



高等院校十一五机械类统编教材

工程材料

于庆波 主编
乔志霞 张建梅 副主编



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

高等院校十一五机械类统编教材

工 程 材 料

于庆波 主编

乔志霞 张建梅 副主编

夏晓雷 杨峰 彭彩欣 参编

倪宏昕 主审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书为机械类及近机类本科专业基础课教学用书,全书在论述材料科学基础知识的同时,避开了繁冗的细节,更注重其技术性与实用性。

全书共分6章,第1章为绪论;第2章为金属材料的性能;第3章为金属学基础;第4章为钢的热处理;第5章为金属材料及其选用;第6章为常用非金属材料。为了更好地掌握书中所讲述的内容,培养分析和解决实际问题的能力,在每章后都附有一定数量的思考题。

本书可作为普通高等学校机械类专业本科生的教学用书,也可供有关工程技术人员参考。

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 / 于庆波主编. —北京: 电子工业出版社, 2009.3

高等院校十一五机械类统编教材

ISBN 978-7-121-08243-6

I. 工… II. 于… 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 015886 号

策划编辑: 田领红

责任编辑: 徐 静 范子瑜 特约编辑: 徐 岩

印 刷: 北京市顺义兴华印刷厂

装 订: 三河市双峰印刷装订有限公司

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: 13.5 字数: 344 千字

印 次: 2009 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 25.00 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 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

《高等院校十一五机械类统编教材》

编委会名单

顾 问：范顺成

主 任：张明路

副主任（按姓氏笔画）：金国光

唐贵基

赵新华

路春光

钱东平

委 员（按姓氏笔画）：马跃进

关玉明

杨传民

王怀明

刘恩福

段星光

尹明富

范孝良

徐安平

出版说明

“工欲善其事，必先利其器”。教材建设是高等学校提高教学质量的重要环节，也是一项具有战略性的基本建设。近几年来，我国各高等学校实施了一系列面向 21 世纪教学改革计划，在教学内容和课程体系改革上取得了丰硕的成果，因此，需要适时地将教改成果物化为教材出版，以促进教改成果的实施和推广。

电子工业出版社作为国家级科技与教育出版社，始终关注着我国高等工程教育的改革和发展方向，始终把出版适应我国高等学校发展要求的高质量精品教材放在重要位置。多年来，我社出版了一系列特色鲜明的教材，为我国的高等教育做出了一定的贡献。随着科学技术的发展，学科领域相互渗透、融合，为适应这一特点，我社努力拓展出版领域，并希望通过出版多学科、多领域所需的高质量教材，进一步提升出版质量，更好地为培养高素质人才服务。

迄今为止，高等工程教育已培养了数百万工程专门人才，为社会、经济和科技的发展做出了巨大贡献。但 IMD1998 年的调查显示，我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标世界排名第 36 位，与我国科技人员的总数和制造业地位形成明显反差。这表明适于工程一线的应用型技术人才供给不足。

基于上述考虑，经过一年多的调研，并征求多方意见，根据国内高等院校机电类专业的发展现状，我社组织编写了《高等院校十一五机械类统编教材》，教材定位于地方工科高校，以应用型、研究应用型人才培养为主，以适应经济、社会发展对工程教育的新要求，满足“厚基础、强能力、高素质”的工程应用型本科人才培养的需要。

与以往出版的同类教材相比，这套教材具有以下特点。

(1) 专业特色鲜明：以地方工科院校本科机电类专业的专业课程教材为主线，兼顾其他相关选修专业课程。

(2) 突出系统性：本套规划教材覆盖了本科机电类专业的基础课、专业方向课及专业选修课，形成了一个完整的教材系列。同时，注意教材之间内容的合理划分与衔接，层次分明，重点突出，各高校可以根据需要组合选用。

(3) 体系、内容新颖：整个知识结构建立在“高”、“新”平台上。基本理论阐述精练，深入浅出，便于自学；注意吸收新理论、新技术成果在人才培养中的作用；加强实践性与应用性，结合实例进行讲解。

(4) 配套教学支持：多数教材配有教学课件（电子教案），部分重要课程配套出版了教学辅导书或实验教材。

为做好本套教材的出版工作，本丛书成立教材编委会，并聘请了多位高等工程教育、学科领域的著名专家、教授作为教材顾问，从根本上保证了本系列教材的高质量。在此，对他们的辛勤工作也表示衷心的感谢。

