

GZ

普通高等工科教育机电类规划教材

机械工程材料

第2版

上海理工大学 王运炎 主 编
叶尚川

机械工业出版社

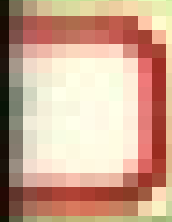




中国轻工业出版社



第 2 版



中国轻工业出版社

TH14

10:2

普通高等工科教育机电类规划教材

机 械 工 程 材 料

第 2 版

主编 王运炎

叶尚川

协编 朱 莉

主审 杨慧智



机 械 工 业 出 版 社

本书是 1996 年荣获第三届高等学校机电类专业优秀教材二等奖、机械工业出版社出版的《机械工程材料》(王运炎主编)的修订本。全书共分为十一章,主要为:金属材料的力学性能;金属学基础知识;钢的热处理;金属的塑性变形及再结晶;常用的金属材料、非金属材料 and 复合材料;机械制造中零件材料的选择等。在每章后面都附有可供选作的习题与思考题。在全书最后备有四个附录,可供读者查阅。

本书是高等工业院校机械类专业的教材,也可供高等专科学校、职工大学、业余大学、高级职业学校和中等专业学校选用,还可供有关的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料/王运炎,叶尚川主编. - 2 版. - 北京:
机械工业出版社, 2000.5

普通高等工科教育机电类规划教材

ISBN 7-111-06752-5

I. 机… II. ①王… ②叶… 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(1999)第 70438 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:常燕宾 版式设计:张世琴 责任校对:孙志筠

封面设计:海之帆 责任印制:何全君

三河市宏达印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2000 年 5 月第 2 版第 9 次印刷

787mm×1092mm 1/16 18.25 印张·443 千字

96 501—106 500 册

定价:24.00 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、68326677-2527

第 1 版前言

本书是根据 1989 年机电工业部高等工程专科学校机制专业教材编审委员会审定的机械类专业《工程材料》教学大纲和 1990 年国家教委批准的高等工程专科学校机械类专业《机械工程材料》教学基本要求,在原高专教材《金属材料与热处理》(王运炎主编)基础上修订改编的。本教材可与机械工业出版社出版的《机械工程材料实验》(王运炎编)和高等教育出版社出版的教学用《金相图谱》(王运炎主编)配套使用。

全书内容主要包括:金属材料的力学性能;金属学基础;热处理基本原理和常用方法;常用的金属材料、非金属材料 and 复合材料等。本书是高等工程专科学校机械类专业的教材,同时适用于职工大学、业余大学。中等专业学校也可选用。并可供有关的工人和技术人员参考。

本书在内容处理上主要有以下几点说明:①按机电工业部高等工程专科学校机制专业教学计划规定,本课程安排在金工教学实习和金属工艺学课程后进行教学,故本书是在这一基础上编写的。②考虑到现代机械工程中,非金属材料的使用日益增多,故专门增加一章非金属材料,主要介绍高分子合成材料、陶瓷材料和复合材料。③全书在简述金属学基本知识的基础上,以成分-加工工艺-组织-性能间关系的规律为主线处理各章的内容,并在第十一章“机械制造中零件材料的选择”中综合应用,起归纳、总结、巩固、提高的作用。④对主要内容都有适当的说理分析,避免只讲现象与结论。并注意到前后内容上呼应与衔接。⑤全书统一采用法定计量单位制,并以国际代号表示,如强度指标的单位一律用 MPa;冲击吸收功的单位用 J。⑥各种材料的分类、牌号以及所有工程术语等均采用最新国家标准。⑦全书有近百张显微组织照片,图面清晰、典型、规格一致,并有 12in[⊖]放大照片可供应,以利教学。⑧每章都附有要求学生经过独立思考后才能完成的习题与思考题,教师可结合具体情况选择布置,以利学生掌握基本概念,巩固知识,培养分析、解决实际问题的能力。

本书由上海机械专科学校王运炎副教授主编;上海交通大学李鹏兴教授主审。叶尚川编写第七、九、十一章并任副主编;吴其莱编写第十章;王运炎编写绪论,第一至六、八章。

参加本书审稿会议的有:吴善元、余存惠、肖玉珂、张继世、萧振荣、朱琴心、李筱涛、杨国英等同志,上海机械专科学校吴凯令同志为本书提供部分金相照片,在此一并表示衷心感谢。

由于我们水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

1991 年 1 月于上海

⊖ 此为习惯用法,暂保留英制,1in=0.0254m。

第 2 版前言

本书是在机械工业出版社出版的高等专科学校规划教材《机械工程材料》(王运炎主编)基础上修订改编的。原书自 1992 年初版至 1997 年,几次重印,总发行量已达九万余册,并于 1996 年荣获第三届高等学校机电类专业优秀教材二等奖。现为了使教材内容更符合高等工业院校机械类专业的教学要求,以及贯彻近几年来颁发的最新国家标准,特对原书予以修订,并作为“九五”规划教材使用。

