

普通高等院校“十一五”规划教材
普通高等院校机械类精品教材

顾问 杨叔子 李培根



工程材料及应用

GONGCHENG CAILIAO JI YINGYONG

徐自立 主编

吴昌林 主审

华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>





普通高等院校“十一五”规划教材
普通高等院校机械类精品教材

顾问 杨叔子 李培根

TB3
107

2007

工程材料及应用



主 编 徐自立

副主编 张红霞 张世兴

余竞成 高为国

主 审 吴昌林

华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

图书在版编目(CIP)数据

工程材料及应用/徐自立 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2007年3月
ISBN 978-7-5609-3912-4

I. 工… II. 徐… 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(2006)第156354号

工程材料及应用

徐自立 主编

策划编辑:王连弟

责任编辑:万亚军

责任校对:代晓莺

封面设计:潘群

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:湖北恒泰印务有限公司

开本:787×960 1/16

印张:24.75 插页:2

字数:443 000

版次:2007年3月第1版

印次:2007年3月第1次印刷

定价:38.00元

ISBN 978-7-5609-3912-4/TB·88

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

普通高等院校“十一五”规划教材

普通高等院校机械类精品教材

编审委员会

顾问: 杨叔子 华中科技大学

李培根 华中科技大学

总主编: 吴昌林 华中科技大学

委员: (按姓氏拼音顺序排列)

崔洪斌 河北科技大学

冯 浩 景德镇陶瓷学院

高为国 湖南工程学院

郭钟宁 广东工业大学

韩建海 河南科技大学

孔建益 武汉科技大学

李光布 上海师范大学

李 军 重庆交通大学

黎秋萍 华中科技大学出版社

刘成俊 重庆科技学院

柳舟通 黄石理工学院

卢道华 江苏科技大学

鲁屏宇 江南大学

梅顺齐 武汉科技学院

孟 逵 河南工业大学

芮执元 兰州理工大学

汪建新 内蒙古科技大学

王生泽 东华大学

杨振中 华北水利水电学院

易际明 湖南工程学院

尹明富 天津工业大学

张 华 南昌大学

张建钢 武汉科技学院

赵大兴 湖北工业大学

赵天婵 江汉大学

赵雪松 安徽工程科技学院

郑清春 天津理工大学

周广林 黑龙江科技学院

内 容 简 介

本书是根据教育部高教司[1995]82号通知颁布的高等学校工科本科《工程材料及机械制造基础教学基本要求》编写的。在本书的编写过程中,精简理论知识的叙述,强化实际应用的介绍,力求内容简明扼要。本书以金属材料为重点,着重介绍了金属材料及热处理的基础知识,同时介绍了一些常用的非金属材料 and 新型材料,当前工程材料的新工艺、新进展,以及机械零件选材与失效分析方面的知识和方法。全书共12章,主要内容有:材料的性能;材料的结构与力学行为;材料的成形凝固与二元合金相图;铁碳合金;金属热处理及表面处理技术;工业用钢;铸铁;非铁金属及其合金;非金属材料;现代新型材料;机械零件的选材与失效分析。

本书可作为高等院校本科机类、近机类专业的技术基础课教材,也可供有关工程技术人员学习参考。

序

“爆竹一声除旧，桃符万户更新。”在新年伊始，春节伊始，“十一五规划”伊始，来为“普通高等院校机械类精品教材”这套丛书写这个“序”，我感到很有意义。

近十年来，我国高等教育取得了历史性的突破，实现了跨越式的发展，毛入学率由低于10%达到了高于20%，高等教育由精英教育跨入了大众化教育。显然，教育观念必须与时俱进而更新，教育质量观也必须与时俱进而改变，从而教育模式也必须与时俱进而多样化。