今后，我社将进一步加强与各高校教师的密切联系和合作，广泛听取一线教师对教材的反馈意见 and 建议，以便使我们的教材出版工作做得更好。

电子工业出版社

2006 年 7 月

前 言

在机械设计及制造过程中,材料的选择与使用、热处理工艺、常见的失效形式都是机械工程技术人员必须具备的基本技能,这种技能的培养是“工程材料”课程的主要任务和目标。同时,“工程材料”作为高等工科机械类专业的技术基础课,也为机械类专业学生毕业后从事产品设计、制造和维修工作奠定基础。

本书有以下特点:

- (1) 所有力学性能参数的符号均采用国家最新标准,与生产实际相一致;
- (2) 注重材料与机械工程实际的联系与交叉,全书在保证满足教学基本要求的前提下,避免过多的理论分析,更注重实用性和针对性;
- (3) 为了使學生能够掌握所学内容,培养分析和解决实际问题的能力,在每章后都附有一定数量的思考题。

本书可作为高等工科院校机械类及近机类专业的教材,也可供有关工程技术人员参考。在教学过程中可结合专业的具体情况进行调整,有些内容可供学生自学。

全书共分6章,第1章由徐州工程学院于庆波编写,第2章由河北师范大学彭彩欣编写,第3章由徐州工程学院夏晓雷编写,第4章由徐州工程学院杨峰编写,第5章由天津商业大学乔志霞编写,第6章由常州工程学院张建梅编写。于庆波担任主编并对全书进行统稿,乔志霞、张建梅担任副主编,夏晓雷、杨峰、彭彩欣参编。全书由徐州工程学院倪宏昕教授主审。

同时感谢“江苏省高校自然科学研究计划项目(08KJD460012)”对本书的支持。

本书编写力求适应高等教育的改革和发展,但由于材料科学的发展日新月异,加之作者水平有限,错误和疏漏之处在所难免,敬请指正。

编 者

2009年1月

目 录

第1章 绪论	(1)
第2章 金属材料的性能	(4)
2.1 金属材料的力学性能	(4)
2.1.1 金属材料在静载荷作用下的性能	(4)
2.1.2 金属材料在冲击载荷作用下的性能	(8)
2.1.3 金属材料在交变载荷作用下的性能	(9)
2.1.4 金属材料的缺口效应与断裂韧性	(10)
2.2 金属材料的物理性能和化学性能	(10)
2.2.1 金属材料的物理性能	(10)
2.2.2 金属材料的化学性能	(11)
2.3 金属材料的工艺性能	(12)
复习思考题	(12)
第3章 金属学基础	(14)
3.1 金属的晶体结构与结晶	(14)
3.1.1 纯金属的晶体结构	(14)
3.1.2 实际金属中的晶体缺陷	(16)
3.1.3 纯金属的结晶	(18)
3.2 合金的相结构与结晶	(21)
3.2.1 合金的相结构	(21)
3.2.2 合金的结晶与相图	(22)
3.2.3 铁碳合金相图及应用	(27)
3.3 塑性变形与金属的性能	(35)
3.3.1 金属的塑性变形	(35)
3.3.2 金属的回复和再结晶	(36)
3.3.3 热加工对金属材料的组织和性能影响	(38)
复习思考题	(38)
第4章 钢的热处理	(40)
4.1 金属热处理概述	(40)
4.1.1 热处理的作用	(40)
4.1.2 热处理工艺的基本要素	(41)
4.1.3 热处理的基本类型	(41)
4.1.4 钢的临界转变温度	(41)
4.2 钢的热处理原理	(42)
4.2.1 钢在加热时的转变	(42)

4.2.2	钢在冷却时的转变	(46)
4.2.3	钢的回火转变	(55)
4.3	钢的普通热处理	(56)
4.3.1	退火	(56)
4.3.2	正火	(58)
4.3.3	淬火	(59)
4.3.4	回火	(64)
4.4	表面热处理工艺	(67)
4.4.1	表面淬火	(67)
4.4.2	化学热处理	(69)
	复习思考题	(73)
第5章	金属材料及其选用	(75)
5.1	碳钢	(75)
5.1.1	碳钢常存元素及碳钢分类	(75)
5.1.2	碳素结构钢及碳素工具钢	(77)
5.2	合金钢	(82)
5.2.1	钢的合金化	(82)
5.2.2	合金结构钢	(87)
5.2.3	合金工具钢	(100)
5.2.4	特殊性能钢	(114)
5.3	铸铁	(122)
5.3.1	铸铁的石墨化	(122)
5.3.2	铸铁的种类及应用	(125)
5.4	有色金属及合金	(135)
5.4.1	铝及铝合金	(135)
5.4.2	铜及铜合金	(143)
5.4.3	轴承合金	(152)
5.5	机械零件的失效与选材原则	(156)
5.5.1	机械零件的失效与失效分析	(156)
5.5.2	机械零件选材原则	(160)
5.5.3	典型零件的选材及工艺路线设计	(165)
	复习思考题	(176)
第6章	常用非金属材料	(178)
6.1	高分子材料	(178)
6.1.1	高分子材料的发展史	(178)
6.1.2	高分子聚合物结构特点与性能	(179)
6.1.3	塑料	(188)
6.1.4	橡胶	(197)
6.1.5	纤维材料	(200)
6.2	陶瓷材料	(201)
6.2.1	陶瓷材料的特性	(202)

