

高职高专
模具设计与制造

专业系列教材

MUJU

金属材料与热处理

Jinshu Cailiao Yu Rechuli

- ◇ 主 编 罗国民
- ◇ 副主编 龚洪强 胡 浪
- ◇ 参 编 陈慈浩 刘徽平 萧锡光 余雪梅 姜明珠
- ◇ 主 审 黄 锐 温志红



重庆大学出版社
<http://www.cqup.com.cn>

金属材料与热处理

主 编 罗国民
副主编 龚洪强 胡 浪
参 编 陈慈浩 刘徽平 萧锡光 余雪梅 姜明珠
主 审 黄 锐 温志红

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书内容包括3部分:第1篇是金属学基础,主要介绍金属的组织结构和性能指标,金属的塑性变形与再结晶,重点介绍铁碳合金为代表的合金相结构与相图。第2篇是钢的热处理,主要介绍钢的热处理原理和工艺。第3篇是常用机械工程材料,主要介绍常用的金属材料、非金属材料的成分、组织、结构与性能之间的关系及其变化规律,改变材料性能的途径以及各种材料的主要用途,零件毛坯的选用,重点介绍模具用钢及其强化处理。

本书为高职高专模具专业系列教材之一,也适合机电工程类和材料工程类专业使用,还可以作为相关工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料与热处理/罗国民主编. —重庆:重庆大学出版社,2007.5

(高职高专模具设计与制造专业系列教材)

ISBN 978-7-5624-3052-0

I. 金… II. 罗… III. ①金属材料—高等学校:技术学校—教材②热处理—高等学校:技术学校—教材 IV. TG1

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第046705号

金属材料与热处理

主 编 罗国民

副主编 龚洪强 胡 浪

责任编辑:何建云 彭 宁 版式设计:彭 宁

责任校对:任卓惠 责任印制:张 策

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(市场营销部)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:13.75 字数:343千

2007年5月第1版 2007年5月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-3052-0 定价:20.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

教师信息反馈表

为了更好地为教师服务,提高教学质量,我社将为您的教学提供电子和网络支持。请您填好以下表格并经系主任签字盖章后寄回,我社将免费向您提供相关的电子教案、网络交流平台或网络化课程资源。

请按此裁下寄回我社或在网上下载此表格填好后E-mail发回

书名:		版次	
书号:			
所需要的教学资料:			
您的姓名:			
您所在的校(院)、系:	校(院)	系	
您所讲授的课程名称:			
学生人数:	_____人	_____年级	学时:
您的联系地址:			
邮政编码:		联系电话	(家)
			(手机)
E-mail:(必填)			
您对本书的建议:	<div style="text-align: right; margin-bottom: 20px;">系主任签字</div> <div style="text-align: right;">盖章</div>		

**请寄:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A区)
重庆大学出版社市场部**

邮编:400030
电话:023-65111124
传真:023-65103686
网址:<http://www.cqup.com.cn>
E-mail:fxk@cqup.com.cn

前言

本书是重庆大学出版社组织全国多所高职高专院校编写的高职高专模具专业系列教材之一。

根据2004年12月在重庆召开的主编会议确定的教材大纲,又结合模具专业教学的实际需要,把金属学基础、钢的热处理和常用机械工程材料3部分结合起来,使学生掌握金属材料的基础知识、钢的热处理基本原理和工艺及常用机械工程材料的基础知识,重点掌握模具专业所需要的金属材料的成分、组织、结构和性能及应用。考虑高职高专的教学特点,本书基础理论以必需、够用为度,强调实用性、先进性和创新性。精选教学内容,适当介绍新材料、新工艺、新技术、新标准。为了和其他参考书保持一致,便于读者阅读,本书附录对最新国家标准与旧标准进行了对照列表。

