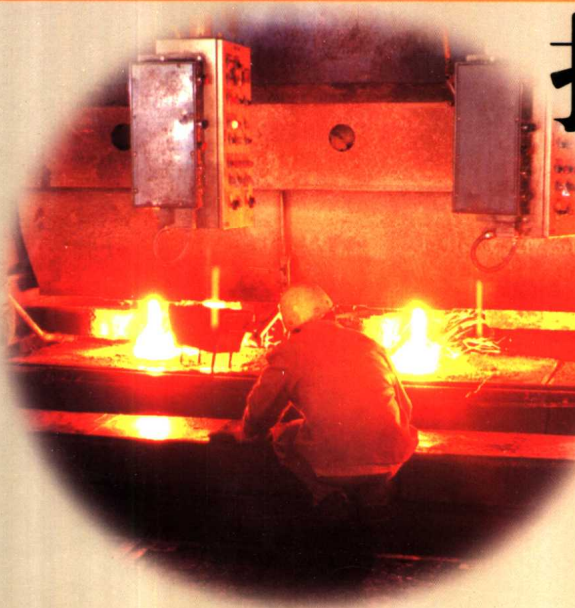


机电工人实用技术丛书

# 金属热处理工实用技术



JINSHU RECHULIGONG  
SHIYONG JISHU

● 刘世锋 徐增耀 主编



辽宁科学技术出版社

LIAONING SCIENCE AND TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

机电工人实用技术丛书

# 金属热处理工 实用技术

刘世锋 徐增耀 主编

辽宁科学技术出版社

沈 阳

## 图书在版编目(CIP)数据

金属热处理工实用技术 / 刘世锋, 徐增耀主编. — 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2004.7

(机电工人实用技术丛书)

ISBN 7-5381-4050-6

I.金… II.①刘… ②徐… III.热处理-基本知识  
IV.TG156

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 021377 号

---

出 版 者: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路 25 号 邮编 110003)

印 刷 者: 沈阳市北陵印刷厂

经 销 者: 各地新华书店

幅面尺寸: 140mm × 203mm

印 张: 12.5

字 数: 300 千字

印 数: 1~5000

出版时间: 2004 年 7 月第 1 版

印刷时间: 2004 年 7 月第 1 次印刷

责任编辑: 韩延本

封面设计: 庄庆芳

版式设计: 于 浪

责任校对: 蔡桂娟

---

定 价: 20.00 元

联系电话: 024-23284360

邮购热线: 024-23284502 23284357

E-mail: lkzxb@mail.lnpgc.com.cn

http://www.lnkj.com.cn

# 出版说明

当前国际上处于新一轮的产业调整中，制造业逐渐向发展中国家转移，我国正在成为世界上制造业的大国，机械制造业更是如此。机械制造业是技术密集型产业，它的发展离不开高素质的技术工人。我国目前有技术工人 8000 万左右，其中初级工为 60%，中级工为 35%，高级工（包括技师和高级技师）为 5%，而发达国家则为高级工 35%，中级工 50%，初级工 15%，我国的中、高级技术工人短缺现象非常严重。劳动力市场急需掌握现代机械制造技术的技工，并已出现了高薪聘请不到高级技工的现象。

为适应机械工业大发展的形势和劳动力市场的需求，培养一大批掌握现代化机械制造技术的高素质的技工是当务之急。而图书市场上，真正针对技术工人的实用技术辅导读物寥寥无几，鉴于这种状况，我们组织一些有丰富的教学和实践经验的作者，包括职业技术学院的教师、科研院所和工矿企业的高级工程师以及生产一线的高级技师，合作编写了“机电工人实用技术丛书”。

“机电工人实用技术丛书”按工种分类，选择的考虑是：从业人员较多，技术含量较高，多数企业急需。

这套书在编写内容及方式上力争做到通俗易懂，具有先进性、科学性和可操作性，具体表现在：

（1）实用性。汇集近年来的现场经验技术、技术资料与工

艺数据；

(2) 新颖性。采用新国标，或向国际标准 (ISO) 靠拢；

(3) 先进性。体现新技术、新工艺等知识；

(4) 简明性。语言精练，多用图表，便于读者阅读；

(5) 普及性。通俗易懂，适合读者自学提高，通过典型示例介绍，起到举一反三的作用。

这套书编排科学，通俗易懂，图文并茂，非常适合中、高级技术工人及现场技术人员阅读。实用、新颖是这套丛书的特色。相信这套书为生产一线的技术工人和技术人员，在提高技术水平和解决实际问题方面，能够有一些有益的帮助。

