



普通高等学校“十一五”规划教材

金属工艺学 实习教程

侯 华 叶 云 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

工部局

天之道

教我性

——兼答王生林君之问

著

内 容 简 介

本书是在总结中北大学多年金工实习的教学经验,吸取了兄弟院校的教学改革成果的基础上,根据“高等工业学校金工实习教学基本要求”、“重点高等工科院校金工系列课程改革指南”而编写的。

本书的特点是叙述简练、深入浅出、直观形象和图文并茂。

全书共分10章,内容包括铸造、锻压、焊接、钢的热处理、机械加工和钳工的基本知识、各种成型方法、加工方法以及新技术、新工艺等,并介绍了常用设备和工具。

本书可作为高等院校机械类相关专业的金工实习教材,也可供高职、高专、职工大学相关的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学实习教程/侯华,叶云编著. —北京:国防工业出版社,2008.1

ISBN 978-7-118-05547-4

I. 金... II. ①侯... ②叶... III. 金属加工—工艺学—实习—教材 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 206609 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 18½ 字数 430 千字

2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4600 册 定价 30.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474

发行业务:(010)68472764

前言

中北大学金工实习依托于材料科学与工程学院,实习内容和科研工作紧密结合,形成了自己的鲜明特色,为适应目前高等院校本科机械类专业金工实习的需求,我们编制了本教材。

本书具有以下特色:

1. 符合我国高等工科院校机械类专业的培养目标及教育部工程材料及机械制造基础课程指导小组 1995 年制定的“高等工业学校金工实习教学基本要求”和 1997 年制定的“重点高等工科院校金工系列课程改革指南”的精神。考虑到多数院校现有的实习条件及中北大学自身特色,本教材以常规的机械制造方法为主,适量增加常用的先进制造技术,如数控加工、电磁泵铸造及计算机先进技术等。

2. 既注重学生获取知识、分析问题与解决工程技术实际问题能力的培养,又力求创新思维能力的培养。

3. 本书后面附有可供学生练习的“金属工艺学实习报告”。

4. 本书深入浅出、直观形象、图文并茂。

5. 本书融合了中北大学最新科研成果,更具有加工技术的先进性。

本教材由中北大学金属工艺学实习指导小组编写:侯华(第四章、第九章),叶云(第一章、第二章、第十章),杨玲(第六章、第八章),王志云(第五章、第七章),赵宇辉(第三章、金工实习测试)。

由于作者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

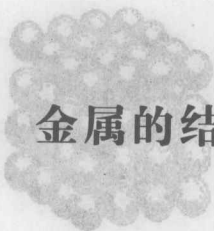
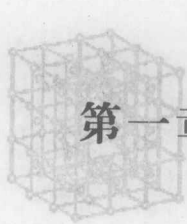
2007 年 12 月

目 录

第一章 金属的结构与结晶	1
第一节 金属的晶体结构	1
第二节 金属的结晶	7
复习思考题	9
第二章 铁碳合金	10
第一节 铁碳合金相图	10
第二节 典型铁碳合金的平衡结晶过程	13
第三节 碳钢	22
复习思考题	26
第三章 钢的热处理	27
第一节 前言	27
第二节 钢在加热时的转变	28
第三节 钢的冷却转变	33
第四节 钢的普通热处理	39
第五节 钢的表面热处理	47
复习思考题	53
第四章 铸造	55
第一节 金属的铸造性能	55
第二节 砂型铸造	57
第三节 铸件的结构设计	60
第四节 常用铸件的生产	61
第五节 特种铸造	64
第六节 电磁泵低压铸造技术	67
第七节 铸造过程数值模拟	95
复习思考题	116
第五章 焊接	118
第一节 概述	118

第二节	手工电弧焊	119
第三节	其它焊接方法	125
第四节	焊接质量及分析	133
	复习思考题	135
第六章	车削加工	137
第一节	切削用量三要素	137
第二节	卧式车床	138
第三节	车刀及其刃磨与安装	144
第四节	工件的安装及所用附件	149
第五节	基本车削工件	153
第六节	典型零件车削工艺	164
	复习思考题	168
第七章	铣削加工	169
第一节	概述	169
第二节	铣床	170
第三节	铣刀	172
第四节	铣床附件及工件安装	175
第五节	铣削方法	178
	复习思考题	180
第八章	钳工	182
第一节	概述	182
第二节	划线	183
第三节	锯削	188
第四节	锉削	190
第五节	钻孔、扩孔和铰孔	193
第六节	攻螺纹和套螺纹	199
第七节	刮削	201
第八节	装配	204
	复习思考题	207
第九章	特种加工工艺	208
第一节	概述	208
第二节	电火花加工	209
第三节	电化学加工	214
第四节	高能束加工	218
第五节	超声波加工	223

