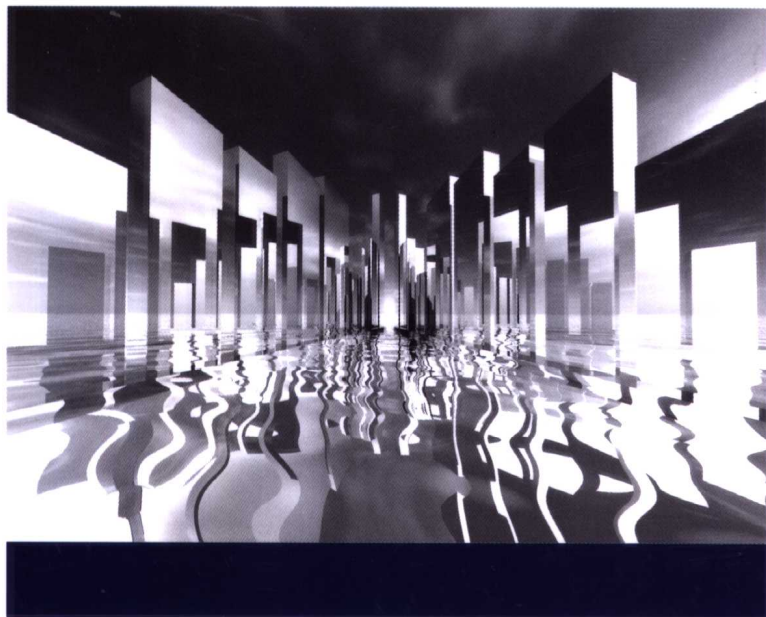


颜银标 主编

工程材料及 热成型工艺



Chemical Industry Press



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

工程材料及热成型工艺

颜银标 主编



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

工程材料及热成型工艺/颜银标主编. —北京: 化学工业出版社, 2004. 3
ISBN 7-5025-5353-3

I. 工… II. 颜… III. 工程材料-热成型-工艺
IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 025474 号

工程材料及热成型工艺

颜银标 主编

责任编辑: 朱 彤

文字编辑: 徐雪华

责任校对: 陈 静 边 涛

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720 毫米×1000 毫米 1/16 印张 20 $\frac{3}{4}$ 字数 419 千字

2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5353-3/TB·28

定 价: 40.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

材料是人类生产和生活所必需的物质基础，是现代技术的三大支柱（材料、能源、信息）之一，也是能源和信息进步的必要条件。从日常生活器具到各种高新技术产品，都是由种类繁多、性能各异的材料制成的零件组合装配而成。历史学家按人类所用材料的种类，将人类历史划分为石器时代（公元前10万年）、青铜器时代（公元前3000年）、铁器时代（公元前1000年）、水泥时代（公元元年）、钢时代（公元1800年）、硅时代（公元1950年）和新材料时代（公元1990年）。因此，材料的发展与应用状况是人类文明发展水平的标志。

材料的发展经历了从低级到高级、从简单到复杂、从天然到合成的过程。目前，已进入金属、高分子、陶瓷及复合材料共存的时代。

对材料的认识是由宏观到微观、由经验到科学而逐步深入。1863年前，完全是从宏观角度了解材料，凭经验如通过听（声音）、看（颜色）、嗅（气味）等判断材料的好坏来指导材料的生产。1863年第一台光学显微镜问世，产生了金相学，使人们对材料的认识步入了材料的微观世界。1912年X射线用于材料晶体微观结构的研究。1932年电子显微镜的发明以及后来出现的各种先进分析工具，使人们对材料微观世界的了解不断进入更深层次。与材料有关的固体物理、量子力学、化学等基础学科的发展，使材料研究进一步深化。从而形成了体系完整的材料科学与工程学科。材料科学与工程学是研究材料的化学组成、微观结构与材料性能之间关系以及制取和使用材料的学科。

