

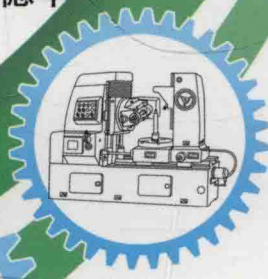
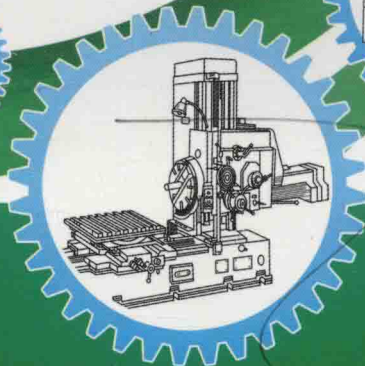
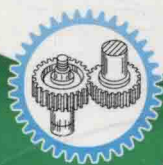


机电专业“十二五”规划教材

工程材料 及成形工艺

GONGCHENG CAILIAO
JI CHENGXING GONGYI

主编 任志新 王斌 刘德华



 江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

机械 2017 材

工程材料及成形工艺

主编 任志新 王 斌 刘德华



江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

镇 江

内 容 提 要

本书是根据教育部制定的《高职高专教育工程材料与成形工艺基础课程教学基本要求》编写的高职高专通用教材。

全书共 13 个部分, 主要内容包括绪论、工程材料的性能、工程材料的结构、金属材料的结晶、钢的热处理、工业用钢、铸铁、有色金属及其合金、非金属材料与新型材料、铸造成形、锻压成形、焊接与胶接成形、材料及成形工艺的选择。本书运用了大量的图片与表格, 各章末针对每章内容进行了总结, 并附有适量的思考与练习题, 以便阅读与学习。

本书可作为高等职业院校机械类和近机械类各专业的教材, 也可供相关技术工程人员参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

工程材料及成形工艺 / 任志新, 王斌, 刘德华主编

— 镇江: 江苏大学出版社, 2017. 1

ISBN 978-7-5684-0406-8

I. ①工… II. ①任… ②王… ③刘… III. ①工程材料—成型—生产工艺 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 018230 号

工程材料及成形工艺

Gongcheng Cailiao Ji Chengxing Gongyi

主 编 / 任志新 王 斌 刘德华

责任编辑 / 常 钰 孙文婷

出版发行 / 江苏大学出版社

地 址 / 江苏省镇江市梦溪园巷 30 号 (邮编: 212003)

电 话 / 0511-84446464 (传真)

网 址 / <http://press.ujs.edu.cn>

排 版 / 北京金企鹅文化发展中心

印 刷 / 北京谊兴印刷有限公司

开 本 / 787 mm × 1 092 mm 1/16

印 张 / 15.25

字 数 / 352 千字

版 次 / 2017 年 1 月第 1 版 2017 年 1 月第 1 次印刷

书 号 / ISBN 978-7-5684-0406-8

定 价 / 38.00 元

如有印装质量问题请与本社营销部联系 (电话: 0511-84440882)

前 言

本书是根据高职院校教学改革方针，为培养高职机械专业领域技能型人才而编写的。本书紧密结合机械相关行业的岗位实际，符合高等职业学校课程改革和教材建设的需要，可更好地为高等职业学校深化教学改革服务。

本书具有以下特色：

（1）与实际相结合，学以致用

本书根据当前实际，对工程材料与成形工艺进行了调查，并参考了大量的相关教材和资料，以机械相关行业工作岗位所需的知识和技能为出发点，与岗位实际相结合，基于工作过程整合知识和技能，力求让学生能够学以致用。

（2）概念清晰，内容连贯

本书力求简明扼要、浅显实用、概念清晰、内容连贯，使理论知识、实践技能与实际应用紧密结合，保证学习内容的连贯性。

（3）实用为主，够用为度

本书秉承“实用为主，够用为度”的原则，在内容的选取上具有针对性，注重实践经验与教训，以就业为导向，以能力为本位，面向社会，体现职业教育的特色，更贴合企业的作业内容。

