

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

金属工艺学

(第二版)

主编 摇阁摇红

重庆大学出版社

前言

本书根据教育部颁布的高职高专教学大纲编写。本书系“十一五”国家级规划教材,主要用于机械、电子、内燃机、水利、化工等专业的高职高专技术基础课教学,也可作为工程技术人员的参考书。

本书是在原有《金属工艺学》的基础上,广泛听取师生以及课程指导小组的意见后修改而成的。

全书包括工程材料、热加工工艺基础和机械加工工艺基础三部分内容。工程材料部分(第1篇)重点讲述常用金属材料的组织、性能、热处理工艺及应用。热加工工艺基础部分(第2篇~第3篇)重点讲述铸造、压力加工和焊接的基本原理、常用加工方法以及零件的结构工艺性等。机械加工工艺基础部分(第4篇)重点讲述切削加工的基本原理、工艺及设备。

本教材由天津职业大学阎红担任主编,邹吉权和秦曼华担任副主编。绪论、第1篇的第4章和第3篇由阎红编写,第2篇的第1章和第3章由邹吉权编写,第3篇的第1章由李海斌编写,第3篇的第2章由刘晓敏编写,第4篇和第5篇由秦曼华编写。李海斌和李景丽参加了本书的资料整理等工作,在这次修编的过程中,承蒙天津职业大学刘淑敏院长的指导,并提出许多宝贵意见,在此表示感谢。

限于水平,书中缺点错误在所难免。恳切广大读者批评指正。

编 者
2010年 月

目录

绪论	员
第 员篇 工程材料	猿
第 员章 金属材料的力学性能	猿
第 员章 静载时材料的力学性能	猿
第 员章 动载时材料的力学性能	远
第 员章 断裂韧性	苑
第 圆章 金属和合金的结构与结晶	愿
第 圆章 金属的晶体结构	愿
第 圆章 金属的结晶过程和同素异构转变	员
第 圆章 合金的晶体结构	员
第 圆章 二元合金相图	员
第 猿章 铁碳相图	怨
第 猿章 铁碳合金的基本组织与性能	怨
第 猿章 铁碳合金相图	圆
第 猿章 铁碳合金相图的应用	苑
第 源章 钢的固态相变及热处理	圆
第 源章 钢的固态相变	圆
第 源章 钢的热处理	猿
第 缘章 常用金属材料	缘
第 缘章 钢铁材料	缘
第 缘章 有色金属及其合金	苑
第 缘章 新型金属材料	苑
第 缘章 金属材料及成型工艺的选用	愿
复习思考题	怨
第 圆篇 铸造	怨
第 员章 铸造成型工艺基础	怨

第 猿章 铸造基础知识	猿猿
第 猿章 金属的铸造特性	猿源
第 猿章 铸造常见缺陷及其防止	猿远
第 肆章 铸造成型方法	猿园
第 肆章 砂型铸造	猿园
第 肆章 特种铸造	猿猿
第 伍章 铸件的结构设计	猿苑
第 伍章 铸造工艺对铸件结构的要求	猿苑
第 伍章 合金的铸造性能对铸件结构的要求	猿怨
第 伍章 复习思考题	猿园
第 陆篇 压力加工	猿源
第 陆章 金属的塑性变形	猿缘
第 陆章 金属塑性变形的实质	猿缘
第 陆章 塑性变形对金属组织和性能的影响	猿苑
第 陆章 金属的锻造性	猿愿
第 柒章 锻造	猿员
第 柒章 自由锻造	猿员
第 柒章 模锻	猿猿
第 柒章 胎模锻造	猿苑
第 柒章 锻件结构工艺性	猿愿
第 捌章 板料冲压	猿圆
第 捌章 板料冲压的基本工序	猿圆
第 捌章 冲压模具	猿苑
第 捌章 板料冲压件结构工艺性	猿怨
第 捌章 复习思考题	猿员
第 玖篇 焊接	猿猿
第 玖章 电弧焊	猿缘
第 玖章 焊接电弧	猿缘
第 玖章 手弧焊的焊接过程	猿远
第 玖章 电弧焊的冶金特点	猿苑
第 玖章 电焊条	猿苑
第 玖章 埋弧自动焊	猿员
第 玖章 气体保护焊	猿源
第 拾章 焊接质量及其控制	猿苑
第 拾章 焊接接头的组织和性能	猿苑
第 拾章 焊接应力与变形	猿愿

