

高等院校机电类 **工程教育** 系列规划教材

工程材料及应用

■ 主编 王俊勃 屈银虎 贺辛亥

→ **工程材料及应用：**本书秉承“工程教育”的教学理念，力求在满足理论教学的同时更好地结合工程实践。不仅专门增加了“工程材料的合理选用”和“实验”两章内容，而且还开辟了若干专栏，如《应用点评》、《经验总结》、《实例》、《背景材料》等，从而将工程中注重的理念与教学有机结合起来。详细内容请见书后索引 >>>



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

高等院校机电类工程教育系列规划教材

工程材料及应用

主编 王俊勃 屈银虎 贺辛亥

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书从高等院校工科各专业的需要出发,结合当前我国工程教育教学改革和材料科学技术的发展,以材料的成分、组织、结构、加工工艺、性能和应用为主线进行阐述,其主要内容有:工程材料性能与测试分析、材料的组织结构与相图、金属热处理、金属材料及应用、非金属材料及应用、新型材料及应用、工程材料的合理选用,以及实验。为了理论与实践更好地结合,书中开辟了《应用点评》、《经验总结》、《实例》和《背景资料》4项专栏;每章后附有主要名词的中英文对照,以及名词解释、填空题、选择题、判断题、计算题和简答题等多种习题;同时还可提供多媒体课件等教学辅助资源。

本书可作为高等院校工科各专业学生学习工程材料的教材,也可作为了解材料科学与工程学科的参考读物。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容
版权所有·侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

工程材料及应用/王俊勃,屈银虎,贺辛亥主编. —北京:电子工业出版社,2009.9
(高等院校机电类工程教育系列规划教材)

ISBN 978-7-121-09406-4

I. 工… II. ①王…②屈…③贺… III. 工程材料—高等学校—教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 142440 号

策划编辑:余 义

责任编辑:余 义

印 刷:北京市天竺颖华印刷厂

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:15 字数:384 千字

印 次:2009 年 9 月第 1 次印刷

印 数:4000 册 定价:27.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

序

2008年7月间,电子工业出版社邀请全国20多所高校几十位机电领域的老师,研讨符合“工程教育”要求的教材的编写方案。大家认为,这适应了目前我国高等院校工科教育发展的趋势,特别是对工科本科生实践能力的提高和创新精神的培养,都会起到积极的推动作用。

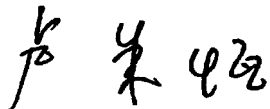
教育部于2007年1月22日颁布了教高(2007)1号文件《教育部财政部关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》。同年2月17日,紧接着又颁布了教高(2007)2号文件《教育部关于进一步深化本科教学改革全面提高教学质量的若干意见》。由这两份文件,可以看到国家教育部已经决定并将逐步实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称质量工程),而质量工程的核心思想就在于培养学生的实践能力和创新精神,提高教师队伍整体素质,以及进一步转变人才培养模式、教学内容和方法。

教学改革和教材建设从来都是相辅相成的。经过近两年的教改实践,不少老师都积累了一定的教学经验,借此机会,编写、出版符合“工程教育”要求的教材,不仅能够满足许多学校对此类教材的需求,而且将进一步促进质量工程的深化。

近一年来,电子工业出版社选派了骨干人员与参加编写的各位教授、专家和老师进行了深入的交流和研究。不仅在教学内容上进行了优化,而且根据不同课程的需要开辟了许多实践性、经验性和工程性较强的栏目,如《经验总结》、《应用点评》、《一般步骤》、《工程实例》、《经典案例》、《工程背景》、《设计者思维》、《学习方法》等,从而将工程中注重的理念与理论教学更有机地结合起来。此外,部分教材还融入了实验指导书和课程设计方案,这样一方面可以满足某些课程对实践教学的需要,另一方面也为教师更深入地开展实践教学提供丰富的素材。

随着我国经济建设的发展,普通高等教育也将随之发展,并培养出适合经济建设需要的人才。“高等院校机电类工程教育系列规划教材”就站在这个发展过程的源头,将最新的教改成果推而广之,并与之共进,协调发展。希望这套教材对更多学校的教学有所裨益,对学生的理论与实践的结合发挥一定的作用。

最后,预祝“高等院校机电类工程教育系列规划教材”项目取得成功。同时,也恳请读者对教材中的不当、不贴切、不足之处提出意见与建议,以便重印和再版时更正。



中国工程院院士、西安交通大学教授

教材编写委员会

主任委员 赵升吨(西安交通大学)

