

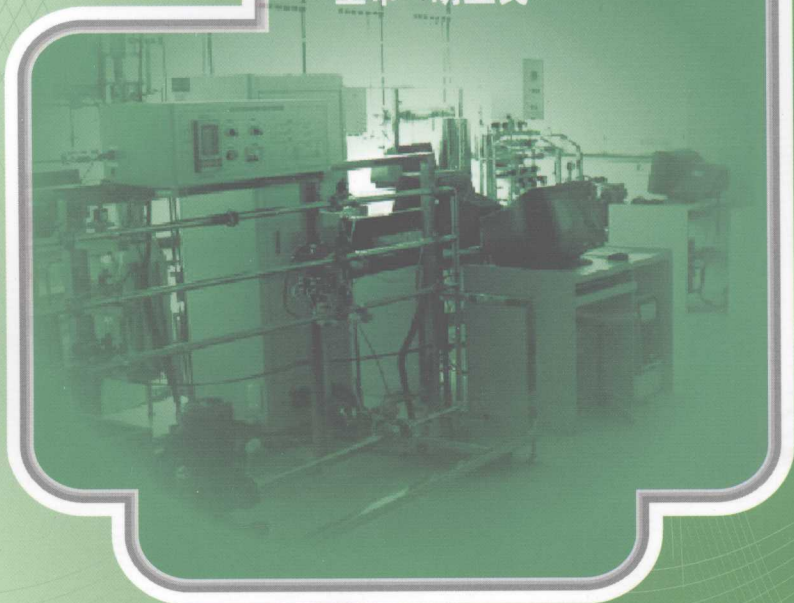


全国本科院校机械类**创新型**应用人才培养规划教材

# 工程材料

## 及其成形技术基础

主编 申荣华 丁旭  
主审 胡亚民



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

TB3  
174  
12

内容简介

## 全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材

# 工程材料及其成形技术基础

主 编 申 荣 华 丁 旭  
副 主 编 陈 之 奇 彭 合 宜  
参 编 姜 云 张 琳 娜  
主 审 胡 亚 民

工程材料及其成形技术基础

主编：申荣华、丁旭

责任编辑：董红霞

封面设计：1110·0111

出版：北京理工大学出版社

地址：北京市海淀区成府路203号 100871

网址：<http://www.bjup.cn> <http://www.bjup.com>

电话：编辑部 62752016 发行部 62752072 编辑部 62752067 出版部 62754982

电子邮箱：[bjup@bjup.com](mailto:bjup@bjup.com)

印刷：三河市新世纪印务有限公司

发行：北京理工大学出版社

经销：新华书店

787毫米×1092毫米 1/32开本 18印张 628千字

2008年8月第1版 2008年8月第1次印刷

定价：42.00元



北京大學出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

未经许可，不得转载

侵权必究

举报电话：010-62752024

## 内 容 简 介

本书是依据“工程材料及其成形技术基础”课程教学大纲和教学基本要求而编写的。本书中对工程材料和材料成形技术作了系统、全面的阐述。全书共分两篇 12 章, 主要内容包括金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料的分类、成分、组织及性能特征, 材料的改性原理及方法, 工程设计中构件的选材及其制造加工工艺路线安排, 毛坯或零件的各类成形原理, 材料的成形工艺性能、成形工艺过程及成形技术的特点和应用等。

与本书配套的《工程材料及其成形技术基础学习指导与习题详解》也由北京大学出版社出版。

本书可作为高等院校机械工程类各专业的教材, 也可供有关工程技术人员学习、参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程材料及其成形技术基础/申荣华, 丁旭主编. —北京: 北京大学出版社, 2008. 8  
(全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-13916-5

I. 工… II. ①申…②丁… III. 工程材料—成形—高等学校—教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 082245 号

书 名: 工程材料及其成形技术基础

著作责任者: 申荣华 丁旭 主编

责任编辑: 童君鑫

标准书号: ISBN 978-7-301-13916-5/TH·0111

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: [pup\\_6@163.com](mailto:pup_6@163.com)

印 刷 者: 三河市新世纪印务有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 28 印张 658 千字

2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 45.00 元

---

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: [fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)





本书在编写过程中,编者参阅了部分国内外相关教材、专著及论文,在此一并向文献作者致以深切的谢意!另外,要特别感谢贵州大学教务处对本书出版的大力支持!

本书建议授课时 50~59,实验 4 学时,各章参考教学学时见下表。

章 次	建议学时	章 次	建议学时
绪论	1	第 7 章 金属材料的液态成形技术	6~7
第 1 章 零部件对材料性能的要求	2	第 8 章 金属固态塑性成形技术	6~7
第 2 章 材料的内部结构、组织与性能	6~7	第 9 章 粉末压制和常用复合材料成形简介	2~3
第 3 章 改变材料性能的主要途径	7~8	第 10 章 固态材料的连接成形技术	6~7
第 4 章 常用金属材料	5~6	第 11 章 有机高分子材料的成形技术	2~3
第 5 章 非金属材料及新型工程材料	3~4	第 12 章 材料成形技术方案拟定、产品检验及再制造技术	2
第 6 章 工程设计制造中的材料选择	2		

鉴于编者学识有限,书中难免有不足和欠妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2008 年 3 月于贵阳

