



普通高等学校“十三·五”规划教材

金属工艺学简明教程

郭春洁 韩淑洁 主编

西北工业大学出版社

普通高等学校“十三五”规划教材

JINSHU GONGYIXUE JIANMING JIAOCHENG

金属工艺学简明教程

主 编	郭春洁	韩淑洁	
副主编	于 杰	郑明强	
参 编	孔 波	王沙沙	许洪昌
	陆银梅	夏鹏健	
主 审	孟庆东		

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书简明地介绍金属材料和金属零件制造工艺技术基础知识,内容包括金属材料及热处理、金属铸造、金属压力加工及焊接成形、金属切削加工、精密加工和特种加工、典型表面加工分析以及金属工艺过程的拟定。书中有一定数量的实例,以加深读者对理论知识的理解和记忆;每章后列出“复习题”,便于读者掌握所学知识。在书后的附录中还设置了“自我检测题”,方便于读者复习应考。

另外,紧密配合教材内容还设计制作了电子课件,并附各章的“复习题”及“自我测试题”的参考答案,方便了师生的教与学。

本书作为高等学校机械类、近机类、相关工程类专业的教材,亦可作为上述同类专业的职工大学等成人高校的教材。本书也可供工程技术人员和工程管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学简明教程/郭春洁,韩淑洁主编. —西安:西北工业大学出版社, 2017.6
ISBN 978 - 7 - 5612 - 5420 - 2

I. ①金… II. ①郭…②韩… III. ①金属加工—工艺学 IV. ①TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 161414 号

策划编辑: 付高明
责任编辑: 付高明

出版发行: 西北工业大学出版社
通信地址: 西安市友谊西路 127 号 邮编: 710072
电 话: (029)88493844 88491757
网 址: www.nwpup.com
印 刷 者: 兴平市博闻印务有限公司
开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16
印 张: 18.5
字 数: 445 千字
版 次: 2017 年 6 月第 1 版 2017 年 6 月第 1 次印刷
定 价: 39.00 元

前 言

随着工业技术的发展和改革开放的不断深入,新一轮的产业调整使我国成为制造大国,并向制造强国迈进。机械制造业作为技术密集型产业,它的健康快速发展离不开高素质的机械加工技术人员。为了方便相关专业在校学生掌握各类工程中最常用的材料——金属材料及其零件制造工艺技术的基础知识,我们编写了这本《金属工艺学简明教程》。

本书是依据国家教育部颁发的《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》和面向 21 世纪教学内容和课程体系改革项目“机械类专业人才培养方案和课程改革的研究与实践”的相关研究成果进行编写的。

本书内容分为两篇,共十九章。

第一篇(共九章),金属材料及其热成形工艺基础:主要讲述金属材料的基础知识、工业上常用的金属材料及其热处理、金属热加工成形的主要方法,如铸造、锻造、焊接等。

第二篇(共十章),金属冷成形工艺基础:主要讲述金属切削加工概念、刀具材料及刀具角度、切削过程及影响加工质量的主要因素,以及常见的切削加工方法,如车削、钻削、镗削、刨削、拉削、铣削和磨削;精密加工、精整加工、光整加工及特种加工技术的特点和应用;新材料和新工艺及其发展趋势;金属工艺过程的拟定,工件的装夹和夹具对加工质量的影响,以及工艺规程的拟定和典型零件加工工艺实例等。

本书具有如下特点。

(1) 本书对传统的金属及其工艺学内容进行了精选,以培养学生使用 and 选择金属材料及成形工艺的能力为主要目的,去掉了繁冗的细节,保留了必要的理论基础并增加了新材料和新工艺及其发展趋势的介绍。

(2) 本书以理论知识“够用为度”,加强实践能力的培养,做到理论联系实际。在兼顾基础知识的同时,强调实用性和可操作性。

(3) 本书叙述精炼、通俗易懂,并采用了由浅入深、循序渐进、层次清楚的写作方式,体现简明的特色。

(4) 紧密配合教材内容设计制作了电子课件,内容图文并茂,并附有各章的“复习题”及附录“自我测试题”的参考答案,大大方便了师生的教与学。课件挂在出版社的教材服务网上(WWW.NPUP.com),免费供读者使用。