6.2.2 陶瓷分类及常用陶瓷简介	(203)
6.3 复合材料	(205)
6.3.1 复合材料性能特点	(205)
6.3.2 复合材料的分类	(206)
6.3.3 复合材料的发展	(206)
复习思考题	(207)
参考文献	(208)

第1章 绪 论

材料是人类用以制造生产或生活中的物品、器件、工件、机器或其他产品的物质。随着人类的出现,材料也随之出现,并对人类的生存和发展有着深刻的影响,而且人类的文明史(石器时代、铜器时代和铁器时代)就是按当时制作工具所用材料而命名的。由此可见,人类社会的发展史也是一部材料的发展史。如今,材料更是现代文明的重要标志,是发展高新技术的基础和先导,它与能源、信息被誉为现代科学和现代文明的三大支柱,在这三者中间,材料又是最重要的基础。

材料作为一门科学,它的发展大致经过冶金学、金相学、物理冶金学等几个阶段,它所研究的内容包括材料的成分、制备、组织、性能之间的关系及其变化规律。其中,材料的制备着重研究获取材料的手段,它以工艺技术的进步为标志;成分与组织结构反映材料的本质,是认识的基础;材料的使用性能是以材料的加工和使用寿命来衡量,它往往成为材料研究的最终目标。

材料种类繁多,分类方法也不相同。按其性能特点可分为结构材料和功能材料。结构材料主要以力学性能为主,兼有一定的物理、化学性能,如热导率、耐腐蚀、抗氧化等;功能材料是以特殊的物理、化学或生物性能为主,如电、磁、光、热、声学、生物等功能。结构材料用量极大,是当代社会中使用的主要材料;功能材料目前用量虽小,却是高新技术的关键,是知识密集、技术密集、附加值高的材料。

材料还可分为传统材料与新型材料。传统材料是指那些已成熟且在工业中已批量生产并大量应用的材料,如钢铁、水泥、塑料等。因为这类材料使用量大、应用面广,而且又是很多支柱产业的基础,所以又被称为基础材料。新型材料是指那些正在发展,且具有优异性能和应用前景的一类材料,如太阳能电池材料、纳米材料、低铁损的非晶态磁性合金、高临界温度的超导材料等。

工程上根据材料的物理化学性质将材料分为金属材料、无机非金属材料、高分子材料、复合材料四大类。

(1) 金属材料

金属材料是使用量最大、用途最广的材料,它包括有色金属和黑色金属两大类型。有色金属主要包括铝合金、镁合金、铜合金、钛合金等;黑色金属是指铁及铁基合金材料,主要是钢铁材料。铁是地球上蕴藏丰富且廉价的金属元素,并且是所有产业不可欠缺的基础材料,其产品用途广泛、种类繁多。因此,可以说,没有钢铁就不会有现代社会。钢铁是由铁矿石提炼出来的,经热加工后可制成各种制品,其切削加工品或使用过的旧品变成废钢,废钢可以无限次循环使用,并且不会污染环境。钢铁工业的发展水平是衡量一个国家综合国力的重要标志,美国、日本、西欧等经济发达国家都经历了以钢铁为支柱产业的发展阶段。我国历来重视钢铁工业的发展,新中国成立五十多年来,我国的钢铁工业取得