## 北京大学出版社机械类实用规划教材书目

序号	书 名	标准书号	主 编	定价	出版日期
1	机电工程专业英语	ISBN 7-301-10596-7	赵运才, 何法江	24.00	2008.6第3次印刷
2	AutoCAD工程制图	ISBN 7-5038-4446-9	杨巧绒, 张克义	20.00	2007.8第3次印刷
3	工程制图	ISBN 7-5038-4442-6	戴立玲, 杨世平	27.00	2007.8第2次印刷
4	工程制图习题集	ISBN 7-5038-4443-4	杨世平, 戴立玲	20.00	2008.1第2次印刷
5	机械制造基础(上)—— 工程材料及热加工工艺基础	ISBN 7-5038-4435-3	侯书林, 朱海	29.00	2008.6第3次印刷
6	机械制造基础(下)—— 机械加工工艺基础	ISBN 7-5038-4436-1	侯书林, 朱海	22.00	2007.7第2次印刷
7	金工实习	ISBN 7-5038-4440-X	郭永环, 姜银方	24.00	2008.2第4次印刷
8	机械设计	ISBN 7-5038-4448-5	郑江, 许瑛	33.00	2007.8第2次印刷
9	机械设计基础	ISBN 7-5038-4444-2	曲玉峰, 关晓平	27.00	2008.1第2次印刷
10	机床电气控制技术	ISBN 7-5038-4433-7	张万奎	26.00	2007.9第2次印刷
11	机床数控技术	ISBN 7-5038-4434-5	杜国臣, 王士军	31.00	2007.8第2次印刷
12	Pro/ENGINEER Wildfire 2.0 实用教程	ISBN 7-5038-4437-X	黄卫东, 任国栋	32.00	2007.7第2次印刷
13	数控加工技术	ISBN 7-5038-4450-7	王彪, 张兰	29.00	2008.2第2次印刷
14	计算机辅助设计与制造	ISBN 7-5038-4439-6	仲梁维, 张国全	29.00	2007.9第2次印刷
15	液压传动	ISBN 7-5038-4441-8	王守城, 容一鸣	27.00	2007.7第2次印刷
16	互换性与测量技术基础	ISBN 7-5038-4473-6	韩进宏, 王长春	25.00	2007.7第2次印刷
17	金属切削原理与刀具	ISBN 7-5038-4447-7	陈锡渠, 彭晓南	29.00	2008.1第2次印刷
18	可编程控制器原理与应用	ISBN 7-5038-4438-8	赵燕, 周新建	29.00	2008.1第2次印刷
19	汽车电子控制技术	ISBN 7-5038-4432-9	凌永成, 于京诺	32.00	2007.7第2次印刷
20	汽车构造	ISBN 7-5038-4445-0	肖生发, 赵树朋	44.00	2007.8第2次印刷
21	金属学与热处理	ISBN 7-5038-4451-5	朱兴元, 刘忆	24.00	2007.7第2次印刷
22	锻造工艺过程及模具设计	ISBN 7-5038-4453-1	胡亚民, 华林	30.00	2008.6第2次印刷
23	冲压工艺与模具设计	ISBN 7-5038-4449-3	牟林, 胡建华	32.00	2007.8第2次印刷
24	机械工程材料	ISBN 7-5038-4452-3	戈晓岚, 洪琢	29.00	2008.2第2次印刷
25	产品造型计算机辅助设计	ISBN 7-5038-4474-4	张慧姝, 刘永翔	27.00	2006.8
26	测试技术基础	ISBN 978-7-301-11486-5	江征风	26.00	2008.1第2次印刷
27	设计心理学	ISBN 978-7-301-11567-1	张成忠	48.00	2008.6第2次印刷
28	工程力学(上册)	ISBN 978-7-301-11487-2	毕勤胜, 李纪刚	29.00	2008.6第2次印刷
29	工程力学(下册)	ISBN 978-7-301-11565-7	毕勤胜, 李纪刚	28.00	2008.6第2次印刷
30	机械原理	ISBN 978-7-301-11488-9	常治斌, 张京辉	29.00	2008.6第2次印刷
31	理论力学	ISBN 978-7-301-12170-2	盛冬发, 闫小青	29.00	2007.8
32	控制工程基础	ISBN 978-7-301-12169-6	杨振中, 韩致信	29.00	2007.8
33	机械制图(机类)	ISBN 978-7-301-12171-9	张绍群, 孙晓娟	32.00	2007.8
34	机械制图习题集(机类)	ISBN 978-7-301-12172-6	张绍群, 王慧敏	29.00	2007.8
35	汽车发动机原理	ISBN 978-7-301-12168-9	韩同群	32.00	2007.8
36	汽车电气设备	ISBN 978-7-301-12025-5	凌永成, 谢在玉	27.00	2007.8

(续)