011	第六节 快速成型技术	第二章	224
221	复习思考题	第二章	234
231	第十章 现代制造技术	第四章	235
231	第一节 精密和超精密加工技术	第六章	235
231	第二节 成组技术	第六章	241
231	第三节 计算机辅助工艺过程设计	第四章	245
231	第四节 数控加工技术	第二章	248
231	第五节 机械制造自动化与信息化	第二章	257
231	第六节 其它新技术新工艺简介	第四章	261
231	复习思考题	第六章	264
231	金工实习测试(一)	第六章	265
231	金工实习测试(二)	第六章	275
231	金工实习测试(三)	第六章	281
231		第一章	
231		第二章	
231		第三章	
231		第四章	
231		第五章	
231		第六章	
231		第七章	
231		第八章	
231		第一章	
231		第二章	
231		第三章	
231		第四章	
231		第五章	
231		第六章	
231		第七章	
231		第八章	
231		第九章	
231		第十章	
231		第十一章	
231		第十二章	
231		第十三章	
231		第十四章	
231		第十五章	
231		第十六章	
231		第十七章	
231		第十八章	
231		第十九章	
231		第二十章	
231		第二十一章	
231		第二十二章	
231		第二十三章	
231		第二十四章	
231		第二十五章	
231		第二十六章	
231		第二十七章	
231		第二十八章	
231		第二十九章	
231		第三十章	
231		第三十一章	
231		第三十二章	
231		第三十三章	
231		第三十四章	
231		第三十五章	
231		第三十六章	
231		第三十七章	
231		第三十八章	
231		第三十九章	
231		第四十章	
231		第四十一章	
231		第四十二章	
231		第四十三章	
231		第四十四章	
231		第四十五章	
231		第四十六章	
231		第四十七章	
231		第四十八章	
231		第四十九章	
231		第五十章	
231		第五十一章	
231		第五十二章	
231		第五十三章	
231		第五十四章	
231		第五十五章	
231		第五十六章	
231		第五十七章	
231		第五十八章	
231		第五十九章	
231		第六十章	
231		第六十一章	
231		第六十二章	
231		第六十三章	
231		第六十四章	
231		第六十五章	
231		第六十六章	
231		第六十七章	
231		第六十八章	
231		第六十九章	
231		第七十章	
231		第七十一章	
231		第七十二章	
231		第七十三章	
231		第七十四章	
231		第七十五章	
231		第七十六章	
231		第七十七章	
231		第七十八章	
231		第七十九章	
231		第八十章	
231		第八十一章	
231		第八十二章	
231		第八十三章	
231		第八十四章	
231		第八十五章	
231		第八十六章	
231		第八十七章	
231		第八十八章	
231		第八十九章	
231		第九十章	
231		第九十一章	
231		第九十二章	
231		第九十三章	
231		第九十四章	
231		第九十五章	
231		第九十六章	
231		第九十七章	
231		第九十八章	
231		第九十九章	
231		第一百章	



第一章 金属的结构与结晶

第一节 金属的晶体结构

一、晶体的基本概念

在自然界中除了一些少数的物质(如普通玻璃、松香等)以外,包括金属在内的绝大多数固体都是晶体。

1. 晶体

所谓晶体是指其原子(离子或分子)在空间呈规则排列的物体。

晶体内的原子之所以在空间是规则排列,主要是由于各原子之间的相互吸引力与排斥力相平衡的结果。

2. 晶体结构

晶体结构是指晶体中原子(离子或分子)在空间的具体排列。

3. 阵点(节点)

把原子(离子或分子)抽象为规则地排列于空间的几何点,称为阵点或节点。

4. 点阵 阵点(或节点)在空间的排列方式称为空间点阵(简称点阵)。

5. 晶面 点阵中的节点所构成的平面称为晶面。

6. 晶向 点阵中的节点所组成的直线称为晶向。

7. 晶格 把点阵中的节点假想用一系列平行直线连接起来构成空间格子称为晶格。

8. 晶胞 晶胞是构成晶格的最基本单元。由于晶体中原子排列的规律性,可以用晶胞来描述其排列特征。

9. 晶格常数 晶胞的棱边长度 a, b, c 和棱间夹角 α, β, γ 是衡量晶胞大小和形状的 6 个参数,其中 a, b, c 称为晶格常数或点阵常数。其大小用 $\text{\AA}$ 来表示($1\text{\AA} = 10^{-8}\text{cm}$)。

若 $a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$, 这种晶胞就称为简单立方晶胞。具有简单立方晶胞的晶格叫做简单立方晶格。