了巨大的成就。1949年我国的钢铁产量只有15.8万吨，居世界第26位，仅是当时世界钢铁年总产量的0.1%。但在这之后的几个五年计划期间，我国钢铁工业快速发展，1978年我国钢产量达到3178万吨，居世界第五位，占当年世界钢铁产量的4.42%。20世纪90年代以来，中国钢铁工业更是飞速发展，特别是1996年粗钢首次超过一亿吨大关，跃居世界第一。而且，在2007年我国的粗钢已经达到4.89亿吨，占世界钢铁年总产量的37.6%，并连续11年排名世界第一。中国钢铁工业发展到今天，已从过去“量”的增长变为如今“质”的提高与深化。另外，我国在1998年年末启动了“新一代钢铁材料重大基础研究(973)”项目，其技术思想是提高钢的洁净度，改善钢的均匀性，细化钢的晶粒和组织，即利用钢的晶粒细化、成分的纯净化和均匀化，在不加任何元素的情况下，使目前大量使用的碳素钢（强度为200MPa）、低合金钢（强度为400MPa）和合金钢（强度为800MPa）的强度翻了一番。目前，该计划已经基本完成，并且取得了显著的经济效益。因此，我国工程院院士指出：“中国钢铁工业是中国为数不多的可望成为世界上具有竞争力的行业之一。”

客观地说，20世纪50年代之前，金属材料占绝对优势，在这之后，由于其他材料的迅速崛起和发展，金属材料的地位有所下降，比如钢铁材料已经走过了最辉煌的时代，但钢铁绝不是“夕阳材料”。正如世界著名材料学家柯垂耳（A.H.Cottrell）在题为“我们还将继续使用金属及合金吗？”的结束语中所说：“我们将继续使用金属及合金，特别是钢，我们的孩子和孙子也将会这样。”

（2）无机非金属材料

无机非金属材料是以某些元素的氧化物、碳化物、氮化物、硼化物以及硅酸盐、铝酸盐、磷酸盐、硼酸盐等物质组成的材料，具有高熔点、高硬度、耐腐蚀、耐磨损、高强度和良好的抗氧化性等性质。

无机非金属材料品种繁多，用途各异，通常把它们分为传统和新型两大类。传统无机非金属材料是工业和基本建设所必需的基础材料，如水泥、各种规格的平板玻璃、仪器玻璃和普通的光学玻璃，以及日用陶瓷、卫生陶瓷、建筑陶瓷、化工陶瓷等。新型无机非金属材料是20世纪中后期发展起来的，具有特殊性能和用途的材料，它们是现代新技术、新产业、现代国防和生物医学所不可缺少的物质基础。新型无机非金属材料主要包括先进陶瓷、非晶体态材料、人工晶体、无机涂层、无机纤维等。

无机非金属材料的原料资源丰富，成本低廉，大多数无机非金属材料是用硅酸盐原料制成的。我国硅酸盐原料（高岭土、黏土、砂等）储量充足，再加上有丰富的石灰石、石膏，这些条件对生产和制作无机非金属材料是十分重要的。另外，无机非金属材料与金属材料有许多相似之处，如马氏体相变本是金属学家提出来的，主要是用来提高钢的强度，但在氧化锆陶瓷材料中也发现了马氏体相变现象，后来该方法也成为提高陶瓷材料韧性的有效手段。可见，不同类型材料只有相互借鉴，才能共同发展。

（3）高分子材料

高分子材料是材料领域之中的后起之秀，它的出现带来材料领域的重大变革，从而形成金属材料、无机材料、高分子材料和复合材料共存的格局。随着高分子材料科学的建立以及石油化工的蓬勃兴起，形成了庞大的高分子材料工业。高分子材料在尖端技术、国防建设和国民经济各个领域得到了广泛的应用，现已成为现代社会生活中衣、食、住、行各



个方面所不可缺少的材料。高分子材料具有原料丰富、制造方便、加工容易、节省能源和投资效益显著等优点,因此它在材料领域中的地位日益突出,所占份额也越来越大。

高分子材料是以高分子化合物为基材的一大类材料的总称。高分子化合物的最大特点是相对分子量很大,其每个分子可含有几千、几万甚至几十万个原子。由于其分子量大,所以相对于低分子化合物而言,高分子化合物大多具有一定的强度和弹性。高分子材料最基本的特性是具有高的比强度和比刚度,可代替金属。另外,它还具有美观、质轻、防腐、隔热、绝缘、消音、减震等特点。

高分子化合物可分为合成高分子化合物和天然高分子化合物两大类。合成高分子化合物是指从结构和分子量都已知的小分子原料出发,通过一定的化学反应和聚合方法合成的聚合物。合成高分子材料主要有橡胶、纤维、塑料三大类,通常称为三大合成材料。天然高分子化合物又分为无机高分子和有机高分子化合物:天然无机高分子化合物如石棉、石墨、金刚石、云母等;天然有机高分子化合物都是在生物体内制造出来的,如动物的毛、皮、骨、爪以及植物的纤维素等。