全书共分十一章,主要为:金属材料的力学性能;金属学基础知识;钢的热处理;金属的塑性变形及再结晶;常用的金属材料、非金属材料 and 复合材料;机械制造中零件材料的选择等。在每章后面都附有可供选用的习题与思考题。在全书最后备有四个附录,可供读者查阅。

本书是高等工业院校机械类专业的教材,也可供高等专科学校、职工大学、业余大学、高级职业学校和中等专业学校选用,还可供有关的工人和技术人员参考。此外,机械工业出版社出版的《机械工程材料实验》(王运炎编)和高等教育出版社出版的教学用《金相图谱》(王运炎主编)可与本教材配套使用,更有利于本课程教学质量的提高。

参加本书修订编写的有:上海理工大学朱莉(第五、七、十章);叶尚川(第九、十一章);王运炎(绪论、第一、二、三、四、六、八章)。全书由王运炎、叶尚川主编;杨慧智主审。

参加本书审稿会议的还有:合肥联合大学王季琨教授、华北航天工业学院张继世教授、成都大学王孝达副教授、郑州机械高等专科学校李方才副教授等。他们对本书提出了很多宝贵意见,在此一并深表谢意。

因编者水平所限,书中不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

1998 年 5 月于上海理工大学

目 录

第1版前言	
第2版前言	
绪论	1
一、材料的分类及其在工程技术中的应用	1
二、材料的发展及材料科学的形成	2
三、本课程的目的、任务和学习方法	4
第一章 金属材料的力学性能	5
第一节 强度、刚度、弹性及塑性	5
一、拉伸曲线与应力-应变曲线	5
二、刚度和弹性	6
三、强度	7
四、塑性	8
第二节 硬度	9
一、布氏硬度	9
二、洛氏硬度	11
三、维氏硬度	12
第三节 冲击韧性	13
一、冲击试验方法与原理	13
二、冲击试验的应用	14
第四节 断裂韧性	15
一、裂纹扩展的基本形式	16
二、应力场强度因子 K_{Ic}	16
三、断裂韧性 K_{Ic} 及其应用	16
第五节 疲劳	17
一、疲劳现象	17
二、疲劳曲线与疲劳极限	18
三、提高疲劳极限的途径	18
四、其他疲劳	19
习题与思考题	20
第二章 金属与合金的晶体结构	22
第一节 晶体的基本知识	22
一、晶体与非晶体	22
二、晶格、晶胞和晶格常数	22
第二节 金属的晶体结构	23
一、金属的特性和金属键	23
二、金属中常见的晶格	24
三、晶体结构的致密度	25
四、晶面与晶向	26
第三节 合金的晶体结构	27
一、合金的基本概念	27
二、合金的相结构	28
第四节 实际金属的晶体结构	31
一、多晶体与亚组织	31
二、晶体的缺陷	31
习题与思考题	33
第三章 金属与合金的结晶	35
第一节 纯金属的结晶	35
一、纯金属的冷却曲线和过冷现象	35
二、纯金属的结晶过程	36
三、金属结晶后的晶粒大小	37
四、金属的同素异晶转变	38
第二节 合金的结晶	39
一、二元合金相图的基本知识	39
二、二元匀晶相图	41
三、二元共晶相图	43
四、合金性能与相图间的关系	48
习题与思考题	50
第四章 铁碳合金相图	51
第一节 铁碳合金的基本相	51
一、铁素体	52
二、奥氏体	52
三、渗碳体	52
第二节 铁-渗碳体相图分析	53
一、上半部分图形——由液态变为固态的一次结晶 (912℃ 以上部分)	53
二、下半部分图形——固态下的相变	54
三、铁-渗碳体相图中各点、线含义的 小结	55
四、铁-渗碳体相图中铁碳合金的分类	56
第三节 典型铁碳合金的结晶过程 及其组织	56

