

普通高等工科教育规划教材

材 料 学 基 础

(非 机 类)

主编	刘天模	张喜燕	黄维刚
主审	杨 川		
参编	王中长	余 龙	王金星
	李 江	周世杰	



机 械 工 业 出 版 社

本书系统地介绍了材料学的一些基本知识。其主要内容有两部分：一是材料学基础理论部分，包括材料的性能、结构、制备方法、相图等内容；二是各种材料的应用，包括金属材料、非金属材料、复合材料、功能及信息材料、生物与能源材料、纳米材料与环境材料等内容。

本书是根据材料类课程教学体系改革的原则编写的，其特点是注重基础性和实践性，以培养学生的创造性思维能力和解决实际问题的能力为主要目的。本书涉及面广，又非常实用，有利于提高学生的学习兴趣。

本书可以作为高等学校工科非机类专业本科生或大专生教材，也可作为有关科技人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

材料学基础 非机类 机械工业出版社编——北京：机械工业出版社，2009.10

普通高等工科教育规划教材

陈肇雄主编

I ①材料学 Ⅱ ①陈肇雄 Ⅲ ①材料科学—高等学校—教材 Ⅳ ①TB3

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第154333号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑：张祖凤 版式设计：冉晓华 责任校对：韩晶

封面设计：鞠杨 责任印制：施红

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2009年10月第1版 第1次印刷

16开 787mm×1092mm 1/16 印张：15.5 千字

定价：25.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68995199 网络订购：www.cmpbook.com

封面防伪标均为盗版

前 言

随着现代科学的飞速发展,材料学的重要性已经被越来越多的人所认识。材料学作为工科学生的公共技术基础课程,在非机类专业中开设材料类课程已经成为许多人的共识。作为 21 世纪的理工科大学生,面对科学技术的飞速发展,适当掌握材料科学的基本理论、基本方法、各类不同材料的基本结构和性能以及材料科学的发展趋势等基础知识,对拓宽知识面,强化专业基础,增强专业的适应性等方面都是大有益处的。

目前,大多数院校开设的材料类技术基础课程主要分为三类:一是为热加工专业开设的“金属材料及热处理”(或称“材料科学与工程基础”);二是为机械和近机类专业开设的“机械工程材料”(或称“工程材料”);三是为材料专业开设的“金属学原理”(或称“材料科学基础”)。这三类课程已经有大量的教材和参考书出版,但至今还没有一门适合于非机类专业的材料科学类课程或教材。为了适应非机类专业学生材料类课程的教学需要,我们编写了这本教材。本教材针对非机类工科专业本科生开设材料类课程,通过本课程的学习,使学生对材料的共性和各类不同材料的个性都有一个初步的了解,同时掌握材料科学的基本理论和基本方法。本教材适用的教学时数为 100~120 学时之间。

本书在每章后面均附有习题与思考题,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。

本教材是集中多所高校优势紧密合作的结晶。编写人员来自多所高校,由重庆大学、西南交通大学、四川大学和广西大学的教学及科研人员组成了写作班子,由刘天模教授、张喜燕教授和黄维刚教授担任主编。编写者为刘天模、王中长、余龙、王金星、李江(绪论及第一~五章),黄维刚(第六~八章),周世杰、张喜燕(第九~十一章)。全书由西南交通大学的杨川教授主审。

由于编者水平有限,书中难免有缺点和错误,恳请广大师生和读者批评指正。

编 者

2006 年 5 月

目 录

前言	
绪论	员
第一章 材料的常用特性	源
第一节 结构—性能—加工—使用表现	缘
第二节 材料的性能	远
一、材料的力学性能	苑
二、材料的物理性能	员
三、材料的工艺性能	源
第三节 材料与环境	缘
一、材料的腐蚀与防护	缘
二、材料与环境的协调性	远
思考作业题	苑
第二章 材料的电子结构	愿
第一节 原子中的电子排列	愿
一、微观粒子运动的描述方法和量子效应	愿
二、薛定谔方程与电子波函数	怨
三、原子中的电子排列	怨
第二节 固体的能带理论	圆
一、电子轨道与能带	圆
二、材料的能带结构与导电性	源
三、材料的热电效应	怨
第三节 半导体材料的电子结构	猿
一、电荷载流子	猿
二、半导体材料的能带理论	猿
三、半导体晶体管的电子结构	源
第四节 磁性材料的电子结构	缘
一、磁矩与磁畴	源
二、材料与磁场的相互作用	愿
第五节 材料的光电效应	缘
一、材料的发光性能与电子跃迁	缘

