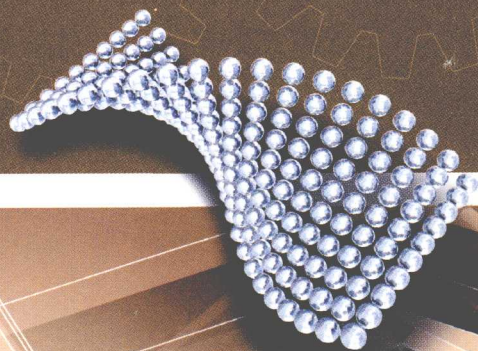




中等职业教育实用系列教材

工程材料与 热处理



◎主编 史延枫◎主审 张维平



中国地图出版社



中等职业教育实用系列教材

培 养 态 度 · 训 练 技 能

工程材料与热处理

GONGCHENG CAILIAO YU RECHULI

主 编 史延枫

主 审 张维平

中国地图出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要针对中等职业技术学校机械类专业学生编写, 内容简洁, 注重理论联系实际, 语言通俗易懂, 具有较强的可读性。本书主要介绍了金属的力学性能和工艺性能, 金属的晶体结构、结晶和塑性变形, 铁碳合金及其相图, 钢的热处理, 常用金属材料等。

本书可作为中等职业学校机械专业的基础教材, 以及相关专业技术人员工作查询资料所用。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料与热处理 / 史延枫主编. — 北京: 中国地图出版社, 2009.8

(中等职业教育实用系列教材)

ISBN 978-7-5031-5176-7

I. 工… II. 史… III. ①工程材料 - 专业学校 - 教材
②热处理 - 专业学校 - 教材 IV. TB3 TG15

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第151831号

责任编辑	杨棉仙	封面设计	王凯丽
特约编辑	莫小东	责任校对	叶国珩
出版发行	中国地图出版社	邮政编码	100054
社 址	北京市宣武区白纸坊西街3号	网 址	www.sinomaps.com
电 话	010-83543927	经 销	新华书店
印 刷	北京天顺鸿彩印有限公司		
成品规格	185mm × 260mm	印 张	9.5
字 数	224 000		
版 次	2009年9月第1版	印 次	2009年9月第1次印刷
印 数	1-3000	定 价	16.00元
书 号	ISBN 978-7-5031-5176-7/G · 1778		

如有印装质量问题, 请与我社发行部联系

前 言

本书是根据教育部颁发的中等职业技术学校工程材料教学大纲并参照有关行业的职业技能鉴定规范而编写的,主要供三年制中等职业技术学校的机械类专业学生使用。本书按“适用”和“实用”的指导核心进行编排,内容简洁,条理清楚,注重理论联系实际,语言通俗易懂,可读性强。

本书主要介绍了材料的发展历史与分类,重点介绍了金属的性能,包括金属的力学性能和工艺性能;金属的基础知识,包括金属的晶体结构、结晶和塑性变形,铁碳合金及其相图;钢的热处理,包括热处理的原理和热处理工艺;常用金属材料,包括碳素钢、合金钢、铸钢、铸铁、有色金属及硬质合金的牌号、成分、组织、热处理、性能及用途;另外还补充了常用的非金属材料的相关知识与应用以满足读者的工作和学习需要。

为了便于同学课后复习与巩固所学知识,本书章节后附有习题供学生练习。另外书后附有相关知识表备查。

本书由成都大学工业制造学院史延枫担任主编。绪论部分和第1、2、4章由史延枫编写,第3章由孙付春编写,第5章由余明浪编写,第6、7章由史延梅编写,第8章由喻洪平编写。本书由成都大学张维平担任主审,在此表示衷心感谢。

本书可作为中等职业技术学校教学与培训的教材,以及相关专业的技术人员工作查阅用书。

限于作者水平,书中错误与疏漏在所难免,欢迎读者批评指正。

编 者

2009年8月

目 录

绪 论	1
第1章 金属材料的结构与性能	6
1.1 晶体结构的基本概念	6
1.2 金属材料的晶体结构	7
1.3 合金的晶体结构	10
1.4 金属材料的组织	12
1.5 金属材料的性能	14
本章小结	18
习题	19
实验	19
第2章 金属材料相图和塑性加工	20
2.1 金属结晶与合金组织结构	20
2.2 铁碳合金	26
2.3 金属的塑性加工	39
本章小结	46
习题	46
实验	47
第3章 金属的热处理	48
3.1 概述	48
3.2 金属热处理的改性	51
3.3 钢的热处理	59
本章小结	79
习题	79
实验	79
第4章 常用金属材料	80
4.1 常见元素对金属工程材料性能的影响	80