# 前 言

在机械制造工业中，热处理工艺在其中占有十分重要的地位，它对于提高产品质量、延长其使用寿命、降低生产成本起着非常重要的作用。另外，热处理工艺技术的提高，还有降低能源消耗、减轻工人的劳动强度、减少污染、改善环境质量的作用。

《金属热处理工实用技术》是一本以实用性为主的技术图书。考虑到热处理工艺操作者在生产实际中所能遇到的问题，本书的出发点就是从热处理的基本理论知识入手，突出先进性和实用性，较为全面系统地介绍了热处理生产过程中的各种实用技术，以及在热处理工艺操作过程中容易忽视的一些问题，进而提出需注意的事项，以便指导生产，保证热处理的产品质量。

全书共分七章，以金属学的基本知识为先导，用通俗易懂的语言，较全面地介绍了热处理生产中的正火、退火、淬火（包括表面淬火）、回火及化学热处理等各种常用工艺，以及执行热处理工艺过程中的操作方法。并结合具体的工艺及技术，以典型零件的热处理工艺为实例，对热处理生产中各环节可能遇到的各种问题加以探讨，目的是为了能够解决在实际操作中遇到的各种问题，以提高其生产操作技能，达到安全生产，保证产品质量。同时对常用的热处理加热设备、常用的电热元件及测温仪表作简要的介绍，使之能够正确安装、使用与维护。本书最后一章是热处

理的常用资料，目的就是为了使现场的工作人员能够随时查阅，以便指导生产过程。

本书在名词术语、定义以及工艺过程控制的表述上，均以我国有关热处理工艺的国家标准和专业标准为依据，所引用的标准均为国家标准，计量单位全部采用国际单位制。

参加本书的编写人员有刘世锋、徐增耀、黄兆国、吴建华、李学哲、黄丽荣、朱万春、张卫、王东林、邵光福等。辽宁科学技术出版社的韩延本编辑对本书提出了许多宝贵意见，在此深表谢意。

由于编者水平有限，书中的缺点和错误在所难免，诚请同行和广大读者批评指正。

**编 者**

# 目 录

## 出版说明

## 前 言

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 第一章 金属学基础知识 .....                    | 1   |
| 第一节 纯金属的结构与晶体 .....                  | 1   |
| 第二节 金属的实际晶体结构及晶体缺陷<br>对金属性能的影响 ..... | 10  |
| 第三节 常见合金的相结构 .....                   | 12  |
| 第四节 Fe-Fe <sub>3</sub> C 相图及应用 ..... | 17  |
| 第五节 扩散现象及影响扩散的因素 .....               | 29  |
| 第六节 金属的塑性变形和再结晶 .....                | 31  |
| 第二章 热处理基础知识 .....                    | 39  |
| 第一节 钢在加热和冷却时的组织转变 .....              | 40  |
| 第二节 钢的退火和正火 .....                    | 51  |
| 第三节 钢的淬火 .....                       | 60  |
| 第四节 钢的回火 .....                       | 90  |
| 第五节 热处理常见缺陷及防止、补救措施 .....            | 96  |
| 第六节 钢的表面淬火 .....                     | 101 |
| 第七节 钢的化学热处理 .....                    | 112 |
| 第八节 减少变形及防止裂纹的措施 .....               | 163 |
| 第三章 结构钢的热处理技术 .....                  | 179 |
| 第一节 调质钢及调质零件的热处理技术 .....             | 179 |



