



职业教育改革创新规划教材

金属材料与工艺

● 主 编 顾鹏展 ● 副主编 尹文新



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

职业教育改革创新规划教材

金属材料与工艺

主 编 顾鹏展

副主编 尹文新

参 编 杜金鑫 马作正 赵俊德

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要讲授金属材料基础知识与热处理基本工艺,以及机械制造工艺基础相关理论知识,着重于与材料选用有关的机械制造基本能力的培养。主要内容包括金属材料的性能、铁碳合金、钢的热处理、其他常用金属和当今前沿金属材料介绍、金属毛坯制造工艺、零件切削加工工艺等相关知识。选材少而精,重点突出,主次分明,通俗易懂,采用新的国家标准,理论联系实际,便于教学,利于自学,符合中职教育教学特点。

本书既可作为中等职业院校焊接技术类相关专业的课程教学用书,也可作为相关行业从业人员的培训和参考用书,尤其可供焊接行业从业人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料与工艺 / 顾鹏展主编. —北京: 电子工业出版社, 2017.7

ISBN 978-7-121-31947-1

I. ①金… II. ①顾… III. ①金属材料—职业教育—教材 ②金属加工—工艺—职业教育—教材 IV. ①TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 139702 号

策划编辑: 张 凌

责任编辑: 张 凌

特约编辑: 王 纲

印 刷: 北京七彩京通数码快印有限公司

装 订: 北京七彩京通数码快印有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 12.5 字数: 320 千字

版 次: 2017 年 7 月第 1 版

印 次: 2017 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 29.60 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: (010) 88254583, zling@phei.com.cn。

前言

随着现代科技的发展，金属材料不断推陈出新，机械加工方法和手段也越来越多，对机械加工技术人员特别是焊接技术人员要求也越来越高。为了适应中等职业院校对机械类专业教学的要求，全面提高教学质量，培养具有专业知识和实践能力的新一代焊接技术人员，使他们对金属材料及加工工艺有比较全面的了解，熟悉相关知识，提高分析和操作加工能力；同时为了满足广大机械加工行业在职人员的培训需求，特编写此书。

本书在内容选材上，更加符合当前技能人才培养的需要，更好地反映新知识、新技术、新设备、新材料。同时结合教学改革要求，在教材中融入先进的教学理念和教学方法，注意将抽象的理论知识形象化、生动化，注重加强实践性教学环节，以及构建“做中学”、“学中做”的学习过程，充分体现中职教学特色。在编写中，以够用为度，适用为主，应用为本，使学生毕业后既能胜任岗位要求，又能适应焊接技术行业的变化和发展需求。

本书选材少而精，重点突出，主次分明，通俗易懂，采用新的国家标准，理论联系实际，便于教学，利于自学，符合中职教育教学特点。

本书适用于 92 学时的教学，学时分配建议如下：

章 次	内 容	学 时
绪论	绪论	1
第 1 章	金属的结构与结晶	4
第 2 章	金属材料的性能	6
第 3 章	铁碳合金	10
第 4 章	钢的热处理	8
第 5 章	合金钢	6
第 6 章	铸铁	4
第 7 章	有色金属与硬质合金	7
第 8 章	锻造和铸造	9
第 9 章	车削	10
第 10 章	钳加工	10
第 11 章	铣削、刨削与镗削	10
第 12 章	磨削	5
机动		2~4

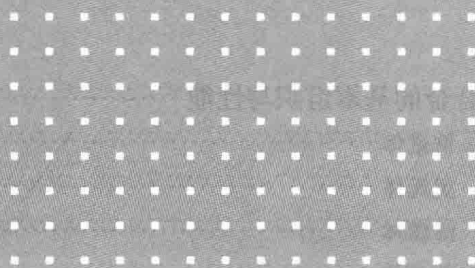
本书由南阳技师学院顾鹏展担任主编（绪论、第 1~4 章），尹文新担任副主编（第 5 章），

参加编写的还有杜金鑫（第6、7章）、马作正（第8章）、赵俊德（第9~12章）。本书在编写过程中得到了有关单位的大力支持和帮助，编者参考了许多专家学者的著作和文献，在此，一并表示衷心感谢。

