

材料科学与工程基础

莫之民 齐宝森 陈方生 彭其凤 主编

上海交通大学出版社



TB3

M192

高等学校教材

材料科学与工程基础

莫之民 齐宝森 陈方生 彭其凤 主编

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书从现代科学技术迅猛发展的迫切需要出发,简明而系统地介绍材料科学和材料工程的基础知识。全书内容包括物质结构与组成、材料凝固、相图、材料性能、金属材料、高聚物材料、陶瓷材料、复合材料、功能材料、材料表面改性、失效与防止。

本书可作为高等学校材料、冶金、机械、电力、电子、动力、交通、化工等工程类本科、专科学生的入门教材或参考书,亦可供工矿、企事业单位有关工程技术人员、管理人员、广大职工学习与参考。

DZ32/33 07

材料科学与工程基础

上海交通大学出版社·出版

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

新华书店上海发行所·发行

上海交通大学印刷厂·印刷

开本:787×1092(毫米)1/16 印张:6.25 字数:151000

版次:1997年3月 第1版 印次:1997年4月 第1次

印数:1-1500

ISBN 7-313-01810-X/TB·037

定价:8.10元

前 言

工科专业大学生是未来的工程师,肩负着解决重大而复杂的工程技术任务,也将接触到各种材料问题。从电子元件、动力机械到航天飞机、火箭都依赖不同材料来发挥它们独特的功能和效用。材料已成为人们赖以生存和发展科学技术的重要物质基础。材料科学是科学技术中重要学科,是影响国民经济全局的综合性的科学技术,而材料工程是工程中一个重要领域。材料科学和材料工程结合组成了一个门类繁多的学科体系,并将材料之间、材料与工艺之间进行相互结合、相互渗透,为认识和掌握材料、发展工艺和技术、节约能源和资源奠定基础。因此,作为各类工科专业的学生必须具备材料科学与材料工程基础知识,以便今后更好地为本专业服务。

本教材的目的是引导学生了解和认识材料问题,主要介绍材料科学与材料工程基础知识,扩大学生在学习各类工程技术时开扩思路。由于本教材作为一本通用和入门教材,不可能过多涉及专业具体内容,因此,力求语言精练、深入浅出、文字简洁、通俗易懂、便于自学。本教材适用于材料、冶金、机械、电力、电子、动力、交通、化工等工程类学生使用,亦可供工矿、企事业单位有关工程技术人员、管理人员学习与参考。

本教材的第一、九章由山东大学莫之民编写,第二、三章由淄博职工大学于龙基编写,第四、六章由山东工业大学齐宝森编写,绪论、第八章由山东工业大学彭其凤编写,第五、七章由山东工业大学陈方生编写,第十章由山东工业大学姜江编写,第十一章由青岛建筑工程学院林化春编写。全教材由莫之民、齐宝森、陈方生、彭其凤主编。

由于作者水平有限,教材中内容难免有不妥之处,恳请广大读者提出宝贵意见,帮助改进提高。

编 者

1996年10月 济南

目 录

绪论	(1)
第一章 物质的结构与组成	(3)
第一节 原子	(3)
第二节 元素性质与原子结构	(4)
第三节 结合方式	(4)
第四节 物质结构	(5)
第五节 晶体缺陷	(6)
第六节 材料的组成	(7)
第二章 材料的凝固	(10)
第一节 金属凝固(金属结晶)	(10)
第二节 高聚物凝固	(13)
第三节 玻璃凝固	(13)
第三章 相图	(14)
第一节 合金结构	(14)
第二节 相图意义及几个名词的含义	(14)
第三节 相图基本类型	(15)
第四节 铁碳相图	(18)
第四章 材料的性能	(20)
第一节 力学性能	(20)
第二节 物理性能	(24)
第三节 化学性能	(26)
第四节 工艺性能	(26)
第五章 金属材料	(28)
第一节 概述	(28)
第二节 金属材料制造方法	(28)
第三节 化学成分对金属材料性能的影响	(29)
第四节 变形加工对金属材料性能的影响	(31)
第五节 热处理对金属材料性能的影响	(34)
第六节 碳钢	(34)
第七节 合金钢	(35)
第八节 铸铁	(38)
第九节 铜及铜合金	(39)
第十节 铝及铝合金	(40)
第十一节 钛及钛合金	(41)