圆章摇焊接接头的主要缺陷及检验	圆
第猿章摇其他焊接方法	猿
猿章摇电渣焊	猿
猿章摇电阻焊	猿
猿章摇钎焊	猿
猿章摇常用的焊接方法的比较和选用	猿
猿章摇焊接新技术简介	猿
第源章摇常用金属材料的焊接	源
源章摇金属材料的可焊性	源
源章摇碳钢的焊接	源
源章摇合金结构钢的焊接	源
源章摇铸铁的焊补	源
源章摇有色金属的焊接	源
第缘章摇焊接结构设计	缘
缘章摇焊接结构件材料的选择	缘
缘章摇焊缝的布置	缘
缘章摇焊接方法的选择	缘
缘章摇接头型式的选择与设计	缘
缘章摇复习思考题	缘
第缘篇摇金属切削加工	缘
第员章摇金属切削加工基础	缘
员章摇刀具几何角度及切削要素	缘
员章摇刀具材料	缘
员章摇金属切削过程的基本规律	缘
员章摇切削用量的合理选择及提高切削用量的途径	缘
第圆章摇机械加工工艺流程	缘
圆章摇基本概念	缘
圆章摇工件的装夹与定位	缘
圆章摇工艺过程设计	缘
圆章摇光整加工	缘
圆章摇数控加工	缘
圆章摇复习思考题	缘
参考文献	圆

绪 论

摇摇金属工艺学是研究机械零件制造工艺的综合性技术基础课。它主要包括工程材料、热加工工艺基础、机械加工工艺基础三部分内容。

任何机械设备(小至仪器、仪表,大至机车、船舶)都是由相应的几个乃至千万个零件组成的。而要获取所需的合格机械零件,必须进行选材,然后进行一系列的加工,最后满足其形状、尺寸及性能要求。将合格零件组装起来,即得相应的机械设备。

制造机械零件使用的材料有多种,有金属材料和非金属材料。金属材料中有碳钢、合金钢、铸铁及有色金属等,非金属材料中有高分子材料、陶瓷和复合材料等。这就需要工程技术人员必须仔细、认真地考虑如何合理、经济地选用材料以及所选用的材料是否满足零件所处工作条件下的要求。为此,设计人员首先要了解的是制造零件材料的种类、牌号、性能、规格和使用特点以及价格和市场供应等。在制造机械零件的过程中要经过各种加工,如毛坯的加工、机械切削加工以及为获得必要的性能在加工工序间穿插各种热处理工序。零件毛坯有铸造成型法、压力加工成型法和焊接成型法以及铸、锻、焊联合成型法。切削加工有常规的车、铣、刨、磨、钳加工和特种加工、数控车床加工等。热处理包括退火、正火、淬火、回火、表面淬火和化学热处理等。所以,零件的加工方法和加工工艺线路有多种,对工艺人员来说,就需要根据零件所用材料、有关技术条件、生产批量、现场设备条件、工人技术水平以及成本、生产率等选择合适的加工工艺方法,并制订合理的工艺规程。为保证上述选材和加工工艺的合理性,设计者应广泛了解各种加工方法,而工艺师应尽量在加工上满足设计要求。

