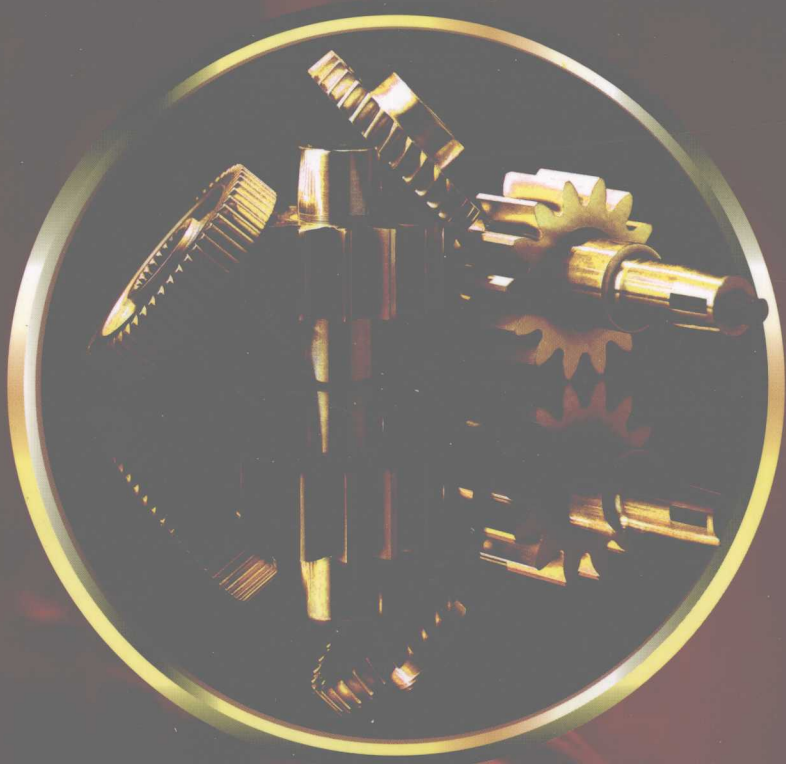




马永杰 编著

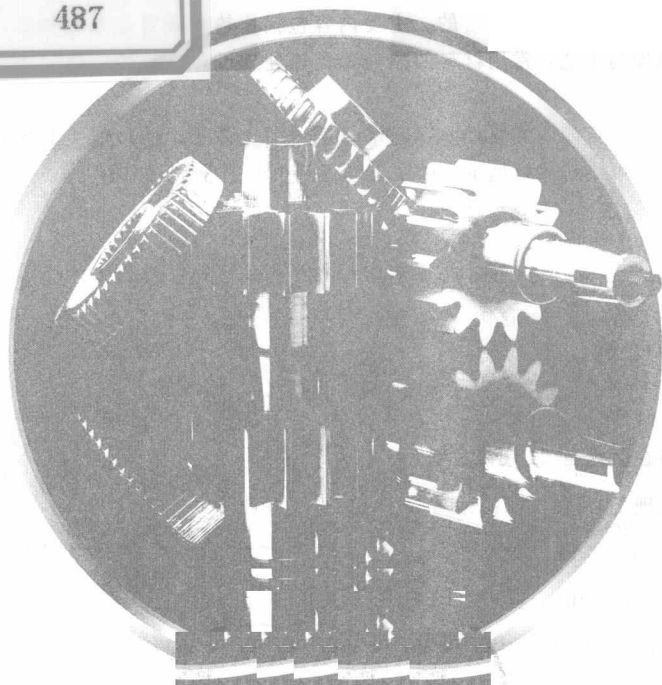
RECHULIGONG BIDU

热处理工必读



化学工业出版社

TG156
487



RECHULIGONG BIDU

热处理工必读



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是依据《国家职业标准》中热处理工的知识要求和技能要求,按照职业岗位的需要原则编写的。主要内容包括:热处理专业基础知识,钢的热处理原理与工艺,常用材料的热处理,热处理设备及维护,热处理后的工艺处理等。

本书语言简明扼要,内容通俗易懂、图文并茂,使技能更具实用性、可操作性。可用作热处理生产中工人学习用书及企业培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