晶体规则排列示意图如图 1-1 所示。

二、常见金属的晶体结构类型

研究表明,在金属元素中,约有 90% 以上的金属晶体都属于如下三种密排的晶体结

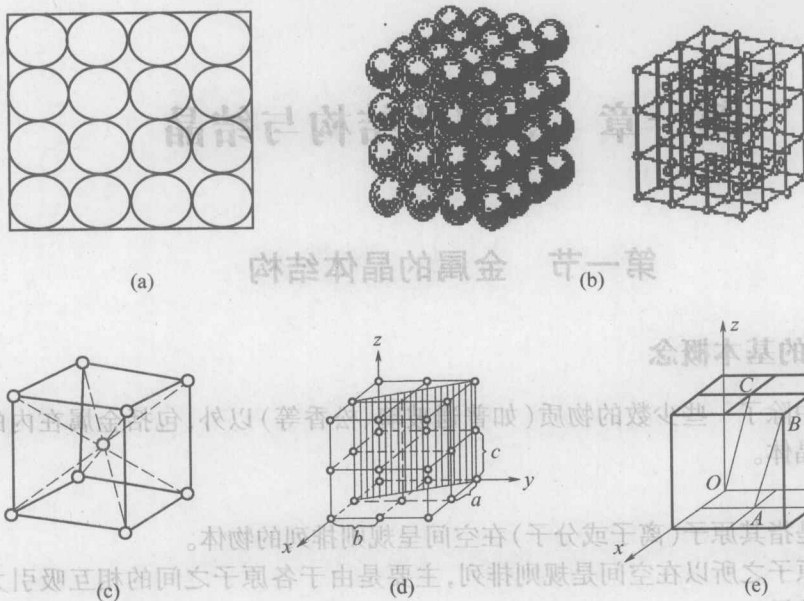


图 1-1 晶体规则排列示意图

(a) 晶体; (b) 晶格; (c) 晶胞; (d) 晶面; (e) 晶向。

构类型。

1. 体心立方晶格

体心立方晶格的晶胞是由 8 个原子构成的立方体, 并且在立方体的体中心还有一个原子。其晶格常数 $a = b = c$, 通常只用 a 表示。如图 1-2 所示, 这种晶胞在其立方体的对角线方向上原子是紧密接触排列着的。故其对角线长度 $\sqrt{3}a$ 方向上所分布的原子数目为 2, 这样可计算出其原子半径 $r = \frac{\sqrt{3}}{4}a$ 。在这种晶胞中, 因每个顶点上的原子是同时属于周围 8 个晶胞所共有, 故实际上每个体心立方晶胞中仅含有 $\frac{1}{8} \times 8 + 1 = 2$ 个原子。

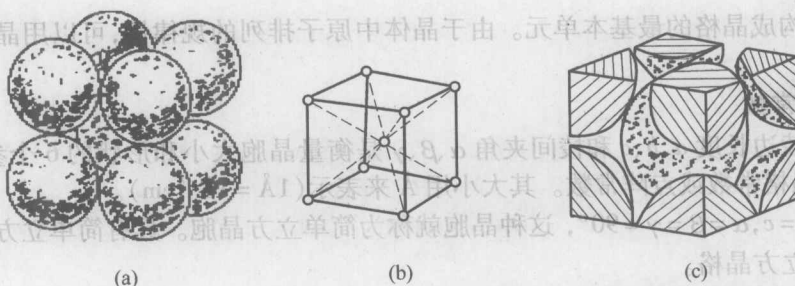


图 1-2 体心立方晶格

晶格的致密度: 是指其晶胞中所包含的原子所占有的体积与该晶胞体积之比。用“ K ”表示。

体心立方晶格的致密度 $K = 2 \times \frac{4}{3} \pi \left(\frac{\sqrt{3}}{4} a \right)^3 / a^3 = 0.68$, 即晶格中有 68% 的体积被原子占有, 其余为空隙。属于这种体心立方晶格的金属有 Fe ($< 912^\circ\text{C}$, $\alpha\text{-Fe}$)、Cr、Mo、W、V 等。

2. 面心立方晶格

面心立方晶格的晶胞也是由 8 个原子构成的立方体, 但在立方体的每个面上还各有一个原子, 如图 1-3 所示。这种晶胞中, 在每个面的对角线上各原子彼此相互接触, 因而其原子半径 $r = \frac{\sqrt{2}}{4} a$, 又因每一面心位置上的原子是同时属于两个晶胞所共有的, 故面心

立方晶格的晶胞中包含有 $\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$ 个原子。

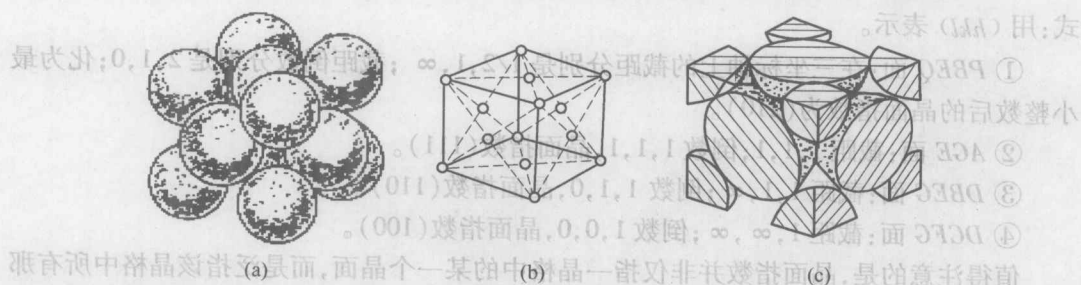


图 1-3 面心立方晶格

其致密度 $K = 4 \times \frac{4}{3} \pi \left(\frac{\sqrt{2}}{4} a \right)^3 / a^3 = 0.74$, 即有 74% 的体积被原子占有, 其余的为空隙。属于这种晶格的金属有: Al、Cu、Ni、Pb ($\gamma\text{-Fe}$) 等。