我国是世界上最早的文明发达国家之一,我们的祖先用勤劳、智慧的双手创造了对人类社会有深远影响的光辉、灿烂的文化,金属工艺(冶金、铸造、锻造、焊接、热处理、金属切削加工、表面处理)就产生于古文明之中。在冶金、材料方面,早在中晚商时期,青铜冶铸术已处在世界前列,秦、汉、宋、明代又有进一步发展。我国的炼铁技术始于春秋末年,战国晚期已能冶炼多种铸铁,如白口铁、麻口铁、韧性铸铁、球墨铸铁等,汉代又发明了灰口铁。战国时期就会制造碳钢,如铸铁脱碳钢,西汉到魏、晋、南北朝,制钢技术又有很大发展。到东汉,铁兵器全部代替铜兵器,并炼制了许多锋利的名刀宝剑。在铸造方面,商代司母戊鼎及四羊方尊是古代青铜文化的代表作,春秋末年缘月在湖北随县出土的曾侯工编钟是我国古代铸师、乐师的智慧结晶。春秋末年缘月在陕西临潼出土的秦铜车马,采用了铸、焊、凿、刻、锉、抛光及多种机械连接技术,将猿猴等多个部件组合在一起,这不仅需要高超的青铜冶铸技术,而且需要过硬的焊接、

金属切削加工、钳工、装配等方面的技术。河北沧州五代时的 150 吨的铁狮、湖北当阳重 80 吨的高 15 米的宋代铁塔、河北正定重 150 吨、高 15 米的宋代铜佛、峨眉山万年寺重 150 吨的宋代普贤铜骑象、北京明永乐大钟等重型铸件,无疑反映了我国古代冶铸技术的高水平。河北藁城出土的商朝铁刃铜钺,证明三千年前我国已掌握锻造和锻接技术。春秋时期,我国已出现锡焊、铜焊等技术。战国时期已掌握了钢铁热处理技术。河北易县出土的公元 7 世纪的钢铁兵器已经经过了淬火处理,西汉中山靖王墓出土的宝剑经过了渗碳处理,清代就已采用冷锻——悦晕共渗——淬火、回火三种工艺反复交叉的复合热处理制造宝剑。在汉代我国就已经使用加工得非常精致的齿轮,1500 年我国已能加工直径为 1 丈的天文仪器的铜环。春秋战国时期就发明了金属防腐技术,吴越二王剑埋藏在 15 米深的潮湿地下 1500 多年,至今未锈,且锋利如初。

现代我国的机械工业取得了很大成就,机械工程与电工、电子、冶金、化学、物理、激光等技术相结合,产生了许多新工艺、新材料、新产品。纵观古今中外,任何产品的出现,都在很大程度上依赖于材料科学和制造工艺水平。任何先进的制造技术,最后都要落实在工艺方法和工艺装备上。没有良好的工艺教育,没有先进的工艺技术,就没有现代制造技术,面对 21 世纪人才培养,面向 21 世纪的现代制造业,本课程实为一门必修的工艺性技术基础和工程实践课。

当前,现代机械制造朝着产品大型化、产品精密化,使用材料多样化,加工连续化、自动化和人工智能化方面发展,这就需要工程技术人员在熟悉常用工程材料和零件加工工艺基础知识的基础上,进一步学习、掌握新材料、新技术、新工艺,为提高我国机械制造生产能力、技术水平、产品质量、经济效益不断发挥作用。

学习本课程的基本要求是:

1. 了解常用工程材料的一般性质和应用范围,并具有一定的选材能力。

2. 初步掌握各种主要加工方法的实质、工艺特点及基本原理。

3. 了解各种主要加工方法所用设备及工具的特点和应用。

4. 初步掌握零件的结构工艺性,合理选择毛坯及其生产方法。

5. 对典型零件的制造生产过程具有较完整的概念。

6. 了解当前的新材料、新工艺、新技术。

第 **I** 篇

工程材料

第 **I** 章

金属材料的力学性能

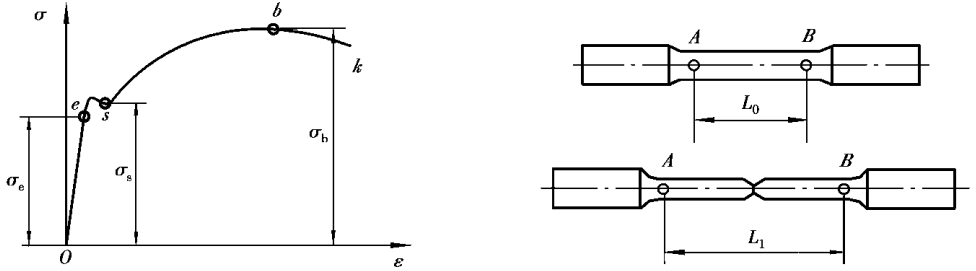
金属材料的力学性能是指材料在外力的作用下抵抗变形和破坏的能力,它是金属材料的主要性能之一,也是工程技术人员正确选用材料的重要依据。金属材料的力学性能是通过实验测定的。