(4) 复合材料

复合材料是指用适当方法将两种或两种以上不同性质的材料组合在一起构成的比其组成材料更优异的一类新型材料。人类在 6000 年前就知道用稻草与泥巴混合垒墙,这是早期人工制备的复合材料,这种用泥土掺麦秸、稻草制土坯砌墙盖房的方法目前在一些贫穷的农村仍然沿用。现如今人们用混凝土盖房子,而混凝土是由水泥、沙、石制成,也是复合材料。由此可见,复合材料与人们的生活密切相关。

复合材料与一般材料的简单混合有本质的区别,其性能不是各组分材料性能的简单叠加,而是各组分之间“取长补短”、“协同作用”,既保留了原有组分材料的优点,又克服或弥补了单一材料的不足。复合材料是由基体和增强物两个部分组成,通常将其中连续分布的组分称为基体,如聚合物基体、金属基体、陶瓷基体;而将纤维、颗粒等分散在基体中的组分称为增强体。通过不同的基体材料和增强物组合,可得到品种繁多的复合材料。复合材料的主要特点是高比强度、高比模量、各向异性和可设计性、抗疲劳性、成形性好等特点。目前,航空、航天等军工企业对复合材料的研究与发展起到了巨大的推动作用,而电子、汽车等民用工业的迅速发展又为各种类型复合材料的应用提供了广阔的空间。毫无疑问,对复合材料的研究已经成为当代材料领域一个重要发展方向,占据越来越重要的地位。

“工程材料”是机械工程类专业一门十分重要的基础课程,通过该课程的学习可以使学生掌握各种材料的共性基本理论及其性能特点。作为一名机械工程技术人员,无论其工作性质是侧重于设计还是制造,都必然要面对工程材料的选择和使用。因为在设计及制造过程中,不仅要确定产品及零部件的结构,还必须同时确定所选用的材料及相应的加工方法。而每一个零件都要选择相应化学成分的材料来满足其性能要求,但每种材料的性能又不是一成不变的,它又取决于材料的组织结构,凡能改变组织结构的加工必然改变材料的性能。因此,结构设计、材料选择、加工工艺成为相互关联的综合性技术问题,不能把它们割裂开来,孤立地予以解决。所以,工程材料是机械设计及制造的重要基础,只有掌握材料成分、组织与性能的关系,才能更好地进行创造性的设计和制造工作。

第2章 金属材料的性能

金属材料的品种很多,正确选材是机械设计的重要任务之一。金属材料的性能可分为使用性能和工艺性能两大类。使用性能是指材料在使用过程中所表现的性能,包括力学性能、物理性能和化学性能。工艺性能是指材料在加工过程中所表现的性能,包括铸造、锻压、焊接、热处理和切削性能等。工艺性能决定了材料和零部件的生产方法。

2.1 金属材料的力学性能

材料受外力作用时所表现的性能称为力学性能,力学性能指标是零件设计计算、材料选择、工艺评定和材料检验的主要依据。材料在外力作用下发生的尺寸和形状的变化称为变形,外力去除后能够恢复的变形称为弹性变形,外力去除后不能够恢复的变形称为塑性变形。

2.1.1 金属材料在静载荷作用下的性能

静载荷是不随时间变化的载荷或变化较慢的载荷,螺栓、钢丝绳、千斤顶等都是在静载荷下工作的。

1. 拉伸试验

材料在静载荷作用下的性能指标弹性、刚度、强度及塑性是按国家标准 GB/228—2002 “金属材料室温拉伸试验方法”测定的。横截面为圆形的标准拉伸试样如图 2-1 所示。用拉伸试验机在试样两端缓慢地施加轴向拉力 F , 试样将经过弹性变形、塑性变形、断裂三个阶段。试样承受的拉力 F 与试样原始横截面积 S_0 之比为应力 R , 单位为 N/mm^2 。测出原始标距增量 $\Delta L = L - L_0$, 式中 L_0 为原始标距, 原始标距增量 ΔL 与原始标距 L_0 之比为应变 ε , 则得到应力 R 和应变 ε 曲线, 如图 2-2 所示。

