

高职高专规划教材

工程材料 与成形工艺基础

苏德胜 张丽敏 主编 孟庆东 主审



化学工业出版社

高职高专规划教材

工程材料与成形工艺基础

苏德胜 张丽敏 主编
孟庆东 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是根据国家教育部制定的高等工科教育基础课程教学基本要求,以及新世纪科技发展对人才能力培养的要求及学科系统化和整体化发展的趋势编写而成。

学生通过对本课程的学习,能够了解或掌握各类常用工程材料的性能和应用、工程材料毛坯或制品的成形原理及其成形的工艺特点;具有根据毛坯或制品性能,正确选择成形方法和制定工艺及参数的初步能力;具备综合运用工艺知识分析零件结构工艺性的初步能力;了解有关新材料、新技术及其发展趋势,为学习其他有关课程及以后从事机械设计与制造方面的工作奠定必要的基础。

本教材是高职高专机械类、近机类专业的通用教材,也可作为职工大学、业余大学、函授大学的师生、高等教育自学考试和中等专业学校有关专业的教学用书,并可供有关科技和管理人员参考。使用教材时可结合各专业的具体情况进行调整。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料与成形工艺基础/苏德胜,张丽敏主编. —北京:化学工业出版社,2008.9
高职高专规划教材
ISBN 978-7-122-03511-0

I. 工… II. ①苏…②张… III. 工程材料-成型-工艺-高等学校:技术学院-教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 121077 号

责任编辑:王清颢
责任校对:郑捷

装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 装:三河市延风印装厂
787mm×1092mm 1/16 印张14 字数361千字 2008年9月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:28.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书是根据国家教育部制定的高等工科教育基础课程教学基本要求,以及新世纪科技发展对人才能力培养的要求及学科系统化和整体化发展的趋势,结合笔者多年的教学实践和教学内容、教学体系改革探索的成果编写而成的。

本教材注重与目前机械类专业少学时、宽口径、重技能的教学改革要求相联系,在保证教学内容基础性和实践性的原则下,以培养学生的创造性思维能力和解决实际问题的能力为主线。

本书是高职高专机械类、近机类专业的通用教材,也可作为职工大学、业余大学、函授大学的师生、高等教育自学考试和中等专业学校有关专业的教学用书,并可供有关科技和管理人员参考。使用教材时可结合各专业的具体情况进行调整,有些内容可供学生自学。

本书编写和使用中遵循以下原则。

(1) 课程教学要服从培养生产第一线技术应用型人才的专业培养总目标,坚持基础理论教学以应用为目的,以必需够用为度,以掌握概念、强化应用为教学重点。

(2) 为适应课内教学总学时数削减的要求,将工程材料与其成形工艺学合并,减少重复内容,根据各校专业教学改革经验,对原有课程理论内容进行适当调整(削减与补充)。

(3) 教材内容选取以生产第一线广泛使用的或近期能够推广使用的技术为主。与过去出版的金工教材相比,提高了对常用非金属材料 and 复合材料以及近年广泛应用的某些热加工工艺技术的教学要求,增加了上述工程材料及其成形工艺等方面的内容。

(4) 本教材尽力贯彻最新国家标准中各种技术术语、符号、数表和法定计量单位,积极采用《钢分类》等近年来颁布的一系列新标准,同时注意到由旧标准向新标准的过渡,故对习惯常用名词术语及分类方法与最新标准适当对照介绍。

(5) 由于各学校各专业的专业性质、培养目标不同,讲授时对本教材的内容可有所侧重或取舍。

另外,为配合本教材的出版,还制作了配套使用的电子课件。每章制作了“学习指导”和“复习题参考解答”(可由化学工业出版社网站 www.cip.com.cn 下载),大大方便了使用此教材广大的师生。这是本教材的一大特色。本课程中与专业课程重复的内容可以不讲,要求学生结合金工实习进行自学。

另外,每章后均设有“思考题与习题”,这是本教材的又一特色。我们认为思考与练习是高职、高专、职工大学、业余大学、函授大学教学中的必要环节,既是巩固、复习所学知识的手段,又是理论联系实际,便于自学、扩大知识面的措施。

参加本书编写的有苏德胜(绪论、第一~九章、第十二~十五章);张丽敏(第十章、第十九章、书中图、表的设计制作);高交运(第十七章、第十八章);高晓芳(第十一章);张庆新(第十六章)。滕腾(电子课件绘制)。