热处理工必读/马永杰编著. —北京:化学工业出版社, 2009.1
ISBN 978-7-122-03871-5

I. 热… II. 马… III. 热处理 IV. TG156

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第160070号

责任编辑:丁尚林

文字编辑:徐雪华

责任校对:徐贞珍

装帧设计:周 遥

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:化学工业出版社印刷厂

850mm×1168mm 1/32 印张8 $\frac{3}{4}$ 字数233千字

2009年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686)

售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:22.00元

版权所有 违者必究

前 言

随着工业技术的发展和改革开放的不断深入，我国城乡建设急需大量的技能型人才，职业技能培训是提高劳动者素质、增强劳动者就业能力的有效措施。本书是为满足广大青年学习技术、掌握操作技能的要求，以及社会力量办学单位和农村举办短期职业培训班的需要，特别是满足下岗职工和农民工进城务工的需求，依据《国家职业标准》（以下简称为标准）中热处理工的知识要求和技能要求，按照岗位培训需要的原则编写的。

本书着重体现了“以职业活动为导向，以职业技能为核心”的指导思想，以“实用、够用”为宗旨，突出职业培训特色，以技能为主线，理论为技能服务，将理论知识和操作技能有机地结合起来。内容精炼、实用、图文并茂、通俗易懂、覆盖面广，通用性强。在编写中力求做到“知识新、工艺新、技术新、设备新和标准新”，强调先进性；在结构上，本书紧扣《标准》，以《标准》中的“工作内容”安排每章的内容，以“相关知识”安排每节的内容，以《标准》中的“技能要求”作为内容核心。另外，本书采用了最新国家标准、法定计量单位和最新名词术语，基本上能满足广大热处理工自学以及技能培训的需要。

本书所介绍的内容是从业者应掌握的基本知识和基本操作技能，本书中所提供的典型实例都是成熟的操作工艺，便于学习者模仿和借鉴，减少了学习中的弯路，使其能更方便、更好地运用到生产实际中去，是学习者从业和就业的良师益友。

本书在编写的过程中，得到热处理行业中的有关专家和领导的关心和支持，在此向他们表示衷心的感谢。

由于编者的能力和水平有限，再加之时间仓促，书中难免存在不足之处，恳请各位读者给予批评指正。

马永杰
2009 年 1 月

目 录

第 1 章 金属学基础知识	1
1.1 纯金属的晶体结构与结晶	1
1.1.1 纯金属的晶体结晶	1
1.1.2 纯金属的结晶	6
1.1.3 铁的同素异构转变	9
1.2 合金的构造与结晶特点	11
1.2.1 合金的构造	11
1.2.2 合金的结晶特点	15
1.3 铁碳合金相图	18
1.3.1 铁碳合金基本相	18
1.3.2 简化的 Fe-Fe ₃ C 相图	20
第 2 章 热处理原理与工艺	32
2.1 热处理基础	33
2.1.1 钢的实际相变点	33
2.1.2 钢在加热时的组织转变	34
2.1.3 奥氏体的冷却转变	37
2.2 常用的热处理工艺术语及文件使用的一般知识	43
2.2.1 常用热处理工艺术语	43
2.2.2 热处理工艺文件使用的一般知识	44
2.3 钢的退火与正火	46
2.3.1 退火与正火的目的	46
2.3.2 退火与正火工艺	47
2.3.3 退火与正火的选择	50

2.4	钢的淬火与回火	51
2.4.1	钢的淬火	51
2.4.2	钢的回火	63
2.5	钢的冷处理	66
2.6	钢的表面淬火	68
2.6.1	感应加热表面淬火的工艺制定	68
2.6.2	火焰加热表面淬火	80
2.7	热处理常见缺陷及补救措施	93
2.7.1	氧化和脱碳	93
2.7.2	过热和过烧	94
2.7.3	软点	95
2.7.4	淬火裂纹	95
2.7.5	回火缺陷	96
2.7.6	减少变形及防止裂纹的措施	97
第3章	常用材料的热处理	112
3.1	结构钢的热处理	112
3.1.1	调质钢的热处理	112
3.1.2	弹簧钢的热处理	116
3.1.3	轴承钢的热处理	120
3.2	工具钢的热处理	131
3.2.1	刀具钢的热处理	132
3.2.2	模具钢的热处理	145
3.2.3	量具钢热处理	157
3.3	铸铁的热处理	159
3.3.1	热处理的目的和特点	160
3.3.2	灰铸铁的热处理	160
3.3.3	球墨铸铁的热处理	163
3.4	特殊钢的热处理	166
3.4.1	不锈钢的热处理	166
3.4.2	耐热钢的热处理	172

