

内 容 提 要

本书系统介绍了机械工程常用的金属与非金属材料的基础理论；工业用钢、铸铁、有色金属及其合金；机械工程常用非金属材料；材料强化概念和材料的选用。

本书编写的特点是：在保持课程深广度的基础上，针对教改后课程学时数减少的情况，在内容上作了适当处理，减少了篇幅，更适于作教材用。

本书适于作高等学校非材料专业的机械类或近机类本科或大专生的教材，也可作有关科技人员的参考书。

机 械 工 程 材 料

Jixie Gongcheng Cailiao

王焕庭 李芊华 主编

大连理工大学出版社出版发行 (大连市甘井子区凌水河)
大连水面舰艇学院印刷厂印刷

787×1092毫米 1/16 13.5印张 2插页 330千字
1988年8月第1版 1988年8月第1次印刷
印数：1—8000册

责任编辑：杨 泳 封面设计：姜严军
责任校对：张 杰

ISBN 7-5611-0058-2/TB·5

定价：2.07元

前 言

近年来,由于机械工程材料的发展和高等学校机械类冷加工各专业和近机类教学计划的几次修改,原设《金属材料及热处理》课程大多改为《工程材料》课程,而且学时数也有所减少,一般在50~60学时之间。为了满足这种教学形势的需要,我校材料系金属学教研室组织人力,编写了这本字数较少、内容符合要求、适用专业面比较广的《机械工程材料》教材,以供教学使用。

为了帮助学生灵活而更好地消化和掌握所学知识及提高学习兴趣,每章均选编一定量的思考作业题,以期加强理论联系实际和培养学生分析问题和解决问题的能力。

本书由王焕庭、李茅华主编,编写者为大连理工大学李茅华讲师(绪论及第二、三、十、十一、十二章);王焕庭教授(第一、四章);于永泗讲师(第五、六章);徐善国副教授(第七章);崔朝令副教授(第八、九、十三、十四章)。书中插图和照片得到吕其瑜同志和徐卫平、程蓉娟等同志的大力协助,于此一并表示衷心感谢。

由于编写水平和时间所限,缺点和错误在所难免,望广大师生和读者批评指正。

编 者 1988年1月 大连

绪 论

一、材料和材料科学

材料就是制造物品的原材料。材料是人类生产活动和生活所必需的物质基础。材料的利用情况标志着人类文明的发展水平，历史学家把人类的历史按所使用的材料种类来划分为石器时代、青铜器时代、铁器时代。七十年代，人们把材料、信息、能源称为现代技术的三大支柱。现在，人们又预言，新的技术革命即将来临，把信息技术和新型材料作为技术革命的重要标志。

材料科学是以材料为研究对象的一门综合性科学。材料的进步直接影响到生产力的变革，人们对材料的认识是逐步深入的。现代科学技术的发展为人们认识材料提供了技术手段和理论基础，近代物理、近代化学，特别是固体物理、量子化学等理论，以及X射线分析、电子显微镜等精密仪器的应用，更便于研究、阐明材料的本性。材料科学是在物理、化学、冶金学等基础上建立起来的综合性科学。

材料科学研究的内容包括从认识材料到使用材料的整个过程，它研究材料的化学组成、结构与性能的关系，探索其客观规律；研究材料的形成机理和制取方法；研究材料物理性能的测试方法和技术；分析材料的损坏机理；研究材料的合理加工方法和最佳使用方案，扩大材料的用途。材料科学研究的目的是要从化学和物理的角度上去说明材料所具有的性能，并以此为指导来发展各种新材料，以满足生产和科学的需要。

二、工程材料的应用和发展

工程材料是研究工程中常用材料的成分、组织结构和性能之间的关系，即分子或原子结构、微观及宏观组织和性能之间的关系。也研究加工工艺方面的内容，以及设计中的选材原则等。

金属材料仍然是用量最多，使用范围最广的工程材料，产量在逐年提高（世界年产量接近十亿吨）。尤其是钢铁材料，在机械产品中占整个用材的60%以上。

随着原子能、航空、电子、航天、海洋开发等现代工业的发展，对材料提出更为严格的要求，将会出现相对密度更小，强度更高，加工性更好，能满足特殊性能要求的新材料。

有机合成材料问世较晚，但发展速度很快，其产量从体积上已赶上金属材料，预计很快会从重量上也超过金属材料。

人类最早使用的是无机材料，称为新型陶瓷的现代无机材料是高温结构材料和特殊功能材料的主要组成部分。

三、工程材料课的性质和任务

工程材料课是机械类和近机类各专业的技术基础课，它的先修课是物理、化学、材料力学、金属工艺学等。课程的目的是使学生了解工程材料的一般知识，了解常用材料的成分、组织性能和加工工艺之间的关系及其用途，使学生初步具有合理选用材料、正确确定加工方法的能力。