序号	书 名	标准书号	主 编	定价	出版日期
37	精密与特种加工技术	ISBN 978-7-301-12167-2	袁根福, 祝锡晶	29.00	2007.8
38	机械工程控制基础	ISBN 978-7-301-12354-6	韩致信	25.00	2008.1
39	产品设计原理	ISBN 978-7-301-12355-3	刘美华	30.00	2008.2
40	汽车电气设备实验与实习	ISBN 978-7-301-12356-0	谢在玉	29.00	2008.2
41	机械设计课程设计指南	ISBN 978-7-301-12357-7	许瑛	29.00	2008.8
42	Pro/ENGINEER Wildfire 3.0 实例教程	ISBN 978-7-301-12359-1	张选民	45.00	2008.2
43	机械创新设计	ISBN 978-7-301-12403-1	丛晓霞	32.00	2008.7
44	汽车试验测试技术	ISBN 978-7-301-12362-1	王丰元	26.00	2008.2
45	汽车试验学	ISBN 978-7-301-12358-4	赵立军, 白欣	28.00	2008.8
46	汽车检测与诊断技术	ISBN 978-7-301-12361-4	罗念宁, 张京明	30.00	2008.9
47	现代汽车系统控制技术	ISBN 978-7-301-12363-8	崔胜民	36.00	2008.1
48	汽车设计	ISBN 978-7-301-12369-0	刘涛	45.00	2008.1
49	汽车工程概论	ISBN 978-7-301-12364-5	张京明, 江浩斌	36.00	2008.6
50	工程流体力学	ISBN 978-7-301-12365-2	杨建国	30.00	2008.12
51	热工基础	ISBN 978-7-301-12399-7	于秋红	32.00	2008.9
52	内燃机构造	ISBN 978-7-301-12366-9	林波, 李兴虎	26.00	2008.8
53	汽车运用工程基础	ISBN 978-7-301-12367-6	姜立标, 张黎骅	32.00	2008.6
54	汽车制造工艺	ISBN 978-7-301-12368-3	赵桂范, 杨娜	30.00	2008.6
55	机械制图与 AutoCAD 基础 教程	ISBN 978-7-301-13122-0	张爱梅	35.00	2007.11
56	机械制图与 AutoCAD 基础教 程习题集	ISBN 978-7301-13120-6	鲁杰, 张爱梅	22.00	2007.12
57	材料成型设备控制基础	ISBN 978-7-301-13169-5	刘立君	34.00	2008.1
58	液压与气压传动	ISBN 978-7-301-13129-4	王守城, 容一鸣	32.00	2008.4
59	Pro/ENGINEER Wildfire 3.0 曲面设计实例教程	ISBN 978-7301-13182-4	张选民	45.00	2008.2
60	金属切削机床	ISBN 978-7-301-13180-0	夏广岚, 冯凭	32.00	2008.5
61	汽车运用基础	ISBN 978-7-301-13118-3	凌永成, 李雪飞	26.00	2008.1
62	汽车运行材料	ISBN 978-7-301-13583-9	凌永成, 李美华	30.00	2008.7
63	机械制造工艺学	ISBN 978-7-301-13758-1	郭艳玲, 李彦蓉	30(估)	2008.8
64	机械精度设计与测量技术	ISBN 978-7-301-13580-8	于峰	25.00	2008.8
65	汽车故障诊断与检测技术	ISBN 978-7-301-13634-8	刘占峰, 林丽华	34.00	2008.8
66	工程材料及其成形技术基础	ISBN 978-7-301-13916-5	申荣华, 丁旭	45.00	2008.8
67	测试技术实验教程	ISBN 978-7-301-13489-4	封士彩	22.00	2008.8
68	汽车维修技术与设备	ISBN 978-7-301-13914-1	凌永成, 赵海波	30.00	2008.7
69	材料成形 CAD/CAE/CAM 基础	ISBN 978-7-301-14106-9	余世浩, 朱春东	35.00	2008.8

电子书(PDF版)、电子课件和相关教学资源下载地址: <http://www.pup6.com/ebook.htm>, 欢迎下载。

欢迎免费索取样书, 请填写并通过 E-mail 提交教师调查表, 下载地址: <http://www.pup6.com/down/教师信息调查表 Excel 版.xls>, 欢迎订购。

联系方式: 010-62750667, [linzhangbo@126.com](mailto:linzhangbo@126.com), [guosj2008@163.com](mailto:guosj2008@163.com), [tjxin\\_0405@163.com](mailto:tjxin_0405@163.com), 欢迎来电来信。

欢迎访问立体化教材建设网址: <http://blog.pup6.com/>。

# 目 录

绪论 .....	1
第一篇 工程材料 .....	6
第 1 章 零部件对材料性能的要求 .....	6
1.1 零部件所受的各种负荷 .....	6
1.1.1 力学负荷 .....	6
1.1.2 热负荷 .....	7
1.1.3 环境介质的作用 .....	7
1.2 工程设计与加工工艺所需要的材料性能 .....	8
1.2.1 整机性能、零部件性能与材料性能 .....	8
1.2.2 工程材料的力学性能 .....	9
1.2.3 工程材料的理化性能 .....	17
1.2.4 工程材料的加工工艺性能 .....	19
1.3 工程材料的类型及主要特征 .....	20
1.3.1 工程材料的分类 .....	20
1.3.2 各类材料的特征 .....	21
习题 .....	22
第 2 章 材料的内部结构、组织与性能 .....	23
2.1 材料结构 .....	23
2.1.1 金属的结构 .....	23
2.1.2 有机高分子材料的结构 .....	30
2.1.3 陶瓷材料的结构 .....	32
2.2 晶体材料的相图与组织形成 .....	33
2.2.1 金属的凝固 .....	34
2.2.2 二元合金结晶相图 .....	36
2.2.3 铁-碳合金相图与铁碳合金 .....	42
2.3 材料的组织与性能 .....	48
2.3.1 金属材料的组织与性能 .....	49
2.3.2 陶瓷和高分子材料的组织与性能 .....	49