本书由广东松山职业技术学院罗国民任主编,并编写绪论和第4、9章;江西理工大学陈慈浩副教授编写第5、6章,刘徽平副教授编写第7章,萧锡光副教授编写第11章;广东松山职业技术学院龚洪强编写第8章,胡浪编写第1章,余雪梅编写第2、3章,姜明珠编写第10章。全书由广东松山职业技术学院罗国民统稿,由韶关钢铁集团有限公司技术中心黄锐高级工程师和温志红高级工程师主审。

本教材在编写过程中引用了有关书刊中的数据和图表,在此表示感谢,对于各位直接或间接帮助和支持本书编写工作的同志一并致以忠诚的谢意。

由于编者水平有限,时间仓促,书中不足和错误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者

2006年11月

目 录

绪 论	1
第 1 篇 金属学基础	
第 1 章 金属的晶体结构	3
1.1 金属的晶体结构	4
1.2 实际金属的结构	6
1.3 纯金属的结晶	8
1.4 金属铸锭(坯)的组织	10
复习思考题	11
第 2 章 金属的塑性变形与再结晶	12
2.1 金属材料的性能	12
2.2 金属的塑性变形	22
2.3 冷塑性变形对金属组织和性能的影响	27
2.4 回复与再结晶	31
2.5 金属的热变形	35
复习思考题	38
第 3 章 合金的结构和结晶	39
3.1 合金中的相结构	39
3.2 二元合金相图	43
3.3 相图与合金性能的关系	52
复习思考题	54
第 4 章 铁碳合金	56
4.1 纯铁与铁碳合金的基本相	56
4.2 铁碳相图(Fe-Fe ₃ C 相图)分析	57
4.3 铁碳合金在平衡状态下的结晶过程	60
4.4 Fe-Fe ₃ C 相图的应用	65
4.5 含碳量对铁碳合金组织和性能的影响	66
4.6 碳钢	68
复习思考题	73

第2篇 钢的热处理

第5章 钢的热处理	74
5.1 钢在加热时的转变	75
5.2 钢在冷却时的转变	78
5.3 钢的退火与正火	91
5.4 钢的淬火	94
5.5 钢的回火	98
5.6 钢的表面热处理	101
5.7 热处理常见缺陷分析	107
5.8 热处理新工艺简介	109
复习思考题	110

第3篇 常用机械工程材料

第6章 合金钢	111
6.1 概述	111
6.2 合金元素在钢中的作用	114
6.3 合金结构钢	118
6.4 合金工具钢	129
6.5 特殊性能钢	136
复习思考题	143
第7章 模具用钢及其强化处理	145
7.1 概述	145
7.2 各类模具用钢	146
7.3 模具强化处理技术	154
复习思考题	168
第8章 铸 铁	169
8.1 概述	169
8.2 灰口铸铁	169
8.3 球墨铸铁	171
8.4 蠕墨铸铁	173
8.5 可锻铸铁	174
8.6 合金铸铁	175
复习思考题	176
第9章 有色金属及其合金	177
9.1 铝及铝合金	177
9.2 铜及铜合金	181

9.3 钛及钛合金	184
9.4 镁合金	185
9.5 轴承合金	186
9.6 粉末冶金	187
复习思考题	188
第10章 非金属材料	189
10.1 高分子材料	189
10.2 陶瓷材料	194
10.3 复合材料	196
复习思考题	198
第11章 机械零件的选材及工艺路线分析	199
11.1 零件选材的一般原则	199
11.2 热处理技术条件的标注	202
11.3 典型零件的选材及工艺分析	203
附 录	208
参考文献	209

绪 论

1 金属材料的发展

材料是人类赖以生活和生产的物质基础,同时新材料的应用又是人类改造自然的历史标志。历史学家往往把人类和自然斗争的历史大致分为两大时代:石器时代和金属时代,而金属时代又分为铜器时代和铁器时代。它标志着人类生产大发展的三个飞跃阶段。随着现代工业的发展,材料与能源、信息及生物工程已成为当代技术的四大支柱。虽然金属材料仍占整个材料应用的80%~90%,但人工合成材料的快速发展说明工程材料已进入一个由金属材料、非金属材料和高分子材料以及复合材料共同发展的新时代。

