锻热淬火 .....	469
6.3.3 氧氮共渗 .....	365	7.3.5 控制轧制 .....	472
6.3.4 硫氮共渗 .....	365	7.3.6 非调质钢 .....	474
6.3.5 硫氮碳共渗 .....	367	7.4 表面形变热处理 .....	474
6.4 渗金属及碳氮之外的非金属 .....	368	7.4.1 表面高温形变淬火 .....	474
6.4.1 渗硼 .....	368	7.4.2 预冷形变表面形变热处理 .....	476
6.4.2 渗铝 .....	371	7.4.3 表面形变时效 .....	477
6.4.3 渗锌 .....	376	7.5 形变化学热处理 .....	478
6.4.4 渗铬 .....	378	7.5.1 形变对扩散过程的影响 .....	478
6.4.5 熔盐碳化物覆层工艺 .....	381	7.5.2 钢件化学热处理后的冷形变 .....	479
6.4.6 渗硫 .....	383	7.5.3 钢件化学热处理后的表面高温形变淬火 .....	479
6.4.7 渗硅、钛、铌、钒、锰 .....	384	7.5.4 钢件晶粒多边化处理后的化学热处理 .....	479
6.4.8 多元共渗与复合渗 .....	385	参考文献 .....	480
6.5 离子化学热处理 .....	388	<b>第8章 非铁金属的热处理</b> .....	481
6.5.1 离子化学热处理基础 .....	388	8.1 铜及铜合金的热处理 .....	481
6.5.2 离子渗氮 .....	392	8.1.1 铜及铜合金的性能及用途 .....	481
6.5.3 离子氮碳共渗 .....	402	8.1.2 铜及铜合金的热处理概述 .....	491
6.5.4 离子渗碳及碳氮共渗 .....	404	8.1.3 黄铜的热处理 .....	492
6.5.5 离子渗硫及含硫介质的多元共渗 .....	406	8.1.4 青铜的热处理 .....	495
6.5.6 离子渗硼 .....	410	8.1.5 白铜及其热处理 .....	501
6.5.7 离子渗金属 .....	410	8.2 铝及铝合金的热处理 .....	504
6.6 气相沉积与离子注入技术 .....	412	8.2.1 纯铝的特性 .....	504
6.6.1 气相沉积技术 .....	412	8.2.2 铝合金的分类 .....	505
6.6.2 离子注入技术 .....	428	8.2.3 变形铝合金 .....	505
参考文献 .....	436	8.2.4 铸造铝合金 .....	510
<b>第7章 形变热处理</b> .....	437	8.2.5 变形铝合金的退火 .....	510
7.1 概述 .....	437	8.2.6 变形铝合金的固溶处理与时效 .....	515
7.2 低温形变热处理 .....	439	8.2.7 其他热处理 .....	525
7.2.1 低温形变热处理工艺 .....	439	8.2.8 变形铝合金加工及热处理状态标记 .....	529
7.2.2 钢低温形变热处理的组织变化 .....	443		
7.2.3 钢低温形变热处理后的力学性能 .....	445		
7.2.4 其他低温形变热处理 .....	451		
7.3 高温形变热处理 .....	458		



