

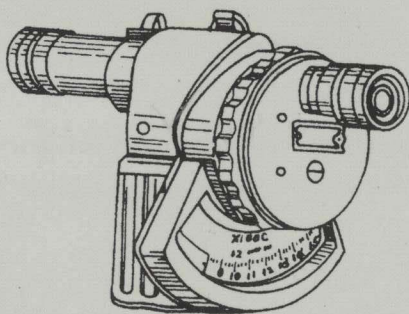


新技术时代

热处理工操作技术

RE CHU LI GONG CAO ZUO JI SHU

林约利 主编



上海科学技术文献出版社



 **新** 技术时代

机械(910) 机械工业出版社

热处理工 操作技术

RE CHU LI GONG CAO ZUO JI SHU

林约利 ◎ 主编

上海科学技术文献出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

热处理工操作技术 / 林约利主编. —上海: 上海科学技术文献出版社, 2013.1

ISBN 978-7-5439-5599-8

I. ①热… II. ①林… III. ①热处理—技术培训—教材 IV. ①TG156

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 265909 号

责任编辑: 祝静怡 夏 璐

封面设计: 汪 彦

热处理工操作技术

林约利 主编

*

上海科学技术文献出版社出版发行

(上海市长乐路 746 号 邮政编码 200040)

全国新华书店经销

上海市崇明县裕安印刷厂印刷

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 11 字数 295 000

2013 年 1 月第 1 版 2013 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5439-5599-8

定价: 25.00 元

<http://www.sstlp.com>

第 1 章 基础知识	1
一、金属的晶体结构	1
二、金属材料	5
三、金属材料的力学性能	17
四、热处理基本原理	33
五、常用加热设备	46
六、常用热工仪表及温度测量	68
复习思考题	84
第 2 章 钢的热处理基本方法	86
一、退火与正火	86
二、淬火	104
三、回火	118
四、冷处理	131
五、热处理常见缺陷及防止措施	132
六、钢的感应加热表面淬火	136
复习思考题	149
第 3 章 常用钢的热处理工艺方法	151
一、调质钢及其典型零件的热处理	151
二、弹簧钢及其典型零件的热处理	165
三、轴承钢及其典型零件的热处理	175
四、刃具钢(工具钢)及其典型零件的 热处理	186
五、模具钢及其典型零件的热处理工艺	202
六、量具钢及其典型零件的热处理	221

复习思考题	229
第4章 钢的化学热处理	230
一、钢的渗碳	230
二、钢的渗氮	259
三、碳氮共渗	275
四、氮碳共渗	278
复习思考题	283
第5章 有色金属及其热处理	284
一、铝及铝合金	284
二、铜及铜合金	294
复习思考题	302
复习思考题答案	304
附录1 常用钢材热处理工艺参数	305
附录2 常用金属材料的密度	335
附录3 各种热处理工艺代号及技术条件的标注方法	336
附录4 钢的火花鉴别	337

第1章 基础知识



1. 晶体的结构以及晶粒大小对力学性能的影响。

2. 力学性能的定义、常用力学性能表示方法及采用的法定计量单位。

3. 布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度测试原理及测试方法。

4. 分析 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 状态图, 根据 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 状态图来选择材料、制定热处理工艺。

5. 电阻炉、盐浴炉的型号、结构及正确的操作方法。

6. 常用测温、控温仪表的种类及操作方法。

一、金属的晶体结构

金属在固态时是晶体。金属的性能, 塑性变形和热处理时相变都与晶体结构有关。因此, 在学习金属热处理时, 首先要从晶体结构开始。

1. 晶体与非晶体的区别

物质是由原子组成的。根据原子在物体内部的排列方式可以把固体物质分为晶体和非晶体两大类。

晶体是指其原子都按一定几何形状作有规则排列的。如所有的固体金属和合金。

非晶体其内部原子是不规则的无序排列的,如松香、玻璃、沥青等。

晶体中原子有规则排列的方式是多种多样的。不同金属的原子排列方式可能各不相同,而同一金属当外界条件(如温度)不同时,其原子的排列方式也可能迥然不同。通常是用空间几何图形来描述晶体中原子的规则排列方式。图 1-1 所示是晶体中原子在空间作有规则排列的简单模型。

