



面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

普通高等教育机电类规划教材

机械工程材料

第2版

西安交通大学 沈 莲 主编



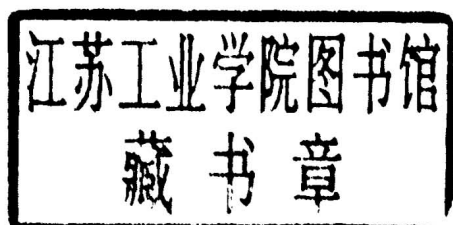
机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

面向 21 世纪课程教材
普通高等教育机电类规划教材

机 械 工 程 材 料

(第 2 版)

主 编 沈 莲
副主编 范群成
参 编 任润刚 周凤云
主 审 吴元康



机 械 工 业 出 版 社

本书系国家面向 21 世纪课程教材。重点讲授零（构）件在不同服役条件下的失效方式及其对性能的要求，以及机械设计者和制造者必须具备的材料知识和有关的基本理论，介绍各类工程材料的成分、组织结构与冷、热加工（或合成）工艺及性能特点和应用范围，并以实例说明如何根据零（构）件的不同服役条件和性能要求进行合理选材。全书共分十三章，包括机械零件的失效分析、碳钢、钢的热处理、合金钢、铸铁、有色金属及其合金、高分子材料、陶瓷材料、复合材料、功能材料、材料改性新技术、零件的选材及工艺路线、工程材料在典型机械上的应用。为帮助学生思考、复习、巩固所学知识，各章后均附有复习题。本书引用国家最新标准，并力求做到加强基础、突出重点、注重应用和适应面广。

本教材主要供机械工程、能源动力工程、化学工程、航空航天工程、工程力学、管理工程等各类专业大学本科学生使用，参考学时数为 50 学时。也可供从事机械设计和制造的工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

机械工程材料/沈莲主编. —2 版. —北京：机械工业出版社，2003.11（2006.8 重印）
面向 21 世纪课程教材. 普通高等教育机电类规划教材
ISBN 7-111-06882-3

I. 机… II. 沈… III. 机械制造材料—高等学校—教材 IV. TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2003）第 095220 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：张祖凤 版式设计：冉晓华 责任校对：魏俊云
冯春生

封面设计：张 静 责任印制：洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2006 年 8 月第 2 版·第 3 次印刷

169mm×239mm·12.125 印张·470 千字

定价：32.00 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）68326294

编辑热线（010）88379711

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

本书系国家面向21世纪课程教材，是机械工业出版社出版的《机械工程材料》（沈莲主编，1999年5月第1版）的修订本，也是西安交通大学“十五”规划本科生系列教材。

本书为机械工程、能源动力工程、化学工程、航空航天工程、工程力学、管理工程等各类专业大学本科生必修的“机械工程材料”课程的教材，参考学时数为50学时。

为适应21世纪新材料、新工艺、新技术发展的需要，本书在保持《机械工程材料》第1版的体系、结构、特色和主要内容的基础上，进一步扩大新材料、新工艺、新技术的知识面和增强选材知识。除新编功能材料和工程材料在典型机械上的应用两章外，还在有关章节中增加了与航空航天工程、核动力工程、石油化工工程有关的镍基耐蚀合金、铝锂合金、镁合金、合成纤维和合成胶粘剂、核燃料和控制材料及快速凝固技术和纳米技术，力图使本书更具有较强的理论性、系统性、先进性和广泛的实用性。全书共分十三章，包括机械零件的失效分析、碳钢、钢的热处理、合金钢、铸铁、有色金属及其合金、高分子材料、陶瓷材料、复合材料、功能材料、材料改性新技术、零件的选材及工艺路线、工程材料在典型机械上的应用。

本书由西安交通大学沈莲教授编写和修改绪论及第一、二、四、五、六、七、八、十二、十三章，范群成教授编写和修改第三、九、十、十一章。全书由沈莲主编，东南大学吴元康教授主审，华中理工大学周风云教授、西安理工大学任润刚副教授编写本书第1版部分内容。