本书既可作为中等职业院校焊接技术类相关专业的课程教学用书，也可作为相关行业从业人员的培训和参考用书，尤其可供焊接行业从业人员使用。

编 者

目 录



绪论	1
----	---

第一单元 金属材料与热处理

第 1 章 金属的结构与结晶	4
1.1 金属的晶体结构	4
1.1.1 晶体与非晶体	4
1.1.2 金属的晶格类型	4
1.1.3 单晶体与多晶体	5
1.1.4 晶体的缺陷	6
1.2 纯金属的结晶	7
1.2.1 纯金属的结晶过程	7
1.2.2 晶粒大小对金属材料的影响	8
1.2.3 同素异构转变	9
第 2 章 金属材料的性能	11
2.1 金属材料的物理性能	11
2.1.1 密度	11
2.1.2 熔点	12
2.1.3 热膨胀性	12
2.1.4 导热性	13
2.2 金属材料的力学性能	14
2.2.1 强度和塑性	14
2.2.2 硬度	17
2.2.3 冲击韧性和疲劳强度	19
2.3 金属材料的工艺性能	20
2.3.1 铸造性能	21
2.3.2 锻压性能	22
2.3.3 焊接性能	23
2.3.4 切削加工性能及热处理性能	23
第 3 章 铁碳合金	25
3.1 合金及其组织	26
3.1.1 合金的基本概念	26
3.1.2 合金的组织	26

3.2 铁碳合金的基本组织与性能	28
3.2.1 铁素体	28
3.2.2 奥氏体	28
3.2.3 渗碳体	29
3.2.4 珠光体	29
3.2.5 莱氏体	29
3.3 铁碳合金相图	30
3.3.1 铁碳合金相图的组成	31
3.3.2 Fe-Fe ₃ C 相图中特性点、线的含义	31
3.3.3 铁碳合金的分类	33
3.3.4 铁碳合金的成分、组织与性能的关系	33
3.3.5 Fe-Fe ₃ C 相图的应用	33
3.4 碳素钢	35
3.4.1 钢中常存元素及其对性能的影响	35
3.4.2 碳素钢的分类	35
3.4.3 碳素钢牌号及用途	36
第 4 章 钢的热处理	41
4.1 热处理原理及分类	41
4.2 钢在加热及冷却时的组织转变	42
4.2.1 钢在加热时的组织转变	42
4.2.2 钢在冷却时的组织转变	43
4.3 热处理的基本方法	47
4.3.1 退火与正火	47
4.3.2 淬火与回火	49
4.4 钢的表面热处理	54
4.4.1 表面淬火	54
4.4.2 化学热处理	55
第 5 章 合金钢	61
5.1 合金钢的分类和牌号	61
5.1.1 合金钢的分类	61
5.1.2 合金钢的牌号	62
5.2 合金结构钢	63
5.2.1 低合金结构钢	63
5.2.2 合金渗碳钢	64
5.2.3 合金调质钢	65
5.2.4 合金弹簧钢	66
5.2.5 滚动轴承钢	66
5.3 合金工具钢	68
5.3.1 合金刀具钢	68
5.3.2 合金模具钢	70

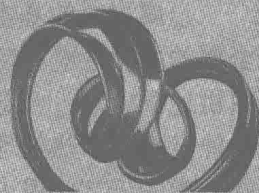
5.3.3	合金量具钢	71
5.4	特殊性能钢	72
5.4.1	不锈钢	72
5.4.2	耐热钢	74
5.4.3	耐磨钢	74
第 6 章	铸铁	76
6.1	铸铁的特点与分类	76
6.1.1	铸铁的石墨化	76
6.1.2	铸铁的组织与性能的关系	77
6.1.3	铸铁的分类	78
6.2	常用铸铁简介	78
6.2.1	灰铸铁	78
6.2.2	可锻铸铁	80
6.2.3	球墨铸铁	82
6.2.4	蠕墨铸铁	83
6.2.5	合金铸铁	84
6.2.6	常用铸铁的热处理	84
第 7 章	有色金属与硬质合金	86
7.1	铜及铜合金	86
7.1.1	纯铜 (Cu)	86
7.1.2	铜合金	87
7.2	铝及铝合金	91
7.2.1	铝及铝合金的性能特点	92
7.2.2	铝及铝合金的分类、代号、牌号和用途	92
7.3	钛及钛合金	95
7.3.1	纯钛 (Ti)	96
7.3.2	钛合金	96
7.3.3	钛的三大功能	97
7.4	硬质合金	97
7.4.1	硬质合金的性能特点	98
7.4.2	常用的硬质合金	98