一、合金 I (共析钢)	56	第八节 钢的化学热处理	100
二、合金 II (亚共析钢)	58	一、概述	100
三、合金 III (过共析钢)	59	二、钢的渗碳	101
四、合金 IV (共晶白口铸铁)	59	三、钢的渗氮 (氮化)	104
五、合金 V (亚共晶白口铸铁)	60	四、钢的碳氮共渗	106
六、合金 VI (过共晶白口铸铁)	61	第九节 表面气相沉积	108
第四节 铁碳合金的成分、组织、性能 间的关系	61	一、表面气相沉积的方法	108
一、含碳量与平衡组织间的关系	61	二、表面气相沉积的应用	109
二、含碳量与力学性能间的关系	62	第十节 影响热处理件质量的 因素	109
三、含碳量与工艺性能间的关系	62	一、热处理工艺因素	110
习题与思考题	63	二、工件的结构因素	111
第五章 钢的热处理	64	第十一节 热处理技术条件的标注及 工序位置的安排	114
第一节 钢在加热时的转变	64	一、热处理技术条件的标注	114
一、钢的奥氏体化	65	二、热处理工序位置的安排	115
二、奥氏体晶粒长大及其控制	66	习题与思考题	119
第二节 钢在冷却时的转变	67	第六章 金属的塑性变形及再结晶	122
一、过冷奥氏体的等温转变	68	第一节 金属的塑性变形	122
二、过冷奥氏体的连续冷却转变	75	一、单晶体的塑性变形	122
三、马氏体转变	77	二、多晶体的塑性变形	126
第三节 钢的退火与正火	81	第二节 冷塑性变形对金属组织与 性能的影响	127
一、退火	81	一、冷塑性变形对金属性能的影响	127
二、正火	84	二、冷塑性变形对金属组织的影响	128
第四节 钢的淬火	86	三、产生残余应力	129
一、淬火工艺	86	第三节 冷变形金属在加热时的 变化	130
二、淬火方法	89	一、回复	130
第五节 钢的回火	91	二、再结晶	131
一、回火目的	91	三、晶粒长大	132
二、淬火钢的回火转变	91	第四节 金属的热塑性变形 (热变形加工)	134
三、回火转变产物的组织与性能	93	一、热变形加工与冷变形加工的 区别	134
四、回火的种类及应用	95	二、热变形加工对金属组织与性能 的影响	134
五、回火脆性	96	习题与思考题	136
第六节 钢的淬透性	96	第七章 钢	138
一、淬透性的概念	96	第一节 常存元素和杂质对钢性能 的影响	138
二、淬透性对热处理后力学性能的 影响	97		
三、影响淬透性及淬硬深度的因素	97		
四、淬透性的测定与表示方法	97		
第七节 钢的表面淬火	98		
一、感应加热的基本原理	99		
二、感应加热表面淬火用钢及其应用	99		
三、感应加热表面淬火的特点	100		

一、锰的影响	139	二、球墨铸铁的牌号和用途	197
二、硅的影响	139	三、球墨铸铁的热处理	197
三、硫的影响	139	第四节 蠕墨铸铁	200
四、磷的影响	139	一、蠕墨铸铁的化学成分	200
五、非金属夹杂物的影响	139	二、蠕墨铸铁的组织与性能	200
第二节 合金元素在钢中的作用	139	第五节 可锻铸铁	201
一、合金元素在钢中存在形式	140	一、可锻铸铁的化学成分和组织	201
二、合金元素对铁-渗碳体相图的影响	141	二、可锻铸铁的牌号、性能及用途	202
三、合金元素对钢热处理的影响	142	第六节 合金铸铁	203
第三节 结构钢	145	一、耐磨铸铁	203
一、碳素结构钢	145	二、耐热铸铁	204
二、低合金高强度结构钢	147	三、耐蚀铸铁	206
三、优质碳素结构钢及合金结构钢	149	习题与思考题	206
四、弹簧钢	158	第九章 有色金属及粉末冶金材料	208
五、滚动轴承钢	159	第一节 铝及铝合金	208
六、低淬透性含钛优质碳素结构钢	162	一、工业纯铝	208
七、易切削结构钢	162	二、铝合金分类及时效强化	209
八、冷冲压用钢	164	三、变形铝合金	210
第四节 工具钢	164	四、铸造铝合金	212
一、刃具钢	165	第二节 铜及铜合金	214
二、模具钢	172	一、工业纯铜	214
三、量具用钢	177	二、铜合金的分类及牌号表示方法	215
第五节 特殊性能钢	177	三、黄铜	215
一、不锈钢	177	四、青铜	218
二、耐热钢	181	第三节 滑动轴承合金	220
三、耐磨钢	184	一、对轴承合金性能的要求	220
习题与思考题	185	二、轴承合金的组织特征	221
第八章 铸铁	187	三、常用的轴承合金	221
第一节 铸铁的石墨化	187	第四节 粉末冶金材料	225
一、铁碳合金双重相图	187	一、粉末冶金法及其应用	225
二、石墨化过程	188	二、机械制造中常用的粉末冶金材料	225
三、影响石墨化的因素	189	习题与思考题	229
第二节 灰铸铁	190	第十章 高分子材料、陶瓷材料及复合材料	230
一、灰铸铁的化学成分、组织和性能	190	第一节 高分子材料	230
二、灰铸铁的孕育处理	192	一、基本概念	230
三、灰铸铁的牌号和用途	193	二、高聚物的合成	231
四、灰铸铁的热处理	194	三、高聚物结构的特点	232
第三节 球墨铸铁	195	四、高聚物的物理状态(流变行为)	234
一、球墨铸铁的化学成分、组织和性能	195	五、高聚物的分类和命名	235