在编写和修改过程中，作者参阅了国内外出版的有关教材和资料，在此一并致谢。

由于编者水平有限，书中缺点和错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

2003年3月

第1版前言

本书系原机械工业部“九五”重点教材，是1996年12月在北京由“机械工程类专业教学指导委员会”委托“材料工程类专业教学指导委员会”组织编写的。

本书为机械工程、能源动力工程、化学工程、工程力学、管理工程等各类专业大学本科必修的“机械工程材料”课程的教材，参考学时为50学时。

本书从机械制造与设计类专业培养目标出发，突出培养学生从零件的工作条件和失效方式入手，确定零件抵抗失效的性能指标，进而合理选材并正确制订零件的冷、热加工工艺路线的能力。在这个思想指导下，本书在体系、结构、内容上都进行了较大的改革。本着加强基础、突出重点、注重应用、适应面宽的原则，重点讲授零件在不同服役条件下的失效方式及其对性能的要求，以及机械制造者和设计者必须具备的材料知识和有关的基本理论，介绍各类工程材料的成分、组织结构与冷、热加工工艺及性能特点和应用范围，并以实例说明如何根据零件的不同服役条件和性能要求进行合理选材。全书共分十一章，包括机械零件的失效分析、碳钢、钢的热处理、合金钢、铸铁、有色金属及其合金、高分子材料、陶瓷材料、复合材料、材料表面改性新技术、典型零件的选材及热处理工艺分析等。

本书是根据《机械工程材料》（沈莲编，1990年11月机械工业出版社出版）教材重新编写的。原书自1990年出版以来，受到全国不少院校的好评，并获1996年机械工业部优秀教材一等奖。为了集思广益，这次编写时吸收了兄弟院校有关同行参加，并于1997年3月在西安召开了编写会议，讨论和确定了编写大纲。在保持原教材体系、结构和特色的基础上重新改写，进一步精选教材内容，压缩教学学时，注重基本概念，适当增加与机械工程和能源动力工程有关的新材料、新工艺和新技术，进一步增强选材知识，力图使修编后的教材更具有较强的理论性、系统性、先进性和广泛的实用性。本书由西安交通大学沈莲编写第一、二、十一章及第四章的部分内容，范群成编写第三、九、十章，华中理工大学周风云编写第五章及第四章的部分内容，西安理工大学任润刚编写第六、七、八章。全书由沈莲主编，东南大学吴元康教授主审，本书所采用的金相图片由西安交通大学材料科学与工程学院谷秀莲高级工程师提供。

在编写过程中，作者参阅了国内外出版的有关教材和资料，在此一并致谢。

由于编者水平有限，书中缺点和错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

1998年2月

目 录

第 2 版前言

第 1 版前言

绪论	1
第一章 机械零件的失效分析	4
第一节 零件在常温静载下的过量变形	4
一、工程材料在静拉伸时的应力-应变行为	4
二、静载性能指标	5
三、过量变形失效	7
第二节 零件在静载和冲击载荷下的断裂	9
一、韧断和脆断的基本概念	9
二、冲击韧性及衡量指标	10
三、断裂韧性及衡量指标	11
四、影响脆断的因素	12
第三节 零件在交变载荷下的疲劳断裂	15
一、疲劳的基本概念	15
二、疲劳断口的特征	15
三、疲劳抗力指标及其影响因素	17
第四节 零件的磨损失效	24
一、磨损的基本类型	24
二、接触疲劳	26
三、提高零件磨损抗力的途径	26
第五节 零件的腐蚀失效	28
一、高温氧化腐蚀	28
二、电化学腐蚀	29
三、应力腐蚀	31
四、改善零件腐蚀抗力的措施	32
第六节 零件在高温下的蠕变变形和断裂失效	33
一、高温对金属力学性能的影响	33
二、蠕变极限和持久强度	33
三、高温下零件的失效及其防止	35
习题与思考题	35
第二章 碳钢	37