金属静载时材料的力学性能

金属静载拉伸试验

静载是对试样施加的不变载荷,而缓慢加载对静载的力学性能影响不大,故可近似地看成静载。由于低碳钢是工程中使用最广泛的材料,它在常温静载条件下表现出来的力学行为最全面,也最具代表性,因此我们主要以低碳钢为例来说明金属材料的力学性能。

低碳钢的拉伸试验 应按《金属拉伸试验方法》(GB/T 228-2002)制作拉伸试样,在万能材料试验机上缓慢加载拉伸,使试样承受轴向拉力,并引起试样沿轴向产生伸长 ΔL 。当载荷超过某一数值后,试样伸长迅速加大,并使试样局部直径产生缩小(称为缩颈),当载荷达到最大值时,试样断裂。如果以拉力 F 除以试样的原始截面积 S_0 为纵坐标(即拉应力 σ)。以 ΔL 除以试样原始长度 L_0 为横坐标(即应变 ε)。则可画出应力-应变图,如图员所示。



图员 低碳钢拉伸时的应力-应变曲线

(员) 弹性和刚性

在图员中,当加载应力不超过 σ_s ,卸载后试样能恢复原状,即材料不产生永久变形,我们把材料的这种性能称为弹性。 σ_s 为不产生永久变形的最大应力,称为弹性极限。

图中 oe 是直线,表示应力与应变成正比,此阶段服从虎克定律, oe 的斜率为试样材料的弹性模量 E ,即

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

弹性模量 E 是衡量材料产生弹性变形难易程度的指标。 E 越大,则使其产生一定量弹性变形的应力也愈大。因此,工程上把它叫做材料的刚度。刚度表征材料弹性变形抗力的大小。

弹性模量 E 主要决定于材料的本身,是金属材料最稳定的性能之一,合金化、热处理、冷热加工对它的影响很小。在室温下,钢的弹性模量 E 大都在 $2.0 \times 10^5 \sim 2.1 \times 10^5$ 之间。弹性模量随温度的升高而逐渐降低。

(圆) 强度

在外力的作用下,材料抵抗变形和断裂的能力称为强度。当承受拉力时,强度特性指标主要是屈服极限 σ_s 和强度极限 σ_b 。

屈服极限如图员所示,在 e 点(屈服点)出现一水平线段,这表明拉力虽然不再增加,但变形仍在进行,此时若卸载,试样的变形不能全部消失,将保留一部分残余的变形。这种不能恢复的残余变形,叫做塑性变形。 σ_s 表示材料在外力的作用下开始产生塑性变形的最低应力,称为屈服极限。

有些材料的拉伸曲线上没有明显的屈服点,难以确定开始塑性变形的最低应力值,此时规定试样产生 0.01% 残余变形时的应力值,为该材料的条件屈服极限,以 $\sigma_{0.01}$ 表示。

构件在工作中一般不允许发生塑性变形。所以屈服极限 σ_s 是设计时的主要参数,是材料力学性能的一个重要指标。

强度极限为试样被拉断前的最大承载能力,如图员所示的 σ_b 值。 σ_b 也

是设计和选材的主要参数之一。

$\sigma_{\text{屈服}}$ 叫屈服比, 屈服比愈小, 构件的使用可靠性愈高, 即使超载也不至于马上断裂。屈服比太小, 则材料强度的有效利用率太低。

合金化、热处理、冷热加工对材料的 $\sigma_{\text{屈服}}$ 影响很大。

(3) 塑性

在外力的作用下, 材料发生不能恢复的变形称为塑性变形, 产生塑性变形而不断裂的性能称为塑性。塑性大小用伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 来表示:

$$\delta = \frac{l_{\text{断}} - l_0}{l_0} \times 100\%$$

$$\psi = \frac{A_0 - A_{\text{断}}}{A_0} \times 100\%$$

式中 $l_{\text{断}}$ ——试样拉断后的长度;

l_0 ——试样原始长度;