苏德胜、张丽敏任主编,并由苏德胜负责全书的统稿。

参加审稿的有孟庆东、赵海霞、付平,并由孟庆东教授任主审。

在编写过程中得到各位编者所在学校领导、老师的大力支持在此表示衷心的感谢。

本教材编写力求适应高等教育的改革与发展,但由于编者水平有限,难免有不足之处,敬请读者批评指正。

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 金属材料及热加工成形基础

* 第一章 金属材料的主要性能	4	一、铁碳合金状态图中点和线的意义 ...	21
第一节 金属材料的力学性能	4	二、铁碳合金结晶过程分析	22
一、强度	4	三、铁碳合金成分、组织与性能之间的	
二、塑性	7	关系	24
三、硬度	7	四、铁碳合金状态图的主要用途	25
* 四、冲击韧度	8	思考题与习题	25
第二节 材料的工艺性能	9	第四章 钢的热处理工艺基础	27
思考题与习题	10	第一节 概述	27
第二章 金属材料的结构	11	* 第二节 钢在加热、冷却时组织转变	28
第一节 固体材料的结构	11	一、钢的热处理基本原理	28
一、晶态结构	11	二、钢在冷却时的组织转变	29
二、非晶态结构	11	第三节 钢的普通热处理	32
第二节 金属晶体结构	11	一、钢的退火与正火	32
一、常见金属晶体的结构	11	二、钢的淬火与回火	33
二、实际金属的结构	12	第四节 钢的表面热处理	34
第三节 纯金属的结晶	12	一、钢的表面淬火	34
一、纯金属的结晶过程	13	二、化学热处理	35
二、细化晶粒的方法	14	* 第五节 热处理新工艺简介	37
三、金属的同素异构转变	14	一、可控气氛热处理	37
第四节 合金的晶体结构	14	二、形变热处理	37
一、固溶体	15	三、真空热处理	37
二、金属化合物	15	四、高能束热处理	37
三、机械混合物	15	思考题与习题	37
第五节 匀晶相图	15	第五章 工业用钢和铸铁	39
一、相图的建立	15	第一节 钢的冶炼和加工简介	39
二、相图分析	16	一、钢的制取	39
三、合金的平衡结晶过程	16	二、钢的型材加工	39
* 四、杠杆定律	16	第二节 碳钢	40
五、枝晶偏析	17	一、碳钢中的常见杂质元素及其作用 ...	40
* 第六节 共晶相图	18	二、碳钢的分类、牌号和用途	41
第七节 合金的结晶	18	第三节 合金钢	44
一、合金的结晶过程	18	一、合金元素的作用及合金钢分类和编号	
二、合金结晶的冷却曲线	19	方法	44
思考题与习题	19	二、合金结构钢	45
第三章 铁碳合金	20	三、合金工具钢	45
第一节 铁碳合金的基本组织	20	四、特殊性能钢	47
第二节 铁碳合金状态图	21	第四节 铸铁	47

思考题与习题	49	三、电焊条	83
第六章 有色金属	51	四、手弧焊工具	83
第一节 铝及铝合金	51	五、焊接工艺	84
一、工业纯铝	51	第二节 气焊	85
二、铝合金	51	一、气焊的实质、特点及应用	85
第二节 铜及铜合金	54	二、气焊工艺	86
一、工业纯铜	54	第三节 其他常用焊接方法	87
二、铜合金	54	一、埋弧焊	87
三、白铜	55	二、气体保护电弧焊	87
第三节 滑动轴承合金	55	三、电渣焊	88
* 第四节 粉末冶金材料	57	四、等离子弧焊	88
一、粉末冶金的特点	57	五、电子束焊	89
二、常用粉末冶金材料	57	六、电阻焊	89
思考题与习题	59	七、激光焊	90
第七章 铸造	60	八、钎焊	90
第一节 砂型铸造工艺	60	第四节 常用金属材料的焊接	90
一、砂型铸造的工艺过程及特点	60	一、金属材料的焊接性	90
二、造型材料	60	二、钢的焊接	91
三、型(芯)砂的组成及配制过程	61	三、铸铁的焊补	92
四、模样及芯盒的制造	62	四、有色金属及其合金的焊接	92
五、造型工艺	62	五、焊接变形及焊接质量检验	93
六、造芯工艺	65	第五节 金属的切割	95
七、浇注系统与冒口	65	思考题与习题	96
八、铸型、型芯的烘干及合箱	65	第九章 金属压力加工	98
第二节 铸造工艺图	65	第一节 金属压力加工的基本原理	98
一、浇注位置的确定	66	一、金属塑性变形的实质	98
二、分型面的选择	66	二、金属塑性变形对金属组织和性能的影响	99
三、工艺参数的确定	66	* 第二节 金属锻造时的加热与冷却	101
第三节 合金的熔炼与浇注	67	一、锻造温度范围	101
一、合金的铸造性能	67	二、锻件的冷却	102
二、铸铁的熔炼与浇注	68	第三节 锻造	103
* 三、铸钢的熔炼与浇注简介	70	一、自由锻	103
* 四、有色铸造合金的熔炼与浇注简介	71	二、模型锻造	107
五、铸件的落砂、清理及常见缺陷	72	三、胎模锻	110
第四节 特种铸造	74	四、模锻方法的选择	111
一、熔模铸造	74	第四节 板料冲压	112
二、金属型铸造	76	一、板料冲压的特点	112
三、压力铸造	76	二、冲压设备	112
四、离心铸造	78	三、板料冲压的基本工序	114
第五节 几种铸造方法特点与经济性的比较	79	四、板料冲压件的结构工艺性	115
思考题与习题	80	五、典型零件冲压工艺示例	115
第八章 焊接与切割	81	第五节 其他常用压力加工方法简介	116
第一节 手工电弧焊	81	一、轧制	116
一、焊接电弧	81	二、挤压	117
二、弧焊机	82	三、拉拔	117

