

普通高等教育“十三五”规划教材



工程材料与热加工

◎ 杜伟 邓想 主编

GONGCHENG CAILIAO
YU REJIAGONG



化学工业出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

工程材料与热加工

杜 伟 邓 想 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是依据机械制造、机电类专业对工程材料及热加工工艺方面的知识需求,结合本科应用型人才培养的实际需要编写的。全书共分为十二章,主要包括金属材料的性能、纯金属与合金的基本知识、铁碳合金相图、钢的热处理、合金钢、铸铁、有色金属及粉末冶金材料、非金属材料及复合材料、铸造、锻压、焊接、机械零件的选材及毛坯的选择等。每章后有本章小结和复习思考题,实验中有课堂常用的五个实验指导书,附录中有热处理工艺参数及国内外常用金属材料牌号对照表等。

本书可作为机械制造类、机电一体化相关专业的本科生教材,也可作为高职高专相关机械制造、机电、经营管理类专业及企业有关技术人员、管理人员等的学习教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料与热加工/杜伟,邓想主编. —北京:化学工业出版社, 2017.3

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-28900-1

I. ①工… II. ①杜… ②邓… III. ①工程材料-高等学校-教材②热加工-高等学校-教材 IV. ①TB3②TG306

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 013991 号

责任编辑:高 钰

责任校对:宋 玮

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 刷:三河市航远印刷有限公司

装 订:三河市瞰发装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张21¼ 字数523千字 2017年5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:48.00 元

版权所有 违者必究

前言

本书依据培养本科应用型人才的实际需要,针对机械制造及机电类专业对工程材料与热加工方面的知识需求,配合当前专业对课程知识深度及学时的教学要求而编写。

本书将工程材料与热加工工艺方面的内容与实际应用的知识有机地融合在一起,适当淡化了理论性较强的内容,合并了相近的知识点,力求做到深入浅出、通俗易懂,文字精练、突出重点、理论联系实际,内容层次清晰、实用性强。通过本课程的学习使学生能够将本课程知识与后续专业课程有机地联系起来,达到更加有效学习的目的。

全书以工程材料及其热加工为主线,内容包括金属材料的性能、纯金属与合金的基本知识、铁碳合金相图、钢的热处理、合金钢、铸铁、有色金属及粉末冶金材料、非金属材料及复合材料、铸造、锻压、焊接、机械零件的选材及毛坯的选择等十二章,在每章后有本章小结及复习思考题,教师可以根据具体情况选择布置,使学生能够巩固所学知识,培养分析问题、解决实际问题的能力。在实验中课堂常用的五个实验指导书,在附录中有布氏硬度对照表、黑色金属硬度及强度换算表、热处理工艺参数、国内外常用金属材料对照表等方面的资料。

本书中引用的国家标准全部是国家最新标准。在术语中个别地方保留了习惯用法,以和生产实际保持一致。

参加本书编写的有杜伟、邓想、崔国明、程芳、公永建、刘轶、文秀海、杨通胜老师,其中杜伟编写前言、绪论、第四章、第五章、第六章,邓想编写第二章、第三章、崔国明编写第九章,公永建编写第十章,刘轶编写第七章、第八章、第十二章,程芳编写第十一章第一~四节,文秀海编写第一章及第十一章第五~七节及复习思考题,杨通胜编写实验及附录。

本书由杜伟、邓想任主编,崔国明、程芳、公永建任副主编,全书由杜伟统稿,河南工学院王学让教授审阅。

在本书的编审过程中参考了一些兄弟院校编写的相关教材和资料,得到了单位领导及同仁的支持和热情帮助,在此表示衷心的感谢。

虽然在编写过程中已经尽了最大努力,但由于学识水平及资料来源有限,书中难免存在不妥之处,敬请读者将建议及意见反馈至电子邮箱:duw101@163.com。

编者

2016年10月

目录

绪论

1

一、材料科学的作用与地位	1
二、工程材料与热加工技术的发展	2
三、本课程的性质、任务和学习方法	2

第一章 金属材料的性能

4

第一节 金属材料的力学性能	4
一、强度	4
二、塑性	6
第二节 硬度	6
一、布氏硬度	7
二、洛氏硬度	8
三、维氏硬度	8
第三节 冲击韧性与疲劳强度	9
一、冲击韧性	9
二、疲劳强度	10
第四节 金属材料的其他性能	11
一、物理性能	11
二、化学性能	12
三、工艺性能	13
本章小结	13
复习思考题	13

