

工程材料

及

Gongchengcailiao

Ji Chengxingjishu

成形技术

王爱珍 主编



工程材料及成形技术

主 编 王爱珍
副主编 张太超 袁维宝



机械工业出版社

本书从工程材料及成形技术应用角度出发,以培养高等学校机械类各专业学生具有合理选用金属材料、正确选择成形方法、妥善安排工艺路线的初步能力、拓宽学生知识面、了解非金属材料及新材料在工程方面的应用为主要目标。

本书主要讲述:金属材料的结构、成分、组织与性能、加工工艺之间的关系;钢铁材料热处理的基本原理和工艺及其在机械构件上的应用;常用金属材料(碳钢、合金钢、铸铁、非铁(有色)金属及合金和新材料等)的分类、编号、成分、组织结构、性能及用途;金属材料的选用原则;机械设计对金属材料及热处理的技术要求;非金属材料(高分子材料、工程陶瓷、复合材料等)的基本性质及其工程应用等。

本书可作为高等院校机械类各专业使用的教材,也可供有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料及成形技术/王爱珍主编.——北京:机械工业出版社,2003.2

ISBN 7-111-11574-0

I. 工... II. 王... III. ①工程材料②机械制造工艺 IV. ①TB3②TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第007391号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:张秀恩 王兴垣 版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:张静 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003年3月第1版第1次印刷

1000mm×1400mm B5·12.5印张·485千字

0 001—5 000册

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

序

郑州轻工业学院王爱珍教授主编的机械类教材《工程材料及成形技术》，从全书所涉及的内容和体系看，具有下列特点：

1. 针对新世纪我国理工科大学人才培养的目标和科学技术的综合发展趋势，紧密结合作者丰富的教学经验和科研经历，使教材从内容的选择到体系的形成具有较大的改革力度。

2. 本教材注重选择有关材料组织结构方面的基本理论知识，从而保证了教材内容的科学性、承继性和相对的稳定性。另外，教材从工程材料的基本性能出发，结合材料成形、改性过程中的各种工艺方法，不仅可以节省篇幅，而且在体系上具有一定特色。

3. 本教材注重理论联系实际，学以致用，重视材料坯件成形的工艺设计和结构设计，强调学生实际工程技术能力的培养。

4. 本教材顺应时代的发展和制造工程的实际需要，将传统的金属材料扩展到非金属材料 and 复合材料等新领域。其中的金属材料也不只是局限于常见的黑色金属和有色金属，而广泛涉及硬质合金、减振合金、轴承合金和形状记忆合金等，为学生选材拓宽了视野。

5. 本教材除了有常规的热处理内容外，还对钢铁、铝合金等材料的表面处理予以关注，可以较好地适应知识和技术方面的人才培养和市场的的市场的新需求。

6. 本教材采用了最新的国家标准和行业标准，增加了生产中广泛应用的相关图表、资料、经验公式和工艺设计实例，有助于学生对知识的理解和在解决实际工程问题时采用。

总之，本书是近年来我国高等理工科院校教育教学改革中推出，并具有一定时代特色的好书，值得出版。

清华大学

傅永根

2002年12月18日

前 言

本教材是作者在多年的教学实践和教学内容、教学体系改革探索的基础上,根据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,借助教材是教学内容、教学思维方式及教学改革方案的载体之一编写而成的。

本教材的内容体系注重是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、进行了教学体系、教学内容、教学方法和实践教学模式的全面革新,在保证教学内容基础性和实践性原则下,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,将“金工实习”、“工程材料”、“热加工工艺基础”和“机械制造工艺生产实习”等有关课程融合在一起,新增设“热加工工艺课程设计”,构成工程实践和创新实习、工程基础和创新思维、工程设计和能力培养相结合的新的三层次课程体系。

本教材可作为高等工科院校机械类及近机类本科教材,也可供有关工程技术人员参考。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。