第二单元 金属工艺

第 8 章	锻造与铸造	102
8.1	锻造	102
8.1.1	坯料的加热	102
8.1.2	自由锻	103
8.1.3	模锻	106
8.1.4	锻件的锻后冷却	107
8.1.5	自由锻工艺	108

8.1.6	自由锻的常见缺陷	109
8.2	铸造	110
8.2.1	铸造基础	110
8.2.2	砂型铸造	111
8.2.3	铸造工艺	116
8.2.4	特种铸造	118
第9章	车削	122
9.1	车床	122
9.1.1	卧式车床	122
9.1.2	车削运动	122
9.1.3	车削的加工范围及特点	125
9.1.4	切削用量	126
9.2	车床的工艺装备	127
9.2.1	车床夹具	127
9.2.2	车刀和刀具材料	129
9.3	车削工艺	131
9.3.1	分析图样	132
9.3.2	制定加工工艺	132
9.3.3	齿轮轴的车削加工	132
第10章	钳加工	134
10.1	划线	134
10.1.1	常用划线工具	135
10.1.2	划线基准的选择	136
10.1.3	划线步骤及工艺	136
10.2	孔加工	138
10.2.1	钻床	138
10.2.2	钻孔	139
10.2.3	扩孔	139
10.2.4	铰孔	140
10.2.5	铰孔	140
10.3	螺纹加工	142
10.3.1	攻螺纹	142
10.3.2	套螺纹	144
10.4	平面与曲面加工	145
10.4.1	锯削与铰削	146
10.4.2	锉削	147
10.4.3	刮削	149
10.4.4	研磨	151
第11章	铣削、刨削与镗削	154
11.1	铣削	154

11.1.1	铣床与铣刀	154
11.1.2	铣床的加工范围与特点	158
11.1.3	铣削方法	159
11.1.4	工件的装夹	160
11.1.5	典型零件的铣削	161
11.2	刨削与镗削	163
11.2.1	刨床与插床	164
11.2.2	镗削	166
11.2.3	刨削、插削与镗削的典型零件加工	168
第 12 章	磨削	170
12.1	磨床	170
12.1.1	常用磨床	170
12.1.2	磨削的主要加工内容	173
12.1.3	磨削的工艺特点	173
12.2	砂轮	174
12.2.1	砂轮的组成	174
12.2.2	砂轮的标记	174
12.3	磨削工艺	178
12.3.1	在外圆磨床上磨外圆	178
12.3.2	在外圆磨床上磨内圆	180
12.3.3	在外圆磨床上磨外圆锥	181
12.3.4	在平面磨床上磨平面	181
12.3.5	齿轮轴的磨削工艺	182
附录 I	压痕直径与布氏硬度对照表	184
附录 II	黑色金属硬度及强度换算表	186
附录 III	常用钢的临界点	187



绪 论

在人类使用的众多材料中，金属材料由于特有的多种优异性能，被广泛地应用于生活和生产当中，是现代工业和科学技术领域不可缺少的重要材料。

作为一名机械行业的技术工人，从手中的工具到加工的零件，每天都要与各种各样的金属材料打交道，为了能够正确地认识和使用金属材料，合理选用金属材料，适当确定热处理工艺，确定不同金属材料的加工方法，充分发挥材料的潜力，提高产品零件的质量，节省金属材料，就必须熟悉金属材料的牌号，了解它们的性能和变化规律。因此，我们需要比较深入地学习和了解金属材料的相关知识，金属材料与热处理正是这样的一门研究金属材料的成分、组织、热处理与金属材料性能之间的关系和变化规律的学科。