4.2 碳钢	84
4.3 合金钢	88
4.4 铸钢与铸铁	99
4.5 有色金属及其合金	101
本章小结	107
习题	107
实验	108
第5章 高分子材料	109
5.1 高分子材料概述	109
5.2 塑料	110
5.3 合成纤维	116
5.4 合成橡胶	118
本章小节	120
习题	121
第6章 陶瓷材料	122
6.1 陶瓷材料概述与性能	122
6.2 普通陶瓷	124
本章小结	126
习题	126
第7章 复合材料	127
7.1 复合材料概述与复合机理	127
7.2 复合材料的性能特点	129
7.3 非金属基复合材料	130
7.4 金属基复合材料	131
本章小结	131
习题	131
第8章 工程材料的选用	132
8.1 选材的基本原则、过程和方法	132
8.2 工程材料的应用	138
本章小结	145
习题	145
参考文献	146

绪 论

本课程是一门分析介绍工程材料的成分、组织、分类及热处理知识的学科。通过本课程的学习,学生在掌握机械工程材料的基本理论及基本知识的基础上,具备根据机械零件的使用条件和性能要求,对结构零件进行合理选材及制订零件工艺路线的初步能力。

1. 本课程的主要内容

本课程的主要内容包括绪论——工程材料发展与分类,第1章——金属材料的结构与性能,第2章——金属材料相图与塑性加工,第3章——金属的热处理,并在此基础上通过第4章介绍了常用金属材料的特点、分类与用途,然后通过第5章到第7章分别介绍了各种非金属材料的特点、分类与用途,同时,在本书最后一章给出了不同工程材料的应用情况。

课程中引入了较多的新材料、新技术知识,有利于培养学生的创新意识。课程力求文字简洁,信息量大,内容新颖,科学性、实用性强。

工程材料与热处理是一门在生产实践中发展起来的,直接为生产服务的专业基础课,具有很强的实践性。由于材料的种类繁多,其性能又千变万化,因此,课程涉及的术语多,概念多,而且较抽象,学习起来有一定的难度。但只要弄清楚重要的概念和基本理论,按材料的成分、组织、性能和用途这一主线进行学习和记忆,注意理论联系实际,认真进行作业和实验等教学环节,是完全可以学好这门课程的。

2. 材料科学在我国的发展概述

(1)我国的材料科学发展的历史。在人类的发展史上,最先使用的工具是石器。我们的祖先用坚硬的,容易纵裂成薄片的燧石和石英石等天然材料制成石刀、石斧、石锄,如图1所示。

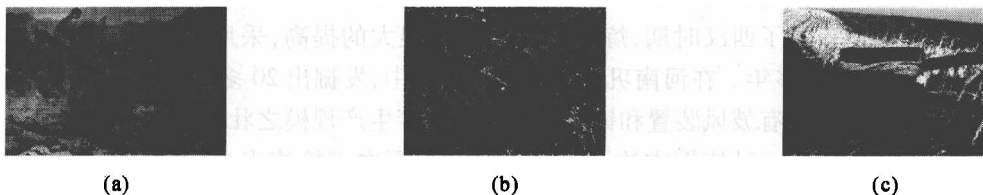


图1 石器材料

早在新石器时代(公元前6000年~公元前5000年),中华民族的先人们用粘土(主要

成分为 SiO_2 , Al_2O_3) 烧制成陶器。马家窑(甘肃)文化时期的陶器以砂质和泥质红陶为主, 表面彩绘有条带纹、波纹和舞蹈纹等, 制品有炊具、食具、盛储器皿等。如图 2 所示。

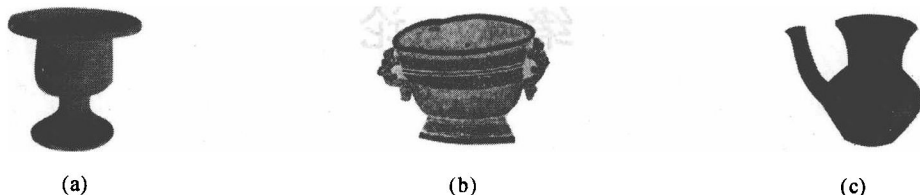


图 2 陶器材料

我国在东汉时期发明了瓷器, 成为最早生产瓷器的国家。瓷器于 9 世纪传到非洲东部和阿拉伯国家, 13 世纪传到日本, 15 世纪传到欧洲。瓷器成为中国文化的象征, 对世界文明产生了极大的影响。直到今天, 中国瓷器仍畅销全球, 名誉四海。如图 3 所示。