本教材由郑州轻工业学院王爱珍教授主编,承蒙清华大学严绍华教授主审。郑州轻工业学院王爱珍编写前言、绪论和第二、八、十三、十四章等,高红霞编写第三章第三、四、五节及思考练习题和第七章第三节及思考练习题,纪莲清编写第三章第一、二节和第九章第三、四节及思考练习题;中原工学院张太超编写第一、六章和第四章第二节,沈晓来编写第七章第二节及思考练习题和第九章第一、二节;华北水利水电学院袁维宝编写第七章第一节和第八章第四节及思考练习题和第十四章第一、二节,袁昕编写第四章第一、三节及思考练习题和第十一、十二章、第十四章第三、四节及思考练习题。参加本书编写的还有张纯亮、杨岐子合编第五章;丁立中编写第二章和第十三章;唐明惠编写第八章第三节和第十章。

本教材由清华大学傅水根教授作序,并在编写过程中给予了初审和全面指导,在此表示衷心感谢。同时,还采用了栗富国老师及何旭光、周财江、李烁、裴莹等同志制作的图片,在此一并表示感谢。

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。

编者

2002年11月于郑州轻工业学院

目 录

序	
前言	
绪论	1

第一篇 金属材料基础

第一章 金属材料的主要性能	4
第一节 金属材料的力学性能	4
一、强度	4
二、塑性	8
三、硬度	8
四、冲击韧度	10
第二节 金属材料的物理、化学及工艺性能	12
一、物理和化学性能	12
二、工艺性能	13
第一章 思考练习题	13
第二章 金属材料的组织结构	14
第一节 金属的晶体结构及结晶	14
一、金属的晶体结构	14
二、纯金属的结晶	18
三、金属的同素异构转变	21
第二节 合金的晶体结构及结晶	22
一、固态合金的相结构	23
二、二元合金相图	25
三、相图与合金性能的关系	30
第三节 铁碳合金的结构及相图	32
一、铁碳合金的组织结构	32
二、铁碳合金相图	34
三、铁碳合金相图的应用	40
第二章 思考练习题	42
第三章 钢铁材料的改性处理	44
第一节 钢的热处理原理	44
一、钢在加热和冷却时的转变温度	44

VI

二、钢在加热时的组织转变	45
三、钢在冷却时的组织转变	46
第二节 钢的普通热处理	54
一、钢的退火	54
二、钢的正火	56
三、钢的淬火	56
四、钢的回火	61
第三节 钢的表面热处理	64
一、钢的表面淬火	64
二、钢的化学热处理	66
第四节 钢铁表面强化处理	69
一、喷涂覆层	69
二、气相沉积	70
三、高能束强化	71
第五节 钢铁表面防护处理	73
一、钢铁腐蚀与防护	73
二、钢铁电镀与化学镀	75
三、钢铁氧化（发蓝）与磷化	76
四、钢铁着色装饰处理	78
第三章 思考练习题	78
第四章 钢铁材料及应用	81
第一节 碳素钢	81
一、常存杂质元素对碳钢性能的影响	81
二、常用碳钢的分类	81
三、碳钢的牌号、性能及用途	82
第二节 合金钢	85
一、合金元素在钢中的作用	85
二、合金钢的分类和牌号	88
三、合金结构钢的性能和应用	89
四、合金工具钢	100
五、特殊性能钢	107
第三节 铸铁	111
一、铸铁的石墨化	111
二、常用铸铁的分类及应用	113
第四章 思考练习题	123
第五章 非铁（有色）金属材料及应用	125
第一节 铝及铝合金	125
一、纯铝	125

二、铝及铝合金	125
第二节 铜及铜合金	130
一、纯铜	130
二、铜合金	131
第三节 轴承合金	134
一、轴承合金的性能要求	134
二、轴承合金的组织特点	135
三、轴承合金的分类及应用	135
第五章 思考练习题	135
第六章 新型材料及应用	136
第一节 形状记忆合金	136
一、形状记忆合金的分类及特点	136
二、形状记忆合金的用途	137
第二节 减振合金	137
一、减振合金的分类及特点	137
二、减振合金的应用及发展	139
第三节 纳米材料	139
一、纳米微粒	139
二、纳米结构材料	140
第四节 磁性材料	140
一、软磁材料	140
二、硬磁材料	140

