



21世纪机电类专业规划教材

机械工程材料


JIXIE GONGCHENG CAILIAO

高红霞 主编



本书配有电子课件



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪机电类专业规划教材

机械工程材料

主 编 高红霞
副主编 樊江磊 丁 静



机械工业出版社

本教材为普通高等教育机械类及近机械类专业的技术基础课教材。以材料的成分、组织、工艺、性能、应用为主线，从材料基本理论、金属材料改性技术、材料性能及应用、材料选用等方面讲授机械工程材料的基本知识。本教材共 13 章，主要内容包括材料的性能、金属材料的结构与组织、金属的塑性变形改性、钢的热处理改性、金属的表面改性、碳钢、合金钢、铸铁、有色金属、新型金属材料、非金属材料、机械零件的选材及热处理、特定行业机械零件的选材及热处理等，每章章末有适量的思考题。

本书可作为高等院校机械制造、机械设计、机电工程等机械类专业以及近机械类专业教材，也可作为职业学校、成人教育及有关工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械工程材料/高红霞主编. —北京: 机械工业出版社, 2017. 8

21 世纪机电类专业规划教材

ISBN 978-7-111-57095-0

I. ①机… II. ①高… III. ①机械制造材料—高等学校—教材
IV. ①TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 172069 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 宋亚东 责任编辑: 宋亚东

责任校对: 张 薇 责任印制: 常天培

唐山三艺印务有限公司印刷

2017 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 14.5 印张 · 430 千字

0 001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-57095-0

定价: 39.80 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

前 言

随着制造业向先进制造、智能制造的发展，高等教育的人才培养模式正转变为创新型应用人才的培养，教育部也提出并在深入推进卓越工程师教育培养计划，以提高工程教育人才培养质量，培养高质量创新型工程技术人才。

本教材是为适应目前高等工程教育的新形势，在满足教学基本要求的前提下，对机械制造类及相近各专业创新教育的教材内容进行调整和扩充而编写的。对传统的较深的理论知识进行了精简，对新技术及工程实际应用知识进行了扩充。

本教材针对机械行业的工程材料进行知识阐述，主要内容有：

- 1) 材料基本原理——材料成分、组成、性能、应用之间关系。
- 2) 材料改性技术——材料的变形加工、热处理、表面处理等。
- 3) 各种材料性能及应用——钢铁材料、有色金属、非金属材料、复合材料等。
- 4) 材料选用——各种类型机械零件及各种特殊行业机械零件的选用及热处理。

本教材主要具有以下特点：

1) 知识系统——对各章内容均按照成分、组成、性能、应用的主线编排教学内容，便于学生掌握材料研究和分析的基本方法，提高学生的创新思维能力。

2) 内容精炼——精简了材料内部组织结构转变的复杂过程和深奥机理，明确最终结果，简化了改性技术的次要环节，突出关键技术，让学生抓住重点，提高学习效果和学习效率。

3) 信息丰富——扩充了轻合金、高温合金、非晶合金、形状记忆合金等新材料及改性技术新工艺，增加学生的信息量，扩大知识新视野。

4) 强化实践——增加了较多材料选用的内容，以及材料应用方面的实例分析、加工工艺路线制订、加工技术等实际应用知识，便于培养学生运用理论知识解决实际问题的能力。

5) 生动形象——增加了较多同类概念或同类知识对比的表格、材料改性技术的图片、材料实际应用的照片等，图文并茂，增加直观性和形象性，提高学生的学习兴趣。

本教材不仅在结构、内容、形式上重新编排，而且所引用的材料成分、性能、牌号及工艺标注方法等均来自最新国家标准，是一本新颖的教材。本教材可作为高等院校机械制造、机械设计、机电工程等机械类专业以及近机类专业教材，也可作为专科学校、成人教育及有关工程技术人员的参考书。

本教材由郑州轻工业学院高红霞教授主编，负责全书的统稿与审校，樊江磊、

丁静任副主编。高红霞编写绪论、第1章、第4章、第13章、附录等；樊江磊编写第2章、第8章；丁静编写第3章、第6章、第10章、第5章的5.4节；吴深编写第7章的7.1~7.2节、第9章；王通编写第11章、第5章的5.1~5.2节；马宇编写第12章、第7章7.3~7.4节、第5章的5.3节。