目 录

绪 论

第一篇 机械工程材料的基本理论知识	1
第一章 材料的性能	1
第一节 机械性能	1
第二节 物理和化学性能	5
第三节 工艺性能	7
第二章 材料的结构	8
第一节 材料的结合方式	8
第二节 金属的晶体结构	10
第三节 陶瓷和聚合物的结构特点	18
第三章 材料凝固的基本过程	20
第一节 液体的结构	20
第二节 金属的结晶过程	21
第三节 晶粒大小的控制	22
第四节 同素异构转变	23
第五节 非晶态凝固的特点	24
第四章 相图	26
第一节 二元相图的建立	26
第二节 二元相图的基本类型与分析	27
第三节 铁碳合金相图	35
第四节 三元相图简介	46
第五章 金属的塑性变形与再结晶	49
第一节 金属的塑性变形	49
第二节 合金的塑性变形与强化	53
第三节 塑性变形对组织和性能的影响	53
第四节 回复与再结晶	55
第五节 金属的热加工	57
第六章 钢的热处理	59
第一节 概述	59
第二节 钢在加热时的转变	60
第三节 钢在冷却时的转变	61
第四节 钢的退火与正火	70

第五节 钢的淬火	72
第六节 钢的淬透性	75
第七节 钢的回火	78
第八节 钢的表面淬火	82
第九节 钢的化学热处理	84
第二篇 机械工程常用的金属材料	91
第七章 工业用钢	91
第一节 钢的分类	91
第二节 钢中的杂质及合金元素	92
第三节 结构钢	97
第四节 工具钢	109
第五节 特殊性能钢	121
第八章 铸铁	129
第一节 各类铸铁组织及性能特点	129
第二节 铸铁的石墨化	134
第三节 铸铁的热处理	136
第四节 特殊性能铸铁	137
第九章 有色金属及其合金	140
第一节 铝及其合金	140
第二节 铜及其合金	146
第三节 滑动轴承合金	151
第四节 钛及其合金	152
第三篇 机械工程常用的非金属材料	156
第十章 高分子材料	156
第一节 概述	156
第二节 工程塑料	163
第三节 合成橡胶和合成纤维	170
第四节 合成胶粘剂和涂料	172
第十一章 无机非金属材料	175
第一节 概述	175
第二节 工业陶瓷	177
第十二章 复合材料	182
第一节 概述	182
第二节 复合机理	183
第三节 纤维增强材料	183

第四篇 机械工程材料的强化及选用	185
第十三章 工程材料的强化概念	185
第一节 工程材料的强度和强韧化	185
第二节 工程材料的磨损与腐蚀	189
第十四章 工程材料的选用	192
第一节 选材的一般原则与方法	192
第二节 典型零件的选材及应用实例	194
附录一 国内外部分钢号对照	198
附录二 中华人民共和国标准铸铁牌号表示方法 GB5612—85	199
附录三 常见聚合物的结构和缩写	201
附录四 常用塑料的简易识别法	203
附录五 常用金属材料参考价格表	204
附录六 常用工程塑料相对价格表	205
附录七 化学元素周期表	207

第一篇 机械工程材料的基本理论知识

第一章 材料的性能

当制造机器设备或其它制件进行选材时，首先必须考虑的就是材料的有关性能。材料性能一般分为使用性能和工艺性能两大类。材料的使用性能包括机械、物理和化学性能等；材料的工艺性能包括铸造、锻压、焊接、热处理和切削性能等。这些性能的好坏，直接关系到材料在冷、热加工过程中的难易程度、制件的质量和成本。

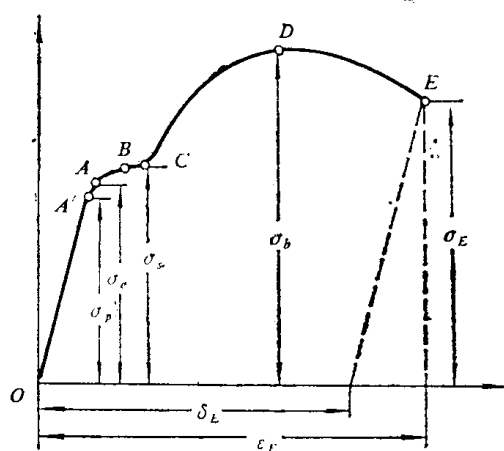
本章仅就一般机械工程材料常用和比较共通性的性能做简要介绍，某些材料的特殊性能，在以后有关章节中再做介绍。

第一节 机械性能

机械性能是各种材料性能的主要性能指标，一般它包括以下各项指标：

一、弹性和刚度

图 1-1 为低碳钢的工程应力-应变图 (σ - ε 图)。



$$\text{应力 } \sigma = \frac{P}{F} \text{ (MN/m}^2\text{)}$$

$$\text{应变 } \varepsilon = \frac{\Delta l}{l} (\%)$$

P —外力

F —试件横截面积

l —试件标长

Δl —试件变形过程中和 P 对应的总伸长

图 1-1 低碳钢的应力-应变图

在图中 σ - ε 曲线上， OA 段为弹性阶段，即去掉外力后，变形立即恢复，这种变形称为弹性变形，其应变值很小， A 点的应力 σ_e 称为弹性限。 OA 线中 OA' 部分为一斜直线，因应力与应变始终成比例，所以 A' 点的应力 σ_p 称为比例限。由于 A 点和 A' 点很接近，一般不作区分。

材料在弹性范围内，应力与应变的比值 ($\frac{\sigma}{\epsilon}$ 称为弹性模数) E ，即

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (\text{MN/m}^2)$$

E 标志材料抵抗弹性变形的能力，用以表示材料的刚度。 E 值主要取决于各种材料的本性，一些处理方法（如热处理、冷热加工，合金化等）对它影响很小。零件提高刚度的办法是增加横截面积或改变截面形状。金属的 E 值随温度升高逐渐降低。