本书可作为高等职业院校机械类及近机械类专业的专用教材，也可供相关技术工程人员参考。

本书由任志新、王斌、刘德华担任主编，杨朝举、马铭均、吕芳、刘芦军、段斌、黄林雄、梁强、张冬梅、丁欢、刘勇兰、戚航、艾亮、刘芳、陈俊庆、金春风、刘欢、肖剑、史诺、曾军华担任副主编。

尽管我们在编写本书时已竭尽全力，但书中仍会存在这样或那样的问题，欢迎读者批评指正。

另外，如果读者在学习中有什么疑问，可以登录我们的网站（<http://www.bjjqe.com>）寻求帮助，我们将会及时解答。

编 者

2017年1月

目 录

绪论	1
0.1 材料及成形技术的历史	1
0.2 工程材料的分类及应用	1
0.3 课程的目的、内容和学习要求	2
第1章 工程材料的性能	3
1.1 材料的力学性能	3
1.1.1 强度和塑性	3
1.1.2 硬度	7
1.1.3 韧性	10
1.1.4 疲劳强度	11
1.2 材料的物理性能和化学性能	12
1.2.1 材料的物理性能	12
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 焊接性能	15
1.3.4 切削加工性能	15
1.3.5 热处理工艺性能	15
知识框架梳理	15
思考与练习	16
第2章 工程材料的结构	18
2.1 材料的结合方式	18
2.1.1 结合键	18
2.1.2 晶体与非晶体	19
2.2 金属的晶体结构	19
2.2.1 晶体结构的基本概念	19

2.2.2 典型的金属晶体结构	20
2.2.3 实际的金属晶体结构	22
2.3 合金的晶体结构	24
2.3.1 合金的基本概念	25
2.3.2 合金的相结构	25
2.4 陶瓷材料的结构	27
2.4.1 晶体相	27
2.4.2 玻璃相	27
2.4.3 气相	27
2.5 高分子材料的结构	27
2.5.1 高分子链结构	28
2.5.2 聚集态结构	28
知识框架梳理	29
思考与练习	30
第3章 金属材料的结晶	32
3.1 纯金属的结晶	32
3.1.1 结晶的条件	32
3.1.2 结晶的过程	33
3.1.3 结晶后晶粒的大小及控制	34
3.2 金属的同素异构转变	35
3.3 铁碳合金的结晶	36
3.3.1 合金相图及相图的建立	36
3.3.2 铁碳合金的组元及其中的相	37
3.3.3 Fe-Fe ₃ C 相图分析	38
3.3.4 铁碳合金的结晶过程	40
3.3.5 铁碳合金成分、组织和性能之间的关系	46
3.3.6 铁碳合金相图的应用	47
知识框架梳理	48
思考与练习	49
第4章 钢的热处理	51
4.1 概述	51
4.2 钢在加热和冷却时的组织转变	53
4.2.1 钢在加热时的组织转变	53
4.2.2 钢在冷却时的组织转变	54

4.3 钢的整体热处理	60
4.3.1 钢的退火	60
4.3.2 钢的正火	62
4.3.3 钢的淬火	63
4.3.4 钢的回火	66
4.4 钢的表面热处理	67
4.4.1 表面淬火	67
4.4.2 化学热处理	69
4.5 热处理新技术简介	71
4.5.1 形变热处理	71
4.5.2 真空热处理	72
4.5.3 可控气氛热处理	72
4.6 热处理工艺的应用	72
4.6.1 热处理技术条件的标注	72
4.6.2 热处理工序位置的安排	74
4.6.3 热处理零件的结构工艺性	75
4.7 金属材料的表面处理技术	77
4.7.1 气相沉积技术	77
4.7.2 热喷涂技术	77
4.7.3 化学转化膜技术	78
知识框架梳理	78
思考与练习	80
第5章 工业用钢	82
5.1 钢的分类与牌号	82
5.1.1 钢的分类	82
5.1.2 钢铁材料编号的表示方法	83
5.1.3 钢铁牌号统一数字代号体系	84
5.2 钢中的常存杂质与合金元素	85
5.2.1 常存杂质元素对钢性能的影响	85
5.2.2 合金元素对钢性能的影响	86
5.3 非合金钢	89
5.3.1 碳素结构钢	89
5.3.2 优质碳素结构钢	91
5.3.3 碳素工具钢	92