8.2.9 铸造铝合金的热处理 .....	530	9.2.4 粉末冶金用铁和铁合金 粉末 .....	601
8.2.10 铝合金的热处理缺陷 .....	532	9.2.5 烧结铁、钢、不锈钢粉末冶金 件的性能 .....	605
8.3 镁合金的热处理 .....	535	9.2.6 提高铁基粉末冶金件性能的 方法 .....	606
8.3.1 镁及镁合金 .....	535	9.2.7 铁基粉末冶金件的应用 .....	607
8.3.2 镁合金热处理的主要 类别 .....	538	9.2.8 铁基粉末冶金件的热 处理 .....	609
8.3.3 热处理设备和操作 .....	541	9.2.9 国外铁基粉末冶金件的牌号、 成分和性能 .....	625
8.3.4 热处理缺陷及防止方法 .....	541	9.3 钢结硬质合金及其热 处理 .....	633
8.3.5 镁合金热处理安全技术 .....	542	9.3.1 钢结硬质合金的特点、牌号、 性能和用途 .....	633
8.4 钛及钛合金的热处理 .....	542	9.3.2 钢结硬质合金的热处理 .....	634
8.4.1 钛合金中的合金元素 .....	544	9.3.3 钢结硬质合金的组织与 性能 .....	637
8.4.2 工业纯钛及钛合金的分类 .....	544	9.4 粉末高速钢及其热处理 .....	643
8.4.3 钛合金中的不平衡相变 .....	549	9.4.1 粉末高速钢类别和性能 .....	643
8.4.4 钛合金的热处理 .....	555	9.4.2 热等静压和热挤压粉末高 速钢 .....	643
8.4.5 影响钛合金热处理质量的 因素 .....	560	9.5 硬质合金及其热处理 .....	644
8.5 高温合金的热处理 .....	561	9.5.1 硬质合金的分类和用途 .....	644
8.5.1 高温合金的分类和牌号 表示法 .....	561	9.5.2 影响硬质合金性能的 因素 .....	646
8.5.2 高温合金中的合金化元素及 其作用 .....	561	9.5.3 硬质合金的牌号、性能和 用途 .....	648
8.5.3 高温合金强化机制简介 .....	562	9.5.4 硬质合金的热处理 .....	649
8.5.4 高温合金的热处理 .....	563	9.5.5 国外硬质合金牌号、性能及 用途 .....	652
8.6 贵金属及其合金的热处理 .....	572	参考文献 .....	654
8.6.1 贵金属及其合金的应用 范围 .....	572	<b>第 10 章 功能合金的热 处理</b> .....	655
8.6.2 贵金属基合金的热处理 .....	584	10.1 电性合金及其热处理 .....	655
参考文献 .....	594	10.1.1 金属的导电性 .....	655
<b>第 9 章 铁基粉末冶金件及硬质 合金的热处理</b> .....	595	10.1.2 导电合金 .....	659
9.1 概论 .....	595	10.1.3 电阻合金 .....	677
9.1.1 粉末冶金的应用范围 .....	595	10.2 磁性合金的热处理 .....	688
9.1.2 粉末冶金方法 .....	595	10.2.1 金属磁性的物理基础 .....	688
9.1.3 粉末冶金材料的分类 .....	599		
9.2 铁基粉末冶金件及其热 处理 .....	600		
9.2.1 铁基粉末冶金材料的 分类 .....	601		
9.2.2 铁基粉末冶金材料的标记 方法 .....	601		
9.2.3 铁基粉末冶金件的制造工艺 流程 .....	601		

10.2.2 软磁合金的热处理 .....	692
10.2.3 永磁合金的热处理 .....	707
10.3 膨胀合金的热处理 .....	725
10.3.1 金属的热膨胀特性 .....	725
10.3.2 低膨胀合金的热处理 .....	727
10.3.3 铁磁性定膨胀合金的热处理 .....	735
10.3.4 无磁性定膨胀合金的热处理 .....	744
10.3.5 高膨胀合金的热处理 .....	747
10.4 弹性合金的热处理 .....	750
10.4.1 金属的弹性性能 .....	750
10.4.2 高弹性合金的热处理 .....	753
10.4.3 恒弹性合金的热处理 .....	776
10.5 形状记忆合金及其定形热处理 .....	786
10.5.1 超弹性和形状记忆效应 .....	786
10.5.2 钛镍形状记忆合金 .....	792
10.5.3 铜基形状记忆合金 .....	801
10.5.4 形状记忆合金的应用 .....	809
参考文献 .....	816

<b>第 11 章 其他热处理技术 .....</b>	<b>817</b>
11.1 磁场热处理 .....	817
11.1.1 磁场对材料固态相变的影响 .....	817
11.1.2 磁场热处理对材料性能的影响及应用 .....	820
11.1.3 磁场淬火设备及存在的问题 .....	821
11.2 强烈淬火 .....	822
11.2.1 强烈淬火原理 .....	822
11.2.2 强烈淬火对钢组织性能的影响及其应用 .....	823
11.2.3 强烈淬火设备 .....	825
11.3 微弧氧化 .....	826
11.3.1 微弧氧化发展过程 .....	826
11.3.2 微弧氧化基本原理 .....	826
11.3.3 微弧氧化工艺及其装置 .....	828
11.3.4 微弧氧化的应用实例 .....	828
参考文献 .....	832

