

应用型本科 机械类专业“十三五”规划教材

# 工程材料及成形 技术基础

主 编 杨 莉 郭国林  
副主编 戴 军 余小鲁 张华丽 张 宁

- 内容新颖：新知识、新技术、新工艺
- 特色鲜明：突出“应用、实践、创新”
- 定位准确：面向工程技术型人才培养
- 质量上乘：应用型本科专家全力打造



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>

应用型本科 机械类专业“十三五”规划教材

# 工程材料及成形技术基础

主 编 杨 莉 郭国林

副主编 戴 军 余小鲁 张华丽 张 宁

西安电子科技大学出版社

## 内 容 简 介

本书共三篇(包括十三章),第一篇介绍工程材料,第二篇介绍工程材料成形技术基础,第三篇介绍工程材料应用及成形工艺选择。本书主要面向应用型人才的培养,以培养学生使用和选择工程材料及成形工艺的能力为目的,保留了必要的理论基础并增加了新材料和新工艺等内容,通过对工程应用案例的分析,培养学生的工程素质,促进其理论联系实际的能力。

本书可作为应用型本科院校机械类及近机类专业的教材,也可作为独立学院、高职高专和成人教育等同类专业的教材,还可供有关工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程材料及成形技术基础/杨莉,郭国林主编.

—西安:西安电子科技大学出版社,2016.4

应用型本科机械类专业“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5606-3996-3

I. ①工… II. ①杨… ②郭… III. ①工程材料—成型—高等学校—教材  
IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 020881 号

策划编辑 高樱

责任编辑 马武装 曹锦

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱:xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2016年4月第1版 2016年4月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 19

字 数 447千字

印 数 1~3000册

定 价 38.00元

ISBN 978-7-5606-3996-3/TB

**XDUP 4288001 - 1**

\* \* \* \* \* 如有印装问题可调换 \* \* \* \* \*

# 应用型本科 机械类专业规划教材 编审专家委员名单

主任：张 杰(南京工程学院 机械工程学院 院长/教授)  
副主任：杨龙兴(江苏理工学院 机械工程学院 院长/教授)  
          张晓东(皖西学院 机电学院 院长/教授)  
          陈 南(三江学院 机械学院 院长/教授)  
          花国然(南通大学 机械工程学院 副院长/教授)  
          杨 莉(常熟理工学院 机械工程学院 副院长/教授)

成 员：(按姓氏拼音排列)

陈劲松(淮海工学院 机械学院 副院长/副教授)  
郭兰中(常熟理工学院 机械工程学院 院长/教授)  
高 荣(淮阴工学院 机械工程学院 副院长/教授)  
胡爱萍(常州大学 机械工程学院 副院长/教授)  
刘春节(常州工学院 机电工程学院 副院长/副教授)  
刘 平(上海第二工业大学 机电工程学院 教授)  
茅 健(上海工程技术大学 机械工程学院 副院长/副教授)  
唐友亮(宿迁学院 机电工程系 副主任/副教授)  
王荣林(南理工泰州科技学院 机械工程学院 副院长/副教授)  
王树臣(徐州工程学院 机电工程学院 副院长/教授)  
王书林(南京工程学院 汽车与轨道交通学院 副院长/副教授)  
吴懋亮(上海电力学院 能源与机械工程学院 副院长/副教授)  
吴 雁(上海应用技术学院 机械工程学院 副院长/副教授)  
许德章(安徽工程大学 机械与汽车工程学院 院长/教授)  
许泽银(合肥学院 机械工程系 主任/副教授)  
周 海(盐城工学院 机械工程学院 院长/教授)  
周扩建(金陵科技学院 机电工程学院 副院长/副教授)  
朱龙英(盐城工学院 汽车工程学院 院长/教授)  
朱协彬(安徽工程大学 机械与汽车工程学院 副院长/教授)