5.3.4 铸钢	92
5.4 低合金钢	94
5.5 合金钢	94
5.5.1 合金结构钢	96
5.5.2 合金工具钢	103
5.5.3 特殊性能钢	109
知识框架梳理	113
思考与练习	114
第6章 铸铁	115
6.1 概述	115
6.1.1 铸铁的分类	115
6.1.2 铸铁的石墨化及其影响因素	116
6.2 常用铸铁	116
6.2.1 灰铸铁	116
6.2.2 球墨铸铁	119
6.2.3 可锻铸铁	121
6.2.4 蠕墨铸铁	123
6.3 合金铸铁	124
6.3.1 耐磨铸铁	124
6.3.2 耐热铸铁	125
6.3.3 耐蚀铸铁	125
知识框架梳理	125
思考与练习	126
第7章 有色金属及其合金	128
7.1 铝及铝合金	128
7.1.1 工业纯铝	128
7.1.2 铝合金	129
7.2 铜及铜合金	134
7.2.1 工业纯铜	134
7.2.2 铜合金	135
7.3 轴承合金	140
7.3.1 轴承合金的性能要求及组织特点	140
7.3.2 常用轴承合金	141
知识框架梳理	142

思考与练习	142
第 8 章 非金属材料与新型材料	144
8.1 高分子材料	144
8.1.1 工程塑料	144
8.1.2 合成橡胶	147
8.2 陶瓷材料	149
8.2.1 陶瓷材料的分类	149
8.2.2 陶瓷材料的性能特点	149
8.2.3 常用工业陶瓷	149
8.3 复合材料	150
8.3.1 复合材料的分类	151
8.3.2 复合材料的性能特点	151
8.3.3 常用复合材料	152
8.4 新型材料简介	154
8.4.1 纳米材料	154
8.4.2 形状记忆材料	155
8.4.3 储氢材料	156
8.4.4 超导材料	156
8.4.5 非晶态合金	156
知识框架梳理	157
思考与练习	158
第 9 章 铸造成形	159
9.1 铸造成形基础	159
9.1.1 铸造、铸件与铸造工艺的特点	159
9.1.2 合金的铸造性能	160
9.2 常用的铸造方法	161
9.2.1 砂型铸造	161
9.2.2 特种铸造	167
9.2.3 铸造新技术简介	168
9.3 铸件的结构工艺性	169
9.3.1 铸件性能对铸件结构的要求	169
9.3.2 铸造工艺对铸件结构的要求	171
9.3.3 不同铸造方法对铸件结构的要求	171

9.4 铸件质量与成本分析	172
9.4.1 铸件的主要缺陷及其产生原因	172
9.4.2 铸件成本分析	174
知识框架梳理	175
思考与练习	175
第 10 章 锻压成形	176
10.1 锻压成形基础	176
10.1.1 锻压的基本生产方式	177
10.1.2 金属的锻造性能	179
10.1.3 坯料的加热与锻件的冷却	181
10.2 常用的锻压成形方法	181
10.2.1 自由锻	181
10.2.2 模锻	185
10.2.3 冲压	188
10.2.4 锻压新技术简介	189
10.3 锻件的结构工艺性	189
10.3.1 锻造性能对锻件结构的要求	189
10.3.2 不同锻压方法对锻件结构的要求	189
10.4 锻件质量与成本分析	191
10.4.1 锻件质量分析	191
10.4.2 锻件成本分析	192
知识框架梳理	193
思考与练习	193
第 11 章 焊接与胶接成形	195
11.1 焊接成形基础	195
11.1.1 焊接的分类与特点	195
11.1.2 焊接接头的组织和性能	197
11.2 常用的焊接方法	199
11.2.1 焊条电弧焊	199
11.2.2 埋弧焊	201
11.2.3 气焊	202
11.2.4 气体保护焊	202
11.2.5 电渣焊	203
11.2.6 电阻焊	204