以国家需求与社会发展为导向，走多样化人才培养之路是今后高等教育教学改革的一项重要任务。在前几年，教育部高等学校机械学科教学指导委员会对全国高校机械专业提出了机械专业人才培养模式的多样化原则，各有关高校的机械专业都在积极探索适应国家需求与社会发展的办学途径，有的已制定了新的人才培养计划，有的正在考虑深刻变革的培养方案，人才培养模式已呈现百花齐放、各得其所的繁荣局面。精英教育时代规划教材、一致模式、雷同要求的一统天下的局面，显然无法适应大众化教育形势的发展。事实上，多年来许多普通院校采用规划教材就十分勉强，而又苦于无合适教材可用。

“百年大计，教育为本；教育大计，教师为本；教师大计，教学为本；教学大计，教材为本。”有好的教材，就有章可循，有规可依，有鉴可借，有道可走。师资、设备、资料（首先是教材）是高校的三大教学基本建设。

“山不在高，有仙则名。水不在深，有龙则灵。”教材不在厚薄，内容不在深浅，能切合学生培养目标，能抓住学生应掌握的要言，能做

到彼此呼应、相互配套,就行,此即教材要精、课程要精,能精则名、能精则灵、能精则行。

华中科技大学出版社主动邀请了一大批专家,联合了全国几十所开设应用型机械专业的院校,在全国高校机械学科教学指导委员会的指导下,保证了当前形势下机械学科教学改革的发展方向,交流了各校的教改经验与教材建设计划,确定了一批面向普通高等院校机械学科精品课程的教材编写计划。特别要提出的是,教育质量观、教材质量观必须随高等教育大众化而更新。大众化、多样化决不是降低质量,而是要面向、适应与满足人才市场的多样化需求,面向、符合、激活学生个性与能力的多样化特点。“和而不同”,才能生动活泼地繁荣与发展。脱离市场实际的、脱离学生实际的一刀切的质量不仅不是“万应灵丹”,而是“千篇一律”的桎梏。正因为如此,为了确保高等教育大众化时代的教学质量,教育主管部门正在对高校进行教学质量评估,各高校正在积极进行教材建设,特别是精品课程、精品教材建设。也因为如此,华中科技大学出版社组织出版普通高等院校应用型机械学科的精品教材,可谓正得其时。

我感谢参与这批精品教材编写的专家们!我感谢出版这批精品教材的华中科技大学出版社的有关同志!我感谢关心、支持与帮助这批精品教材编写与出版的单位与同志们!我深信编写者与出版者一定会同使用者沟通,听取他们的意见与建议,不断提高教材的水平!

特为之序。

中国科学院院士
教育部高等学校机械学科指导委员会主任

杨礼子

2006.1

前 言

“工程材料”是高等院校机类和近机类学生的一门重要的技术基础课。随着科学技术的发展,新材料和新技术的不断问世及应用,对工程材料的教学提出了新的要求。

根据教育部高教司[1995]82号通知颁布的高等学校工科本科《工程材料及机械制造基础教学基本要求》,结合高等学校工科教学的实际,华中科技大学出版社组织国内部分本科院校编写了本书,作为系列教材之一,供各大专院校使用。

与以往同类教材相比,本书具有以下几方面的特点。

(1) 精简了理论叙述,注重了实践应用。在阐述基础知识的同时,对材料处理和选用方面紧密联系生产实际进行介绍。

(2) 精炼了传统的内容,并同时进行了内容的更新和章节的调整,例如:适当拓展了关于相图方面的知识,将铁碳合金、材料力学行为分别作为单独一章介绍,特别介绍了非金属材料 and 新型材料知识。

(3) 每章开头以“典型案例”引导,从实际现象或应用现状中进入本章内容,每章结尾列出本章重点与难点,并简要介绍有关本章知识的拓展。

(4) 增加了新材料、新技术、新工艺的内容,反映了工程材料的发展趋势。

(5) 本书适应性强,有较大的选择余地,可根据不同专业的需要及课时要求选择适当内容进行讲授。

参加本书编写的有:武汉科技学院徐自立(绪论,第2、3、4、5、6、7章,第12章的部分内容及附录A~E);湖南工程学院高为国(第1章);河南工业大学张世兴(第8章);湖北汽车工业学院张红霞(第9、11章,第12章的部分内容);江汉大学余竞成(第10章)。全书由徐自立任主编,张红霞、张世兴、余竞成、高为国任副主编,由华中科技大学吴昌林教授主审。