二、强度和塑性

强度是指材料在外力作用下抵抗变形和破坏的能力；塑性是指材料在外力作用下产生塑性变形而不破坏的能力。

（一）强度

根据外力的作用方式，强度有多种强度指标，如抗拉强度、抗弯强度、抗剪强度等。其中以拉伸试验所得强度指标的应用最为广泛。

如图 1-1，当试验应力 σ 超过 A 点时，试件除弹性变形外，还产生塑性变形，在 BC 段，表现应力几乎不增加但应变大量增加的现象，这称为屈服。 B 点的应力 σ_s 称为屈服强度。

有些塑性材料没有明显的屈服现象发生，如图 1-2 所示，对这种情况，用试件标距长度产生 0.2% 塑性变形时的应力值作为该材料的屈服强度，以 $\sigma_{0.2}$ 表示。屈服强度是零件（特别是不允许产生明显变形的零件）设计的主要依据，也是材料强度的重要指标。脆性材料不考虑屈服强度。

材料发生屈服后，其应力与应变的变化如图 1-1 CD 段所示，到 D 点应力达最大值 σ_b 。 D 点以后，试件产生“颈缩”，迅速伸长，应力明显下降，在 E 点断裂。最大应力值 σ_b 称为抗拉强度。它也是零件设计和评定材料时的重要强度指标。 σ_b 测量方便，如果单从保证零件不产生断裂的安全角度考虑，可用 σ_b 作为设计依据，但所取安全系数要大些。

（二）塑性

材料的常用塑性指标有二：一个是延伸率，以 δ 表示。

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中， l_0 为标距原长； l_1 为断裂后标距长度（图 1-3）。

另一个是断面收缩率，以 ϕ 表示。

$$\phi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$$

式中， F_0 为试件原始横截面积； F_1 为断口处的横截面积。

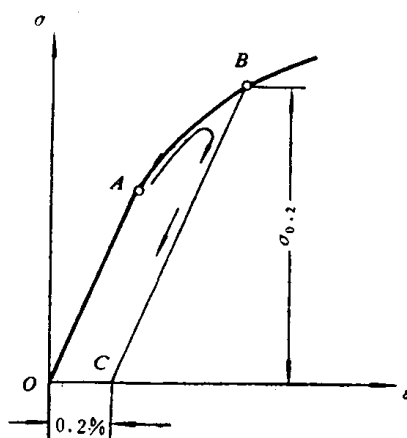


图1-2 $\sigma_{0.2}$ 的确定

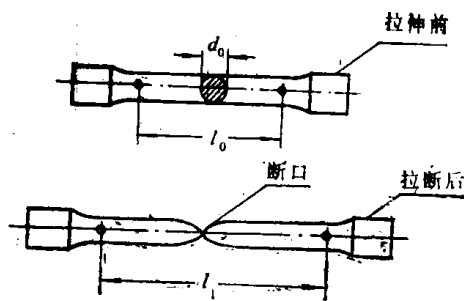


图1-3 原始及拉伸试样

材料的 δ 和 ϕ 值越大,说明塑性越好。两者相比,用 ϕ 表示塑性更接近材料的真实应变。

长试样($l_0 = 10d_0$)的延伸率写成 δ ;短试样($l_0 = 5d_0$)的延伸率须写成 δ_5 。同一材料, $\delta_5 > \delta$,所以对不同材料, δ 值和 δ_5 值不能直接比较。

三、冲击韧性

材料的韧性是在冲击载荷作用下,抵抗冲击力的作用而不被破坏的能力。通常用冲击韧性 a_k 来度量。 a_k 是试件在一次冲击试验时,单位横截面积(m^2)上所消耗的冲击功(MJ),其单位为MJ/ m^2 。 a_k 值越大,表示材料的韧性越好。

标准冲击试样有两种,一种是常用的梅氏试样(试样缺口为U形);另一种是夏氏试样(缺口为V形)。同一条件下同一材料制作的两种试样,其梅氏试样的 a_k 值显著大于夏氏试样的 a_k 值,所以两种试样的 a_k 值不能互相比。夏氏试样的 a_k 值必须注明 a_k (夏)。

材料的 a_k 值如图1-4所示,随温度的降低而减小,且在某一温度范围, a_k 值发生急剧降低现象,这种现象称冷脆,这个温度范围称为冷脆转变温度范围。在这一范围中所确定的温度称为冷脆转变温度。一般说来,体心立方结构的金属或以其为主的低强度钢,其冷脆转变温度比较明显且较高,而高强度钢或面心立方结构的金属(如铝及奥氏体合金钢等),基本上没有这种温度效应。

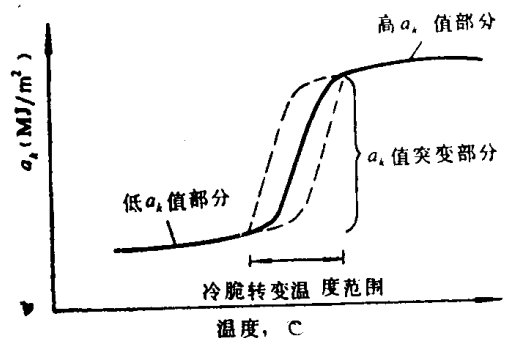


图1-4 冷脆转变温度

冷脆转变温度的确定方法:一般常根据材料冷脆转变明显程度,取与某一 a_k 值对应的温度来确定,这一方法方便,但不易取得恰当值;另外,近年来,对某些材料还常以试件断口的面积上出现50%脆性断口时的温度作为冷脆转变温度。