第一节 纯铁的组织 and 性能	37
一、纯铁的结晶	37
二、纯铁的晶体结构	39
三、工业纯铁的组织 and 性能	43
第二节 铁碳合金中的相和组织组成物	45
一、铁和碳的相互作用	45
二、铁碳合金中的相和组织组成物	47
第三节 Fe-Fe ₃ C 相图	48
一、相图的基本概念	48
二、Fe-Fe ₃ C 相图分析	52
三、典型铁碳合金结晶过程分析	54
四、碳对铁碳合金平衡组织和性能的影响	62
五、Fe-Fe ₃ C 相图的实际应用	64
六、合金性能和相图关系小结	65
第四节 钢中常存杂质元素对钢性能的影响	66
一、硅和锰的影响	66
二、硫和磷的影响	66
三、钢中气体的影响	67
第五节 钢锭的组织 and 缺陷	68
一、镇静钢锭的组织	68
二、镇静钢锭的缺陷	69
第六节 压力加工对钢组织和性能的影响	69
一、冷压力加工对钢组织和性能的影响	70
二、冷变形钢在加热过程中组织和性能的变化	73
三、热压力加工对钢组织和性能的影响	76
第七节 碳钢的分类、牌号及用途	77
一、碳钢的分类	77
二、碳钢的牌号和用途	78
习题与思考题	83
第三章 钢的热处理	85
第一节 钢在加热时的转变	85
一、奥氏体的形成	85
二、奥氏体晶粒大小	86
第二节 奥氏体转变图	88
一、奥氏体等温转变图	88
二、奥氏体连续冷却转变图	94
第三节 钢的普通热处理	96

一、钢的退火	96
二、钢的正火	97
三、钢的淬火	97
四、钢的回火	101
第四节 钢的表面热处理	104
一、表面淬火	104
二、表面化学热处理	106
第五节 钢的特种热处理	110
一、真空热处理	110
二、可控气氛热处理	111
三、形变热处理	113
习题与思考题	115
第四章 合金钢	117
第一节 概述	117
一、合金元素在钢中的作用	117
二、合金钢的分类及牌号	122
第二节 合金结构钢	123
一、低合金高强度结构钢	124
二、合金渗碳钢	125
三、合金调质钢	128
四、合金弹簧钢	132
五、轴承钢	133
六、超高强度钢	135
第三节 合金工具钢	140
一、工具的服役条件	140
二、常用合金工具钢及其热处理	141
三、新型合金工具钢	148
第四节 特殊性能钢	150
一、不锈钢和镍基耐蚀合金	150
二、耐热钢和高温合金	159
三、低温钢	161
四、耐磨钢	165
习题与思考题	168
第五章 铸铁	169
第一节 铸铁的石墨化	169
一、石墨化过程	169
二、影响石墨化的因素	170

第二节 各类铸铁的特点及应用	171
一、铸铁的分类	171
二、不同石墨形态铸铁的特性及用途	172
三、合金铸铁	179
习题与思考题	181
第六章 有色金属及其合金	182
第一节 铝及铝合金	182
一、工业纯铝	182
二、铝合金	183
第二节 镁及镁合金	194
一、工业纯镁	194
二、镁合金	194
第三节 铜及铜合金	197
一、工业纯铜	197
二、铜合金	198
第四节 钛及钛合金	211
一、工业纯钛	211
二、钛合金	211
第五节 轴承合金	214
一、轴承合金的性能要求与组织	214
二、轴承合金的类型及应用	215
习题与思考题	219
第七章 高分子材料	221
第一节 概述	221
一、高分子材料的合成	221
二、高分子链的结构与柔性	223
三、高聚物的聚集态和物理状态	227
第二节 高分子材料的性能特点	229
一、高分子材料的力学性能特点	229
二、高分子材料的理化性能特点	230
三、高分子材料的老化及其防止	232
第三节 常用高分子材料	232
一、常用工程塑料及成型加工	232
二、常用橡胶材料	241
三、常用合成纤维	244
四、常用合成胶粘剂	248
习题与思考题	252

第八章 陶瓷材料	253
第一节 概述	253
一、陶瓷材料的分类与生产	253
二、陶瓷材料的结构与性能特点	254
第二节 工程结构陶瓷材料	256
一、普通陶瓷	256
二、特种陶瓷	257
第三节 金属陶瓷	259
一、粉末冶金方法及其应用	259
二、金属陶瓷硬质合金	261
习题与思考题	264
第九章 复合材料	265
第一节 概述	265
一、复合材料的分类	265
二、复合材料的性能特点	266
第二节 增强材料及其增强机制	268
一、增强材料	268
二、增强机制简介	270
第三节 常用复合材料	271
一、塑料基复合材料	271
二、金属基复合材料	274
三、橡胶基复合材料	277
四、陶瓷基复合材料	278
习题与思考题	280
第十章 功能材料	281
第一节 概述	281
一、功能材料的重要性	281
二、功能材料的分类	282
第二节 电功能材料	282
一、半导体材料	282
二、超导材料	283
三、电接点(触头)材料	286
第三节 磁功能材料	287
一、软磁材料	287
二、硬磁材料	288
三、磁致伸缩材料	289
第四节 热功能材料	289