本书在编写中参考了已出版的多种教材(见参考文献),并注意吸收各院校的教学改革经验及科研成果,对此,谨向上述涉及的单位和个人表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2006年12月

目 录

绪论	(1)
第1章 材料的性能	(4)
1.1 静态力学性能	(4)
1.2 动态力学性能	(10)
1.3 断裂韧性	(13)
1.4 高、低温性能	(15)
1.5 材料的工艺性能	(16)
思考题与习题	(16)
第2章 材料的结构	(18)
2.1 纯金属的晶体结构	(18)
2.2 合金的晶体结构	(28)
2.3 非金属材料的结构	(31)
思考题与习题	(37)
第3章 材料的力学行为	(38)
3.1 金属的塑性变形	(38)
3.2 冷变形对金属组织和性能的影响	(44)
3.3 冷变形金属在加热时组织和性能的变化	(47)
3.4 金属的热变形加工	(53)
3.5 高分子材料的力学状态	(55)
3.6 高聚物的力学行为	(58)
思考题与习题	(64)
第4章 材料的成形凝固与二元合金相图	(66)
4.1 凝固的基本概念	(66)
4.2 金属的结晶与冷却曲线	(68)
4.3 材料的同素异构现象	(75)
4.4 二元合金相图的建立及其所代表的意义	(77)
4.5 二元合金相图的基本类型及杠杆定律	(80)
思考题与习题	(93)
第5章 铁碳合金	(95)

5.1	铁碳合金相图	(95)
5.2	典型合金结晶过程分析	(99)
5.3	C的质量分数对铁碳合金组织和性能的影响	(104)
5.4	Fe-Fe ₃ C相图的应用和局限性	(105)
	思考题与习题	(107)
第6章	金属热处理及表面处理技术	(108)
6.1	概述	(108)
6.2	钢加热时的组织转变	(109)
6.3	钢在冷却时的转变	(112)
6.4	钢的退火与正火	(123)
6.5	钢的淬火	(127)
6.6	钢的回火	(133)
6.7	钢的淬透性	(137)
6.8	钢的淬火变形与开裂	(141)
6.9	钢的表面淬火	(147)
6.10	钢的化学热处理	(150)
6.11	材料的表面处理技术	(156)
6.12	热处理缺陷的预防	(166)
6.13	热处理方案的选择和技术条件的标注	(167)
	思考题与习题	(171)
第7章	工业用钢	(173)
7.1	钢材生产及其品种和规格	(173)
7.2	钢的分类	(176)
7.3	钢中的杂质元素	(177)
7.4	钢中合金元素的作用	(178)
7.5	碳素钢及其应用	(191)
7.6	合金结构钢及其应用	(198)
7.7	其他常用合金结构钢	(213)
7.8	合金工具钢及其应用	(218)
7.9	特殊性能钢及其应用	(235)
	思考题与习题	(250)
第8章	铸铁	(252)
8.1	概述	(252)
8.2	普通灰铸铁	(256)

8.3 球墨铸铁	(260)
8.4 其他铸铁	(264)
思考题与习题	(269)
第9章 非铁金属材料	(270)
9.1 概述	(270)
9.2 铝及铝合金	(270)
9.3 铜及铜合金	(279)
9.4 滑动轴承合金	(284)
9.5 钛及钛合金	(287)
9.6 粉末冶金材料及其应用	(289)
思考题与习题	(293)
第10章 非金属材料及其应用	(294)
10.1 高分子材料	(294)
10.2 工业陶瓷	(311)
思考题与习题	(316)
第11章 现代新型材料及其应用	(318)
11.1 复合材料	(318)
11.2 其他新型材料	(324)
思考题与习题	(340)
第12章 机械零件的失效分析与选材	(342)
12.1 机械零件的失效分析	(342)
12.2 机械零件选材的步骤和依据	(346)
12.3 常用机械零件的选材及加工路线	(352)
思考题与习题	(368)
附录A 硬度与强度的换算法	(370)
附录B 淬火钢回火温度与硬度的关系	(372)
附录C 国内外部分钢的牌号对照	(373)
附录D 国内外铸铁牌号对照	(380)
附录E 常用塑料、复合材料缩写代号	(381)
参考文献	(382)