|             |                            |            |
|-------------|----------------------------|------------|
| 第二节         | 渗碳钢的热处理技术 .....            | 194        |
| 第三节         | 轴承钢的热处理技术 .....            | 208        |
| 第四节         | 弹簧钢的热处理技术 .....            | 224        |
| <b>第四章</b>  | <b>工具钢的热处理技术 .....</b>     | <b>235</b> |
| 第一节         | 碳素及低合金刀具钢的热处理 .....        | 235        |
| 第二节         | 高速工具钢的热处理 .....            | 246        |
| 第三节         | 模具钢及模具的热处理 .....           | 278        |
| 第四节         | 量具钢及量具的热处理 .....           | 303        |
| <b>第五章</b>  | <b>热处理新技术介绍 .....</b>      | <b>311</b> |
| <b>第六章</b>  | <b>常用热处理设备的使用与维护 .....</b> | <b>319</b> |
| 第一节         | 常用热处理加热设备简介 .....          | 319        |
| 第二节         | 常用的电热元件材料 .....            | 340        |
| 第三节         | 测温仪表 .....                 | 343        |
| <b>第七章</b>  | <b>热处理常用资料 .....</b>       | <b>353</b> |
| <b>参考文献</b> | <b>.....</b>               | <b>392</b> |

# 第一章 金属学基础知识

金属和合金的性能主要取决于它们的化学成分及内部组织结构。成分不同，组织与结构不同，其性能也不相同。因此，了解金属和合金的内部组织结构，对于正确选用和加工金属材料是非常重要的。

## 第一节 纯金属的结构与晶体

### 一、晶体、晶格、晶胞和晶粒的概念

#### 1. 晶体与非晶体

在物质内部，凡是原子呈无序堆积状态的物质称为非晶体，例如普通玻璃、松香、沥青、树脂等，都属于非晶体。相反，凡是原子作有序、有规则排列的物质为晶体，大多数固体状态的无机物，如石墨、天然金刚石等都是晶体；所有的固体金属和合金也属于晶体。

#### 2. 晶格和晶胞

晶体内部原子是按一定的几何形状，作有规律排列的。其排列的方式多种多样，不同的金属原子排列方式固然不同，即使是同一种金属，当外界条件（如温度）不同时，其原子排列方式也会不同。为了便于理解，把原子看成一个小球，则金属晶体就是由这些小球有规律地堆积而成的物体，如图 1-1 (a) 所示。

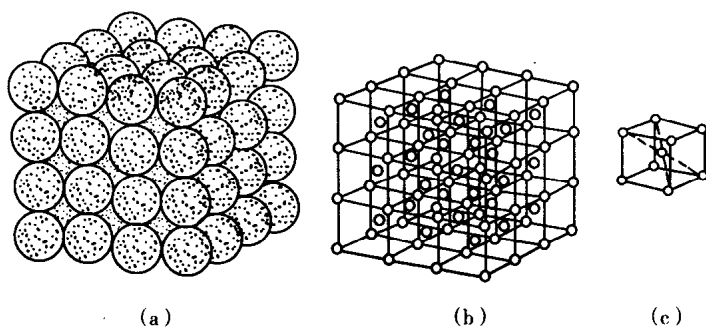


图 1-1 晶体原子排列形式示意图

(a) 原子排列模型      (b) 结晶格子      (c) 晶胞

为了形象地表示晶体中的原子排列规律，可以将原子简化成一个点，用假想的线将这些点连接起来，就构成了有明显规律的空间格子。这种表示原子在晶体中排列规律的空间格架称为结晶格子，简称晶格，如图 1-1 (b) 所示。

由图 1-1 (b) 可见，晶格是由许多形状、大小相同的最小几何单元重复堆积而成的。为了简化起见，从晶格中取出一个能够完整地反映晶格特征的最小几何单元，称为晶胞，如图 1-1 (c) 所示。

### 3. 金属晶格的类型

在金属晶体中，大多数金属都具有使其内部原子趋于最紧密排列的倾向，这就使原子在空间排列的形式大为减少。虽然金属的晶格类型很多，但绝大多数（占 85%）金属属于以下三种晶格。

(1) 体心立方晶格。它的晶胞是一个立方体，原子位于立方体的八个顶角上和立方体的中心。在晶胞的体对角线方向上，原子是彼此紧密接触排列的，两个原子中心距正好等于两个原子的半径，如图 1-2 (a) 所示。属于这种晶格类型的金属有铬 (Cr)、钒 (V)、钨 (W)、钼 (Mo) 及  $\alpha$ -铁 ( $\alpha$ -Fe) 等。