为了便于描述其排列方式,人为地将原子看作一个点,再用假想的线把各点连接起来,这样就可把图 1-1a 中的原子规则排列变成图 1-1b 所示的空间几何图形。描述晶体中原子规则排列方式的空间几何图形称为结晶格子,或称作结晶点阵,简称晶格。

由于晶体中原子排列具有周期性的特点,因此可以从晶格中选取一个能完全反映晶体特性的最小几何单元来描述晶体中原子的排列规律。该最小的几何单元称作晶胞。如图 1-1b 中的粗黑线部分所示。不难看出,整个晶格实际上是由无数大小、形状和方向相同的晶胞在空间重复排列而成的。

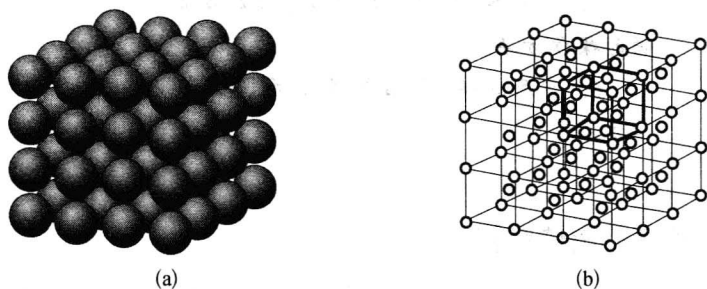


图 1-1 晶体中原子排列方式示意图

(a) 原子排列模型; (b) 结晶格子

必须指出,位于晶格点上的原子不是静止不动的,而是以结点为中心作热振动,并且随温度的升高,原子热振动的振幅也将增大。

2. 常见的晶格类型

最常见的金属晶格有三种类型:体心立方晶格,面心立方晶格,和密排六方晶格。

1) 体心立方晶格

体心立方晶格的晶胞是一个正立方体,在立方体的顶点上和立方体的中心各有一个原子,见图1-2。这种晶格称作体心立方晶格, α -Fe、Cr、Mo都属于体心立方晶格。

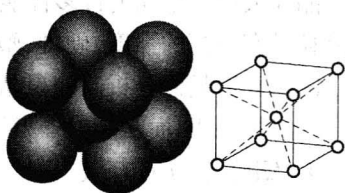


图1-2 体心立方晶格

2) 面心立方晶格

面心立方晶格的晶胞也是一个正立方体,在立方体的各个顶点上和每个面的中心各有一个原子,见图1-3。这种晶格称作面心立方晶格, γ -Fe、Ni、Cu、Al都属于面心立方晶格。

3) 密排六方晶格

密排立方晶格的晶胞是一个正六方柱体,除了柱体的顶点及底面,顶面的中心各有一个原子外,在柱体中心还有三个原子,见图1-4。Zn、Mg、 α -Ti等都属于密排六方晶格。

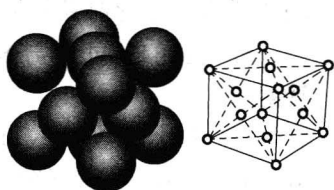


图1-3 面心立方晶格

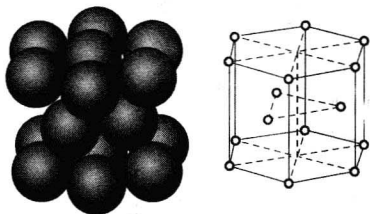


图1-4 密排六方晶格

上述三种晶格中,原子排列的致密程度是不一样的。计算表明,体心立方晶格中有68%的体积为原子所占据,其余32%的体积则为空隙;面心立方和密排六方晶格中,则有74%的体积为原子所占据,其空隙仅占26%。这就是钢铁热处理过程中,由一种晶格转变为另一种晶格时,钢铁的体积为什么发生变化的原因。也即是为什么钢铁零件会引起内应力的变化、变形和开裂的原因。