金属材料是由金属元素或以金属元素为主而形成的,并具有一般金属特性的材料。我国金属材料的发展,据考证早在商朝初期即已出现高度的青铜文化,可见铜器时代应在商朝之前的夏朝就开始了。春秋时已能熔炼铸铁,到战国时,铸铁的生产和应用已显著扩大,并采用了热处理方法,能制造出“干将”、“莫邪”之类的著名宝剑。西汉时,钢和铸铁的冶炼技术已大为提高,产量、质量和应用得到空前发展。后经一千多年发展,直到明朝,我国的钢铁生产一直在世界领先,并对人类做出了巨大贡献。

2 金属学的研究对象、方法和目的

金属学是关于金属材料方面的一门学科,它的中心内容是研究金属和合金的成分、结构、组织和性能,以及它们之间的相互关系和变化规律。目的在于利用这些关系和规律来指导科学研究和生产实践,以便更充分有效地发挥现有金属材料的潜力,并进而创制新的金属材料。金属学的研究方法可分为实验和理论两个方面。分析成分,测定结构,观察和鉴别组织,测试性能是金属学的基本实验内容。X射线分析法,光学显微镜分析法,电镜和电子探针等技术以及力学、电磁学、热学和化学性能的实验技术则是金属学实验的重要方法和手段。通过实验,

可以了解金属的内部组织和缺陷,可以分析其化学成分,还可以分析材料性能,也可以间接研究结构组织的形成和变化过程以及组织、成分与性能的相互关系。理论研究主要包括热力学、分子动力学以及电子理论在金属学中的应用。

3 本教材的内容、学习目的和方法

本教材内容包括3部分:第1篇是金属学基础,主要介绍金属的组织结构和性能指标,金属的塑性变形与再结晶,重点介绍铁碳合金为代表的合金相结构与相图。第2篇是钢的热处理,主要介绍钢的热处理原理和工艺。第3篇是常用机械工程材料,主要介绍常用的金属材料、非金属材料的成分、组织、结构与性能之间的关系及其变化规律,改变材料性能的途径以及各种材料的主要用途,零件毛坯的选用,重点介绍模具用钢及其强化处理。

学习本课程的目的使学生获得有关工程材料的基本理论和基本知识,初步掌握零件设计时的合理选材、用材,并具有正确运用热处理知识,妥善安排加工工艺及材料检测等方面的知识和能力。

本课程的名词概念较多,且比较抽象和分散,材料的名称、成分、组织结构和性能特征比较难记。本书在编写时把内容大致分为3篇,对各篇之学习方法可稍有不同。第1篇主要弄清其基本理论和重要的名词概念;第2篇主要弄清热处理基本原理和工艺,把握成分、工艺、组织结构和性能变化规律这一主线;第3篇可以采用归纳和对比的方法分析不同材料异同点,联系生产生活实际进行理解、分析和应用。

本课程一般应在学习完物理、化学、材料力学、金工实习及金属工艺学之后进行教学,并尽量结合生产生活实例教学,提高学生实际应用的能力,为后续专业课程奠定基础。

第 **I** 篇

金属学基础

第 **I** 章

金属的晶体结构

金属材料在性能方面所能表现出的多样性、多变性和特殊性使它具有远比其他材料较为优越的性能,这种优越性是其固有的内在因素在一定外在条件下的综合反映。不同成分的金属具有不同的组织结构,因而其表现出的性能各不相同;即使成分相同的金属,当其由液态转变为固态的结晶条件不同时,所形成的内部组织也不尽相同,因而表现出来的性能也各有差异。所以,要了解金属材料的特性,必须要从本质上了解金属的组织结构和金属的结晶过程,掌握其规律,以便更好地控制其性能,正确选用材料,并指导人们开发新型材料。