习题 .....	50
第 3 章 改变材料性能的主要途径 .....	52
3.1 金属的热处理 .....	52
3.1.1 钢在加热与冷却时的组织变化 .....	52
3.1.2 钢的整体热处理工艺 .....	59
3.1.3 钢的表面淬火与化学热处理 .....	68
3.2 金属的合金化改性 .....	71
3.2.1 合金元素的存在形式 .....	72
3.2.2 合金元素的作用 .....	72
3.3 金属的形变强化 .....	74
3.3.1 冷塑性变形对金属组织与性能的影响 .....	74
3.3.2 冷塑性变形金属在加热时组织与性能的变化 .....	77
3.3.3 金属的热变形 .....	78
3.4 液态金属结晶时的细晶强化方法 .....	80
3.4.1 金属的晶粒度与性能的关系 .....	80
3.4.2 液态金属结晶时的细晶方法 .....	80
3.5 有机高分子材料和陶瓷材料的改性简介 .....	81
3.5.1 高分子材料的改性 .....	81
3.5.2 陶瓷材料的增韧 .....	83
3.6 材料的表面改性技术简介 .....	84
3.6.1 高能束表面改性 .....	84
3.6.2 电镀及化学镀 .....	85
3.6.3 气相沉积技术 .....	85
3.6.4 热喷涂技术 .....	86
3.6.5 化学转化膜技术 .....	87
3.6.6 表面形变强化 .....	87
习题 .....	88



<b>第 4 章 常用金属材料</b> .....	89	5.3.2 复合材料的增强体 和基体 .....	160
4.1 工业用钢分类、牌号及常存杂质 .....	89	5.3.3 常用复合材料与应用 .....	162
4.1.1 钢的分类 .....	89	5.4 新型工程材料简介 .....	163
4.1.2 钢的牌号 .....	91	5.4.1 纳米材料 .....	163
4.1.3 钢中常存元素与杂质 .....	92	5.4.2 烧蚀耐热材料 .....	165
4.2 结构钢 .....	93	5.4.3 超硬材料 .....	166
4.2.1 碳素结构钢 .....	93	5.4.4 超塑性合金 .....	168
4.2.2 低合金高强度钢 .....	94	5.4.5 海绵金属和无声合金 .....	169
4.2.3 优质碳素结构钢 .....	95	5.4.6 非晶态合金 .....	171
4.2.4 合金结构钢 .....	96	5.4.7 隐身材料 .....	172
4.2.5 其他结构钢 .....	99	5.4.8 形状记忆合金 .....	173
4.3 工具钢及特种钢 .....	103	习题 .....	174
4.3.1 工具钢 .....	103	<b>第 6 章 工程设计制造中的 材料选择</b> .....	175
4.3.2 不锈钢 .....	111	6.1 零件的失效与失效类型 .....	175
4.3.3 耐热钢 .....	114	6.1.1 失效概念 .....	175
4.3.4 耐磨钢 .....	115	6.1.2 失效的形式与对策 .....	175
4.4 铸铁 .....	116	6.1.3 失效的原因 .....	177
4.4.1 铸铁的主要类型 .....	116	6.2 零件设计中的材料选择 .....	177
4.4.2 各类铸铁的特点 .....	117	6.2.1 选材三原则 .....	177
4.4.3 铸铁的热处理特点 .....	121	6.2.2 零件选材时应注意的 几个问题 .....	179
4.5 有色金属及其合金 .....	121	6.2.3 典型零件结构的选材 简介 .....	180
4.5.1 铝及其合金 .....	121	6.3 零件制造加工过程中的 热处理选择和安排 .....	187
4.5.2 铜及其合金 .....	126	6.3.1 热处理在工艺路线中的 位置 .....	187
4.5.3 其他有色金属材料简介 .....	129	6.3.2 钢铁普通热处理方案的 选择 .....	189
习题 .....	133	6.3.3 钢铁表面热处理方案的 选择 .....	190
<b>第 5 章 非金属材料及新型 工程材料</b> .....	135	6.3.4 有色金属热处理方案的 选择 .....	191
5.1 有机高分子材料 .....	135	6.3.5 零件热处理技术要求的 标注 .....	191
5.1.1 有机高分子材料的 性能特点 .....	135	6.4 热处理结构工艺性与零件 变形开裂倾向 .....	192
5.1.2 常用工程塑料与应用 .....	136	6.4.1 减少零件热处理变形 和防止开裂的方法 .....	192
5.1.3 合成纤维 .....	143		
5.1.4 合成橡胶 .....	145		
5.1.5 粘接剂及涂料 .....	147		
5.2 工程陶瓷 .....	153		
5.2.1 陶瓷材料的性能特点 .....	154		
5.2.2 常用工程结构陶瓷 .....	154		
5.2.3 金属陶瓷 .....	157		
5.3 复合材料 .....	159		
5.3.1 复合材料的性能特点 .....	160		

