



普通高等教育机械类“十二五”规划系列教材

# 工程材料及应用 (第2版)

GONGCHENG CAILIAO JI YINGYONG

王俊勃 屈银虎 贺辛亥 主 编



Mechanical  
Design



中国工信出版集团



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育机械类“十二五”规划系列教材

# 工程材料及应用

## (第2版)

主编 王俊勃 屈银虎 贺辛亥



电子工业出版社  
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. —2版. —北京: 电子工业出版社, 2016.1  
普通高等教育机械类“十二五”规划系列教材  
ISBN 978-7-121-27469-5

I. ①工… II. ①王… ②屈… ③贺… III. ①工程材料—高等学校—教材 IV. ①TB3  
中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第258844号

策划编辑: 赵玉山

责任编辑: 赵玉山

印 刷: 三河市华成印务有限公司

装 订: 三河市华成印务有限公司

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

版 次: 2009年9月第1版

2016年1月第2版

印 次: 2016年1月第1次印刷

印 数: 3000册 定价: 35.00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 [zits@phei.com.cn](mailto:zits@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线: (010)88258888。

# 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，付翀编写第7章第3节、第8章及附录。全书由王俊勃、屈银虎、贺辛亥统稿。

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、刘松涛、王彦龙等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  
2015年3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)
<b>第3章</b>	<b>金属热处理</b>	<b>(55)</b>
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)
<b>第4章</b>	<b>金属材料及应用</b>	<b>(81)</b>
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)
<b>第5章</b>	<b>非金属材料及应用</b>	<b>(119)</b>
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)

<b>第 6 章</b>	<b>新型材料及应用</b>	(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)
<b>第 7 章</b>	<b>工程材料的合理选用</b>	(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)
<b>第 8 章</b>	<b>实验</b>	<b>(201)</b>
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。

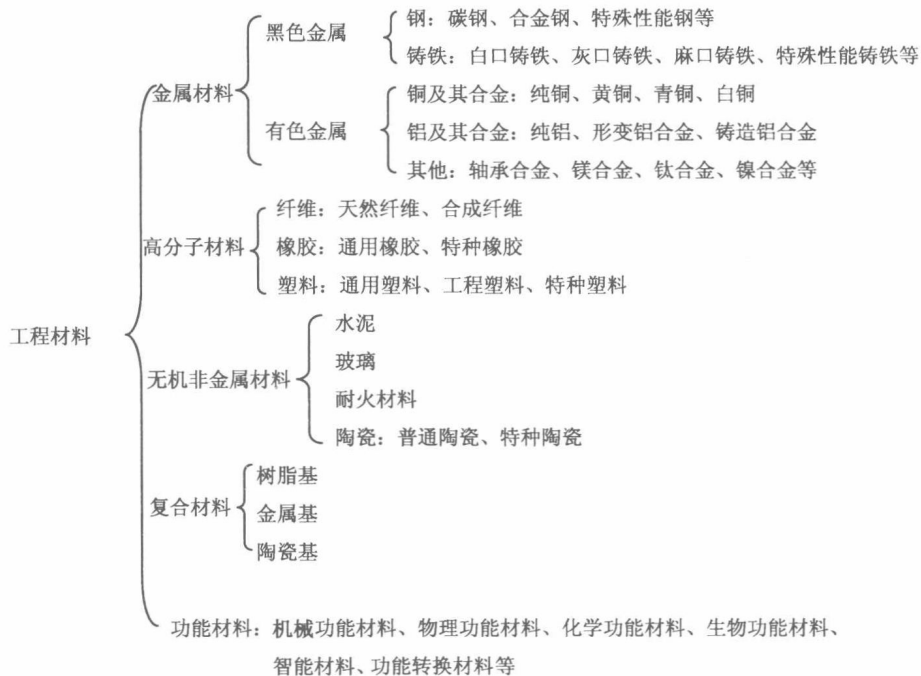


图 0-1 常见工程材料分类

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。一般金属材料的硬度和强度大致成正比，并与塑韧性有一定的关系。因此硬度成为产品质量的重要标志。在零件和构件设计图纸中，必须标注的力学性能指标就是硬度。为满足某些零件的性能要求，往往要对材料进行强化，即提高材料的强度和硬度，但这往往是以损失材料的塑韧性为代价的。一般而言，材料的塑性高，韧性也高，但强度和硬度就低。铸造性能、锻造性能、切削加工性能、热处理性能、焊接性能等材料工艺性能的高低，对材料的成型加工影响非常大，但对一般的工程材料还是应重点了解其力学性能，其次是工艺性能。材料领域发展的状况主要取决于材料分析技术的发展。材料组织的观察、晶体结构的判定、新型材料的研制与性能检测，无不依赖于测试分析技术的发展水平。因此，材料的测试分析技术是材料研究的重要方法和手段。