# 第1章 基础资料

太原理工大学 侯增寿  
山西工程职业技术学院 孙亦惠  
西安交通大学 周敬恩

## 1.1 金属热处理分类及代号

表 1-1 为 GB/T 12603—2005 按工艺类型、工艺名称和实现工艺的加热方法等三个层次划分的金属热处理基础分类及代号。

### 1.1.1 基础分类

表 1-1 热处理工艺分类及代号

工艺总称	代 号	工艺类型	代 号	工艺名称	代 号
热处理	5	整体热处理	1	退火	1
				正火	2
				淬火	3
				淬火和回火	4
				调质	5
				稳定化处理	6
				固溶处理；水韧处理	7
				固溶处理 + 时效	8
		表面热处理	2	表面淬火和回火	1
				物理气相沉积	2
				化学气相沉积	3
				等离子体增强化学气相沉积	4
				离子注入	5
		化学热处理	3	渗碳	1
				碳氮共渗	2
				渗氮	3
				氮碳共渗	4
				渗其他非金属	5
				渗金属	6
				多元共渗	7

### 1.1.2 附加分类

GB/T 12603—2005 采用相应的英文字头作

为不同加热介质、各种退火工艺、不同淬火冷却介质和冷却方法以及渗碳、碳氮共渗后各种冷却方法的代号，见表 1-2。

表 1-2 热处理工艺、介质及方法代号

加热方式	可控气氛 (气体)	真空	盐浴 (液体)	感应	火焰	激光	电子束	等离子体	固体 装箱	流态床	电接触		
代号	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11		
退火工艺	去应力 退火	均匀化 退火	再结晶 退火	石墨化 退火	脱氢 处理	球化 退火	等温 退火	完全 退火	不完全 退火				
代号	St	H	R	G	D	Sp	I	F	P				
冷却介质 和方法	空气	油	水	盐水	有机聚合 物水溶液	热浴	加压 淬火	双介质 淬火	分级 淬火	等温 淬火	形变 淬火	气冷 淬火	冷处理
代号	A	O	W	B	Po	H	Pr	I	M	At	Af	G	C

(续)

1.1.3 常用热处理工艺及代号

表 1-3 列出常用热处理工艺及根据基础分类代号和附加分类代号编完的工艺代号。

表 1-3 常用热处理工艺及代号

工 艺	代 号
热处理	500
整体热处理	510
可控气氛热处理	500-01
真空热处理	500-02
盐浴热处理	500-03
感应热处理	500-04
火焰热处理	500-05
激光热处理	500-06
电子束热处理	500-07
离子轰击热处理	500-08
流态床热处理	500-10
退火	511
去应力退火	511-St
均匀化退火	511-H
再结晶退火	511-R
石墨化退火	511-G
脱氢处理	511-D
球化退火	511-Sp
等温退火	511-I
完全退火	511-F
不完全退火	511-P
正火	512
淬火	513

工 艺	代 号
空冷淬火	513-A
油冷淬火	513-O
水冷淬火	513-W
盐水淬火	513-B
有机水溶液淬火	513-Po
盐浴淬火	513-H
加压淬火	513-Pr
双介质淬火	513-I
分级淬火	513-M
等温淬火	513-At
形变淬火	513-Af
气冷淬火	513-G
淬火及冷处理	513-C
可控气氛加热淬火	513-01
真空加热淬火	513-02
盐浴加热淬火	513-03
感应加热淬火	513-04
流态床加热淬火	513-10
盐浴加热分级淬火	513-10M
盐浴加热盐浴分级淬火	513-10H + M
淬火和回火	514
调质	515
稳定化处理	516
固溶处理,水韧化处理	517
固溶处理 + 时效	518
表面热处理	520
表面淬火和回火	521

(续)