在动载荷下工作的零件和构件,实际上很少因一次超载冲击而被坏,大多是受小能量的多次重复冲击,此时则应以小能量多次重复冲击试验来度量,实验证明,材料承受小能量多次重复冲击的能力主要决定于材料的强度,而不是决定于冲击韧性。

四、疲劳

许多零件和制品,经常受到大小及方向变化的交变载荷,在这种载荷反复作用下,材料常在远低于其屈服强度的应力下即发生断裂,这种现象称为“疲劳”。材料在规定次数(一般钢铁材料取 10^7 次,有色金属及其合金取 10^8 次)的交变载荷作用下,而不致引起断裂的最大应力称为“疲劳极限”。光滑试样的弯曲疲劳极限用 σ_{-1} 表示。一般钢铁的 σ_{-1} 值约为其 σ_b 的一半,非金属材料的疲劳极限一般远低于金属。

提高零件的疲劳抗力可通过合理选材,改善材料的结构形状,避免应力集中,减少材料和零件的缺陷,提高零件表面光洁度,对表面进行强化等方法解决。

五、硬度

硬度是材料对局部塑性变形的抗力。现在都是用压入硬度法测定。

硬度试验方法比较简便、迅速,而且一般还可在零件上直接试验而不破坏零件,另外还可通过测定的硬度值估计材料的近似 σ_b 值,所以得到广泛应用,特别是在零件图纸上,已成为一项重要技术指标。

由于测量的方法不同，常用的硬度指标有布氏硬度（HB）、洛氏硬度（HR）、维氏硬度（HV）和显微硬度（HM）等。陶瓷等材料还常用克努普氏显微硬度（HK）和莫氏硬度（划痕比较法）作为硬度指标。不同测量方法得到的硬度值不能直接相比较，但可通过各种硬度对应换算表来对照比较。

（一）布氏硬度HB

布氏硬度由于试验用压头是一淬火钢球，对过硬材料会使钢球变形甚至破坏，所以它的使用范围不能超过HB450，对金属来讲，只适用于测定退火、正火、调质钢、铸铁及有色金属的硬度。材料的 σ_b 与HB之间，有以下近似经验关系：

对于低碳钢： $\sigma_b \approx 0.36HB$ ；

对于高碳钢： $\sigma_b \approx 0.34HB$ ；

对于灰铸铁： $\sigma_b \approx 0.1HB$ 或 $\sigma_b \approx \frac{HB - 40}{6}$ 。

（二）洛氏硬度HR

洛氏硬度根据压头的材料及压头所加的负荷不同又分为HRA、HRB、HRC三种。

HRA使用金刚石圆锥压头，总负荷为60kgf（588N），适用于测量硬质合金、表面淬火层或渗碳层。

HRB使用1/16"（1.59mm）淬火钢球，总负荷为100kgf（980N），适用于测量有色金属和退火、正火钢等。

HRC使用金钢石压头，总负荷为150kgf（1470N），适用于调质钢、淬火钢等。

另外，为了解决表面极薄层和工程塑料的硬度测量，可使用在洛氏试验原理的基础上，细化表盘刻度及减小所加总负荷，采用15、30和45kgf（147、294和441N）的小负荷进行试验的表面硬度试验方法。

洛氏硬度操作简便、迅速，应用范围广，压痕小，硬度值可直接从表盘上读出，所以得到更为广泛的使用。

（三）维氏硬度HV

维氏硬度的试验原理与布氏硬度相同，不同点是压头为金刚石四方角锥体，所加负荷较小[5~120kgf（49~1176N）]。它所测定的硬度值比布氏、洛氏精确，压入深度浅，适于测定经表面处理零件的表面层的硬度，改变负荷可测定从极软到极硬的各种材料的硬度，但测定过程比较麻烦。

（四）显微硬度

测定材料各种组织和相组成物的硬度时，要用显微硬度计，这种试验方法实质上就是小负荷的维氏硬度试验。所不同的是负荷以gf（ $9.8 \times 10^{-3}N$ ）计量，压痕对角线长度以 μm 计量。一般用的显微硬度符号为HM。

六、断 裂 韧 性

在实际生产中，有的大型转动零件、高压容器、船舶、桥梁等，常在其工作应力远低于 σ_s 的情况下，突然发生低应力脆断。通过大量研究认为，这种破坏与制件本身存在裂纹和裂纹扩展有关。实际上，制件及其材料本身不可避免存在的各种冶金和加工缺陷，都相当于裂纹或在使用中发展为裂纹。在应力作用下，这些裂纹进行扩展，一旦达到失稳扩展状态，便会发生低应力脆断。

试验研究指出,材料中存在裂纹时,裂纹尖端就是一个应力集中点,而形成应力分布特殊的应力场。断裂力学分析指出,这一应力场强弱程度可用应力强度因子 K_I 来描述。 K_I 值的大小与裂纹尺寸($2a$)和外加应力(σ)有下式关系:

$$K_I = Y\sigma\sqrt{a} \quad \text{MN}/\text{m}^{\frac{3}{2}}$$

式中, Y 为与裂纹形状、加载方式和试样几何形状有关的一个量,是一个无量纲的系数(具体数值可根据试样条件查手册); σ 为外加应力,单位是 (MN/m^2); a 为裂纹的半长,单位是 m 。