本书主要作为高等学校机械类、近机械类、相关工程类等专业的本、专科以及高职、高专的教材;也可作为上述同类专业的职工大学、业余大学、函授大学、远程教育等的教材;亦可供其他有关专业的师生和工程技术人员参考。

参加编写的单位(人员)有:青岛科技大学(王沙沙、陆银梅、夏鹏健);青岛远洋船员职业学院(韩淑洁);山东烟台南山学院(郭春洁);青岛海洋技师学院(于杰、孔波、郑明强);山东济宁

技师学院(许洪昌)。

编写人员分工如下:

于杰:编写第1~4章及其电子课件的设计制作。

孔波:第6章的校订及其电子课件的设计制作。

王沙沙:第7章和第8章的校订及其电子课件的设计制作。

郑明强:编写第11~13章及其电子课件的设计制作。

郭春洁:编写前言、绪论、第5~10章。

许洪昌:第10章的校订及其电子课件的设计制作。

陆银梅:第9章的校订及其电子课件设计制作。

夏鹏健:第5章的校订及其电子课件的设计制作。

韩淑洁:编写第14~19章及其电子课件的设计制作。

本书由郭春洁和韩淑洁任主编,并统稿。由于杰和郑明强任副主编。

青岛科技大学孟庆东和杨洪林两位教授详细审阅了书稿,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

在本书的编写出版过程中得到了参编者所在学校的领导和有关部门的大力支持。本书编写中参考并引用了有关文献资料、插图等,在此一并对上述单位及相关作者表示诚挚的感谢。

由于水平所限,书中难免存在错误、疏漏和不当之处,恳求广大读者批评指正。

编 者

2017年2月

目 录

绪论	1
----	---

第一篇 金属材料及其热成形工艺基础

第一章 金属材料综述	4
------------	---

第一节 金属及金属材料的分类	4
第二节 金属材料的主要性能	5
第三节 钢铁材料生产过程概述	11
复习题	14

第二章 金属材料的结构	15
-------------	----

第一节 固体材料的结构	15
第二节 金属晶体结构	16
第三节 纯金属的结晶	17
第四节 合金的晶体结构	19
第五节 匀晶相图	20
第六节 共晶相图	23
第七节 合金的结晶	24
复习题	25

第三章 铁碳合金	26
----------	----

第一节 铁碳合金的基本组织	26
第二节 铁碳合金状态图	27
复习题	35

第四章 钢的热处理	36
-----------	----

第一节 热处理概述	36
第二节 钢在加热时的组织转变	37
第三节 钢在冷却时的组织转变	40
第四节 退火与正火	41
第五节 钢的淬火与回火	44

第六节 表面淬火及化学处理	47
第七节 热处理工艺应用	48
* 第八节 热处理新工艺简介	50
复习题	51
第五章 工业用钢和铸铁	52
第一节 钢的冶炼和加工简介	52
第二节 碳钢	54
第三节 合金钢	58
第四节 铸铁	61
复习题	64
第六章 非铁金属(或有色金属)及其合金	65
第一节 铝及铝合金	65
第二节 铜及铜合金	69
第三节 钛及钛合金	75
第四节 滑动轴承合金	76
* 第五节 粉末冶金材料	79
复习题	81
第七章 铸造	82
第一节 砂型铸造工艺	82
第二节 铸造工艺图	88
第三节 合金的熔炼与浇注	90
第四节 特种铸造	98
* 第五节 几种铸造方法特点与经济性的比较	103
复习题	104
第八章 金属压力加工	106
第一节 金属压力加工的基本原理	106
第二节 金属锻造时的加热与冷却	109
第三节 锻造	112
第四节 板料冲压	121
* 第五节 其他常用压力加工方法简介	126
* 第六节 锻压新工艺简介	129
复习题	132

第九章 金属的焊接成形技术与切割	133
第一节 焊接概述	133
第二节 熔化焊成形基本原理	134
第三节 常用焊接成形方法	142
第四节 常用金属材料的焊接	151
第五节 焊接工艺及结构设计	155
第六节 焊接缺陷与焊接质量检验	156
复习题	158