工 艺	代 号
感应淬火和回火	521-04
火焰淬火和回火	521-05
激光淬火和回火	521-06
电子束淬火和回火	521-07
电接触淬火和回火	521-11
物理气相沉积	522
化学气相沉积	523
等离子体增强化学气相沉积	524
离子注入	525
化学热处理	530
渗碳	531
可控气氛渗碳	531-01
真空渗碳	531-02
盐浴渗碳	531-03
固体渗碳	531-09
流态床渗碳	531-10
离子渗碳	531-08
碳氮共渗	532
渗氮	533
气体渗氮	533-01
液体渗氮	533-03
离子渗氮	533-08
流态床渗氮	533-10
氮碳共渗	534
渗其他非金属	535
渗硼	535(B)
气体渗硼	535-01(B)
液体渗硼	535-03(B)
离子渗硼	535-08(B)
固体渗硼	535-09(B)
渗硅	535(Si)
渗硫	535(S)
渗金属	536
渗铝	536(Al)
渗铬	536(Cr)
渗锌	536(Zn)
渗钒	536(V)
多元共渗	537
硫氮共渗	537(S-N)

(续)

工 艺	代 号
氧氮共渗	537(O-N)
铬硼共渗	537(Cr-B)
钒硼共渗	537(V-B)
铬硅共渗	537(Cr-Si)
铬铝共渗	537(Cr-Al)
硫氮碳共渗	537(S-N-C)
氧氮碳共渗	537(O-N-C)
铬铝硅共渗	537(Cr-Al-Si)

## 1.2 合金相图

热处理的主要工艺过程是加热和冷却。对绝大多数热处理工艺而言,不论在加热和冷却过程中材料化学成分是否发生变化,都是通过改变材料的力学性能或物理、化学性能来改善坯料的加工工艺性能或工件的服役能力。不论最终获得何种组织,加热过程中材料的组织都将向平衡或稳定的状态变化,掌握热处理全过程中材料组织发生的变化,首先必须熟悉材料的化学成分、温度与其平衡组织间的关系。合金相图全面地表述了这种关系。

### 1.2.1 铁碳系合金相图

#### 1.2.1.1 Fe-Fe<sub>3</sub>C 及 Fe-C 二元合金相图

铁碳合金(钢和铸铁)碳含量超过它在铁中的溶解度后,在不同条件下将分别以 Fe<sub>3</sub>C(渗碳体)或石墨两种形式存在。过剩的碳以前一种状态存在时,合金组织处于准平衡状态;以后一种状态存在时,合金组织处于平衡状态。Fe-Fe<sub>3</sub>C 合金相图及 Fe-C 合金相图分别表述铁碳合金的准平衡组织和平衡组织与碳含量和温度的关系(见图1-1)。

相区中标出的符号及各特性点、特性线和含义见表1-4~表1-6。

#### 1.2.1.2 主要合金元素对钢铁平衡组织及平衡相变温度的影响

1. 对共晶组织、共析组织碳含量及碳在奥氏体中溶解度的影响 钢铁中常用主要合金元素对共晶组织、共析组织碳含量及碳在奥氏体中的最大溶解度可用 C、S、E 点成分坐标的偏移量粗略表示(见表1-7)。