一、膨胀材料	290
二、形状记忆材料	291
三、测温材料	293
第五节 光功能材料	294
一、固体激光材料	294
二、光导纤维	295
第六节 其他功能材料	296
一、敏感材料	296
二、储氢材料	297
三、隐形材料	298
四、声功能材料	299
习题与思考题	300
第十一章 材料改性新技术	301
第一节 材料表面改性新技术	301
一、热喷涂技术	301
二、激光束、离子束及电子束技术	303
三、气相沉积技术	307
第二节 快速凝固新技术	312
一、快速凝固的基本原理	312
二、快速凝固技术的应用	313
第三节 纳米技术	314
一、纳米材料的基本特性	314
二、纳米材料的制备方法	315
三、纳米材料的应用	315
习题与思考题	316
第十二章 零件的选材及工艺路线	317
第一节 常用力学性能指标在选材中的意义	317
一、刚度和弹性指标	317
二、硬度和强度指标	318
三、塑性和冲击韧性指标	320
第二节 断裂韧性在选材中的意义	321
第三节 零件实物性能试验的重要性	322
一、结构设计对性能的影响	322
二、加工工艺对性能的影响	323
第四节 材料强度、塑性与韧性的合理配合	324
第五节 选材方法	325
一、根据材料的使用性能选材	325

二、根据材料的工艺性能选材	328
三、根据材料的经济性选材	330
四、实例分析	331
第六节 典型零件选材及工艺路线	336
一、齿轮	336
二、轴	337
三、汽轮机叶片	339
习题与思考题	341
第十三章 工程材料在典型机械上的应用	342
第一节 工程材料在汽车上的应用	342
一、金属材料在汽车典型零（构）件上的应用	342
二、其他工程材料在汽车典型零（构）件上的应用	345
第二节 工程材料在机床上的应用	347
一、金属材料在机床典型零（构）件上的应用	347
二、其他工程材料在机床典型零（构）件上的应用	352
第三节 工程材料在热能设备上的应用	352
一、工程材料在锅炉典型零（构）件上的应用	353
二、工程材料在核反应堆典型零（构）件上的应用	355
三、工程材料在汽轮机典型零（构）件上的应用	357
第四节 工程材料在仪器仪表上的应用	359
一、金属材料在仪器仪表典型零（构）件上的应用	359
二、工程塑料及其复合材料在仪器仪表典型零（构）件上的应用	360
第五节 工程材料在石油化工设备上的应用	361
一、金属材料在石油化工设备典型零（构）件上的应用	361
二、非金属材料在石油化工设备典型零（构）件上的应用	363
第六节 工程材料在航空航天器上的应用	365
一、工程材料在机翼、机体和防热层上的应用	365
二、工程材料在航空发动机和火箭发动机典型零（构）件上的应用	366
习题与思考题	372
参考文献	374

绪 论

材料是人类社会生活中广泛应用的物质，它是社会发展和进步的标志。历史学家根据制造生产工具的材料将人类生活的时代划分为石器时代、青铜器时代和铁器时代。现代工业技术的发展，同样与材料紧密相连。能源、信息和材料已成为现代技术的三大支柱，而能源、信息的发展又离不开材料。现今人类正处于人工合成材料的新时代，材料的品种、数量和质量已是衡量一个国家科学技术和国民经济水平以及国防力量的重要标志之一。

人类在地球上出现之后，最早使用的工具是石头，到了原始社会的末期，开始用火烧制陶器，由此发展为以后的瓷器，这是最早使用的陶瓷材料。我国汉代瓷器对世界文化产生了巨大的影响，已成为中国古文化的象征。