本教材编写过程中，刘琨、周向葵、陈宝龙参与了一些资料整理及图片制作等工作；工程材料实验室老师提供了部分金相图片，其他高校的同行教师也提出了不少宝贵意见，在此一并深表感谢！

由于水平有限，书中难免存在疏漏和不妥之处，恳请各位同仁及广大读者批评指正。

编 者

目 录

前 言

绪论 1

0.1 工程材料的地位 2

0.1.1 工程材料的社会地位 2

0.1.2 工程材料在机械工业中的地位 3

0.2 工程材料的分类及应用 3

0.2.1 按材料的化学成分分类 3

0.2.2 按材料使用性能分类 3

0.3 课程的主要内容 4

0.3.1 材料的基本理论 4

0.3.2 金属材料的改性技术 4

0.3.3 各种机械工程材料的性能及应用 4

0.3.4 机械工程材料的选用 4

0.4 课程的任务 4

0.5 课程的目的和要求 5

思考题 5

第1章 材料的性能 6

1.1 材料的力学性能 7

1.1.1 强度 7

1.1.2 塑性 8

1.1.3 硬度 9

1.1.4 韧性 12

1.1.5 疲劳强度 12

1.2 材料常用物理化学性能 13

1.2.1 材料的物理性能 13

1.2.2 材料的化学性能 14

1.3 材料的工艺性能 14

1.3.1 铸造性能 14

1.3.2 锻造性能 14

1.3.3 焊接性 14

1.3.4 热处理性能 15

1.3.5 切削加工性能 15

思考题 15

第2章 金属材料的结构与组织 16

2.1 纯金属的结构与组织 17

2.1.1 理想金属晶体结构 17

2.1.2 实际金属晶体结构 19

2.1.3 纯金属的组织 20

2.2 合金的结构与组织 22

2.2.1 合金的结构 23

2.2.2 合金的组织 24

2.3 铁碳合金的结构与组织 28

2.3.1 铁碳合金的结构 29

2.3.2 铁碳合金的组织 30

2.3.3 铁碳相图的应用 36

思考题 38

第3章 金属的塑性变形改性 39

3.1 塑性变形的形式及过程 40

3.1.1 塑性变形的形式 40

3.1.2 塑性变形的过程 40

3.2 冷塑性变形后金属的组织性能 42

3.2.1 冷塑性变形后金属的组织结构 42

3.2.2 冷塑性变形后金属的性能 43

3.3 冷塑性变形金属加热时的组织性能 44

3.3.1 回复的组织性能 44

3.3.2 再结晶的组织性能 44

3.3.3 晶粒长大的组织性能 44

3.4 热塑性变形后金属的组织性能 45

3.4.1 热塑性变形后金属的组织 45

3.4.2 热塑性变形后金属的性能 45

思考题 45

第4章 钢的热处理改性 46

4.1 热处理的作用及分类 47

4.1.1 热处理的作用 47

4.1.2 热处理的分类 47

4.2 钢在加热时的组织转变 47

4.2.1 加热温度 47

4.2.2 转变过程 48

4.2.3 加热转变组织及其控制措施 49

4.3 钢在冷却时的组织转变 50

4.3.1 转变产物及性能·····	50	5.4 激光表面改性·····	80
4.3.2 等温冷却转变·····	53	5.4.1 激光表面熔覆·····	81
4.3.3 连续冷却转变·····	53	5.4.2 激光表面合金化·····	81
4.4 钢的退火与正火·····	54	思考题·····	82
4.4.1 退火与正火的作用·····	54	第6章 碳钢 ·····	83
4.4.2 退火工艺·····	54	6.1 碳钢基础知识·····	84
4.4.3 正火工艺·····	55	6.1.1 碳钢的成分特点·····	84
4.5 钢的淬火与回火·····	55	6.1.2 碳钢的组织及性能·····	84
4.5.1 淬火的作用·····	55	6.1.3 碳钢的分类·····	85
4.5.2 淬火工艺·····	55	6.1.4 碳钢的热处理·····	85
4.5.3 回火的作用·····	58	6.1.5 碳钢的牌号·····	86
4.5.4 回火工艺·····	58	6.2 常用碳钢的牌号、成分、组织、性能 及应用·····	86
4.6 钢的表面热处理·····	59	6.2.1 普通碳素结构钢·····	86
4.6.1 表面淬火·····	59	6.2.2 优质碳素结构钢·····	87
4.6.2 渗碳·····	61	6.2.3 碳素工具钢·····	89
4.6.3 渗氮·····	62	6.2.4 铸造碳钢·····	89
4.7 钢的热处理新工艺·····	63	思考题·····	90
4.7.1 真空热处理·····	63	第7章 合金钢 ·····	91
4.7.2 形变热处理·····	63	7.1 合金钢基础知识·····	92
4.7.3 高能束表面淬火·····	64	7.1.1 合金钢的成分·····	92