第二篇 金属材料成形

第七章 金属材料件成形工艺基础	142
第一节 金属材料件液态成形	142
一、金属液态成形原理	142
二、砂型铸造	151
三、特种铸造	154
四、快速成形 (RP) 技术	158
第二节 金属材料件塑性成形	159
一、金属塑性成形原理	159
二、锻造成形	165
三、冲压成形	170
四、少、无切削成形	174
第三节 金属材料件焊接成形	176
一、熔化焊成形原理	177
二、常用熔化焊方法	191

三、熔化焊成形新技术	194
四、常用压力焊成形方法	197
五、钎焊方法	200
第七章 思考练习题	200
第八章 金属材料件成形工艺设计	203
第一节 金属材料件液态成形工艺设计	203
一、铸造工艺方案的确定	203
二、铸造工艺参数的确定	209
三、浇注系统及冒口设计	213
四、铸造工艺图和铸造工艺卡片的绘制	216
五、综合分析举例	218
第二节 金属材料件塑性成形工艺设计	223
一、自由锻件工艺设计	223
二、模锻件工艺设计	241
三、冲压件工艺设计	248
第三节 金属材料件焊接成形工艺设计	255
一、焊缝及接头形式的确定	255
二、焊接方法的选择	259
三、焊接材料的选择	259
四、焊接工艺参数的确定	268
五、焊接热处理规范及尺寸精度的确定	271
六、焊接结构件工艺设计举例	273
第四节 金属材料件改性处理工艺设计	278
一、改性处理方法的选择	278
二、改性处理工艺参数的确定	280
三、改性处理工艺规范的制定	282
四、典型零件改性处理工艺设计	288
第八章 思考练习题	290
第九章 金属材料件结构设计	294
第一节 金属材料液态成形件结构设计	294
一、铸件结构应使铸造工艺过程简化	294
二、铸件结构应与合金的铸造性能相适应	299
三、铸件结构应与铸造方法相适应	304
四、组合铸件的设计	306
第二节 金属材料塑性成形件结构设计	307
一、锻造方法对结构设计的要求	307
二、冲压方法对结构设计的要求	310
三、锻造性能对结构设计的要求	313

第三节 金属材料焊接成形件结构设计	314
一、焊接结构件材料的选择	314
二、焊缝位置的设计	316
三、焊接接头的设计	319
四、焊接结构设计	323
第四节 金属材料改性处理件结构设计	329
一、避免尖角和棱角	329
二、避免厚薄悬殊	329
三、采取封闭和对称结构	330
四、采用组合结构	331
第九章 思考练习题	331
第三篇 非金属材料及成形	
第十章 高分子材料及成形	336
第一节 工程塑料及成形	336
一、工程塑料的组成	336
二、工程塑料的性能	337
三、工程塑料的应用	340
四、工程塑料件的成形	342
五、典型塑料件结构设计举例	349
第二节 工业橡胶及成形	351
一、工业橡胶的组成及性能	351
二、工业橡胶的应用	352
三、工业橡胶件的成形	352
第十章 思考练习题	353
第十一章 工业陶瓷及其成形	354
第一节 陶瓷的组织结构及性能	354
一、陶瓷的组织结构	354
二、陶瓷的性能	356
第二节 陶瓷的应用及成形	357
一、工业陶瓷的应用	357
二、陶瓷件的成形方法	358
第十一章 思考练习题	360
第十二章 复合材料及成形	361
第一节 复合材料的性能	361
一、力学性能	361
二、耐热性能	361
第二节 复合材料的应用	362