1.1 金属的晶体结构

1.1.1 晶体与非晶体

物质是由原子构成的,根据原子在物质内部排列方式的不同,通常可将固态物质分为晶体与非晶体两大类。凡内部原子或分子呈规则排列的物质称为晶体,如所有固态金属都是晶体;凡内部原子或分子无规则排列的物质称为非晶体,如松香、玻璃、沥青等都是非晶体;晶体与非晶体的不同点在于,晶体具有一定的熔点(如纯铁的熔点为 $1538\text{ }^{\circ}\text{C}$),其性能具有各向异性的特点;非晶体没有一定的熔点,它的性能在各个方向上是相同的(即各向同性)。

1.1.2 晶体结构的基本概念

晶体结构是晶体内部原子排列的方式及特征,金属性能上的差异和变化是与金属的晶体结构密切相关的。

(1) 晶格

为便于研究,通常把原子当作刚性小球,并把不停地作热振动的原子看成在其平衡位置上静止不动,且处在振动的中心,如图 1.1 所示。晶体可看作是由许多刚性小球按一定几何规律堆积的原子集合体。如果用假想的直线在几个方向上将原子振动中心连接起来,则形成一个假想的空间格架,称为晶格(见图 1.2)。

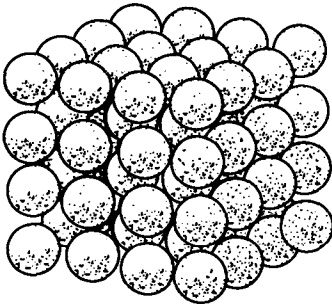


图 1.1 金属原子排列示意图

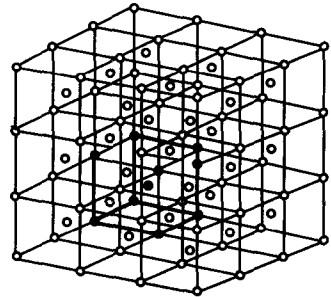


图 1.2 晶格示意图

(2) 晶胞

由图 1.2 可知,晶体中原子排列具有周期性,可以从晶格中选取一个能代表晶格特性的最小几何单位来研究晶体结构,这个最小几何单元称为晶胞。如图 1.3 所示。

(3) 晶格常数

在图 1.3 中,晶胞的三个互相垂直的棱边长度 a, b, c 及三棱边夹角 α, β 和 γ ,通常可以表示晶胞的尺寸和形状。这六个量称为晶格常数。其中 a, b, c 的单位为 \AA 或 nm 。当 $a = b = c$,

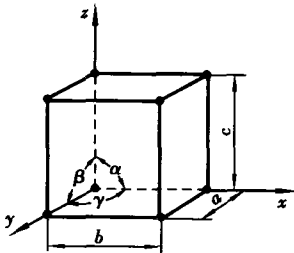


图 1.3 晶胞示意图

且 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 时, 这种晶胞称为立方晶胞, 具有立方晶胞的晶格称为立方晶格。

1.1.3 常见的金属晶格类型

在已知的金属元素中, 除少数金属具有复杂的晶体结构外。大多数金属都具有简单的典型的晶体结构, 即体心立方晶格、面心立方晶格、密排立方晶格。

(1) 体心立方晶格(见图 1.4)

其晶胞是一个立方体, 在立方体的八个顶角上和立方体中心各有一个原子。不同金属由于其原子直径不同, 晶格常数也不同。铬、 α -Fe、钼、钨、钨、钒、钾等金属在常温下具有这种结构。

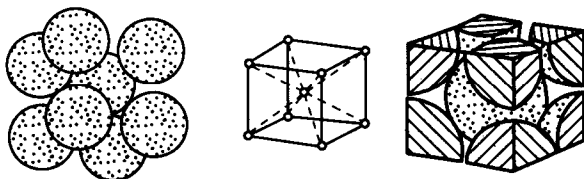


图 1.4 体心立方晶格示意图

(2) 面心立方晶格(见图 1.5)