3. 晶粒大小与力学性能的关系

晶粒的大小可用单位截面上的晶粒数或晶粒的平均直径来表

示。晶粒大小对金属的许多性能都有很大影响。在常温下细晶粒比粗晶粒具有较高的强度、硬度、塑性和韧性。金属的其他性能与晶粒大小的关系需具体分析。如粗晶粒金属耐蚀性好,具有粗大晶粒的硅钢片磁滞损耗小,而在高温下工作的金属则希望具有适中的晶粒。

4. 细化晶粒的方法

金属结晶后单位截面上的晶粒数目与结晶时的形核率及长大速度有关,结晶时形核率愈大,晶粒长大速度愈小,单位面积内晶核数就愈多,晶粒也就愈细。因此,凡是促进形核,抑制长大的因素,都能细化晶粒,反之,则使晶粒粗化。

为提高金属的力学性能,常用下列方法细化晶粒:

(1) 增加过冷度 结晶时过冷度与冷却速度有关,冷却速度越大,过冷度亦越大,因此加速冷却有利于获得细晶粒组织。

(2) 进行变质处理 就是向液态金属和合金中加入少量变质剂,使结晶过程发生明显变化,从而细化晶粒,这种方法在生产中已

被广泛采用。钢中加入 Ti、Al 等能起到细化晶粒效果。

5. 金属的同素异构转变

有一些金属,如 Fe、Ti、Mn 等,在结晶之后继续冷却时,还会发生晶体结构的变化,从一种晶格转变成另一种晶格。金属在固态下晶格随温度而改变的现象称为“同素异构转变”,金属的同素异构转变现象是热处理所以能改变性能的根本原因。

铁的同素异构转变,如图 1-5 所示。

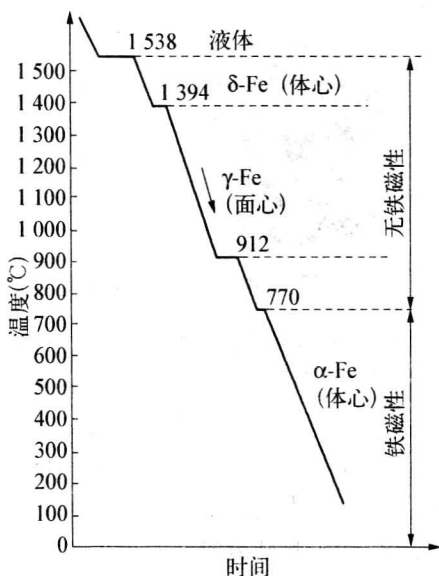


图 1-5 铁的同素异构转变

铁在结晶后具有体心立方晶格,称为 δ -Fe;冷到 $1\,394^{\circ}\text{C}$ 时,发生同素异构转变,即由体心立方晶格的 δ -Fe转变为面心立方的 γ -Fe,继续冷却到 912°C 时又发生同素异构转变,再由面心立方晶格的 γ -Fe转变成体心立方的 α -Fe,再继续冷却,晶格的类型不再发生变化。

顺便指出:由于铁在 770°C 以下具有铁磁性,高于该温度,则磁性消失,即 770°C 时发生磁性转变。发生磁性转变的温度称为磁性转变温度,但磁性转变并无晶格的变化。

由于同素异构转变是原子重新排列而形成另一种晶体的过程,所以就其实质而言,也是结晶过程,常称为重结晶。金属的同素异构转变过程,类同于液体的结晶过程。

二、金属材料

1. 金属材料的分类

金属材料可按化学成分及生产方式划分,如表1-1所示。

表 1-1 金属材料分类

按生产方式分 按化学成分	轧 制 方 式	铸 造 方 式
钢铁材料 (黑色金属)	碳素结构钢 优质碳素结构钢 低合金高强度结构钢 合金结构钢 弹簧钢 工具钢: 碳素工具钢 合金工具钢 高速工具钢 不锈钢 耐热钢	铸铁: 灰铸铁 球墨铸铁 蠕墨铸铁 可锻铸铁 抗磨白口铸铁 耐热铸铁 高硅耐蚀铸铁 铸钢: 一般工程用铸造碳钢件 焊接结构用碳素铸钢件 高锰铸钢件 中高强度不锈钢铸件 不锈钢耐蚀钢铸件 耐热钢铸件