第二章 纯金属与合金的基本知识

15

第一节 纯金属与合金的晶体结构	15
一、纯金属的晶体结构	15
二、纯金属的实际晶体结构	16
三、合金的晶体结构	18
第二节 纯金属与合金的结晶	20
一、纯金属的结晶过程	21
二、合金的结晶与二元合金相图	23
三、合金性能与相图间的关系	29
本章小结	30

复习思考题	31
-------------	----

第三章 铁碳合金相图

33

第一节 铁碳合金的基本知识	33
一、纯铁的同素异晶转变	33
二、铁碳合金的基本相	34
第二节 铁碳合金相图	34
一、铁碳合金相图分析	35
二、铁碳合金的分类	37
第三节 典型铁碳合金的结晶过程及组织	37
一、共析钢的结晶过程及组织	37
二、亚共析钢的结晶过程及组织	38
三、过共析钢的结晶过程及组织	39
四、共晶白口铸铁的结晶过程及组织	40
五、亚共晶白口铸铁的结晶过程及组织	41
六、过共晶白口铸铁的结晶过程及组织	41
第四节 铁碳合金成分与组织、性能的关系	42
一、铁碳合金成分与组织的关系	42
二、铁碳合金成分与性能的关系	43
第五节 碳素钢	44
一、杂质元素对碳钢性能的影响	44
二、碳钢的分类	45
三、碳钢的牌号、性能及用途	45
本章小结	50
复习思考题	50

第四章 钢的热处理

53

第一节 钢的热处理原理	53
一、钢在加热时的组织转变	54
二、钢在冷却时的组织转变	56
第二节 钢的普通热处理	64
一、钢的退火和正火	64
二、钢的淬火	66
三、钢的回火	69
第三节 钢的表面热处理	72
一、钢的表面淬火	72
二、钢的化学热处理	74
第四节 热处理质量控制	77
一、常见的热处理缺陷及影响因素	77
二、热处理工件的结构工艺性	78

第五节 热处理技术条件的标注及工序位置安排	79
一、热处理技术条件的标注	79
二、热处理工序位置的安排	79
本章小结	80
复习思考题	81

第五章 合金钢

86

第一节 合金元素在钢中的作用	86
一、合金元素在钢中的存在形式	86
二、合金元素对 Fe-Fe ₃ C 相图的影响	87
三、合金元素对钢热处理的影响	88
第二节 合金钢的分类及牌号	90
一、合金钢的分类	90
二、合金钢牌号的表示方法	91
第三节 合金结构钢	92
一、低合金高强度结构钢	92
二、合金渗碳钢	92
三、合金调质钢	96
四、合金弹簧钢	96
五、滚动轴承钢	99
第四节 合金工具钢	100
一、合金刀具钢	100
二、合金模具钢	105
三、合金量具钢	108
第五节 特殊性能钢	108
一、不锈钢	109
二、耐热钢	111
三、耐磨钢	113
本章小结	114
复习思考题	114

第六章 铸铁

117

第一节 铸铁的石墨化	117
一、铁碳合金双重相图	117
二、铸铁的石墨化	118
三、影响铸铁石墨化的因素	119
第二节 常用的铸铁	119
一、灰铸铁	119
二、球墨铸铁	122
三、可锻铸铁	125

四、蠕墨铸铁	125
五、合金铸铁	126
本章小结	127
复习思考题	128

第七章 有色金属及粉末冶金材料

130

第一节 铝及铝合金	130
一、工业纯铝	130
二、铝合金的分类及热处理	131
三、变形铝合金	132
四、铸造铝合金	133
第二节 铜及铜合金	135
一、工业纯铜	135
二、铜合金的分类	135
三、黄铜	136
四、青铜	136
第三节 滑动轴承合金	138
一、轴承合金的性能要求	138
二、轴承合金的组织特征	139
三、常用的轴承合金	139
第四节 粉末冶金材料	140
一、粉末冶金法及其应用	141
二、常用的粉末冶金材料	141
本章小结	144
复习思考题	144

第八章 非金属材料及复合材料

146

第一节 高分子材料	146
一、高分子材料的合成	146
二、高分子材料的物理状态	147
三、常用高分子材料	147
第二节 陶瓷材料	151
一、陶瓷材料的分类	151
二、陶瓷材料的性能及应用	152
第三节 复合材料	152
一、复合材料的分类	153
二、复合材料的性能	153
三、常用复合材料	154
本章小结	155
复习思考题	155