第六节 锻压新工艺简介	118
一、精密模锻	119
二、高速锤锻造	119
三、精密冲裁	119

四、旋压	119
五、高能成形	120
六、超塑性成形	120
思考题与习题	121

第二篇 金属切削加工基础

* 第十章 钳工	122
第一节 划线	123
一、划线的作用	123
二、划线的种类	123
三、划线工具及其用法	123
四、划线步骤和注意事项	125
第二节 锯削	126
一、手锯	127
二、锯削操作	127
三、锯条损坏的原因	128
第三节 锉削	128
一、锉刀	128
二、锉刀的操作	129
第四节 钻孔	130
一、钻孔的作用	130
二、钻床	130
三、钻头及附件	131
四、钻孔用夹具	132
五、钻孔方法	132
六、钻孔的安全操作	133
七、钻孔的废品分析	133
第五节 扩孔、铰孔、铰孔	133
一、扩孔	133
二、铰孔	134
三、铰孔	135
第六节 攻螺纹和套螺纹	135
一、攻螺纹	135
二、套螺纹	137
思考题与习题	138
第十一章 金属机械加工基础	140
第一节 金属机械加工的基础知识	140
第二节 金属切削刀具	141
一、刀具材料	141
二、车刀的种类和结构	142
三、车刀的组成和几何角度	143
* 四、金属切削过程	144
思考题与习题	147
第十二章 车削加工与镗削加工	149
第一节 车削加工	149
一、车削加工的工艺特点	149

二、车床	149
三、车削基本工艺	150
第二节 镗削	155
思考题与习题	156
第十三章 铣、刨、插、拉削加工	157
第一节 铣削	157
一、概述	157
二、铣削加工的工艺特点	158
三、铣床	158
四、铣刀	159
五、铣削加工方法	160
第二节 刨削与插削加工	161
一、刨削	161
二、插削	164
第三节 拉削加工	164
一、拉削加工的工艺特点	164
二、拉床和拉刀	165
思考题与习题	166
第十四章 磨削及光整加工	167
第一节 磨削加工	167
一、磨床和砂轮	167
二、磨削加工方法	170
第二节 光整加工	172
一、研磨	172
二、珩磨	173
三、超级光磨	173
四、抛光	174
思考题与习题	174

* 第十五章 零件材料和毛坯的选择及零件切削加工工艺的制订	176
第一节 零件材料的选择	176
一、选材的基本原则	176
二、几种材料的合理使用	176
三、典型零件和常用工具的选材实例	177
第二节 零件毛坯分析与选择	179
一、毛坯的类型	179
二、毛坯的选择	179
第三节 零件切削加工工艺基本知识	179
一、生产过程、工艺过程和工艺规程	179

二、生产类型及其工艺特征	180
第四节 零件的结构工艺性	181
思考题与习题	182
第十六章 现代制造技术简介	183
第一节 特种加工简介	183
一、电火花加工技术	183
二、电化学加工技术	185
三、激光加工	186
* 四、超声波加工	188

第二节 数控加工简介	189
一、数控加工技术概述	189
二、数控加工与传统加工的区别	190
三、数控机床加工的特点	190
四、数控机床的基本组成	191
五、数控机床的分类	192
六、数控机床的工作过程	192
思考题与习题	192

第三篇 非金属材料与复合材料与成形工艺基础

第十七章 有机非金属材料	194
第一节 工程塑料及成型方法	194
一、工程塑料的组成	194
二、塑料的分类	195
三、常用工程塑料的性能和用途	195
四、塑料制品的成型方法	197
第二节 橡胶及橡胶制品的成型	199
一、橡胶的组成和分类	199
二、橡胶的特点和应用	200
三、工业橡胶件的成型	201
* 第三节 胶黏剂与胶接技术	202
一、胶黏剂的组成	202
二、胶黏剂的分类原则及表示方法	202
三、胶黏剂的选用	203
四、胶接的特点与应用	203
五、胶接技术	205
六、胶接工艺	206
思考题与习题	206
第十八章 工程陶瓷材料	207
第一节 陶瓷的分类和性能	207
参考文献	215

一、陶瓷的分类	207
二、陶瓷材料的性能特点	207
第二节 陶瓷材料的制作工艺及组织	
结构	207
* 一、陶瓷成型制作工艺	207
二、组织结构	209
第三节 常用工程结构陶瓷的种类、性能	
和用途	209
思考题与习题	210
第十九章 复合材料	211
第一节 复合材料的组成和分类	211
一、复合材料的组成	211
二、复合材料的分类	211
第二节 常用复合材料的性能特点和	
应用	211
一、复合材料的性能特点	211
二、常用复合材料的应用	212
* 第三节 复合材料的成型	213
思考题与习题	214

绪 论

一、工程材料与材料科学的发展

(一) 工程材料

所谓工程材料是指工程上使用的材料。材料用于制造机器零件、工程构件以及生活日用品，是生产和生活的物质基础。材料、能源、信息被称为现代社会的三大支柱，而能源和信息的发展，在一定程度上又依赖于材料的进步。因此许多国家都把材料科学作为重点发展学科之一，使之成为新技术革命坚实的基础。

材料只有经过各种不同的成形方法加工，使其成为毛坯或制品后，才具有使用价值。合理的成形工艺、先进的成形技术才能使材料成为所需的毛坯或制品。随着人类社会的进步、生产力的发展，材料的成形技术也经历了从简单的手工操作到如今复杂的、大型化的、智能化和机械化生产的发展过程。

研究工程材料及其成形方法是材料科学的基本内容。

(二) 材料科学的发展

材料的发展推动人类社会的进步，人类从最早使用的石器材料发展到如今文明社会大量使用的各类合金钢、非金属材料及复合材料便能充分说明这一点。而人类社会的进步又促进材料的发展。人类物质生活水平的提高和生产技术的发展是人类社会进步的重要标志，同时，人类进一步认识自然世界和改造自然世界的欲望更加强烈，发展生产、改善生活成为人类最基本的实践活动。在认识世界和改造世界的漫长岁月里，人类凭借自己的聪明才智，相继研制和开发了各种新材料、新工艺，促进了材料的发展。