二、激光器原理	缘苑
三、光电效应	缘园
思考作业题	远园
第三章 材料的原子结构	远园
第一节 材料的结合方式	远园
一、原子结合键	远园
二、材料的键性	远猿
三、晶体与非晶体	远源
第二节 金属及合金的结构	远缘
一、晶体结构的基本概念	远远
二、常见纯金属的晶格类型	远远
三、实际金属的晶体结构	远愿
四、合金的相结构	苑园
第三节 高分子材料的结构	苑缘
一、高分子材料的基本概念	苑缘
二、高分子材料的分子链结构	苑远
三、高分子材料的聚集态结构	愿园
第四节 陶瓷材料的结构	愿园
一、陶瓷材料的结构特点	愿园
二、晶体相	愿猿
三、玻璃相	愿远
四、气相	愿远
第五节 液晶态结构	愿苑
一、晶体和液体间的过渡态	愿苑
二、液晶的分类	愿苑
三、液晶分子排列结构	愿愿
四、聚合物液晶	愿愿
五、液晶的物理性质	愿愿
思考作业题	愿园
第四章 金属的结晶与二元相图	愿园
第一节 金属及合金的结晶	愿园
一、结晶现象	愿园
二、纯金属的结晶	愿园
第二节 二元相图	愿远
一、二元相图的建立	愿远

二、二元相图的基本类型	226
三、杠杆定律和枝晶偏析现象	227
四、合金的结晶	228
第三节 铁碳合金	229
一、铁碳合金中铁与碳的存在形式	229
二、铁碳合金相图	230
三、铁碳合金的结晶过程及组织	231
四、室温组织的计算	232
思考作业题	233
第五章 材料的制备与加工	234
第一节 金属材料的成形与加工	234
一、金属的塑性变形与再结晶	234
二、金属的热加工	235
三、金属热处理	236
第二节 高分子材料的合成	237
一、加聚反应	237
二、缩聚反应	238
第三节 陶瓷材料的制备	239
一、制粉	239
二、成型	240
三、烧结	241
第四节 低维材料的制备技术	242
一、固体薄膜制备技术	242
二、纤维材料制备技术	243
三、粉体材料制备技术	244
思考作业题	245
第六章 常用金属材料	246
第一节 工业用钢	246
一、钢的分类与牌号	246
二、常见工业用钢的性能及用途	247
第二节 铸铁	248
一、灰铸铁	248
二、球墨铸铁	249
三、其它铸铁	250
第三节 有色金属及合金	251

一、铝及铝合金	页源
二、铜合金	页源
三、镁合金	页苑
四、钛合金	页怨
五、轴承合金	页园
思考作业题	页园
第七章 常用非金属材料	页源
第一节 高分子材料	页源
一、塑料	页源
二、橡胶	页缘
三、合成纤维	页缘
第二节 无机非金属材料	页苑
一、结构陶瓷	页苑
二、超硬工具陶瓷	页猿
三、电介质陶瓷材料	页缘
思考作业题	页远
第八章 复合材料	页苑
第一节 复合材料的基本类型与组成	页苑
一、基体材料	页愿
二、增强材料	页愿
第二节 金属基复合材料	页怨
一、纤维增强金属基复合材料	页怨
二、颗粒增强金属基复合材料	页园
三、晶须增强金属基复合材料	页员
第三节 聚合物基复合材料	页员
一、热固性树脂基复合材料	页员
二、热塑性树脂基复合材料	页员
三、几种常用的聚合物基复合材料	页圆
第四节 陶瓷基复合材料	页圆
一、纤维增强陶瓷基复合材料	页猿
二、颗粒增强陶瓷基复合材料	页猿
第五节 功能复合材料简介	页源
一、导电复合材料	页源
二、磁性复合材料	页缘
三、摩擦功能复合材料	页缘