其晶胞也是一个立方体, 在立方体的八个顶角上和每个面的中心都各有一个原子。金属不同, 其面心立方晶格的晶格常数也不同。在常温下, 铜、 γ -Fe、金、铝、铅、铂、银、钨、铀等金属具有这种结构。

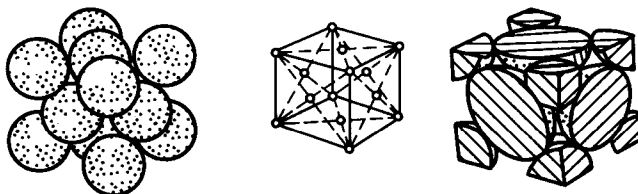


图 1.5 面心立方晶格示意图

(3) 密集六方晶格(图 1.6)

其晶胞是一个立棱柱体, 在棱柱体的各个棱角和上下两个六方底面的中心各有一个原子。此外在柱体中间还有三个原子。常温下, 镁、锌、钴、钛、锆、铀等金属具有或近似具有密集六方结构(或称密排立方晶格)。

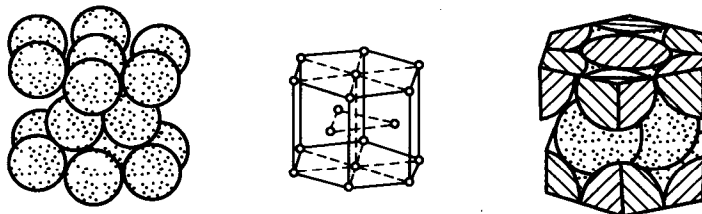


图 1.6 密集六方晶格示意图

1.2 实际金属的结构

1.2.1 多晶体结构

如果一个晶体内部晶格方位是一致的,这个晶体就称作单晶体,在工业生产中只有经过特殊工艺才能获得单晶体。通常所用的金属都是由很多单晶体组成的,叫做多晶体。图 1.7 为纯铁的显微组织,由许多类似的颗粒组成,通常把这些小颗粒称为晶粒。晶粒之间的界面称为晶界,每一个晶粒相当于一个单晶体。晶体金属中各个晶粒的原子排列虽然相同。但每个晶粒原子排列的位向是不相同的。如图 1.8 所示。

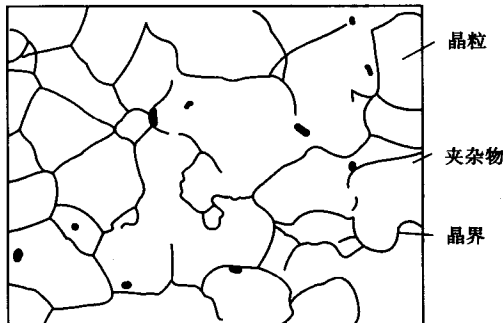


图 1.7 工业纯铁的显微组织

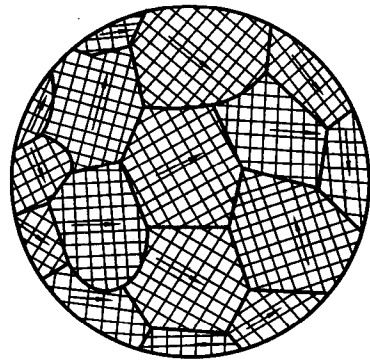


图 1.8 各晶粒位向示意图

多晶体金属的性能在各个方向上是基本一致的,这种现象称为“伪各向同性”,这时在多晶体中,虽然每个晶粒都是各向异性的,但它们的分布是随机的,因此晶体的性能在各个方向相互补充和抵消,再加上晶界的作用,就掩盖了每个晶粒的各向异性。