4.7.4 智能化热处理·····	65	7.1.2 合金钢的组织性能及应用·····	94
4.8 热处理工序的位置及零件的加工工艺 路线·····	66	7.1.3 合金钢的热处理·····	95
4.8.1 热处理工序的位置·····	66	7.1.4 合金钢的分类·····	95
4.8.2 各种碳钢零件的加工工艺路线·····	66	7.1.5 合金钢的牌号·····	95
4.9 钢热处理缺陷的防止及热处理零件的 结构工艺性·····	66	7.2 常用合金结构钢的牌号、成分、组织、 性能及应用·····	96
4.9.1 热处理缺陷的防止·····	66	7.2.1 低合金高强度钢·····	96
4.9.2 热处理零件的结构工艺性·····	67	7.2.2 合金渗碳钢·····	98
思考题·····	68	7.2.3 合金调质钢·····	100
第5章 金属的表面改性 ·····	70	7.2.4 合金弹簧钢·····	100
5.1 电镀及化学镀·····	71	7.2.5 滚动轴承钢·····	102
5.1.1 电镀·····	71	7.2.6 易切钢·····	103
5.1.2 化学镀·····	74	7.3 常用合金工具钢的牌号、成分、组织、 性能及应用·····	103
5.2 热喷涂·····	75	7.3.1 合金刀具钢·····	103
5.2.1 火焰喷涂·····	77	7.3.2 合金模具钢·····	106
5.2.2 电弧线材喷涂·····	77	7.3.3 合金量具钢·····	108
5.2.3 等离子喷涂·····	78	7.4 特殊性能钢的牌号、成分、组织、性能 及应用·····	109
5.3 气相沉积·····	79	7.4.1 不锈钢·····	109
5.3.1 物理气相沉积·····	79		
5.3.2 化学气相沉积·····	80		

7.4.2 耐热钢	110	9.3.3 钛合金的热处理	139
7.4.3 耐磨钢	113	9.3.4 常用钛合金的牌号、成分、性能及应用	139
思考题	113	9.4 镁及其合金	140
第8章 铸铁	114	9.4.1 纯镁	140
8.1 铸铁的成分	115	9.4.2 镁合金的成分、组织、性能特点、分类及牌号	140
8.2 铸铁的组织	115	9.4.3 镁合金的热处理	141
8.2.1 铁碳双重相图	115	9.4.4 常用镁合金的牌号、成分、性能及应用	141
8.2.2 铸铁的组织	116	9.5 轴承合金	143
8.3 铸铁的分类及牌号	117	9.5.1 轴承合金的性能要求	143
8.3.1 铸铁的分类	117	9.5.2 轴承合金的组织特点	144
8.3.2 铸铁的牌号	117	9.5.3 常用轴承合金的牌号、成分、性能及应用	144
8.4 铸铁的性能及应用	117	思考题	145
8.4.1 铸铁的性能	117	第10章 新型金属材料	146
8.4.2 铸铁的应用	118	10.1 粉末烧结合金	147
8.5 常用铸铁的成分、组织、热处理、性能及应用	118	10.1.1 粉末烧结合金的成分特点	147
8.5.1 灰铸铁	118	10.1.2 粉末烧结合金的制备方法	147
8.5.2 蠕墨铸铁	120	10.1.3 粉末烧结合金的组织及性能特点	149
8.5.3 可锻铸铁	121	10.1.4 粉末烧结合金的应用	150
8.5.4 球墨铸铁	122	10.2 非晶态合金	152
8.5.5 合金铸铁	124	10.2.1 非晶态合金的成分及结构特点	152
思考题	126	10.2.2 非晶态合金的制备方法	152
第9章 有色金属	127	10.2.3 非晶态合金的性能及应用	154
9.1 铝及其合金	128	10.3 高温合金	154
9.1.1 纯铝	128	10.3.1 高温合金的成分、组织、性能特点	155
9.1.2 铝合金的成分、组织特点、分类及牌号	128	10.3.2 高温合金的分类及牌号	155
9.1.3 铝合金的热处理	129	10.3.3 常用高温合金的性能及应用	156
9.1.4 常用铝合金的牌号、成分、性能及应用	130	10.4 耐热单晶合金	157
9.2 铜及其合金	134	10.4.1 耐热单晶合金的成分结构及性能特点	157
9.2.1 纯铜	134	10.4.2 耐热单晶合金的制造方法	157
9.2.2 铜合金的成分、组织特点、分类及牌号	134	10.4.3 耐热单晶合金的性能及应用	158
9.2.3 铜合金的热处理	135	10.5 超塑性合金	158
9.2.4 常用铜合金的牌号、成分、性能及应用	136	10.5.1 超塑性合金的成分、组织及性能特点	158
9.3 钛及其合金	138	10.5.2 超塑性产生的类型	158
9.3.1 纯钛	138		
9.3.2 钛合金的成分、组织特点、分类及牌号	138		