第十二节 精密合金	(41)
第十三节 金属材料的结合方法	(43)
第六章 高聚物材料	(45)
第一节 概述	(45)
第二节 工程塑料	(50)
第三节 橡胶材料	(55)
第四节 胶粘剂与纤维	(59)
第七章 陶瓷材料	(62)
第一节 普通陶瓷与特种陶瓷	(62)
第二节 玻璃	(68)
第三节 耐火材料	(70)
第八章 复合材料	(73)
第一节 概述	(73)
第二节 增强材料	(74)
第三节 塑料基复合材料	(75)
第四节 橡胶基复合材料	(76)
第五节 金属基复合材料	(76)
第六节 陶瓷基复合材料	(77)
第九章 功能材料	(79)
第一节 概述	(79)
第二节 功能金属材料	(80)
第三节 功能高聚物材料	(82)
第四节 功能陶瓷材料	(84)
第五节 功能复合材料	(85)
第十章 材料的表面改性	(86)
第一节 概述	(86)
第二节 镀渗技术	(86)
第三节 熔凝技术	(87)
第四节 沉积与注入技术	(88)
第十一章 失效及防止	(90)
第一节 磨损及防磨损	(90)
第二节 腐蚀及防蚀	(91)
第三节 老化及防老化	(93)

绪 论

材料、能源和信息被列为现代文明的三大支柱。

材料是人类进化的重要里程碑,是推动社会发展的重要动力。材料的发现、利用及进展作为时代划分的标志,历史上的石器时代、青铜器时代、铁器时代是基于材料发展而导致时代的变迁,促进经济技术的发展,推进了人类的物质文明。

人类在生产和生活过程中都以“材料”作为必需的物质基础,因此材料对发展工业、农业、交通、国防、宇航、科学技术和提高人民生活具有重要意义。材料的品种繁多、用途广泛,按照材料的各自特性可将其分为金属材料、高聚物材料、陶瓷材料及复合材料。金属材料包括铁、铝、铜等及由各种金属元素构成的各种合金。高聚物材料常称有机高分子材料,由于通过人工方法合成制得,故又称合成高分子材料,包括塑料、橡胶、胶粘剂、纤维等。陶瓷材料常称无机非金属材料,包括玻璃、陶瓷、搪瓷、硅单晶等。

在科学技术发展的今天,世界即将踏上 21 世纪的门槛时,兵马未动,材料先行。材料是各项科学技术的先行军,世界各国都在建立和开发这一产业,并与工艺、技术结合起来,通过极端条件(如超高温、超高压、高真空、超低温、超纯、失重及高速冷却等)获得超越常规性能的奇异材料。

高聚物材料具有重量轻、韧性好、强度高,是工程结构上的理想材料,目前将以“功能性(即具有电磁、光学、分离、生物体等独特性能)”高聚物材料的身份,出现在高科技领域中。过去一直认为高聚物材料不导电、无磁性,只能用于绝缘体,然而利用掺杂、聚合、延伸技术,使其获得像铜一样的高导电性及电子计算机中“神经模拟元件”的电子功能,模仿生物功能的高聚物已用于人体作人工心脏和人工喉。

陶瓷材料的坚硬、耐热是其他材料无法比拟的,但由于其高脆性而限制了某些领域的应用。目前陶瓷材料的独特功能已用于高新技术领域。功能陶瓷中最活跃的敏感陶瓷如热敏、气敏、湿敏、压敏、色敏已显示出其用武之地;具有化学功能的陶瓷广泛用于触媒、催化剂及环境监测;具有生物功能的陶瓷由于对人体无毒、无特异反应,相互匹配,已应用于人工关节、人造器膜。

金属材料面临非金属材料的挑战,将以品种、性能和质量的优势跻身于高科技领域内众多的高性能材料面前发挥独自的特点。具有高强度、耐蚀、抗磨、易磁化、高导磁率的非晶态合金已用于变压器、太阳能电池、计算机和通讯设备;超导材料对输电、储能、磁流体发电及核聚变反应堆作出贡献。