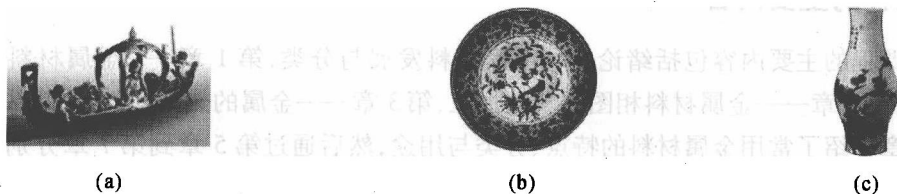


图 3 瓷器材料

我国青铜的冶炼在夏朝(公元前 2140 年始)以前就开始了, 到殷、西周时期已发展到很高的水平。青铜主要用于制造各种工具、食器、兵器。从河南安阳晚商遗址出土的司母戊鼎重达 8750N, 外形尺寸为 $1.33\text{m} \times 0.78\text{m} \times 1.10\text{m}$, 是迄今世界上最古老的大型青铜器。从湖北随县出土的战国青铜编钟是我国古代文化艺术高度发达的见证。我国劳动人民创造了灿烂的青铜文化。如图 4 所示。

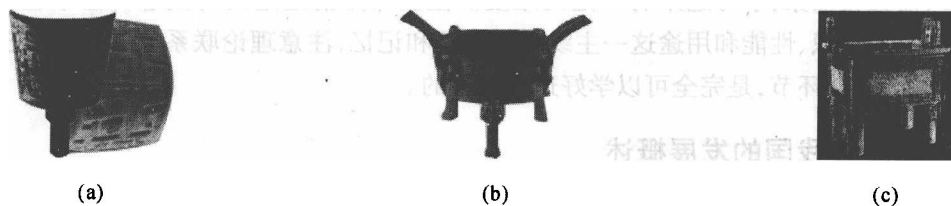


图 4 青铜器材料

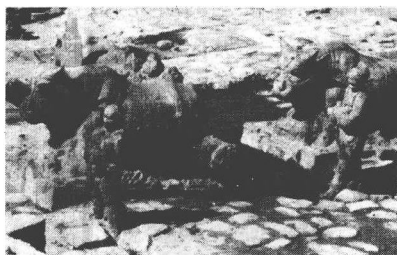
我国从春秋战国时期(公元前 770 年 ~ 公元前 221 年)已开始大量使用铁器。从兴隆战国铁器遗址中发掘出了浇铸农具用的铁模, 说明冶铸技术已由泥沙造型水平进入铁模铸造的高级阶段。到了西汉时期, 炼铁技术又有了很大的提高, 采用煤作为炼铁的燃料, 这要比欧洲早 1700 多年。在河南巩县汉代冶铁遗址中, 发掘出 20 多座冶铁炉和锻炉。炉型庞大, 结构复杂, 并有鼓风装置和铸造坑。可见当年生产规模之壮观。

我国古代创造了三种炼钢方法。第一种是从矿石中直接炼出自然钢, 用这种钢做的剑在东方各国享有盛誉, 东汉时传入了欧洲; 第二种是西汉时期的经过“百次”冶炼锻打的百炼钢; 第三种是南北朝时期生产的灌钢。先炼铁后炼钢的两步炼钢技术, 我国要比其他国家早 1600 多年。如图 5 所示。

我国古代钢的热处理技术也达到了相当高的水平。西汉《史记·天官书》中有“水与



(a)



(b)

图5 铁器材料(铁人和大铁牛)

火合为淬”一说,正确地说出了钢铁加热、水冷的淬火热处理工艺要点。《汉书·王褒传》中记载有“巧冶铸干将之朴,清水淬其锋”的制剑技术。明代科学家宋应星在《天工开物》一书中对钢铁的退火、淬火、渗碳工艺作了详细的论述。钢铁生产工具的发展,对社会进步起了巨大的推动作用。

在材料领域中还应该提到的是丝绸。丝绸是一种天然高分子材料,它在我国有着悠久的历史,于11世纪传到波斯、阿拉伯、埃及,并于1470年传到意大利的威尼斯,进入欧洲。

历史充分说明,我们勤劳智慧的祖先,在材料的创造和使用上有着辉煌的成就,为人类文明、世界进步作出了巨大贡献。

(2)新材料新工艺的出现。在当代,科学技术和生产飞跃发展,材料、能源与信息作为现代社会和现代技术的三大支柱,发展格外迅猛。

20世纪60年代到70年代中,高分子材料每年以14%的速度增长,而金属材料的年增长率仅为4%。到70年代中期,全世界的高分子材料和钢的体积产量已经相等;除了用作结构材料代替钢铁外,目前正在研究和开发具有良好导电性能和耐高温的高分子材料。

陶瓷材料的发展同样十分引人注目,它除了具有许多特殊性能作为重要的功能材料(例如可作光导纤维、激光晶体等)以外,其脆性和抗热震性正在逐步获得改善,是最有前途的高温结构材料。机器零件和工程结构已不再只使用金属材料制造了。

随着航空、航天、电子、通讯等技术以及机械、化工、能源等工业的发展,对材料的性能提出越来越高、越来越多的要求,传统的单一材料已不能满足使用要求,复合材料的研究和应用引起了人们的重视。如玻璃纤维树脂复合材料(即玻璃钢)、碳纤维树脂复合材料已应用于宇航和航空工业中制造卫星壳体、宇宙飞行器外壳、飞机机身、螺旋桨、发动机叶轮等;在交通运输工业中制造汽车车身、轻型船艇等;在石油化工工业中制造耐酸、耐碱、耐油的容器、管道等。如图6和图7所示。