3.4.3 耐磨钢的热处理	172
第4章 有色金属的热处理	174
4.1 铝合金及其热处理	174
4.1.1 概述	174
4.1.2 铝合金的热处理	176
4.1.3 常见的缺陷	180
4.2 铜合金及其热处理	182
4.2.1 概述	182
4.2.2 铜合金的热处理及应注意的问题	184
4.3 硬质合金的热处理	195
4.3.1 硬质合金的性能特点	196
4.3.2 钢结硬质合金	196
4.3.3 钢结硬质合金的热处理	197
4.4 钛合金及其热处理	199
4.4.1 金属钛	199
4.4.2 钛合金	199
4.4.3 钛合金的热处理	202
4.5 镁合金的热处理	208
第5章 热处理设备及维护	212
5.1 加热设备	212
5.1.1 电阻炉	212
5.1.2 盐浴炉	218
5.1.3 燃料炉	221
5.1.4 可控气氛炉	224
5.1.5 真空炉	228
5.2 冷却设备	229
5.2.1 水槽	230
5.2.2 油槽	230
5.2.3 淬火槽的使用要求	231
5.2.4 淬火机床	232

5.3 辅助设备	233
5.3.1 抛丸机	233
5.3.2 喷砂机	234
5.3.3 其他辅助设备	235
5.4 测温仪表	236
5.4.1 热电偶	236
5.4.2 指示毫伏计和调节式毫伏计	239
5.4.3 电子电位差计	239
5.4.4 光学高温计和辐射高温计	240
5.5 筑炉材料	241
5.5.1 耐火材料	241
5.5.2 保温材料	244
5.6 常用热处理工艺装备	245
5.6.1 常用热处理设备的安全操作知识	245
5.6.2 热处理工艺装备	245
5.6.3 热处理零件的装炉	250
5.6.4 零件热处理的装炉方法	251
第6章 热处理后的工艺处理	253
6.1 零件表面的清洗、清理	253
6.1.1 零件的清洗	253
6.1.2 零件的清理	254
6.2 热处理后零件的质量检测	255
6.2.1 布氏硬度检测	255
6.2.2 洛氏硬度检测	256
6.2.3 维氏硬度 (HV) 检测	256
6.2.4 硬度检测的操作步骤	257
6.3 热处理变形矫正	258
6.3.1 热处理零件变形规律	259
6.3.2 常用的热处理矫正方法	260
参考文献	266

第 1 章 金属学基础知识

1.1 纯金属的晶体结构与结晶

1.1.1 纯金属的晶体结晶

(1) 晶体与非晶体

一切物质都是由原子组成的。根据原子在物质内部的排列方式，可以把固体物质分为晶体和非晶体两大类。

① 非晶体 原子杂乱而无秩序的堆砌在一起的物质称为非晶体。自然界中，少数物质如普通玻璃、石蜡、沥青、松香等是非晶体。

② 晶体 原子都是按一定几何形状有规则有秩序排列的物质称为晶体。晶体中原子的排列如图 1-1(a) 所示，大多数固体状态的无机物，如水、结晶盐、石墨、天然金刚石等都是晶体，所有的固体金属和合金也都是晶体。