副主任委员 (按姓氏笔画排序)

芮延年(苏州大学)

胡大超(上海应用技术学院)

钱瑞明(东南大学)

袁清珂(广东工业大学)

参编院校

(按拼音排序)

- | | |
|------------|------------|
| ※ 安徽工业大学 | ※ 沈阳工业大学 |
| ※ 长安大学 | ※ 苏州大学 |
| ※ 东南大学 | ※ 苏州科技学院 |
| ※ 广东工业大学 | ※ 同济大学 |
| ※ 华南理工大学 | ※ 五邑大学 |
| ※ 华南农业大学 | ※ 武汉科技学院 |
| ※ 淮海工学院 | ※ 西安电子科技大学 |
| ※ 吉林师范大学 | ※ 西安工程大学 |
| ※ 南通大学 | ※ 西安工业大学 |
| ※ 山东建筑大学 | ※ 西安交通大学 |
| ※ 陕西科技大学 | ※ 西安科技大学 |
| ※ 上海应用技术学院 | ※ 西安理工大学 |
| ※ 深圳大学 | ※ 西安文理学院 |

前 言

材料及材料科学技术是科学与工业技术发展的基础，与能源、信息并称为国民经济的三大支柱。材料及材料科学技术日新月异的发展，正改变着世界和我们的生活。掌握现代材料科学技术对从事科学、技术领域的科技工作者是十分迫切和必要的。基于此，我们根据当前我国工程教育教学改革的需要，编写了这本《工程材料及应用》教材，以作为高等院校工科各专业的试用教材。

材料科学是一门多学科相互交叉渗透的综合性学科，材料大致可以分为金属材料、无机材料（陶瓷材料）和有机高分子材料三大类。材料的结构、相变、相平衡及结晶学等是材料科学的基础理论，材料的合成、制备、成形加工，以及所获得的组织、性能与应用都是材料科学技术的主要内容，也是实现材料功能和价值的手段。因此，本教材从基础理论出发，紧密结合当前材料科学技术的新发展，对材料科学及技术的主要内容进行了深入浅出的介绍。主要内容包括工程材料性能与测试分析、材料的组织结构与相图、金属热处理、金属材料及应用、非金属材料及应用、新型材料及应用、工程材料的合理选用，以及实验。

本书由西安工程大学王俊勃教授、屈银虎教授、贺辛亥副教授主编，其中王俊勃编写绪论及第1章，徐洁编写第2章及第5章第3、4节，苏晓磊编写第3章及第5章第1、2节，贺辛亥编写第4章及第7章第1、2节，屈银虎编写第6章，付肿编写第7章第3节、第8章及附录。全书由王俊勃、屈银虎统稿。

在编写过程中，西安理工大学葛利玲为教材提供了金相组织图片，西安工程大学的张大为副教授、詹爱嫦副教授为本书的编写提供了宝贵意见，同时还得到了西安工程大学教务处、研究生畅巍和杜志敏的帮助，在此一并表示衷心感谢。

由于水平有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者指正。

编 者

2009年6月

目 录

第 0 章	绪论	(1)
第 1 章	工程材料性能与测试分析	(5)
1.1	静载时材料的力学性能	(6)
1.1.1	强度	(6)
1.1.2	塑性	(8)
1.1.3	硬度	(8)
1.2	其他载荷作用下的力学性能	(9)
1.2.1	冲击韧性	(9)
1.2.2	断裂韧性	(10)
1.2.3	疲劳强度	(10)
1.2.4	磨损	(10)
1.2.5	材料的高温和低温性能	(10)
1.3	工程材料的物理、化学及工艺性能	(11)
1.3.1	材料的物理性能	(11)
1.3.2	材料的化学性能	(12)
1.3.3	材料的工艺性能	(13)
1.4	材料的测试分析技术	(13)
1.4.1	材料表面形貌分析技术	(14)
1.4.2	材料表面成分分析技术	(15)
1.4.3	材料表面结构分析技术	(16)
1.5	本章小结	(17)
1.6	主要名词的中英文对照	(18)
1.7	复习思考题	(18)
1.8	本章参考文献	(19)
第 2 章	材料的组织结构与相图	(21)
2.1	金属的晶体结构与结晶	(22)
2.1.1	金属的晶体结构	(22)
2.1.2	实际金属的晶体结构	(23)
2.1.3	金属材料的结构特点	(25)
2.1.4	金属的结晶	(27)
2.2	非金属材料的结构	(28)
2.2.1	陶瓷材料的结构特点	(28)
2.2.2	高分子材料的结构特点	(29)
2.3	合金相图	(31)
2.3.1	二元合金相图的建立	(32)