复合材料是由不同特性的材料结合而成,它具有原有材料不具备的新性能,具有较高附加值。由人造羊毛(聚丙烯腈纤维)经过特殊碳化处理得到的碳纤维,重量轻、强度高;当与金属、陶瓷、高聚物等复合做成复合材料,可用作飞机、汽车、动力机械的零部件、压力传感元件等。

材料科学是科学技术中重要学科,影响国民经济全局的综合性科学技术。它是一门从事研究成分、结构、组织和性能以及它们之间关系的科学,目的在于提供材料的统一描绘或模型以及解释不同结构、组织与性能之间的关系。材料工程是工程中的一个领域,它包括从材

料设计、选用、制造、加工、工艺、质量控制与检测、工程应用及失效分析全过程,目的在于应用材料科学的原理进行材料设计、制造、加工等全过程,经济地而又被社会所能接受的材料性能和工程应用。材料科学与工程结合成一个整体已成为社会的需要,并从事于研究材料成分、结构、工艺和它们的性能与用途之间关系的应用科学。随着加工技术的进步,处理工艺的发展,使材料性能得到充分发挥,并为节约能源、节省资源作出贡献。

材料和材料科学的发展离不开基础学科和现代工艺技术。各种新型材料表现出来的光、电、声、磁、热等特性以及它们之间在材料中的相互作用,正是基础学科所探索的奥秘。因此,材料科学不断从相关学科中吸取养分,促进发展。然而发展是无止境的,新型材料层出不穷,传统材料通过处理和改性,焕发青春。随着科学技术发展,人们对材料的认识将从必然王国通向自由王国,会有更多更新材料出现,更新更好的技术发展,满足科学技术和生产发展的需要。这对材料科学和现代科学技术起着巨大的推进作用。

第一章 物质的结构与组成

物质是由大量粒子(如原子、分子或离子)聚集而成的。组成地球的各种元素在自然界含量有很大差别,并且在大气层、海洋和地壳中的含量也不相等。大气中只有惰性气体元素(如Ar、Ne、He)是以原子状态存在的,而大气中大多数元素则处于分子状态,即由两个或两个以上相同原子或不同原子组成(如 O_2 、 N_2 或 CO_2)。海洋中水除含有H、O外还含有Cl、Na、Mg、S及极微量的Ca、K、C、Br元素,这些物质大多是带电的离子状态而不是中性的原子状态。地壳中的岩石、砂子和泥土主要是含O、Si、Al、Na、H、Fe、Ca、Mg、K、Ti元素的一些化合物的固态聚集体。因此,物质可以说是由同种或不同种元素组成的,这些元素均具有固定的原子构成。同一种或不同种的原子通过一定的结合方式构成分子。分子按一定的规律形成三种聚集状态,即气态、液态和固态。但在特定环境条件下,还可形成其他聚集状态,如等离体。固态物质又存在结晶状态(晶态)和玻璃状态(非晶态),以及晶态和非晶态共存状态。

气态的特征是分子间距离大,分子可作自由运动,相互作用力小,因此具有较大压缩性,没有固定形状。固态的特征是粒子(原子、分子或离子)间距离小,相互作用力大,因此压缩性小,并且具有固定的形状和体积。液态的特征是介于气态和固态之间,即分子间距离稍大,相互作用力尚大,因此压缩性较小,有固定体积但没有固定形状。

物质的聚集状态是由温度和压力等外界条件决定的。当外界条件改变时,物质可以由一种状态转变成另一种状态。

第一节 原子

原子是由中心带正电的原子核和在其周围若干个带负电的电子组成。

原子核是由若干个带正电的质子和若干个不带电的中子所组成的。中子大致同质子具有相同的质量。原子的质量集中在原子核上。

电子是带负电的粒子,一个电子带电量与一个质子带电量相等,但符号相反。电子质量约为质子质量的 $1/1840$ 。电子围绕原子核运行的轨道,称为电子壳层。

位于原子核周围的电子有不同的能量状态。离原子核较近的电子能量低,而远离原子核的电子能量高;但所有电子围绕原子核轨道(即电子壳层)运行。电子壳层从靠近原子核处开始,由内向外依次为K层、L层、M层、N层……,其能容纳的电子数分别为2、8、18、32个。电子一般从接近原子核的电子壳层(即K层)开始依次充填下去。电子愈接近原子核,其能级愈低;电子愈远离原子核,其能级愈高。电子排布规律依次由低能级轨道充填满后进入高能级轨道。