1.2.2 晶体的缺陷

实际上用的金属,其内部结构的原子排列并非是完全完整无缺的,而是在每个晶粒的某些部位,由于铸造、变形等一系列原因使原子排列受到破坏,从而存在各种各样的缺陷。通常将晶粒中原子排列不规则的区域称为晶体缺陷。常见的晶体缺陷有点缺陷、线缺陷和面缺陷 3 种类型。

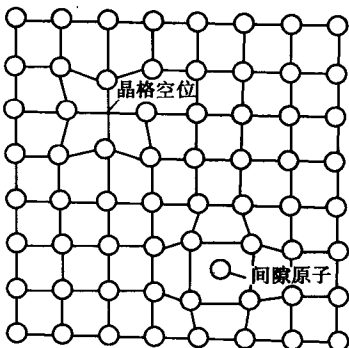


图 1.9 空位和间隙原子

(1) 点缺陷

点缺陷是晶体中呈点状的缺陷,常见的点缺陷有空位和间隙原子两种形式。

空位是指晶体的晶格中的某些原子结点位置未被原子所占有,该处便形成一个空位;间隙原子是指晶体的晶格间隙处出现的多余原子(见图 1.9)。当异常原子占据晶格的位置时,则称为置换原子。

由于空位、间隙原子、置代原子的存在引起周围晶格畸变,其结果使金属屈服点增高,塑性降低,从而影响金属的许多物理、化学性能。

空位和间隙原子不是固定不变的,当空位周围的某些原子获得足够的振动能量时,它就会脱离原来的位置而进入空位,而在原来的位置上形成新的空位,这就是空位运动;同理,间隙原子也可以从这一间隙移至另一间隙。