2. 弹性与刚度

如图 2-2 所示, Oe 段为弹性变形阶段, 外力去除后变形消失。 e 点所对应的应力为材料承受最大弹性变形时的应力, 称为弹性极限 R_e 。对于弹簧等不允许产生微量塑性变形的零件, 设计时以 R_e 为依据。

在弹性变形范围内, 应力与应变的比值, 称为弹性模量 E , 单位为 N/mm^2 。弹性模量表征材料对弹性变形的抗力, 主要取决于金属材料的本性, 除随温度升高而逐渐降低外, 热处理、合金化、冷、热加工等对弹性模量的影响很小。

刚度是材料抵抗弹性变形的难易程度, 大多数的机械零件都是在弹性状态下工作的,



若刚度不足,则将发生过量的弹性变形而失效。可以通过增加横截面积或改变截面形状的方法来提高零件的刚度。

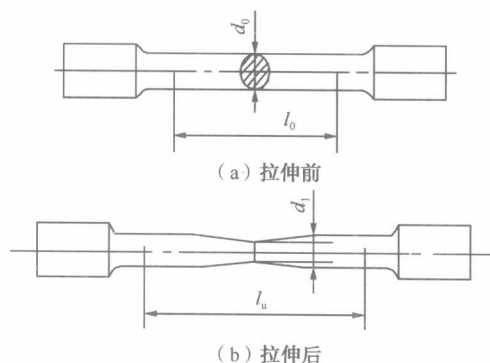


图 2-1 标准拉伸试样(圆柱形)

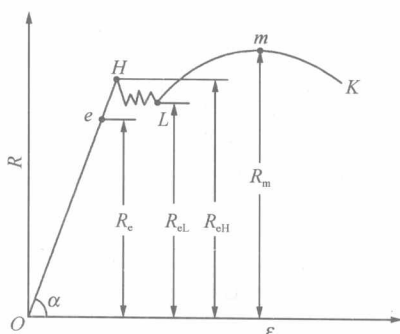


图 2-2 低碳钢应力-应变曲线

3. 强度

材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力称为强度。由于载荷的作用方式有拉伸、压缩、弯曲、扭转、剪切等形式,相应的强度指标为屈服强度、抗拉强度、抗压强度、弯曲强度、抗扭强度、剪切强度等。

(1) 屈服强度

如图 2-2 所示,其中出现一屈服平台,即试样在此时发生微量的塑性变形而应力不增加,这种现象称为屈服,屈服时所对应的应力称为屈服强度。试样发生屈服时应力首次下降前的最高应力称为上屈服强度 R_{eH} ,屈服期间不计初始瞬时效应时的最低应力称为下屈服强度 R_{eL} 。上屈服强度对微小应力集中、试样偏心等因素很敏感,数值分散性大,因而常用下屈服强度作为零件设计时许用应力选用的依据。

(2) 抗拉强度

如图 2-2 所示,当应力超过屈服强度时,试样各部分伸长量基本一致,随应力的增加,塑性变形增大,这种现象叫做形变强化或加工硬化。变形超过 m 点后,试样的某一部位截面积急剧缩小,即出现“缩颈”。随应变增加,应力下降,变形主要集中在颈部,最后在“缩颈”处断裂。 m 点对应的为抗拉强度 R_m ,抗拉强度是材料断裂前所承受的最大应力值, R_m 用下式计算:

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

对于铸铁等脆性材料,设计时以抗拉强度作为依据。

4. 塑性

材料受力破坏前可承受最大塑性变形的能力称为塑性。塑性指标为断后伸长率 A 和断面收缩率 Z 。断后伸长率 A 为断后标距的残余伸长 $L_u - L_0$ 与原始标距 L_0 之比。断面收缩率 Z 为断裂后试样横截面积的最大缩减量 $S_0 - S_u$ 与原始横截面积 S_0 之比,即



$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\%$$

式中， S_0 为原始横截面积； S_u 为断后最小横截面积； L_u 为断后标距； L_0 为原始标距。

A 和 Z 值愈大，材料的塑性愈好。塑性好的材料易于进行压力加工（如锻造、轧制、冲压），可产生塑性变形，防止突然断裂，在一定程度上保证了零件的工作安全。本章中的符号与单位均采用 GB/T228—2002 的标准，新旧标准的性能名称及其符号对照见表 2-1。