原子序数为1和2的氢和氦原子,分别有1和2个电子,都充填入K层。原子序数为3的锂原子,3个电子中的2个充填入K层,余下1个电子进入L层。原子序数为10的氖原子,10个电子中2个充填入K层,余下8个电子进入L层。原子序数为11的钠原子,11个电子中2个充填入K层,8个充填入L层,余下1个电子进入M层。原子序数为13的铝的电子排布情况—— K^2, L^8, M^3 。

第二节 元素性质与原子结构

周期表中元素可分为金属元素、半金属元素和非金属元素。由于原子的电子层结构的周期性变化,因此,与元素电子层结构有关的一系列性质和原子半径、电子亲合能和电负性,也呈周期性变化。

一、原子半径

原子半径(包括共价半径和金属半径)是指两个原子核间距离的一半。

原子半径大小呈周期性变化,在主族元素中尤为明显。同一周期中自左至右随着原子序数的增加,核电荷增加,将外层电子吸引到高核更近的轨道,因此,原子半径由大变小。同一族中自上至下,随着电子壳层的增多,对外层电子吸引力减弱,因此,原子半径由小变大。

二、电子亲合能

气态原子获得电子形成负离子时所放出的能量,称为电子亲合能。此表示原子获得电子难易程度。非金属元素获得电子的倾向较大,表示其电子亲合能大。在同一周期中,电子亲合能随原子半径减小而增大。同一族中自上至下,电子亲合能则减小。

三、电负性

原子在分子中吸引电子的能力称为电负性。原子在分子中吸引电子能力越大,表明电负性越大;反之,则越小。电负性有明显的周期性。一般金属元素的电负性小于2.0,而非金属元素的电负性大于2.0。此外,稀有气体的电负性最小(为零)。

同一周期中,自左至右电负性变小;同一族中,自上而下电负性由大变小。

第三节 结合方式

物质的粒子种类以及相互间的结合方式是不同的。作为组成物质的粒子(原子、分子或离子)的结合方式有离子键、共价键、金属键和分子键。

一、离子键

当两个电负性相差很大的原子(如Na和Cl)靠近时,电负性小的原子(Na)失去电子形成正离子(Na^+),而电负性大的原子(Cl)获得电子形成负离子(Cl^-)。由正负离子依靠静电作用所形成的结合,称为离子键,如NaCl和MgO是离子键结合的固体。

离子键的特征是:

- (1) 可以从任何方向吸引带相反电荷的粒子,形成离子晶体,故没有方向性和饱和性;
- (2) 带电粒子结合牢固,故一般硬度高、强度高、密度大、熔点高,但脆性大;
- (3) 电子在离子键结合中自由运动困难,故离子晶体的导热能力低,导电能力差;
- (4) 离子晶体牢固束缚外层电子,一般不吸收可见光,因此,多数是无色或浅色透明的。

二、共价键

两个相同原子或性质相差不大的原子(可获得电子变为负离子,或失去电子变为正离子)接近时,原子间以共有电子对所产生的力实现结合,称为共价键,如金刚石和 SiC 是共价键结合成的固体。

共价键的特征是:

- (1) 原子内共同具有电子对是有限的,只能在一定方向上可以形成,故有明显的饱和性和方向性;
- (2) 共价键的结合力极强,故有高硬度、高强度、高熔点;
- (3) 由于共有电子对中电子不能自由运动,因而导热能力和导电能力差;
- (4) 共价晶体对光折射率大,与气体吸收光谱不同。

三、金属键

固态金属的外层电子可以自由地从一个原子进入另一个原子中,同时这些自由电子并不属于某一个原子所有,而是属于许多原子(或离子)所共有。这些运动着的共有电子与原子(或离子)相互作用,产生强烈的静电吸引力而实现结合,称为金属键。大多数金属键结合成固体。

金属键的特征是:

- (1) 金属晶体中在任何方向充满着自由运动的电子,故离子与电子的结合没有方向性和饱和性;
- (2) 金属晶体受力时,在某一处的金属键可能发生断裂,但可在另一处形成新的金属键,由于金属键不会消失,金属晶体可以发生形状变化,故有一定的塑性;
- (3) 金属晶体中电子在电场作用下,可以发生定向运动,故导电能力大;此外,离子和电子在受热时发生振动,通过电子运动将热迅速传递,因而导热能力大。随着温度升高,离子和电子振幅加大,电子运动受阻,故导电能力随温度升高而降低;
- (4) 金属晶体中电子可吸收可见光,表明金属晶体是不透明的;当被激发的电子返回时又放出不同波长的光,因而具有金属光泽。

四、分子键

原子和分子接近时,没有电子得失或共有,只是通过范德瓦尔斯力来实现结合,称为分子键。大部分有机化合物是分子键结合成的固体。

- (1) 由于范德瓦尔斯力没有方向性和饱和性,故分子键没有方向性和饱和性;
- (2) 由于范德瓦尔斯力之间相互作用很弱,故一般分子晶体熔点低,硬度低。

第四节 物质结构

固体物质有晶体(结晶结构,如金属)和非晶体(无定形结构,如玻璃)之分。液体和气体是无定形结构。

一、晶体结构

晶体是原子(分子和离子)在空间按一定方式有规则紧密地周期重复排列(图 1-1(a))。规则排列方式称晶体结构。这种排列是一种原子堆积,如果用直径将原子中心连接起来,就形成晶格(图 1-1(b))。晶格中最小的组成单元称为晶胞(图 1-1(c))。晶胞的棱边长度分别用 a 、 b 、 c 表示,称为晶格常数(图 1-1(d))。

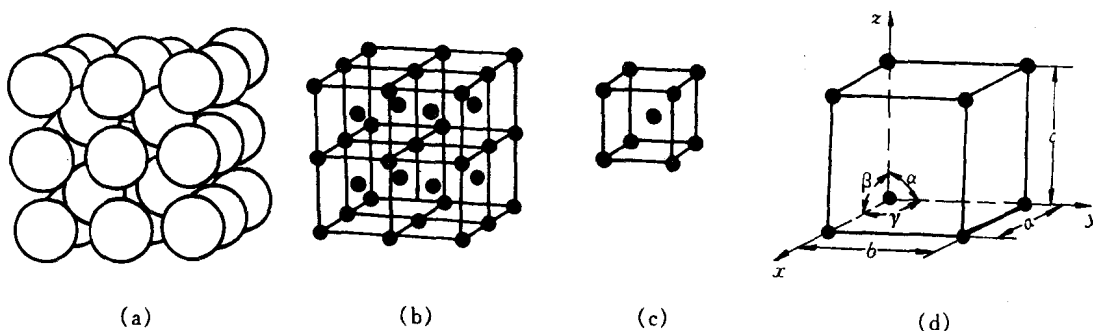


图 1-1 晶体结构示意图

二、无定形结构

原子在空间不呈规则周期性重复排列,统称为无定形结构,或非晶态。例如玻璃、塑料、煤焦油等,有一部分为晶体或接近晶体结构。

第五节 晶体缺陷

晶体在理想情况下是原子按一定方式有规则周期重复地排列于空间。但实际晶体内部的原子排列并不是理想完整的,而是或多或少地偏离理想的区域,即晶体存在缺陷。

晶体缺陷在晶体中并不是静止不变的,而是随着各种条件变化而发生变动,如产生、发展、运动、交互作用,时而合并时而消失。晶体缺陷对性能起着重要的作用。

一、点缺陷

在晶体中,原子在其平衡位置上作热振动,温度越高,振动能量越大。振动能量的高低波动,称为能量起伏。在任何瞬间,有一些高能量的原子脱离平衡位置而进入晶体表面或晶体间隙中去,而使原来的位置出现空缺,此空缺处称为空位(见图 1-2)。进入晶体间隙中的原子称为间隙原子(见图 1-2)。空位和间隙原子在晶体中位置是经常变化的。一旦间隙原子进入空位,使原有的间隙原子和空位消失,同时又有新的空位和间隙原子不断产生。这就造成晶体中原子扩散现象。