10.5.3 超塑性在金属加工技术中的应用	159	12.3.1 刀具的失效分析及性能要求	201
10.6 形状记忆合金	160	12.3.2 低速刀具的选材及热处理	201
10.6.1 形状记忆合金的成分特点	160	12.3.3 高速刀具的选材及热处理	201
10.6.2 形状记忆合金的记忆原理	160	12.3.4 刀具的选材及热处理实例	202
10.6.3 形状记忆合金的处理方法	161	思考题	203
10.6.4 形状记忆合金的应用	161	第13章 特定行业机械零件的选材及热处理	204
思考题	162	13.1 汽车零件的选材及热处理	205
第11章 非金属材料	163	13.1.1 发动机零件	205
11.1 塑料	164	13.1.2 底盘零件	207
11.1.1 塑料的基本知识	164	13.1.3 车身零件	208
11.1.2 常用工程塑料的性能及应用	167	13.2 模具零件的选材及热处理	208
11.2 橡胶	171	13.2.1 冷作模具	208
11.2.1 橡胶的基本知识	171	13.2.2 热作模具	210
11.2.2 常用合成橡胶材料的性能及应用	172	13.2.3 塑料模具	211
11.3 陶瓷	172	13.3 热动力设备零件的选材及热处理	212
11.3.1 陶瓷基本知识	172	13.3.1 锅炉零件	212
11.3.2 常用工程陶瓷的性能及应用	175	13.3.2 汽轮机零件	213
11.4 复合材料	178	13.4 石油化工设备零件的选材及热处理	214
11.4.1 复合材料基本知识	178	13.4.1 压力容器	214
11.4.2 常用复合材料的代号、成分、性能及应用	183	13.4.2 塔器、热交换器及管道配件	215
思考题	185	13.5 航空航天器零件的选材及热处理	216
第12章 机械零件的选材及热处理	186	13.5.1 机翼机架零件	216
12.1 机械零件的失效分析及选材	187	13.5.2 发动机零件	216
12.1.1 机械零件的失效分析	187	13.6 工程矿山机械零件的选材及热处理	217
12.1.2 机械零件选材的原则及方法	189	13.6.1 工程机械零件	217
12.2 典型机械零件的选材及热处理	191	13.6.2 矿山机械零件	218
12.2.1 轴类零件	191	思考题	218
12.2.2 齿轮类零件	194	附录	219
12.2.3 箱体壳体类零件	197	参考文献	223
12.2.4 弹簧类零件	199		
12.3 刀具的选材及热处理	201		