# 前 言

为了适应国家社会经济发展和应用型本科院校改革的需要,由西安电子科技大学出版社和部分应用型本科院校共同规划了“应用型本科机械类专业系列教材”,该系列教材是为日益壮大的应用型本科院校教学量身定做的新型教材,本书是该系列教材中的一种。

本书分为三篇共十三章,每章后面都附有一定量的习题与思考题。第一篇为工程材料,内容包括工程材料的分类与性能、材料的微观结构、二元合金相图、钢的热处理、工业用钢、铸铁、有色金属及其合金、常用非金属材料及新材料;第二篇为工程材料成形技术基础,内容包括铸造成形、金属塑性成形、焊接成形;第三篇为工程材料应用及成形工艺选择,内容包括机械零件失效分析与表面处理、材料与成形工艺的选择。通过对本书的学习,要求学生在掌握工程材料的基本理论及基础知识的基础上,根据机械零件的使用条件和性能要求,具备对结构零件进行合理选材及制定零件工艺路线的初步能力,为学习后续课程及从事机械设计和加工制造方面的工作奠定必要的基础。本书在编写过程中,体现了“应用、实践、创新”的教学宗旨,突出实用型的特点,力求理论联系实际,通过工程应用案例,培养学生的工程素质、实践能力和创新设计能力,以适应国家培养应用型高级技能人才的要求。

本书由常熟理工学院杨莉教授、郭国林副教授担任主编,戴军、余小鲁、张华丽、张宁担任副主编。具体编写分工为:绪论、第1、3章由常熟理工学院杨莉编写;第6、11章由常熟理工学院郭国林编写;第12、13章由常熟理工学院戴军编写;第2、10章由常熟理工学院张尧成编写;第4、9章由安徽工程大学余小鲁编写;第7、8章由徐州工程学院张宁编写,第5章由南通大学张华丽编写。本书的编写得到了许多兄弟院校的支持,编写过程中参考了大量的文献资料,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,时间紧迫,书中的疏漏在所难免,敬请读者批评指正。

编 者  
2015年10月

# 目 录

绪论 .....	1
----------	---

## 第一篇 工程材料

<b>第 1 章 工程材料的分类与性能</b> .....	6	3.1.1 Cu-Ni 二元合金相图的建立 .....	35
1.1 工程材料的分类 .....	6	3.1.2 Pb-Sn 二元合金相图的建立 .....	36
1.2 材料的力学性能 .....	7	3.2 二元合金相图的基本类型 .....	36
1.2.1 强度和塑性 .....	7	3.2.1 匀晶相图 .....	36
1.2.2 硬度 .....	10	3.2.2 共晶相图 .....	38
1.2.3 韧性 .....	14	3.2.3 包晶相图 .....	39
1.3 材料的其他性能 .....	16	3.3 相图与合金性能之间的关系 .....	40
1.3.1 物理性能 .....	16	3.3.1 合金力学性能与相图的关系 .....	40
1.3.2 化学性能 .....	18	3.3.2 合金工艺性能与相图的关系 .....	41
1.3.3 工艺性能 .....	19	3.4 铁碳合金相图 .....	42
1.4 工程应用案例——工程材料在汽车制造 中的应用 .....	20	3.4.1 铁碳合金的基本相与性能 .....	42
习题与思考题 1 .....	21	3.4.2 铁碳合金的相图 .....	44
		3.4.3 铁碳相图的应用 .....	52
		习题与思考题 3 .....	53
<b>第 2 章 材料的微观结构</b> .....	22	<b>第 4 章 钢的热处理</b> .....	54
2.1 纯金属的晶体结构 .....	22	4.1 钢的热处理基础 .....	54
2.1.1 晶体学基本知识 .....	22	4.1.1 概述 .....	54
2.1.2 金属晶体结构(包括致密度) .....	23	4.1.2 钢在加热时的转变 .....	54
2.1.3 晶面指数、晶向指数与致密度 .....	24	4.1.3 钢在冷却时的转变 .....	56
2.1.4 晶体缺陷 .....	25	4.2 钢的普通热处理工艺 .....	61
2.2 金属的结晶 .....	28	4.2.1 钢的退火 .....	61
2.2.1 纯金属的结晶及铸件晶粒 大小控制 .....	28	4.2.2 钢的正火 .....	62
2.2.2 同素异构体转变 .....	31	4.2.3 钢的淬火 .....	63
2.3 合金的相结构 .....	32	4.2.4 钢的回火 .....	65
2.3.1 基本概念 .....	32	4.3 钢的表面热处理 .....	65
2.3.2 固溶体 .....	32	4.3.1 钢的表面淬火 .....	66
2.3.3 金属化合物 .....	33	4.3.2 化学热处理 .....	67
习题与思考题 2 .....	34	4.4 热处理新技术 .....	69
		4.4.1 高能束表面处理技术 .....	69
<b>第 3 章 二元合金相图</b> .....	35	4.4.2 热喷涂技术 .....	70
3.1 二元合金相图的建立 .....	35	4.4.3 真空热处理 .....	70