中华民族在材料的生产和使用方面曾创造了辉煌的成就，为人类文明做出了巨大的贡献。我们的祖先早在4000年前就开始使用青铜，例如殷商祭器司母戊大方鼎，其体积庞大，鼎重875kg，花纹精巧，造型精美，这表明在商代（公元前1562~1066年），我国就拥有了先进的冶铸青铜技术；在春秋时代，我们的祖先发明了冶铁技术，开始用铸铁制作农具，这比欧洲早1800多年。明代科学家宋应星所著《天工开物》一书，内有冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、淬火等各种金属加工方法，它是世界上有关金属加工工艺最早的科学著作之一，这充分反映了我们的祖先在材料及金属加工方面的卓越成就。目前，经半个世纪的发展，我国已形成规模庞大、品种齐全、性能较高和较完整的材料工业体系，成为世界材料生产大国、世界材料消费大国。

“工程材料及热成型工艺”课程是高等院校机械类专业的一门综合性技术基础课。工程材料是用于各工业部门中制造结构件的材料，这些工业部门包括机

械、电子、建筑、化工、仪器仪表、航空航天、军工等所有工业部门；热成型工艺是将处于一定温度的工程材料加工成合乎要求的形状结构件的制造工艺与技术。本课程是从工程应用角度出发，阐明工程材料的基本理论以及工程材料的成分、加工工艺、组织、结构与性能之间的关系，介绍常用工程材料及其热成型工艺与应用等基本知识。本课程的目的是使学生通过学习，在掌握工程材料的基本理论及基本知识的基础上，初步具备根据零件的使用条件和性能要求合理选用工程材料的能力、根据所选材料合理设计零件结构和制订零件工艺路线的能力。

本书是根据高等工科院校机械类专业的《工程材料及机械制造基础》课程相关教学大纲和教学基本要求，在参考了大量相关教材和科技著作及论文的基础上编写的，在课程体系和内容上进行了较大的调整。全书由四部分内容组成：第一部分为工程材料基础，由第1章至第4章组成，介绍了有关工程材料学的基本概念和基本理论，其内容包括工程材料性能与性能指标，工程材料的结构、组织和性能以及它们之间的关系，工程材料的材料化与改性；第二部分为工程材料，包括第5章至第9章，介绍常用金属材料、高分子材料、陶瓷材料及复合材料的成分、组织、性能及其应用范围，因功能材料已在许多工业部门应用得越来越多，所以增加了第9章“功能材料”，介绍了一些常用功能材料；第三部分为工程材料热成型工艺，即第10章，介绍了常用金属材料、高分子材料、陶瓷材料零件的热成型工艺过程及其结构工艺性要求；第四部分为工程材料的选用，介绍了机械零件的失效方式、失效分析方法与选材原则以及常用机械零件的选材。书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。

本书突破了已有教材偏重“金属材料”的结构，在介绍“工程材料基础”内容时，完全从“大材料”角度，即从金属材料、高分子材料、陶瓷材料的角度介绍工程材料的性能指标、结构、材料化过程（结晶、合成、烧成）和改性，从而为介绍“高分子材料、陶瓷材料”时奠定必要的理论基础，另外还增加了高分子材料热成型、陶瓷材料热成型工艺内容。这样，本书内容与“工程材料及热成型工艺”的实质性涵义基本一致。

本书编写分工如下：第1章1.1、1.4，第2章2.1、2.2，第3章3.1、3.4，第4章4.1，第8章，第11章由颜银标编写；第10章10.1、10.2由朱和国编写；第2章2.3，第4章4.2，第6章，第10章10.4由朱绪飞编写；第10章10.3由孙建寿编写；第5章5.1~5.4由孙国元编写；第1章1.2、1.3，第3章3.3由赵金伟编写；第2章2.4，第4章4.3，第10章10.5由马龙编写；第3章3.2由刘永刚编写；第5章5.5由朱和国、孙国元共同编写；第7章由赵金伟、马龙共同编写；第9章由朱和国、朱绪飞共同编写。

全书由颜银标主编。在本书编写过程中，化学工业出版社给予了热情的帮助和指导；本书参考了国内外有关教材、科技著作及论文，并引用了有关教材和文献的

资料和插图。在此特向有关作者和单位致以诚挚的感谢。

限于编者的水平，书中出现或存在一些错误和不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2004 年 1 月于南京