$A_{\text{断}}$ ——试样拉断处的横截面积;

A_0 ——试样原始横截面积。

δ 、 ψ 愈大, 表示材料的塑性愈好。由于 δ 值与试样尺寸有关, 故一般规定 l_0 越短或 d_0 愈小 (d_0 为试样原始直径), 分别以 $\delta_{\text{短}}$ 或 $\delta_{\text{小}}$ 表示两种不同尺寸的试样测得的伸长率。同一种材料测得的 $\delta_{\text{短}}$ 一般比 $\delta_{\text{小}}$ 要大些。

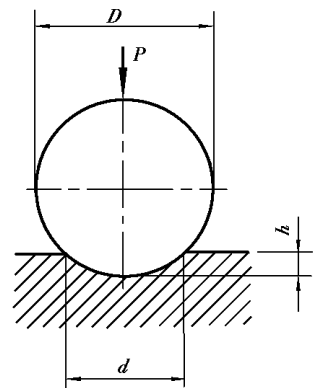
金属材料应具有一定的塑性才能顺利地承受各种变形加工; 另一方面材料具有一定塑性, 可以提高零件使用的可靠性, 防止突然断裂。

(4) 硬度

硬度是指材料抵抗局部塑性变形的能力。工程上常用的有布氏硬度和洛氏硬度。

(1) 布氏硬度

布氏硬度试验通常是以一定的压力 P (牛顿) 将直径为 D 的淬火钢球压入被测材料的表层, 保持一定时间后卸除载荷, 即得到一直径为 d 的压痕, 见图 1-10。载荷除以压痕表面积所得之值即为布氏硬度, 以 H_B 表示。



从几何关系可求得

$$H_B = \frac{P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

当试验压力的单位为牛顿 (N) 时

$$H_B = \frac{P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

上式中只有 d 为变量, 因此, 只要在试验后测出压痕平均直径 d 即可求得布氏硬度。

图 1-10 布氏硬度试验原理图

布氏硬度压痕直径大, 数据重复性好, 通常用于测定铸铁、有色金属、碳钢、低合金结构钢等原材料的硬度, 而太薄、太硬 ($H_B > 450$) 的材料不宜采用布氏硬度。

(圆)洛氏硬度

洛氏硬度试验是将标准压头用规定的压力压入被测材料表面,根据压痕的深度来度量材料的硬度,压痕愈深,硬度愈低。为了使洛氏硬度适应较宽的硬度测定范围,采用了不同的压头和载荷组成各种洛氏硬度标尺,如 HRA, HRB, HRC 等,其中 HRC 用得最多。HRC 是以顶角为 120° 的金刚石圆锥体为压头,使用较小的载荷(1500N),测试简单而迅速,压痕很小,几乎不损伤构件表面。洛氏硬度一般用于测试淬火钢或其他硬度较高的材料的硬度以及成品表面硬度检验。

除以上介绍的两种硬度测定方法外,还有维氏硬度等,可根据具体需要选用。

动载时材料的力学性能

许多机械零件是在动载条件下工作的。动载主要有两种形式:一是载荷以较高的速度施加到构件上,形成冲击;二是载荷的大小和方向作周期性变化,形成所谓交变载荷。当工件承受动载荷时,其抵抗破坏的能力和各种力学行为与静载时是不同的。

冲击韧性

在工程上,冲击载荷是一类重要的动载形式,常用一次摆锤冲击带缺口试样的折断试验所消耗的能量来测定材料抵抗冲击载荷的能力。材料抵抗冲击载荷的能力称为冲击韧性 α_k ,冲击韧性越高,材料抵抗冲击载荷的能力越强。冲击韧性的大小除取决于材料本身外,还受环境温度、试样大小和缺口形状等因素影响。