4.5 工程应用案例——工程车辆主要零件 热处理工艺 .....	71	6.2.1 铁碳合金双重相图 .....	101
4.5.1 轴(套)类零件热处理 .....	71	6.2.2 石墨化过程 .....	101
4.5.2 齿轮类零件热处理 .....	72	6.2.3 影响石墨化的因素 .....	102
4.5.3 大型结构件热处理 .....	73	6.2.4 铸铁的分类 .....	103
4.5.4 叉架类零件热处理 .....	74	6.3 常用铸铁 .....	104
4.5.5 工程车辆零部件热处理应用趋势 .....	74	6.3.1 灰铸铁 .....	104
习题与思考题 4 .....	75	6.3.2 可锻铸铁 .....	107
<b>第 5 章 工业用钢</b> .....	76	6.3.3 球墨铸铁 .....	109
5.1 概述 .....	76	6.3.4 蠕墨铸铁 .....	112
5.1.1 钢的分类 .....	76	6.3.5 特殊性能铸铁 .....	113
5.1.2 工业用钢牌号 .....	77	6.4 工程应用案例——蠕墨铸铁在发动机中的 应用 .....	116
5.1.3 杂质与合金元素在钢中的作用 .....	77	习题与思考题 6 .....	117
5.2 工业结构用钢 .....	78	<b>第 7 章 有色金属及其合金</b> .....	119
5.2.1 概述 .....	78	7.1 铝及铝合金 .....	120
5.2.2 碳素结构钢 .....	78	7.1.1 工业纯铝 .....	120
5.2.3 低合金结构钢 .....	79	7.1.2 铝合金 .....	120
5.2.4 工程用铸造碳钢 .....	80	7.1.3 变形铝合金 .....	122
5.3 机械结构用钢 .....	81	7.1.4 铸造铝合金 .....	123
5.3.1 概述 .....	81	7.2 铜及铜合金 .....	124
5.3.2 优质碳素结构钢 .....	82	7.2.1 工业纯铜 .....	124
5.3.3 机械结构用钢 .....	83	7.2.2 铜合金 .....	124
5.3.4 滚动轴承钢 .....	87	7.2.3 黄铜 .....	125
5.4 工具钢 .....	89	7.2.4 青铜 .....	127
5.4.1 刀具钢 .....	89	7.3 镁及镁合金 .....	130
5.4.2 模具钢 .....	92	7.3.1 变形镁合金 .....	130
5.5 特殊性能钢 .....	94	7.3.2 铸造镁合金 .....	131
5.5.1 不锈钢 .....	94	7.4 滑动轴承合金 .....	132
5.5.2 耐热钢 .....	96	7.4.1 对轴承合金性能的要求 .....	133
5.5.3 耐磨钢 .....	96	7.4.2 轴承合金的组织特征 .....	133
5.5.4 低温钢 .....	97	7.4.3 常用的轴承合金 .....	133
5.6 工程应用案例——结构钢在建筑工程中 的应用 .....	97	7.5 工程应用案例——硬币用金属及合金 .....	136
习题与思考题 5 .....	98	7.5.1 硬币的特性 .....	136
<b>第 6 章 铸铁</b> .....	100	7.5.2 各国的硬币 .....	137
6.1 概述 .....	100	习题与思考题 7 .....	140
6.1.1 成分与组织特点 .....	100	<b>第 8 章 常用非金属材料及新材料</b> .....	141
6.1.2 铸铁的性能特点 .....	100	8.1 塑料 .....	141
6.2 铸铁的石墨化 .....	101	8.1.1 塑料的组成和性能 .....	142
		8.1.2 塑料的分类 .....	144
		8.1.3 常用工程塑料 .....	145