(2) 线缺陷

线缺陷是指在三维空间的两个方向上尺寸很小的晶体缺陷,其主要形成是各种类型的位错。晶体中位错的基本类型有刃型位错和螺型位错两种。

1) 刃型位错 如图 1.10 所示,晶体上下两部分的原子排列不同,如同沿着某一晶面插入了一个原子平面,但没有插到底。

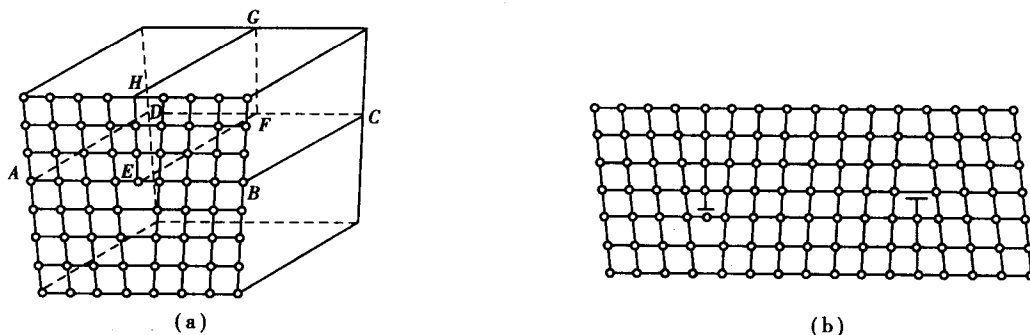


图 1.10 刃型位错示意图

2) 螺型位错 如图 1.11 所示,晶体上下两部分的原子排列面在某些区域相互吻合的次序发生错动,使不吻合的过渡区域的原子排列呈螺旋形,因此称为螺型位错。

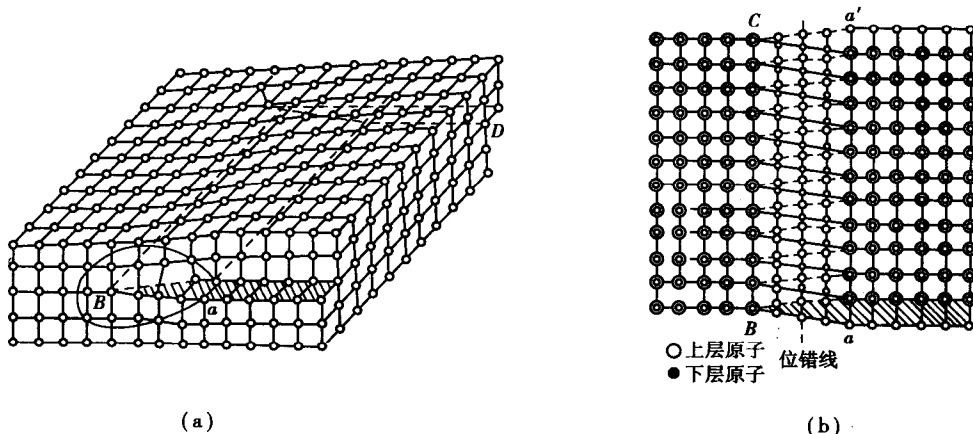


图 1.11 螺型位错示意图

(a) 立体模型图 (b) 顶视图

晶体中的位错密度用单位体积中位错线的总长度或晶体中单位面积上位错线的根数来度量,晶体中位错密度的变化及位错在晶体内的运动,对金属的塑性变形、强度、疲劳腐蚀等物理化学性能都有极为重要的影响。

(3) 面缺陷

面缺陷是指在三维空间的一个方向上尺寸很小而呈面状的缺陷,包括晶界和亚晶界。

晶界实际上是晶粒与晶粒之间的过渡层,如图 1.12 所示,在两个晶粒的交界处,由于晶粒位向不同,必须从一种位向逐步过渡到另一种位向,晶界上的晶格畸变很大,规则性较差,它一般累积有较多的位错,或偏聚有一些杂质原子,处于较高的能量状态,它与晶粒内部有着许多不同的特性。

亚晶界实际上可看作是由一系列刃型位错堆砌在一起所形成的小角度晶界(见图 1.13)。由于亚晶界处原子排列同样要产生畸变,因而对金属性能有着与晶界类似的影响。

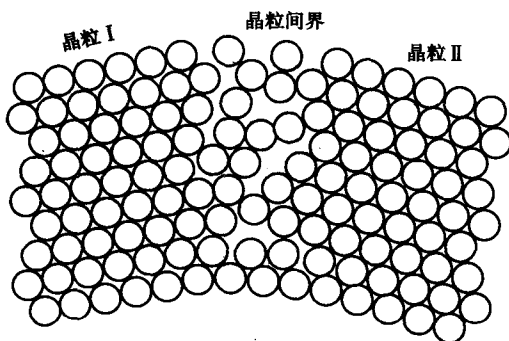


图 1.12 晶界过渡结构示意图

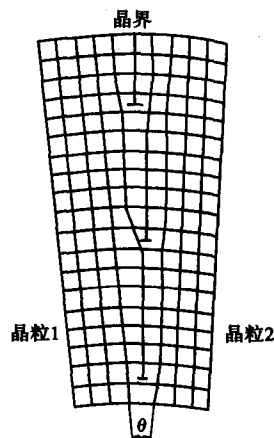


图 1.13 亚晶界结构示意图

总之,各种晶体缺陷晶格均处于畸变状态,容易引起晶体内部产生内应力,导致材料塑性变形抗力增大,从而使金属材料在常温下强度、硬度提高。例如:生产中常用压力加工工艺,通过金属材料与塑性变形使晶体产生缺陷,达到强化金属的目的,通常把这种强化方法称为形变强化。