第一节 合金的铸造性能	157
一、合金的流动性	158
二、合金的收缩	159
三、铸造应力	162
第二节 砂型铸造	163
一、砂型铸造的造型方法	163
二、砂型铸造工艺设计	167
三、铸造实例分析	173
第三节 铸件的结构工艺性	174
一、砂型铸造工艺对铸件结构的要求	174
二、合金铸造性能对铸件结构的要求	175
第四节 特种铸造	177
一、熔模铸造	177
二、金属型铸造	179
三、压力铸造	180
四、低压铸造	181
五、离心铸造	182
六、实型铸造	183
第五节 铸件的质量控制	184
一、铸件中常见的缺陷及产生原因	184
二、铸件的质量检验	186
第六节 常用铸造方法比较	189
本章小结	190
复习思考题	191

第一节 金属的塑性变形	195
一、金属塑性变形的实质	195
二、冷塑性变形对金属组织及性能的影响	197
三、回复与再结晶	198
四、金属的热加工	199
第二节 金属的锻压性能	200
一、金属的本质	200
二、变形条件	200
第三节 自由锻	202
一、自由锻的特点	202
二、自由锻的基本工序	202
三、自由锻工艺规程的制订	204
四、自由锻锻件的结构工艺性	209

第四节 模锻	210
一、锤上模锻	210
二、胎模锻	214
三、压力机上模锻	215
第五节 锻件的质量控制	217
一、加热过程中常见的缺陷	217
二、自由锻锻件中常见的缺陷及产生原因	218
三、模锻件中常见的缺陷及产生原因	220
第六节 板料冲压	221
一、板料冲压的基本工序	221
二、冲模的分类及结构	224
三、冲压件的结构工艺性	226
第七节 其他压力加工方法	227
一、挤压成型	227
二、轧制成型	228
三、拉拔	229
本章小结	229
复习思考题	230

第十一章 焊接

235

第一节 焊条电弧焊	236
一、焊接电弧	236
二、电弧焊的冶金过程	237
三、焊条	237
四、焊接接头	240
五、焊接应力与变形	241
第二节 其他熔焊方法	244
一、埋弧焊	244
二、气体保护电弧焊	246
三、气焊	248
四、电渣焊	249
五、等离子弧焊	250
第三节 压焊与钎焊	251
一、压焊	251
二、钎焊	253
第四节 常用金属材料的焊接	253
一、金属材料的焊接性	253
二、碳钢的焊接	255
三、合金钢的焊接	255
四、铸铁的焊补	257
五、有色金属的焊接	257

第五节 焊接件的结构工艺性	259
一、焊接结构材料的选择	260
二、焊接接头形式的选择	260
三、焊缝的布置	261
第六节 焊接的质量控制	262
一、焊接缺陷概述	262
二、常见焊接缺陷的产生原因和防止措施	263
第七节 焊接方法的选择	266
本章小结	267
复习思考题	267

第十二章 机械零件的选材及毛坯的选择

271

第一节 机械零件的失效	271
一、零件的失效	271
二、零件失效的形式及原因	271
第二节 机械零件的选材	272
一、零件选材的一般原则	273
二、选材的方法及步骤	277
三、典型零件的选材	278
第三节 零件毛坯的选择	282
一、毛坯选择的原则	283
二、常用毛坯的特点及生产成本比较	284
三、常用机械零件毛坯的选择	284
本章小结	285
复习思考题	285

实验

288

实验一 硬度实验	288
实验二 金相显微镜的使用及金相试样的制备	292
实验三 铁碳合金平衡组织分析	295
实验四 碳钢的热处理	299
实验五 铸铁的显微组织观察	302

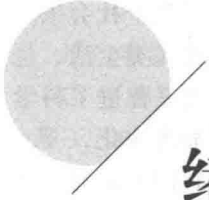
附录

306

附录一 布氏硬度对照表	306
附录二 黑色金属硬度强度换算表	315
附录三 国内外常用钢铁材料牌号对照表	319
附录四 常用钢临界点及淬火加热温度	323
附录五 常用钢淬火后的回火温度	326