3. 密排六方晶格

由 12 个原子构成的简单六方晶体, 且在上下两个六方面心还各有一个原子, 而且简单六方体中心还有 3 个原子, 如图 1-4 所示。其晶格常数 $a = b \neq c$, $c/a = 1.633$ 。

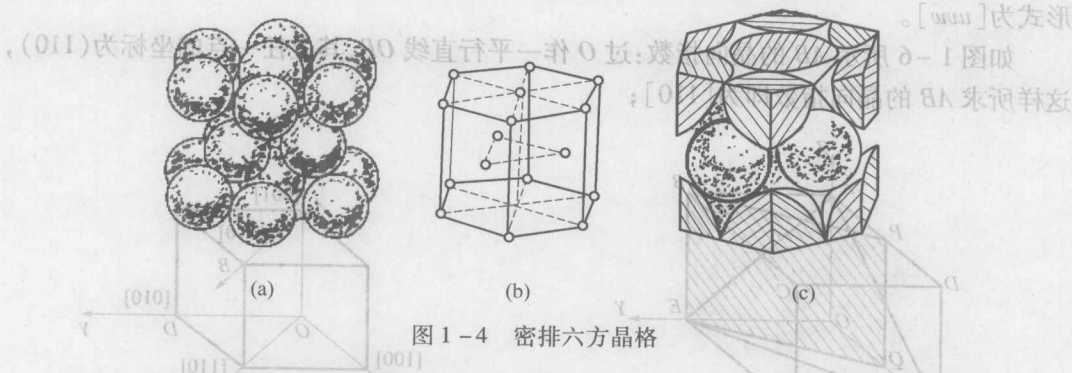


图 1-4 密排六方晶格

密排六方晶格的晶胞中所含的原子数为 $\frac{1}{6} \times 12 + \frac{1}{2} \times 2 + 3 = 6$ 个原子。致密度 $K = 0.74$ 。属于这种晶格的金属有铍 (Be)、Mg、Zn、镉 (Cd) 等。

除以上三种晶格以外, 少数金属还具有其它类型的晶格, 但一般很少遇到。

三、晶面及晶向指数

在研究金属晶体结构的细节及其性能时,往往需要分析它们的各种晶面和晶向中原子分布的特点,这样有必要给各种晶面和晶向定出一定的符号,以表示它们在晶体中的方向,从而便于分析,晶面和晶向的这种符号分别叫做“晶面指数”和“晶向指数”。

1. 晶面指数的确定

(1) 如图 1-5 所示,设晶格中某一原子为原点,通过该点平行于晶胞的三棱边作 OX 、 OY 、 OZ 三坐标轴,以晶格常数 a 、 b 、 c 分别作为相应的三个坐标轴上的度量单位,求出所需确定的晶面在三坐标轴上的截距。

(2) 将所得三截距之值变为倒数。

(3) 再将这三个倒数按比例化为最小整数并加上一圆括号,即为晶面指数。一般形式:用 (hkl) 表示。

① $PBEQ$ 面:在三坐标轴上的截距分别是 $1/2, 1, \infty$; 截距倒数分别是 $2, 1, 0$; 化为最小整数后的晶面指数为 (210) 。

② AGE 面:截距 $1, 1, 1$; 倒数 $1, 1, 1$, 晶面指数 (111) 。

③ $DBEG$ 面:截距 $1, 1, \infty$; 倒数 $1, 1, 0$, 晶面指数 (110) 。

④ $DCFG$ 面:截距 $1, \infty, \infty$; 倒数 $1, 0, 0$, 晶面指数 (100) 。

值得注意的是,晶面指数并非仅指一晶格中的某一个晶面,而是泛指该晶格中所有那些与其相平行的位向相同的晶面。此外,在一种晶格中,如果同一晶面,虽然它们的位向不同,但原子排列相同。如 (100) 、 (010) 等,这时若不必要予以区别时可把这些晶面统用 $\{100\}$ 表示。即:符号 (hkl) 系指某一确定位向的晶面指数,而 $\{hkl\}$ 则可指所有那些位向不同而原排列相同的晶面指数。

2. 晶向指数的确定

(1) 通过坐标原点引一直线,使其平行于所求的晶向。

(2) 求出该直线上任意一点的三个坐标值。

(3) 将三个坐标值按比例化为最小整数,加一方括号,即为所求的晶向指数,其一般形式为 $[uvw]$ 。

如图 1-6 所示 AB 的晶向指数:过 O 作一平行直线 OP , 其上任一点的坐标为 (110) , 这样所求 AB 的晶向指数即为 $[110]$;