空位与间隙原子属于晶体中的点缺陷。

二、线缺陷

在晶体中原子发生有规则的错排现象,称为位错(图 1-3)。位错的存在和运动是金属在

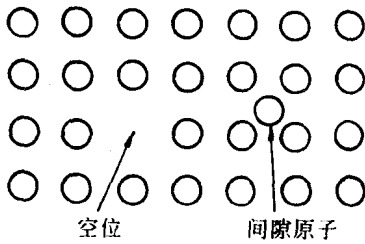


图 1-2 空位与间隙原子

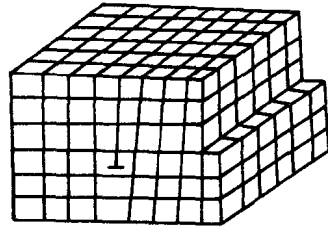


图 1-3 位错

外力作用下产生塑性变形的原因,故金属强度与位错的多少、分布、运动以及相互作用有很大关系。晶体中位错增加,将使金属强度提高。

位错属于晶体缺陷中的线缺陷。

三、面缺陷

许多固体如金属通常以多晶体状态存在。多晶体是由许多方位不同的单晶体(即晶粒)组成的。各晶粒之间接触面称为晶界(图 1-4)。晶界处原子排列不规则(图 1-5),往往存在许多缺陷和杂质,而引起能量提高。晶界越多,晶粒越细,材料强度、塑性和韧性越高。

晶界属于晶体中的面缺陷。

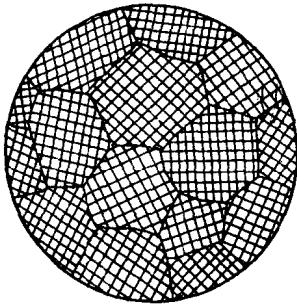


图 1-4 多晶体与晶界

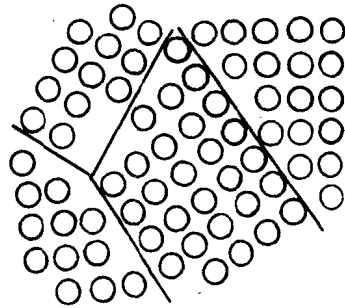


图 1-5 晶界处原子排列

第六节 材料的组成

一、溶体

两种或两种以上的物质(原子或分子)熔合在一起呈均匀状态时称为溶体。溶体一般为均匀混合物,而不是化合物。接近于纯溶体的物质称为胶体。

1. 液溶体

溶质(气体、液体或固体分子或原子)溶于溶剂(液体物质)中所具有的液体状态,称为液溶体。如食盐水溶液、钢液和炉渣等。

2. 固溶体

溶质(固态原子或分子)溶于溶剂(固态物质)中所具有的固体状态,称为固溶体。如 Cu-Zn 合金、Fe-C 合金、部分陶瓷。固溶体不是在固体中相互机械地混合,而是以原子形成呈溶解状态的固体。固溶体的晶格与固态溶剂的晶格相同,仅改变晶格常数(增大或减小)。当溶质原子可以无限度地溶于固态溶剂中(即溶解度为 100%)时,所形成的固溶体称为无限固溶体;反之,仅有部分溶于固态溶剂中(即溶解度 $<100\%$)时,所形成的固溶体,称为有限固溶体。固溶体按溶质原子在晶格中的位置可分为两类:

(1) 间隙固溶体。溶质原子进入溶剂晶格的空隙中所形成的固溶体,称为间隙固溶体。这些间隙原子必须是很小的(如碳、氮、氧、硼原子),才可能进入溶剂晶格的空隙中去,使晶格常数增大即晶格胀大。钢铁中铁原子半径为 0.126nm,碳原子半径为 0.077nm,两者原子半径相差很大,故碳溶于铁中形成间隙固溶体。间隙固溶体的示意图如图 1-6(a)所示。