8.2 合成纤维 .....	148	8.4.2 复合材料的性能特点 .....	154
8.2.1 合成纤维的分类 .....	149	8.4.3 常用的复合材料 .....	155
8.2.2 常用合成纤维 .....	149	8.5 新材料 .....	156
8.3 橡胶 .....	151	8.5.1 形状记忆合金 .....	156
8.3.1 合成橡胶的分类和橡胶制品的组成 .....	152	8.5.2 纳米材料 .....	158
8.3.2 常用合成橡胶 .....	152	8.5.3 非晶态合金 .....	159
8.4 复合材料 .....	153	8.6 工程应用案例——用于海水淡化的反渗透 透膜材料 .....	160
8.4.1 复合材料的组成及分类 .....	154	习题与思考题 8 .....	162
 <b>第二篇 工程材料成形技术基础</b>  			
<b>第 9 章 铸造成形</b> .....	164	10.1 金属塑性成形理论基础 .....	195
9.1 铸造成形理论基础 .....	164	10.1.1 金属变形的实质 .....	195
9.1.1 液态合金的流动性与充型能力 .....	164	10.1.2 单晶体的塑性变形 .....	195
9.1.2 铸造合金的收缩 .....	166	10.1.3 多晶体的塑性变形 .....	196
9.1.3 缩孔和缩松 .....	166	10.1.4 塑性变形金属的加工硬化、回复和 再结晶 .....	196
9.1.4 铸造内应力及铸件的变形 .....	168	10.2 自由锻 .....	197
9.2 砂型铸造 .....	171	10.2.1 自由锻设备 .....	197
9.2.1 造型方法 .....	171	10.2.2 自由锻的基本工序 .....	198
9.2.2 铸造工艺设计 .....	174	10.2.3 自由锻工艺规程的制定 .....	200
9.3 特种铸造 .....	179	10.2.4 自由锻件的结构工艺性 .....	202
9.3.1 熔模铸造 .....	179	10.3 模锻 .....	202
9.3.2 金属型铸造 .....	180	10.3.1 锤上模锻 .....	202
9.3.3 压力铸造 .....	181	10.3.2 胎模锻 .....	204
9.3.4 离心铸造 .....	182	10.4 板料冲压 .....	205
9.3.5 陶瓷型铸造 .....	182	10.4.1 冲压材料 .....	205
9.3.6 连续铸造 .....	183	10.4.2 冲压设备 .....	205
9.3.7 消失模铸造 .....	184	10.4.3 冲压的基本工序 .....	205
9.3.8 磁性铸造 .....	184	10.4.4 冲压件的结构工艺性 .....	208
9.3.9 差压铸造 .....	185	10.5 其他压力加工成形方法 .....	209
9.3.10 半固态铸造 .....	185	10.5.1 精密模锻 .....	209
9.4 铸件的结构设计 .....	186	10.5.2 挤压 .....	210
9.4.1 铸件外形的设计 .....	186	10.5.3 高速模锻 .....	210
9.4.2 铸件壁厚的设计 .....	189	10.5.4 辊锻 .....	210
9.5 工程应用案例——轴承座铸造工艺 .....	191	10.5.5 摆动辗压 .....	211
习题与思考题 9 .....	193	10.5.6 超塑性模锻 .....	211
<b>第 10 章 金属塑性成形</b> .....	195	10.6 工程应用案例——汽轮机低压转子锻造 工艺 .....	211