图6 玻璃钢赛车壳体

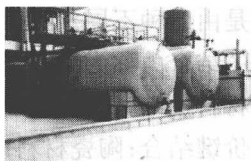


图7 玻璃钢储液罐

近年来超导材料、磁性材料、形状记忆材料、信息材料等各种功能材料有很大的发展。

我国在新材料新工艺的研究和应用方面取得了重大成果:成功研制出性能优越、用途广泛的新型结构钢——贝氏体钢;研制出零电阻温度为 128.7K 的 $Tl - Ca - Ba - Cu - O$ 超导体(铊系超导体);镁铝合金的开发和应用研究取得重大成果。

材料快速成型技术和材料表面处理技术在我国得到了迅速发展。如图 8 和 9 所示。

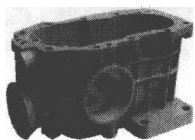


图 8 分层实体快速成型减速箱体原型

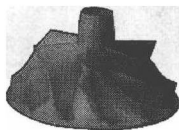


图 9 熔融沉积快速成型叶轮原型

激光表面淬火、激光熔涂技术已在汽车发动机缸套、凸轮轴、石油抽油管、纺织用锭杆等零件的表面强化上得到应用。化学气相沉积(CVD)可制造出高硬度、高耐磨性的金黄色 TiN 薄膜,用于耐磨零件和装饰件的表面处理。我国汽车工业发展迅猛,汽车材料需求迅速增加。

在 C_{60} 和碳纳米管新型碳材料的研究方面取得许多新的成果。利用碳纳米管作为衬底,制备出均匀、致密的金刚石薄膜;并用碳纳米管制作纳米复合材料,太空材料即属于纳米复合材料。如图 10,11 和 12 所示。总之,材料科学和材料工程发展很快,我们需要掌握材料科学的基本理论和基本知识,研究和发明新的材料和新的工艺,合理地使用各种工程材料,为四个现代化建设事业作出贡献。

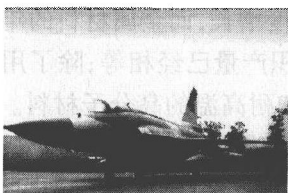


图 10 超 7 隐形战斗机

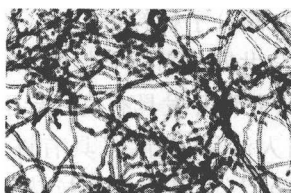


图 11 碳纳米管



图 12 歼 7E 战斗机

3. 工程材料的分类

工程材料主要是指用于机械、车辆、船舶、建筑、化工、能源、仪器仪表、航空航天等工程领域中的材料,用来制造工程构件和机械零件,也包括一些用于制造工具的材料和具有特殊性能(如耐蚀、耐高温等)的材料。

工程材料可以有不同的分类方法。比较科学的方法是根据材料的结合键进行分类。各种工程材料是由各种不同的元素组成,由不同的原子、离子或分子结合而成。原子、离子或分子之间的结合力称为结合键。一般可把结合键分为离子键、共价键、金属键和分子键四种。工程材料按结合键的性质可分为四类:金属材料主要以金属键结合;高分子材料以分子键和共价键结合;陶瓷材料以离子键、共价键结合;复合材料可由多种结合键组成。如图 13 所示。

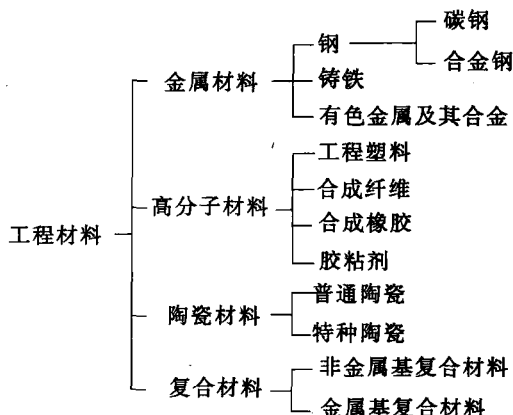


图 13 工程材料的分类

(1) 金属材料。金属材料是最重要的工程材料,包括金属和以金属为基的合金。最简单的金属材料是纯金属。工程应用的金属材料,原子间的结合键基本上为金属键,皆为金属晶体材料。

工业上把金属和其合金分为两大部分:

- ①黑色金属铁和以铁为基的合金(钢、铸铁和铁合金);
- ②有色金属即黑色金属以外的所有金属及其合金。

(2) 高分子材料。高分子材料为有机合成材料,亦称聚合物。它具有较高的强度,良好的塑性,较强的耐腐蚀性能,很好的绝缘性,以及重量轻等优良性能,在工程上是发展最快的一类新型结构材料。