2.3.2 铁碳合金相图	(42)
2.4 本章小结	(50)
2.5 主要名词的中英文对照	(51)
2.6 复习思考题	(51)
2.7 本章参考文献	(54)
第3章 金属热处理	(55)
3.1 金属热处理概述	(56)
3.1.1 钢在加热时的组织转变	(57)
3.1.2 钢在冷却时的组织转变	(58)
3.2 钢的整体热处理工艺	(61)
3.2.1 退火	(61)
3.2.2 正火	(62)
3.2.3 淬火	(62)
3.2.4 回火	(64)
3.3 钢的淬透性和淬硬性	(64)
3.3.1 钢的淬透性	(64)
3.3.2 钢的淬硬性	(65)
3.4 钢的表面热处理	(65)
3.4.1 钢的表面淬火	(65)
3.4.2 钢的化学热处理	(66)
3.5 热处理新工艺简介	(68)
3.5.1 真空热处理	(68)
3.5.2 可控气氛热处理	(69)
3.5.3 形变热处理	(70)
3.5.4 超细化热处理	(71)
3.5.5 高能束表面改性热处理	(71)
3.6 热处理工件的结构工艺性	(73)
3.6.1 结构工艺性的概念	(73)
3.6.2 热处理工艺对零件结构的要求	(73)
3.6.3 与结构工艺性有关的其他要求	(74)
3.7 本章小结	(75)
3.8 主要名词的中英文对照	(76)
3.9 复习思考题	(77)
3.10 本章参考文献	(79)
第4章 金属材料及应用	(81)
4.1 碳钢及合金钢	(82)
4.1.1 碳钢	(82)
4.1.2 合金钢	(84)
4.1.3 不锈钢	(93)

4.1.4	耐热钢与耐热合金	(96)
4.2	铸铁	(98)
4.2.1	铸铁的成分和性能	(98)
4.2.2	铸铁的石墨化及铸铁分类	(98)
4.3	有色金属及其合金	(105)
4.3.1	铝及铝合金	(105)
4.3.2	铜及铜合金	(107)
4.3.3	钛及钛合金	(110)
4.3.4	镁及镁合金	(111)
4.4	本章小结	(113)
4.5	主要名词的中英文对照	(115)
4.6	复习思考题	(115)
4.7	本章参考文献	(118)
第5章	非金属材料及应用	(119)
5.1	高分子材料	(120)
5.1.1	高分子材料特征	(120)
5.1.2	工程塑料	(120)
5.1.3	橡胶	(121)
5.1.4	纤维	(122)
5.1.5	涂料	(122)
5.1.6	胶黏剂	(123)
5.1.7	功能高分子材料简介	(123)
5.2	无机非金属材料	(124)
5.2.1	陶瓷材料的性能及分类	(124)
5.2.2	玻璃	(126)
5.2.3	水泥	(127)
5.3	复合材料	(128)
5.3.1	复合材料的性能特点	(129)
5.3.2	树脂基复合材料	(130)
5.3.3	金属基复合材料	(131)
5.3.4	其他类型的复合材料	(133)
5.4	非金属材料的成形技术简介	(133)
5.4.1	高分子材料的合成和成形方法	(133)
5.4.2	陶瓷材料制备和成形方法	(136)
5.4.3	复合材料制备和成形方法	(137)
5.5	本章小结	(144)
5.6	主要名词的中英文对照	(145)
5.7	复习思考题	(145)
5.8	本章参考文献	(146)