绪 论

- ☞ 工程材料的地位
- ☞ 工程材料的分类及应用
- ☞ 课程的内容及要求

0.1 工程材料的地位

0.1.1 工程材料的社会地位

材料是社会生产力发展水平的标志：材料作为人类生活和生产的基本物质，是人类社会赖以生存和发展的重要条件，它可以衡量人类社会文明程度及社会发展水平。因此，历史学家按照人类使用材料的性质差异，把历史时代分为石器时代、青铜器时代、铁器时代、钢铁时代、新材料时代……目前，人类社会正处于钢铁时代向新型高性能结构材料、机敏智能功能材料等新材料时代过渡的时期。图 0-1 所示为人类社会不同发展时期所使用的标志性材料。图中所示各时代所用的材料或物品自上而下分别是：石器时代——玉器、武器、农具；青铜器时代——透光镜、四羊方尊、农具；铁器时代——釜、红夷大炮、农具；钢铁时代——无缝钢管、钢板卷、高铁车辆；新材料时代——太阳能级多晶硅、单晶硅、光纤。



图 0-1 人类社会不同时期的材料应用

材料的发展水平可促进社会的进步：近代科学技术的发展足迹时刻记录着材料所做出的卓越贡献。18 世纪 60 年代，蒸汽机的出现引发了以机器为动力的工业机械化。19 世纪 70 年代，电磁场理论的发展导致了电动机、发电机的大量采用，从而出现了以电为动力的工业电气化。20 世纪四项重大发现，即原子能、半导体、计算机、激光器的发展及应用，带动了高度信息化的工业自动化。如果没有黑色金属、有色金属材料以及非晶、微晶、纳米材料、陶瓷、高分子材料及人工智能材料提供物质保证，这一切都难以实现。

在材料、信息、能源这三大社会支柱中，材料是三大支柱之首。由于信息、能源的发展依赖于材料的发展，材料科学在社会上占有举足轻重的地位，材料的品种、数量和质量是衡量一个国家科学技术和国民经济水平及国防实力的重要标志之一。

除传统材料外，为满足和适应高技术产业发展的需求，各种新材料不断涌现。新材料主要是

以传统材料为基础，充分利用高新技术、合成方法制造出的具有特殊功能和优良性能的材料或者是前所未有的材料。新材料在高新技术发展中起着基础和先导作用，新材料本身也是高新技术的重要组成部分。新材料的快速发展，必将为人类社会的发展和进步提供强大动力。

0.1.2 工程材料在机械工业中的地位

目前机械工业正朝着高速、自动、精密方向迅速发展，对材料的数量和质量都提出了越来越高的要求。在机械产品的设计和制造过程中，所遇到的工程材料方面的问题日益增多，机械工业与材料学科之间的关系也越加密切。实践表明，合理选用材料，适当确定热处理工艺，妥善安排工艺路线在充分发挥材料本身的性能潜力、保证材料具有良好的加工工艺性能、获得理想的使用性能、提高产品零件的质量、节省材料、降低生产成本等方面有着重大的影响。实际工作中，往往由于选材不当或热处理不妥，使机械零件的使用性能达不到规定的技术要求，而导致使用中发生过早损坏，如产生变形、断裂、磨损等。因此，工程材料知识对于机械制造工作者来说是必须具备的。

0.2 工程材料的分类及应用

工程材料是指具有一定性能，在特定条件下能够承担某种功能，被用来制取零件和元件的材料。工程材料种类繁多，据不完全统计，现有工程材料种类已达一万余种，每年仍以5%的速度增加。材料有许多不同的分类方法，比较常用是按化学成分或使用性能分类。

0.2.1 按材料的化学成分分类

1. 金属材料

金属材料可以分为黑色金属及有色金属。黑色金属主要包括钢和铸铁。有色金属种类很多，按照它们的特性不同，又分为轻金属、重金属、贵金属、稀有金属和放射性金属等多种。目前金属材料仍然是应用最广泛的工程材料。

2. 无机非金属材料

无机非金属材料包括水泥、玻璃、耐火材料和陶瓷等。它们的主要原料是硅酸盐产物，又称硅酸盐材料，因为不具备金属性质也称无机非金属材料。

3. 高分子材料

高分子材料按材料来源可分为天然高分子材料和人工合成高分子材料。按性能及用途可分为塑料、橡胶、纤维、胶粘剂等。

4. 复合材料

由于多数金属材料不耐腐蚀，无机非金属材料脆性大，高分子材料不耐高温，人们把上述两种或两种以上的不同材料组合起来，取长补短，提高性能，就构成了复合材料。复合材料由基体材料和增强材料复合而成。基体材料有金属、塑料、陶瓷等，增强材料有各种纤维和颗粒。