高分子材料由大量相对分子质量特别大的大分子化合物组成,每个大分子皆包含有大量结构相同、相互连接的链节。有机物质主要以碳元素(通常还有氢)为其结构组成,在大多数情况下它构成大分子的主链。大分子内的原子之间由很强的共价键结合,而大分子与大分子之间的结合力为较弱的范特瓦尔斯力。工程上通常根据机械性能和使用状态将其分为四大类:塑料、合成纤维、橡胶、胶粘剂。

(3) 陶瓷材料。陶瓷是由一种或多种金属元素和一种非金属元素(通常为氧)组成的化合物。非金属元素原子同金属原子化合时形成很强的离子键,同时也存在有一定成分的共价键,但离子键是主要的。例如 MgO 晶体中,离子键占 84%,共价键占 16%。同时,也有一些特殊陶瓷以共价键为主。陶瓷的硬度很高,但脆性很大。

陶瓷材料属于无机非金属材料,主要为金属氧化物和金属非氧化合物。由于大部分无机非金属材料是含有硅和其他元素的化合物,所以又叫做硅酸盐材料。它一般包括无机玻璃(硅酸盐玻璃)、玻璃陶瓷(或称微晶玻璃)和陶瓷等三类。

(4) 复合材料。复合材料就是由两种或两种以上不同材料形成的组合材料,其性能优于它的组成材料。复合材料可以由各种不同种类的材料复合组成,所以它的结合键非常复杂。它在强度、刚度和耐蚀性方面比单纯的金属、陶瓷和聚合物都优越,是一类特殊的工程材料,具有广阔的发展前景。

第 1 章 金属材料的结构与性能

【内容提要】

本章介绍金属材料的结构与组织,并介绍了金属材料的工艺性能、机械性能和理化性能。

【学习目标】

了解金属材料的晶体结构、晶体缺陷和合金的结构,了解金属材料的组织及性能。

【学习建议】

1. 应弄清三种常见金属的晶体结构及其特点,以及由此引起的性能的不同。
2. 了解金属材料和复合材料的结构与性能。
3. 建议本章学时:8~9 学时。

1.1 晶体结构的基本概念

根据内部原子的排列是否有规律性将固体物质分为晶体和非晶体两类。原子在三维空间中作规则的周期性重复排列的物质称为晶体,否则称为非晶体。晶体是固体中数量最大的一类。只有少数固体物质是非晶体,例如普通玻璃、松香、石蜡等。固态金属一般均为晶体,大多数固态的无机物也都是晶体,例如食盐、单晶硅等。晶体与非晶体相比具有一系列的晶体特性,例如:往往都具有规则的外形,像食盐结晶后呈立方体形;具有固定熔点(如铁为 1538°C),而非晶体没有固定的熔点,通常是在一个温度范围内熔化;性能上表现为各向异性,而非晶体因其在各个方向上的原子聚集密度大致相同,故而表现出各向同性。但在一定条件下,晶体和非晶体可以互相转化。例如,玻璃经长时间高温加热能变成晶态玻璃;通常是晶态的金属,如从液态急冷(冷速 $> 10^{10}\text{K/s}$)也可获得非晶态金属。非晶态金属与晶态金属相比,具有较高的强度与韧性等一系列突出性能,近年来已引起材料科学工作者的重视并获得了一些应用。

构成晶体的原子(离子或分子)在空间规则排列的方式称为晶体结构。为研究晶体中原子排列的规律性,可以把原子看作是一个个固定的刚性小球,得到如图 1-1 所示的原

子排列模型,球体部分称为结点。为了研究方便,用一些假想的空间直线把这些结点连接起来,构成空间格架,称为晶格或点阵。在晶体中,由一系列原子所组成的平面称为晶面,原子在空间排列的方向称为晶向。

由于晶体中原子做周期性的规则排列,因此,可从晶格中选取一个能够完全反映晶格特征的最小的几何单元来分析晶体中原子排列的规律,这个最小的几何单元称为晶胞,如图1-2所示。晶格的大小和形状等几何特征以晶胞的棱边长度 a 、 b 、 c 及棱间夹角 α 、 β 、 γ 等参数来描述,其中晶胞的棱边长度 a 、 b 、 c 一般称为晶格常数,金属的晶格常数大多为 $0.1 \sim 0.7\text{nm}$ 。按照以上六个参数组合的可能方式或根据晶胞自身的对称性,可将晶体结构分为七个晶系,其中立方晶系较为重要($a=b=c, \alpha=\beta=\gamma=90^\circ$)。各种晶体由于其晶格类型不同而呈现不同的物理、化学及力学性能。