(2) 面心立方晶格。它的晶胞也是一个立方体，原子位于立方体的八个顶角上和立方体六个面的中心。在每个面的对角线上，各原子间彼此是互相接触的，如图 1-2 (b) 所示。属于这种晶格类型的金属有铝 (Al)、铜 (Cu)、铅 (Pb)、镍 (Ni) 及  $\gamma$ -铁 ( $\gamma$ -Fe) 等。

(3) 密排六方晶格。它的晶胞是一个正六方柱体，原子排列在柱体的每个顶角上和上、下底面的中心，另外三个原子排列在柱体内，与上下两个底面的原子互相紧密接触，如图 1-2 (c) 所示。属于这种晶格类型的金属有镁 (Mg)、铍 (Be)、锌 (Zn) 等。

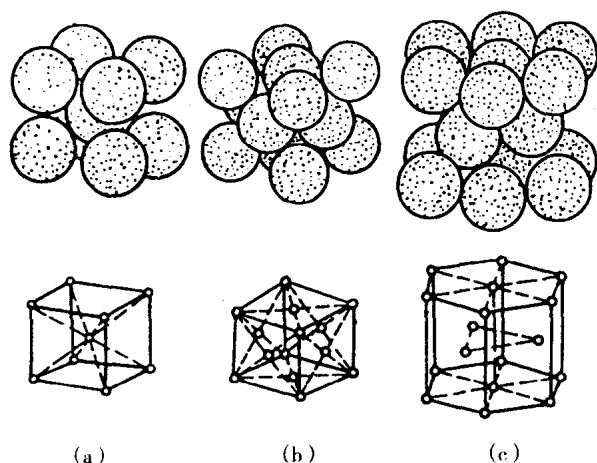


图 1-2 常见金属晶格的类型

(a) 体心立方晶格 (b) 面心立方晶格 (c) 密排六方晶格

(4) 晶粒。金属结晶最后形成了许多相互接触而外形不规则的晶体，这些外形不规则而内部原子排列规则的小晶体称为晶粒。每个小晶体内部的晶格位向是一致的，而各个小晶体彼此间位向都不相同，使它们相遇时不能合为一体，中间由一层分界面

隔开,这种晶粒与晶粒之间的界面称为晶界。

## 二、金属的结晶过程

金属的结晶是指液态金属凝固成为固态金属的过程,也就是由原子不规则排列的液体逐步过渡到原子规则排列的晶体的过程。

工业上使用的金属材料,大多数要经过熔化、浇注的工序。金属结晶后形成的铸态组织,不仅影响到铸件的性能,也会影响到轧、锻件等的性能。因此,了解金属与合金的结晶过程,掌握其变化规律,对控制和提高产品质量十分必要。

### 1. 冷却曲线和过冷度

(1) 冷却曲线。将金属熔化,然后以非常缓慢的速度冷却,记录下金属的温度随时间变化的数据,并将其绘于温度—时间直角坐标图上,便可得到纯金属的冷却曲线,如图 1-3 所示。

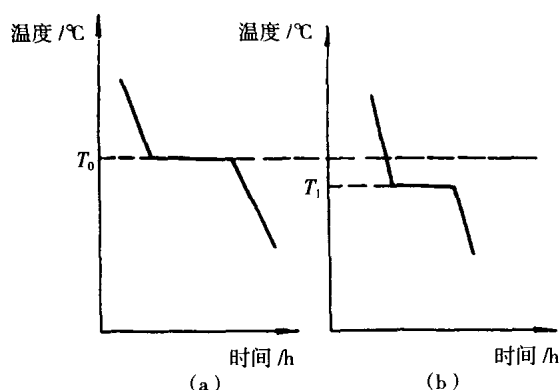


图 1-3 纯金属的冷却曲线

(a) 理论结晶温度 (b) 实际结晶温度

由冷却曲线可以看出,液体金属的温度随时间的延长而不断下降,当冷却到一定温度时,液体金属开始结晶。结晶过程是一

个能量降低的过程,故有能量释放,放出的能量称之为结晶潜热。由于液体结晶时放出的结晶潜热补偿了冷却时向外界散失的热量,因此,在结晶过程中温度保持不变,在曲线上出现水平线段。直到结晶结束时,金属的温度随时间的延长才继续下降。我们把水平线段所对应的温度  $T_0$  称为金属的结晶温度,或称金属的理论结晶温度,如图 1-3 (a) 所示。