内 容 提 要

工程材料是用于各工业部门中制造结构件的材料，这些部门包括机械、电子、建筑、化工、仪器仪表、航空航天、军工等所有工业部门。本书是从工程应用角度出发，阐明工程材料的基本理论及工程材料的成分、加工工艺、组织、结构与性能之间的关系，介绍了金属材料、高分子材料、陶瓷材料、复合材料等常用工程材料及热成型工艺与应用基本知识，使广大工程技术人员和学生具备根据零件的使用条件和性能要求合理选用工程材料的能力，根据所选材料合理设计零件结构和制定零件工艺路线的能力。

本书根据高等工科院校机械类专业的《工程材料及机械制造基础》课程相关教学大纲和教学基本要求编写，可作为高等院校机械类专业学生的教材，也可供有关工程技术人员学习、参考。

目 录

第 1 章 工程材料的种类及其性能指标	1
1.1 工程材料的种类	1
1.2 工程材料的力学性能及指标	3
1.2.1 静载荷下的力学性能	3
1.2.2 动载荷下的力学性能	7
1.2.3 高温下的力学性能	9
1.3 工程材料的理化性能	10
1.4 工程材料的工艺性能	12
第 2 章 工程材料的结构	13
2.1 固体材料中质点的结合形式	13
2.1.1 金属晶体中质点间的结合	13
2.1.2 离子晶体中质点间的结合	13
2.1.3 共价晶体中质点间的结合	13
2.1.4 分子晶体中质点间的结合	13
2.2 金属的晶体结构	15
2.2.1 理想金属的晶体结构	15
2.2.2 实际金属的晶体结构	17
2.2.3 合金的晶体结构	18
2.3 高分子材料的结构	20
2.3.1 高分子聚合物的结构、组成与形态	20
2.3.2 高分子材料的结构	26
2.4 陶瓷材料的结构	28
2.4.1 晶相(晶体种类、晶粒尺寸和形状)	28
2.4.2 玻璃相	29
2.4.3 气相	30
第 3 章 工程材料的材料化过程	31
3.1 工程材料的材料化	31
3.1.1 金属材料材料化过程	31
3.1.2 高分子材料的材料化过程	31
3.1.3 陶瓷材料的材料化过程	33
3.2 金属材料的结晶和组织	34

3.2.1	纯金属的结晶和组织	34
3.2.2	二元合金的结晶和组织	39
3.2.3	铁碳合金的结晶	46
3.3	聚合物的合成及结构	53
3.3.1	连锁聚合反应机理	54
3.3.2	逐步聚合反应	57
3.4	陶瓷材料的烧成和组织	59
3.4.1	陶瓷材料的烧成过程	59
3.4.2	陶瓷烧成机理简介	60
3.4.3	陶瓷烧成的组织	62
第4章	工程材料的改性	63
4.1	金属材料的改性	63
4.1.1	钢的热处理改性	64
4.1.2	有色金属的热处理改性	82
4.1.3	金属材料的合金化改性	83
4.1.4	金属材料的其他改性	84
4.2	聚合物的改性	85
4.2.1	化学改性	85
4.2.2	物理改性	86
4.2.3	纳米材料粒子改性	87
4.3	陶瓷材料的改性	87
4.3.1	陶瓷增韧	87
4.3.2	表面残余应力与强化	89
第5章	金属材料	90
5.1	金属材料概论	90
5.1.1	金属材料的分类	90
5.1.2	常存元素和合金元素对钢性能的影响	92
5.2	碳钢	96
5.2.1	普通碳素结构钢	96
5.2.2	优质碳素结构钢	97
5.2.3	碳素工具钢	97
5.2.4	易切削结构钢	99
5.2.5	工程用铸造碳钢	99
5.3	合金钢	100
5.3.1	合金钢的分类与编号	100
5.3.2	合金结构钢	101
5.3.3	合金工具钢	107