由上式可见,随应力 σ 的增大, K_I 不断增大,当 K_I 增大到某一定值时,就可使裂纹前沿某一区域内的内应力大到足以使材料分离,从而导致裂纹突然失稳扩展而发生断裂。这个 K_I 的临界值,称为材料的断裂韧性,用 K_{IC} 表示,单位是 $\text{MN}/\text{m}^{\frac{3}{2}}$ 。

K_I 与 K_{IC} 的关系和静拉伸试验中应力 σ 与 σ_s 的关系一样,当试样应力 σ 增加到材料的 σ_s 时,试样才开始发生明显的塑性变形。应力 σ 是不断变化的值,同样, K_I 也是不断变化的值; σ_s 对材料来说有定值,同样, K_{IC} 对材料也有定值。换言之,断裂韧性 K_{IC} 是表示材料抵抗裂纹失稳扩展能力的机械性能指标。

材料各有其本身的 K_{IC} 值。它与裂纹形状、大小无关,也和外加应力无关,只决定于材料本身的特性(成分、热处理条件、加工工艺等情况)。

第二节 物理和化学性能

一、相对密度

不同材料的相对密度各不相同,如钢为7.8左右;陶瓷的相对密度为2.2~2.5;各种塑料的相对密度更小。材料的相对密度直接关系到产品的重量。许多现代化产品,特别是交通、航天工业产品,都要求尽量减轻重量,所以在机械制造业中,不能忽视相对密度这一性能。现代工业中常用的铝镁合金(相对密度约为2)、钛合金(相对密度约为4.5)、工业塑料(相对密度为1~2)等,都在相对密度方面具有优越性。

抗拉强度 σ_b 与相对密度 ρ 之比称为比强度;弹性模量 E 与相对密度 ρ 之比称为比弹性模量。这两者也是考虑某些零件材料性能的重要指标。

二、熔点

熔点是指材料的熔化温度。陶瓷的熔点一般都显著高于金属及合金的熔点,而高分子材料一般不是完全晶体,所以没有固定的熔点。工业上常用的防火安全阀及熔断器等零件,就要使用低熔点的易熔合金,而工业高温炉、火箭、导弹、燃气轮机、喷气飞机等的某些零部件,却必须使用耐高温的难熔材料。

三、热膨胀性

材料的热膨胀性通常用线膨胀系数表示。在精密仪器及精密机器的零件中,对于保持高度精确性,热膨胀性是一个非常重要的性能指标;在异种金属焊接中,常因材料的热膨胀性相差过大而使焊件变形或破坏。

一般,陶瓷的热膨胀系数最低,金属次之,高分子材料最高。

四、磁 性

通常把材料能导磁的性能叫做磁性。磁性材料中又分易磁化、导磁性良好，但外磁场去掉后，磁性基本消失的软磁性材料（如电工用纯铁、硅钢片等）和去掉磁化后，保持磁场，磁性不易消失的硬磁性材料（如淬火的钴钢、稀土钴等）。许多金属如铁、镍、钴等均具有较高的磁性。但也有许多金属（如铝、铜、铅、不锈钢等）是无磁性的。非金属材料一般是无磁性，但随科学技术的发展，也出现了磁性陶瓷等导磁性材料。磁性是有些零件要求具备的性能，相反也有不少零件要求无磁性（如电机上的护环等零件）。

五、导 热 性

材料的导热性用其导热系数 λ 表示，其单位为 $W/(m \cdot K)$ 。制件材料的导热性愈差，则零件在加热或冷却时，由于表面和内部产生温差，膨胀不同，在内部产生的应力愈大，应力大于材料强度时，便会产生破裂。导热性好的材料（如铜、铝及其合金等），常用来制造热交换器等传热设备的零部件。

一般，金属及合金的导热系数远高于非金属材料。金属材料导热性好的原因是由于金属晶体结构的特点，即金属结构中原子的振动和自由电子的运动两者都参加传递热量。

六、导 电 性

材料的导电性可用电导率来表示，但用其倒数电阻率表示更为方便，电阻率的单位用 $\Omega \cdot m$ 表示。

通常金属的电阻率随温度升高而增加，相反，非金属材料的电阻率则随温度的升高而降低。即前者具有正的电阻温度系数，这也与金属结构有关。

金属及其合金一般具有良好的导电性，银的导电性最好，铜、铝次之，所以常用铜、铝做良好的导电材料。但有时也需一些电阻率大的材料，如用以制作电热元件等零件。

高分子材料都是绝缘体，但有的高分子复合材料也有良好的导电性。陶瓷材料虽然也是良好的绝缘体，但某些特殊成分的陶瓷却是有一定导电性的半导体。

七、相对介电常数

虽然电的绝缘体不传导电荷，但它们对电场并不是无效的。表示绝缘材料电性能的物理量称为介电常数 ϵ ，单位是 F/m 。真空介电常数为 $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} F/m$ 。