绪 论

材料、能源、信息被人们称为现代技术的三大支柱,而能源和信息的发展,在一定程度上又依赖于材料的进步。例如:要提高热机效率,必须提高工作温度,所以要求制造热机的材料在高温下具有足够的强度、韧度、耐热性。这是一般钢铁材料无法达到的。而用新型陶瓷材料制成的高温结构陶瓷柴油机可节油 30%,热机效率可提高 50%。目前甚至还研制出在 1 400 °C 工作的涡轮发动机陶瓷叶片,大大提高了效率。可见,开发新材料可提高现有能源的利用率。半导体材料、传感器材料、光导纤维材料的开发,促进了信息技术水平的提高与发展。未来新型产业的发展,无不依赖于材料的进步。例如:开发海洋探测设备及各种海底设施需要耐压、耐蚀的新型结构材料;卫星宇航设备需要轻质高强的新材料;在医学上,制造人工脏器、人造骨骼、人造血管等要使用各种具有特殊功能且与人体相容的新材料。由于材料在人类社会中的重要作用,许多国家把材料科学作为重点发展的学科,而材料的品种、数量和质量也成了衡量一个国家科学技术和国民经济水平以及国防力量的重要标志之一。

1. 材料与材料科学概述

材料是人类生产和生活所必需的物质基础。人类的衣食住行都离不开使用材料;机械制造、交通运输、国防及科研大量使用钢铁材料、非铁金属材料、粉末冶金材料及各种非金属材料;固体电子器件少不了锗、硅等半导体材料;光电子技术器件需要具备一定特性的功能材料;宇航工程必须使用一些高性能的尖端材料等。

材料的发展经历了从低级到高级,从简单到复杂,从天然到合成的发展历程。近半个世纪内,材料的研究和生产以及材料科学理论都得到了迅速的发展。1863 年第一台金相光学显微镜问世,促进了金相学的研究,使人们步入材料的微观世界。1912 年发现了 X 射线,开始了晶体微观结构的研究。1932 年发明的电子显微镜以及后来出现的各种先进分析工具,把人们带到了微观世界的更深层次。一些与材料有关的基础学科(如固体物理学、量子力学、化学等)的发展,又有力地推动了材料研究的深化。从现在开始,人工合成材料将得到更大的发展,进入金属材料、高分子材料、陶瓷材料及复合材料共存的时代。

材料按用途可分为工程材料和功能材料。工程材料按用途又可分为建筑工程材料、机械工程材料、电工材料等;若按原子聚集状态分,可分为单晶体材料、多晶体材料和非晶体材料;若按材料的化学成分和结构特点分,可分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类。

材料科学是一门研究材料成分、微观组织与结构、加工工艺、性能与应用之间内在相互关系及其变化规律的学科。它以化学、固体物理学、力学等为基础,是一门多学科交叉

的边缘科学。材料科学理论与实验是材料发展与创新的基础与前提。

2. 工程材料的应用与发展趋势

工程材料主要指应用于工程构件、机械零件、工具等领域的结构材料,包括金属材料、高分子材料、陶瓷材料及复合材料,其中最基本的是金属材料。工程材料学作为一门材料学科,主要研究的是材料学科的实用部分,重点阐述上述结构材料的性能、结构、工艺、应用之间的关系。