11.2.7 钎焊	205
11.3 焊接的结构工艺性	205
11.3.1 焊接结构材料的选择	205
11.3.2 焊接方法的选择	206
11.3.3 焊接接头的选择	208
11.3.4 焊缝的布置	209
11.3.5 焊接的质量检验	212
11.4 焊接与切割新技术简介	212
11.4.1 等离子弧焊和切割	212
11.4.2 激光焊与切割	213
11.4.3 超声波焊接	213
11.4.4 扩散焊	213
11.4.5 水切割	213
11.5 胶接成形	214
11.5.1 胶接的特点	214
11.5.2 胶接工艺	214
11.5.3 胶接新技术简介	215
知识框架梳理	216
思考与练习	216
第 12 章 材料及成形工艺的选择	217
12.1 零件的失效	217
12.1.1 零件的失效形式	217
12.1.2 零件的失效原因	218
12.1.3 零件的失效分析	219
12.2 材料及成形工艺选择原则	219
12.2.1 使用性原则	219
12.2.2 工艺性原则	220
12.2.3 经济性原则	220
12.3 材料及成形工艺选择方法	221
12.3.1 材料及成形工艺选择的步骤	221
12.3.2 材料及成形工艺选择的方法及依据	221
12.4 典型零件的材料及工艺选择	223
12.4.1 轴类零件的材料及工艺选择	223
12.4.2 齿轮类零件的材料及工艺选择	225

12.4.3	手用丝锥的材料及工艺选择	226
12.4.4	箱体类零件的材料及工艺选择	226
	知识框架梳理	227
	思考与练习	227
	参考文献	229
第10章	锻压成形	229
10.1	锻压成形基础	229
10.1.1	锻压的基本生产方式	229
10.1.2	金属的锻造性能	230
10.1.3	坯料的加热与锻件退火	231
10.2	常用的锻压成形方法	231
10.2.1	自由锻	231
10.2.2	模锻	231
10.2.3	冲压	233
10.2.4	锻压新技术简介	239
10.3	锻件的结构工艺性	239
10.3.1	锻造性能对锻件结构的要求	239
10.3.2	不同锻压方法对锻件结构的要求	240
10.4	锻件质量与成本分析	241
10.4.1	锻件质量分析	241
10.4.2	锻件成本分析	242
	知识框架梳理	243
	思考与练习	243
第11章	焊接与胶接成形	243
11.1	焊接成形原理	243
11.1.1	焊缝的分类与特点	243
11.1.2	焊接接头的组织和性能	244
11.2	常用的焊接方法	244
11.2.1	焊条电弧焊	244
11.2.2	埋弧焊	244
11.2.3	气焊	242
11.2.4	气体保护焊	244
11.2.5	电渣焊	243
11.2.6	束流焊	244

绪论

0.1 材料及成形技术的历史

材料及成形技术来源于人类的生产实践，具有悠久的发展历史，对人类文明进步起到推进作用。从日常生活中的日用品到运用高科技的高新产品，从简单的手工制品到复杂的精密零件都离不开材料及成形技术。

早在石器时代，人类的先祖就以石器为主要工具。公元前 6000 年到公元前 5000 年，我们的先人就可以使用黏土烧制陶器。而到了 4000 年前的夏朝，我们的祖先已经能够炼铜，到殷商时期，中国的青铜冶炼技术和铸造技术已达到极高水平。

18 世纪欧洲工业革命后，随着人们对材料的要求越来越高，材料及成形技术也进一步发展。1863 年，光学显微镜的应用使人们对材料的认识从宏观转向微观。而到了 1932 年，电子显微镜的发明使人们对微观的认识更深一步。

到了 20 世纪 70 年代，人们把材料、能源与信息列为现代文明三大支柱。



0.2 工程材料的分类及应用

工程材料是指工程制造时所用的材料，主要包括金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类。

金属材料具有良好的导电性、导热性、延展性和金属光泽，是目前用量最大、用途最广泛的工程材料。其中钢铁材料在 2014 年的年产量已达 14 亿吨，占机械用材总量的 60% 以上。

非金属材料种类繁多，而特点各不相同，主要包括塑料、橡胶和纤维等，在传统工业和新兴工业中均有广泛应用。



复合材料具有密度低、弹性好和强度高特点，主要用于电子信息、航天航空等新兴产业。例如，航天飞机作为人类高等技术的结晶，应用了成千上万种材料，其中就包括了大量的复合材料。