制陶技术的发展为炼铜准备了必要条件，在奴隶社会，青铜冶炼技术已得到很大发展。我国青铜冶炼技术的发展虽然晚于古埃及和西亚，始于夏代以前，但发展较快。到了商、周时代，青铜冶炼和铸造技术已发展到较高水平，普遍用于制造各种工具、食物器皿和兵器。春秋战国时期，我国劳动人民通过实践，认识了青铜成分、性能和用途之间的关系。在《周礼·考工记》中总结出“六齐”规律：“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，谓之大刃之齐；五分其金而锡居二，谓之削杀矢之齐；金、锡半，谓之鉴燧之齐”。这是世界上最早的合金化工艺的总结。此外，铅、锡、锌、金、银、汞等有色金属的冶炼及使用不断得到发展。

由青铜器过渡到铁器是生产工具的重大发展，对社会进步起着巨大的推动作用。我国从春秋战国时期开始大量使用铁器，推动了奴隶社会向封建社会的过渡。到了汉代，“先炼铁后炼钢”的技术已居世界领先地位。从西汉到明朝，我国钢铁生产的技术远远超过世界各国，而且钢铁热处理技术也得到很大发展，达到相当高的技术水平。西汉《史记·天官书》中有“水与火合为淬”。《汉书·王褒传》中有“巧冶铸干将之朴，清水淬其锋”等的记载。明代科学家宋应星在《天工开物》一书中对钢铁材料的退火、淬火、渗碳等工艺作了详细论述。

与上述陶瓷材料和金属材料发展的同时，天然高分子材料棉、麻、丝绸的生产技术也不断发展，特别是丝绸处于当时世界领先地位，并于 11 世纪沿古丝绸之路传到波斯、阿拉伯、埃及，然后在 14 世纪后期进入欧洲。

另外，功能材料在我国自古就受到重视，早在战国时期已利用天然磁铁矿制

造司南（指南车），到宋代用钢针磁化制出了罗盘，为航海的发展提供了关键技术。

历史充分证明我国劳动人民在材料的制造和使用上有着辉煌的成就，为人类文明作出了巨大贡献。

18 世纪世界工业迅速发展，对材料在品种、数量和质量上都提出了越来越高的要求，推动了材料工艺的进一步发展。光学显微镜于 1863 年开始应用于金属研究，从此金属材料的生产和研究不再是凭经验（如听声音、看颜色、靠祖传秘方或经验），而是深入到材料内部的微观领域。在化学、物理、材料力学等学科的基础上产生了一门新学科“金属学”，它是研究金属材料的成分、组织和性能之间关系的一门科学。随着 1912 年 X 射线衍射技术和 1932 年电子显微镜等新技术和新仪器的相继出现及应用，“金属学”日趋完善，大大推动了金属材料的发展。

20 世纪以来，以硅为代表的半导体材料的出现，为信息技术和自动化技术奠定了基础。随着晶体管、集成电路的研制成功，使以硅材料为代表的计算机的功能不断提高，体积不断缩小，加之高性能的磁性材料不断涌现，激光材料与光导纤维的问世，使人类社会进入了信息时代，加速了现代文明的发展。21 世纪更是现代科学技术和生产突飞猛进的时代，能源、信息、空间技术的发展，不但要求生产更多具有高强度和特殊性能的金属材料，而且要求迅速发展更多、更好的非金属材料。今天，在发展高性能（如高温、高强度、高比强度等）金属材料的同时，正迅速发展和应用高性能（如高比强度、高比模量、耐高温和超高温、抗辐射、高导电性、高敏感性等）非金属材料，并且正在进入人工合成材料（高分子材料、陶瓷材料、复合材料）的时代。“金属学”已不能全面反映现今使用的各类材料的研究、生产和应用中的理论及实际问题，因此在金属学、高分子科学、陶瓷学的基础上形成了“材料科学”，它是研究所有固体材料的成分、组织和性能之间关系的一门科学。而“工程材料学”则是材料科学的一部分，它是以工程材料即用于工程结构和机器零件及元器件的材料为研究对象，阐述工程材料的成分、组织、加工工艺和性能之间的关系的学科。

工程材料按性能特点和用途分为结构材料和功能材料两类。结构材料是以力学性能为主要使用性能，用于制造工程结构和机器零件的材料；功能材料是以物理、化学性能或生物功能等为主要使用性能，用于制造具有特殊功能的元器件的材料。工程材料包括金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料四大类。金属材料是最主要的工程材料，尤其以钢铁材料使用最广，约占 80% 以上。虽然目前高分子材料、陶瓷材料和复合材料在工程结构和机器零件中应用所占比例较少，但其发展迅速，它们将会成为 21 世纪的重要工程材料。