第二篇 金属冷成形工艺基础

第十章 金属机械加工基础	160
第一节 金属机械加工的基础知识	160
第二节 金属切削刀具	162
复习题	169
第十一章 车削加工与镗削加工	170
第一节 车削加工	170
第二节 镗削加工	176
复习题	177
第十二章 铣削加工	179
第一节 铣削加工概述	179
第二节 铣床	179
第三节 铣刀	181
第四节 铣床主要附件	183
第五节 铣削加工方法	185
第六节 铣削加工的工艺特点和应用	186
第七节 铣削加工示例	187
复习题	188
第十三章 刨削、插削和拉削加工	189
第一节 刨削加工	189
第二节 插削加工简介	196
第三节 拉削加工简介	198

复习题	200
第十四章 钻削、铰削和镗削加工	201
第一节 钻削加工	201
第二节 扩孔、铰孔与镗削加工	206
复习题	208
第十五章 磨削加工	209
第一节 磨削加工概述	209
第二节 磨床	210
第三节 砂轮	214
第四节 工件的安装	215
第五节 磨削加工基本操作	217
复习题	220
第十六章 齿形加工	221
第一节 齿形加工方法及装备	221
第二节 齿形基本加工方法	222
复习题	226
第十七章 特种加工技术	227
第一节 概述	227
第二节 电火花加工	229
第三节 高能束加工	231
第四节 电化学加工	234
第五节 超声波加工	235
复习题	236
第十八章 现代加工技术简介	237
第一节 数控加工技术	237
第二节 立体打印法(SLA)	242
第三节 虚拟制造技术简介	243
第四节 绿色制造及少无切削加工	243
第五节 精密与超精密加工技术	247
复习题	249
第十九章 金属工艺过程的拟定	250
第一节 概述	250

第二节 工件的装夹与夹具	252
第三节 零件结构工艺性分析及毛坯的选择	254
第四节 工艺规程的拟定	256
复习题	263
附录 自我测试题	264
参考文献	285

绪 论

一、材料及金属材料概述

1. 材料概述

材料是社会发展的物质基础,人类利用材料制作了生产与生活中使用的工具、设备及设施,不断改善了自身的生存环境与空间,创造了丰富的物质文明和精神文明,因此,材料同人类社会的发展密切相关。

历史学家为了科学地划分人类在各个社会发展阶段的文明程度,就以材料的生产和使用作为人类文明进步的尺度。以材料为标志,人类社会经历了石器时代(公元前 10 万年)、陶器时代(公元前 8 000 年)、青铜器时代(公元前 5 000 年)、铁器时代(公元前 1000 年)、水泥时代(元年)、钢时代(1800 年)、硅时代(1950 年)、新材料时代(1990 年)等,可以看出,人类使用材料的足迹经历了从低级到高级、从简单到复杂、从天然到合成的过程,目前人类已进入金属(如钛金属)、高分子、陶瓷及复合材料共同发展的时代。

2. 金属材料概述

在国民经济建设和人们日常生活中,金属材料无所不在。空中的飞机、水中的轮船、地面的火车、钢架结构的“鸟巢”、工程机械和各类生活用品几乎都是用金属制造的,如图 0-1 所示。可以说,没有金属材料人们将无法生存。

人类的进步和金属材料息息相关,青铜器、铁器、现代的铝、当代的钛,它们在人类的文明进程中都扮演着重要的角色。

金属材料是现代工业、建筑及国防建设中使用最广的工程材料。在材料的使用及其加工过程中,金属材料的生产和应用是人类社会发展的重要里程碑。

由此可见,对于从事机械制造、工程建设及国防建设等方面的人员来说,了解金属材料方面的相关知识具有重要意义。

二、金属材料成形技术的分类

金属材料的成形加工基本可以分为热加工成形和冷加工成形两大类。

1. 热加工成形

金属材料热加工成形包括铸造成形、锻压成形和焊接成形。

(1)铸造成形是将金属熔化成液态后,浇注到与成形零件的形状及尺寸相适应的铸型型腔中,待其冷却凝固后获得零件毛坯的生产方法。

(2)锻压成形是指将具有塑性的金属材料,在热态或冷态下借助锻锤的冲击力或压力机的压力,使其产生塑性变形,以获得所需形状、尺寸及力学性能的毛坯或零件的加工方法。锻压是锻造和冲压的总称,有时也称其为金属压力加工。