疲劳强度

许多机械零件如弹簧、轴、齿轮等,在工作时承受交变载荷,即使交变应力低于屈服强度,

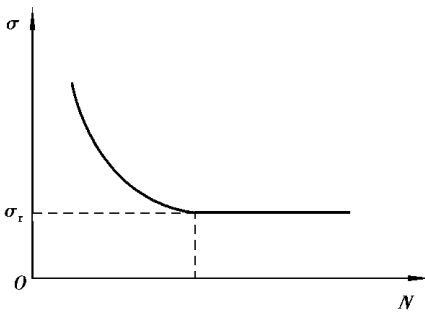


图 疲劳曲线

经过一定循环次数后也会发生破坏。试验证明,金属材料能承受的交变应力 σ 与断裂前应力循环次数 N 有如图 1 所示的规律。由图可知,当 σ 低于某一值时,曲线与坐标平行,表示材料可经无限次循环而不断裂,这一应力称为疲劳强度或疲劳极限 (σ_r)。

工程上指的疲劳强度,是在一定的循环次数下,不发生断裂的最大应力,一般规定钢铁材料的循环次数为 10^7 ,有色金属为 10^8 。

通常认为,疲劳破坏是由裂纹的萌生、扩展以及失稳断裂三个阶段组成。如果构件内部存在缺陷或在结构上存在应力集中,会使构件的疲劳强度大大降低,因此,若构件承受交变载荷的作用,应避免严重的应力集中。由于疲劳破坏通常是在没有任何先兆的情况下突然发生的,因而具有很大的危险性。统计资料表明,机械设备失效总数的 70% 左右系疲劳破坏所致,汽车部件破坏 80% 以上是由于疲劳破坏引起的。

1.1 断裂韧性

自 20 世纪 40 年代起,在工程结构实际应用中出现了一系列新问题,即按经典力学理论设计的结构,在完全满足材料的力学性能条件之后,仍有一些结构出现断裂与破坏事故。这些新问题的出现,促使人们研究其断裂机理并寻找预防措施,从而形成了断裂力学这一新的学科。断裂力学的基本假设是任何结构中都不不可避免地存在裂纹等缺陷,而结构的脆性断裂是由于裂纹扩展的结果。

如图 1-1 所示,由于裂纹的存在,在裂纹尖端前沿存在着应力集中,形成裂纹尖端应力场,按断裂力学分析,其大小可用应力强度因子 K_I 来描述, K_I 可表达为

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a} Y$$

式中 Y ——与试样和裂纹几何尺寸有关的量(无量纲);

σ ——外加应力;

a ——裂纹的半长。

对于一个有裂纹的试样拉伸时,其 K_I 值是一定的,当拉应力 σ 逐渐增大时,裂纹尖端的应力强度因子 K_I 也逐渐增大,当 K_I 到某一定值时,就会使裂纹产生失稳扩展,发生断裂,这个应力强度因子的临界值,称为材料的断裂韧性,用 K_{IC} 表示。它反映材料有裂纹存在时,抵抗脆性断裂的能力。 K_{IC} 可通过试验测定,它是材料本身的特性,与材料成分、热处理及加工工艺有关。

断裂韧性为安全设计提供了一个重要的力学性能指标。

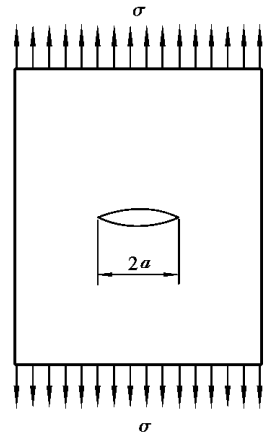


图 1-1 具有张开型裂纹的试样

第 2 章

金属和合金的结构与结晶

不同类别的金属材料其性能各有差异,即使是同种金属材料,在不同的加工工艺条件下,其力学性能也可能有较大差异。这种性能差异,从本质上讲,是由金属内部微观结构所决定的。因此,了解金属的内部微观结构及其对金属性能的影响,将对选择材料及其加工工艺,具有非常重要的意义。