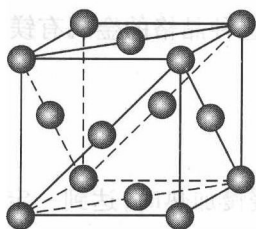


图1-1 晶体的原子排列结构模型

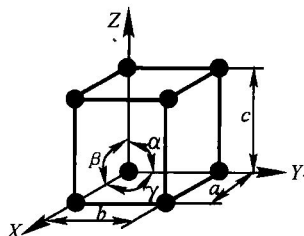


图1-2 晶胞的结构模型

1.2 金属材料的晶体结构

1. 纯金属的晶体结构与组织

晶体中按原子(离子或分子)规则排列的方式称为晶体结构。以金属原子(离子)为结点,划出许多空间直线,这些直线将形成空间格架,即为金属的晶格结构。晶格的结点为金属原子(或离子)平衡中心的位置。能反映出该晶格特征的最小组成单元称为金属材料的晶胞,它们在三维空间的重复排列构成晶格。晶胞的基本特性即反映出该晶体结构(晶格)的特点。对于金属材料而言,其晶体结构可用X射线结构分析技术进行测定。金属的晶体结构主要有三种:体心立方晶格(胞)(B. C. C. 晶格)、面心立方晶格(胞)(F. C. C. 晶格)和密排六方晶格(胞)(H. C. P. 晶格)。

(1)体心立方晶格(胞)(B. C. C. 晶格),如图1-3(a)所示。

此种晶格结构是金属8个原子处于立方体的角上,1个原子处于立方体的中心,角上8个原子与中心原子紧靠。具有体心立方晶格的金属有钼(Mo)、钨(W)、钒(V)、 α 铁(α -Fe)等。

(2)面心立方晶格(胞)(F. C. C. 晶格),如图1-3(b)所示。

此种晶格结构是14个金属原子分布在立方体的8个角上和6个面的中心。面中心的原子与该面4个角上的原子紧靠。具有这种晶格的金属有铝(Al)、铜(Cu)、镍(Ni)、金

(Au)、银(Ag)、 γ -铁等。

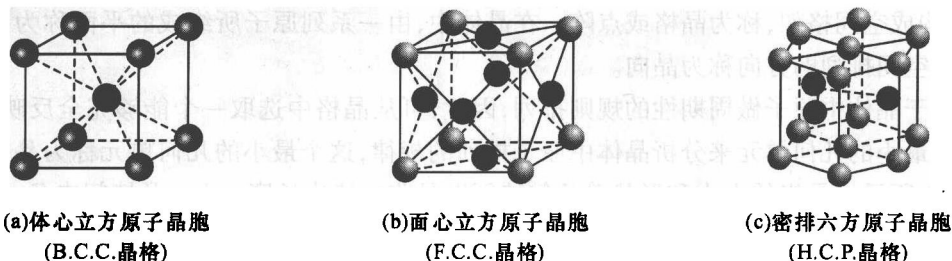


图 1-3 晶格(胞)结构模型

(3)密排六方晶格(胞)(H.C.P.晶格),如图 1-3(c)所示。

此种晶格结构是 12 个金属原子分布在 6 方体的 12 个角上,在上下底面的中心各分布 1 个原子,上下底面之间均匀分布 3 个原子。具有这种晶格的金属有镁(Mg)、镉(Cd)、锌(Zn)、铍(Be)等。

2. 金属晶体的特性

(1)金属晶体具有确定的熔点。纯金属进行缓慢加热时,达到一定的温度,固态金属会熔化成为液态金属。在熔化过程中,温度保持不变。其熔化温度(T_0)称为熔点。而非晶体材料在加热时,由固态转变为液态时,其温度是逐渐变化的。如图 1-4 所示。

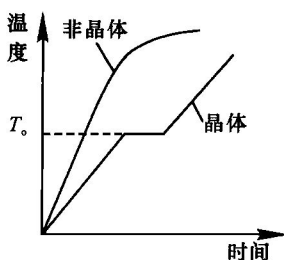


图 1-4 晶体和非晶体的熔化曲线

(2)金属晶体具有各向异性。非晶体在各个方向上性能完全相同,这种性质叫非晶体的各向同性。在晶体中,不同晶面和晶向上原子排列的方式和密度不同,它们之间的结合力的大小也不相同,因而金属晶体不同方向上的性能不同,这种性质叫做晶体的各向异性。金属晶体的力学、物理和化学等方面的性能在不同的方向上是不一样的。但是对于实际使用的金属,由于其内部由许许多多的晶粒组成,每个晶粒在空间分布的位向不同,因而在宏观上,金属晶体沿各个方向上的性能趋于相同,晶体的各向异性就显示不出来了。

3. 实际金属中的晶体缺陷

在实际金属晶体中,存在原子不规则排列的局部区域,这些区域称为晶体缺陷。按缺陷的几何形态,晶体缺陷分为点缺陷、线缺陷和面缺陷三种。三种晶体缺陷都会造成晶格畸变,使变形抗力增大,从而提高材料的强度、硬度。