(3)焊接成形是一种通过加热或加压或两者并用,用或不用填充材料,使被焊材料之间达

到原子结合而形成的永久性连接的工艺方法。

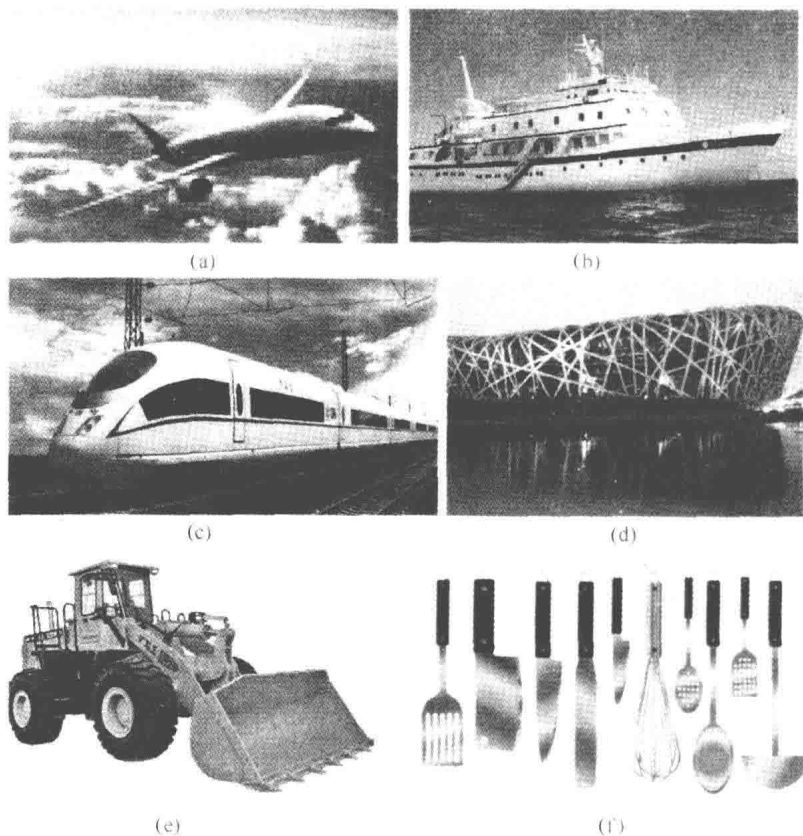


图 0-1 金属材料制品

(a)飞机；(b)轮船；(c)火车；(d)“鸟巢”；(e)工程机械；(f)生活用品

2. 冷加工成形

冷加工成形是使用切削工具(包括刀具、磨具和磨料),通过工具与工件之间的相对运动,把工件上多余的材料层切除,使工件获得规定的尺寸、形状和表面质量的加工方法。

三、金属材料及其加工工艺课程概述

1. 课程的特点

课程具有内容广、实践性强和综合性突出的特点,比较系统地介绍了金属材料分类、性能、加工工艺方法及其应用范围等知识。该课程是融汇多种专业基础知识为一体的专业技术基础课,是培养从事机械装备制造行业应用型、管理型、操作型及复合型人才的一门必修课程。

2. 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、工程类及工程管理专业必修的一门综合性的技术基础课,主要涉及金属材料及其成形技术。

课程的基本要求是通过本课程的学习,能够了解或掌握各类常用的金属材料性能和应用、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,本课程的任务如下:

- (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。

3. 学习本课程的意义

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,金属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。

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。

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。每章的复习题是本课程学习的必要环节,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。