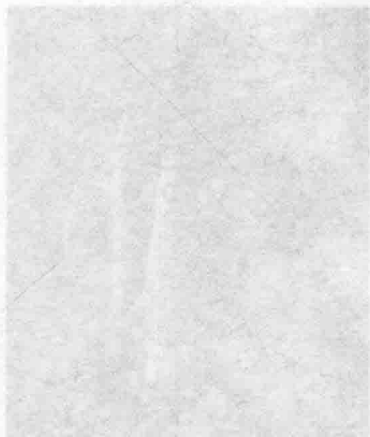
0.3 课程的目的、内容和学习要求

随着经济的发展和科学的进步，人们对材料及成形工艺的要求越来越苛刻。技术人员需要掌握相关的工程材料知识、材料的化学成分与组织结构等，了解材料的应用范围与加工工艺，初步具备合理选用材料和合理安排加工工艺的能力。

本书的主要内容包括：

- ① 工程材料基础知识（第1章～第4章）；
- ② 各种工程材料的特点与应用（第5章～第8章）；
- ③ 工程材料的成形工艺（第9章～第11章）；
- ④ 零件的失效与选材（第12章）。

机械材料及成形工艺是一门综合性的基础课程，具有综合性强的特点，基础概念多，与实际联系密切，是一门集理论教学、实习和试验为一体的课程。因此，在学习本课程时应注重与生产实际相结合，同时要注意分析与理解。



第 1 章

工程材料的性能

【本章导读】

要正确、合理地选择和使用工程材料,必须首先了解其性能。工程材料的性能主要包括使用性能和工艺性能。使用性能是指工程材料在使用过程中所表现出来的性能,主要包括力学性能、物理性能和化学性能;工艺性能是指金属材料在加工过程中所表现出来的性能,主要包括铸造、锻造、焊接、切削加工和热处理性能。机械行业选用材料时,其力学性能是重要参考依据之一。

【学习目标】

- ◆ 掌握工程材料主要力学性能的概念及其指标。
- ◆ 掌握工程材料的物理性能和化学性能。
- ◆ 掌握工程材料的工艺性能。

1.1 材料的力学性能

材料的力学性能是指材料在承受外加载荷时所表现出来的性能,包括强度、塑性、硬度、韧性及疲劳强度等。

1.1.1 强度和塑性

材料的强度和塑性常用拉伸试验来测定。GB/T 228.1—2010《金属材料 拉伸试验 第 1 部分:室温试验方法》中规定了拉伸试验的方法和拉伸试样的制作标准。

试验前,将金属材料制成一定形状和尺寸的标准拉伸试样,如图 1-1 所示。图中, L_0 为原始标距, d_0 为圆形横截面试样的原始直径, S_0 为原始横截面积, L_u 为断后标距, d_u 为圆形横截面试样断裂后缩颈处最小直径, S_u 为断后最小横截面积。

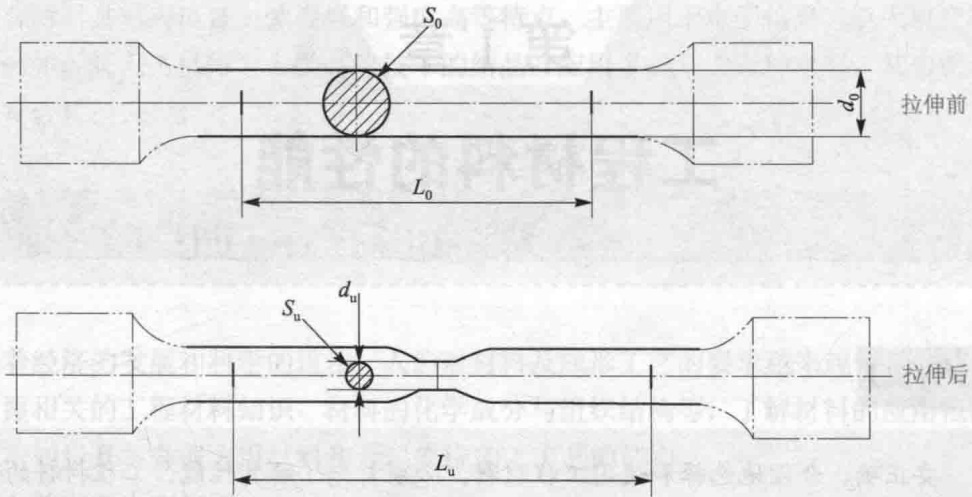


图 1-1 圆形标准拉伸试样

试验时，将标准试样装夹在拉伸试验机上，缓慢进行拉伸。随着拉伸力的不断增加，试样将发生变形直至断裂。这样，便得到了试样应变 e 随应力 R 变化的关系曲线，称为应力-应变曲线。其中， e 为试样原始标距的伸长与原始标距之比的百分率， R 为拉伸力与试样的原始横截面积之比。