某一绝缘材料的介电常数 ϵ 与真空介电常数 ϵ_0 之比，称为该材料的相对介电常数 ϵ_r ，即

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

八、耐 腐 蚀 性

耐腐蚀性是指材料抵抗各种介质侵蚀的能力。非金属材料的耐蚀性能总的说来，远远高于金属材料。材料耐蚀性常用每年腐蚀深度（渗蚀度） K_a （ $mm/年$ ）来评定耐蚀等级。

九、高温抗氧化性

现代工业中许多在高温下工作的机器与设备，如各种工业炉、汽轮机、发动机、火箭、导弹等的某些零部件的材料，首先必须具备抗氧化性能，因为氧化是高温材料的最普遍和最重要的问题。所谓抗氧化性并不是指高温下完全不被氧化，而通常是指材料在迅速氧化后，能在表面形成一层连续而致密并与母体结合牢靠的膜，从而阻止进一步氧化的特性。

高温氧化是指金属及合金而言的，至于高分子材料，虽然也有氧化问题，不仅其氧化温度不高，而且其氧化机制也不相同。

第三节 工 艺 性 能

材料工艺性能的好坏，会直接影响制造零件的工艺方法和质量以及制造成本。因此选材时也必须充分考虑它。主要应考虑的工艺性能有以下几方面。

一、铸 造 性

是指浇注铸件时，液体金属能充满比较复杂的铸型并获得优质铸件的性能。为此对铸造性好的材料，则要其流动性好，以铸出细薄精致的铸件；收缩率小，以减少缩孔、缩松、应力、变形及开裂等缺陷；偏析倾向小，以得到质地均匀的铸件等。

各种金属材料的铸造性不一样，如铸铁就比钢有更好的铸造性。

某些工程塑料，在某些成型工艺方法中，也要求好的流动性和小的收缩率。

二、可 锻 性

指材料是否易于进行压力加工的性能。可锻性好坏主要以材料的塑性及变形抗力来衡量。可锻性好的材料，能受大的塑性变形而不破坏。钢的可锻性良好，铸铁不能进行任何的压力加工。

热塑性塑料可经挤压和压塑成型，这与金属挤压和模压成型相似。

三、可 焊 性

指材料是否易于焊接在一起并能保证焊缝质量的性能。低碳钢具有优良的可焊性，而铸铁和铝合金的可焊性就很差。可焊性的好坏，一般用焊接处出现各种缺陷的倾向来衡量。某些工程塑料也有良好的可焊性，但与金属的焊接机制及工艺方法并不相同。

四、切削加工性

指材料是否易于进行切削加工的性能。它与材料种类、成分、硬度、韧性、导热性及内部组织状态等许多因素有关。有利切削的硬度为 HB160~230。切削加工性好的材料，切削容易，刀具磨损小，加工表面光洁。金属和塑料相比，切削工艺有不同的要求。

思 考 作 业 题

1. 零件设计时，选取 $\sigma_{0.2}$ （或 σ_s ）还是选取 σ_b ，应以什么情况为依据？
2. δ 与 ψ 这两个指标，那个能更准确地表达材料的塑性？为什么？
3. 有一碳钢制支架刚性不足，有人要用热处理强化方法；有人要另选合金钢；有人要改变零件的截面形状来解决。哪种方法合理？为什么？
4. K_{IC} 和 K_I 两者有什么关系？在什么情况下， $K_I = K_{IC}$ ？
5. 结合本章所学的各项物理和化学性能，各举一例（机器或设备等）说明考虑该项性能指标的意义。

第二章 材料的结构

物质都是由原子组成的,原子的排列位置和空间分布称为结构。物质的聚集状态有三种,即气态、液态和固态。工程上常用的材料是固态。固体物质依原子排列情况分为两种形式,晶体和无定形体,常称晶体和非晶体。自然界中,大多数固体物质是晶体。

第一节 材料的结合方式

一、化 学 键

组成物质的质点(原子、分子或离子)互相作用而联系在一起,这种粒子之间的相互联系称为化学键。化学键对物质的性质有重大的影响。物质的化学键主要有离子键、共价键和金属键。

(一) 离子键

当两种电负性相差大的原子(如碱金属元素与卤族元素的原子)相互靠近时,电负性小的原子失去电子成为正离子,电负性大的原子获得电子而成为负离子。两种离子由静电引力而结合在一起形成离子键。如NaCl,见图2-1。

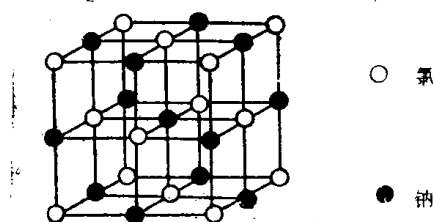


图2-1 NaCl晶体结构

(二) 共价键

两个相同原子或性质相差不大的原子互相靠近,电子不会转移,原子间借共用电子对所产生的力而结合,形成共价键。如金刚石、SiC。

(三) 金属键

绝大多数金属元素是以金属键结合的。金属原子结构的特点是外层电子少,容易失去。当金属原子相互靠近时,这些外层电子就脱离原子,成为自由电子,为整个金属所共有,它们在整个金属内部运动,形成电子气。这种由金属正离子和自由电子之间相互作用而结合的方式称金属键。