(2) 过冷度。在实际生产中,金属自液态冷却时其冷却速度不可能非常缓慢,液态金属也就不在  $T_0$  开始结晶,而是在低于  $T_0$  的某一温度  $T_1$  下才开始结晶,这种现象称为过冷现象,  $T_1$  称为金属的实际结晶温度,如图 1-3 (b) 所示。

理论结晶温度与实际结晶温度之差值 ( $T_0 - T_1$ ) 称为过冷度,用  $\Delta T$  表示,即  $\Delta T = T_0 - T_1$ 。过冷度不是一个恒定值,它与冷却速度有关。金属液体的冷却速度越大,则实际结晶温度越低,即过冷度  $\Delta T$  越大;当冷却速度极其缓慢时,实际结晶温度便与理论结晶温度几乎趋于一致,即过冷度  $\Delta T$  趋于零。

## 2. 结晶过程

液态金属中原子的活动能力随温度的降低逐渐减弱,原子间的相互吸引作用逐渐增强。当冷却到结晶温度以下时,液态金属中首先形成一些极细小的晶体,称为晶核。在此温度下保温或继续冷却时,晶核就会吸引周围的原子,并以它为中心,按一定的几何形状进行有规律的排列,使其不断长大,与此同时,还会有新的晶核在液体中不断产生并长大,直到液体金属全部结晶为外形不规则的晶体为止。晶粒在长大的过程中,开始还能保持较规则的外形,但当它们彼此相互接触时,便不能再自由成长。因此,最后形成了许多互相接触的外形不规则的晶粒。由于各晶粒是由不同晶核成长起来的,故晶格方位不同,并自然形成晶界,图 1-4 为纯金属的结晶过程示意图。

由以上结晶过程可看出,金属的结晶是由晶核的不断形成及

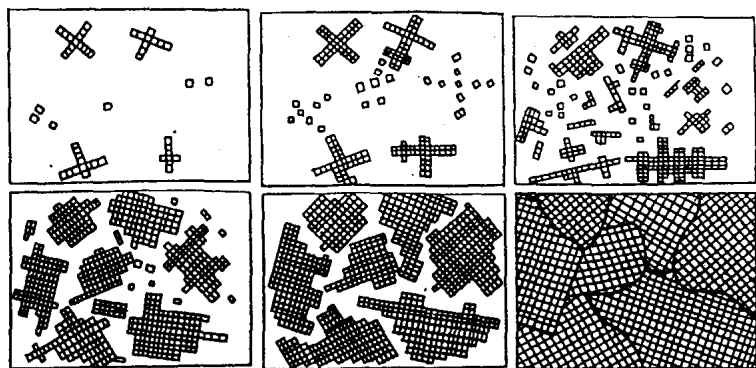


图 1-4 纯金属的结晶过程示意图

长大两个基本过程组成的，这是金属结晶时都遵循的基本规律。

### 3. 细化晶粒的方法

金属的晶粒大小对其力学性能有很大影响。一般来说，在室温下细晶粒金属具有较高的强度、塑性和韧性。因此，为了提高金属的力学性能，必须了解影响晶粒大小的因素及细化晶粒的方法。

由于金属的结晶过程是由晶核的产生及晶核长大两个基本过程组成的，则结晶后的晶粒大小必然与形核率  $N$ （单位时间、单位体积内形成的晶核数目）和晶核的长大速度  $v$ （单位时间由晶粒生长的线长度）的相对大小有密切关系。形核率越大，长大速度越小，则晶粒越细小。因此，要控制金属结晶后晶粒的大小，就必须控制形核率  $N$  和长大速度  $v$ 。生产中细化晶粒的方法有以下几种。