表 2-1 新旧标准的性能名称及其符号对照

新标准 GB/T228—2002		旧标准 GB/T228—1987	
性能名称	符号	性能名称	符号
弹性极限	R_e	弹性极限	σ_e
—	—	屈服点	σ_s
上屈服强度	R_{eH}	上屈服强度	σ_{sU}
下屈服强度	R_{eL}	下屈服强度	σ_{sL}
抗拉强度	R_m	抗拉强度	σ_b
断后伸长率	A	断后伸长率	δ_5
断面收缩率	Z	断面收缩率	ψ

5. 硬度

硬度是材料抵抗其他更硬物体压入其表面的能力，是材料抵抗表面局部塑性变形的能力。硬度值是衡量材料软硬程度的判据。常用金属材料的硬度，是在硬度计上用压入法测量的，如布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度。

硬度试验设备简单，操作迅速方便，不需要专门制备试样，无论是脆性材料还是塑性材料，均可采用此方法测定其硬度。硬度测定由于仅在金属表面局部体积内产生很小压痕，也不破坏被测试的工件。因此，在工业生产中，被广泛应用于产品质量及成品的检验。因而在机械零件设计图纸上对机械性能的技术要求，往往只标注硬度值。

(1) 布氏硬度

布氏硬度的测试原理如图 2-3 所示。在外力的作用下迫使钢球压向工件表面，并形成凹痕。布氏硬度 HB 按下式计算：

$$HBW = \frac{\text{所加试验力}}{\text{压痕的表面积}}$$

式中，HBW 的单位为 N/mm^2 。

由于布氏硬度试验的钢球为淬火钢球，当测试较硬材料时易于引起钢球的变形，影响测量的准确性。因而布氏硬度试验适用于测量退火钢、正火钢、铸铁和有色金属等较软材



料,有效值小于 450HBS。当被测量材料较硬时,可以使用硬度更高的硬质合金球,并以 HBW 表示。布氏硬度试验的压痕面积较大,测试结果的重复性较好。

(2) 洛氏硬度

洛氏硬度试验是目前应用最广泛的试验方法。与布氏硬度一样,洛氏硬度也是一种硬度试验,但它不是测定压痕的面积,而是测量压痕的深度,以深度的大小表示材料的硬度值。洛氏硬度原理如图 2-4 所示。洛氏硬度试验的压头采用锥角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 的淬火钢球。载荷分两次施加,先加初载荷 P_1 ,再加主载荷 P_2 ,其总载荷为 P ($P=P_1+P_2$)。

如图 2-4 所示的 0-0 为金刚石压头没有和试样接触时的位置;1-1 为压头受到初载荷 P_1 后压入试样深度为 h_0 的位置;2-2 为压头在 1-1 的基础上受到主载荷 P_2 后压入试样深度为 h_1 的位置;3-3 为压头卸除主载荷 P_2 后但仍然保留初载荷 P_1 下的位置,由于试样弹性变形的恢复,压头位置提高了 h_2 。此时,压头受到主载荷 P_2 作用压入的深度为 h ,用 h 值的大小来衡量材料的硬度。金属越硬,压痕深度越小;金属越软,压痕深度越大。

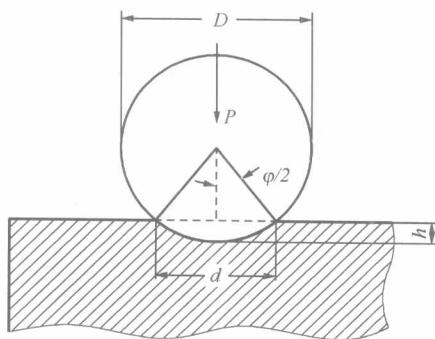


图 2-3 布氏硬度试验原理图

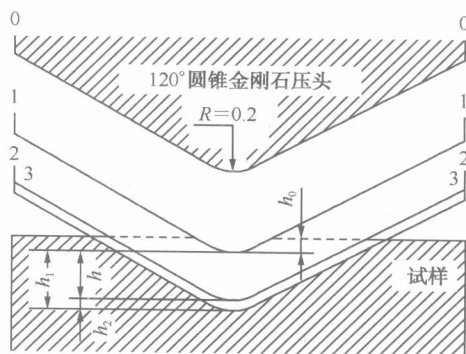


图 2-4 洛氏硬度试验原理

金属越硬,压痕深度越小;金属越软,压痕深度越大。若直接以深度 h 作为硬度值,则出现硬的材料 h 值小,软的材料 h 值反而大的现象。为了适应人们习惯上数值越大硬度越高的概念,人为规定用一常数 k 减去压痕深度 h 作为硬度值,并规定每 0.002mm 为一个洛氏硬度单位,用符号 HR 表示,即

$$HR = (k - h) / 0.002$$

当使用金刚石圆锥压头时, k 取 0.2mm;当使用钢球压头时, k 取 0.26mm。采用不同的压头和载荷,可组合成几种不同的洛氏硬度标尺,每一种标尺用一个字母在 HR 后注明。我国最常用的标尺有 A、B、C 三种,其硬度值的符号分别用 HRA、HRB 和 HRC 表示。