6.4.2 热处理结构工艺性 .....	194	<b>第9章 粉末压制和常用复合材料成形简介</b> .....	297
习题 .....	196	9.1 粉末压制成形 .....	297
<b>第二篇 材料成形技术基础</b> .....	198	9.1.1 金属粉末的制取及其特性 .....	297
<b>第7章 金属材料的液态成形技术</b> .....	198	9.1.2 粉末压制成形过程 .....	300
7.1 金属液态成形技术理论基础 .....	198	9.2 粉末压制产品及其应用 .....	304
7.1.1 金属液态成形原理及工艺流程 .....	198	9.3 粉末压制零件或制品的结构技术特征 .....	308
7.1.2 合金的铸造性能 .....	199	9.4 陶瓷制品成形过程简介 .....	310
7.2 常用液态成形技术(铸造工艺)方法 .....	208	9.5 常用复合材料成形过程简介 .....	311
7.2.1 砂型铸造 .....	208	9.5.1 纤维制取方法 .....	311
7.2.2 特种铸造 .....	221	9.5.2 纤维复合材料成形方法 .....	311
7.2.3 常用铸造技术方法的比较 .....	234	习题 .....	314
7.3 常用合金铸件生产 .....	235	<b>第10章 固态材料的连接成形技术</b> .....	315
7.3.1 铸铁件的生产 .....	236	10.1 焊接成形过程 .....	315
7.3.2 铸钢件的生产 .....	243	10.1.1 焊接成形过程特征和理论基础 .....	315
7.3.3 非铁合金铸件的生产 .....	245	10.1.2 金属常用焊接成形技术 .....	330
7.3.4 铸件的常见缺陷 .....	247	10.2 金属材料的焊接 .....	345
习题 .....	248	10.2.1 金属材料的焊接性 .....	345
<b>第8章 金属固态塑性成形技术</b> .....	250	10.2.2 常用金属材料的焊接 .....	346
8.1 金属固态塑性成形技术理论基础 .....	250	10.3 塑料的焊接 .....	350
8.1.1 金属固态塑性成形原理及工艺过程 .....	250	10.4 固态粘接成形过程 .....	352
8.1.2 金属固态塑性变形理论基础 .....	253	10.4.1 粘接剂 .....	352
8.2 常用金属固态塑性成形技术 .....	259	10.4.2 粘接成形技术 .....	354
8.2.1 自由锻造 .....	259	10.4.3 粘接品质检验及其特点与应用 .....	357
8.2.2 模型锻造 .....	267	习题 .....	358
8.2.3 胎模锻造 .....	277	<b>第11章 有机高分子材料的成形技术</b> .....	360
8.2.4 板料成形技术方法 .....	278	11.1 塑料制品的成形技术 .....	360
8.3 其他塑性成形技术简介 .....	289	11.1.1 塑料的成形性能 .....	361
8.3.1 挤压成形 .....	289	11.1.2 塑料制品成形技术方法 .....	364
8.3.2 辊轧成形 .....	291	11.1.3 塑料制品结构的技术特征 .....	392
8.3.3 超塑性成形 .....	293	11.2 橡胶制品的成形技术 .....	397
8.3.4 摆辗成形 .....	294		
习题 .....	295		

11.2.1 橡胶制品的成形性能 ... 397

11.2.2 橡胶制品的成形  
技术方法 ..... 398

习题 ..... 404

**第12章 材料成形技术方案拟定、产品  
检验及再制造技术** ..... 405

12.1 材料成形技术方案拟定的  
一般原则 ..... 405

12.1.1 选择材料与成形技术的  
关系 ..... 405

12.1.2 选择材料与成形技术的  
经济性与现实可能性 ... 405

12.1.3 材料成形技术的  
安全生产 ..... 406

12.2 材料成形方案的技术  
经济分析 ..... 407

12.3 成形件的品质检验 ..... 410

12.4 再制造技术 ..... 412

习题 ..... 413

**附录** ..... 414

附录1 常用钢材在水、油中的  
临界淬透直径 ..... 414

附录2 常用金属材料的相对价格 ..... 414

附录3 常用工程塑料的相对价格 ..... 415

附录4 常用热处理方法的相对  
加工费用 ..... 415

附录5 金属热处理工艺的分类及  
代号(GB/T 12603—1990) ... 416

附录6 本书涉及的部分(引进)  
新钢号对照表 ..... 419

附录7 工程材料及其成形技术  
基础常用词汇表 ..... 420

**参考文献** ..... 435

# 绪 论

## 1. 工程材料及其成形技术的地位

工程材料是人类生产和社会发展的重要物质基础，也是人们日常生活基本资源中不可分割的一个组成部分。人类最早使用的材料是石头、树枝、泥土、兽皮等天然材料；由于火的使用，人类发明了自然界没有的新材料——陶瓷器及其制作技术，其后又冶炼出青铜和铁以及发明出相应的制造加工技术，大大地推动了人类文明的进程。材料及其制作加工技术与人类的文明及发展密切相关，在人类文明史上还曾以材料作为划分时代的标志，如石器时代、青铜器时代、铁器时代等。由于材料对社会、经济、技术发展有巨大的影响，所以到了 20 世纪 60 年代，人们把材料、能源、信息并列称为现代技术和现代文明的三大支柱，70 年代又把新型材料、信息技术和生物技术列为新技术革命的主要标志，这都说明材料及相应技术的应用和发展与社会文明进步有着十分密切的关系。

人们用各种材料制作各种人们所需的物质产品的过程——制造加工，材料应用与材料成形技术是机械制造加工过程的重要组成部分。任何装备都是由许多零部件构成的，如一支普通的碳素笔由 9 个零件组装而成，而一部中型轿车约由 7 万个零件装配而成。材料只有经过各种制作加工，包括材料的成形、改性、连接等，最终形成产品，才能体现其功能和价值。

作为基础工业，机械制造业为各行各业提供所需的机械装备，而数不清的各种机械装备又都是由性能各异的工程材料经机械制造加工成各种零件并装配而成的。机械制造加工过程的总流程及阶段(准备、材料成形、加工处理、成品)或模块划分如图 0.1 所示。