③ 晶体的特点 由于原子排列存在着本质上的区别，因此，

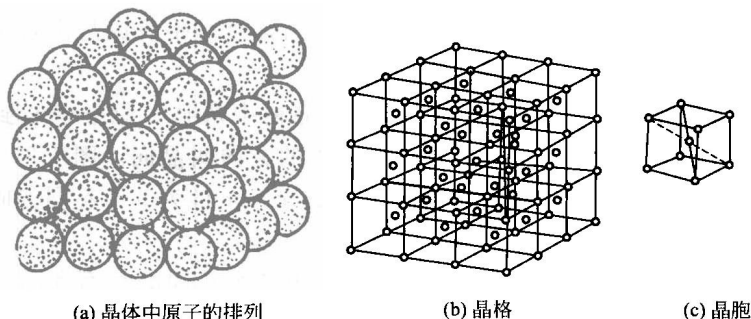


图 1-1 晶体中原子排列示意图

晶体与非晶体显示出不同的特性。晶体的特点是：

- (a) 晶体一般都具有规则几何外形；
 - (b) 晶体都有固定的熔点；
 - (c) 晶体具有各向异性，即其性能随方向而不同。
- (2) 有关晶体的概念

① 晶格 晶体中原子按一定的几何形状，作有规则排列。其排列的方式是多种多样的，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，其原子的排列方式也会不同。为了研究各种晶体中原子的排列规律，以便于分析晶体的内部结构，人为地把原子看成一个刚性的小球，用假想的线条将其连接起来，便形成了一个三维空间格架。这种用于描述原子在晶体中排列方式的空间格架称为结晶格子，简称晶格，晶格如图 1-1(b) 所示。

② 晶胞 晶体中原子的排列具有规律性，为了研究方便，可以从晶格中选取一个能够完整反映晶格特征的最小几何单元来描述晶体中原子排列的规律，该最小的几何单元称为晶胞。晶胞如图 1-1(c) 所示。由图 1-1(b) 可看出，整个晶格实际上是由无数大小、形状和方向相同的晶胞在三维空间做周期性重复排列而成的。

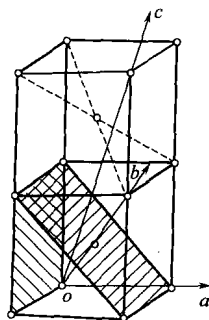


图 1-2 晶格中的
某些晶面、晶向

③ 晶面 通过晶格中若干原子中心所成的平面叫晶面。晶格中的某些晶面如图 1-2 所示，图中画有阴影线的两个平面即为两个不同的晶面，可以把晶格看成是由若干晶面排列而成的。

④ 晶向 晶格中从某一原子中心到另一原子中心所指的方向叫晶向。图 1-2 中所示的晶向如 oa 、 ob 、 oc 即为 3 个不同方向的晶向。

比较图 1-2 中各个不同的晶面和晶向可以看出，具有某一类型晶格的金属，在晶体的各个晶面或晶向上，原子的分布情况是不同的，原子密度及原子

间结合力大小也不同。因此，在同一晶体的不同晶面或晶向上就会显示出不同的性能，这就是晶体具有各向异性的原因。

(3) 常见金属的晶格类型

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。大多数金属的晶体结构主要有 3 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 它的晶胞是一个立方体。其特征是在立方体的 8 个顶角和立方体的中心，各排列 1 个原子。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原子的直径，如图 1-3(a) 所示。属于这一晶格类型的金属有钨、钨、钼、钨和 α -Fe。

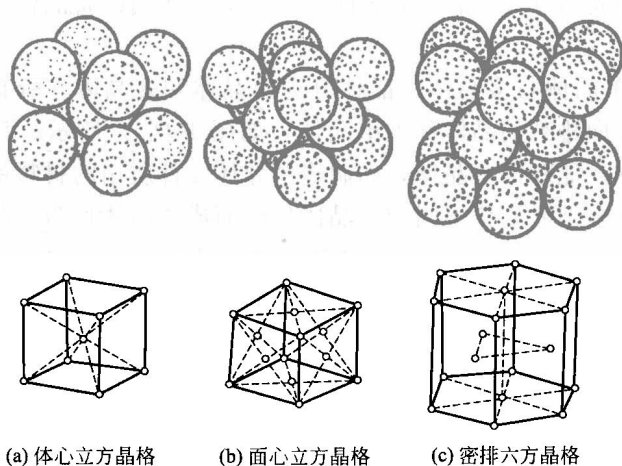


图 1-3 金属晶格的常见类型

② 面心立方晶格 它的晶胞也是一个立方体。其特征是在立方体的 8 个顶角和 6 个面的中心各排列 1 个原子。晶胞中，在每个面的对角线上各原子间彼此是相互接触的，如图 1-3(b) 所示。属于这一晶格类型的金属有铝、铜、金、银、镍、铅和 γ -Fe 等。

③ 密排六方晶格 它的晶胞是一个六方柱体。其特征是在柱体的每个顶角上及上下底面的中心各排列 1 个原子，在柱体中心还排列有 3 个原子，与上下两个底面的原子相互紧密接触，如图 1-3(c) 所示。属于这类晶格类型的金属有镁、铍、镉、锌等。