0.2.2 按材料使用性能分类

1. 结构材料

结构材料是具有较高的强度、刚度、塑性、韧性、硬度、疲劳强度、耐磨性等力学性能，用来制造承受载荷、传递动力的零件和构件的材料。结构材料在机械制造、石油化工、交通运输、航空航天、建筑工程等行业占有举足轻重的地位，其可以是金属材料、高分子材料、陶瓷材料或复合材料。

2. 功能材料

功能材料是具有优良的光、声、电、磁、热等物理性能，用来制造具有特殊性能的元件的材料，如大规模集成电路材料、信息记录材料、光学材料、激光材料、超导材料、传感器材料、储氢材料等都属于功能材料。目前，功能材料在通信、计算机、电子、激光和空间科学等领域中扮演着极其重要的角色。

0.3 课程的主要内容

本课程的内容有材料的基本理论、金属材料的改性技术、机械工程材料的性能及应用、机械工程材料选用等。

0.3.1 材料的基本理论

简要介绍材料的力学性能，系统地介绍及分析纯金属、合金、铁碳合金的晶体结构与组织，阐述金属材料成分—组织结构—性能之间的关系。

0.3.2 金属材料的改性技术

系统介绍塑性变形强化、热处理强化的基本原理和常用方法。阐述金属材料的塑性变形强化及热处理强化工艺—组织结构—性能之间的关系。简要介绍以提高金属材料表面耐磨性、耐蚀性、耐热性等特殊性能的表面改性技术的基本原理和工艺，分析常用表面改性方法的特点和应用。

0.3.3 各种机械工程材料的性能及应用

以工程材料的成分—组织结构—性能—应用为主线，系统介绍碳钢、合金钢、铸铁、铝合金、铜合金、钛合金、镁合金、轴承合金等各种常见金属材料、工程塑料、工程陶瓷、复合材料等机械工程材料的种类、牌号、组织、性能及应用。

0.3.4 机械工程材料的选用

简述零件失效分析的方法及机械零件选材的原则，介绍轴类、齿轮类、箱体类、弹簧类等各种机械零件及刀具的选材及热处理，介绍汽车制造、模具制造、能源及动力设备、石油化工机械、航空航天装备、工程机械等特殊行业机械零件的选材及热处理，并结合实例对各种类型机械零件的选材及热处理进行分析。

0.4 课程的任务

工程材料的性能与其成分和组织以及加工工艺之间的关系非常密切（见图 0-2），成分和加工工艺决定组织，组织决定性能。热处理实际上是通过改变组织而使金属材料性能发生变化的一种加工工艺。机械工程材料课程的基本任务就在于建立材料的成分、热处理工艺、组织、性能之间的关系，找出其内在的规律，以便通过控制材料的成分和加工工艺过程来控制其组织，提高其性能，或研制具有某种性能的新材料。近年来，在材料研究方面，由于新的测试仪器（如电子显微镜及 X 射线、放射性同位素、超声波、声发射等测试仪）的发明及应用，使金属的研究进入了更为微观的范畴。本课程对金属内部晶体结构、缺陷等细微的组织也进行阐述，以建立基本认识。

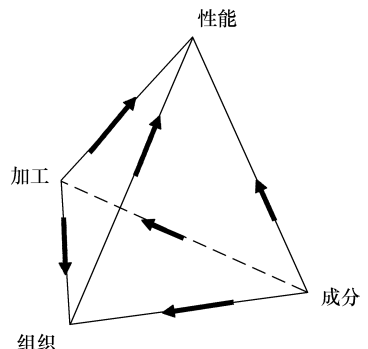


图 0-2 工程材料成分、组织、加工、性能间的相互关系

0.5 课程的目的和要求

机械工程材料课程是机械设计、机械制造、机械电子、模具制造、化工工程、食品工程、能源与动力工程等各机械类专业及近机类专业的一门技术基础课。其主要目的是使学生获得有关工程材料的基本理论，理解常用机械工程材料的成分、组织、性能、热处理工艺之间的关系，了解热处理等各种材料改性工艺在机械零件加工过程中的地位和作用，以便在学习本门课程之后，使学生具有合理选用机械工程材料、正确选用热处理等改性方法、妥善安排工艺路线等方面的初步能力。