一、纤维增强复合材料	362
二、颗粒增强复合材料	363
三、层状复合材料	365
第三节 复合材料的成形	365
一、手糊成形法	365
二、缠绕成形法	366
三、喷射成形法	366
四、模压成形法	366
五、树脂转移模成形法	366
第十二章 思考练习题	367

第四篇 工程材料及坯件

第十三章 工程材料及坯件的选择	368
第一节 工程材料的选择	368
一、选材的基本原则	368
二、典型零件的选材	370
第二节 坯件的选择	372
一、坯件类型的比较	372
二、坯件类型选择	373
三、典型零件毛坯选择	375
第十三章 思考练习题	377
第十四章 典型坯件成形设计	379
第一节 V带轮的成形设计	379
一、直径小于100mm的小带轮设计	379
二、直径约300mm的中型或大型带轮设计	380
第二节 圆柱齿轮的成形设计	381
一、直径小于100mm的小齿轮设计	381
二、直径约200mm的小型齿轮设计	381
三、直径为400~1000mm的齿轮设计	382
第三节 小型汽油发动机成形设计	383
一、发动机结构及工作原理	383
二、发动机零件材料及成形设计	383
第四节 承压液压缸毛坯成形设计	385
一、技术分析	385
二、成形设计方案比较及选择	385
第十四章 思考练习题	386
参考文献	388

绪 论

一、课程在工业生产中的地位和作用

《工程材料及成形技术》课程包含各种工程材料及其毛坯零件成形技术两大部分内容。工程材料是材料科学的应用部分，是构成各种机械设备的基础，也是各种机械加工的对象，它包括金属材料、非金属材料和复合材料等，其中金属材料是现代制造机械的最主要材料。材料成形技术包括各种材料的铸造、锻压、焊接、聚合、烧结、喷射和模压等加工技术。

当前，随着金属与非金属材料的相互渗透，新型复合材料异军突起，各种新工艺、新技术不断涌现，以及各种分析测试技术（如衍射、电镜和探针等）快速发展，都有力地促进了对材料成分、结构和性能之间关系的探索。新材料对高科技和新技术具有非常关键的作用，没有新材料就没有发展高科技的物质基础，掌握新材料和发展新技术是一个国家在科技上处于领先地位的标志之一。因此，对于机械类专业的学生来说，只有了解和掌握这些材料的使用性能、工艺性能及其在成形过程中组织、成分、性能的变化和相互影响规律，才是合理选用材料及毛坯零件成形方法，以及合理编制工艺规程并确保获得优质机械零件的根本依据。

工程材料的使用性能包括力学性能和物理化学性能，其中力学性能在很大程度上取决于材料的微观结构，而微观结构又取决于微粒（原子或分子）的聚集状态，不同类型的材料，微粒聚集状态也不同，固态金属和较多非金属的微粒呈规则排列为晶体，如钢、铁、铜、铝等金属，而金刚石、硅酸盐、石蜡和松香等的微粒则呈杂乱无章、不规则堆积为非晶体。晶体呈现各向异性，而非晶体呈现各向同性。因此要深入认识工程材料性能差异的原因，就必须了解各种工程材料的微观结构及其成形工艺，以及其工艺性能，即铸造性、锻压性和焊接性等。同时，还必须了解为满足现代机械制造对零件性能越来越高的要求，所采用的各种改性处理工艺方法，改性处理是指对金属材料进行普通热处理、表面热处理、表面强化热处理，以及对金属和非金属材料进行表面精饰和防护处理等。

材料应用与材料成形技术是机械制造生产过程的重要组成部分，机械制造生产过程就是将各种原材料经过各种成形、改性、连接等工艺转变为机器的过程，机器类型不同，结构尺寸及技术要求不同，选择相应的材料和采用与之相适应的成形方法及加工过程也不同，通常将改变制造对象的形状尺寸、相对位置和性质等、使其成为成品和半成品的过程，称为工艺过程。本课程既论述了从矿石到机器的主要金属材料转变为成品的过程，又论述了高分子聚合材料和无机硅酸盐材料转