第一篇 金属材料及其热成形工艺基础

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)成形工艺基础知识。

第一章 金属材料综述

第一节 金属及金属材料的分类

一、金属、纯金属与合金的概念

金属是指具有良好的导电性和导热性,有一定的强度和塑性,并具有光泽的物质,如铁、铝和铜等。金属材料是由金属元素或以金属元素为主,其他非金属为辅构成的,并具有金属特性的工程材料,它包括纯金属和合金两类。

纯金属在工业生产中虽具有一定的用途,但由于其强度、硬度一般都较低,且冶炼技术复杂,价格较高,因此在使用上受到较大的限制。目前广泛使用的是合金状态的金属材料。

合金是指两种或两种以上的金属元素或金属与非金属元素组成的金属材料。例如,普通黄铜是由铜和锌两种金属元素组成的合金,碳素钢是由铁和碳组成的合金,合金钢是由铁、碳和合金元素组成的合金。与纯金属相比,合金除具有更好的力学性能外,还可以通过调整组成元素之间的比例,以获得一系列性能各不相同的合金,从而满足不同的性能要求。

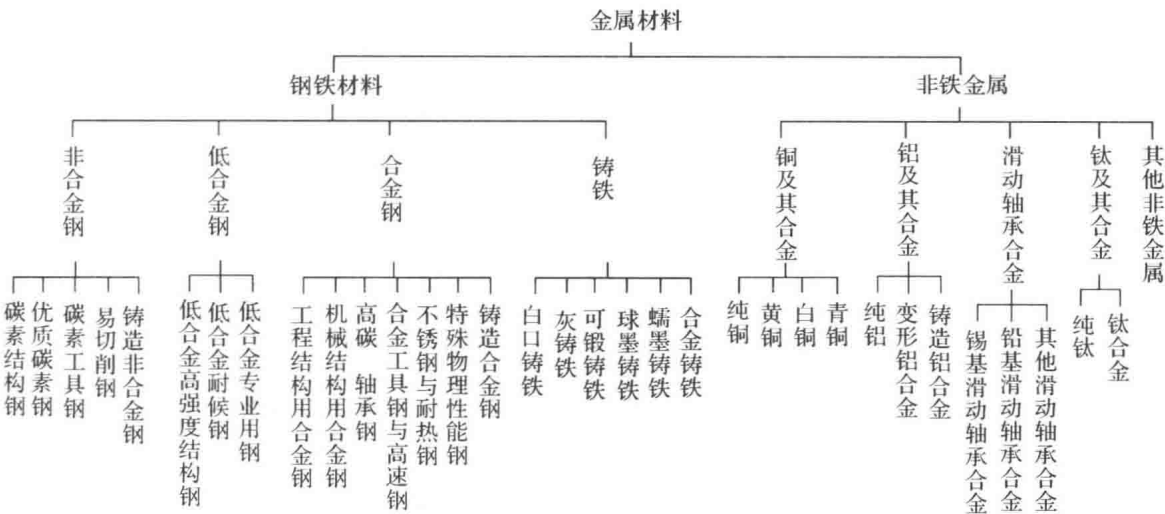
二、金属材料的分类

金属材料在国民经济中有重要的作用,这主要是由于金属材料具有比其他材料优越的性能,如物理性能、化学性能、力学性能及工艺性能等,能够满足生产和科学技术发展的需要。金属材料通常还可分为钢铁材料和非铁金属两大类,如表 1-1 所示。

1. 钢铁材料

以铁或以铁为主而形成的金属材料,称为钢铁材料(或称黑色金属),如各种钢材和铸铁。

表 1-1 金属材料分类



2. 非铁金属

除钢铁材料以外的其他金属材料,统称为非铁金属(或称有色金属),如铜、铝、镁、锌、钛、锡、铅、铬、钼、钨、镍等。

除此之外,还出现了许多新型的具有特殊性能的金属材料,如粉末冶金材料、非晶态金属材料、纳米金属材料、单晶合金、超导合金以及新型的金属功能材料(如永磁合金、高温合金、形状记忆合金、超细金属隐身材料、超塑性金属材料、储氢合金)等。

第二节 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。

一、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。

1. 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。

(1)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_0 与其截面直径 d 的比例规定为

$$L_0 = 5d \quad (\text{短试件}) \quad \text{或} \quad L_0 = 10d \quad (\text{长试件})$$