四、阻尼功能复合材料	页缘
五、其它功能复合材料	页缘
思考作业题	页远
第九章 功能材料及信息材料	页苑
第一节 磁性材料	页苑
一、软磁材料	页苑
二、硬磁材料	页愿
三、磁记录材料	页园
第二节 导电材料	页源
一、导电及电阻材料	页源
二、半导体材料	页缘
三、超导材料	页园
第三节 现代信息材料	页园
一、光纤材料	页园
二、智能材料	页猿
三、传感器材料	页猿
四、信息显示材料	页远
思考作业题	页愿
第十章 生物材料与能源材料	页怨
第一节 生物医用材料	页怨
一、生物医用材料的性能要求	页怨
二、金属生物医学材料	页怨
三、陶瓷生物材料	页园
四、生物医用高分子材料	页园
第二节 仿生材料	页源
第三节 能源材料	页缘
一、能量转换材料	页缘
二、储氢材料	页愿
三、致冷材料	页园
思考作业题	页园
第十一章 纳米材料与环境材料	页猿
第一节 纳米材料	页猿
一、纳米材料的概念	页猿
二、纳米材料的应用	页苑
第二节 环境材料	页怨

一、材料与环境	圆怨
二、材料在环境保护中的应用	圆园
思考作业题	圆
参考文献	圆

绪 论

材料、信息和能源是支撑起人类文明大厦的三大支柱，而材料又是人类一切生产和生活水平提高的物质基础，同时也支撑着其它新技术的进步。能源的开发、提炼、转化和储运；信息的传播、储存、利用和控制等都离不开材料。材料与人类的出现和进化有着密切的联系，因而它们的名字已经作为人类文明的标志，例如，石器时代、青铜器时代和铁器时代。目前，天然材料和人造材料已经成为我们生活中不可分割的组成部分，材料已经与食物、居住空间、能源和信息并列一起组成人类的基本资源。

当今科学技术飞速发展，高技术新材料的发展成为世界各国共同关注的目标。新材料既是高技术产业发展的前提和基础，又是重要的高技术产业领域之一，其研究和发展在国民经济中起着不可替代的作用，已经成为影响综合国力的主要因素之一。在高科技产业高速发展的今天，新材料已成为各个高技术领域发展的突破口，在很大程度上影响着新兴产业的发展进程，并对世界经济、军事和社会的发展带来深刻的影响。

中国是世界文明古国之一，早在公元前 3500 世纪以前的殷商时代，已大量使用青铜，并已具有高超的冶铸技术和精湛的艺术造诣；公元前 770 世纪以前的春秋战国时期出现了铁器，铸铁的生产比欧洲约早 1600 多年，在世界材料发展史中写下了光辉的篇章。

中华人民共和国成立以后，我国一直把材料工业作为重点发展领域之一。特别是改革开放以后，材料工业有了迅速发展。我国的钢产量在 1979 年达到了 1.18 亿吨，已经成为世界第一的钢铁生产大国。我国已按实际情况制定和完善了钢铁新标准，建立了符合我国资源特点的合金钢系统，新钢种正在日益发展。我国已能生产所有的有色金属，非金属材料的研制和发展也很迅速。

材料是宇宙万物中的一部分，但更具体地说，材料指的是那样一些物质，这些物质的性能使其能用于结构、机器、器件或其它产品。例如，金属、陶瓷、半导体、超导体、聚合物(塑料)、玻璃、介电材料、纤维、木材、砂子、石块、复合材料等都属于材料的范畴。根据材料在人类社会中所起的作用，以及社会经济对它的宏观限制，材料可定义为人类社会所能接收的、经济地制造有用器件的物质。从上述定义可以看出，材料的用途在于制造器件，但它的内涵则延伸到它的社会性和经济性，显示出对材料发展的要求和竞争