陶瓷在我国有悠久的历史，传到欧洲后，对世界文明产生了很大的影响，瓷器已经成为中国文化的象征。

人类使用金属材料的历史，可以追溯到五千多年以前。在金属材料的应用和发展上，我国有着光辉的历史。在四千多年前已有红铜的冷锻和铸造技术，殷商时期已有了高度发达的青铜冶铸技术。例如：至秦汉年间，表面有含铬防锈层的青铜兵器，以及铁锤、铁铲、铁锄等农具和工具，不仅铸锻技艺成熟，而且还经过专门的热处理。而同类的铁器，欧洲在一千四五百年后才出现。又如号称世界第一大钟的永乐大钟，直径 3.3m，高 6.75m，重达 46.5t，内外铸有 230184 字经文，字迹清晰、排列精巧，悠扬的钟声可传至 50km 以外。这座明代永乐年间铸造的大钟，无论从技术上还是艺术上，均可称具有世界文明历史意义的古钟。春秋末期的著名古籍《周礼考工记》中“六齐”一文，总结我国古代铜锡合金（青铜）的配方、性能和用途，被认为是世界上最早的关于合金理论的记载，具有重大的科学意义和社会历史意义。明代宋应星编著的《天工开物》一书，是世界上最早的金属工艺科技文献，书中记载的冶铁、炼钢、铸造、锻造、淬火等金属加工方法，充分反映了我国在金属工艺方面的卓越成就。

上述事实，生动地说明了中华民族在材料及其加工工艺方面对世界文明和人类进步做出的卓越贡献。但是到了 18 世纪以后，长期的封建统治和闭关自守，严重地束缚了我国生产力的发展，使我国科学技术处于停滞落后状态，远远落在西方国家之后。

新中国成立之后，社会经济和生产建设开始了新的发展，金属材料及其加工工艺有了新的发展。特别是改革开放以来，社会生产力和经济建设进入了新的历史发展阶段，材料和加

工工艺的发展突飞猛进。1996年,我国钢的年产量已超过1亿吨,非金属材料、复合材料在机械制造工程中发挥越来越重要的作用。机械制造加工的新技术、新工艺和计算机技术已应用于生产过程中,使企业的面貌得到迅速改变,许多机械制造企业正在向生产过程自动化逐步发展。

二、工程材料的分类

现代材料种类繁多,据粗略统计,目前世界上的材料总和已经达到40余万种,并且每年还以5%的速度增加。材料按经济部门可分为土木建筑材料、机械工程材料、电子材料、航空航天材料、医学材料等;按材料的功能分为结构材料、功能材料。

工程材料按化学成分分为金属材料、非金属材料(高分子材料、无机非金属材料)和复合材料。金属材料具有优良的力学性能、物理性能、化学性能以及工艺性能,一般能满足机器零件、工程结构等的使用要求。而且金属材料还可以通过热处理改变其组织和性能,从而进一步扩大使用范围。因此,金属材料仍然是目前应用最广泛的工程材料。

高分子材料的力学性能不如金属材料,但它们具有金属材料不具备的某些特性,目前已广泛应用于生活日用品和工程中,而且在工业中已部分代替了金属材料。

新型无机非金属材料的塑性与韧性远低于金属材料,但它们具有熔点高、硬度高、耐高温以及特殊的物理性能,已成为发展高温材料和功能材料的新型工程材料。

复合材料是将几种材料组合在一起而构成的。它不仅保留了各组成材料的优点,而且具有单一材料所没有的优越性能。因此,在近十几年来得到广泛应用,新型复合材料层出不穷。

三、工程材料与成形工艺基础课程的性质、要求和任务

本课程是高等院校机械类、近机械类专业必修的一门综合性的技术基础课。主要涉及各类工程材料及其成形技术。

在当前生产工作中,对于工业生产管理和科研部门,工程材料及其加工工艺直接关系到产品研究设计、材料选用、工艺安排、质量检测、组织管理和经济效益的诸多环节;而从事设备维修保养、技术改造和劳保安全等工作,工程材料及其加工工艺更是必须掌握的最基本的知识。作为应用型高级工程技术人员,只有熟悉金属材料及其加工工艺的基本概念,了解常用的其他工程材料和有关的加工工艺知识,才能具有分析处理生产工作中涉及有关材料和加工工艺方面的各种实际问题的能力,这是经济建设和科学技术发展的现实要求。

其基本要求是:通过本课程的学习,能够了解或掌握各类常用工程材料的性能和应用、工程材料毛坯或制品的成形原理及其成形的工艺特点;具有根据毛坯或制品性能,正确选择成形方法和制定工艺及参数的初步能力;具备综合运用工艺知识分析零件结构工艺性的初步能力;了解有关新材料、新技术及其发展趋势,为学习其他有关课程及以后从事机械设计与制造方面的工作奠定必要的基础。因此,本课程的任务是:

- (1) 熟悉常用金属材料的组织、性能和应用;
- (2) 熟悉制造毛坯、加工零件所用的主要设备和主要附件的种类、型号、规格、特性;
- (3) 了解金属材料毛坯制造和零件加工的主要方法、工艺特点和应用;
- (4) 了解常用非金属材料 and 复合材料的性能、加工工艺和应用。

四、本课程的学习方法

本课程的学习强调理论联系实际,注重应用理论和实践相结合,注重各种能力的培养。因此,在课程教学中应注意教学方法和形式的改革,注意与专业学科和课程建设的配合联系。考虑到不同专业的适应性,教学中对于教材中带*号的内容可选择使用。每章的思考题