金属材料是目前应用最广泛的工程材料,包括纯金属及其合金。在工业上,把金属材料分为两类:一类是钢铁材料,它是指 Fe、Mn、Cr 及其合金,其中以 Fe 为基的合金(钢和铸铁)应用最广;另一类是非铁金属材料,它是指除 Fe 以外的所有金属及其合金。按照特性的不同,非铁金属又分为轻金属、重金属、贵金属、稀有金属和放射性金属等多种。

非金属材料是近几十年来发展很快的工程材料,预计今后还会有更大的发展。非金属材料包括有机高分子材料 and 无机材料两大类。有机高分子材料的主要成分是 C 和 H,按其应用可分为塑料、橡胶、合成纤维;而无机材料是指不含 C、H 的化合物,其中以陶瓷应用最广。

复合材料是一种新型的、具有很大发展前途的工程材料,它是把两种或两种以上不同性质或不同组织结构的材料以微观或宏观的形式组合在一起构成的材料。它不仅保留了组成材料各自的优点,而且具有单一材料所没有的优异性能。复合材料取代了某些金属材料,作为未来最有希望的材料已日益受到人们的重视。

原子能、航空航天、电子、海洋开发等现代工业的发展,对材料提出了更为严格的要求,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。

3. 材料和机械工程

机械工程是一个含义非常广泛的概念,它几乎包括了国民经济各个领域中的所有机械产品,这些机械产品都是由各种零件组装而成的,而这些零件则是由多种不同性能的材料加工成的。显然,正确地选择和合理地使用材料十分重要。

现代机械工程正朝着大型、高速、耐高温、耐高压、耐低温、耐受恶劣环境影响等方向发展。这样苛刻的工作条件,要求各种机械装备的技术功能优异,产品质量高而稳定、寿命长而可靠,能安全地运行和使用。一台机器要真正发挥这些优异的技术功能,除要有合理的设计及正确的使用(操作和维护)外,合理的选材和加工是十分关键的一环。如果材料选择和加工不当,轻则造成机械的技术功能下降,重则导致装备失效甚至酿成事故。大量事实说明,机械产品在设计、加工和使用中的许多材料和工艺问题,是我国机械产品质量差、寿命低的主要原因之一。

工程技术人员设计机械产品时,要根据零件的使用工况选用合适的材料,确定材料的加工工艺,限定使用状态下零件内部的显微组织,校核能否在规定的寿命期限内正常服役等等。但不少工程技术人员照抄别人的用材方案,或者在设计零件时,大量选用所谓“万

能”的材料,例如 45 钢。如此选材将对产品的质量和寿命带来不良影响,甚至十分危险,这已被许多质量事故所证实。在材料选用和处理中,零件材料使用态的组织是决定机器质量和寿命的主要因素。这一重要问题常常被忽视。如我国 20 世纪 80 年代初某厂生产的电冰箱,产品设计合理,各项性能指标都不低于甚至超过日本名牌电冰箱,但寿命低得多。把两种电冰箱制冷泵中的柱塞用金相显微镜和电子显微镜检查分析后发现:日本冰箱制冷泵的柱塞用优质耐磨铸铁制成,其显微组织是在珠光体基体上分布着极细的片状石墨和一些磷共晶;而我国的柱塞却使用了未做任何处理的普通碳素钢,其组织为耐磨性能较差的铁素体和珠光体。类似的例子是很多的。材料内部组织的设计,往往由于设计者材料知识的不足而被草率处理,其后果往往不容易被察觉。有些选材不当的问题,其性质就像用呢料缝制了一件贴身内衣一样。常常有这样的情况:图纸上某一个公差带确定不当是很容易发现的,而某些近似荒唐的选材却可能顺利通过审查。

从这里不难看出,选择材料和加工工艺实质是一个极重要的“零件内部组织结构”的问题。它的任务是通过选定适当化学成分的材料,经合理的加工工艺过程来获得满足使用要求的零件内部显微组织。可见,从微观本质上去认识材料,并且掌握它们与外界条件之间的规律性联系,进而合理地使用材料,乃是工程材料学的任务。