状况。

材料的种类繁多，用途广泛。依据不同的标准，可以将材料划分为若干类。例如，按照来源，可以将材料分为天然材料和人造材料两类；按照化学属性，可以将材料划分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料四类；按照用途，可以将材料划分为结构材料和功能材料两类。

结构材料通常是指那些主要利用其力学性能制造机器和工程结构中构件的材料；功能材料主要是指利用其物理、化学和生物学等性能制造具有电、磁、光、声、热、生物等功能器件的材料。

材料学是自然科学的一个分支，它从事于材料本质的发现、分析和了解方面的研究，其目的在于提供材料结构的统一描绘或模型，以及解释这种结构与性能之间的关系。因此材料学的核心问题是结构和性能。为了深入地理解和有效地控制性能和结构，我们需要处理各种过程。材料中的各种结构的形成都涉及能量，因此外界条件的改变将会引起结构的改变，从而导致性能的改变。过程是理解性能和结构的重要环节；结构是深入理解性能和计算能量的中心环节；能量控制结构的形成和过程的进行。

材料的性能是由材料的内部结构决定的。材料的结构表明材料的组元及其排列和运动方式。材料的组元指组成材料的物质基元，如原子、分子和离子等。材料的排列方式取决于组元间的结合类型，如金属键、离子键、共价键、分子键等。组元不是固定不动的，而是在运动的，如电子的运动、原子的热运动等。材料的结构根据不同的尺度可以分为不同层次，包括原子结构、原子的排列、相结构、显微组织(多相结构)，晶体中的结构缺陷也包括在结构之中，每个层次的结构都以不同方式决定着材料的性能。

结构是理解和控制材料性能的中心环节，结构的最微细的水平是组成材料的原子结构，电子围绕着原子核的排列情况对材料的力学、磁学、热学、光学乃至耐腐蚀性能都有重大影响，尤其是电子排列会影响原子的键合，使材料表现出金属、陶瓷和高分子的性能。原子在空间的排列是材料结构的第二层次，如晶体、非晶体和准晶体等，原子在空间的排列直接影响材料的性能，如材料处于晶体状态时与处于非晶体状态时性能就相差非常大。显微组织是材料结构的第三层次，显微组织即在显微镜下所观察到的构成材料的各相的组合图像，或者说材料的显微组织是材料中各相的含量及形貌所构成的图像。

从材料学的角度看，材料的性能取决于内部结构，而材料的内部结构又取决于成分和加工工艺。所以，正确地选择材料，确定合理的加工工艺，得到理想的组织，获得优良的使用性能，是材料学研究的主要目的。因此，本书以材料的成分、加工工艺、组织结构与性能之间的关系为主线，重点介绍材料的本质，提出有关的理论和描述，说明材料结构是如何与其成分、加工工艺、性能以及行为相

联系的。

我们必须注意到，材料学是一门应用科学，因此在学习时必须理论联系实际，在深入学习和牢固掌握基础知识、基础理论的同时，要思考、学习它的应用，要培养用实验验证理论和总结、归纳实验规律的能力以及发展理论的素质。

第一章 材料的常用特性

通常我们按照材料的成分特点将材料分为四类：金属材料、陶瓷材料、高分子材料、复合材料。

(一) 金属材料 金属材料通常是由金属元素组成。由于金属中大量的自由电子不是束缚在特定的原子上，因此金属是电和热的良导体。它有高的强度、刚度和好的韧性，因此被广泛用作结构材料。两种或两种以上金属或非金属经熔炼、烧结或其它方法组合后成为具有金属特性的合金，往往可以改善所要求的特定性能或获得更好的综合性能。

金属材料通常以所含的主要元素来分类，传统上被分为黑色金属及有色金属。黑色金属主要指钢铁和其它铁基合金，以及铬、锰及其合金。黑色金属是目前世界上产量最大的金属材料，其强度高，且价格便宜。通常人们把所有的非铁、铬、锰金属及其合金称为有色金属。由于有色金属有许多优良的物理、化学、低温、断裂等性能，已成为现代工业中重要的材料。有色金属的种类繁多，主要有铝及铝合金、铜及铜合金、钛及钛合金，以及镍、钼、铌、钽、稀土合金；半导体材料；贵金属材料(金、银、铂)；镍、钴、超导材料等。