六、常用高聚物材料——塑料	236	一、选材的一般原则	250
第二节 陶瓷材料	241	二、选材的步骤及具体方法	257
一、概述	241	第三节 典型零件的选材实例	
二、陶瓷的组成相及其结构	241	分析	260
三、陶瓷的性能及应用	243	一、齿轮类零件的选材	260
第三节 复合材料	245	二、机床主轴的选材	264
一、概述	245	三、手用丝锥的选材	265
二、复合材料的性能	245	四、冷作模具的选材	266
三、常用复合材料	247	习题与思考题	268
习题与思考题	248	附录	270
第十一章 机械制造中零件材料		附录 A 布氏硬度换算表	270
的选择	249	附录 B 黑色金属硬度及强度换算	
第一节 机械零件的失效概述	249	表 (GB1172—74)	274
一、失效的概念	249	附录 C 国内外常用钢钢号对照表	278
二、零件的失效形式	249	附录 D 国内外部分铝及其合金牌号	
三、零件的失效原因	249	对照表	282
第二节 机械零件的材料选择	250	参考文献	283

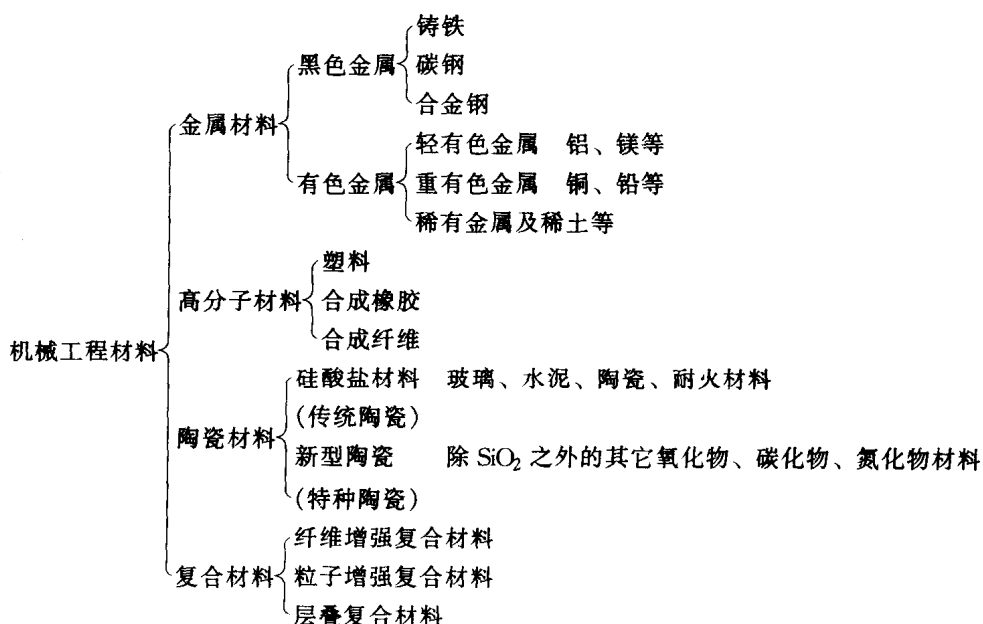
绪 论

一、材料的分类及其在工程技术中的应用

材料是人类用来制作各种产品的物质。人类生活与生产都离不开材料，它的品种、数量和质量是衡量一个国家现代化程度的重要标志。如今，材料、能源、信息已成为发展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。

材料的发展虽然离不开科学技术的进步，但科学技术的继续发展又依赖于工程材料的发展。在人们日常生活用具和现代工程技术的各个领域，工程材料的重要作用都是很明显的。例如，耐腐蚀、耐高压的材料在石油化工领域中应用；强度高、重量轻的材料在交通运输领域中应用；某些高聚物和金属材料在外科移植领域中应用；高温合金和陶瓷在高温装置中应用；半导体材料在通信、计算机、航天和日用电子器件等领域中应用；强度高、重量轻、耐高温、抗热振性好的材料在宇宙飞船、人造卫星等宇航领域中应用；在机械制造领域中，从简单的手工工具到复杂的智能机器人，都应用了现代工程材料。在工程技术发展史上，每一项创造发明能否推广应用于生产，每一个科学理论能否实现技术应用，其材料往往是解决问题的关键。因此，世界各国对材料的研究和发展都是非常重视的，它在工程技术中的作用是不容忽视的。

现代材料种类繁多，据粗略统计，目前世界上的材料总和已达 40 余万种，并且每年还以约 5% 的速率增加。材料有许多不同的分类方法，机械工程中使用的材料常按化学组成分成以下四大类：



目前，机械工业生产中应用最广的仍是金属材料。这是由于金属材料不仅来源丰富，而且还具有优良的使用性能与工艺性能。使用性能包括力学性能和物理、化学性能。优良的使

用性能可满足生产和生活上的各种需要。优良的工艺性能则可使金属材料易于采用各种加工方法，制成各种形状、尺寸的零件和工具。金属材料还可通过不同成分配制、不同加工和热处理来改变其组织和性能，从而进一步扩大其使用范围。