变为成品的过程，还论述了少无切削加工的新型复合材料转变为成品的过程。因此，本课程已远远超出传统“金属工艺”的概念和范畴，是研究各种机器设备选材、设计和成形方法的一门重要技术课。

二、课程在培养人才中的地位作用和任务

《工程材料及其成形技术》课程是研究金属材料和非金属材料的成分、组织结构、性能及用途，以及各种材料毛坯零件的成形工艺过程、成形原理、工艺设计及结构设计的一门综合性技术基础课。本课程的设置是为了使学生了解典型铸造、锻压、焊接、塑料、橡胶和陶瓷等毛坯零件的材料种类、组织、性能、改性处理工艺方法、成形工艺方法及结构工艺性，并了解各种材料适合的成形工艺工程与生产批量、零件质量、性能及成本等的关系。从而达到能根据零件的形状尺寸、使用要求和技术要求等具有合理选择材料、选择成形方法、拟定制造工艺，并正确设计零件结构的能力，以适应现代机械工程发展的要求。

在现代机械工程设计过程中，不仅要确定产品及各种零部件的结构，还必须同时确定所选的材料及相应的制造方法，亦即在设计、选材、制造三者之间多种方案分析比较且优化组合的基础上确定，并且每一种结构都要选择相应化学成分的材料来满足性能要求，而每种材料的性能又取决于材料的组织结构和成形方法，因此，结构设计、材料选择、成形方法选择不仅成了相互关联的综合性技术问题，还是机械设计的重要基础之一。

通过本课程的学习，不仅为后续课程的学习及从事机械零件设计制造及管理工作中打下必要的工艺技术基础，而且还能了解到新材料和铸、锻、焊等新技术的发展趋势，从而培养学生的超前意识和对本行业发展方向关注的的能力。

三、课程内容体系和教学主导思想

本课程的教学内容体系是建立在材料科学基础上，以材料性质和成形工艺形态为体系，采用科学和独特的方法，按照材料毛坯或零件成形的本质特征和组织性能，进行较为系统而连贯的叙述，将铁碳合金概括为“组织、性能、改性及使用”，将材料各种成形工艺过程概括为液态成形、塑性成形、熔接成形、聚合成形和压制成形等工艺过程，并对各种工艺过程作出可行性与局限性的评价，以便深化学生对材料多种成形过程本质及相互内在联系的认识，起到触类旁通的作用。

本课程的教学主导思想是以“材料、成形、改性、工艺设计及结构设计”为主线，将机械制造中广泛使用的传统工程材料和金属工艺经典内容进行了精选，将技术上较成熟、应用范围较宽或发展前景看好的新材料、新技术和新工艺作为基本教学内容加以引入，并将主线贯穿全书，突出全书的连续性、整体性，舍弃与主线偏离的无关紧要且过时的内容，将全书编写为四篇内容，第一篇内容重点介绍铁碳合金及相图、钢的热处理和常用金属材料的成分、组织、性能、牌号及应用；第二篇和第三篇内容重点介绍了各种金属材料件和工程塑料件工艺设计和结

构设计,重在强化培养学生分析问题和解决问题的能力,文中增加了大量图表、实例及解决方法,并适当增加新技术、新工艺内容及发展趋势,如高能束强化、快速成形(RP)技术、超塑性成形等,并在第四篇中例举了典型机械零件的毛坯材料及成形方法选择。全书前呼后应,由分述到综合,由理论分析到实际应用,紧抓课程主线,围绕典型重点讲透本质,讲清联系,讲出反映本质及其相互联系的重要特点及应用场合,力求系统完整地体现出重在培养能力的编写宗旨。