(二) 陶瓷材料 陶瓷是经过高温处理所合成的无机非金属材料。陶瓷材料中用量最大的是硅酸盐材料。硅酸盐材料是地壳中质量分数最大的三种元素——硅、铝、氧所形成的硅酸盐为主要组成的无机非金属材料。人们比较熟悉的普通陶瓷(或传统陶瓷)由于原料丰富、成本低廉、制备工艺相对成熟，而广泛用于化工、电气、建筑等行业及生活日用品；其缺点是它们的塑性、成型性和耐冲击性都很差。相对传统陶瓷，新型陶瓷又被称现代陶瓷、先进陶瓷、特种陶瓷、精细陶瓷、技术陶瓷等。新型陶瓷材料不仅有更加优异的力学、化学性能，而且具有特殊的物理性能。

陶瓷材料在性能上的突出特点是有极好的耐热性、化学稳定性、高强度和高硬度。这些使得陶瓷材料能在一些苛刻的环境条件下工作。但陶瓷材料的最大缺点是韧性差，脆性极大，抵抗内部裂纹扩散的能力很低。

传统陶瓷按用途又可分为日用陶瓷和建筑陶瓷等。现代陶瓷按性能和应用范围又可分为结构陶瓷、工具陶瓷、功能陶瓷等。

(三) 高分子材料 高分子材料根据材料的性能、用途和工艺性质可分为塑料、橡胶、合成纤维、粘结剂和涂料等。高分子材料的生产过程是用煤、石油、天然气、农副产品等经过一系列化工过程先合成低分子有机物(单体)，再由这些

有机物聚合制得。

高分子材料的导电性和导热性都很差，而且强度低，不宜在高温下使用。高分子材料往往具有极好的耐腐蚀性。

(源 复合材料 复合材料是由两种或两种以上在物理和化学上不同的物质组合起来的一种多相固体材料。复合材料的种类繁多，有各种不同的分类方法，主要有：

按基体材料分：①金属基复合材料，②树脂基复合材料，③陶瓷基复合材料。

按强化剂类型分：①颗粒增强复合材料，②纤维增强复合材料，③层板复合材料，④定向凝固共晶复合材料。

按用途类型(复合效果)分：①结构复合材料，②功能复合材料。

复合材料一般具有高的比强度和比模量，良好的抗疲劳性能、破损安全性和减振性能，多数增强材料有较高的耐热性。复合材料目前存在的问题主要是耐冲击性能差，横向强度和层间剪切强度差，一般成型方法属手工操作，生产率低下且工艺质量不稳定，性能分散等。

第一节 结构—性能—加工—使用表现

材料科学与工程作为一个被公认的科学技术领域，它的内容可以涵盖在材料科学与工程四个要素之下，即材料的结构、性能、加工和使用表现，其关系见图 1-1。尽管材料是千差万别，但任何材料都脱离不了这四个基本要素。材料科学与工程就是对这四个基本要素的追求和探索。

(员 结构 如果说以前制备材料靠的是经验和工艺的话，现代材料强调的就是结构和成分的重要作用。把材料从经验的积累和继承上升到了理论和设计的高度。随着显微科学的发展，人们对材料结构特别是显微结构的认识不断深入。

人们认识到，像金属、陶瓷、半导体这些材料都是原子排列的晶体，玻璃、高分子材料则是非晶体。认识到材料内的晶体可以形成很多晶粒，而同样的材料，只要把它的晶粒或相的形态和分布加以改变，就可以大大地改善它的性质。

材料结构更微观的层次，就是材料中的晶粒边界、晶内的原子级缺陷(如杂质的位置、原子的空位、位错等)，和电子学上的缺陷和能级(如半导体掺杂造成的电子和空穴的载流子等)。正是这些缺陷千变万化的物理和化学性质，产生了有