本课程是一门实践性较强的课程，学习课程前学生应经过金工教学实习方面的基本训练，在机械工程材料方面有一定的感性认识。课程讲授过程应结合生产应用实际，并配合课堂讨论及实验教学。本课程涉及的知识面广、实用性强，应在后续课程和生产实习、毕业设计等教学环节反复地实践、学习和提高。

思 考 题

1. 工程材料的重要地位与作用是什么？
2. 常用工程材料的种类有哪些？
3. 举例说明材料与人类生活的关系。
4. 本课程的主要内容与任务是什么？
5. 讨论石器时代之前是否存在木器时代。

第 1 章 材料的性能

- ☞ 常用力学性能的概念及测试方法
 - * 强度 * 塑性 * 硬度 * 韧性
- ☞ 钢的力学性能之间的联系

为正确使用材料，制造出高性能、低成本的机械产品，应充分了解和掌握材料的性能，包括力学性能、物理化学性能和工艺性能等。

1.1 材料的力学性能

力学性能是指材料在各种不同性质外力作用下所表现的抵抗能力，主要有强度、塑性、硬度、韧性。

1.1.1 强度

材料在外力作用下抵抗塑性变形或断裂的能力称为强度，是非常重要的力学性能指标，常采用拉伸试验方法测定。

1. 拉伸试验

拉伸试验是在材料拉伸试验机上用静拉力对拉伸试样进行轴向拉伸的试验。拉伸试验机如图 1-1 所示，拉伸试样横截面一般为圆形、矩形、多边形等，尺寸按国家标准，分为长试样和短试样。如图 1-2 所示为圆柱形试样， d 为试样平行长度的直径， L_0 为试样的原始标距； d_u 为试样断口处的最小直径， L_u 为断后标距。

将试样装在拉伸试验机的上下夹头上，开动拉伸试验机，缓慢加载拉伸载荷，随着载荷的增加，试样逐渐伸长直至拉断。试样拉断前后的照片如图 1-3 所示。

拉伸过程中试样所受的拉力与延伸量是不断变化的，常用到应力、延伸率的概念。应力是指拉伸过程中任意时刻试样所受的拉力除以试样的原始横截面，延伸率是指标距部分的延伸量与原始标距之比的百分率。

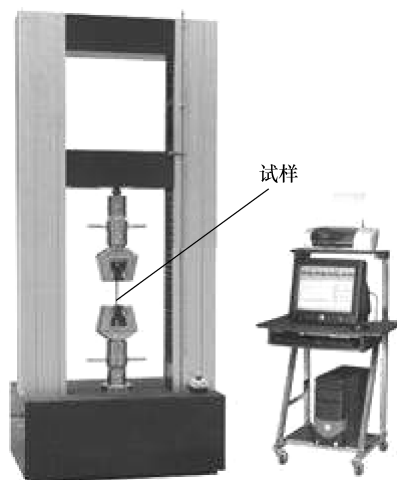


图 1-1 拉伸试验机

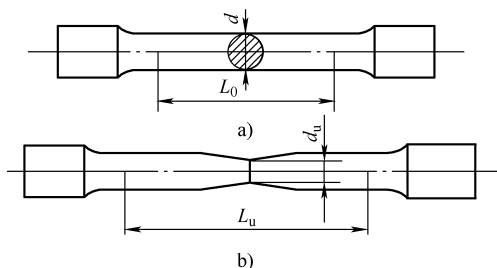


图 1-2 拉伸前及拉断后的拉伸试样

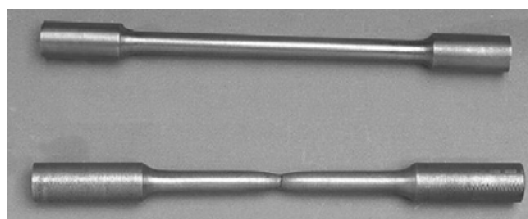


图 1-3 拉伸前及拉断后的拉伸试样照片

试验装置可记录拉伸过程中应力与延伸率的关系曲线，即应力 - 延伸率曲线 ($\sigma - \epsilon$ 曲线)。图 1-4 所示为低碳钢的应力 - 延伸率曲线。