和习题是本课程教学的必要环节，既是巩固、复习所学知识的手段，又是理论联系实际，调动学生灵活运用知识和学习主动性的途径，应予以充分重视。

建议本课程要尽可能利用现代化教学手段（多媒体教学、电视录像片等）以提高学生的感性认识。教学形式应多样化，可通过课堂讨论或实验，加深学生对课程内容的理解，应把学生素质和能力的培养贯穿于整个讲课过程中。

第一篇 金属材料及热加工成形基础

本篇主要介绍各种金属材料及热加工（包括热处理、铸造、焊接、压力加工等）成形基础知识。

第一章 金属材料的主要性能

金属材料在现代工农业生产中占有极其重要的地位。尤其是黑色金属中的钢及其合金，是构成各种机械设备的基础，也是各种机械加工的主要对象。因此了解和掌握这些材料的使用性能和工艺性能是进行设计、选材和制定各种加工工艺的重要依据。

金属材料的性能包括力学性能、物理性能、化学性能及工艺性能，它们既决定金属材料的应用范围、使用性能和寿命，又决定金属材料的各种加工方法。本章简要论述金属材料的主要性能。

第一节 金属材料的力学性能

金属材料制成的构件（在机器中称为零件），在工作过程中都要受到载荷的作用，载荷作用的结果将引起零件的变形。金属材料在各种不同形式的载荷作用下所表现出来的性能称为机械性能，又称力学性能，其主要指标有强度、塑性、硬度、冲击韧度持久极限等。这些指标是用试验方法测取的。如拉伸试验、压缩试验、疲劳试验、硬度试验、冲击试验等。

一、强度

金属材料在外力作用下抵抗永久变形和断裂的能力称为强度。按外力作用的性质不同，主要有屈服强度、拉伸强度、压缩强度、弯曲强度等，工程上常用的是屈服强度和拉伸强度，这两个强度指标可通过拉伸试验测出。

（一）静载时的强度

1. 拉伸时材料的力学性能

拉伸试验一般是在万能试验机上进行的。试验时一般采用标准圆截面试件，如图 1-1 所示。通常将圆截面标准试件的工作长度（也称标距） L 与其截面直径 d 的比例规定为：

$$L=5d(\text{短试件}) \quad \text{或} \quad L=10d(\text{长试件})$$

（1）低碳钢拉伸时的力学性质 低碳钢是指含碳量在 0.3% 以下的碳素结构钢。这类钢材在工程中使用较广，同时在拉伸试验中表现出的力学性能也最为典型。

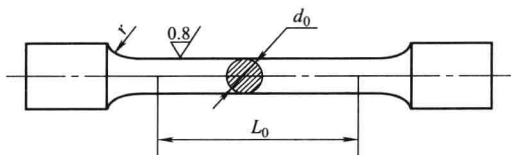


图 1-1 标准拉伸试样示意图

试件装在试验机上，受到缓慢增加的拉力作用。对应着每一个拉力 F ，试件标距 L 有一个伸长量 ΔL 。记录 F 和 ΔL 关系的曲线称为拉伸曲线或 $F-\Delta L$ 曲线，如图 1-2 所示。通常，

将图 1-2 横坐标 ΔL 变换成试样单位长度上的变形量, 即应变 $\epsilon = \Delta L/L_0$, 纵坐标 F 变换成试样单位横断面积上的力, 即应力 $\sigma = F/S$ 。则变为图 1-3 所示应力-应变 ($\sigma-\epsilon$) 曲线。这样才能真实反映材料的力学性能。

由应力-应变曲线可观察到以下现象。

① 弹性和刚度 从图 1-3 中可看出, 若应力不超过 σ_e , 则试样的变形能在卸载后 ($\sigma=0$) 立即消失, 即恢复原状, 这种不产生永久变形的性能称为弹性。 σ_e 为不产生永久变形的最大应力, 称为弹性极限。在弹性变形范围内, 应力与应变成正比, 即

$$\sigma = E\epsilon \text{ 或 } E = \sigma/\epsilon$$

式中, 比例常数 E 为弹性模量, MPa, 它是衡量材料抵抗弹性变形能力的指标, 在工程上亦叫刚度, 是一个对组织不敏感的参数, 它主要决定于材料本身, 是金属材料最稳定的性能之一, 在室温下钢的弹性模量 E 值大都在 $(196 \sim 216) \times 10^9 \text{ N/m}^2$ 之间。 E 值随温度的升高而逐渐降低。

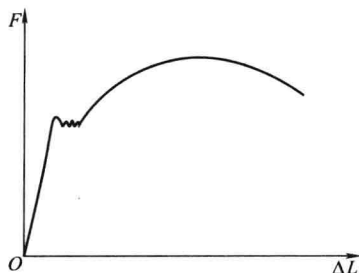


图 1-2 低碳钢拉伸曲线示意图

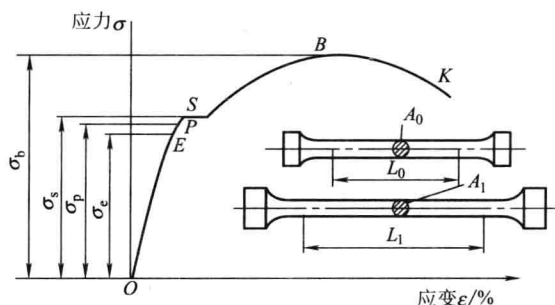


图 1-3 低碳钢拉伸时的应力-应变曲线

② 屈服点 σ_s 低碳钢应力-应变曲线在 S 点出现一水平段, 即应力不增加而变形继续进行。此时若卸载, 试样变形不能完全消失, 而保持一部分残余变形, 这种不能恢复的残余变形称为塑性变形。此时所对应的应力就称为屈服点, 用 σ_s (MPa) 表示, 其计算公式为:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0}$$