5.3.4 特殊性能用钢	113
5.4 铸铁	118
5.4.1 铸铁的组织与性能特征及铸铁的分类	118
5.4.2 灰铸铁	122
5.4.3 球墨铸铁	123
5.4.4 可锻铸铁	126
5.4.5 蠕墨铸铁	127
5.4.6 特殊性能铸铁	128
5.5 有色金属	129
5.5.1 铝及铝合金	130
5.5.2 铜及铜合金	136
5.5.3 镁及镁合金	143
5.5.4 钛及钛合金	146
5.5.5 滑动轴承合金	148
第6章 高分子材料	151
6.1 塑料	151
6.1.1 塑料的组成	151
6.1.2 塑料的分类	153
6.1.3 工程塑料的分类和性能特征	153
6.1.4 常见通用塑料和工程塑料	155
6.2 合成纤维	162
6.2.1 合成纤维的生产方法	163
6.2.2 常用合成纤维	163
6.3 合成橡胶	166
6.3.1 橡胶的分类和橡胶制品的配方及工艺学	166
6.3.2 常用合成橡胶的性能及应用	168
6.4 胶黏剂	171
6.4.1 胶黏剂组成和分类	171
6.4.2 常用胶黏剂	171
6.4.3 胶黏剂的选用	173
第7章 陶瓷材料	175
7.1 传统陶瓷	175
7.1.1 普通日用陶瓷	175
7.1.2 普通工业陶瓷	176
7.2 先进陶瓷	176
7.2.1 氧化物陶瓷	176
7.2.2 碳化物陶瓷	180

7.2.3	氮化物陶瓷	181
7.2.4	二硅化钼陶瓷	183
7.3	玻璃	184
7.4	耐火材料	184
7.4.1	常见耐火砖	185
7.4.2	耐火纤维	185
7.4.3	耐火混凝土	185
第8章	复合材料	186
8.1	增强相与基体材料的选择原则	186
8.1.1	纤维增强相和基体的选择原则	186
8.1.2	颗粒增强相和基体的选择原则	187
8.2	金属基复合材料	187
8.2.1	金属基复合材料的种类	187
8.2.2	长纤维增强金属基复合材料性能	188
8.2.3	短纤维、晶须和颗粒增强金属基复合材料	189
8.2.4	金属陶瓷	190
8.3	聚合物基复合材料	190
8.3.1	聚合物基复合材料的种类	190
8.3.2	聚合物基复合材料的增强体与基体	191
8.3.3	聚合物基复合材料的制造工艺	193
8.3.4	聚合物基复合材料性能特点与应用	197
8.4	陶瓷基复合材料	199
8.4.1	陶瓷基复合材料的种类	199
8.4.2	陶瓷基复合材料的增强体与基体	199
8.4.3	陶瓷基复合材料的制造工艺	200
8.4.4	陶瓷基复合材料的性能特点与应用	201
第9章	功能材料	202
9.1	概述	202
9.2	电功能材料	203
9.2.1	超导材料	204
9.2.2	导电高分子材料	204
9.3	磁功能材料	205
9.3.1	软磁材料	206
9.3.2	硬磁材料	206
9.3.3	信息磁材料	207
9.3.4	特殊功能磁性材料	207
9.4	热功能材料	208

9.4.1	膨胀材料	208
9.4.2	形状记忆材料	208
9.4.3	热电材料	210
9.4.4	隔热材料	210
9.5	隐身材料	211
9.6	梯度功能材料	211
9.7	纳米材料	212
9.8	其他功能材料	214
第 10 章	工程材料的热成型工艺	215
10.1	铸造	215
10.1.1	铸造工艺基础	215
10.1.2	砂型铸造	222
10.1.3	铸件的结构工艺性	230
10.1.4	特种铸造	232
10.2	压力加工	236
10.2.1	金属塑性变形基础	236
10.2.2	压力加工的方式	241
10.2.3	自由锻造	241
10.2.4	胎模锻	243
10.2.5	模型锻造	243
10.2.6	板料冲压	249
10.2.7	其他压力加工方法简介	254
10.3	焊接	257
10.3.1	焊接基础	258
10.3.2	焊接方法	261
10.3.3	典型金属材料的焊接	269
10.3.4	焊接结构的设计和制造工艺	274
10.3.5	先进焊接技术与发展趋势	280
10.4	高分子材料的成型	281
10.4.1	高分子材料的加工特性	281
10.4.2	高分子材料的主要成型方法	283
10.5	陶瓷材料的成型工艺	288
10.5.1	成型前的原料处理	288
10.5.2	陶瓷成型方法	290
10.5.3	陶瓷烧成工艺	292
第 11 章	工程材料的选用	294
11.1	零件的失效分析	294