由图 1-3 可看出，上述 3 种晶格中，原子排列的致密程度是不同的，这将对金属的性能产生很大影响。例如，一般面心立方晶格金属的塑性比密排六方晶格的金属好很多。晶格类型相同的金属，由于原子构造、原子大小以及原子间的中心距不同。其性能也会产生差异。

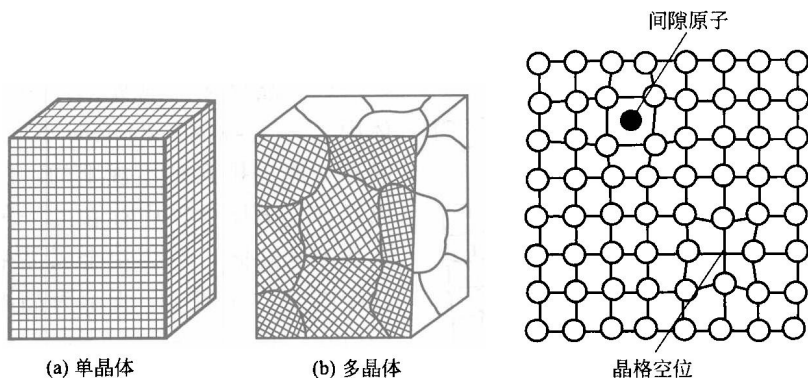
(4) 实际金属的晶体结构

以上讲的晶体结构是理想状态下的晶体结构，实际金属的晶体结构受结晶及其他加工等条件的影响，与理想的晶体结构相差很大。

① 单晶体与多晶体 晶体分为单晶体和多晶体。所有晶胞都按相同方向排列的晶体称为单晶体，如图 1-4(a) 所示。只有经过特殊制作才能获得单晶体，如制造半导体元件所用的材料就是单晶硅。由许多结晶方位不同的小晶体集合而成的晶体称为多晶体，如图 1-4(b) 所示。工业中金属材料一般都是多晶体结构。金属结晶后形成的外形不规则、而内部晶格排列方向一致的每个微小晶体称为晶粒。多晶体是由许多大小不一、外形不规则的晶粒所组成，由于各个晶粒的晶格排列方向不一致，晶粒与晶粒相遇处便形成了界面，称为晶界。

② 晶体缺陷 在实际金属晶体中，原子并不是完美无缺的有规则有次序的排列着，而是在局部区域其原子排列存在着缺陷。用 X 射线和电子显微镜研究的结果已经证实了这一点。晶体缺陷对金属的性能有重要影响，一般分三类。

(a) 空位和间隙原子：空位是指晶体中某些未被原子占据的结点位置。间隙原子是指晶格结点的间隙处存在着处于不平衡状态的多余原子。如图 1-5 所示为晶体中空位和间隙原子示意图。



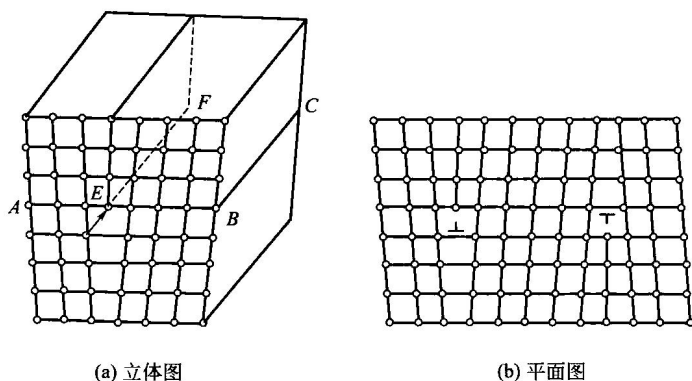
(a) 单晶体

(b) 多晶体

图 1-4 单晶体和多晶体结构示意图

图 1-5 晶体中空位和间隙原子示意图

空位和间隙原子不是固定不动的。随着原子的运动，它会不断地移动、消失、产生，空位和间隙原子的出现会使周围晶格产生畸变。



(a) 立体图

(b) 平面图

图 1-6 刃型位错示意图

(b) 位错：位错是指晶体中某处有一列或若干列原子发生了原子有规律地错排位置的现象。晶体中最简单的位错是刃型位错，其立体图如图 1-6(a) 所示。实际金属晶体中存在着大量的位错，在位错附近，由于原子的规则排列发生了变化，导致晶格严重畸