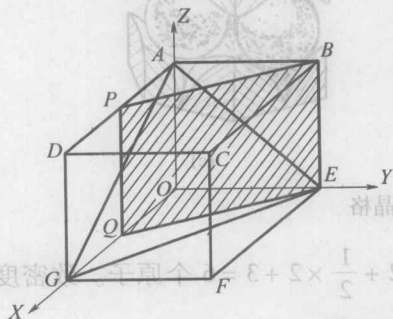


图 1-5 晶面指数的确定

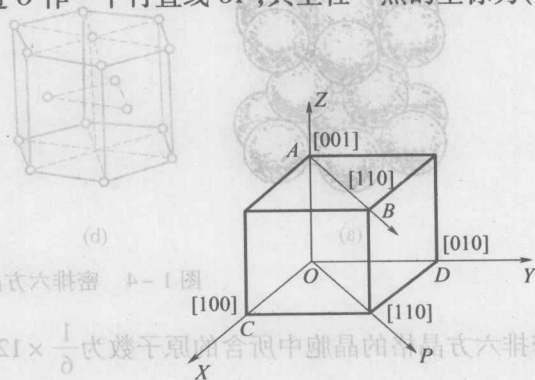


图 1-6 晶向指数的确定

OB : 本身过原点不必作平行线, 其上任一点的坐标为 (111) , 其晶向指数为 $[111]$; OC : 其上任一点 C 的坐标为 (100) , 其晶向指数为 $[100]$ 。同理, OD 晶向指数为 $[010]$, OA 晶向指数为 $[001]$ 。同样, $[100]$ 代表方向相同的晶组晶向, 而 $\langle 100 \rangle$ 则代表方向不同但原子排列相同的晶向。

四、金属的实际结构和晶体缺陷

1. 单晶体与多晶体

如果一块晶体, 其内部的晶格位向完全一致, 称这块晶体为单晶体。以上我们讨论的都是这种单晶体的情况。

但在工业金属材料中, 除非专门制作, 否则都不是单晶体, 即使在一块很小的金属中也含有许许多多的小晶体, 每个小晶体的内部, 晶格位向都是均匀一致的, 而各个小晶体之间, 彼此的位向都不相同。

这种小晶体的外形呈颗粒状, 称为“晶粒”, 晶粒与晶粒之间的界面称为“晶界”。在晶界处, 原子排列为适应两晶粒间不同晶格位向的过渡, 总是不规则的。

多晶体: 实际上由多种晶粒组成的晶体结构称为“多晶体”。

对于单晶体, 由于各个方向上原子排列不同, 导致各个方向上的性能不同, 即具有“各向异性”的特点; 而多晶体对每个小晶粒具有“各向异性”的特点, 而就多晶体的整体, 由于各小晶粒的位向不同, 表现的是各小晶粒的平均性能, 不具备“各向异性”的特点。

单晶体与多晶体示意图如图 1-7 所示。

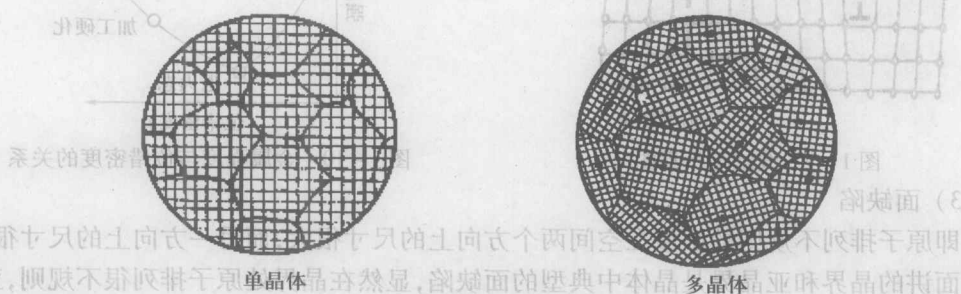


图 1-7 单晶体与多晶体示意图

2. 晶体缺陷

随着科学技术的发展, 人们发现, 在金属中还存在着各种各样的晶体缺陷, 按其几何形式的特点分为如下三类:

1) 点缺陷

即原子排列不规则的区域在空间三个方向尺寸都很小。晶体中的空位、间隙原子、杂质原子都是点缺陷, 如图 1-8 所示。

当晶格中某些原子由于某种原因 (如热振动等), 脱离其晶格节点而转移到晶格间隙, 这样就形成了点缺陷, 点缺陷的存在会引起周围的晶格发生畸变, 从而使材料的性能发生变化, 如屈服强度提高和电阻增加等。

2) 线缺陷

即原子排列不规则区域在空间一个方向上的尺寸很大, 而在其余两个方向上的尺寸

很小,如位错。晶格点阵中,原子排列不规则的区域在空间两个方向上的尺寸很大,而另一方向上的尺寸很小,如前面讲的晶界和亚晶界是晶体中典型的面缺陷,显然在晶界处原子排列很不规则,亚晶界处原子排列不规则程度虽较晶界处小,但也是不规则的,可以看作是由无数刃型位错组成的位错墙(图1-11),这样晶界及亚晶界越多,晶格畸变越大,且位错密度越大,晶体的

位错可以认为是晶格中一部分晶体相对于另一部分晶体的局部滑移而造成的。滑移部分与未滑移部分的交界线即为位错线。

由于晶体中局部滑移的方式不同,可形成不同类型的位错,图1-9为一种最简单的位错——“刃型位错”。因为相对滑移的结果上半部分多出一半原子面,多余半原子面的边缘好像插入晶体中的一把刀的刃口,故称“刃型位错”。

实际晶体中存在大量的位错,一般用位错密度来表示位错的多少(位错密度:单位体积中位错线的总长度,或单位面积上位错线的根数,单位: cm^{-2})。位错线附近的原子偏离了平衡位置,使晶格发生了畸变,对晶体的性能有显著的影响。