习题与思考题 10 .....	215	11.3.2 碳素钢的焊接 .....	241
<b>第 11 章 焊接成形</b> .....	<b>216</b>	11.3.3 低合金结构钢的焊接 .....	241
11.1 焊接成形理论基础 .....	217	11.3.4 奥氏体不锈钢的焊接 .....	242
11.1.1 焊接电弧 .....	217	11.3.5 铸铁的补焊 .....	242
11.1.2 焊接原理和焊接冶金过程 .....	217	11.3.6 非铁金属的焊接 .....	243
11.1.3 电弧焊机 .....	219	11.4 焊接结构件工艺设计 .....	245
11.1.4 焊条 .....	221	11.4.1 焊接结构材料的选择 .....	245
11.1.5 焊接接头的组织和性能 .....	223	11.4.2 焊接方法的选择 .....	245
11.1.6 焊接应力与变形 .....	226	11.4.3 焊接接头工艺设计 .....	246
11.2 常用焊接方法 .....	229	11.5 焊接质量检验 .....	251
11.2.1 熔焊 .....	229	11.5.1 焊接缺陷及分类 .....	251
11.2.2 压焊 .....	235	11.5.2 焊接检验过程 .....	252
11.2.3 钎焊 .....	239	11.5.3 焊接检验方法 .....	253
11.3 常用金属材料的焊接 .....	240	11.6 工程应用案例——低压储气罐焊接工艺 .....	254
11.3.1 金属材料的焊接性 .....	240	习题与思考题 11 .....	255

### 第三篇 工程材料应用及成形工艺选择

<b>第 12 章 机械零件失效分析与表面处理</b> .....	<b>258</b>	13.1.1 使用性能原则 .....	272
12.1 机械零件的失效 .....	258	13.1.2 工艺性能原则 .....	272
12.1.1 变形失效 .....	258	13.1.3 经济及环境友好性原则 .....	273
12.1.2 断裂失效 .....	259	13.2 材料与成形工艺选择步骤与方法 .....	273
12.1.3 磨损失效 .....	261	13.2.1 材料与成形工艺选择的基本步骤 .....	273
12.1.4 腐蚀失效 .....	261	13.2.2 材料与成形工艺选择的具体方法 .....	279
12.2 机械零件失效分析 .....	263	13.3 典型零件的材料与成形工艺选择 .....	282
12.2.1 零件失效的基本原因 .....	263	13.3.1 齿轮零件 .....	282
12.2.2 零件失效分析 .....	264	13.3.2 轴类零件 .....	285
12.3 材料的表面处理 .....	264	13.3.3 模具类零件 .....	288
12.3.1 表面处理及目的 .....	264	13.3.4 冷作模具选材的工艺设计 .....	289
12.3.2 表面处理方法 .....	265	13.3.5 热作模具选材的工艺设计 .....	290
12.3.3 表面处理发展趋势 .....	269	13.3.6 塑料模具选材的工艺设计 .....	292
12.4 工程应用案例——载货汽车后桥主动锥 .....	270	13.4 工程应用案例——机床主轴选材及成形 .....	293
齿轮断裂失效分析 .....	270	工艺分析 .....	293
习题与思考题 12 .....	271	习题与思考题 13 .....	293
<b>第 13 章 材料与成形工艺的选择</b> .....	<b>272</b>	<b>参考文献</b> .....	<b>294</b>
13.1 材料与成形工艺选择原则 .....	272		