第 6 章 新型材料及应用	(147)
6.1 功能材料	(148)
6.1.1 电功能材料	(148)
6.1.2 磁功能材料	(151)
6.1.3 智能材料	(153)
6.1.4 光功能材料	(154)
6.1.5 形状记忆材料	(155)
6.1.6 其他功能材料	(157)
6.2 生物材料	(157)
6.2.1 生物陶瓷材料	(157)
6.2.2 生物高分子材料	(158)
6.2.3 生物金属材料	(160)
6.3 纳米材料	(160)
6.3.1 纳米材料的基本概念	(160)
6.3.2 纳米材料的特性	(162)
6.3.3 纳米材料的制备	(164)
6.3.4 纳米材料应用	(164)
6.4 本章小结	(167)
6.5 主要名词的中英文对照	(167)
6.6 复习思考题	(167)
6.7 本章参考文献	(168)
第 7 章 工程材料的合理选用	(169)
7.1 机械零件失效分析与选材方法	(170)
7.1.1 材料的失效形式与分析	(170)
7.1.2 材料选用的原则	(172)
7.2 典型零件的选材方法	(174)
7.2.1 轴类零件的选材	(174)
7.2.2 齿轮类零件的选材	(175)
7.2.3 弹簧类零件的选材	(176)
7.2.4 箱体支承类零件的选材	(177)
7.2.5 切削刀具的选材	(178)
7.2.6 模具零件的选材	(179)
7.2.7 汽车零件的选材	(183)
7.2.8 压力容器的选材	(185)
7.2.9 汽轮机叶片的选材	(189)
7.3 航空航天领域关键零件选材简介	(190)
7.3.1 航空航天材料的要求	(190)
7.3.2 航空航天材料的种类	(192)
7.3.3 航空航天材料的展望	(196)
7.4 本章小结	(197)
7.5 主要名词的中英文对照	(197)

7.6	复习思考题	(197)
7.7	本章参考文献	(198)
第 8 章	实验	(201)
8.1	金相试样的制备和硬度实验	(202)
8.1.1	实验目的	(202)
8.1.2	金相试样的制备	(202)
8.1.3	硬度实验	(204)
8.1.4	实验设备及材料	(209)
8.1.5	实验报告要求	(209)
8.2	铁碳合金平衡组织观察	(210)
8.2.1	实验目的	(210)
8.2.2	实验概述	(210)
8.2.3	实验设备及材料	(212)
8.2.4	实验报告要求	(212)
8.3	碳钢的热处理及显微组织观察	(212)
8.3.1	实验目的	(212)
8.3.2	实验概述	(213)
8.3.3	实验设备及材料	(215)
8.3.4	实验内容及步骤	(216)
8.3.5	实验报告要求	(216)
8.4	合金钢、铸铁、有色金属的显微组织观察	(216)
8.4.1	实验目的	(216)
8.4.2	实验概述	(216)
8.4.3	实验设备及材料	(218)
8.4.4	实验报告要求	(218)
8.5	综合实验	(218)
8.5.1	实验目的	(218)
8.5.2	实验概述	(218)
8.5.3	实验设备及材料	(219)
8.5.4	实验方法	(219)
8.5.5	实验内容及步骤	(219)
8.5.6	实验报告要求	(219)
8.6	本章参考文献	(220)
附录 A	金属材料常用浸蚀剂	(221)
附录 B	压痕直径与布氏硬度对照表	(222)
附录 C	洛氏硬度与其他硬度及强度换算表	(225)
索引		(226)

第 0 章 绪 论

1. 材料与材料科学

材料是各种工业和科学技术的物质基础，是人类社会赖以生存和发展的重要条件，是人类技术进步、文明进步的基石。纵观人类发展的历史，人们常以所使用材料的不同而划分为石器时代、青铜器时代、铁器时代、水泥时代、钢时代、硅时代和现在的新材料时代。现代工业技术的发展，材料已成为衡量一个国家经济实力与技术水平的重要标志，它与能源、信息并列为国民经济的三大支柱，而能源和信息的发展又依托于材料。因此，世界各国都把材料的研究、开发放在突出的地位。

材料科学是研究各种材料的成分、结构、制备加工工艺与性能之间关系的科学，其目的是对各种材料的成分、组织、性能和应用之间的关系及其变化规律进行描述，因此它包含四个基本要素：成分与组织结构、材料的合成与制备、材料特性和使用性能。成分与组织结构反映材料的本质，是认识材料的理论基础；材料的合成与制备着重研究获取材料的手段，以工艺技术的进步为标志；材料的特性表征了材料固有的力学等性能，是选用材料的重要依据；使用性能可以用材料的加工性和服役条件相结合来考察，它是材料应用的最终目标。材料科学基本理论的学习和掌握为材料的选择、材料的使用、材料潜能的发挥和新材料的开发奠定了基础。

2. 材料的类型

材料的种类很多，按其使用性能可分为结构材料和功能材料。结构材料是指对强度、硬度、塑性、韧性等力学性能有所要求，用来制造机器零件和工程构件的材料；而功能材料则是指主要利用其电、光、声、磁、热等效应和功能的材料。随着现代科技和生产力的飞速发展，能源、信息和空间技术领域对材料的使用性能提出了更高的要求，不但要求所使用的材料具备高的力学性能，而且还要求材料必须具备特定的物理、化学、信息转化和能量转化功能。因此，工程材料与应用课程的研究内容也由单纯结构材料扩展到以结构材料为主，兼顾其他功能材料，从而适应材料科学尤其是新型材料的发展趋势。