(续 表)

按生产方式分 按化学成分分	轧 制 方 式	铸 造 方 式
非铁材料 (有色金属)	铜及铜合金: 纯铜 加工铜 加工黄铜 加工青铜 加工白铜 铝及铝合金 加工镁合金 加工钛及钛合金 硬质合金	铸造铝合金 铸造铜 铸造镁 铸造锌 铸造轴承 压铸镁合金 压铸铝合金 压铸铜合金 压铸锌合金 钛及钛合金铸件

1) 钢与铁的基本区别

工业上加工和使用的主要材料是钢铁材料,因此需要了解钢铁材料的化学成分、内部组织和性能之间的关系;掌握各种钢铁材料的牌号、性能和应用范围;会运用热处理等工艺方法改善和提高钢铁材料的加工和使用性能。

钢和铁都是以铁为基本元素,以碳为主要加入元素的铁碳合金。而它们在化学成分上的区别,主要是含碳量的不同。理论上,将含碳小于2%的铁碳合金称作钢;将含碳量大于2%的铁碳合金称作铁。实际上,钢的含碳量一般在1.4%以下;铁的含碳量在2.5%~4%之间。

在钢铁材料中还含有少量硅(Si)、锰(Mn)、磷(P)、硫(S)等杂质元素。但钢的杂质元素含量要少,化学成分比铁要均匀纯净。

这里所指的铁是各种生铁和铸铁,而不是纯铁元素。生铁是由铁矿石经过在高炉中熔炼而制成的,是炼钢和铸造生产的原材料,以铁水或铸锭方式供应。铸铁则是用生铁和其他原料适当配合,在化铁炉(如冲天炉)中重新熔化后浇注,制成具有一定化学成分、组织和性能的铸铁件毛坯。

为改善和提高钢铁材料的组织和性能,可通过加入各种金属或非金属元素,制成达数千种的合金钢和合金铸铁,以满足现代工业

和科学技术日益发展的需要。

2) 钢的分类

为适应现代工业和科学技术对钢材的多种需要和要求,钢材的品种已发展到数千种。为了科学地管理和选用,国家制定了各种钢材的分类方法。

(1) 按钢的化学成分分类

主要分为碳素钢和合金钢两大类。它们又可分为:

① 按含碳量分类

低碳钢——含碳量小于 0.25%;

中碳钢——含碳量为 0.25%~0.60%;

高碳钢——含碳量大于 0.6%。

② 按合金元素含量分类

低合金钢——含合金元素总量小于 5%;

中合金钢——含合金元素总量在 5%~10%之间;

高合金钢——含合金元素总量大于 10%。

(2) 按钢的品质分类

① 普通钢: 钢中 S、P 含量较高, S 小于或等于 0.055%, P 小于或等于 0.045%;

② 优质钢: 钢中 S、P 含量要求较低, S、P 均小于或等于 0.040%;

③ 高级优质钢: 钢中 S、P、及其他杂质含量都要求很少, S 小于或等于 0.03%, P 小于或等于 0.035%。

普通钢成本较低。在普通钢中低碳钢和低碳低合金钢占很大比重, 这类钢主要用于各类工程结构(如桥梁、车辆、船舶及各种金属结构等)。

优质钢主要用于机械零件和各类工具的制造, 这类钢一般都需要经过热处理后使用。

高级优质钢的品质最好, 但成本也最高。其表示方法是在钢的牌号后面加 A(高), 如 T10A(碳 10 高)钢为平均含碳量 1%的高级优质碳素工具钢。

(3) 按用途分类

① 结构钢：用于制造机械零件和工程结构的钢。含碳量大多在 0.7% 以下。包括碳素结构钢和合金结构钢。

② 工具钢：用于制造各种切削刀具、模具和量具。含碳量一般在 0.65%~1.35% 之间。包括碳素工具钢和合金工具钢。

③ 特殊性能钢：是指具有特殊物理、化学性能的钢，如不锈钢，一般它们都是高合金钢。

3) 碳素钢

(1) 碳素结构钢 在冶炼时要求不高，含杂质较多，但价格便宜，大量用于要求不高的机械零件和工程结构件，如钢板、角钢、钢管等。

我国现行的碳素结构钢标准是 GB 700—1988，对于这类钢的牌号按钢的屈服强度值，冠以汉字拼音字母 Q 的方式编写。与旧标准 GB 700—1979 相比，钢种(牌号与等级)已减少了许多。