(1)点缺陷(空位、间隙原子、异类原子):晶格中某个原子脱离了平衡位置,形成空结点,称为空位;某个晶格间隙挤进了原子,称为间隙原子;任何纯金属中都会或多或少存在杂质,即其他元素,这些原子称为异类原子(或杂质原子)。当异类原子与金属原子的半径接近时,则异类原子可能占据晶格的一些结点,称为置换原子;当异类原子的半径比金属原子的半径小得多时,则异类原子位于晶格的空隙中,它们都会导致附近晶格的畸变。空位与间隙原子周围的晶格偏离了理想晶格,即发生了“晶格畸变”。点缺陷是动态变化着的,它是造成金属中物质扩散的原因。点缺陷的存在,提高了材料的硬度和强度。由于点缺陷造成局部晶格畸变,使金属的电阻率、屈服强度增加,密度发生变化,如图1-5所示。

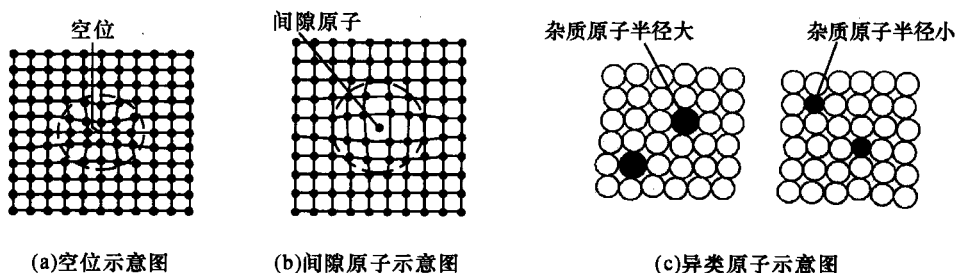


图1-5 点缺陷

(2)线缺陷(刃型位错、螺型位错):它是在晶体中某处有一列或若干列原子发生了有规律的错排现象。晶体中最普通的线缺陷就是位错,这种错排现象是晶体内部局部滑移造成的。根据局部滑移的方式不同,可以分别形成刃型位错和螺型位错。在位错周围,原子的错排使晶格发生了畸变,使金属的强度提高,但塑性和韧性下降。实际晶体中往往含有大量位错,生产中还可通过冷变形使金属位错增多,从而有效地提高金属强度,如图1-6所示。

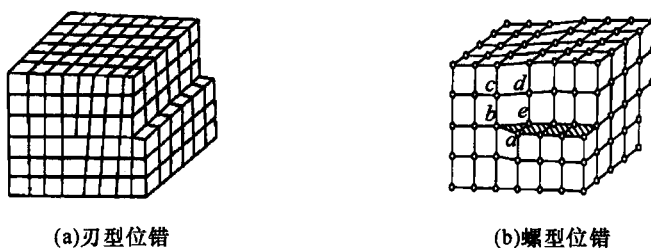


图1-6 线缺陷

(3)面缺陷(晶界、亚晶界):面缺陷包括晶界和亚晶界等。晶界是晶粒与晶粒之间的界面。晶粒内部不是理想晶体,而是由位向差很小的称为嵌镶块的小块所组成。小块的嵌镶块又称为亚晶粒,亚晶粒的交界称为亚晶界。晶界处的原子需要同时适应相邻两个晶粒的位向,就必须从一种晶粒位向逐步过渡到另一种晶粒位向,成为不同晶粒之间的过渡层,因而晶界上的原子多处于无规则状态或处于两种晶粒位向的折中位置上。晶粒之间位向差较大(大于 10°)的晶界,称为大角度晶界;亚晶粒之间位向差较小,只有几秒、几分,最多达 $1^\circ \sim 2^\circ$,亚晶界是小角度晶界。面缺陷同样使晶格产生畸变,能提高金属材料的强度。细化晶粒可增加晶界的数量,是强化金属的有效手段,同时,细晶粒的金属塑性和韧性也得到改善。如图1-7所示。