金属材料在现代工农业生产中占有极其重要的地位。不仅在机械制造、交通运输、国防科技等各个部门需要使用大量的金属材料，而且在人们日常生活的用品中也离不开金属材料。金属材料的品种繁多，工程上常用的金属材料有钢铁、有色金属及其合金、粉末冶金材料等。各种材料的性能主要是指使用性能和加工工艺性能。金属材料在使用条件下所表现的性能称为使用性能，它包括材料的物理、化学和机械性能。金属材料在冷、热加工的过程中所表现的性能称为加工工艺性能，它包括铸造性能、压力加工性能、焊接性能、热处理性能、切削加工性能等。

金属材料作为应用最为广泛的工程材料，利用各种手段对金属材料进行加工从而得到所需产品的过程，称为机械制造。机械制造包括从金属材料毛坯的制造到制成零件后装配到产品上的全过程。机械制造在制造业中占有非常重要的地位。

按照被加工金属材料在加工时状态不同，机械制造通常分为热加工和冷加工两大类。每一类加工可按从事工作的特点分为不同的职业工种，机械制造的主要职业工种有（热加工类）铸工、锻工、焊工，（冷加工）钳工、车工、镗工、铣工、磨工、金属特种加工。

无论哪一门工种，在实际工作中都需要掌握相关金属材料及热处理知识，因此本课程将金属材料及其加工工艺合在一起，使学习更加连贯和实用。

本课程的主要内容包括金属材料的基本知识、金属的性能、金属学的基础知识和热处理的基本知识、铸造、锻造、车削、钳加工、铣削、刨削、镗削和磨削。

所谓金属，是指由单一元素构成的具有特殊的光泽、延展性、导电性、导热性的物质，如金、银、铜、铁、锰、锌、铝等。而合金是指由一种金属元素与其他金属元素或非金属元素通过熔炼或其他方法合成的具有金属特性的材料。金属材料是金属及其合金的总称，即指金属元素或以金属元素为主构成的，并具有金属特性的物质。



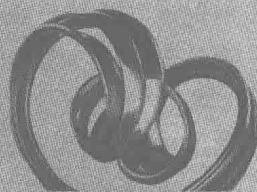
金属材料的基本知识主要介绍金属的晶体结构及变形的相关知识,金属的性能主要介绍金属的力学性能和工艺性能,金属学基础知识讲述铁碳合金的组织及铁碳合金相图,金属材料讲述碳素钢、合金钢、铸铁、有色金属及硬质合金等金属材料的常用牌号、成分、组织、性能及用途。热处理基本知识讲述热处理的原理(钢在加热、保温、冷却时的组织转变)和热处理的工艺(退火、正火、淬火、回火、表面热处理),以及常用材料的典型热处理工艺。金属加工工艺主要讲述常用的金属毛坯形成方法及常用金属加工工艺。



第一单元

金属材料与热处理





金属的结构与结晶

生活中，我们身边有很多金属，虽然它们都属于同一类物质，但其性能差异却很大。比如铁丝和钢丝，一个柔软而另一个坚硬。金属性能的差异是由其内部结构决定的。因此，掌握金属的内部结构及其对金属性能的影响，对于选用和加工金属材料具有非常重要的意义。

1.1 金属的晶体结构

1.1.1 晶体与非晶体

物质是由原子和分子构成的，其存在状态可分为气态、液态和固态。固态物质根据其结构特点不同可分为晶体和非晶体。

所谓晶体是指其原子（确切说是离子）呈规律分布的物体。晶体和非晶体的对比可见表 1-1，通过定义和性质可以容易地区分晶体与非晶体。自然界的绝大多数物质在固态下为晶体，只有少数为非晶体。由于晶体内部原子排列的规律性，有时甚至可以见到某些物质的外形也具有规则的轮廓，如水晶、食盐及黄铁矿等，但金属晶体一般则看不到这种规则的外形。所有金属都是晶体。

表 1-1 晶体和非晶体的对比

项 目	晶 体	非 晶 体
定义	原子呈有序、有规则排列的物质	原子呈无序、无规则堆积的物质
性能特点	具有规则的几何形状 有一定的熔点，性能呈各向异性（在各方向上表现出不同的性能）	没有规则的几何形状 没有固定的熔点，性能呈各向同性
典型物质	石英、云母、明矾、食盐、硫酸铜、糖、味精	玻璃、蜂蜡、松香、沥青、橡胶