参考文献

327



绪论

一、材料科学的作用与地位

材料是工业、农业、国防、科学技术以及人民生活赖以生存和发展的物质基础。目前，材料、能源和信息已成为现代化社会生产的三大支柱，而材料又是能源与信息发展的物质基础，材料的品种、数量、性能和质量又是衡量一个国家科学技术和现代化发展水平的重要标志。

材料科学是以材料为研究对象，探讨材料的结构、性能及其加工方法三者之间的相互关系和规律的科学，它以化学、固体物理、力学等为基础，是多种学科交织在一起的边缘科学，材料科学的发展是人类文明进步的重要标志。根据材料生产和使用水平的不同，历史上将人类的发展史划分为石器时代、陶器时代、青铜器时代和铁器时代，因此人类文明的发展史实际上是人类对材料认识、制造、使用和发展的历史。随着近代工业生产中产品对材料性能要求的不同，材料科学产生了金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料的分支学科。

金属材料是机械制造行业应用范围最广、最重要的机械工程材料。金属材料包括黑色金属材料（常用的有钢、铸铁和合金钢等）和有色金属材料（常用的有铜、铝、钛及其合金等）。金属材料不仅来源丰富，而且还具有优良的使用性能和工艺性能，可通过配制不同化学成分的合金及不同的成型工艺、热处理达到改变其组织和性能的目的，从而进一步扩大了金属材料的使用范围。

高分子材料和陶瓷材料属于非金属材料，这些材料通常具有金属材料不具备的某些特性，如高分子材料具有耐腐蚀、电绝缘、隔音、减振、密度低等特性，且原料来源丰富、价格低廉以及具有良好的成型性能；陶瓷材料具有高熔点、高硬度、耐高温等特性以及特殊的物理性能，在工业生产中已部分替代金属材料，成为一种重要的、独立的新型工程材料应用在机械产品中。

复合材料是由两种或两种以上材料组成的新材料。复合材料集中了组成材料的优点于一体，充分发挥了组成材料的潜力。这类材料通常具有高的比强度、比弹性模量，良好的抗疲劳性、减振性和耐高温性，以及密度小、隔音、隔热、减振、阻燃等优良的物理性能和力学性能。复合材料作为一种很有发展前途的材料，已广泛应用于航空航天、建筑、机械、交通运输以及国防工业等部门的产品制造中。

未来新兴产业的发展，无不依赖于新材料的开发和利用，如海洋开发所用的深潜器及各种海底设施需要耐压、耐油的新型结构材料；卫星、宇航等仪器设备需要质量轻、耐高温、强度高的新材料；医学上制造的人工器官、人造骨骼、人造血管等要用与人体相容的新材料等，因此材料科学的发展将有力推动人类文明的进步和现代化水平的提高。

二、工程材料与热加工技术的发展

材料的使用及其加工方法的每一次改进和发展都是人类社会发展的一个里程碑,它象征着人类在征服自然、发展社会生产力方面迈出了具有深远意义的一步,促进了整个社会生产力更进一步的发展。当人类社会从石器时代进入青铜器时代以后,金属材料在人类生活、生产中的应用就占据了十分重要的地位,特别是钢铁材料大规模生产和使用,更是促进了科学技术和社会经济的迅速发展,使人类社会的经济活动和科学技术水平发生了显著变化。

工程材料与热加工工艺是人类在长期生产实践中发展起来的一门学科。我国是世界上使用金属材料最早的国家之一,早在 6000 年前的新石器时代我国就已会冶炼和使用黄铜。大量出土的青铜器说明在商代(公元前 1562~公元前 1066 年)我国的青铜冶炼、铸造技术就已达到了很高的水平,如在河南省安阳出土的 875kg 的司母戊鼎,体积庞大、花纹精巧、造型精美,是迄今为止世界上最古老的大型青铜器,在当时的条件下要浇注出这样庞大的金属器物,如果没有科学的劳动分工和先进的冶炼、铸造技术,是不可能制造出来的。

公元前 6 世纪的春秋末期,我国就已出现了人工冶炼的铁器,比欧洲出现生铁早 1900 多年,东汉时期我国就掌握了炼钢技术,比其他国家早 1600 多年。如 1953 年在我国河北省兴隆地区出土用来铸造农具的铁模子,说明铁制农具早在我国春秋战国时期就已大量应用于农业生产中;1965 年在湖北省江陵出土的越王勾践青铜剑,虽然在地下深埋了 2000 多年,但是这把剑在出土时却没有一点锈斑,依然完好如初,锋利无比,说明当时人们已经掌握了金属的冶炼、锻造、热处理和防腐蚀等先进技术;在河南省辉县发现的琉璃阁战国墓中,殉葬铜器的耳和足是用钎焊方法与本体连接在一起的,说明在战国时期我国就已经采用了焊接技术。