图 0.1 机械制造业总流程

对不同的零件(产品)，则应选择相应的材料，采用与之相适宜的成形方法及加工过程，才能满足其性能和技术要求。制作加工技术的突破往往成为新产品能否问世、新技术能否产生的关键，故新材料、新工艺、新技术常常是相关联的。在现代生产中，整个机械

制造系统流程总是由信息流、能量流、物质流联系起来的, 这里的信息流主要是指计划、管理、设计、工艺等方面的信息; 能量流主要是指动力能源系统; 而物质流则主要指从原材料经过加工、制造、装配到成品的过程。可见材料及其制作加工在制造业中占有重要的位置。

材料的选择与成形工艺的采用是机械零件获得所需性能的重要保证。原材料本身的性质是使机械零件的使用性能达到设计要求的基本保证, 因此对于不同性能要求的零件(产品), 显然首要的问题是应选用不同的材料; 另外, 材料的成形技术是制造加工业的关键技术之一, 它不仅是使零件或毛坯获得一定形状和尺寸的制造加工方法, 也是最终使零件或毛坯获得具有一定内部组织和性能的重要途径。例如, 通过铸造成形的金属铸件, 其形状尺寸是否符合设计要求, 当然是由铸造成形工艺所决定的, 而金属铸件的性能除与所使用的合金类型、成分有关外, 在很大程度上也取决于铸造成形的工艺方法。又如通过塑变成形的金属制件, 通过粉末冶金成形的制品, 通过热塑性成形的高分子材料产品, 乃至焊接构件的局部组织和性能也是如此。因此, 材料的选用及成形工艺的选择也是保证产品质量的前提。

工程材料及其成形技术还与人类社会有密不可分的关系。工程材料及其加工技术的地位和作用, 早已超出了技术经济的范畴。高新技术的发展、资源和能源的有效利用、通信技术的进步、工业产品质量和环境保护的改善、人民生活水平的提高等都与材料及其加工密切相关。从材料的设计、制备、加工、检测, 到器件(零件、部件、装备)的制造、使用, 直到回收利用, 已经形成了一个巨大的社会循环。这一循环的概念提示了材料、能源和环境之间具有强烈的交互作用。这种作用之所以显得越来越重要, 是因为人类在关注经济发展的同时, 也不得不面对材料和能源等资源的短缺以及人类生存环境的破坏和恶化。因此, 把自然资源和人类需要、社会发展和人类生存联系在一起的材料及其制造加工循环, 必然要引起全社会的高度重视。

在材料的生产和使用以及成形加工技术方面, 中华民族在人类文明历史的进程中有过辉煌的成就, 为人类文明作出了巨大的贡献, 这是鼓舞我们不断进步和创造的永恒力量。

## 2. 工程材料与成形技术的发展

### 1) 先进工程材料及应用

新材料技术在信息、能源、军事等行业中的用途十分广泛, 有助于各类装备升级换代, 性能大大提高。目前, 世界范围内的新材料已有数万种, 并以每年 5% 的速率递增, 正向高功能化、超高性能化、复合轻量化和智能化的方向发展。

#### (1) 结构类材料。

材料不仅是满足装备乃至物件各种使用性能的载体, 而且新材料的使用、新工艺的选择, 还可以简化机构, 简化制造加工过程。结构类材料在各种装备的零部件及结构件制造中占主导地位。现代装备尤其是军事装备集中反映了先进结构材料的发展及应用情况。

例如具有超塑性的金属材料, 其塑性变形可达 100% 以上, 比一般金属材料一次最大变形仅百分之十几到百分之几十大得多, 用这种材料制作大变形量的零件可以一次形变完成。



先进的高温结构陶瓷具有很好的韧性、可塑性、耐磨性和抗冲击能力。与普通热燃气轮机相比,陶瓷热燃气轮机的质量可减轻30%,而功率则提高30%,节约燃料50%。

导弹弹体和卫星都要使用质量轻、强度高、刚度好、耐高温及弹性强的新型复合材料。如美国将火箭发动机金属壳体改用石墨纤维复合材料后其质量减轻了38000kg;而用碳铝复合材料制造卫星的波导管,不仅满足了轴向刚度、低膨胀系数和导电性能等方面的要求,而且使质量减轻了30%。将高密度钨合金与贫铀材料用于破甲弹制造,可以提高穿甲侵彻力等。

## (2) 功能材料。

功能材料是指可以利用声、光、电、磁、热、化及生化等效应,把能量从一种形式转变成另一种形式的材料。功能材料品种很多,如电子计算机的记忆元件、激光器的工作物质红宝石、声呐振荡器的压电陶瓷,以及超导材料、光学塑料、热电材料、光敏材料、反激光材料、防辐射与电子材料等。

例如形状记忆合金材料,由于它可以在温度变化的情况下恢复原有的形状,在设计人造卫星天线时采用的Ni-Ti形状记忆合金材料,在卫星发射前可将天线折叠起来,卫星升空后经太阳照射,天线可以自动打开,从而免去了一套繁琐的机构及自动开启装置。

现代隐形技术,除了外形设计上采用先进方法,进行热红外线和自身电磁隐形外,主要是使用新型吸收波材料,即在飞机表面涂覆能大量吸收雷达波的新型介质材料,将雷达电磁波吸收,使雷达无法发现。