式中, F_s 为产生屈服现象时的拉力, N。可见 σ_e 是表示材料抵抗微量塑性变形的能力。

金属材料中只有低碳钢和中碳钢等少数金属有屈服现象, 大多数金属材料都没有明显的屈服点。因此, 对这些金属材料, 规定以产生 0.2% 残留伸长的应力作为屈服强度, 称为名义屈服强度, 以 $\sigma_{0.2}$ 表示 (图 1-4)。

屈服强度是材料在外力作用下开始产生塑性变形的最低应力值, 当材料的实际工作应力大于其屈服强度时, 就有可能产生过量塑性变形而失效, 因此 σ_s 是绝大多数机械零件设计时的重要参数, 是材料最重要的力学性能指标之一。

③ 拉伸强度 是指试样在拉断前所能承受的最大应力 (MPa), 以 σ_b 表示。在 $\sigma-\epsilon$ 曲线上的位置如图 1-3 所示, 其计算公式为:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$$

式中, F_b 为试样拉断前的最大外力, N。

拉伸强度 (曾称强度极限) 反映试样最大的均匀变形的抗力, 是设计机械零件和选择金属材料的主要参数之一, 也是评价金属材料的主要指标。

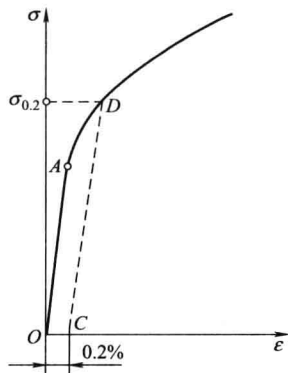
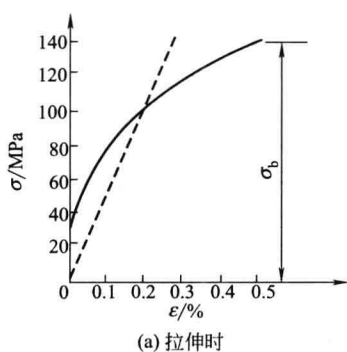
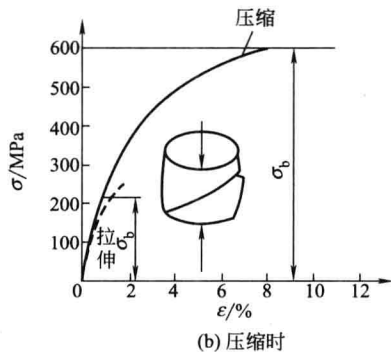


图 1-4 名义屈服强度



(a) 拉伸时



(b) 压缩时

图 1-5 灰口铸铁拉伸、压缩强度示意图

(2) 灰口铸铁拉伸时的力学性质 灰口铸铁是典型的脆性材料，其 σ - ϵ 曲线是一段微弯曲线，如图 1-5 (a) 所示，没有明显的直线部分，没有屈服和颈缩现象，拉断前的应变很小，伸长率也很小。强度极限 σ_b 是其唯一的强度指标。铸铁等脆性材料的拉伸强度很低，所以不宜作为受拉零件的材料。

2. 材料在压缩时的力学性能

金属材料的压缩试件一般制成很短的圆柱，以免被压弯。圆柱高度约为直径的 1.5~3 倍。

(1) 低碳钢压缩 低碳钢压缩时的 σ - ϵ 曲线如图 1-6 所示。试验表明：低碳钢压缩时的弹性模量 E 和屈服极限 σ_s ，都与拉伸时大致相同。应力超过屈服阶段以后，试件越压越扁，呈鼓形，横截面面积不断增大，试件抗压能力也继续增高。因而得不到压缩时的强度极限。因此，低碳钢的力学性能一般由拉伸试验确定，通常不必进行压缩试验。

对大多数塑性材料也存在上述情况。少数塑性材料，如铬钼硅合金钢，压缩与拉伸时的屈服极限不相同，这种情况需做压缩实验。

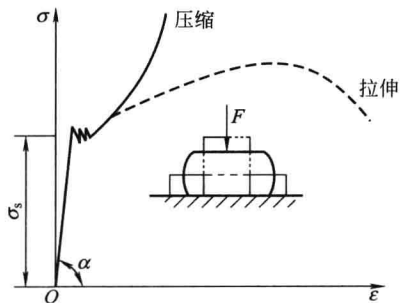
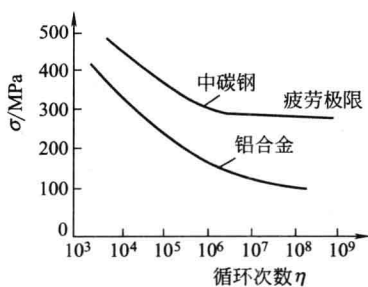
图 1-6 低碳钢压缩时的 σ - ϵ 曲线

图 1-7 中碳钢及铝合金的实测疲劳曲线

(2) 铸铁压缩 图 1-5 (b) 表示铸铁压缩时的 σ - ϵ 曲线。试件仍然在较小的变形下突然破坏，破坏断面的法线与轴线大致成 $45^\circ \sim 55^\circ$ 的倾角。铸铁的压缩强度极限比它的拉伸强度极限高 4~5 倍。因此，铸铁广泛用于机床床身，机座等受压零部件。