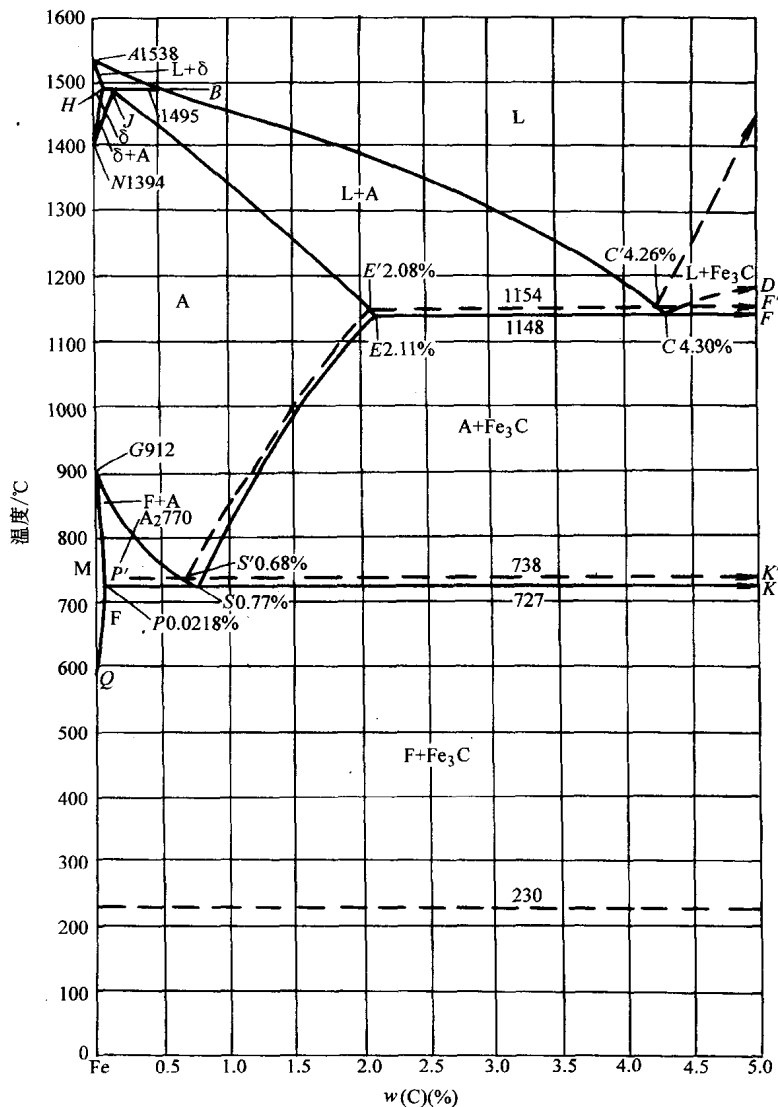


图 1-1 Fe-Fe<sub>3</sub>C 及 Fe-C 相图

表 1-4 Fe-Fe<sub>3</sub>C 及 Fe-C 合金

(续)

相图相区中的代号

代号	相的名称	结 构
F	铁素体	碳在 α-Fe 中的间隙固溶体, 体心立方结构, 有时以 α 为代号
A	奥氏体	碳在 γ-Fe 中的间隙固溶体, 面心立方结构, 有时以 γ 为代号

代号	相的名称	结 构
δ	δ 固溶体	碳在 δ-Fe 中的间隙固溶体, 体心立方结构
Fe <sub>3</sub> C	渗碳体	以分子式 Fe <sub>3</sub> C 表述的金属化合物, 正交点阵
G	石墨	游离的碳晶体, 密排六方结构
L	液相	铁碳合金的熔融液体

表 1-5 Fe-Fe<sub>3</sub>C 及 Fe-C 合金相图中的特特点

点	°C	w(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(Fe-Fe <sub>3</sub> 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 (Fe-Fe <sub>3</sub> 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 (Fe-Fe <sub>3</sub> C 系)
F'	1154	6.69	共晶线的端点 (Fe-C 系)
G	912	0	$\alpha$ -Fe $\rightleftharpoons$ $\gamma$ -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 (Fe-Fe <sub>3</sub> C 系)
K'	738	6.69	共析线的端点 (Fe-C 系)
M	770	0	$\alpha$ -Fe 的磁性转变点
N	1394	0	$\gamma$ -Fe $\rightleftharpoons$ $\delta$ -Fe 同素异构转变点
O	770		铁素体的磁性转变点
P	727	0.0218	Fe-Fe <sub>3</sub> C 系碳在 F 中的最大溶解度
P'	738	0.02	Fe-C 系碳在 F 中的最大溶解度
Q		0.008	碳在 F 中的常温溶解度
S	727	0.77	Fe-FeC 系中的共析点
S'	738	0.68	Fe-C 系中的共析点