4. 工程材料课程的目的和基本要求

工程材料是材料学中的重要部分,作为机械制造基础中的系列课程之一,是高等学校机类及近机类专业必修的技术基础课。学习本课程的目的:获得有关工程材料的基础理论和必要的工艺知识,培养工艺分析的初步能力,掌握和运用常用工程材料的种类、成分、组织、性能和改进方法,理解和应用材料的性能、结构、工艺、使用之间的关系规律,合理使用材料和正确选择加工工艺。

学习本课程的基本要求是:了解工程材料的性能、纯金属及合金的结构和性能、二元合金相图的建立和含义、铁碳合金相图;熟悉热处理组织转变规律,掌握普通热处理和表面热处理的特点和应用;掌握常用钢铁材料和其他金属材料的特点及应用;熟悉非金属材料特性及应用;了解零件的主要失效形式;熟悉选材原则,合理选用材料和相应的热处理工艺。

第 1 章 材料的性能

典型案例

组成一台机器的众多零件,都是由多种材料制造的。显然,这些零件并不是由一种材料制造的。对于不同的零件,应依据其设计功能和工作条件的不同选用不同的材料;即使是同一种材料,人们也可能会依据其功能、工况的不同而将其付诸不同的加工方式。那么,选材的依据是什么呢?满足使用性能是选材时首先要考虑的。例如,起重机钢丝绳及吊钩承受拉伸应力,选材时应考虑拉伸强度;汽车传动轴承受扭矩和剪切应力,选材时应考虑刚度和剪切强度;齿轮心部及齿根部承受剪切应力,而齿部表面承受磨损,这就要求齿轮心部韧性好、齿部耐磨性好;石油化工的储存和输送设备以及航海舰船壳体处于腐蚀介质中,选材时应考虑耐蚀性,等等。所有这些选材时考虑的因素都涉及材料的固有特性——使用性能。使用性能是指为保证零件能正常工作和有一定工作寿命材料应具备的性能,它包括力学性能、物理性能和化学性能。其中,力学性能在机械零件和工具中为主要的性能。所谓力学性能,是指材料抵抗外力作用所显示的性能,包括强度、刚度、塑性、硬度、冲击韧度、疲劳强度等,它们是通过标准试验测定的。如果选材时满足了使用性能,那么还要考虑材料是否容易加工。如果制造困难或制造成本太高,那么这种选材方案就未必可行。因此选材时还应考虑材料的工艺性能。所谓工艺性能,是指为保证材料的加工能顺利进行其应具备的性能,它包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理工艺性能等。通过本章学习,可了解上述关于材料特性的各种评定指标。

1.1 静态力学性能

1.1.1 拉伸试验和应力-应变曲线

拉伸试验是测定材料强度与塑性最常用的试验方法。试验在拉伸试验机上进行,试验过程中必须保证试样上所施加的载荷是静态的,且应使试样内部的应力均匀分布。按国标 GB 6397—1986 制作标准拉伸试样,在试验机上缓慢地从试样两端由零开始加载使之承受轴向拉力 P ,并引起试样沿轴向伸长 $\Delta L (=L_1 - L_0)$,直至试样断裂。为消除试样

尺寸大小的影响,将拉力 P 除以试样原始截面积 A_0 ,即得拉应力 σ ,其单位为 MPa;将伸长量 ΔL 除以试样原始长度 L_0 ,即得应变 ϵ 。以 σ 为纵坐标,以 ϵ 为横坐标,则可画出应力-应变曲线(σ - ϵ 曲线),如图 1-1 所示。从 σ - ϵ 曲线中可获取被测材料的一些性能信息,如弹性、强度、塑性等。