高分子材料的某些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，如耐腐蚀、电绝缘性、隔音、减振、重量轻、原料来源丰富、价廉以及成型加工容易等优点，因而近年来发展极快。目前，它们不仅用作人们的生活用品，而且在工业生产中已日益广泛地代替部分金属材料，将成为可与金属材料相匹敌的、具有生命力的材料。

新型陶瓷材料的塑性与韧性远低于金属材料，但它们具有高熔点、高硬度、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方面具有很大潜力的新型工程材料。

近年来，人们为集中各类材料的优异性能于一体，充分发挥各类材料的潜力，制成了各种复合材料。因而复合材料是一种很有发展前途的材料。目前，高的比强度和比弹性模量的复合材料已广泛地应用于航空、建筑、机械、交通运输以及国防工业等部门。

二、材料的发展及材料科学的形成

人类为了生存和生产，总是不断地探索、寻找制造生产工具的材料，每一新材料的发现和应，都会促使生产力向前发展，并给人类生活带来巨大的变革，把人类社会和物质文明推向一个新的阶段。所以，根据人类使用的材料，把古代史划分为石器时代、陶器时代、青铜器时代和铁器时代。当今，人类正跨入人工合成材料和复合材料的新时代。

我们的祖先对材料的发展作出了杰出的贡献，大约二三百万年前，最先使用的工具材料是天然石头。到了原始社会末期（约六七千年之前）开始人工制作陶器，由此发展到东汉出现了瓷器，并先后传至世界各地，对世界文明产生了很大的影响。早在 4000 年前，我们的祖先已开始使用天然存在的红铜。至公元前 1000 多年的殷商时代，我国的青铜冶铸技术已达到很高的水平，从出土的大量青铜礼器、生活用具、武器、工具、特别是重达 875kg 的司母戊大鼎，其体积庞大，花纹精巧，造型精美，都说明了当时已具备高超的冶铸技术和艺术造诣。到春秋时期，我国已能对青铜冶铸技术作出规律性的总结，如《周礼·考工》对青铜的成分和用途关系有如下的记载：“金有六齐^①，六分其金而锡居一，谓之钟鼎之齐；五分其金而锡居一，谓之斧斤之齐；四分其金而锡居一，谓之戈戟之齐；三分其金而锡居一，谓之大刀之齐；五分其金而锡居二，谓之削杀矢之齐；金、锡半，谓之鉴燧之齐^②。”这“六齐”规律是世界上最早的金属材料的成分、性能和用途间关系的总结。钢铁是目前应用最广的金属，我国早在周代就已开始了冶铁，这比欧洲最早使用生铁的时间约早 2000 年。我国不仅具有使用钢铁的悠久历史，而且当时的技术也很发达，如河北武安出土的战国期间的铁锹，经金相检验证明，该材料就是现今的可锻铸铁。图 1 为该铁锹的显微组织。

热处理（以不同的加热和冷却方式，改变金属性能的工艺）可使钢铁材料的性能显著提高。根据许多出土文物与历史记载，证明我国古代人民曾作出了很大的贡献。远在西汉时，司马迁所著的《史记·天官书》中就有“水与火合为焠^③”；东汉班固所著的《汉书·王褒传》

① 六齐即青铜各组成元素的六种配比。

② 鉴燧之齐是指制造铜镜和划打火石取火的青铜各组成元素的配比。

③ “焠”与“淬”其实为同一字。《史记·天官书》与《汉书·王褒传》都用“焠”字，但《汉书·天文志》用“淬”字，现在都用“淬”字。

中有“……巧冶铸干将之朴、清水淬其锋”等有关热处理技术方面的记载。从辽阳三道壕出土的西汉钢剑，经金相检验，发现其内部组织完全符合现在淬火马氏体组织，图2为该钢剑的显微组织。从河北满城出土的西汉佩剑及书刀，检验发现其中心为低碳钢，表层为明显的高碳层。这些都证明早在2000年以前，我国已采用了淬火工艺和渗碳工艺，热处理技术已具有相当高的水平。