(1) 增大过冷度。形核率  $N$  和长大速度  $v$  与过冷度有着密切的关系，图 1-5 为形核率  $N$  和长大速度  $v$  与过冷度  $\Delta T$  关系的示意图。由图 1-5 可以看出，过冷度增大时，金属液体的冷却速

度加快，结晶能力增强，形核率大大增加，而长大速度增加的相对缓慢，因此，可以使金属晶粒细化。

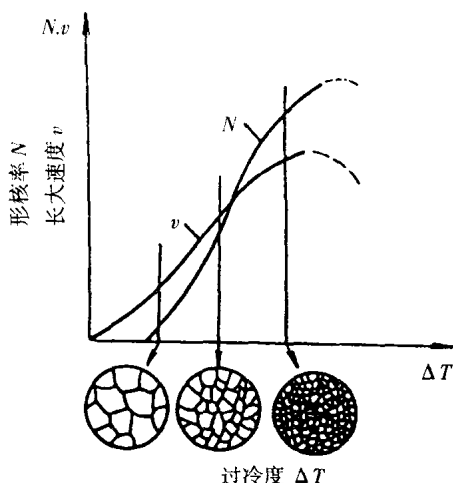


图 1-5 形核率  $N$  和长大速度  $v$  与过冷度  $\Delta T$  的关系示意图

(2) 孕育处理。增大过冷度的方法在铸造生产中并不是细化晶粒的最佳方法，特别是大型铸件，要获得大的过冷度难以实现，而且冷却速度过大往往会导致铸件产生变形或开裂。因此，铸造生产中，在浇注前，有意地在液态金属中加入一些细小的其他固态金属或合金，称为孕育剂，金属将沿着这些固体质点表面形核和长大，从而起到了增大形核率  $N$  或阻碍晶粒长大的作用，以达到细化晶粒的目的，这种细化晶粒的方法称为孕育处理。

(3) 附加振动。在金属结晶时，对金属液采取附加机械振动、超声波振动或电磁振动等措施，使已生长的晶粒因破碎而细化，同时破碎的晶粒可以起到晶核的作用，增大了形核率。另外，晶粒的破碎也降低了晶粒的长大速度，从而达到细化晶粒的目的。



### 三、铁的同素异构转变

金属在固态下随着温度的改变，由一种晶格转变为另一种晶格的现象，称为同素异构转变。具有同素异构转变的金属只有铁、钴、钛、锡、锰等少数金属，大多数金属结晶以后的晶体结构不再发生变化。

#### 1. 铁的同素异构转变过程

用热分析法测得的纯铁的冷却曲线如图 1-6 所示。由图可知液态纯铁在 1538℃ 时进行结晶，得到具有体心立方晶格的  $\delta$ -Fe，继续冷却到 1394℃ 时，发生同素异构转变，转变为具有面心立方晶格的  $\gamma$ -Fe，继续冷却到 912℃ 时，又发生同素异构转变，转变为具有体心立方晶格的  $\alpha$ -Fe，如果再继续冷却，晶格类型不再发生变化。纯铁的同素异构转变可概括用下式表示：

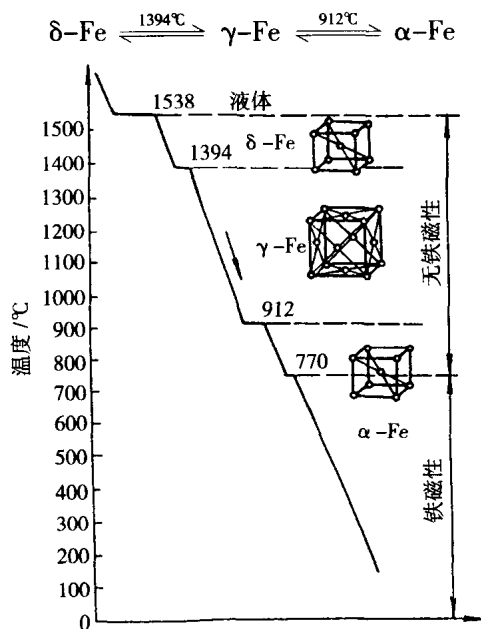


图 1-6 纯铁的冷却曲线