四、课程特点和教学方法

本课程具有覆盖知识面宽、综合性强、技术含量高、实用性很强等特点,通篇利用大量图表、框图、流程图、金相显微图等,对各种材料及工艺作系统性、原理性横向综合,分析比较,使学生对各种材料作出合理地评价和选择,对各种工艺过程的可能性与局限性作出正确的判断,迅速选择出最适合的成形方法。同时,在各个工艺环节的编写中,既注意密切联系实际,尽量联系实验、生产和专业,多列举中小企业生产的产品及生产中需要分析和解决的实际问题,以便进行多样化教学、开阔学生的思路,还注意了与金工实习教材内容的配合、拓宽和加深,并引入现代先进技术的应用与发展趋势,从而培养学生对新技术、新工艺的研究兴趣,提高学生科技创新的能力。

在教材中每章内容后面安排有训练作业。其中第八章每节内容还重点安排有金属材料各种成形工艺设计实例及解题方法,为后续课程设计奠定了必要的设计基础。第四篇还安排有综合性教学章节和综合训练作业。这就是本教材相比目前同类教材的独到之处,特别适用于机械类各专业毛坯成形工艺课程设计及毕业设计查阅使用。

第一篇 金属材料基础

第一章 金属材料的主要性能

金属材料是现代机械制造的最主要材料，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、选材和制订各种加工工艺的重要依据。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。

由金属材料制成的各种零件或构件，在制造和使用过程中，都会受到各种形式的外力作用，如轴类零件受弯曲力和扭力的作用等。

金属材料在外力作用下表现出来的特性称为力学性能，分为弹性、塑性、强度、硬度和冲击韧度等。金属材料的力学性能指标可通过各种试验测出。常用的试验方法有拉伸试验、硬度试验和冲击试验等。

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、抗拉强度、抗压强度、抗弯强度等，工程上常用的是屈服强度和抗拉强度，这两个强度指标可通过拉伸试验测出。

(一) 静载时的强度

1. 拉伸试验

先将被测材料按 GB/T6397—1986 规定制成标准试样（图 1-1），再将它安装在拉伸试验机的上下夹头间，然后缓慢地对试样两端施加轴向拉力 F ，观察并测定由所加拉力引起的长度变化，直到试样拉断为止。所测低碳钢试样的拉力与试样伸长量的对应关系曲线如图 1-2 所示。

由图 1-2 可知，当拉力较小时，试样的伸长量与拉力成正比增加，保持直线关系。拉力除去后试样恢复原状，这种变形称为弹性变形。当拉力超过 F_e 点后则进

入“弹-塑”性变形阶段，在这一阶段若除去拉力，试样不能完全恢复原状而产生永久变形，即塑性变形。

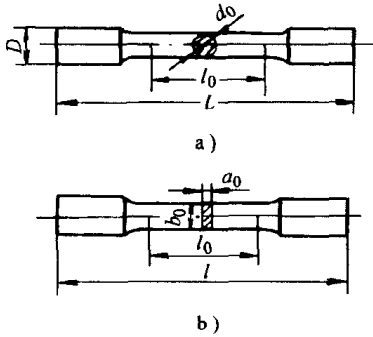


图 1-1 标准拉伸试样示意图

a) 圆形 b) 板形

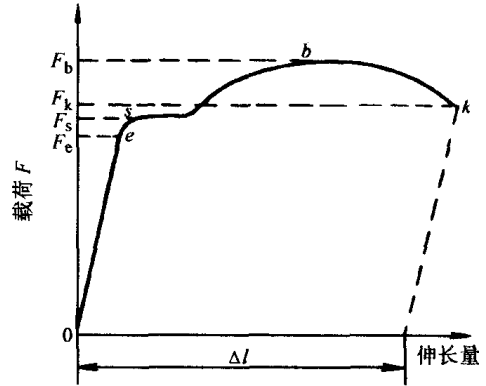


图 1-2 低碳钢拉伸曲线示意图

当拉力增加到 F_s ，拉伸曲线上出现平台，即拉力虽不增加，但试样还继续产生塑性变形而伸长，这种现象称为屈服， s 点称为屈服点。金属材料屈服后，开始产生均匀的塑性变形，且随拉力的增加而增加。当拉力达到最大值 F_b 后，变形集中在试样某段并产生局部缩颈现象，随后试样继续伸长直至在缩颈处断裂。试样在拉伸过程中，材料受到拉力 F 作用时，其单位面积上的拉力 (MPa) 用应力“ σ ”来表示，即