功能材料在后勤装备中也得到广泛应用。20世纪80年代,美军开发的先进军用冬服材料,不仅比原冬服质量减少28%,保暖性提高20%,而且还进不去雨水,人体蒸发的汗却能顺利地排出。日本陆军研制的含有65%的芳族聚酰胺和35%的耐热处理棉纤维的混纺织物制成的新型迷彩作训服,在12s内能承受800℃高温,可大大减少战场烧伤事故的发生。

## 2) 先进成形技术的发展及应用

武器装备的设计、材料和制造技术三者相辅相成,互相促进,互相制约。新一代武器装备的研制总伴随着新材料、新结构和新工艺的重大突破。成形技术的发展,必将促进武器装备性能和结构的发展。

成形加工技术是先进制造技术的重要组成部分,是保证武器装备质量的基础技术。现代成形技术是集多种学科于一体的综合技术,是最能代表国家制造技术水平的重要方面。在现代装备研制中,材料成形技术的发展与应用主要表现在如下几个方面。

(1) 新的成形工艺方法发展迅速,如单晶空心叶片精铸、粉末高温合金涡轮盘超塑性锻造、搅拌摩擦焊接、喷射沉积成形和隔热涂层技术等。

(2) 大幅度减轻装备质量,降低制造成本。采用先进成形加工技术制造大型精密锻、铸件,采用先进焊接工艺制造的整体结构件,可减轻质量20%和降低成本30%左右,同时,还为设计人员提供了设计的灵活性。

(3) 常规成形加工技术逐步被现代技术改造。传统的锻、铸、焊、热及表面处理等工艺引进了计算机、真空和高能束等技术,被改造为高新技术。采用多向模锻、真空热处理、表面镀镉钛和喷丸以及挤压强化处理等先进工艺制造各类高要求零件。

(4) 组合或复合成形工艺得到应用,如超塑性成形/扩散连接、形变热处理技术以及

电弧与激光复合热源焊接等。

(5) 成形工艺过程的模拟技术发展迅速,如铸件凝固铸造过程的数值模拟、锻件和铸件缺陷形成及预测的数值模拟以及焊接热效应的数值模拟等。

(6) 成形加工技术与新结构、新材料并行发展,如摩擦焊接、热等静压和液相扩散焊等成形加工技术分别与整体涡轮转子、整体叶盘结构、大型夹芯结构风扇叶片及对开叶片等新结构并行发展;热等静压和超塑性锻造与粉末高温合金、液态金属快速冷却轧制与非晶态材料同步发展等。

成形技术是显著提高装备性能、大幅度减轻结构质量、降低制造成本、提高装备使用寿命及可靠性的关键技术,正沿着优质、高效、精密、大型、低污染的方向发展。为适应先进装备的发展,注重应用新材料和先进的成形技术具有重要意义。

### 3. 本课程的性质、任务和要求

工程材料及成形技术基础是机械类专业一门重要的技术基础课。

在机械工程领域里,作为一名工程技术人员,无论其工作性质是侧重于设计,还是制造、管理、运行、维护等,都必然要面对工程材料以及成形工艺的选择、使用等问题,因而工程材料及成形工艺的基本理论、基本专业知识是必不可少的。

就设计而言,在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用的材料及相应的加工方法。设计、选材、加工三者之间是有机关联的,不能单独简单处理,在设计时往往需要在预先确定的范围内将几种方案进行分析比较。对每一种零件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不是一成不变的,它又取决于材料的内部组织结构,凡能改变内部组织结构的加工和使用过程,也必然改变材料的性能。另外,所选用的材料及所使用的加工工艺方法应与零件具有的结构特征相适应。这样,零件结构的设计、材料的选用、加工工艺方法的选择就成了相互关联的综合性的技术问题,不能把它们割裂开来,孤立地一个个加以解决,更何况还有经济的、社会的因素。因而,工程材料及成形技术是机械设计的重要基础之一。

就制造加工而言,其过程常常是很复杂的,加工工序也是很多的,包括成形、连接、切削加工、特种加工、装配、检测、调试等,其间又可能穿插不同的整体强化、改性处理和表面改性处理等工序。合理选择不同的加工工艺方法并安排好工艺路线,是使产品最终达到技术经济指标要求的重要因素之一。其中,零件的成形工艺,包括金属铸造、材料的塑性加工、材料的焊接与粘接等是零件制造过程中最基本的,也是对材料性能影响最大的加工工艺。因而,工程材料及其成形技术在机械制造中占有重要的地位。

本课程的基本要求如下。

(1) 基本理论方面。掌握材料三要素(成分、结构、微观组织)与使用性能的关系;材料改性及表面强化工艺与材料成分、性能间的关系;材料成形原理与材料组织、性能间的关系。这些关系也可以简化为材料的成分、改性工艺及成形工艺对零件结构、微观组织、性能影响的规律。这些规律是制造、开发材料及确定改性与成形工艺的理论基础。

(2) 基本知识方面。包括下列5类问题:①各类工程材料的特点及选用,主要包括金属材料、工程陶瓷材料、高分子材料、复合材料;②材料改性工艺的过程及特点,主要是热处理工艺及表面改性工艺;③各种成形工艺过程及特点,包括液态成形技术、固态塑变成形技术、连接成形技术、颗粒态材料成形技术及高分子材料成形技术等,主要以金属材