工程材料的性能包括使用性能和工艺性能两方面。使用性能是材料在使用条

件下所具备的性能，主要指力学性能（如强度、塑性、韧性等）、物理性能（如密度、导热性、导电性、磁性等）和化学性能（如氧化性、电化学腐蚀性等）及生物功能（如相容性、自恢复性、自修复性等）；工艺性能是材料在加工过程中所具备的性能，主要指切削加工性能、铸造性能、压力加工性能、焊接性能和热处理性能等。在机械设计中首先考虑的是材料的力学性能。

工程设计人员在设计某种设备或装置时，除了精心进行结构设计和计算外，还应考虑选用何种材料最佳，使之既经久耐用又经济实惠。这就要求设计人员在选材时必须具备两方面的知识：一方面应该了解材料性能和设计的关系，如进行刚度设计、强度设计和断裂力学设计时，必须考虑哪些性能，以及结构、工艺、外界条件（如温度、环境介质）改变时对性能的影响；另一方面应该了解各种材料的基本特性和应用范围。只有把两者结合起来才能正确选用材料。“机械工程材料”课程正是为适应这一要求而设置的。

“机械工程材料”是机械制造和设计类专业的技术基础课，其目的是使学生获得有关工程结构和机器零件常用的金属材料、非金属材料的基本理论知识和性能特点，并使其初步具备根据零件工作条件和失效方式，合理选材与使用材料，正确制订零件的冷、热加工工艺路线的能力。

《机械工程材料》的内容包括：①机械零件的失效方式（第一章）；②金属材料的基本知识、热处理基本原理和常用金属材料的性能特点及应用（第二、三、四、五、六章）；③常用非金属材料（高分子材料、陶瓷材料）、复合材料和功能材料的基本知识和性能特点及应用（第七、八、九、十章）；④材料改性新技术（第十一章）；⑤机械零（构）件设计选材的基本方法及工程材料在典型机械上的应用（第十二、十三章）。

“机械工程材料”是以化学、物理、材料力学及金属工艺学和金工教学实习为基础的课程，在学习时应该联系上述基础课程的有关内容，以加深对本课程内容的理解。同时本课程又是设计选材的基础，在今后学习有关专业课程时，还应经常联系本书的有关内容，以便进一步掌握所学知识。此外，“机械工程材料”是一门从生产实践中发展起来，而又直接为生产服务的科学，所以学习时不但要注意学习基本理论，而且要注意联系实验室的实验和生产实践。

第一章 机械零件的失效分析

任何机器零件或结构件都具有一定功能，如在载荷、温度、介质等作用下保持一定几何形状和尺寸，实现规定的机械运动，传递力和能等。零件若失去设计要求的效能即为失效。

造成零件失效的原因是多方面的，它涉及到结构设计、材料选择、加工制造、装配调整及使用与保养等因素，但从本质看，零件失效都是由于外界载荷、温度、介质等的损害作用超过了材料抵抗损害的能力造成的。对于机械设计者来说，为了预防零件失效，必须做到设计正确，选材恰当和工艺合理。为此，要求设计者在设计时，不仅要熟悉零件的工作条件，掌握零件的受力和运动规律，还要把它们和材料的性能结合起来，即从零件的工作条件中找出其对材料的性能要求，然后才能做到正确选择材料和合理制订冷、热加工的技术条件及工艺路线。而研究零件的失效是深刻了解零件工作条件的基础。通过观察零件的失效特征，找出造成失效的原因，从而确定相应的失效抗力指标，为制订技术条件、正确选材和制订合理工艺提供依据。因此，研究机械零件的失效具有重要意义。本章将分别讨论机械零件常见的失效方式：过量变形、断裂、磨损和腐蚀。

第一节 零件在常温静载下的过量变形

材料在外力作用下产生的形状或尺寸的变化叫变形。根据外力去除后变形能否恢复，将变形分为弹性变形和塑性变形。能够恢复的变形叫做弹性变形；不能够恢复的变形叫做塑性变形。研究材料在常温静载荷下的变形常采用静拉伸、压缩、弯曲、扭转和硬度等试验方法，其中静拉伸试验可以全面地揭示材料在静载荷作用下的变形规律。本节首先讨论工程材料在静拉伸时的应力-应变行为。