说明金属键的模型有两种。一种认为金属原子全部离子化,一种认为还包括有中性原子,见图2-2。

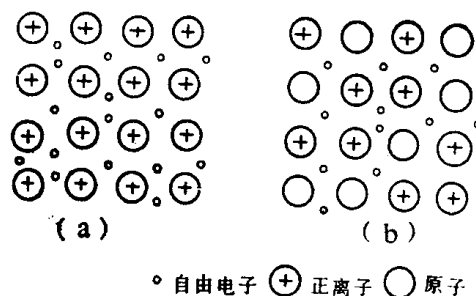


图2-2 金属键模型

根据金属键的结合特点可以解释金属材料的一般性能。由于自由电子的存在,容易形成电流,显示出良好的导电性。自由电子的易动性也使金属有良好的导热性。由于金属原子移动一定位置以后仍然保持金属键,所以具有很好的变形能力。自由电子可以吸收光的能量,因而金属不透明,而所吸收的能量在电子回复到原

来状态时产生辐射，使金属具有光泽。

(四) 分子键和氢键

1. 分子键

当不易失去或获得电子的原子、分子靠近时，由于各自内部电子不均匀分布产生较弱的静电引力，称为范德瓦尔斯力，由这种分子力结合起来叫分子键或范德瓦尔斯键。

2. 氢键

氢键是一种特殊的分子间作用力，由于氢原子结构的特殊性，当它和电负性大的原子结合后，电子强烈偏移，因而又能和另一个电负性大的原子产生静电吸引力形成氢键。

氢键和分子键的能量差不多，大约是共价键的十分之一。

分子键的本质是物理键。

二、结合键的性能特点

上述四种结合键都起源于静电作用，即包括引力和斥力两个因素。但由于键型不同，因而表现出不同的特性，见表2-1。

表2-1 结 合 键 的 特 性

	离 子 键	共 价 键	金 属 键
结 构 特 点	无方向性或方向性不明显，配位数大	方向性明显，配位数小，密度小	无方向性，配位数大，密度大
机 械 性 质	强度高，劈裂性良好，硬度大	强度高，硬度大	有各种强度，有塑性
热 学 性 质	熔点高，膨胀系数小，熔体中有离子存在	熔点高，膨胀系数小，熔体中有的含有分子	有各种熔点，导热性好，液态的温度范围宽
电 学 性 质	绝缘体，熔体为导体	绝缘体，熔体为非导体	导体电（自由电子）
光 学 性 质	与各构成离子的性质相同，对红外线的吸收强，多是无色或浅色透明的	折射率大，同气体的吸收光谱很不同	不透明，有金属光泽

分子键和氢键在高分子材料中起重大作用。

三、工程材料的键性

工程上使用的材料，有的是单纯一种键，更多的是几种键的结合。根据键性可以估计出材料的性能。

(一) 金属材料

金属材料的结合键主要是金属键，也有共价键（如灰锡）和离子键（如金属间化合物 Mg_3Sb_2 ）。

(二) 陶瓷材料

陶瓷材料的结合键是离子键和共价键，大部分材料以离子键为主。所以陶瓷材料有高的熔点和很高的硬度，但脆性较大。

(三) 高分子材料

高分子材料又称聚合物，它的结合键是共价键和分子键。由于高分子材料的分子很大，所以分子间的作用力也就很大，因而也具有很好的机械性能。

如果以四种键为顶点作一个四面体，就可以把材料的结合键范围示意的表示在这个结合

键四面体上，见图2-3。

四、晶体与非晶体

原子或分子通过结合键结合在一起时，依键性的不同以及原子或分子的大小可在空间组成不同的排列，即形成不同的结构。化学键相同而结构不同时，性能可以有很大差别。原子或分子在空间有秩序的排列形成晶体，无序排列就是非晶体。

(一) 晶体

晶体是原子在空间有规则排列的物体。如把原子看成刚性的圆球，晶体就是由这些圆球紧密堆砌而成。

(二) 非晶体

非晶体的结构是原子的无序排列，它和瞬间的液体结构相同，有人称为过冷液体。最典型的非晶体材料是玻璃，所以往往也把非晶态的固体称为玻璃体。

非晶体在整体上是无序的，但是原子之间也是靠化学键结合在一起的，所以在有限的小范围内观察，还是有一定的规律性。可以把非晶体的结构称为近程有序，而晶体结构则是远程有序。

非晶体材料的共同特点是：（1）结构无序，物理性质表现为各向同性；（2）没有固定的熔点；（3）导热率和热膨胀性均小；（4）塑性形变大；（5）组成的变化范围大。

(三) 晶体与非晶体的转化

非晶体结构是近程有序，即在很小的尺寸范围内存在着有序性，而晶体内部有缺陷，在很小的尺寸范围内存在着无序性。所以两者之间尚有共同特点。物质在不同条件下，既可形成晶体结构，又可形成非晶体结构。如金属液体在高速冷却下可以得到非晶态金属，玻璃经适当热处理可形成晶体玻璃。