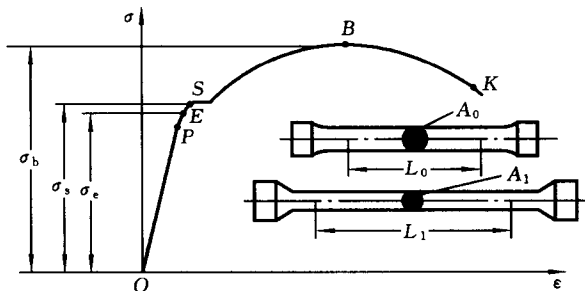


图 1-1 拉伸试样及低碳钢的 σ - ϵ 曲线

1. 弹性和刚度

σ - ϵ 曲线中开始一段为直线。在这一段的加载过程中,若中途卸除载荷,则试样即恢复原状,这种不产生永久变形的能力称为弹性(elasticity)。 σ - ϵ 曲线中直线部分的斜率 E 称为**弹性模量**,其数值单位为 MPa。此值仅与材料有关,反映了材料抵抗弹性变形能力的大小,即**刚度**(rigidity)。 E 愈大,则弹性越小,刚度愈大;反之, E 愈小,则弹性越大,刚度愈小。

材料在使用中,如刚度不足,则会由于发生过大的弹性变形而失效。

2. 强度和塑性

1) 弹性极限

试样不产生永久变形的最大应力称为**弹性极限**(elastic limit),以 σ_e 表示。

2) 屈服强度

如图 1-1 所示,当载荷增加到 S 点时曲线转为一水平段,即应力不增加而变形继续增加,这种现象称为“屈服”。此时若卸载,试样不能恢复原状而是保留一部分残余的变形,这种不能恢复的残余变形称为塑性变形。试样产生屈服时的应力称为**屈服强度**(yield limit),或称为屈服点,以 σ_s 表示。对大多数零件而言,塑性变形就意味着零件脱离了设计尺寸和公差的要求。

有许多金属材料没有明显的屈服现象。按国标 GB 228—1987 规定,可以以材料在卸除载荷后标距部分残余伸长率达到规定数值时的应力来表示。通常规定使试样残余伸长率为 0.2% 时的应力作为**条件屈服强度**,以 $\sigma_{0.2}$ 表示。

机械零件在工作状态下一般不允许产生明显的塑性变形,因此 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ 是机械零件设计和选材的主要依据,以此来确定材料的许用应力。

3) 抗拉强度

应力超过屈服点时,整个试样发生均匀而显著的塑性变形。当达到 B 点时,试样开始局部变细,出现“颈缩”现象。此后,试样截面积显著减小而不足以抵抗外力的作用,在 K 点发生断裂。断裂前的最大应力称为抗拉强度(tensile strength),以 σ_b 表示。它反映了材料产生最大均匀变形的抗力。 σ_b (MPa)可用下式计算:

$$\sigma_b = \frac{P_b}{A_0} \quad (1-1)$$

式中: P_b ——试样断裂时受到的轴向拉力(N);

A_0 ——试样的原始截面积(mm^2)。

4) 塑性

材料在外力作用下产生塑性变形而不断裂的能力称为塑性(plasticity)。塑性大小用伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 来表示,即

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中: L_0 ——试样的标距原长(mm);

L_1 ——试样拉断后的标距长度(mm);

A_1 ——试样拉断后颈缩处的最小横截面积(mm^2)。

δ 、 ψ 愈大,材料塑性愈好,由于伸长率值与试样尺寸有关,因此,比较伸长率时要注意试样规格的统一。

一方面,材料具有一定的塑性才能进行各种变形加工;另一方面,材料具有一定塑性可以提高零件使用的可靠性,防止突然断裂。

图 1-1 所示的是低碳钢的 σ - ϵ 曲线,并非所有材料都有类似的曲线形状。塑性好的材料,曲线塑性变形阶段较长,而脆性材料则几乎没有塑性变形。图 1-2 所示的为铜和铸铁的 σ - ϵ 曲线形式。铜是塑性材料,曲线阶段较长,且不出现明显的屈服段。铸铁属脆性



图 1-2 铜和铸铁的 σ - ϵ 曲线

(a) 铜; (b) 铸铁