# 绪 论

## 1. 材料与材料成形的发展历史

材料是人们的生活和生产赖以进行的物质基础,而任何材料在被人们制造成有用物品(无论是生活用品还是生产工具等)的过程中,都要经过成形加工,它是人类的生产活动中始终不可缺少的基础性技术种类。

材料成形工艺是伴随着人类使用材料的历史而发展的。在人类使用材料之初,通过将天然材料如石头、陶土打制成石器和烧制成陶器,形成了最原始的材料成形工艺。

随着人们对金属材料(青铜、钢铁等)的使用,相应地产生了铸造、锻造、焊接等金属成形加工技术。20世纪以后,随着塑料和先进陶瓷材料的出现,这些非金属材料的成形工艺得到了迅速发展。在21世纪的今天,各种人工设计、人工合成的新型材料层出不穷,各种与之相应的先进的成形工艺也在不断涌现并大显身手。

材料成形技术的发展,凝聚了世界上各民族的辛劳和智慧,中华民族对此也做出过极其重大的贡献。我国在原始社会后期出现陶器,在仰韶文化和龙山文化时期制陶技术已相当成熟。

我国是世界上应用铜、铁最早的国家,远在4000年前就已经开始使用铜合金,至商周时代(公元前16世纪—公元前8世纪)达到了青铜文化的鼎盛时期。在公元前六七世纪的春秋时期,我国已开始使用铁器,这比欧洲国家早了1800多年。战国时期,我国就发明了炼钢技术,创造了多种在当时比较先进的炼钢方法,并将其用于制造农具和兵器等。

铸造技术在我国源远流长,并达到很高的水平,形成了闻名于世的以泥范(砂型)、铁范(金属型)和失蜡铸造为代表的中国古代三大铸造技术。据考证,早在3000年前的商周,我国已发明了古代失蜡铸造法;战国中期,出现了金属型铸造;隋唐以后,我国已掌握了大型铸件的生产技术。河南安阳武官村出土的商代司母戊鼎,重875 kg,体积庞大,花纹精巧,造型精美。湖北江陵楚墓中发现的越王勾践青铜宝剑,虽在地下埋藏了2000多年,但依然刃口锋利,寒光闪闪,可以一次割透叠在一起的十多层纸张。西汉时期曾大量使用的“透光”铜镜,被西方人称为“中国魔镜”,就是我国古代工匠们巧妙地利用了因铸件壁厚不同形成的铸造应力及变形的原理而制成的。现存北京大钟寺内的明朝永乐年间铸造的大铜钟,重46.5 t,钟身内外遍铸经文20余万字,是世界上铸字最多的大钟,其钟声浑厚悦耳,远传百里。

## 2. 材料成形加工在国民经济中的地位

材料成形加工在工业生产的各个部门和行业都有应用,对于制造业来说更是具有举足轻重的作用。制造业是指所有生产和装配制成品的企业群体的总称,包括机械制造、运输工具制造、电气设备、仪器仪表、食品工业、服装、家具、化工、建材、冶金等,它在整个国民经济中占有很大的比重。统计资料显示,在我国,近年来制造业占国民生产总值GDP的比例已超过35%。因此,作为制造业的一项基础和主要的生产技术,材料成形加工在国

国民经济中占有十分重要的地位，并且在一定程度上代表着一个国家的工业和科技发展水平。

通过下面列举的数据和事例，可以帮助我们真切、具体地了解材料成形加工对制造业和国民经济的影响。

据统计，占全世界总产量将近一半的钢材是通过焊接制成件或产品后投入使用的。在机床和通用机械中，铸件质量占 70%~80%；在农业机械中，铸件质量占 40%~70%；在汽车中，铸件质量约占 20%，锻件质量约占 70%；飞机上的锻件质量约占 85%；在发电设备中，主要零件如主轴、叶轮、转子等均为锻件制成；在家用电器和通信产品中，60%~80%的零部件是冲压件和塑料成形件。