金属的晶体结构

金属和合金在固态下通常都是晶体,它们的很多特性与其结晶状态有关。要了解金属与合金的内部微观结构,首先要掌握其晶体结构的情况。

晶体的基本概念

固体物质按原子聚集状态不同分为晶体与非晶体两大类。晶体的原子按一定几何形状作有规律排列,如金刚石、石墨及一切固态的金属和合金,如图 2-1 所示。而非晶体内部原子是无规则堆积在一起的,如玻璃、沥青、松香等。由于晶体和非晶体的内部结构不同,两者的性能也不同:晶体具有固定的熔点和各向异性的特征,而非晶体则没有固定的熔点,并且是各向同性。

通过 X 射线晶体结构分析,可以测得晶体中原子的排列规律,如图 2-2 所示。为了便于描述晶体内部原子排列的规律,将每一个原子抽象看成一个几何点,把这些几何点用直线连接起来,使之构成一个空间格子,如图 2-3 所示。这种描述原子在晶体中规律排列方式的空间格子称为晶格。

晶格实质上是由一些最基本的几何单元重复堆砌而成的。因此只要取晶格中的一个最基本的几何单元进行分析,便能从中找出整个晶格排列规律,如图 2-4 所示。这种构成晶格的最基本的几何单元称为晶胞。

晶胞的大小以其各边尺寸 a, b, c 表示,称为晶格常数,度量单位均为 nm (埃)。晶胞各边之间的夹角分别以 α, β, γ 表示,如图 2-5 所示。

各种晶体由于其晶格类型和晶格常数不同,则呈现出不同的物理、化学及力学性能。

图 1-1-1 金属的实际晶体结构

(一) 多晶体结构

结晶方位完全一致的晶体称为“单晶体”。单晶体具有各向异性的特征,即在晶体的各个晶向上具有不同的物理、化学和力学性能。实际使用的金属不是单晶体而是多晶体,并且存在着各种晶体缺陷。

将实际使用的金属材料制成试样,在显微镜下观察,可以看到它是由许多小晶体组成的,这种外形不规则的小晶体称为晶粒,晶粒与晶粒之间的界面称为晶界。多晶体中,虽然每个晶粒和单晶体一样具有各向异性,但一块金属包含有大量彼此位向不同的晶粒,不同方向的金属性能都是许多晶粒性能的平均值,故一般金属具有各向同性特征。图 1-1-1 为实际金属的显微组织照片和多晶体结构示意图。

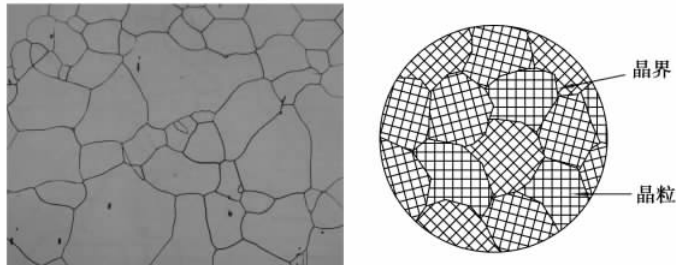


图 1-1-1 多晶体的晶粒和晶界示意图

(二) 晶体缺陷

在金属晶体中,由于晶体形成条件、原子热运动及其他各种因素的影响,原子规则排列受到破坏,呈现出不完整,通常把这种区域称为晶体缺陷。根据晶体缺陷的几何特征,可分为点缺陷、线缺陷和面缺陷三类:

点缺陷最常见的点缺陷有晶格空位、置换原子和间隙原子,如图 1-1-2 所示。由于点缺陷的出现使周围的原子出现“撑开”或“靠拢”的现象,这种现象称为晶格畸变。晶格畸变的存在,使金属产生内应力。晶体性能发生变化,如强度、硬度和电阻增加,体积发生变化,它也是强化金属手段之一。