灰铸铁等脆性材料拉伸时几乎不发生塑性变形而发生突然断裂，其最大外力就是断裂外力。所以，灰铸铁在常用的工程材料手册中没有屈服强度指标，仅有拉伸强度指标。

(二) 交变载时的强度

最常用的交变载荷强度是疲劳强度，它是指金属材料抵抗重复交变外力作用而不破坏的

能力。机械产品中许多诸如曲轴、连杆、齿轮、弹簧等零件在工作过程中受到重复交变应力的长期作用,会在远小于拉伸强度 σ_b 、甚至远小于屈服强度 σ_s 的应力作用下断裂,这种断裂称为疲劳断裂。无论是塑性材料还是脆性材料,断裂时都不产生明显的塑性变形,而是突然发生,具有很大的危险性,有相当多零件的破坏属于疲劳破坏,对此必须引起足够的重视。

当循环应力逐渐降至某一定值后,应力循环无限次增加仍不发生疲劳断裂,此应力就是疲劳强度,图 1-7 为中碳钢及铝合金的实测疲劳曲线。由图中可以看出,随着应力循环次数 N 不断增大,材料所能承受的最大交变应力 σ_r 不断减小,当交变应力循环次数 N 达到无限次时,材料仍不发生破坏(对碳素钢规定 $N=10^7$,对高强度钢及铝合金等有色金属规定 $N=10^8$ 时,零件仍不断裂)的应力即可确定为其疲劳强度,以 σ_r 表示,下标 r 表示交变应力循环系数,若为交变对称应力循环,其疲劳强度以 σ_{-1} 表示。

* (三) 高温强度

当零件在较高温度下工作时,应做高温拉伸试验,测定其高温强度。高温强度包括高温瞬时强度、高温持久强度和高温蠕变强度。

高温持久强度用来衡量材料在高温下长期承受外力作用时,抵抗变形和破坏的能力。

二、塑性

金属材料在外力作用下产生塑性变形而不破坏的能力称为塑性。许多零件或毛坯是通过塑性变形而成形的,要求材料有较高的塑性;并且为防止零件工作时脆断,也要求材料有一定的塑性。塑性也是金属材料的主要力学性能指标之一。

通过上述拉伸试验,也可测定金属材料的塑性指标。常用的塑性指标有断后伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。

(1) 断后伸长率 试样拉断后,标距的伸长量与原始标距的百分比称为断后伸长率,以 δ 表示。

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中, L_1 为试样拉断后的标距,mm; L_0 为试样原始标距,mm。

(2) 断面收缩率 试样拉断后,缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比称为断面收缩率,以 ψ 表示。其数值按下式计算:

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中, S_0 为试样原始截面积,mm²; S_1 为试样断裂后缩颈处的最小横截面积,mm²。

δ 或 ψ 数值越大,则材料的塑性越好。

除常温试验之外,还有金属材料高温拉伸试验方法(GB/T 4338—1995)和低温拉伸试验方法(GB/T 13239—1991)供选用。

三、硬度

材料抵抗其他硬物压入其表面的能力称作硬度,是材料的重要性能之一,也是检验机械零件质量的一项重要指标。例如在设计两个互相摩擦的零件时,经常需要在图纸上注明这两个配对零件在硬度上的不同要求。由于测定硬度的试验设备简单,操作方便、迅速,又属无损检验,故在生产、科研中应用十分广泛。

测定硬度的方法常用压入法。即用一定的静载荷(压力)把压头压在金属表面上,然后通过测定压痕的面积或深度来确定其硬度。测定金属材料表面硬度最常用的方法有布氏硬

度、洛氏硬度和维氏硬度三种。

1. 布氏硬度 HB

布氏硬度的测定原理是用一定大小的载荷 F ，把直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球压入被测金属表面，保持一定时间后卸除载荷，用金属表面压痕的面积 S 除载荷所得的商，作为布氏硬度值如图 1-8 所示。用钢球为压头所测出的硬度值以 HBS 表示；用硬质合金为压头所测出的硬度值以 HBW 表示，后面的数字代表硬度值。

布氏硬度试验的优点是测定的数据准确、稳定，数据重复性强。另外，由于布氏硬度值与 σ_b 有一定的经验关系，如钢的 $\sigma_b = (3.4 \sim 3.6) \text{ HBS (W)}$ ；灰铸铁 $\sigma_b = 0.98 \text{ HBS (W)}$ 。因此，得到广泛应用。常用于测定退火、正火、调质钢、铸铁及有色金属的硬度。其缺点是压痕较大，易损坏成品的表面，不能测定太薄的试样硬度。

2. 洛氏硬度 HR

当材料的硬度较高或试样过小时，需要用洛氏硬度计进行硬度测试。洛氏硬度是用顶角为 120° 的金刚石圆锥或直径为 $(1/16")$ 的淬火钢球作压头，压入金属表面，测定压痕深度，由深度的大小来确定材料的洛氏硬度值，材料越硬，压痕越浅，而所测得的洛氏硬度值越大，计算方法可参考其他文献。

根据压头的材料及压头所加的负荷不同又可分为 HRA、HRB、HRC 三种。

HRA 适用于测量硬质合金、表面淬火层或渗碳层；HRB 适用于测量有色金属和退火钢、正火钢等；HRC 适用于测量调质钢、淬火钢等。洛氏硬度操作简便、迅速，应用范围广，压痕小，被测材料的硬度可直接在硬度计刻度盘上读出，所以得到更为广泛的应用。