再从我们熟悉的交通工具——轿车的构成来看，发动机中的缸体、缸盖、活塞等一般都是铸造而成的，连杆、传动轴、车轮轴等是锻造而成的，车身、车门、车架、油箱等是经冲压和焊接制成的，车内饰件、仪表盘、车灯罩、保险杠等是塑料成形制件，轮胎等是橡胶成形制品。因此，可以毫不夸张地说，没有先进的材料成形工艺，就没有现代制造业。

新中国成立以后，我国的材料成形技术重新走上了振兴之路，特别是改革开放以来，更是取得了巨大的成就，为促进国民经济发展和改善人民的物质文化生活发挥了积极的作用。一大批以材料成形技术为重要支撑的行业和企业已经成长壮大，自从 20 世纪 50 年代中期第一辆自行生产的解放牌汽车诞生以来，我国现已基本建成了较完备的汽车工业生产体系，并已成为世界第四大汽车生产国；我国自力更生发展起来的航空制造业已初具规模，可以生产较先进的各种用途的军用飞机和中型民用飞机；我国的船舶制造业跻身于世界前列，已能够建造 15 万级的超大型船只。我国是世界上少数的几个拥有运载火箭、人造卫星和载人飞船发射实力的国家，这些航天飞行器的建造离不开先进的成形工艺，其中，火箭和飞船的壳体都是采用了高强轻质的材料，通过先进的特种焊接和黏结技术制造的。

重型机械的制造能力是反映一个国家的成形技术水平的重要标志，我国已成功地生产出了世界上最大的轧钢机机架铸钢件(质量为 410 t)和长江三峡电站巨型水轮机的特大型铸件，锻造了 196 t 汽轮机转子，采用铸-焊组合方法制造了 12 000 t 水压机的立柱(高 18 m)、底座和横梁等大型零部件。

坐落在香港大屿山和无锡太湖边的天坛大佛和灵山大佛塑像，分别高 26.4 m 和 88 m，均是采用青铜分块铸造后拼焊装配而成的。这两座巨型佛像一坐一立，体态雄健庄重，充分体现了成形工艺与人文艺术的完美结合，对于弘扬我国的传统文化和促进当地的旅游业起到了很大的作用。

进入 21 世纪以后，随着我国改革开放步伐和世界经济一体化进程的加快，我国已成为全球制造业的中心之一。通过技术引进和技术创新，使我国的材料成形技术水平达到了新的高度。我国制造业生产的产品在质量、品种和产量上都比过去有了大幅度的提高，其中一些重要的产品(如彩色电视机、手机、洗衣机等)的产量已居世界第一，不仅极大地丰富和满足了国内市场的需求，而且以强大的竞争力不断扩展其在国际市场上的占有率，成为中国经济充满活力、蒸蒸日上的具体体现。

当然，也要清醒地看到，我国与发达国家相比在材料成形技术水平上还存在差距，尤其是在技术创新能力和企业核心竞争力方面的差距还很大，要赶超世界先进水平还需要做出不懈的努力。

### 3. “工程材料及成形技术基础”课程的内容

机械制造是将原材料制造成机械零件,再由零件装配成机器的过程。其中,机械零件制造在整个机械制造的过程中占据了很大的比重,而成形加工又是机械零件制造的主要工作。但是,随着科学和生产技术的发展,机械制造所用的材料已扩展到包括金属、非金属和复合材料在内的各种工程材料,因此机械产品的成形加工也就不再局限于传统意义上的金属加工的范畴,而是将非金属和复合材料等的成形加工也包含进来。

金属材料的成形方法一般有铸造、塑性成形、焊接、黏结和切削成形(包括机械加工、钳加工和现代加工)等常用方法,而非金属和复合材料则另有各自的特殊成形方法。在使用铸造、塑性成形和焊接的方法进行零件成形时,常常需要将材料加热到较高的温度(大于金属的再结晶温度),所以这几种加工方法习惯上被称为热加工法;而机械加工,尤其是切削一般在常温或低于金属的再结晶温度下进行,因此习惯上被称为冷加工。