11.1.1	失效的概念.....	294
11.1.2	失效的类型.....	294
11.1.3	失效原因与失效分析方法.....	297
11.2	选材的原则和一般方法.....	298
11.2.1	选材原则.....	298
11.2.2	零件选材的一般方法.....	300
11.3	零件的选材及其热成型工艺.....	300
11.3.1	齿轮类零件的选材与热成型工艺.....	300
11.3.2	轴类零件的选材与热成型工艺.....	305
11.3.3	弹簧类零件的选材和热成型工艺.....	309
11.3.4	机架、箱体类零件的选材及热成型工艺.....	311
11.3.5	枪、炮管类零件的选材及热成型工艺.....	311
参考文献		315

第1章 工程材料的种类及其性能指标

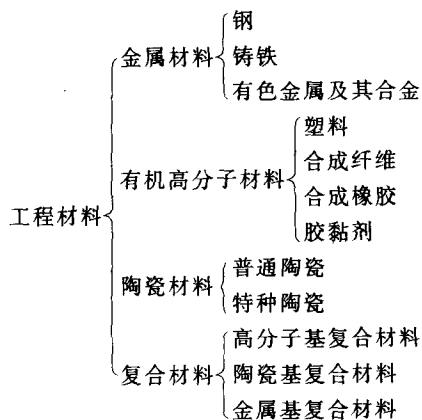
设计机械零件时，零件的结构、形状和尺寸与所选工程材料的性能指标密切相关。要设计出理想的零件，必须选择合理的材料，以满足零件所要实现的功能（承受载荷、耐冲击、耐腐蚀等）。因此，首先了解工程材料具有的性能及其性能指标，对了解材料组织和性能之间的关系、合理选择材料，都是必要的。

材料的性能通常分为使用性能和工艺性能。使用性能是材料在使用过程中表现出的各种性能，它包括物理性能（密度、熔点、导热性、导电性等）、化学性能（耐腐蚀性、抗氧化性等）、力学性能（强度、塑性、冲击性能、疲劳强度等）。工艺性能是材料在加工成型过程中表现出的性能，它包括可铸性、可焊性、可锻性、可切削性和热处理性能等。

本章主要介绍材料种类，材料的力学、理化和工艺性能指标。重点掌握常用力学指标的物理意义、测试方法与表示方法和应用范围。

1.1 工程材料的种类

材料种类繁多，通常按其组成特点、结构特点或性能特点进行分类。根据使用性能，材料分为结构材料 and 功能材料。工程材料主要是指结构材料，是用于机械、车辆、建筑、船舶、化工、仪器仪表、航空航天、军工等各工程领域中制造结构件的材料，主要利用材料的力学性能，如强度、硬度、塑性及韧性等。工程材料按组成特点可分为金属材料、陶瓷材料、有机高分子材料和复合材料四大类。



(1) 金属材料 金属材料是最重要的工程材料,包括纯金属及其合金(以纯金属为基、加入其他纯金属或非金属元素所构成的金属材料),作为工程材料使用的主要是合金。元素周期表中共有 80 多种金属元素,其中以铁、铝、铜、钛、镍等为基构成的合金作为工程材料使用。工业上把金属及其合金分为两大部分。

黑色金属:铁和以铁为基的合金,包括钢、铸铁和铁合金。

有色金属:黑色金属以外的所有金属及其合金。

其中黑色金属应用最广,90%以上的金属结构材料和工具材料是以铁为基的合金。黑色金属具有优良的工程性能,价格也比较低。

按照性能特点,有色金属分为轻金属、易熔金属、难熔金属、贵金属、铀金属、稀土金属和碱土金属等,这些金属及其合金一般用于特殊场合。

(2) 高分子材料 以高分子化合物或高分子聚合物为主要组分所构成的材料称为高分子材料,它分为有机高分子材料 and 无机高分子材料,这里主要介绍有机高分子材料。有机高分子材料分为天然高分子材料和人工合成高分子材料两大类,工程上主要使用人工合成高分子材料。所谓高分子聚合物是指分子量^①为 $10^4 \sim 10^6$ 、分子结构呈链状、链上有重复的化学结构单元的化合物。高分子材料种类很多,工程上通常根据力学性能和使用状态将其分为四大类。