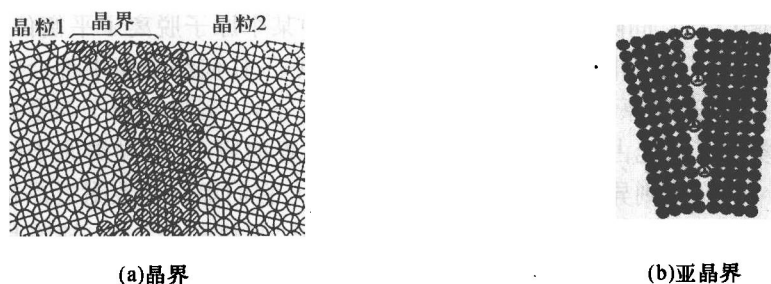


图 1-7 面缺陷

1.3 合金的晶体结构

纯金属虽然具有优良的导电、导热等性能,但它的力学性能较差,并且价格昂贵,因此在使用上受到很大限制。在机械制造领域中广泛使用的金属材料是合金,尤其是铁碳合金。

1. 合金的基本概念

(1)合金。由两种或两种以上的金属元素或金属与非金属元素组成的具有金属特性的物质称为合金。

(2)组元。组成合金的最基本的独立物质称为组元,简称元。组元一般是指组成合金的元素,但一些稳定的化合物有时也可作为组元,如 Fe_3C 。

(3)合金系。由两个或两个以上组元按不同比例配制成一系列不同成分的合金,称为合金系。

(4)相。在金属组织中,化学成分、晶体结构和物理性能相同的组成部分称为相。

(5)组织。用肉眼或借助显微镜观察到材料具有独特微观形貌特征的部分称为组织。组织反映材料的相组成、相形态、大小和分布状况,因此,组织是决定材料最终性能的关键。

2. 合金的组织

多数合金组元液态时都能互相溶解,形成均匀液溶体。固态时,由于各组分之间相互作用不同,形成不同的组织。通常固态时,合金形成固溶体、金属间化合物和机械混合物三类组织。

(1)固溶体。合金由液态结晶为固态时,一组元的晶格中溶入另一种或多种其他组元而形成的均匀相称为固溶体。保留晶格的组元称为溶剂,溶入晶格的组元称为溶质。根据溶质原子在溶剂中所占位置的不同,固溶体可分为置换固溶体和间隙固溶体。

①置换固溶体。溶剂结点上的部分原子被溶质原子所替代而形成的固溶体,称为置换固溶体,如图 1-8(a)所示。溶质原子溶于固溶体中的量称为固溶体的溶解度,通常用质量百分数来表示。

②间隙固溶体:溶质原子溶入溶剂晶格之中而形成的固溶体,称为间隙固溶体,如图 1-8(b)所示。

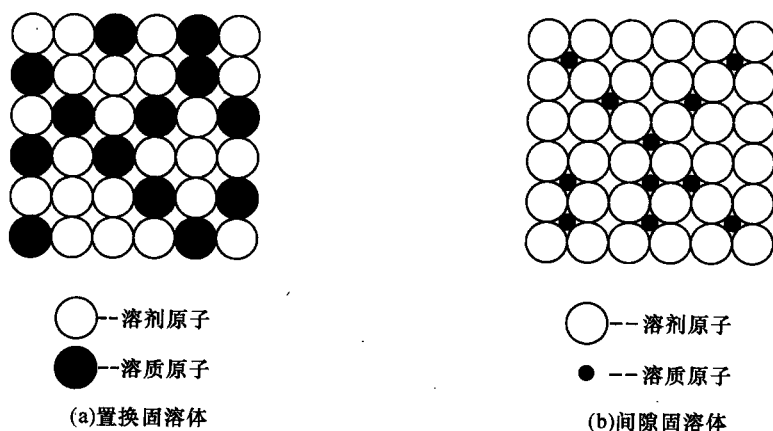


图 1-8 固溶体

溶质原子的溶入,会引起固溶体晶格发生畸变。晶格畸变使合金变形阻力增大,从而提高了合金的强度和硬度,这种现象称为固溶强化。它是提高材料力学性能的重要途径之一。

(2) 金属间化合物。合金组元间发生相互作用而形成一种具有金属特性的物质称为金属间化合物,它的晶格类型和性能完全不同于任一组元,一般可用化学分子式表示,如 Fe_3C 。金属间化合物具有熔点高、硬度高、脆性大的特点,在合金中主要作为强化相,可以提高材料的强度、硬度和耐磨性,但塑性和韧性有所降低。

(3) 机械混合物。两种或两种以上的相按一定质量百分数组成的物质称为机械混合物。混合物中各组成相仍保持自己的晶格,彼此无交互作用,其性能主要取决于各组成相的性能以及相的分布状态。

3. 合金的结晶

(1) 合金相图的概念。合金相图是表明在平衡条件下,合金的组成相和温度、成分之间关系的简明图解。它是进行金相分析,制定铸造、锻压、焊接、热处理等热加工工艺的重要依据。

(2) 二元合金相图的建立。相图大多数是通过实验方法建立起来的,目前测绘相图的方法很多,但最常用的是热分析法。

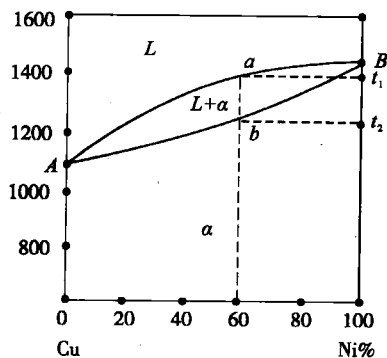


图 1-9 Cu-Ni 合金相图