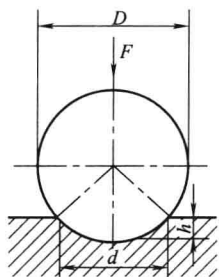


图 1-8 布氏硬度试验

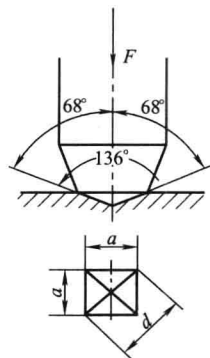


图 1-9 维氏硬度试验原理

3. 维氏硬度 HV

维氏硬度的实验原理与布氏硬度相同，不同点是压头为金刚石四方角锥体（见图 1-9），所加负荷较小为 $5 \sim 120 \text{ kg}$ 。它所测定的值比布氏、洛氏精确，压入深度浅，适于测定经表面处理零件的表面层的硬度，改变负荷可测定从极软到极硬的各种材料的硬度，但测定过程比较麻烦。

* 四、冲击韧度

前面讨论了碳钢的拉伸试验，试验中载荷是逐渐加上去的，如果提高加载速度，试件的变形速度也随着增大。对一般塑性材料来说，它的屈服极限和强度极限会随变形速度加快而变化，但是材料的塑性则有所降低。

许多机械零件在工作中，往往要受到冲击载荷的作用，如活塞销、锤杆、冲锻模、凿岩机零件等。制造这些零件的材料，其性能不能单纯用静载荷作用下的指标来衡量，而必须考虑材料抵抗冲击载荷的能力。冲击载荷是指加载速度很快而作用时间很短的突发性载荷。

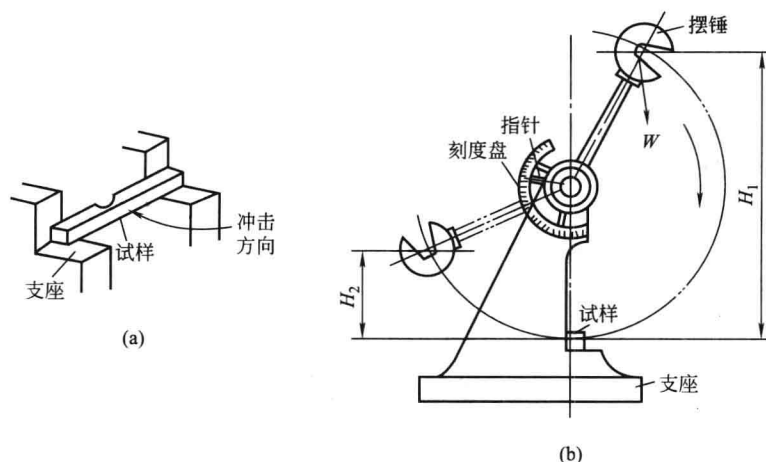


图 1-10 冲击试验原理

金属抵抗冲击载荷而不破坏的能力称为冲击韧度。目前常用一次摆锤冲击弯曲试验来测定金属材料的韧度，其试验原理如图 1-10 所示。目前常用的常温下钢材的冲击试验主要按 GB/T 229—94《金属夏比缺口冲击试验方法》和 GB/T 12778—91《金属夏比冲击断口测定方法》的规定进行。金属低温和高温冲击试验具体要求参见 GB 4159—84 和 GB 5775—86。

试验时，把按规定制作的标准冲击试样的缺口（脆性材料不开缺口）背向摆锤方向放在冲击试验机上，将摆锤（质量为 m ）扬起到规定高度 h_0 ，然后自由落下，将试样冲断。由于惯性，摆锤冲断试样后会继续上升到某一高度 h 。根据功能原理可知：摆锤冲断试样所消耗的功 $A_K = mg(h_0 - h)$ 。 A_K 常叫做冲击吸收功，可从冲击试验机上直接读出。用试样缺口处的横截面积去除 A_K 所得的商即为该材料的冲击韧度值，用符号 α_K (J/cm^2) 表示。即：

$$\alpha_K = \frac{A_K}{S}$$

α_K 值越大，材料的冲击韧度越好，断口处则会发生较大的塑性变形，断口呈灰色纤维状； α_K 值越小，材料的冲击韧度越差，断口处无明显的塑性变形，断口具有金属光泽而较为平整。一般来说，强度、塑性两者均好的材料， α_K 值也高。材料的冲击韧度除取决于其化学成分和显微组织外，还与加载速度、温度、试样的表面质量等有关。

第二节 材料的工艺性能

各类设备零件总是要由原始状态经过各种机械加工以后，才能获得所需的机器零件，所选材料在加工方面的物理、化学和力学性能的综合表现构成了材料的工艺性能，又叫加工性能。选材时必须同时考虑材料的使用与加工两方面的性能。从使用的角度来看，材料的物理、力学和化学性能即使比较合适，但是如果在加工制造过程中，材料缺乏某一必备的工艺性能时，那么这种材料也是无法采用。因此，了解材料的加工工艺性能，对正确选材是十分必要的。材料的工艺性能主要指铸造性、可焊性、可锻性、切削加工性和热处理性能。

(1) 铸造性 材料的铸造性是指将金属熔化浇铸冷却后制成铸件的性能。其好坏通常是按其流动性、吸气性、收缩性等进行综合评定的。金属材料中灰口铸铁、锡青铜、硅黄铜和铸铝合金等有良好的铸造性。

(2) 可焊性 材料的可焊性是指材料在一定条件下焊接时，能否得到与被焊金属本体相