Q195 不分级 相当于 A1, B1

Q215 分 A、B 级 相当于 A2, C2

Q235 A、B 级 相当于 A3, C3

C、D 级为新增

Q255 A、B 级 相当于 A4, C4

Q275 不分级 相当于 C5

旧称的“普通碳素结构钢”在现行标准中普通二字也已改去。

(2) 优质碳素结构钢 这类钢的牌号是以两位数字来表示。两位数字表示钢的平均含碳量，以 0.01% 作单位。例如 45 钢，即是平均含碳量为 0.45% 的优质碳素结构钢。

常用的优质碳素结构钢的牌号有：

10、15、20 钢号的低碳钢。这类钢的强度低，塑性和韧性好，具有良好的冷变形能力和焊接性能，常用于制作冲压零件和焊接结构。也可做渗碳零件的钢材，用于耐磨受冲击的零件，如齿轮、活塞销等。

30~50 钢号的中碳钢，经过调质热处理后，具有良好的综合机

械性能。其中以 45 钢应用最为广泛。常用于制造机械中的齿轮、轴、套筒等类零件。

55~65 钢号的中碳钢经热处理后,具有良好的强度和弹性,主要用于制造弹簧等弹性零件。

(3) 碳素工具钢 这类钢的牌号是在 T(碳)后加数字来表示。数字表示该钢的平均含碳量,以 0.1% 为单位。如 T7 表示平均含碳量为 0.7% 的碳素工具钢。

随着含碳量的增加,碳素工具钢的硬度和耐磨性提高,塑性和韧性下降。

T7、T8 钢一般用于制造具有较高硬度和韧性的工具,如冲头、錾子、简单锻模等。

T9、T10 钢用于制造具有高硬度和中等韧性的工具如车刀、板牙、丝锥、钻头。

T12、T13 钢用于制造具有高硬度而对韧性要求不高的工具,如锉刀、刮刀、量具等。

因为工具一般都必须具有高的硬度和耐磨性,只有用高碳的工具钢并经过适当的热处理后才能达到性能要求。

4) 合金钢

在碳钢的基础上加入一些合金元素制成各种合金钢,可以弥补碳钢的某些性能不足,用于制造要求更高性能或需要特殊性能的零件和工具,如用 20CrMnTi 钢制造汽车变速箱齿轮,用 60Si₂Mn 钢制造板弹簧。与碳素钢相比,合金钢具有良好的热处理性能,优良的综合力学性能及其某些特殊的物理、化学性能。

合金钢由于其冶炼和加工较复杂,成本较高,选用时应注意其性能特点和经济性。

2. 金属材料牌号的表示方法

1) 钢铁材料牌号表示方法

根据国家标准《钢铁产品牌号表示方法》的规定,我国钢号表示方法的基本原则如下:

(1) 汉字牌号和汉语拼音字母牌号并用。其优点是汉字牌号

容易记忆和识别,汉语拼音字母牌号容易书写和标记。

(2) 钢号中化学元素采用国际化学符号或汉字表示,如 Mn(锰)、Si(硅)、Cr(铬)等,但稀土元素(总称)用拉丁字母“RE”或汉字“稀土”表示。

(3) 钢中碳和合金元素含量用数字表示。碳量标在钢号最前面,合金元素含量则标在相应元素符号的后面。

碳素结构钢,与低合金高强度结构钢近年来新旧国家标准有较大变化,见表 1-2。

表 1-2 普通碳素结构钢新旧牌号对照

新标准(GB/T 700—1998)		旧标准 GB 700—1979
1. 碳 素 结 构 钢		
Q 235 - A F 表示沸腾钢 质量等级 屈服点(强度)值(MPa) 屈服点,汉语拼音第一个字母		A1~A7 甲类钢(按力学性能供应) B1~B7 乙类钢(按化学成分供应) C2~C5 特类钢 均保证力学性能及化学成分
Q195	不分等级,化学成分及力学性能必须保证	A1(力学性能同 Q195) B1(化学成分同 Q195)
Q215	A 级 B 级(做常温冲击试验)	A2 C2
Q235	A 级(不做冲击试验) B 级(常温冲击试验) C 级、D 级作重要焊接结构	A3 C3
Q255	A 级 B 级(做常温冲击试验)	A4 C4
Q275	不分等级、化学成分和力学性能均须保证	