## 工程师自学提示

您知道材料的力学性能指标  $\sigma_b$ 、 $\sigma_s$ 、 $\sigma_{0.2}$ 、 $\sigma_{-1}$ 、 $\delta$ 、 $\psi$ 、 $a_k$ 、HB、HRC 的物理意义和单位是什么吗？您了解布氏硬度和洛氏硬度的优缺点及应用场合吗？材料的工艺性能主要包括哪些？材料研究中主要从哪几方面进行测试分析？其主要的方法有哪些？

## 推荐学习方法

在对本章内容学习时，读者可首先通过对低碳钢拉伸的应力-应变曲线变化规律的理解来掌握拉伸曲线各阶段的物理意义，从而确定各强度指标的含义。其次，通过对硬度测定的原理和方法实践操作，掌握硬度与强度和塑性的关系。

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。

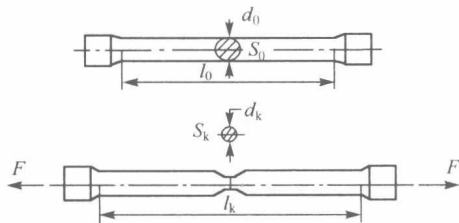
## 1.1 静载时材料的力学性能

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。

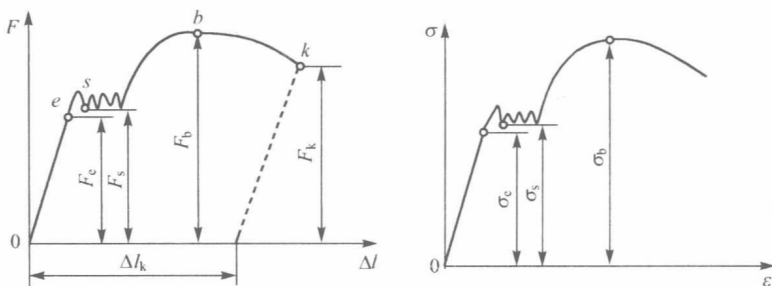
### 1.1.1 强度

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 $\sigma$ （单位面积上的拉力）；如果把伸长量 $\Delta l$ 除以试样的标距长度 $l_0$ ，则得到应变 $\varepsilon$ （单位长度的伸长量）。根据 $\sigma$ 和 $\varepsilon$ ，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

### 1) 弹性极限 $\sigma_e$ 和弹性模量 $E$

在图 1-1(b)的拉伸曲线上,  $e$  点以前产生的变形是可以恢复的变形, 称为弹性变形,  $e$  点所对应的弹性变形阶段的最大应力, 称为弹性极限, 如图 1-1(c)所示, 以  $\sigma_e$  表示 (单位为 MPa), 即

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0} \quad (1-1)$$

式中,  $F_e$  对应于  $e$  点的外力,  $S_0$  是试样的原始截面积。

对一些弹性零件如精密弹簧等,  $\sigma_e$  是主要的性能指标。

材料在弹性变形范围内的应力与应变的比值称为弹性模量, 用  $E$  表示 (单位为 GPa), 即

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1-2)$$

弹性模量  $E$  表征材料产生弹性变形的难易程度。弹性模量在工程上称为材料的刚度。弹性模量主要取决于材料内部原子间的作用力, 如晶体材料的晶格类型、原子间距, 各种强化手段对弹性模量的影响较小。

#### 【应用点评 1-1】 金属与合金弹性模量的改变

金属与合金的弹性模量不能通过合金化和热处理、冷变形等方法来改变。

### 2) 屈服强度 $\sigma_s$

在图 1-1(b)的拉伸曲线中, 在  $s$  点开始出现不可恢复的变形, 即塑性变形。所以  $s$  点就是材料在外力作用下开始发生塑性变形的最低应力值, 称为屈服极限或屈服强度, 用  $\sigma_s$  表示 (单位为 MPa), 即