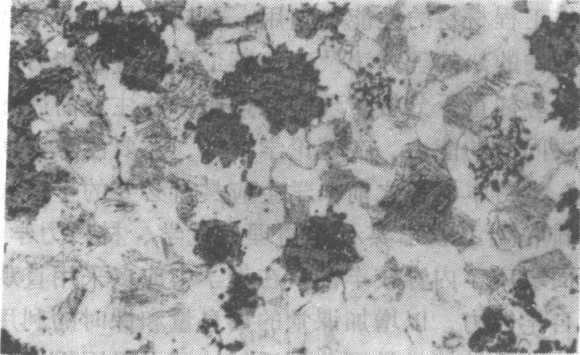


图1 战国时代铁锹的显微组织

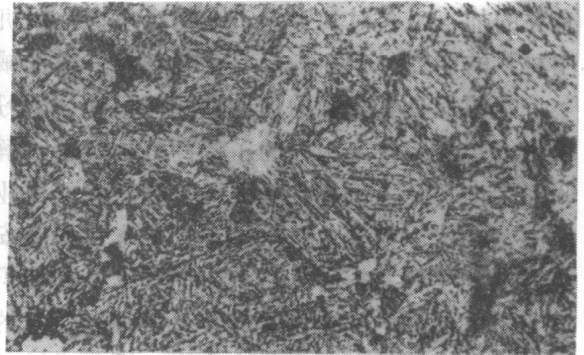


图2 西汉时代钢剑的显微组织

历史证明，我们勤劳智慧的祖先，在材料发展史上有过辉煌的成就，对人类的文明作出了巨大贡献。但长期以来，人们对材料的认识仅是表面的、非理性的，它一直停留在工匠、艺人经验技术的水平上。后来，随着经验的积累，出现了“材料工艺学”，这比工匠的经验又前进了一大步，但它只记录了一些制造过程和规律，还没有上升到“知其所以然”的理性认识水平。直到1863年光学显微镜第一次被利用研究金属，出现了“金相学”后，才使人们对材料的观察进入了微观领域，并上升到理性认识水平。1912年采用X射线衍射技术研究材料的晶体微观结构。1932年电子显微镜的问世以及后来出现的各种谱仪等先进分析工具，将已有的人类对材料微观世界的认识带入了更深的层次。此外，一些与材料有关的基础学科（如化学、物理化学、高分子化学、量子力学、固体物理等）的进展，又有力地推动了材料研究的深化。在此基础上，逐步形成了跨越多学科的材料科学。材料科学是研究材料的化学组成和微观结构与材料性能之间关系的一门科学。同时，它还研究制取材料和使用材料的有关知识。

新中国成立后，我国在工农业生产迅速发展的同时，作为其物质基础的材料工业也要求有相应的高速发展。目前，我国各种金属材料产品的品种较齐全，已基本满足国民经济进一步发展的需要。钢产量已从1949年的17万t增至1996年的1亿t，名列世界前茅。而非金属材料的产量以更高于金属材料的速度增长着。近年来，我国原子弹、氢弹爆炸成功，空间发射技术和卫星回收技术等方面所取得的显著成果，如果没有相应水平的材料科学与工程技术的支撑也是根本不可能的。随着近代科学技术的发展，对工程材料的要求也越来越高。现今在发展高性能金属材料的同时，又迅速发展和应用了高性能的非金属材料。故工程技术人员应具备更加广泛的有关各种工程材料的知识。

机械工程材料是指机械工程中常用的材料，是材料科学的一个分支。目前，机械工业正朝着高速、自动、精密的方向发展，在机械产品设计及其制造与维修过程中，所遇到的工程材料的选用问题，将日趋增多，使机械工业的发展与工程材料学科之间的关系更加密切。故

机械技术人员不仅要了解传统的金属材料，也要了解高分子材料、陶瓷材料和复合材料的基本知识，以提高我国机械工业中材料的利用率和机械产品的质量。

三、本课程的目的、任务和学习方法

本课程是高等工业院校机械类专业必修的技术基础课。其目的是使学生获得有关机械工程材料的基本理论和基础知识，为将来应用工程材料和学习有关课程奠定必要的基础。

本课程的具体任务是：①熟悉常用机械工程材料的成分、组织结构与性能间关系，以及有关的加工工艺对其影响；②初步掌握常用机械工程材料的性能和应用，并初步具备选用常用材料的能力；③初步具有正确选定一般机械零件的热处理方法及确定其工序位置的能力。

本课程具有较强的理论性和应用性，学习中应注重于分析、理解与运用，并注意前后知识的衔接与综合应用；为了提高分析问题、解决问题的能力，在理论学习外，还要注意密切联系生产实际，重视实验环节，认真完成作业；学习本课程之前，学生应具有必要的生产实践的感性认识和专业基础知识，故本课程应安排在金工教学实习和物理、化学、材料力学、金属工艺学等课程后进行；本课程涉及的知识面较广，内容较丰富，在教学中应多采用直观教学、电化教学和启发式教学，并培养学生的自学能力，以增加课堂的信息量和课时的利用率，并应在后继课程和生产实习、课程设计、毕业设计等教学环节中反复练习、巩固提高。

第一章 金属材料的力学性能

由于金属材料的品种很多，并具有各种不同的性能，能满足各种机械的使用和加工要求，故生产上得到广泛应用。

金属材料的力学性能是指金属在不同环境因素（温度、介质）下，承受外加载荷作用时所表现的行为。这种行为通常表现为金属的变形和断裂。因此，金属材料的力学性能可以理解为金属抵抗外加载荷引起的变形和断裂的能力。