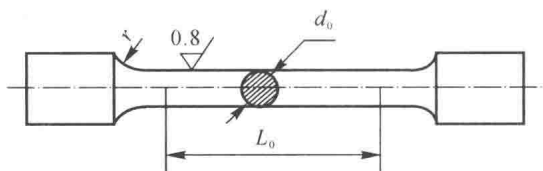


图 1-1 标准拉伸试样示意图

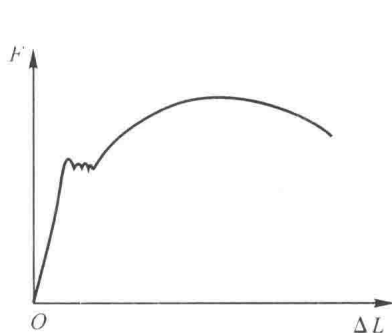


图 1-2 低碳钢拉伸曲线示意图

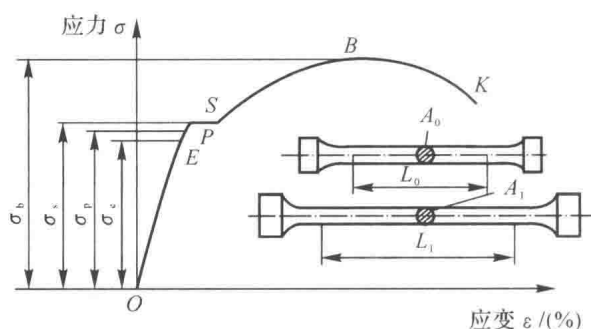


图 1-3 低碳钢拉伸时的应力应变曲线

A. 低碳钢拉伸时的力学性质。低碳钢是指含碳质量分数在 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。

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_0 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 变换成材料试样单位的力——应力 $\sigma = F/A$ 。记录 σ 和 ϵ 关系的曲线称为应力—应变曲线或 $\sigma-\epsilon$ 曲线。

由应力—应变曲线可观察到以下现象。

a. 弹性和刚度。从图 1-3 中可看出,若应力不超过 σ_p , 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_p 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

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

式中,比例常数 E 为弹性模量,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 $(1.96 \sim 21.6) \times 10^9 \text{ Pa}$ 之间。 E 值随温度的升高而逐渐降低。

b. 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 $\sigma_s (\text{MPa})$ 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。可见 σ_s 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(见图 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。

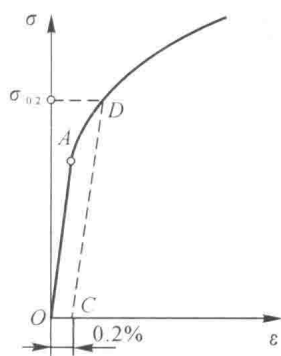


图 1-4 名义屈服强度

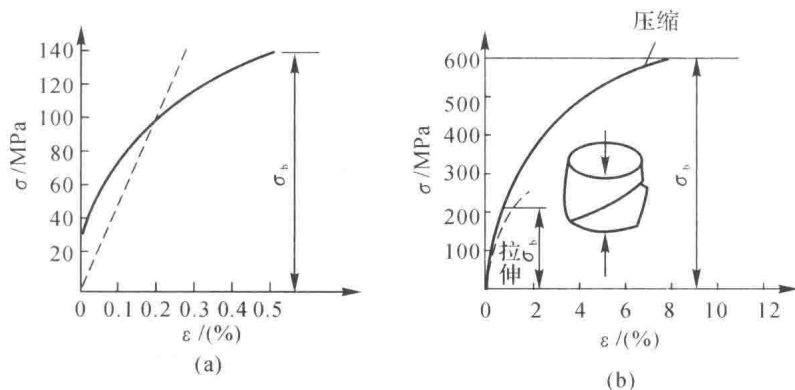


图 1-5 灰口铸铁拉伸、压缩强度示意图

c. 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 σ - ϵ 曲线上的位置如图 1-4 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。

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。

B. 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。

a. 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