与此同时,我国劳动人民在长期的生产实践中也总结出了一套比较完整的金属材料加工工艺经验著述,如先秦时代的《考工记》、宋代沈括的《梦溪笔谈》、明代宋应星的《天工开物》等著作中,都有冶炼、铸造、锻造、淬火等各种金属加工方法的记载。

历史事实充分说明,我国古代劳动人民在金属材料及其加工工艺方面取得了辉煌的成就,为世界文明和人类的进步做出了巨大贡献。但是到了近代,由于封建王朝的长期统治和闭关自守政策,严重阻碍和束缚了我国生产力技术的发展,特别是鸦片战争以后的几十年间外国的侵略和剥削,使我国工业和科学技术水平一直处于落后状态。

新中国成立后,我国在金属材料、非金属材料及其加工工艺研究等方面都有了突飞猛进的发展,新材料和新工艺的出现推动了机械制造、矿山冶金、交通运输、石油化工、电子仪表、航天航空等现代化工业的发展。原子弹、氢弹、导弹、人造地球卫星、宇宙飞船、超导材料、纳米材料等重大项目的研究与试验成功,都标志着我国在工程材料及其加工工艺方面的发展达到了世界先进水平。

虽然我国在很多方面已经取得了很大的成就,但是与世界发达国家相比,我国的机械工业在产品质量、生产能力、技术水平、经济效益和管理水平等方面还存在一定的差距,特别是材料科学的发展水平不能完全适应国民经济发展的需要,因此,加强新材料的研究,加快工程材料及热加工工艺技术的发展和运用,对我国现代化水平的发展和生产力的提高具有非常重要的意义。

三、本课程的性质、任务和学习方法

《工程材料与热加工》是一门综合性的技术基础课,是机械类、近机类专业学生的必修

课,它由机械工程材料及其零件(或毛坯)热加工技术两大部分内容组成。

工程材料是构成各种机械产品的基础,也是各种机械加工的对象,它包括金属材料、非金属材料 and 复合材料等;热加工工艺部分包括金属材料的热处理、铸造、锻压、焊接等加工技术。

通过本课程的学习,应达到以下基本要求:

- ① 了解工程材料及热加工技术在机械制造过程中的作用和地位,熟悉金属材料常用热处理工艺的原理、特点,掌握常用金属材料的牌号、性能、用途和一般选用原则;
- ② 掌握金属材料主要热加工工艺和板料冲压的基本原理、特点和应用范围;
- ③ 了解零件失效的主要形式,熟悉毛坯或零件的结构工艺性,并具有设计毛坯和零件结构的初步能力;
- ④ 了解与本课程有关的新技术、新工艺、新设备、新材料的发展概况。

本课程具有较强的理论性与实践性,学习中应注重前后知识的衔接、分析、理解与运用。为了提高今后工作中分析问题、解决问题的能力,在理论学习的同时,要注意联系课程实验及金工实习环节的内容;为保证教学质量,本课程宜安排在金工实习之后学习,以达到预期的学习要求和目的。本课程中有关热加工工艺知识方面的内容,尚须在以后有关课程教学、课程设计和毕业设计中反复练习、巩固与提高后,才能达到掌握与熟练应用的目的。

学习本课程时,应注意课前预习,并根据教学内容完成老师布置的课后复习思考题,以巩固所学知识,培养独立分析问题和解决问题的能力;对于课程实验学生要学会分析和总结,写出相应的实验报告,以获得一定的实验技能,提高学习效果。

第一章

金属材料性能

金属材料由于品种多，能够满足各种机械产品不同的性能要求，因此在机械制造中广泛应用。为了合理选择和使用金属材料，充分发挥金属材料的潜力，应充分了解和掌握金属材料的有关性能。金属材料的性能一般分为使用性能和工艺性能。金属的使用性能反映了金属材料在使用过程中表现出来的特性，包括力学性能、物理性能、化学性能等；金属的工艺性能反映了金属材料在制造加工过程中表现出来的各种特性，包括铸造性能、锻压性能、焊接性能、热处理性能、切削加工性能等。