变，如图 1-6(b) 所示。位错可以在晶体中运动，因此会对金属的塑性变形、强度等性能产生很大的影响。

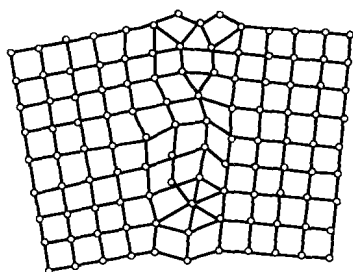


图 1-7 晶界的过渡结构示意图

(c) 晶界和亚晶界：在多晶体中，由于各晶粒间位向不同，晶界处原子排列是不规则的，所以晶界是金属材料中存在的一种很普遍的缺陷，它会使金属晶格产生畸变，如图 1-7 所示为晶界的过渡结构示意图。

实验证明，在实际金属晶体的每一个晶粒内部，其原子的排列也不是绝对规则的。它是由许多位向差很小的（通常由几十分到 $1^\circ \sim 2^\circ$ ）小晶块相互嵌镶而成的，这些小晶块叫亚晶。亚晶与亚晶之间的分界面称为亚晶界，亚晶结构示意图如图 1-8 所示。亚晶界处的原子也是不规则排列的，同样也会使晶格产生畸变。

③ 实际金属的性能 由以上所述内容可知，实际使用的金属材料，不仅是多晶体，而且在晶粒内部还存在着各种缺陷，这些缺陷将造成金属晶格产生畸变，因而会引起金属性能的变化。如空位、间隙原子的数量越多，晶界、亚晶界越多，位错密度越大，金属的强度便越高。如金属处在腐蚀环境中，晶界处就易被腐蚀，当金属内部发生相变时，晶界处就优先形成晶核等。

1.1.2 纯金属的结晶

(1) 结晶的概念

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。

(2) 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 1-9 所示。

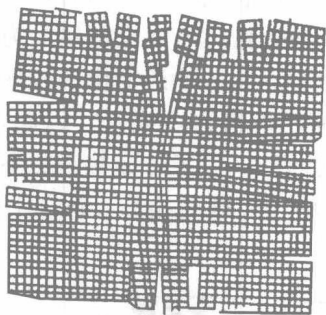


图 1-8 亚晶结构示意图

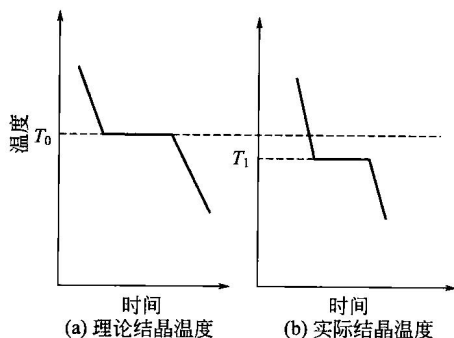


图 1-9 纯金属的冷却曲线

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。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 1-9(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 1-9(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 ΔT 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 ΔT 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 ΔT 趋于零。

③ 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则的排列，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 1-10 所示为纯金属的结晶过程示意图。

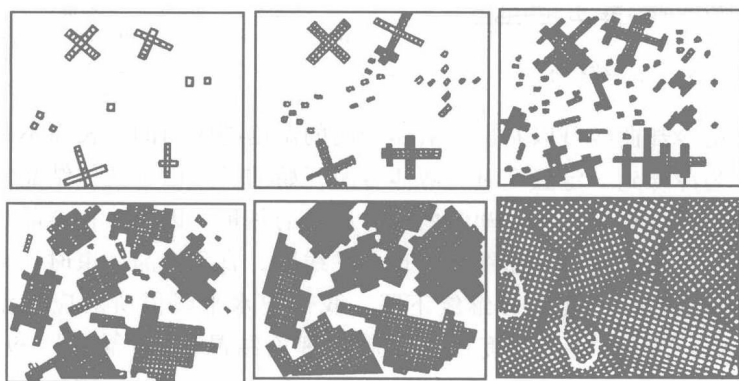


图 1-10 纯金属的结晶过程示意图

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。

④ 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