1.3 纯金属的结晶

金属由液态转变为晶体状态的过程称为结晶。由于金属结晶时形成的组织与各种性能密切相关,因此研究结晶过程的基本规律,对改善金属材料的组织和性能具有十分重要的意义。

1.3.1 金属结晶的基本规律

金属结晶过程是完成金属由液态转变为固态的过程,实质是金属原子由近程有序向远程有序排列状态过渡的过程。

(1) 纯金属的冷却曲线和过冷现象

金属由液态转变为固态是在一定温度下进行的,这个转变温度成为金属的结晶温度,它可以通过热分析法测定出来。即将液态金属缓慢冷却,在缓慢冷却过程中每隔一定时间测一次

温度,绘制“温度-时间”曲线图,便可得到金属缓慢冷却时的冷却曲线(见图 1.14)。这个曲线上出现了一个平台,它对应的温度就是金属平衡结晶时的温度,或称为理论结晶温度(其产生原因是金属结晶过程会释放出结晶潜热,补偿了冷却时散失在空气中的热量,从而使温度不随冷却时间的延长而下降,直到金属结晶终了后温度才陆续下降),记作 T_0 。

在实际冷却条件下,液态金属冷却到 T_0 时并不开始结晶,只有冷却到低于 T_0 的某一温度 T_n 时结晶才开始进行(见图 1.14),我们称 T_n 为金属的实际结晶温度。金属在理论结晶温度以下仍保持液态的现象,叫做过冷现象。 T_0 与 T_n 之差值 ΔT 称为过冷度,即:

$$\Delta T = T_0 - T_n \quad (1.1)$$

式中 ΔT ——金属的过冷度,℃;

T_0 ——金属的理论结晶温度,℃;

T_n ——金属的实际结晶温度,℃。

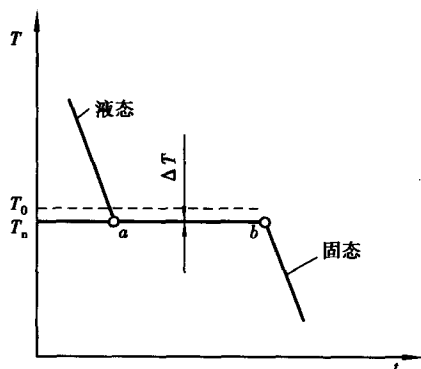


图 1.14 结晶时的冷却曲线

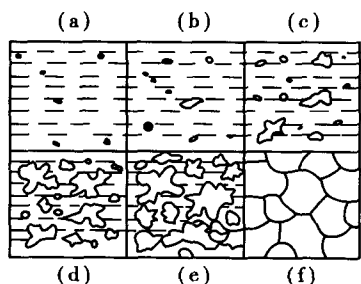


图 1.15 纯金属结晶的一般过程

实验证明:过冷度与冷却速度成正比关系。冷却速度越大,过冷度越大,实际结晶温度越低;反之,冷却速度越缓慢,则过冷度越小,实际结晶温度越接近理论结晶温度。

(2) 结晶的一般过程

结晶过程总是从形成一些极小的晶体开始,通常称这些细小晶体为晶核,如图 1.15(a)~(f)所示。此后,液体的原子不断向晶核聚集,使晶核长大;同时液体会不断有新的晶核形成并长大,直到每个晶粒长大到互相接触,液体消失为止。结晶的这种晶核形成与长大过程是一切物质(包括非金属物质)进行结晶的普遍规律。

1.3.2 晶粒大小对金属力学性能的影响

液态金属结晶过程中,有一个晶核就形成一个晶粒,形核数量越多,结晶后晶粒数量也越多,晶粒也越小。生产中衡量金属的晶粒大小,用晶粒度(即单位体积或面积内晶粒的数量)表示。

实验表明,晶粒大小对金属的力学性能、物理性能和化学性能均有很大的影响。由于晶粒越细,晶粒数量越多,凹凸不规则的晶界面就越多,晶粒之间犬牙交错的机会也越多,彼此相互紧固,则其强度、韧性都会提高。同时晶粒越细,杂质分布就越分散,它们对力学性能的危害也就越小。表 1.1 说明了晶粒大小对纯铁力学性能的影响。