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

式中 σ ——应力 (Pa) (帕斯卡，简称帕)，
 $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$;

与工程制单位换算关系：

$$1\text{kgf}/\text{mm}^2 = 10^7\text{Pa} = 10\text{MPa};$$

F ——拉力 (或压缩力) (N) (牛顿);

S ——试样的横截面积 (mm^2)。

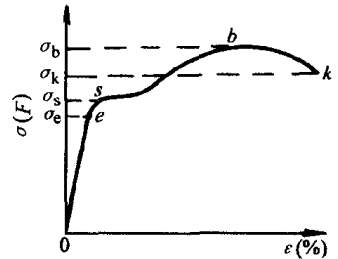


图 1-3 低碳钢拉伸时的应力-应变曲线示意图

通常，可将图 1-2 所示的 $F-\Delta l$ 拉伸曲线转换成

$\sigma-\epsilon$ 应力-应变曲线 (图 1-3)，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 $\epsilon = \Delta l/l$ ，纵坐标 F 变换成试样单位横截面积上的力，即应力 $\sigma = F/S$ 。这样才能真实反映材料的力学性能。

2. 拉伸时的强度指标

在常温 (约 20°C) 下做上述试验所测得的强度指标称为常温强度。常温强度指标有弹性极限、屈服点 (屈服强度) 和抗拉强度。

(1) 弹性极限 是指试样产生最大弹性应变时的应力 (MPa)，以 σ_e 表示。 σ_e

在 σ - ϵ 曲线上的位置如图 1-3 所示, 其计算公式为:

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0}$$

式中 F_e ——试样产生最大弹性应变时的拉力 (N);
 S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

在弹性变形范围内, 应力与应变的比值称为材料的弹性模量 E (MPa), 它相当于产生单位弹性应变所需要的应力值, 即

$$E = \sigma_e / \epsilon_e$$

弹性模量 E 是衡量材料产生弹性变形难易程度的指标, 工程上常把它叫做材料的刚度。 E 值愈大, 则使其产生一定量弹性变形的应力也愈大, 亦即材料的刚度愈大, 说明材料抵抗产生弹性变形的能力越强, 越不容易产生弹性变形。

弹性模量 E 主要决定于材料本身, 是金属材料最稳定的性能之一, 合金化、热处理和冷热加工对它的影响很小。在室温下钢的弹性模量 E 值大都在 190000~220000MPa 之间。 E 值随温度的升高而逐渐降低。

(2) 屈服点 是指试样开始产生屈服现象时的应力, 以 σ_s (MPa) 表示。 σ_s 在 σ - ϵ 曲线上的位置如图 1-3 所示, 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, 单位为 N。

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, 又称为条件屈服强度, 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。

然而, 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, 仅有抗拉强度指标。

(3) 抗拉强度 是指试样在拉断前所能承受的最大应力 (MPa), 以 σ_b 表示。 σ_b 在 σ - ϵ 曲线位置如图 1-3 所示, 其计算公式为:

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

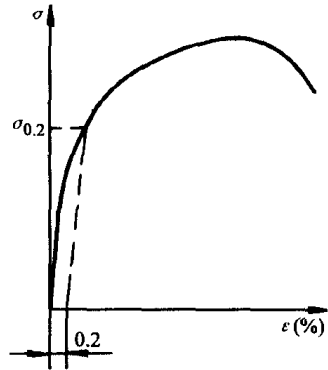


图 1-4 某些材料的条件屈服强度示意图