2. 常用主要合金元素对 C、S、E 点温度坐标的影响 如表 1-8 所示。

表 1-6 Fe-Fe<sub>3</sub>C 及 Fe-C 合金相图中的特性线

特 性 线	说 明
AB	$\delta$ 相的液相线
BC	A 的液相线
CD	Fe <sub>3</sub> C 的液相线
CD'	G 的液相线 (Fe-C 系)
AH	$\delta$ 的固相线
JE	A 的固相线
JE'	A 的固相线 (Fe-C 系)
HN	$\delta \rightarrow A$ 始温线
JN	$\delta \rightarrow A$ 终温线
GS	A $\rightarrow$ F 始温线 (A <sub>3</sub> )
GS'	A $\rightarrow$ F 始温线 (Fe-C 系)
230°C 水平线	Fe <sub>3</sub> C 的磁性转变线
GP	A $\rightarrow$ F 终温线
ES	A $\rightarrow$ Fe <sub>3</sub> C 始温线 (A <sub>cm</sub> )
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 <sub>B</sub> + $\delta_H \rightleftharpoons A_1$ 包晶转变线
ECF	L <sub>C</sub> $\rightleftharpoons$ A <sub>E</sub> + Fe <sub>3</sub> C 共晶转变线
E'C'F'	L <sub>E</sub> $\rightleftharpoons$ A <sub>E'</sub> + G 共晶转变线 (Fe-C 系)
PSK	A <sub>S</sub> $\rightleftharpoons$ F <sub>p</sub> + Fe <sub>3</sub> C 共析转变线 (A <sub>1</sub> )
P'S'K'	A <sub>S</sub> $\rightleftharpoons$ F <sub>p'</sub> + G 共析转变线 (Fe-C 系)

表 1-7 Si、Mn、Ni、Cr 对 C、S、E 点成分 (质量分数) 坐标的影响  
( $\Delta C\% / 1\% Me$ )<sup>①</sup>

元素名称	C	S	E
Si	-0.3	-0.06	-0.11
Mn	+0.03	-0.05	+0.04
Ni	-0.07	-0.05	-0.09
Cr	-0.05	-0.05	-0.07

① 表示每增加 1% 的合金元素, C、S、E 点对应的碳含量变化。

表 1-8 Si、Mn、Ni、Cr 对 C、S、E 点温度坐标的影响

( $\Delta T(^{\circ}\text{C})/1\% \text{Me}$ )<sup>①</sup>

元素名称	C	S	E
Si	-(15~20)	-8	-(10~15)
Mn	+3	-9.5	+3.2
Ni	-6	-20	+4.8
Cr	+7	+15	+7.3

① 表示每增加1%的合金元素，C、S、E点对应的温度变化。

3. 合金元素在钢铁中形成的碳化物 Cr、Mo、W、V、Nb、Ta、Zr、Ti 等在钢铁中均可能形成合金碳化物或溶入  $\text{Fe}_3\text{C}$ 。合金碳化物一般并非化学计量相而有一定成分范围，其中还可能

溶入其他元素。WC 还能以分子形式溶入 VC、NbC、TaC、ZrC、TiC。钢中碳化物的种类及其他元素在其中的可溶性见表 1-9。

### 1.2.1.3 Fe-C-Me 三元合金相图

铁碳合金中的第三组元（合金元素）使包晶、共晶、共析等三相平衡相变成为变温转变过程，不能在一定温度下完成相变，只能在一定温度范围内完成相变。与此同时，对合金元素添加量较多的 Fe-C-Me 三元合金还将发生三元包晶、三元共晶、三元共析、包共晶、包共析五相平衡转变。这些相平衡转变可在恒温下完成。图 1-2 ~ 图 1-5 作为示例展示的 Fe- $\text{Fe}_3\text{C}$ -Si(2%)、Fe-C-Si(2.4%)、Fe-C-Cr(1.6%)、Fe-C-Cr(13%) 三元合金相图。