在机械制造业中，大多数机械零件或构件都是用金属材料制成的，并在不同的载荷与环境条件下服役。如果金属材料对变形和断裂的抗力与服役条件不相适应，就会使机件失去预定的效能而损坏，即产生所谓“失效现象”。常见的失效形式有断裂、磨损、过量弹性变形和过量塑性变形等。从零件的服役条件和失效分析出发，找出各种失效抗力指标，就是该零件应具备的力学性能指标。显然，掌握材料的力学性能不仅是设计零件、选用材料时的重要依据，而且也是按验收技术标准来鉴定材料的依据，以及对产品的工艺进行质量控制的重要参数。

当外加载荷的性质、环境的温度与介质等外在因素不同时，对金属材料要求的力学性能也将不同。常用的力学性能有：强度、塑性、刚度、弹性、硬度、冲击韧性、断裂韧度和疲劳等。下面分别讨论各种力学性能及其指标。

第一节 强度、刚度、弹性及塑性

金属的强度、刚度、弹性及塑性一般可以通过金属拉伸试验来测定。它是按 GB228—87 规定，把一定尺寸和形状的金属试样（如图 1-1 所示）装夹在试验机上，然后对试样逐渐施加拉伸载荷，直至把试样拉断为止。根据试样在拉伸过程中承受的载荷和产生的变形量之间的关系，可测出该金属的拉伸曲线，并由此测定该金属的强度、刚度、弹性及塑性。

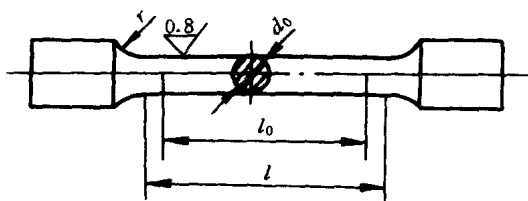


图 1-1 圆形拉伸试样

一、拉伸曲线与应力-应变曲线

（一）拉伸曲线

图 1-2 为低碳钢的拉伸曲线。由图可见，低碳钢试样在拉伸过程中，可分为弹性变形、塑性变形和断裂三个阶段。

当载荷不超过 F_p 时，拉伸曲线 Op 为一直线，即试样的伸长量与载荷成正比地增加，完全符合虎克定律，试样处于弹性变形阶段。载荷在 $F_p \sim F_e$ 间，试样的伸长量与载荷已不再成正比关系，拉伸曲线不成直线，但试样仍处于弹性变形阶段。

载荷超过 F_e 后，试样开始有塑性变形产生。当载荷达到 F_s 时，试样开始产生明显的塑性变形，在拉伸曲线上出现了水平的或锯齿形的线段，这种现象称为“屈服”。

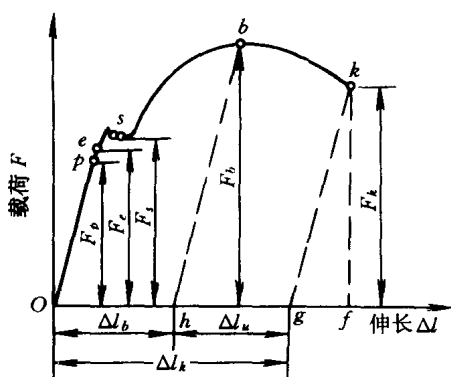


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

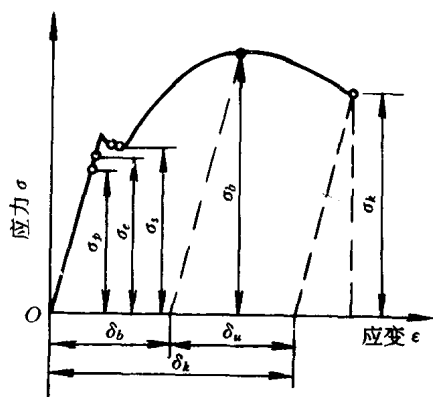


图 1-3 低碳钢的应力-应变曲线

当载荷继续增加到某一最大值 F_b 时, 试样的局部截面缩小, 产生所谓“缩颈”现象。由于试样局部截面的逐渐减小, 故载荷也逐渐降低, 当达到拉伸曲线上 k 点时, 试样随即断裂。

由拉伸曲线可见, 断裂时试样总伸长 Of 中 gf 是弹性变形, Og (Δl_k) 是塑性变形。塑性变形中 Oh (Δl_b) 是试样产生缩颈前的均匀变形, hg (Δl_u) 是颈部的集中变形。

应该指出, 低碳钢这类塑性材料在断裂前有明显的塑性变形, 这种断裂称为韧性断裂。某些脆性材料 (如铸铁等) 在尚未产生明显的塑性变形时已断裂, 故不仅没有屈服现象, 而且也不产生缩颈现象, 这种断裂称为脆性断裂。