1.1.2 金属的晶格类型

金属的晶格类型是指金属中原子排列的规律。如果把金属原子看作一个直径一定的小球，则某金属中原子的排列情况如图 1-1 所示。为了更清楚地表示晶体中原子排列的规律，可将原子简化为一个质点，再用假想的线将它们连接起来，这样就形成了一个能反映原子排列规律的空间格架，称为晶格，如图 1-2 所示。

晶胞是可以反映金属原子排列规律的最小单元，所以一般都是取出晶胞来研究的。

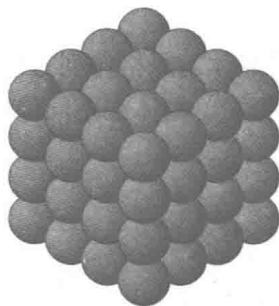
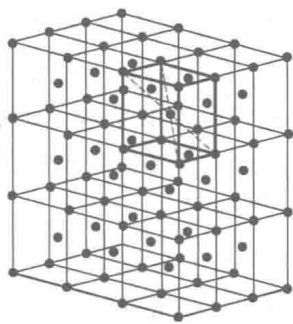


图 1-1 晶体中原子的排列情况



(a) 晶格



(b) 晶胞

图 1-2 晶格和晶胞示意图

虽然固体金属都是晶体,但是各种金属的晶体结构并不是完全相同的。某种金属的晶格是该金属所固有的,金属不同,晶格也就不同。

金属的晶格结构在已知的 80 多种金属元素中,除少数金属具有复杂的晶体结构外,绝大多数(占 85%)金属属于以下三种简单晶格:体心立方晶格、面心立方晶格和密排六方晶格。有 14 种金属属于体心立方晶格,15 种金属属于面心立方晶格,17 种金属属于密排六方晶格,常见的三种金属晶格类型见表 1-2。

表 1-2 常见的三种金属晶格类型

名称	结构特点	晶胞示意图	典型金属
体心立方晶格	晶胞是一个立方体,原子位于立方体的八个顶点和立方体的中心		钨(W)、钼(Mo)、钒(V)、铌(Nb)、钽(Ta)及 α -铁(α -Fe)等
面心立方晶格	晶胞是一个立方体,原子位于立方体的八个顶点和立方体六个面的中心		金(Au)、银(Ag)、铜(Cu)、铝(Al)、铅(Pb)、镍(Ni)及 γ -铁(γ -Fe)等
密排六方晶格	晶胞是一个正六棱柱,原子除排列于柱体的每个顶点和上、下两个底面的中心外,正六棱柱的中心还有三个原子		镁(Mg)、铍(Be)、镉(Cd)、锌(Zn)等

除以上三种晶格外,少数金属还具有其他类型的晶格,但一般很少遇到。

即使相同原子构成的晶体,只要原子排列的晶格形式不同,则它们之间的性能就会存在很大的差别,如金刚石与石墨就是典型的例子。

1.1.3 单晶体与多晶体

金属是由很多大小、外形和晶格排列方向均不相同的小晶体组成的,小晶体称为晶粒,



晶粒间交界的地方称为晶界，这种实际上由多晶粒组成的晶体结构称为多晶体，如图 1-3 所示。

只由一个晶粒组成的晶体称为单晶体，如图 1-4 所示，单晶体的晶格排列方位完全一致。单晶体必须人工制作，如生产半导体元件的单晶硅、单晶锗等。单晶体在不同的方向上具有不同性能的现象称为各向异性。