表 1-9 钢中合金元素在碳化物中的可溶性

碳化物的分子式	Fe	Mn	Cr	Mo	W	V	Nb	Ta	Zr	Ti	常见其他分子式
$\text{Fe}_3\text{C}$	0	无限	16	$\approx 16$	1.3	0.6	$\approx 0.1$		0.1	0.15 ~ 0.25	$(\text{Fe}, \text{M})_3\text{C}$ 、 $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C}$
$\text{Cr}_7\text{C}_3$	55	多									$(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$
$\text{Cr}_{23}\text{C}_6$	35	多	溶	溶	溶	溶					$(\text{Cr}, \text{Fe})_{23}\text{C}_6$ 、 $\text{Cr}_4\text{C}$
$\text{Fe}_{21}\text{W}_2\text{C}_6$	溶	溶	溶	溶	溶	溶					$\text{M}_{23}\text{C}_6$ 、 $(\text{W}, \text{Fe})_{23}\text{C}_6$
$\text{FeMo}_2\text{C}_6$	溶	溶	溶	溶	溶	溶					$\text{M}_{23}\text{C}_6$ 、 $(\text{Mo}, \text{Fe})_{23}\text{C}_6$
WC				无限		不溶	不溶	不溶	不溶	不溶	
MoC				60~70	无限						
				原子							
$\text{W}_2\text{C}$			$\approx 50$	无限							
$\text{Mo}_2\text{C}$			$\approx 50$		无限						
VC				多	85~90	50~57	无限	无限	1 原子	无限	$\text{V}_4\text{C}_3$
					分子	原子					
NbC				溶	75~80	无限	52~56	无限	无限	无限	$\text{Nb}_4\text{C}_3$
					分子		原子				
TaC				溶	75~80	无限	无限	50~55	无限	无限	
					分子			原子			
ZrC				溶	60~65	5 原子	无限	无限	50~67	无限	
					分子				原子		
TiC			溶	溶	92 分子	无限	无限	无限	无限	50~75	$\text{M}_6\text{C}$ 、 $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$ ( $\text{W}, \text{Fe}$ ) $_6\text{C}$
										原子	
$\text{Fe}_4\text{W}_2\text{C}$	溶		溶	溶	溶	溶					$\text{M}_6\text{C}$ 、 $\text{Fe}_3\text{Mo}_3\text{C}$
$\text{Fe}_4\text{Mo}_2\text{C}$	溶		溶	溶	溶	溶					$(\text{Mo}, \text{Fe})_6\text{C}$

注：1. 只填数字者为质量分数；

2. 原子者为摩尔分数(原子)(%)；

3. 分子者为摩尔分数(分子)(%)。



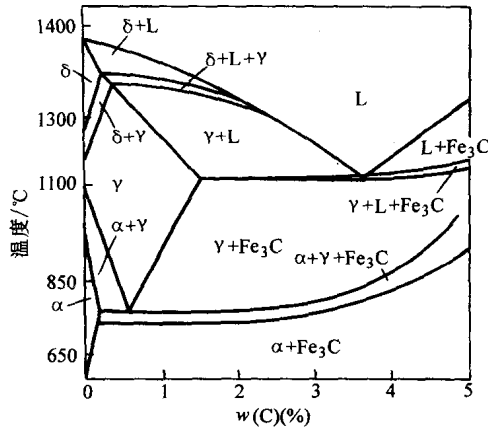


图 1-2 Fe-Fe<sub>3</sub>C-Si 三元合金相图  
(w(Si) = 2%)

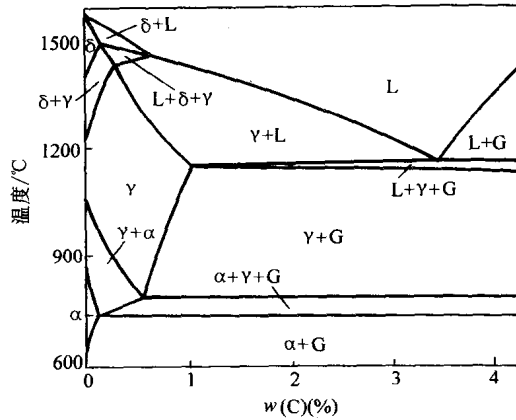


图 1-3 Fe-C-Si 三元合金相图  
(w(Si) = 2.4%)

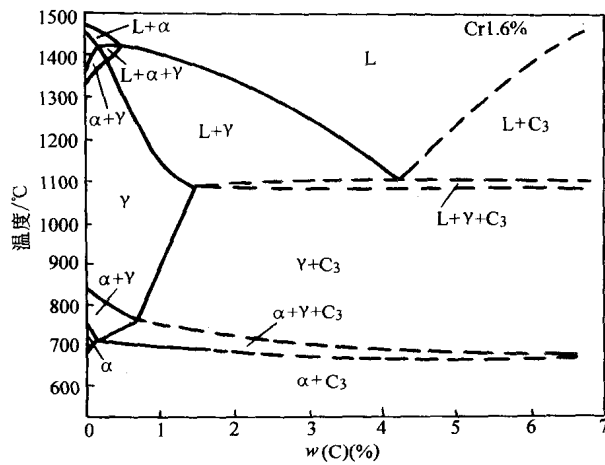


图 1-4 Fe-Fe<sub>3</sub>C-Cr 三元合金相图  
(w(Cr) = 1.6%)  
C<sub>3</sub>—(Fe, Cr)<sub>3</sub>C