合金钢编号采用汉字(或汉语拼音字母)、化学元素符号和数字混合组成。钢号表示方法见表 1-3;铸铁、铸钢表示方法见表 1-4。

表 1-3 钢号的表示方法

表 示 方 法	牌 号 举 例
2. 优质碳素结构钢(GB/T 699—1999)	
08 F └─表示沸腾钢,无 F 为镇静钢 └─以平均万分数表示的碳的质量分数, C = 0.08% 15 Mn └─合金元素(Mn) = 0.7% ~ 1.2% └─以平均万分数表示的碳的质量分数, C = 0.15%	08F 10F 20 08 10 40 50 60 45 20Mn 30Mn 40Mn 60Mn 70Mn
3. 合金结构钢(GB/T 3077—1999)	
20 Mn V └─合金元素(V) = 0.07% ~ 0.12% └─合金元素(Mn) = 1.30% ~ 1.60% └─以平均万分数表示的碳的质量分数, C = 0.2% A—高级优质钢 其余—优质钢	20MnZ 30Mn2MoW 40MnB 40Cr 38CrSi 12CrMo 30CrMo 30CrMnSi 50CrVA 20Cr3MoWVA 35CrMnSiA 18Cr2Ni4WA
4. 合金工具钢(GB/T 1299—1985)	
9 Mn 2 V └─合金元素(V) = 0.10% ~ 0.25% └─锰元素的最高质量分数(%) └─锰元素 └─以名义千分数表示的碳的质量分数, C = 0.9%	量具刀具用钢: 9SiCr 8MnSi Cr2 9Cr2
	冷作模具用钢: Cr12 Cr12MoV CrWMn 9CrWMn
	热作模具用钢: 5CrMnMo 5CrNiMo 3Cr2W8V 8Cr3
	塑料模用钢: 3Cr2Mo

(续 表)

表 示 方 法	牌 号 举 例	
5. 高速工具钢(GB/T 9943—1988)		
W 9 Mo 3 Cr 4 V 合金元素(V) = 1.3% ~ 1.7% 铬的平均质量分数(%) 铬元素 钼的平均质量分数(%) 钼元素 钨的平均质量分数(%) 钨元素	W18Cr4V [18—4—1] W6Mo5Cr4V2 [6—5—4—2] W18Cr4VCo5 [18—4—1—5]	W9Mo3Cr4V [9—3—4—1] W6Mo5Cr4V3 [6—5—4—3] W12Cr4V5Co5 [12—4—5—5]
6. 弹簧钢(GB/T 1222—1984)		
60 Si 2 Mn 合金元素(Mn) = 0.6% ~ 0.9% 以名义百分数表示的硅的质量分数 硅的元素符号 以平均万分数表示的碳的质量分数, C = 0.6%	65 60Si2CrA 60Si2MnB 60CrMnMoA 30W4Cr2VA	70 65Mn 50CrVA
7. 碳素工具钢(GB/T 1298—1986)		
T 8 Mn A 高级优质钢 合金元素(Mn) = 0.04% ~ 0.06% 以名义千分数表示的碳的质量分数, C = 0.8% 工具钢	T7 T10 T8MnA T9A	T8 T12 T12A T13A
8. 不锈钢(GB/T 1220—1992)		
1 Cr 18 Ni 9 镍的平均质量分数(%) 镍元素 铬元素的平均质量分数(%) 铬元素 碳元素 C ≤ 0.15%	1Cr18Ni9 0Cr19Ni9N 1Cr13 Cr17Ni2	1Cr17 1Cr17Mo 3Cr13 8Cr17