工程材料按其化学组成可分为金属材料、聚合物材料、无机非金属材料（即陶瓷材料，简称无机材料）、复合材料和功能材料五大类。目前，虽然这五大类材料平分秋色，但在各种材料中，金属材料使用得最早也最多，对金属研究形成的基础理论也最成熟，有关金属研究的思路和方法甚至一些理论，也正在移植或渗透到其他类型材料的研究中。因此，金属材料依然是最主要的工程材料，尤其是钢铁材料，使用范围最广。这正如我国著名材料学专家师昌绪先生所言，“一直到 21 世纪上半叶，金属材料仍将占重要位置”。全世界材料的总数约 50 万种，新型材料的数量则每年以 5% 左右的速度递增。材料品种繁多，性能各异，而工程材料主要是指用于机械工程和建筑工程等领域的材料。常见的工程材料按其化学组成可以如图 0-1 所示进行分类。

金属材料包括钢铁、有色金属及其合金。由于金属材料具有良好的力学性能、物理性能、

化学性能及工艺性能，能采用比较简便和经济的工艺方法制成零件，因此金属材料是目前应用最广泛的材料。

高分子材料包括塑料、橡胶等。因其原料丰富、成本低、加工方便等优点，发展极其迅速，目前已在工业上得到广泛应用，并将越来越多地被采用。

无机非金属材料主要是陶瓷材料、水泥、玻璃、耐火材料。它们具有不可燃烧性、高耐热性、高化学稳定性、不老化性，以及高硬度和良好的耐压性，并且原料丰富，因此受到材料工作者和特殊行业的广泛关注。

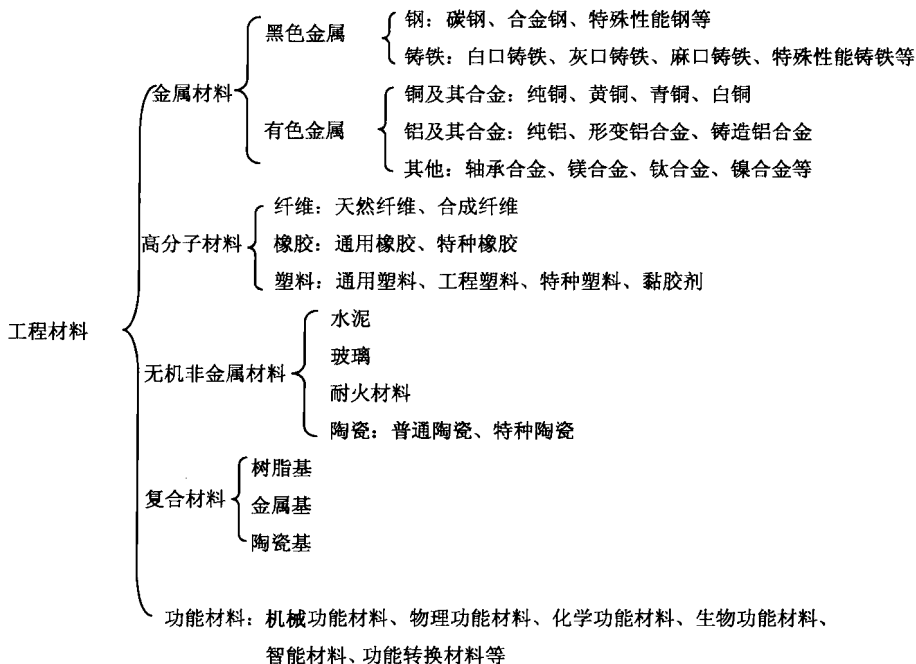


图 0-1 常见工程材料分类

复合材料是由基体材料（树脂、金属、陶瓷）和增强剂（颗粒、纤维、晶须）复合而成的。它既保持所组成材料的各自特性，又具有组成后的新特性，且它的力学性能和功能可以根据使用需要进行设计、制造。自 1940 年玻璃钢问世以来，复合材料的应用领域一直在迅速扩大，品种、数量和质量也有了飞速发展。

功能材料是具有某种特殊物理性能、化学性能、生物性能及各种功能之间相互转化的材料。它是在传统的金属、无机和有机材料基础上发展起来的新型材料，是材料高性能化、功能化和复合化的产物。它包括机械功能材料、电功能材料、磁功能材料、热功能材料、光功能材料、光电功能材料、化学功能材料、形状记忆合金、储能材料、纳米功能材料、智能功能材料等，也是当前材料工作者关注最多的材料。