塑料:指室温呈玻璃态的高分子聚合物,具有较高的强度、韧性和耐磨性。

合成纤维:指高分子聚合物通过机械处理所获得的纤维材料,具有高的强度。

橡胶:指室温呈高弹态的高分子聚合物,具有优良的弹性性能。

胶黏剂:指室温呈黏流态的高分子聚合物。

(3) 陶瓷材料 陶瓷材料属于无机非金属材料(由金属元素与非金属元素如氧、氮、硼等形成的化合物所构成的材料),是无机非金属材料的典型代表,由不含碳、氢、氧结合的化合物构成;工程上应用最广的是工业陶瓷材料;近年来出现的高温结构陶瓷、导体和半导体陶瓷、生物陶瓷等都是新型陶瓷材料。按照成分和用途,工业陶瓷材料可分为:普通陶瓷材料(又称为传统陶瓷),主要为硅、铝氧化物构成的硅酸盐材料;特种陶瓷材料(又称为新型陶瓷),主要为高熔点的氧化物、碳化物、氮化物、硅化物等经烧结而成的材料;金属陶瓷材料,指用陶瓷生产方法获得的金属与化合物粉末所构成的材料。

(4) 复合材料 复合材料是由几种材料通过复合工艺组合而成的新型材料,它既能保留组成材料的主要特性,又能通过复合效应获得原组分所不具备的性能,还可以通过材料设计使各组分的性能互相补充并彼此关联,从而使材料具有新的优越性能。按照构成基体材料的不同,复合材料分为金属基复合材料、陶瓷基复合材料和聚合物基复合材料。它在强度、刚度和耐蚀性方面比单一的金属、陶瓷和聚合物都优越,是一类特殊的工程材料,一直是材料科学与工程学科研究的热点之一,该类材料具有广阔的应用与发展前景。

① 全书分子量均指相对分子质量。

除上述工程材料外，还有功能材料。功能材料是用于制造功能元件（磁性器件、光敏元件、各种传感器等）的材料，主要使用材料的特殊物理、化学性能，如电、磁、光、声、热等。

另外，根据材料的具体用途，又可将材料分为航空航天材料、信息材料、电子材料、能源材料、机械工程材料、建筑材料、生物材料、农用材料等。有时也将材料分为传统材料和新型材料。传统材料一般是指需求量和生产规模大的材料；而新型材料是建立在新思路、新概念、新工艺的基础上，以材料的优异性能为主要特征的材料。严格讲，两者并无严格区别，因为传统材料也在不断提高质量、降低成本、扩大品种，在工艺及性能方面不断更新。

本教材主要介绍工程结构材料。下面各章按上述工程材料的分类进行讨论。

1.2 工程材料的力学性能及指标

材料在外力作用下所表现出的各种性能称为力学性能，常用强度、塑性、硬度、韧性、疲劳强度、断裂韧性和高低温力学性能等表征。

在各种工作状态下的工程构件和机械零件，都要承受载荷。有的零件所受载荷的大小或方向不随时间变化，或随时间变化非常缓慢，这种载荷称为静载荷；有的零件所受载荷的大小或方向随时间变化非常快，这种载荷称为动载荷。在不同类型载荷作用下，构成零件的材料将表现出不同的力学行为。因此，应根据受力情况，选用不同的性能指标，来评价材料力学性能的好坏。

1.2.1 静载荷下的力学性能

1.2.1.1 材料强度与塑性的测试

强度和塑性是材料最重要、最基本的力学性能指标，由拉伸试验法测定。按国标 GB 6397—86 将材料制成标准拉伸试样；装于拉伸试验机后，缓慢地施加拉力，试样逐渐伸长，直至断裂；拉伸过程中，自动记录拉力 P 和伸长量 ΔL 的关系曲线——拉伸曲线；将拉力 P /试样原始横截面积 F_0 即得应力 σ (MPa)、伸长量 ΔL /试样原始长度 L_0 即得应变 ϵ (%)，消除试样几何尺寸的影响，得到应力-应变曲线，如图 1-1。