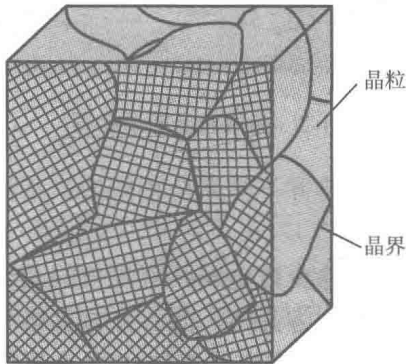


图 1-3 多晶体

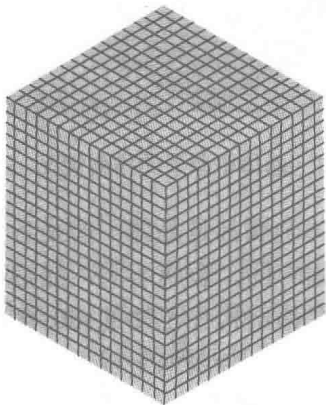


图 1-4 单晶体

普通金属材料都是多晶体，虽然每个晶粒各向异性，但由于各个晶粒位向不同，加上晶界的作用，这就使得各晶粒的有向性互相抵消，因而整个多晶体呈现出无向性，即各向同性。

1.1.4 晶体的缺陷

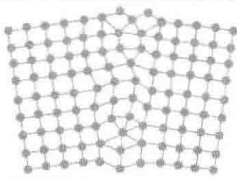
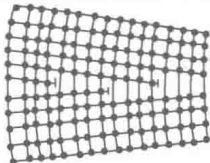
实际上由于各种原因，金属原子的规律排列受到干扰和破坏，使晶体中的某些原子偏离正常位置，我们把这种晶体中原子紊乱排列的现象称为晶体缺陷。晶体缺陷对金属材料的许多性能都有很大的影响，特别是在金属的塑性变形及热处理过程中起着重要作用。

常见的几种晶体缺陷及影响见表 1-3。

表 1-3 常见的几种晶体缺陷及影响

类型	名 称	缺陷示意图	说 明	对性能的影响
点缺陷	间隙原子		晶体在三维方向上尺寸很小，不超过几个原子直径的缺陷。常见的点缺陷有间隙原子、空位原子和置代原子	在宏观上，使材料的强度、硬度和电阻加增，同时处于缺陷处的原子易于移动
	空位原子			
	置代原子			
线缺陷	刃位错		晶体某一平面中呈线状分布的缺陷，它的具体形式为位错。最常见的位错为刃位错	在位错周围，由于错排晶格产生较严重的畸变，所以内应力较大。位错很容易在晶体中移动，位错的存在在宏观上表现为：使得金属材料的塑性变形更加容易

续表

类型	名称	缺陷示意图	说明	对性能的影响
面缺陷	晶界		面缺陷是指在晶体的空间中分布着的较大的缺陷。常见的面缺陷有金属晶体中的晶界和亚晶界	由于晶界处的原子排列极不规则,所造成的晶格畸变处于不稳定状态,高温下晶界处的原子极易扩散。而在常温下晶界使金属的塑性变形阻力增大 在宏观上表现为晶界较晶粒内部具有更高的强度和硬度。因此,晶界越多,金属材料的力学性能越好
	亚晶界			

1.2 纯金属的结晶

工业上使用的金属材料通常要经过液态和固态的加工过程。例如制造机器零件的钢材,要经过冶炼、注锭、轧制、锻造、机加工和热处理等工艺过程,如图 1-5 所示。生产上将金属的凝固称为结晶。

结晶是指金属从高温液体状态冷却凝固为固体(晶体)状态的过程,在结晶过程中会放出一定的热量,称为结晶潜热。

1.2.1 纯金属的结晶过程

金属的结晶必须在低于其理论结晶温度(熔点 T_0)下才能进行,理论结晶温度和实际结晶温度(T_1)之间存在的这个温度差称为“过冷度”($\Delta T = T_0 - T_1$),如图 1-6 所示。金属结晶时,过冷度的大小与冷却速度有关,冷却越快,其实际结晶的温度就越低,过冷度 ΔT 也就越大。



图 1-5 炼钢

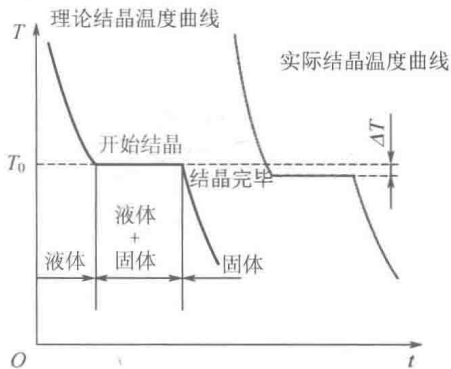


图 1-6 结晶时的冷却曲线及过冷度示意图

纯金属的结晶是在恒温下进行的。结晶结束,不再有潜热放出来补充散发的热量,温度又重新下降,直至室温。

图 1-7 所示为金属结晶过程示意图。金属的结晶过程由晶核的产生和长大两个基本过程