料的铸造、塑性加工及焊接工艺为主；④零件或毛坯质量的控制，包括质量检验标准、检验项目及方法；⑤新材料的发展及现代改性与成形工艺的进展。

(3) 工程应用方面。熟悉各类工程材料的应用；各类成形工艺的应用；合理安排材料改性与成形工艺在工艺流程中的位置；熟悉材料及其加工中图样和技术条件的标注方法；了解各种成形零件的结构工艺性；了解材料质量检验方法与分析方法；具有对工程材料及改性与成形工艺的分析能力。

学完本课程后，将为后续课程——专业课程、生产实习、课程设计、毕业设计打下坚实的基础。

### 第1章 绪论

本章主要介绍工程材料的发展概况、工程材料的分类、工程材料的选择原则、工程材料的性能指标、工程材料的检验方法、工程材料的改性与成形工艺、工程材料的应用等。本章是后续课程的基础，也是工程技术人员必须具备的基本知识。

#### 第1.1节 绪论

工程材料的发展概况、工程材料的分类、工程材料的选择原则、工程材料的性能指标、工程材料的检验方法、工程材料的改性与成形工艺、工程材料的应用等。本章是后续课程的基础，也是工程技术人员必须具备的基本知识。

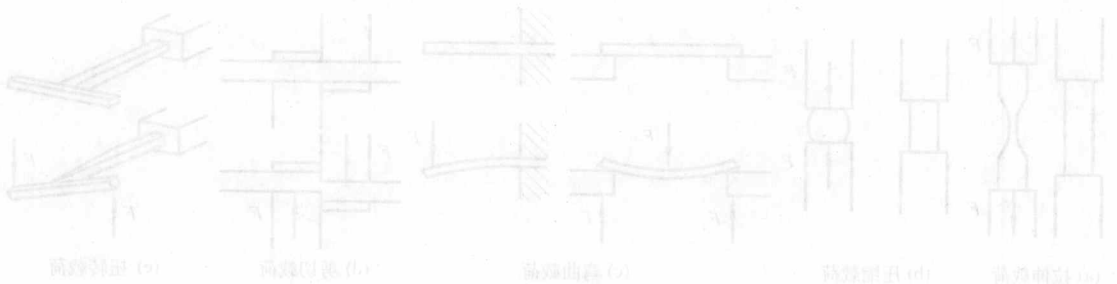


图 1.1 各种接头的基本形式

#### 第1.2节 绪论

本章主要介绍工程材料的发展概况、工程材料的分类、工程材料的选择原则、工程材料的性能指标、工程材料的检验方法、工程材料的改性与成形工艺、工程材料的应用等。本章是后续课程的基础，也是工程技术人员必须具备的基本知识。

# 第一篇 工程材料

## 第 1 章 零部件对材料性能的要求

### 1.1 零部件所受的各种负荷

工程构件与机械零件(以下简称构件或零件)在工作条件下可能受到力学负荷、热负荷或环境介质的作用,有时只受到一种负荷作用,更多的时候将受到两种或三种负荷的同时作用。在力学负荷作用条件下,零件将产生变形,甚至出现断裂;在热负荷作用下,将产生尺寸和体积的改变,并产生热应力,同时随温度的升高,零件的承载能力下降;环境介质的作用主要表现为环境对零件表面造成的化学腐蚀、电化学腐蚀及摩擦磨损等作用。

#### 1.1.1 力学负荷

按载荷随时间变化的情况,可把载荷分成静载荷和动载荷。若载荷缓慢地由零增加到某一定值以后保持不变或变动很不显著,即为静载荷。机器的重量对基础的作用便是静载荷。若载荷随时间而变化,则为动载荷。按其随时间变化的方式,动载荷又可分为交变载荷与冲击载荷。交变载荷是随时间作周期性变化的载荷,例如齿轮转动时作用于每一个齿上的力都是随时间按周期性变化的;冲击载荷则是物体的运动在瞬时内发生突然变化所引起的载荷,例如急刹车时飞轮的轮轴、锻造时汽锤的锤杆等都受到冲击载荷的作用。

作用在机械零件上的静载荷分为拉伸、压缩、弯曲、剪切和扭转几种基本形式,如图 1.1 所示。

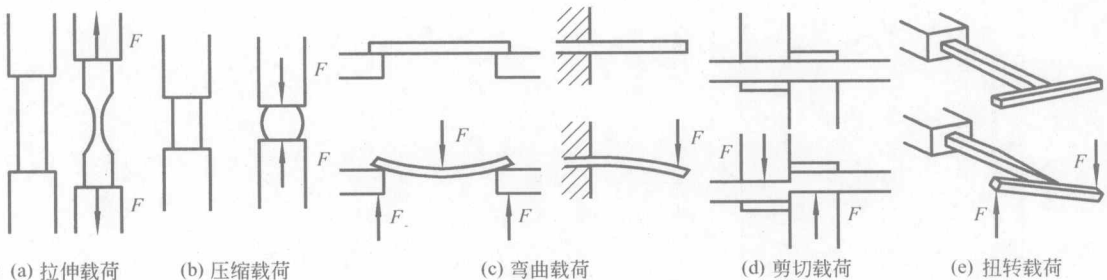


图 1.1 静载荷的基本形式

#### 1. 拉伸载荷和压缩载荷

拉伸载荷和压缩载荷是由大小相等、方向相反、作用线与杆件轴线重合的一对力引起