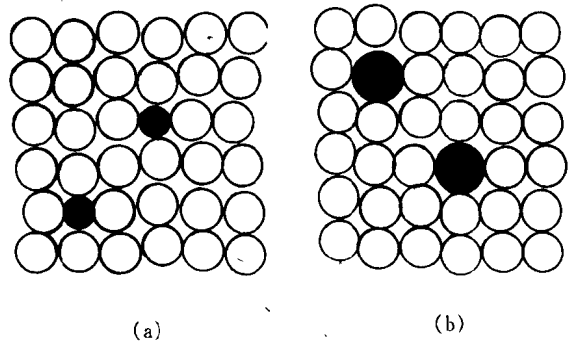


图 1-6 固溶体结构示意图
(a)间隙固溶体 (b)置换固溶体

(2) 置换固溶体。溶质原子取代了溶剂晶格中某些原子所形成的固溶体,称为置换固溶体。当溶质原子半径大于溶剂原子半径时,晶格常数增大,即晶格胀大;反之,则缩小。但形成置换固溶体时,溶质原子与溶剂原子在尺寸上差别不大。例如,Cu-Ni 合金中,Cu 的原子半径为 0.1276nm, Ni 的原子半径为 0.1244nm,其差别不大,故形成置换固溶体。置换固溶体的示意图如图 1-6(b)所示。

二、聚集体

由原子或晶粒聚集而成的固体均称为聚集体。纯金属是由单一元素构成的,合金可以由固溶体或两种以上不同元素的结晶构成的。陶瓷还可以是晶体与玻璃(非晶体)混合构成的。虽然纯金属、合金、陶瓷等都有多晶粒聚集而成的固体,但在聚集后所表现的行为是不相同的。例如,金属或固溶体的晶粒间结合牢固受外力作用不易破坏;而铸铁、花岗岩的晶粒间结合较弱,一旦受外力的作用时,将在结合较弱的晶粒界面发生破坏。

同一结构在不同材料上还可表现出不同行为。例如,链状结构的石棉,因其纤维间相互作用的结合力较弱,可以将其分散成细纤维,而链状结构的塑料,通过链的卷入和交联,使相互之间结合力增强。

三、复合体

1. 复合组合体

两种或多种材料用粘结和其他结合方法复合而成的物质称为复合组合体。混凝土是砂子、碎石和水泥用搅拌混和结合而成的。纤维板是将植物纤维质和树脂粘结加压而成。钢结合金是碳化物和金属粉末加压烧结而成的。

2. 叠合体

将已成材料按一定方向叠合而成层状的物质,称为叠合体。例如胶合板是沿纤维方向相互垂直叠合而成。复合金属板是将不同金属成形薄板通过粘结加压叠合而成。

第二章 材料的凝固

物质由液态转变为固态的过程,称为凝固。液态转变为固态的过程中原子排列方式可以分为呈规则排列的晶体(如金属)和呈不规则排列的非晶体(如玻璃)。当液态凝固成为晶体时,此过程称为结晶。因此,可以将凝固分为非晶态凝固(如玻璃)和晶态凝固(如金属)。前者则称为凝固,后者还称为结晶。

凝固和结晶过程均伴随生成核心和核心长大两个过程。

第一节 金属凝固(金属结晶)

除电熔铸法或粉末冶金方法生产的特殊金属制品外,金属制品通过熔化和凝固过程及其随后的加工而制得。凝固金属铸件的内在质量(如晶粒粗细、宏观缺陷包括偏析、缩孔、气孔、非金属夹杂物、细小裂纹等)对金属制品的性能有很大的影响。有的宏观缺陷在凝固后的变形加工中可以消除,但有的则残留在制品中,直接影响金属制品的质量,即影响制品的性能和使用寿命。

金属结晶过程包括结晶核心(晶核)的形成和晶核的长大,最后成为晶粒。

一、晶核形成

金属结晶过程必须先生成晶核。晶核形成有两种情况:

(1) 由于液体金属中一些原子的能量(动能)减小,足以使这些原子在液体的某一微小体积中直接产生晶核,即这些原子固定于晶格上时形成晶核。以这种方式形成晶核的条件必须是液体温度降低到熔点以下一定温度,即实际结晶温度必须低于理论结晶温度(凝固点或熔点)。此两者的温度差称为过冷度。这表明只有在一定的过冷度的条件下才能形成晶核。当液体过冷度不大时,晶核形成数目少,最后成长获得粗晶粒;反之,当液体过冷度大时,晶核形成数目多,最后成长获得细晶粒。