有些物质，可看成是有序和无序的中间状态，如塑料、液晶等。

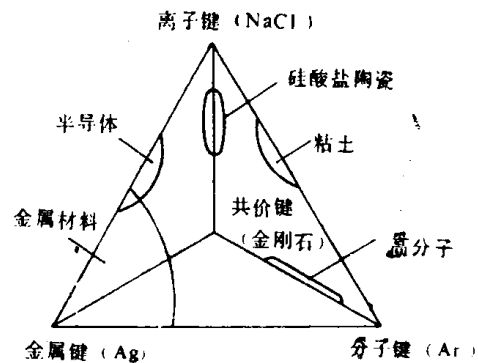


图2-3 结合键四面体

第二节 金属的晶体结构

一、晶体的基本概念

(一) 晶格和晶胞

把原子看成空间的几何点，这些点的空间排列称为空间点阵。用一些假想的空间直线把这些点连接起来，构成三维的几何格架，称为晶格。从晶格中取出有代表性的几何单元，称为晶胞，见图 2-4。晶胞作三维的空间堆砌就构成了空间点阵。晶胞各边的尺寸 a 、 b 、 c 称晶格常数，其大小以 $\text{\AA}$ ($1\text{\AA} = 10^{-1}\text{nm}$) 为单位。夹角用 α 、 β 、 γ 表示。

(二) 晶系

据晶胞参数的特征，可将所有晶体分为七种晶系，见表2-2。

由于晶体的规则排列，各方向上的原子排列密度是不相同的，使晶体性质（如导电性、导热性、热膨胀性、弹性、强度、光学数据等）在各方向上不同，称各向异性。

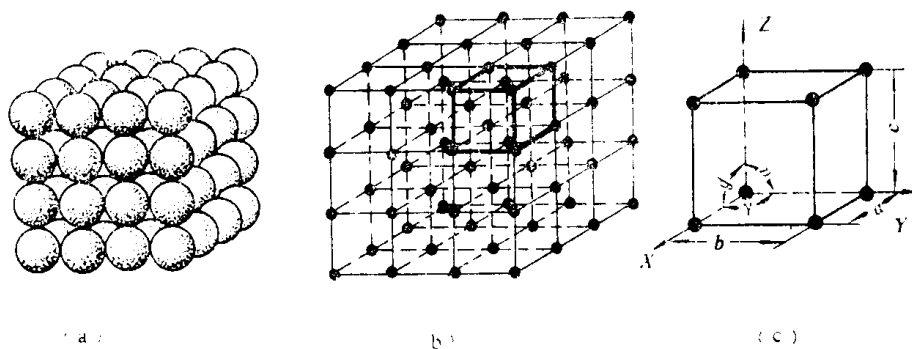


图2-4 简单立方晶体(a)晶格(b)及晶胞(c)示意图

晶 系		晶 系	晶 系
晶	系	棱 边 长 度 及 夹 角 关 系	举 例
三	斜	$a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	K_2CO_3, O_7
单	斜	$a \neq b \neq c, \alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	$\beta\text{-S}, CaSO_4 \cdot 2H_2O$
正	交	$a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$\alpha\text{-S}, Ga, Fe_3C$
六	方	$a_1 = a_2 = a_3 \neq c, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	$Zn, Cd, Mg, NiAs$
菱	方	$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	As, Sb, Bi
四	方	$a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$\beta\text{-Sn}, TiO_2$
立	方	$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Fe, Cr, Cu, Ag, Au

(三) 晶格尺寸和原子半径

表示晶格尺寸的是晶格常数，立方晶系只用一个数值 a 即可表示。

原子半径指晶胞中原子密度最大方向上相邻两原子之间距离的一半。同种原子处于不同晶格中，其原子半径是不一样的。

(四) 晶胞原子数

晶胞原子数是指一个晶胞内所包含的原子数目。

(五) 配位数和致密度

表示晶格中原子排列紧密程度的参数。配位数是晶格中与任一原子处于相等距离并相距最近的原子数目。金属晶胞中原子本身所占的体积的百分数称致密度(K)，即晶胞中所包含的原子体积与晶胞体积(V)的比值。若晶胞中原子数为 n ，原子半径为 r ，则晶胞中原子所占的体积为： $n \times \frac{4}{3}\pi r^3$ ；则： $K = n \times \frac{4}{3}\pi r^3 / V$ 。

二、常见纯金属的晶格类型

(一) 体心立方晶格

体心立方晶格的晶胞如图 2-5 所示，是一个立方体，在立方体的八个角点上各有一个与相邻晶胞共有的原子，并在立方体的中心有一个原子。因为晶格常数 $a = b = c$ ，故只用 a 即可表示。

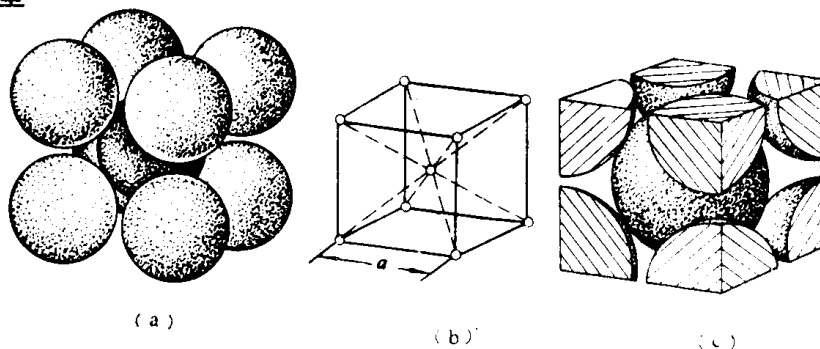


图2-5 体心立方晶胞示意图

(a)模型；(b)晶胞；(c)晶胞原子数。