(二) 应力-应变曲线

由于拉伸曲线上的载荷 F 与伸长量 Δl , 不仅与试验的材料性能有关, 还与试样的尺寸有关。为了消除试样尺寸的影响, 需采用应力-应变曲线。

把试样承受的载荷除以试样的原始横截面积 A_0 , 则得到试样所受的应力 σ , 即

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1-1)$$

把试样的伸长量 Δl 除以试样的原始标距 l_0 , 则得到试样的相对伸长, 即应变 ϵ (或 δ), 即

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (1-2)$$

以 σ 与 ϵ 为坐标, 绘出应力-应变的关系曲线, 叫做应力-应变曲线。图 1-3 为低碳钢的应力-应变曲线示意图。应力-应变曲线的形状与拉伸曲线完全相似, 只是坐标与数值不同。但它不受试样尺寸的影响, 可以直接看出金属材料的一些力学性能。

二、刚度和弹性

由图 1-3 所示的应力-应变曲线中的弹性变形阶段可测出材料的弹性模量 (E)、弹性极限 (σ_e) 及弹性比功 (a_e), 并依此确定该材料的刚度和弹性。

(一) 弹性模量

弹性模量 E 是指金属材料在弹性状态下的应力与应变的比值, 即

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (1-3)$$

在应力-应变曲线上,弹性模量就是试样在弹性变形阶段应力-应变线段的斜率,即引起单位弹性变形所需的应力。因此,它表示金属材料抵抗弹性变形的能力。工程上将材料抵抗弹性变形的能力称为刚度。

绝大多数的机械零件都是在弹性状态下进行工作的,工作过程中,一般不允许有过量的弹性变形,更不允许有明显的塑性变形,故对刚度都有一定的要求。零件的刚度除了与零件横截面大小、形状有关外,还主要取决于材料的性能,即材料的弹性模量 E 。 E 愈大,刚度愈大。弹性模量 E 值主要取决于各种金属材料的本性,而热处理、微量合金化及塑性变形等对它的影响很小,它是一个对组织不敏感的力学性能指标。

(二) 弹性极限^①

弹性极限 σ_e 是材料在不产生塑性变形时所能承受的最大应力值。即

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0} \quad (1-4)$$

式中 F_e ——试样在不产生塑性变形时的最大载荷;

A_0 ——试样的原始横截面积。

由于弹性极限是表示金属材料不产生塑性变形时所能承受的最大应力值,故是工作中不允许有微量塑性变形零件(如精密的弹性元件、炮筒等)的设计与选材的重要依据。

(三) 弹性比功

弹性比功 a_e 又称弹性比能或应变能,它表示材料发生弹性变形时可吸收能量的能力,在卸载时,又能完全释放能量而使材料恢复原状。因此,金属拉伸时的弹性比功可用图 1-4 应力-应变曲线下影线面积表示,其值为:

$$a_e = \frac{1}{2} \sigma_e \epsilon_e = \frac{\sigma_e^2}{2E} \quad (1-5)$$

由式 (1-5) 可见,提高弹性极限 σ_e 或降低弹性模量 E , 均能提高材料的弹性比功 a_e 。

弹簧是典型的弹性零件,主要起缓冲和贮存能量的作用,它要求材料具有大的弹性比功。机械工业中,弹簧常用各种弹簧钢制造,由于弹性模量 E 对组织不敏感,故只有通过合金化、热处理和冷塑性变形等方法来提高材料的弹性极限 σ_e , 从而提高其弹性比功。用无磁性的铍青铜或磷青铜制造的仪表弹簧,因材料的 E 较低而 σ_e 较高,也具有较高的弹性比功,常用作软弹簧材料。表 1-1 为几种常见工程材料的弹性模量、弹性极限和弹性比功值。

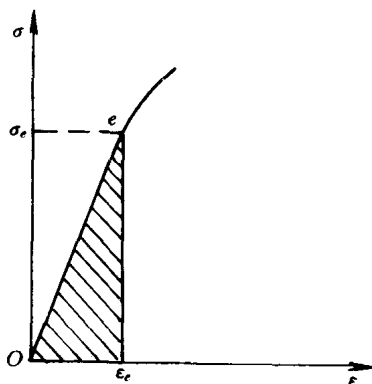


图 1-4 弹性比功的图解计算方法

三、强度

强度是指金属材料在静载荷作用下,抵抗永久变形和断裂的性能。由于载荷的作用方式有拉伸、压缩、弯曲、剪切等形式,所以强度也分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度等。由图 1-3 所示的应力-应变曲线,可确定材料的下列强度指标。

① GB228—87 中已取消弹性极限和屈服强度的工程定义,两者统称为规定微量塑性伸长应力(规定伸长应力)。考虑到这两种性能指标的物理意义还是存在,以及它们在工程中仍有应用,故在本书中仍保留。