(3) 维氏硬度

维氏硬度的试验原理基本上和布氏硬度相同,如图 2-5 所示。用相对面夹角为 136° 正四棱锥体金刚石压头,在规定载荷 P 作用下压入被测金属表面,保持一定时间后卸除载荷,用压痕单位面积上承受的力作为材料的维氏硬度值,维氏硬度值可通过测量压痕对角线长度 d 查表得到。维氏硬度用符号 HV 表示,符号前的数字表示硬度值。



维氏硬度法所用载荷小,压痕深度浅,适用于测量零件薄的表面硬化层、金属镀层及薄片金属的硬度。维氏硬度值是连续一致的标尺,可测量由极软到极硬的材料的硬度,其测定范围为 0~1000HV。

2.1.2 金属材料在冲击载荷作用下的性能

以很大速度作用于工件上的载荷称为冲击载荷,如冲床的冲头、锻锤的锤杆及锻模、内燃机的活塞销等零件,工作时受到冲击载荷的作用,应力分布与变形很不均匀。

冲击韧性是材料在冲击载荷作用下抵抗变形和断裂的能力。冲击韧性的测定采用摆锤式冲击试验机,如图 2-6 所示。在冲击试验中,将带缺口的标准冲击试样(如图 2-7 所示)放在试验机的两个支撑座上,试样缺口背向摆锤冲击方向,将重量为 G 的摆锤放至规定高度 H_1 ,落下时冲断试样,根据摆锤重量和冲击前后摆锤高度,可算出击断试样所耗冲击功 A_k ,试样缺口处单位横截面积上的冲击吸收功称为冲击韧性值,用 α_k 表示。

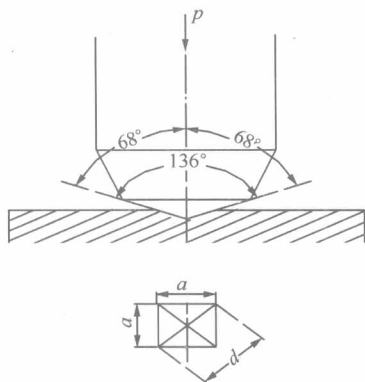


图 2-5 维氏硬度试验原理

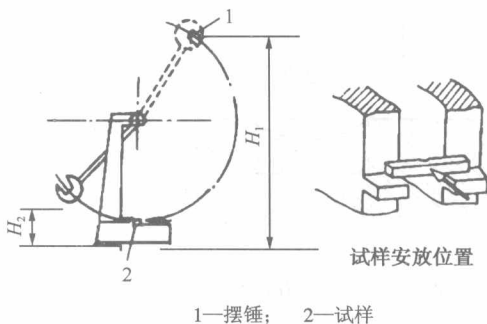
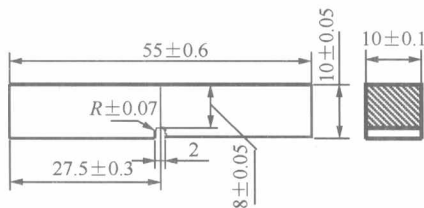
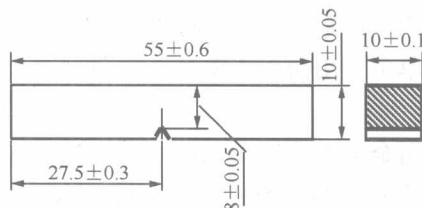


图 2-6 摆锤式冲击试验机



(a) U形冲击缺口试样



(b) V形冲击缺口试样

图 2-7 标准夏比冲击缺口试样

材料的冲击韧性随温度下降而下降。在某一温度范围内冲击韧性值急剧下降,这种现象称冷脆。冲击韧性值急剧下降的温度范围称冷脆转变温度,如图 2-8 所示。材料的使用温度若低于冷脆转变温度,材料将处于脆性状态,易发生低应力脆性破坏。细化钢的晶粒和减少钢的含碳量可降低其冷脆转变温度。具有面心立方晶格的金属及合金(如铝、铜合