一、工程材料在静拉伸时的应力-应变行为

(一) 低碳钢的应力-应变行为

图 1-1 为低碳钢的应力-应变曲线。由图可以看出，钢在低于弹性极限 σ_e 的应力作用下发生弹性变形，在此阶段内，当应力低于比例极限 σ_p 时，应力和应变成正比，服从胡克定律，

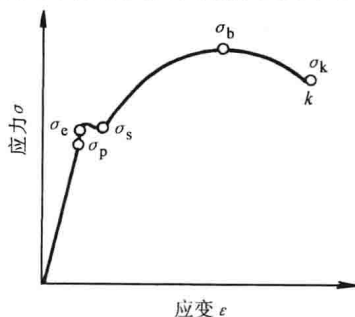


图 1-1 低碳钢拉伸时的
应力-应变曲线

即

$$\sigma = E\varepsilon$$

称为线弹性变形，式中 E 为弹性模量。当应力超过弹性极限 σ_e 后，在继续发生弹性变形的同时，开始发生塑性变形并出现屈服现象，即外力不增加，但变形继续进行。当应力超过屈服强度（屈服点） σ_s 后，随着应力增加，塑性变形逐渐增加，并伴随加工硬化，即塑性变形需要不断增加外力才能继续进行，产生均匀塑性变形，直至应力达到抗拉强度 σ_b 后均匀塑性变形阶段结束，试样开始发生不均匀集中塑性变形，产生缩颈，应力迅速下降至 σ_k ，变形量迅速增大至 k 点而发生断裂。由此可见，低碳钢在拉伸应力作用下的变形过程分为：弹性变形、屈服塑性变形、均匀塑性变形、不均匀集中塑性变形四个阶段。除低碳钢外，正火、退火、调质态的中碳钢或低、中碳合金钢和有些铝合金及某些高分子材料也具有上述类似的应力-应变行为。

（二）其它类型材料的应力-应变行为

如上所述，低碳钢在拉伸应力作用下的变形过程分为：弹性变形、屈服塑性变形、均匀塑性变形、不均匀集中塑性变形四个阶段。但并非所有材料在拉伸应力作用下都经历上述变形过程。图 1-2 给出了其它类型材料的应力-应变曲线。图中曲线

1 为大多数纯金属（如 Al、Cu、Au、Ag 等）的应力-应变曲线，其变形过程包括弹性变形、均匀塑性变形、不均匀集中塑性变形三个阶段，不发生屈服塑性变形；曲线 2 为脆性材料（如陶瓷、白口铸铁、淬火高碳钢或高碳合金钢等）的应力-应变曲线，这类材料的 $\sigma_k < \sigma_s$ ，尚未发生塑性变形就断裂了，其变形过程只有线弹性变形一个阶段；曲线 3 为高弹性材料（如橡胶等）的应力-应变曲线，其弹性变形偏离线性关系，且弹性变形能力强，弹性变形率可达 100% ~ 1000%，直至断裂前都不发生塑性变形，其变形过程只有非线性的弹性变形一个阶段。由此可见，材料不同，其塑性变形能力不同即塑性不同。

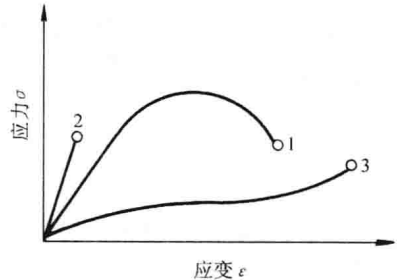


图 1-2 其它类型材料的应力-应变曲线示意图

1—纯金属 2—脆性材料 3—高弹性材料

线，其弹性变形偏离线性关系，且弹性变形能力强，弹性变形率可达 100% ~ 1000%，直至断裂前都不发生塑性变形，其变形过程只有非线性的弹性变形一个阶段。由此可见，材料不同，其塑性变形能力不同即塑性不同。

二、静载性能指标

（一）刚度和强度指标

1. 刚度 刚度是指零（构）件在受力时抵抗弹性变形的能力，它等于材料弹性模量与零（构）件截面积的乘积。由胡克定律可知：

$$\text{单向拉伸（或压缩）时：} E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{P/A}{\varepsilon}, \text{ 即 } EA = \frac{P}{\varepsilon}$$