如图 1-2 所示为低碳钢的应力-应变曲线图。可以看出，低碳钢试样的拉伸过程可以分为以下几个阶段。

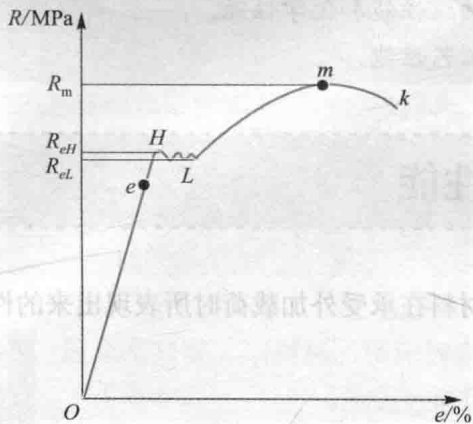


图 1-2 低碳钢的应力-应变曲线图

① Oe 段——弹性变形阶段。在此阶段，应力与应变呈正比关系，去掉试验力后，试样能完全恢复到原来的形状和尺寸。

② eL 段——屈服阶段。在点 e 之后，试样产生不能完全恢复的永久变形，即塑性变形。当应力增大到 R_{eH} 时，应力保持不变而试样的变形量却继续增加，这种现象称为屈服。此时，在拉伸曲线上出现水平或锯齿形线段。

③ Lm 段——均匀塑性变形阶段。在此阶段，应变随应力的增加而增加，表明试样恢复了抵抗拉伸的能力。

④ mk 段——缩颈阶段。在点 m 之后，试样开始发生局部收缩，称为缩颈。此时，变形所需的拉伸力逐渐降低。当变形达到点 k 时，试样在缩颈处断裂。

1. 强度

强度是指材料抵抗塑性变形和断裂的能力。主要的强度指标有屈服强度和抗拉强度等。

1) 屈服强度

屈服强度是指金属材料呈现屈服现象时所对应的应力。屈服强度应区分为上屈服强度 R_{eH} 和下屈服强度 R_{eL} ，一般用下屈服强度作为衡量指标，其计算公式为

$$R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0} \quad (1-1)$$

式中： F_{eL} ——试样产生屈服时的拉伸力，N。

有些材料（如铸铁、高碳钢等）没有明显的屈服现象，很难测出屈服强度数值，可用规定塑性延伸强度 R_p 来表示。规定塑性延伸强度是指塑性延伸率等于规定的引伸标距百分率时对应的应力。使用 R_p 时，应附下脚标说明所规定的塑性延伸率。例如， $R_{p0.2}$ 表示规定塑性延伸率为 0.2% 时的应力。

屈服强度和规定塑性延伸强度是大多数机械零件设计计算时的主要依据之一，同时也是评定材料质量的重要指标。

2) 抗拉强度

抗拉强度是指材料在拉断前所能承受的最大应力，用 R_m 表示，其计算公式为

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad (1-2)$$

式中： F_m ——试样能承受的最大拉力，N。

当拉应力超过 R_m 时，材料就会发生断裂。因此，抗拉强度也是设计和选材的重要指标之一。

脆性材料在拉伸过程中几乎不发生塑性变形，故脆性材料没有屈服强度指标，只有抗拉强度指标。

2. 塑性

塑性是指材料在外力作用下产生塑性变形而不被破坏的能力。常用的塑性指标有断后伸长率和断面收缩率。

1) 断后伸长率

试样断裂后标距的残余伸长量 ($L_u - L_0$) 与原始标距 (L_0) 之比的百分率称为断后伸长率，用 A 表示，其计算公式为