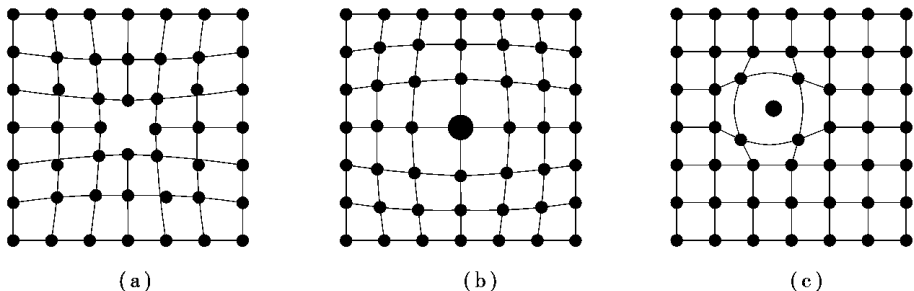


图 1-1-2 点缺陷示意图

(a) 晶格空位 (b) 置换原子 (c) 间隙原子

线缺陷线缺陷主要是指位错。位错的形式很多,其中最常见的一种形式是刃型位错

错,如图 4-1-10 所示。刃型位错的表现形式是在晶体的某一晶面上,多出一排原子面,它好像一把刀刃插入晶体中,使该晶面上、下两部分晶体间产生错排现象,故称为刃形位错。在位错线附近一定范围内,晶格发生了畸变。

位错的存在对金属的力学性能有很大的影响,例如,当金属材料处于退火状态时,位错密度较小,强度最低;若金属材料经过冷变形加工后,位错密度增大,提高了金属的强度。

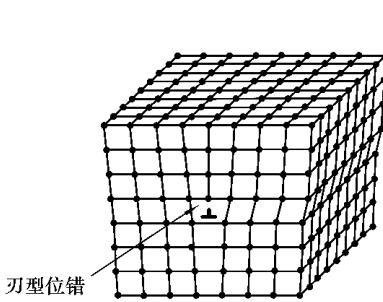


图 4-1-10 晶体中刃型位错示意图

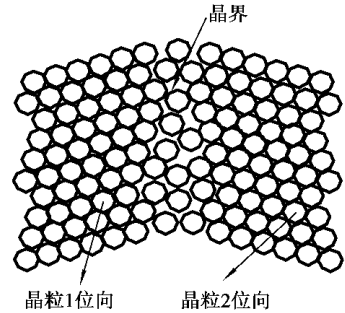


图 4-1-11 晶界的过渡层结构示意图

晶面缺陷通常是指晶界。实际金属材料都是多晶体结构,在多晶体中两个相邻晶粒之间的晶格位向是不同的,所以晶界处的原子的排列是不规则的,它是从一种位向逐渐过渡到另一种位向的过渡层,如图 4-1-11 所示。由于晶界处的原子排列不规则,使晶格处于畸变的状态,因而在常温下晶界对金属的塑性变形起阻碍作用,即晶界处有较高的硬度和强度。当晶粒愈细小时,晶界的面积愈多,对金属塑性变形的阻碍愈大,金属的强度和硬度也愈高。此外,晶界处原子扩散速度较快,熔点低和容易被腐蚀等。

第四章 金属的结晶过程和同素异构转变

金属的性能与其组织有关,而组织与结晶过程有关,因此我们要了解金属的结晶规律,以便控制结晶过程,形成我们希望得到的组织和性能。

第一节 纯金属的结晶

(一) 结晶的概念

除少数粉末冶金制品外,绝大多数金属铸件都是经过熔化、冶炼和浇注而获得的,这种由液态转变为固态的过程称为凝固。如果凝固的固态物质是晶体,则这种凝固又称为结晶。一般金属固态下都是晶体,所以金属凝固过程可称为结晶。

(二) 纯金属的冷却曲线

纯金属都有一个固定的熔点(或结晶温度),高于此温度熔化,低于此温度才能结晶成为晶体。金属的结晶温度通常用热分析等实验方法来测定。如图 4-1-12 所示,是纯金属的冷却曲线,其原理是在液态金属的缓慢冷却的过程中,每隔一定时间测量一次温度,直到冷却至室温。然后将测量的结果绘制在温度—时间的坐标上,就可得到纯金属的冷却曲线。

由冷却曲线可见,液态金属随时间的延长,它所含的热量不断散失,其温度也不断下降,但当冷却到某一温度时,冷却的时间虽然增加,但温度并不下降,在冷却曲线上出现了一个水平