金属的力学性能是指材料在外加载荷作用下表现出来的特性。它取决于材料本身的化学成分和材料的组织结构。当载荷性质、环境温度、介质等外在因素不同时用来衡量材料力学性能的指标也不同。常用的力学性能指标有强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。

第一节 金属材料的力学性能

一、强度

强度是指金属在外力作用下抵抗永久变形和断裂的能力。金属材料的强度与塑性指标是通过拉伸试验测得的。

1. 拉伸试验

拉伸试验是在拉伸试验机上进行的。试验之前，先将被测金属材料按照 GB/T 228—2010 要求制成标准试样。图 1-1(a) 为圆柱形拉伸试样， d_0 为试样原始直径， L_0 为试样原始标距长度。

试验时，将试样装夹在拉伸试验机上，在试样两端缓慢地施加轴向拉伸载荷，随着载荷不断增加，试样被逐步拉长，直到拉断为止。在拉伸过程中，试验机将自动记录每一瞬间的载荷 F 与伸长量 ΔL 之间的变化曲线，即拉伸曲线。

图 1-2 为低碳钢的拉伸曲线。从图中可以看出，低碳钢在拉伸过程中试样伸长量 ΔL 与载荷 F 之间有如下关系。

op 段：为一条斜线，在此区间试样伸长量 ΔL 与载荷 F 成正比关系，完全符合虎克定律。去除载荷，试样能完全恢复到原来的尺寸和形状，属于弹性变形阶段。

pe 段：在该区间，拉伸曲线开始偏离直线，伸长量 ΔL 与载荷 F 之间不符合虎克定律，但去除载荷后，试样仍能恢复到原来的尺寸和形状，因此该阶段仍属于弹性变形阶段。

es 段：该段曲线呈水平或锯齿形，试样表现为在载荷不增加的情况下，伸长量却继续

增加, 去除载荷后, 试样已不能恢复原状, 开始出现塑性变形, 这种现象称为屈服。

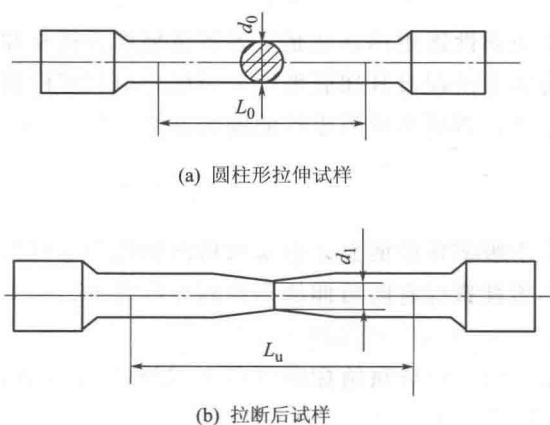


图 1-1 拉伸试样

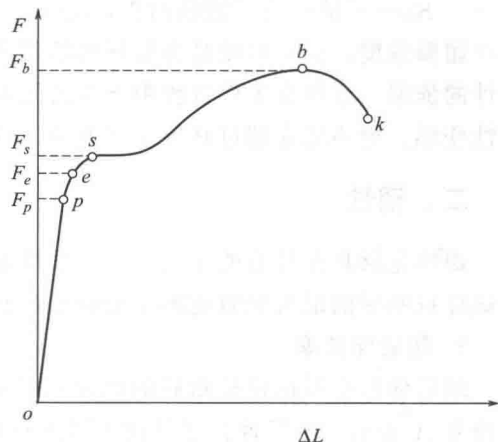


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

sb 段: 当载荷超过屈服点载荷后, 试样的伸长量 ΔL 随载荷 F 的增加继续伸长直到 b 点, 该阶段试样为均匀变形阶段。

bk 段: 在试样的局部开始收缩, 产生“缩颈”现象, 由于试样局部截面逐渐减小, 其承受载荷的能力也不断下降, 直至到达 k 点时试样被拉断。

2. 强度指标

强度是用应力来表示的。当材料受载荷作用而未被破坏时, 其内部会产生一个与载荷相平衡的内力。材料单位面积上的内力称为应力, 用 R 表示, 单位为 MPa 。

$$R = \frac{F}{S_0} \quad (1-1)$$

式中 F ——试样所承受的载荷, N ;