大量的实验和理论研究表明,晶体的强度和位错密度有如图1-10所示的对应关系,可见,当晶体中位错密度很低时,晶体强度很低;相反在晶体中位错密度很高时,其强度很高。但目前的技术,仅能制造出直径为几微米的晶须,不能满足使用上的要求,而位错密度很容易实现,如剧烈的冷加工可使密度大大提高,这为材料强度的提高提供了途径。

晶体的强度和位错密度的关系如图1-10所示,理论值、加工硬化、退火态。

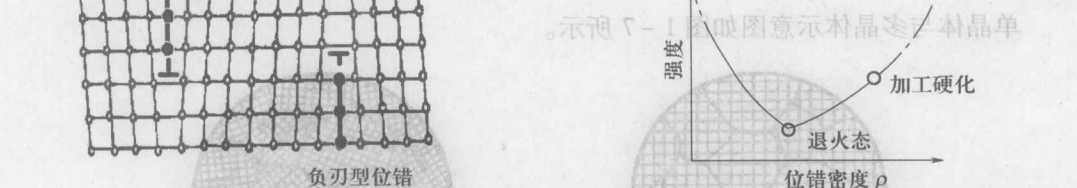


图1-9 线缺陷示意图

3) 面缺陷

即原子排列不规则的区域在空间两个方向上的尺寸很大,而另一方向上的尺寸很小,如前面讲的晶界和亚晶界是晶体中典型的面缺陷,显然在晶界处原子排列很不规则,亚晶界处原子排列不规则程度虽较晶界处小,但也是不规则的,可以看作是由无数刃型位错组成的位错墙(图1-11),这样晶界及亚晶界越多,晶格畸变越大,且位错密度越大,晶体的

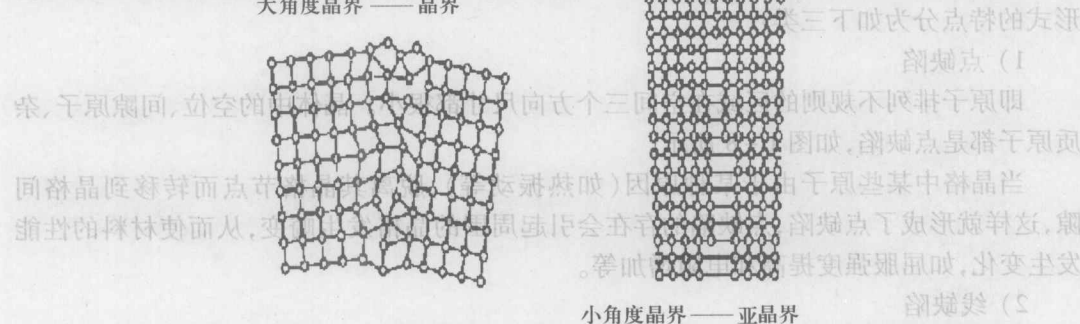


图1-11 面缺陷示意图

强度越高。即前,合平一殿出切,下既更盛当,外制满致更盛,斗制同和春制,更下晶制)然制代向晶制故开并制更盛一查奇干由量致,制不好并更盛其且,然制代向晶制并制,夫制制量然制并来然制晶

第二节 金属的结晶

一、结晶的基本概念

一切物质从液态到固态的转变过程称为凝固,如凝固后形成晶体结构,则称为结晶。金属在固态下通常都是晶体,所以金属自液态冷却转变为固态的过程,称为金属的结晶。

液态金属与固态金属的主要差别在于:液态金属无一定形状,易流动,原子间的距离大,但在一定温度条件下,在液态金属中存在与固态金属的“远程排列”不同的“近程排列”。

1. 结晶时的过冷现象

各种纯金属如 Fe、Cu 等都有一定的结晶温度,如 Fe 为 1539°C , Cu 为 1083°C 等,这是指理论结晶温度,也叫平衡结晶温度,是指液体的结晶速度与晶体的熔化速度相等时的温度。实际上的结晶温度总是低于这一平衡结晶温度,原因在结晶的能量条件上。

在自然界中,任何物质都具有一定的能量,而且一切物质都是自发地由能量高的状态向能量低的状态转变,结晶过程也同样遵循这一规律。

在图 1-12 中以自由能 F 代表体系的能量,可见,只有当固态金属的自由能低于液态金属的自由能,即体系自由能的变化 $\Delta F = F_{\text{固}} - F_{\text{液}} < 0$ 时,结晶过程才能自发进行,从温度坐标上看,只有实际结晶温度 T_1 低于平衡结晶温度 T_0 ,结晶过程才能自发进行。上述这种实际结晶温度低于平衡结晶温度的现象称为过冷现象。两者之间的温度差 ΔT 称为过冷度。 $\Delta T = T_0 - T_1$,过冷度的大小与金属的本性以及冷却速度有关,冷却速度越大,过冷度 ΔT 越大。

2. 实际结晶温度的测定(冷却曲线)

金属的实际结晶温度可以用热分析方法测定,具体做法如下:

先将纯金属加热熔化为液体,然后缓慢冷却下来,同时每隔一定时间测一次温度,并把记录的数据绘在温度—时间坐标中,得到温度与时间的曲线,即冷却曲线(图 1-13)。

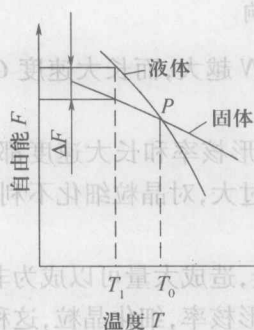


图 1-12 液体和固体的自由能随温度的变化

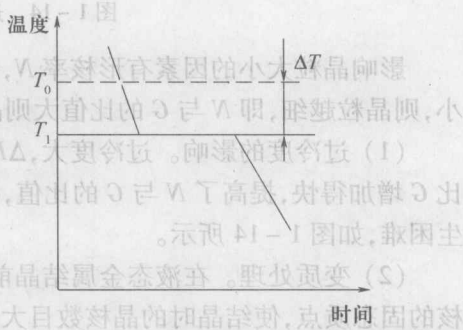


图 1-13 纯金属冷却曲线

可见,随着时间的增长,温度逐渐降低,当温度到 T_0 时出现一平台,说明这时虽然液体金属向外散热,但其温度并没下降,这是由于在这一温度液体开始结晶向外散热(结晶潜热),补偿了液体对外的热量散失,结晶终了后就没有结晶潜热来补偿热量的散失,所以温度又开始下降。

二、结晶过程的基本规律

1. 形核和晶核长大

金属的结晶过程从微观的角度看,当液体金属冷到实际结晶温度后,开始从液体中形成一些尺寸极小的、原子呈规则排列的晶体——晶核,这种已形成的晶核不断长大,同时液态金属的其它部位也产生新的晶核,新晶核又不断长大,直到液态金属全部消失,结晶结束。

总之,液态金属的结晶包括形核和晶核长大的两个基本环节。形核有自发形核和非自发形核两种方式,自发形核是在一定条件下,从液态金属中直接产生,原子呈规则排列的结晶核心;非自发形核,是液态金属依附在一些未熔颗粒表面所形成的晶核,非自发形核所需能量较少,它比自发形核容易得多,一般条件下,液态金属结晶主要靠非自发形核。晶体的长大是以枝晶状形式进行的,并不断地分枝发展。

2. 影响晶核形成和长大的因素

晶粒大小对金属力学性能有较大的影响,在常温下工作的金属,其强度、硬度、塑性的韧性,一般是随晶粒细化而有所提高的。

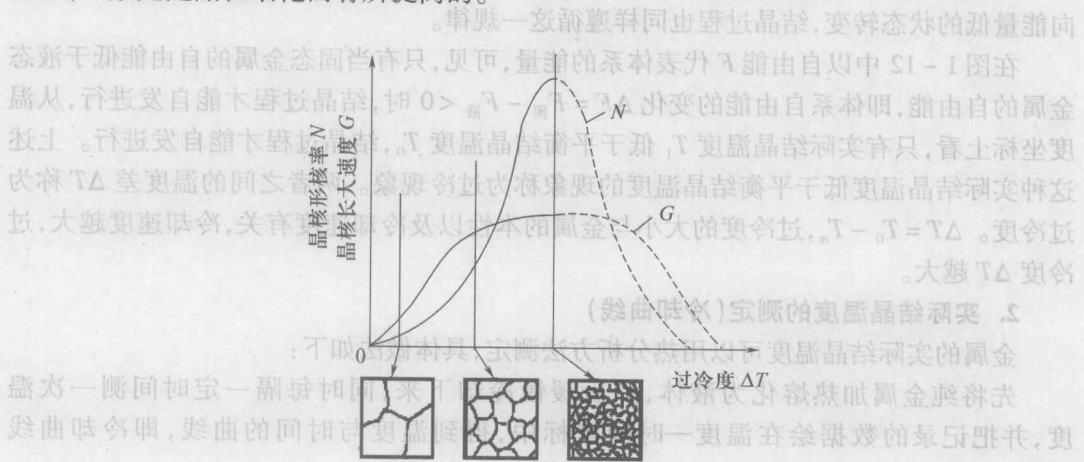


图 1-14 过冷度对晶粒大小的影响

影响晶粒大小的因素有形核率 N , 长大速度 G , 形核率 N 越大, 而长大速度 G 相对越小, 则晶粒越细, 即 N 与 G 的比值大则晶粒细。

(1) 过冷度的影响。过冷度大, ΔF 大, 结晶驱动力大, 形核率和长大速度都大, 且 N 比 G 增加得快, 提高了 N 与 G 的比值, 晶粒变细, 但过冷度过大, 对晶粒细化不利, 结晶发生困难, 如图 1-14 所示。

(2) 变质处理。在液态金属结晶前, 特意加入某些合金, 造成大量可以成为非自发晶核的固态质点, 使结晶时的晶核数目大大增加, 从而提高了形核率, 细化晶粒, 这种处理方法即为变质处理。

复习思考题

1. 常见的金属晶体结构有几种? α -Fe、 γ -Fe、Al、Cu、Ni、Pb、Cr、V、Mg、Zn 各属何种晶体结构?
2. 以纯铁为例说明什么是同素异构转变?
3. 金属结晶的基本规律是什么? 晶核的形核率和长大速度受到哪些因素的影响?
4. 在铸造生产中, 采用哪些措施控制晶粒大小? 在生产中如何应用变质处理?