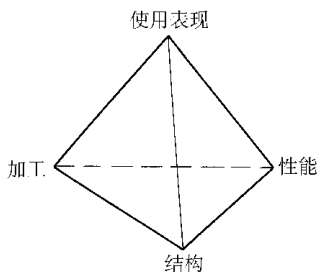


图 1-1 材料科学与工程的四个组成要素

声有色的荧光材料、激光材料、半导体二极管、离子导体等。可以说无论是金属、陶瓷、半导体、高分子还是复合材料，它们的发展无一不是与成分和结构密切相关的。只有控制材料的结构，才能得到人们追求的材料性能。

(圆 加工 材料的制备和加工很早以来就是发展材料的一个重要要素。合成和加工是控制材料成分和结构的基础和必要手段。我们不仅要做出产品的尺寸和形状，而且要达到严格的成分和结构要求。如钢材要通过退火、淬火、回火等热处理工艺来改善它们内部的结构而达到预期的性能，冷轧硅钢片要经过复杂的工序才能做到晶粒的高度取向而大大减少铁损，非晶态的金属合金必须借助于快速冷却的加工方法。可以说，没有合成加工上的新的突破，就没有新材料的发展。

(猿 性能 材料有用之处就是因为它具有某种性能。因此，性能往往是人们直接追求的第一目标。例如，铜作为导线，是因为它有良好的导电性。但随着技术的发展，对材料性能的要求也越来越高、越来越严格了，而且往往要求集多种性能于一身。例如上述的铜，在微电子器件作为引线框架，它要导电性能好，而且必须有较高的强度，因为一个小小的引线框架可能有好几百条腿做引线，没有强度就无法正常使用。不仅如此，从加工过程来说，还需要冲压性能好，冲出的引线均匀，尺寸、间距误差很小。材料科学的发展，不论是大量使用的基础材料还是高新材料，都赋予它们更好、更奇异的性能。如功能材料已实现了声、光、电、磁、热、力之间的转换。现在的材料就是以不同的性能满足各种各样的需要。

(源 使用表现 使用表现指材料应用过程中的评价、结果或行为。这是材料在真正使用过程中的考验和可能出现的种种问题。材料做成器件或构件，在使用过程中它所面临的问题很多，很复杂，往往是综合性的或协同性的，往往是在长期使用或发生破坏事故时才能发现。这时候人们去分析原因，并加以改进。材料使用表现也是材料给人的一种知识反馈，有些问题对材料科学来说是全新的，迫使人们对其进行全新的分析和研究，推动材料科学与工程的发展。

材料科学与工程四个要素是基本的，缺一不可的。它们之间也不能排出主次，是一个整体。

第二节 材料的性能

材料要在工农业生产中得到应用，它必须具有良好的使用性能和优良的工艺性能。所谓材料的使用性能是指材料制成零件或产品后，在使用过程中能适应或抵抗外界对它的力、化学、磁、温度等作用而必须具有的能力。使用性能可分为：力学性能(强度、塑性、韧性、硬度等)、物理性能(密度、熔点、导电、导热、磁性和膨胀系数等)、化学性能(抗氧化、耐腐蚀性能等)。所谓工艺性能是指制造工艺

过程中材料适应加工的性能，就金属材料而言，它的工艺性能包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理性能等。从根本上说，研究材料就是研究材料的性能以及如何去达到所希望的这些性能。表 1-1 是材料性能的划分。

表 1-1 材料性能的划分

材料性能	简单性能	物理性能	物理性能：热导率、膨胀系数等 声学性能：声的吸收、反射等 电学性能：导电性、介电系数等 磁学性能：磁导率、矫顽力等 光学性能：折射率、黑度等 辐射性能：中子吸收截面积、中子散射系数等
		力学性能	强度： $\sigma_{\text{弹}}$ $\sigma_{\text{流}}$ $\sigma_{\text{破}}$ 等 弹性： $\sigma_{\text{弹}}$ $\epsilon_{\text{弹}}$ 等 塑性： δ 、 ψ 等 韧性： K_{IC} α_{kv} α_{cu} 等
		化学性能	抗氧化性能 耐腐蚀性能 抗渗入性能
	复杂性能		复合性能：简单性能的组合，如高温疲劳强度 工艺性能：铸造性能、焊接性、切削性等 使用性能：耐磨性、抗弹穿入性、刀刃锋利性等