3. 学习工程材料及应用课程的目的和要求

1) 学习“工程材料及应用”课程的目的

“工程材料及应用”是机械类和近机类各专业的重要技术基础课，主要研究材料的化学成分、组织结构、加工工艺与性能之间的关系及其变化规律。作为工程技术人员，只有了解

并掌握这些关系及变化规律,才能做到合理选用材料、正确确定加工方法、妥善安排加工工艺路线,进而生产出成本低、使用性能好、寿命长的机械零件或机械产品。

2) 学习重点

① 明确本课程的重要性及学习目的,抓住本课程学习的主线,即材料的化学成分、加工工艺对组织结构和性能的影响;

② 掌握化学成分、组织和结构等基本概念。

3) 通过课程学习,达到以下要求

① 掌握有关工程材料的基本理论和基本知识;

② 了解常用材料的应用范围和加工工艺;

③ 初步具备合理选用材料的能力;

④ 初步具备确定材料加工方法及安排加工工艺路线的能力。



工程材料性能与测试分析

工程背景

材料的性能指标是设计、制造零件和工具的重要依据。工程材料中最常用的力学性能是强度、硬度、塑性和韧性。由于具有一定塑韧性的材料，硬度高，其强度也高，且一些金属材料硬度和强度成正比关系，因此硬度成为工程材料性能的重要指标。

工程师自学提示

推荐学习方法

工程材料的性能分为使用性能和工艺性能。使用性能是指在服役条件下能保证安全可靠工作所必备的性能,其中包括材料的力学性能(机械性能)、物理性能、化学性能等。工程材料使用性能的好坏,决定了它的使用范围和寿命。对绝大多数工程材料来说,其力学性能是最重要的使用性能。工艺性能是指材料的可加工性,其中包括锻造性能、铸造性能、焊接性能、热处理性能及切削加工性能等。在设计零件和选择工艺方法时,都要考虑材料的工艺性能。各种工艺性能将在以后有关章节中分别进行讨论。

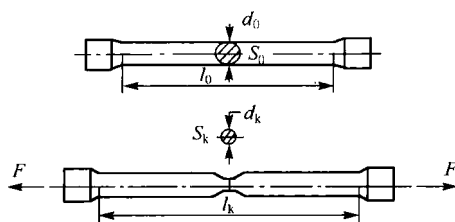
1.1 静载时材料的力学性能

静载是指对试样缓慢加载。最常用的静载试验有拉伸、压缩、硬度、弯曲、扭转等,可利用这些不同的试验方法,测得各种力学性能指标。这里主要讨论工程领域应用最为广泛的强度、塑性和硬度指标。

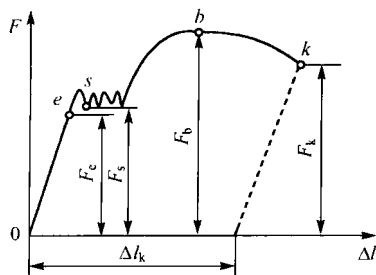
1.1.1 强度

强度是指在外力作用下,材料抵抗变形和断裂的能力。

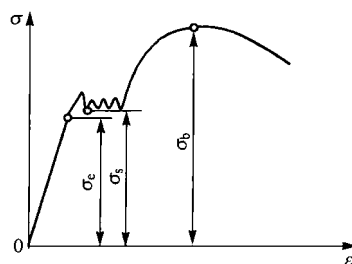
强度指标常通过拉伸试验测定。图 1-1(a)是退火低碳钢的拉伸试样在拉伸前后形貌的变化图,图 1-1(b)是拉伸试验载荷(拉力)与变形量(伸长量)的变化关系图。如果把拉力 F 除以试样的原始截面积 S_0 ,则得到拉应力 σ (单位面积上的拉力);如果把伸长量 Δl 除以试样的标距长度 l_0 ,则得到应变 ε (单位长度的伸长量)。根据 σ 和 ε ,可以画出应力-应变曲线,如图 1-1(c)所示。应力-应变曲线不受试样尺寸的影响,可以从曲线上直接读出材料的一些常规力学性能指标。在静载拉伸下,材料的力学性能指标主要有以下几个。



(a) 退火低碳钢的拉伸试样示意图



(b) 拉伸曲线



(c) 应力-应变曲线

图 1-1 拉伸试验