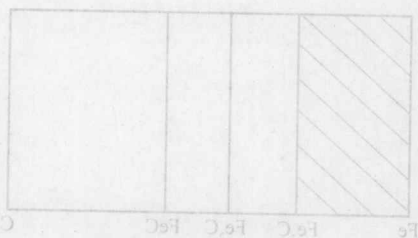


图 2-1 Fe-Fe₃C 相图

图 2-1 是 Fe-Fe₃C 相图, 它是铁碳合金中最重要、最基本的相图。该图显示了铁碳合金在不同温度和成分下的相态。图中主要相区包括液相 (L)、铁素体 (Fe)、奥氏体 (Fe₃C)、渗碳体 (Fe₃C) 以及它们的混合物。图中还标出了重要的相变点, 如共析点 (727°C) 和共晶点 (1148°C)。

一、铁碳合金相图中组元的性质和类型

1. 组元的性质
铁碳合金相图 Fe-Fe₃C 相图, 其基本组元是 Fe 和 Fe₃C。Fe 是铁, 其性质大家比较熟悉, 这里不再赘述。Fe₃C 是渗碳体, 它是一种硬而脆的化合物, 其性质与铁不同。在相图中, Fe 和 Fe₃C 的相变关系决定了铁碳合金的组织与性能。

表 2-1 铁的晶体结构

温度范围	晶体结构	晶胞类型
1394°C - 熔点	体心立方 (b.c.c.)	铁 δ (Fe)
912°C - 1394°C	面心立方 (f.c.c.)	铁 γ (Fe)
室温 - 912°C	体心立方 (b.c.c.)	铁 α (Fe)

2. 铁碳合金相图的基本特征
铁碳合金相图的基本特征包括: 共析反应、共晶反应、相变温度、相区划分等。这些特征决定了铁碳合金在不同条件下的组织与性能。

第二章 铁碳合金

第一节 铁碳合金相图

众所周知,钢铁材料具有一系列优良的机械性能和工艺性能,是现代工农业生产中应用最广泛的金属材料,它们是以铁和碳作为基本元素的合金,改变其化学成分和工艺条件,就可以获得不同的组织和性能,从而能满足生产和使用的多种需要。

铁碳合金相图是研究在平衡条件下,铁碳合金的成分、组织和性能之间的关系及变化规律,这里的平衡是指极其缓慢的冷却。铁碳相图是从长期的生产和科学实验中总结出来的,是研究钢铁材料、制定热加工工艺的重要理论依据和工具。

铁和碳可以形成 Fe_3C 、 Fe_2C 、 FeC 等金属化合物。

$\text{Fe} + \text{C} \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}$ 、 Fe_2C 、 FeC ……整个铁碳相图可以看成是由 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 、 $\text{Fe}_3\text{C}-\text{Fe}_2\text{C}$ 、 $\text{Fe}_2\text{C}-\text{FeC}$ 等各部分相图所组成。由于含碳量超过 5% 的铁碳合金机械性能和工艺性能差,没有实用价值,因此在铁碳相图中只研究 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图部分,下面要分析的铁碳相图实际上就是 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图,实践中普遍应用的也是 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图,如图 2-1 所示。

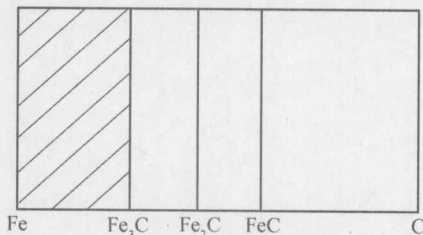


图 2-1 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图

一、铁碳合金相图中组元的性质和相的类型

1. 组元的性质

铁碳合金相图 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图,其基本组元是 Fe 和 Fe_3C , Fe_3C 又是铁碳相图中的一个基本相,后面将详细讲述,这里只讲 Fe 。

Fe 是ⅧB族 26 号元素,具有一系列优良的物理及化学性质,大家都比较熟悉,这里就不涉及,只讲铁在晶体结构上的一个性质——多晶型性,即在不同的条件下,铁具有不同的晶体结构,在条件改变时铁会发生同素异构转变,见表 2-1。

表 2-1 铁的多晶型性

温 度	晶体结构类型	晶 形
温室 ~ 912℃	体心立方(b,c,c)	称 $\alpha-\text{Fe}$
912℃ ~ 1394℃	面心立方(f,c,c)	称 $\gamma-\text{Fe}$
1394℃ ~ 熔点	体心立方(b,c,c)	称 $\delta-\text{Fe}$ (不同于 $\alpha-\text{Fe}$, 晶格尺寸较大)

2. 铁与碳相互作用构成的基本相

在铁碳合金中,由于含碳量和温度的不同,铁原子和碳原子相互作用可以形成铁素