S_0 ——试样的原始截面积, mm^2 。

材料强度的高低是以其能承受的应力大小来表示的, 根据拉伸试验可得到金属材料的以下强度指标:

(1) 屈服强度 当金属材料呈现屈服现象时, 在试验期间达到塑性变形发生而力不增加的应力点。金属材料的屈服强度分为上屈服强度和下屈服强度, 如图 1-3 所示。

①上屈服强度 试样发生屈服而力首次下降前的最大应力, 用 R_{eH} 表示。

②下屈服强度 在屈服期间, 不计初始瞬时效应的最小应力, 用 R_{eL} 表示。

当金属材料在拉伸试验过程中没有明显屈服现象发生时, 可测定规定塑性延伸强度 (R_p) 或规定残余延伸强度 (R_r)。

(2) 抗拉强度 抗拉强度是指试样拉断前所能承受的最大应力值。用 R_m 表示, 单位为 MPa 。

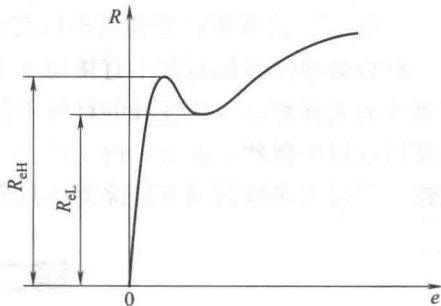


图 1-3 屈服强度的测定

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad (1-2)$$

式中 F_m ——试样断裂前所承受的最大载荷，N；
 S_0 ——试样的原始截面积， mm^2 。

屈服强度、抗拉强度是金属材料两个重要力学性能指标，也是大多数机械零件选材和设计的依据。零件在工作过程中承受的最大应力值不能超过其屈服强度，否则会引起零件的塑性变形；更不能在超过其抗拉强度的条件下工作，否则会导致零件的断裂破坏。

二、塑性

塑性是材料在外力的作用下产生塑性变形而不被破坏的能力。金属材料的塑性指标可以用试样拉断时的最大相对变形量来表示，常用的塑性指标有断后伸长率和断面收缩率。

1. 断后伸长率

断后伸长率是试样拉断后的标距增长量 $(L_u - L_0)$ 与原始标距 (L_0) 之比的百分数，用符号 A 表示。断后伸长率可用下式进行计算：

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% \tag{1-3}$$

式中 L_u ——拉断后试样标距的长度，mm；
 L_0 ——试样的原始标距长度，mm。

材料的伸长率是随原始标距长度的增大而减小的，所以同一材料的短试样要比长试样测得的伸长率大，对局部集中变形特别明显的材料，甚至可大到 20%~50%。

拉伸试验采用的拉伸试样为原始标距与横截面积有 $L_0 = k \sqrt{S_0}$ 关系的比例试样。对于比例试样，国际上使用 $k = 5.65$ 的短比例试样，其断后伸长率用 A 表示，短试样的原始标距应不小于 15mm。当试样横截面积太小，以致采用比例系数 k 为 5.65 不能符合这一最小标距要求时，可以采用 $k = 11.3$ 的长比例试样，其断后伸长率用 $A_{11.3}$ 表示或采用非比例试样。

2. 断面收缩率

断面收缩率是指试样拉断后试样处横截面积的最大缩减量 $(S_0 - S_u)$ 与原始横截面积 (S_0) 之比的百分数，用符号 Z 表示。断面收缩率可用下式进行计算：

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\% \tag{1-4}$$

式中 S_0 ——试样的原始横截面积， mm^2 ；
 S_u ——试样断口处的最小横截面积， mm^2 。

材料的塑性指标通常不直接用于工程设计计算，但材料的塑性对零件的加工和使用都具有重要的实际意义。塑性好的材料不仅能顺利地进行锻压、轧制等塑性变形加工，而且零件在使用过程中偶然超载时，由于产生一定的塑性变形而不致突然断裂，从而提高了产品的安全性。所以大多数机械零件除要求具有较高的强度外，还必须具有一定的塑性。

第二节 硬 度

硬度是指材料抵抗局部变形，特别是抵抗塑性变形、压痕或划痕的能力，它是衡量材料软硬程度的指标。硬度试验和拉伸试验都是在静态力下测定材料力学性能的，一般情况下，材料的硬度越高，其强度越高，耐磨性越好。硬度的高低不仅取决于材料的成分和组织结