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (1-3)$$

式中,  $F_s$  对应于  $s$  点的外力,  $S_0$  是试样的原始截面积。

对于没有明显屈服点的材料, 规定产生 0.2% 塑性变形时的应力值为该材料的屈服强度, 称为名义屈服强度, 用  $\sigma_{0.2}$  表示。工程中大多数零件都是在弹性范围内工作的, 如果产生塑性变形, 就会使零件失效。

#### 【应用点评 1-2】 屈服强度的意义

屈服强度的意义在于工厂中大多数的零件都在弹性范围内工作, 如果产生过量塑性变形, 就会使零件失效, 所以屈服强度是设计零件和选材的主要依据之一。

### 3) 抗拉强度 $\sigma_b$

$\sigma_b$  是试样拉断前所能承受的最大应力值, 即试样所能承受的最大载荷除以原始截面积, 用  $\sigma_b$  表示 (单位为 MPa), 有

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad (1-4)$$

式中,  $F_b$  是试样所能承受的最大载荷。



## 【应用点评 1-3】 抗拉强度的意义

抗拉强度表征的是材料抵抗断裂的能力,它是设计和选材的主要依据之一,特别是对于低塑性或脆性材料,抗拉强度更应作为主要的设计指标。

## 1.1.2 塑性

断裂前材料产生塑性变形的能力称为塑性。塑性以材料断裂时最大相对塑性变形来表征。拉伸时用延伸率( $\delta$ )或断面收缩率( $\psi$ )表示塑性,两者均无单位量纲。

① 延伸率( $\delta$ )表示试样断裂时的相对伸长量,即

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100\% = \frac{\Delta l_k}{l_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中, $l_0$ 是试样原始标距长度, $l_k$ 是试样断裂后的标距长度, $\Delta l_k$ 是试样断裂后的相对伸长量[如图1-1(a)所示]。

② 断面收缩率( $\psi$ )表示试样断裂后截面的相对收缩量,即

$$\psi = \frac{S_0 - S_k}{S_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中, $S_0$ 是试样原始截面积, $S_k$ 是试样断裂处的截面积[如图1-1(a)所示]。

在实际工作中对试样的尺寸做出了规定,通常用 $l_0 = 5d_0$ 或 $l_0 = 10d_0$ 两种试样来测定延伸率,用 $\delta_5$ 或 $\delta_{10}$ 表示。 $d_0$ 为圆截面试样的直径。

## 1.1.3 硬度

硬度是材料抵抗硬物压入其表面的能力,也可将硬度看做是材料表面抵抗变形的能力。

在材料制成的半成品和成品的质量检验中,硬度是标志产品质量的重要依据。常用的硬度有布氏硬度、洛氏硬度等。

## 1) 布氏硬度

用一定的载荷 $F$ 将直径为 $D$ 的淬火钢球或硬质合金球压入被测材料的表面,保持一定时间后卸除载荷,将载荷与压痕表面积 $S$ 的比值作为布氏硬度值。压头为钢球时用HBS表示,压头为硬质合金球时用HBW表示(单位为 $\text{N}/\text{mm}^2$ ,一般不予标出)。如图1-2所示,有

$$\text{HBS}(w) = \frac{F}{S} = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-7)$$

式中, $F$ 为加在压头上的载荷, $S$ 为压痕表面积。

布氏硬度试验的优点是压痕面积大,不受微小不均匀硬度的影响,试验数据稳定,重复性好。但不适用于成品零件和薄壁件的硬度检验。

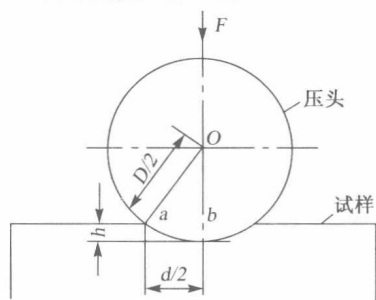


图 1-2 布氏硬度实验原理

## 2) 洛氏硬度

将一个锥角为 $120^\circ$ 的金刚石圆锥或一定直径的钢球作为标准压头压入试样表面,然后根据压痕的深度来确定试样的硬度。

根据压头和压力的不同,洛氏硬度有3种常用的表示方法:HRA、HRB和HRC,其中最常用的是HRC。它们的数值可以直接从硬度试验机的仪表盘上读出。