(2) 实际上最容易在液体金属注入的模具壁上或包覆液体的氧化膜、固体夹杂物(高熔点杂质)上形成晶核。在任何情况下液体金属中总存在一些未熔杂质悬浮在液体中可以作为晶核。故工业生产上常故意地向液体金属中加入某些难熔物质使其作为晶核,达到细化金属和改善金属机械性能的目的。这种细化晶粒的方法称为变质处理。加入的难熔物质即作晶核的物质称为变质剂。例如,钢液中常加入少量氧化铝,铁水中加入硅铁或硅钙合金,铝液中加入钛,铝硅合金液体中加入钠或钠盐来达到金属晶粒细化的目的。

二、晶核长大

液体金属开始结晶时,由于液体温度高,生成晶核较少,晶核可以向周围液体自由长大。随着结晶的进行,液体金属中生成晶核数目增多,晶核成长速度减小,同时由于晶体长大,彼此互相接触,阻碍晶体进一步长大,最后形成细小晶粒。

由晶核长大到晶体,可以认为通过原子堆积到晶核表面,并按一定方式有规则整齐排

列,形成晶体。

晶核长大与凝固过程散热条件有关。现设想晶核是一个立方体,散热条件最优处是在立方体的棱角处,因而棱角处优先成长,8个棱角向外突出,就如树先形成树干一样,然后其他地方也逐渐处于有利的散热条件,也紧接着向外成长,此时就像树干长出分枝,最后将整个晶体的空隙填满,长大后形如树枝状结晶(常称枝晶)。枝晶成长示意图如图 2-1 所示。每一个晶核是由一个不同位向的枝晶形成不同位向的晶粒。由于不同晶粒具有不同的位向,所以金属内部各晶粒之间的物理、化学性能具有不同方向性。晶粒的外形是不规则的,呈多边形。用显微镜可以观察金属的晶粒大小,通常用晶粒度表示其晶粒大小。晶粒度按其晶粒大小分为八级,一级最粗大,八级最细小。1~4 级为粗晶粒,5~8 级为细晶粒。晶粒大小对金属性能影响很大,一般晶粒越细,强度越高,塑性越好。因此,晶粒大小是评定金属材料性能高低的一个重要指标。

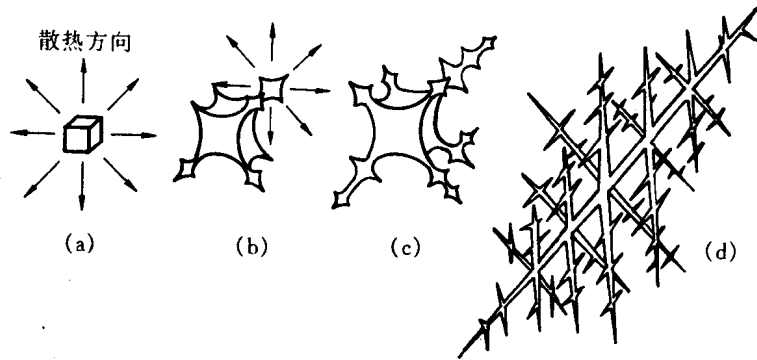


图 2-1 枝晶成长示意图

三、金属铸锭结晶与组织

金属液体在铸型内结晶时,由于金属液体中含各元素的种类和数量、铸模性质(金属或砂子)、大小、形状、浇铸温度和浇铸方式等条件不同,这些直接影响结晶过程的过冷度、液体金属的散热速度(即冷却速度)、散热方向和对流情况,因而得到结晶组织不同金属铸锭结晶后常见的宏观组织如图 2-2 所示。

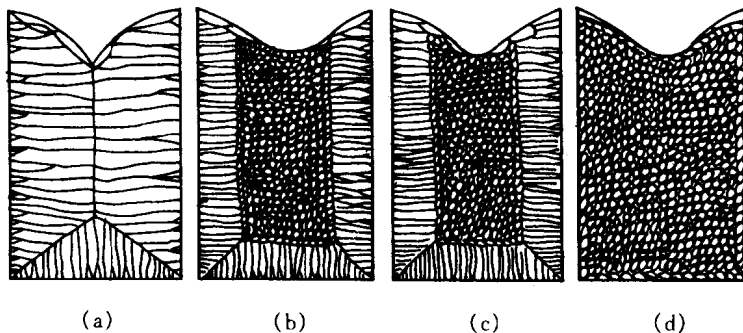


图 2-2 金属铸锭宏观组织示意图