由应力 - 延伸率曲线可知，应力为 0 时延伸率为 0，应力增大到 R_e 的过程中，试样的应变与延伸率之间成正比例关系，在应力 - 延伸率曲线上表现为一条斜直线 ob 。在此范围内卸除载荷，试样能完全恢复到原来的形状与尺寸，即试样处于弹性变形阶段。图中 R_e 是试样保持弹性变形的最大拉应力。

当应力增加到 R_e 时，曲线在 $b - c$ 间出现水平或锯齿形线段，表示拉力不再增加的情况下，

试样也会继续延伸，这种现象称为“屈服”，水平段称为屈服阶段。此阶段试样将产生塑性变形，卸载后变形不能完全恢复，塑性延伸将被保留下来。

当应力超过 R_e 后，曲线表现为一段上升曲线，表示随着塑性变形量的增大，试样变形抗力也逐渐增大，即试样抵抗变形的能力将增强。此阶段称为冷变形强化阶段，此阶段试样平行长度段产生大量均匀塑性变形。

当应力增至最大值 R_m 时，试样延伸量迅速增大且集中于试样的局部长段，使局部截面积迅速减小，出现“缩颈”现象。由于缩颈处截面积的急剧缩小，单位面积承载大大增加，最后到 e 点试样被拉断。此阶段为局部塑性变形与断裂阶段。

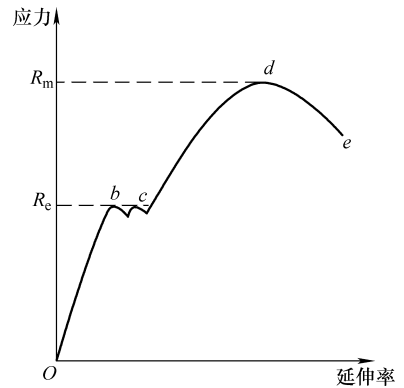


图 1-4 低碳钢的应力 - 延伸率曲线

2. 强度指标

强度是指材料抵抗塑性变形或断裂的能力。常用的强度指标有屈服强度与抗拉强度等，可由应力 - 延伸率曲线直接得出。

(1) 屈服强度 屈服强度是指材料对塑性变形的抵抗能力，是试样在拉伸试验期间达到塑性变形发生而力不增加的应力点，即 R_e ，单位为 MPa。

工业上使用的一些金属材料，如高碳钢、铝合金等，在进行拉伸试验时屈服现象不明显，也不会产生缩颈现象，测定 R_e 很困难，因此规定一个相当于屈服强度的强度指标，以标距延伸率为 0.2% 时的应力值定为其屈服强度，称为规定非比例延伸强度，用 $R_{p0.2}$ 表示。

金属零件和结构在工作中一般是不允许产生塑性变形的，所以设计零件、结构时，屈服强度 R_e 是重要的设计依据。

(2) 抗拉强度 抗拉强度是指材料对断裂的抵抗能力，是试样断裂前能承受的最大应力值，即 R_m ，单位为 MPa。

R_m 是材料由均匀塑性变形向局部集中塑性变形过渡的临界值，也是材料在静拉伸条件下的最大承载能力。由于测试数据较准确，有关手册和资料提供的设计、选材的强度指标都是抗拉强度 R_m 。

(3) 刚度 刚度是指材料对弹性变形的抵抗能力，是试样产生单位弹性变形所需的应力。对应于应力 - 延伸率曲线上的弹性变形阶段应力与延伸量的比值，即直线 ob 的斜率。刚度也称为弹性模量，用 E 表示。有些精密零件对变形要求较高，甚至连弹性变形都不允许，设计零件时需考虑材料的刚度。

1.1.2 塑性

塑性是指断裂前材料产生塑性变形的能力。塑性也是通过拉伸试验测试的，用拉伸试样断裂时的最大相对伸长量来表示金属的塑性指标，常用断后伸长率和断面收缩率表示。

1. 断后伸长率

拉伸试样在进行拉伸试验时，在拉力的作用下产生不断伸长的塑性变形。试样拉断后的伸长量与试样原始长度的百分比称为断后伸长率，用符号 A 表示。

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-1)$$