一、材料的力学性能

材料被制成构件，在工作中要承受外力或负载的作用。例如铝合金制成飞机机翼，钢铁制成汽车的轴承，它们在承受负载时不允许变形，更不应该发生断裂，也就是构件要具有一定的强度、塑性等力学性能。

所谓力学性能是指在外加载荷作用下或载荷与环境因素(温度、介质和加载速度)联合作用下所表现的行为，主要包括强度、硬度、塑性、韧性等。材料的力学性能决定于材料的化学成分、组织结构、冶金质量等内在因素，但载荷性质(静载荷、冲击载荷、交变载荷)、应力状态(拉、压、弯曲、剪切、扭转等)、温度、环境介质等外在因素对材料的力学性能也有很大的影响。

下面对几种常见的力学性能指标的含义及应用进行介绍。

应力—应变曲线

金属材料的应力—应变行为一般通过拉伸实验来确定。现将一横截面为 S_0 长度为 L_0 的圆棒试样装夹在拉伸试样机上，受沿试样机轴向拉伸力 F 作用。圆棒所受的工程应力为 σ ，其定义为

$$\sigma = \frac{F}{S_0}$$

云

越

云

式中, σ 为圆棒所受的工程应力(应力, 单位是 N/mm^2); F 为试样受到的轴向拉伸力(力); S_0 为试样横截面积(面积)。

圆棒受到单向拉伸外力时, 就会沿外力方向伸长, 一单位长度上的位移被定义为应变。工程应变 ϵ 是试样沿外力方向的长度变化与试样原始长度的比值, 即

$$\epsilon = \frac{\Delta L_0}{L_0}$$

式中 L_0 为试样的原始长度; L 为试样受单轴拉伸外力产生变形后的长度。

工程应变是无量纲的数值。工程应用中, 常常把工程应变转换成应变百分数。

通过力与位移传感器可获得载荷(F)与试样伸长量(ΔL)之间的关系曲线, 称为拉伸曲线。若将纵坐标以应力(σ)表示, 横坐标以应变(ϵ)表示, 则这时的曲线与试样的尺寸无关, 称为应力—应变曲线, 也称工程应力—应变曲线或名义应力—应变曲线(见图 1-10)。通过拉伸试验可以揭示材料在静载荷作用下的力学行为, 即弹性变形、塑性变形、断裂三个过程, 还可以确定材料的最基本的力学性能指标——强度与塑性。

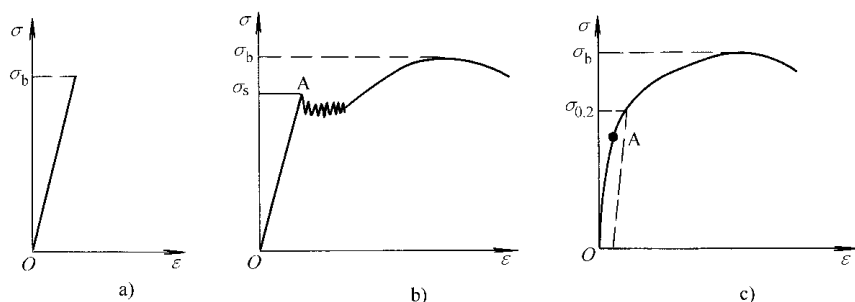


图 1-10 应力—应变曲线

葬 无塑性变形的脆性材料(例如铸铁) 遭 有明显屈服点的延性材料
(例如低碳钢) 糟 没有明显屈服点的延性材料(例如纯铝)

弹性模量与弹性行为

弹性变形是材料在外力作用下产生变形, 若外力去除后变形完全消失, 材料恢复原状的可逆变形(如图 1-10 中的 韵弯段)。从图 1-10 中可看出, 材料在弹性变形阶段, 应力(σ)与应变(ϵ)成正比关系, 两者的比值称弹性模量, 记为 E , 则有

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

弹性模量 E 的单位为 N/mm^2 。在数值上弹性模量等于弹性应力, 即弹性模量是产生单位弹性变形所需的应力。在工程中弹性模量是表征材料对弹性变形的抗