图 1-1 中， Oe 为直线段，应力与应变成线性关系，该直线段的斜率称为弹性模量 (E)。如果卸去载荷，伸长的试样立即恢复原状，这种可恢复原状的变形叫弹性变形，弹性模量反映了材料产生弹性变形的难易程度；其应力与应变的比值 $E=\sigma/\epsilon$ 称为材料的弹性模量（刚度），是衡量材料抵抗弹性变形能力的指标。 E 愈大，材料的刚度就愈大。超过该点后，如果卸除载荷，试样的形状不能完全恢复，这种不能恢复的永久变形称为塑性变形。 s 点为曲线上的一平台，表明此时应力不变，而应变仍在增加，这种现象称为“屈服”。材料屈服后，要使应变继续进行，必须提高应力；变形至 b 点，应力达到最大值，此时，试样局部截面变细，出现“颈缩”现象。颈缩后，应力开始下降，变形主要集中在颈缩区域，最后在颈缩处

断裂。由拉伸试验可测得强度和塑性指标。

1.2.1.2 强度指标

弹性极限 σ_e ($\sigma_e = P_e / F_0$, MPa): 指材料由弹性变形过渡到弹-塑性变形的最大应力, 它表征材料开始塑性变形的抗力。在工作过程中不允许发生塑性变形的零件, 如弹簧, 设计时应根据弹性极限来选材和设计, 保证工作应力不超过材料的弹性极限。

屈服强度 σ_s ($\sigma_s = P_s / F_0$, MPa): 指材料产生明显塑性变形时的应力, 它表征材料产生明显塑性变形时的抗力。机械零件经常因过量的塑性变形而失效, 一般来说不允许发生明显的塑性变形。正因如此, 工程中常根据 σ_s 确定材料的许用应力。

屈服现象发生在退火或热轧的低碳钢和中碳钢等材料中, 其他金属材料在拉伸时, 无明显的屈服现象产生。因此, 国标 GB 228—87 规定: 发生 0.2% 残余伸长的应力作为屈服点, 此时的强度值即为屈服强度, 用 $\sigma_{0.2}$ 表示, 如图 1-2, 铸铁不发生明显塑性变形, 属于脆性材料, 因而定义其残余塑性变形为 0.2% 时的应力值为其屈服强度。

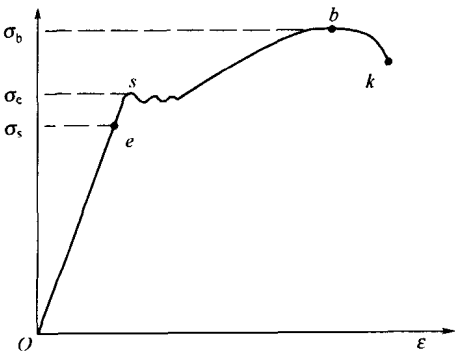


图 1-1 低碳钢的应力-应变曲线

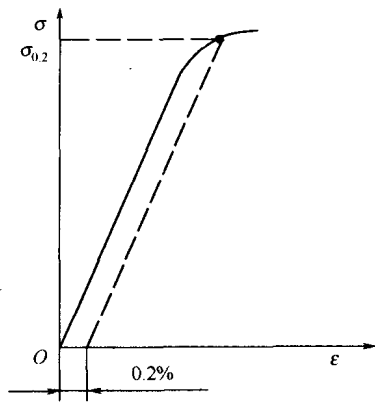


图 1-2 铸铁的应力-应变曲线

抗拉强度 σ_b ($\sigma_b = P_b / F_0$, MPa): 也叫强度极限, 指试样在拉伸时所能承受的最大应力, 它表征材料对最大均匀变形时的抗力。一般来说, 在静载荷作用下, 只要工作应力不超过材料的抗拉强度, 零件就不会发生断裂。因此, 它也是设计和选材的主要依据。

四大类工程材料都可用拉伸试验法测量它们的强度性能, 但陶瓷材料更多地采用三点弯曲试验法 (如图 1-3) 测量抗弯强度, 以该强度作为陶瓷材料的强度性能指标。另外, 陶瓷的抗拉强度很低, 而抗弯强度较高, 抗压强度更高, 因此要充分考虑与设计陶瓷时应用的受力状态。

1.2.1.3 塑性指标

塑性: 材料在外力作用下产生永久变形的能力, 它表征材料在外力作用下产生永久变形而不发生破坏的能力。可用伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 来表示。