机械加工的优点是可使零件获得很高的尺寸精度和很小的表面粗糙度值,但一般来说,由于大多数的机械零件与原材料之间在形状和尺寸上相差较大,如果完全依靠机械加工来制造零件,则材料和加工时间的耗费往往很大,显然这在多数情况下(尤其是大批量生产)是不经济的。而采用热加工工艺来制造零件时,由于在成形过程中较少或没有材料的损耗,故能以较高的生产率制造出与零件相近的制品,但传统热加工工艺的制造精度一般不如机械加工的。因此,在机械制造过程中,一般是先用热加工的方法制造出零件的毛坯,再用机械加工的方法进一步改变毛坯的形态,使其最终被加工成合格零件。其间,为了改善材料的加工性能和使用性能,通常还需对工件进行有关的热处理。近年来,热加工工艺中的精密成形技术不断产生和发展,使其所生产的毛坯的形状、尺寸和表面质量更接近零件的要求。采用精密铸造、精密塑性成形、精密焊接等方法已能够取代部分零件的切削,从而直接获得成品零件。

由于金属材料在机械制造领域中仍然占有主导地位,而且金属的铸造、塑性成形、焊接及切削成形等传统的常规成形工艺至今仍是量大面广、经济适用的技术,因此它们是本书论述的重点内容,同时介绍黏结、粉末冶金和非金属材料及复合材料的成形工艺的基本知识。

### 4. “工程材料及成形技术基础”课程的学习要求与学习方法

“工程材料及成形技术基础”课程是机械类和材料类专业的主干课程之一,也是部分近机电类专业通常开设的一门课程。学生在完成本课程的学习之后,应达到以下基本要求:

(1) 建立工程材料和材料成形工艺与现代机械制造的完整概念,培养良好的工程意识。

(2) 掌握金属材料的成分、组织、性能之间的关系,强化金属材料的基本途径,钢的热处理原理及方法,常用金属材料、非金属材料 and 复合材料的性质、特点、用途和选用原则。

(3) 掌握各种成形方法的基本原理、工艺特点和应用场合,了解常用成形设备的结构和用途,具有进行材料成形工艺分析和合理选择毛坯(或零件)成形方法的初步能力。

(4) 具有综合运用工艺知识,分析零件结构工艺性的初步能力。

(5) 了解与材料成形技术有关的新材料、新工艺及其发展趋势。

本课程是一门体系较为庞杂、知识点多而分散的课程,因此在学习中要注意抓好课程的主线。对于每一类成形工艺而言,其内容基本上都是围绕着“工程材料—成形原理—成

形方法及应用—成形工艺设计—成形件的结构工艺性”这样一条主线而展开的。

按照主线对知识点进行归纳整理，这样做将有利于在学习保持清晰的思路，有利于对本课程内容的总体把握。在抓好主线的同时，还要注意比较不同的成形工艺的特点，建立相关知识点之间的联系，这将有利于在学习保持开阔的思路，有利于使所学的知识融会贯通，在分析和解决问题的时候，就能够做到触类旁通，举一反三。

本课程是一门有着丰富的工程应用背景的课程，因此在学习要十分重视对工程素质的培养。要了解工艺问题的综合性和灵活性，学会全面、辩证看问题的方法。要注意结合金工实习的实践经历和平时日常生活中接触到的机械产品的实例，加深对所学内容的理解。本课程中所涉及的知识，在以后的专业课程学习、课程设计和毕业设计中都会一再用到，应充分利用这些机会来对其反复练习，扎实掌握，巩固提高，真正做到以用促学，学以致用。

# 第一篇

---

## 工程材料

# 第 1 章 工程材料的分类与性能

## 1.1 工程材料的分类

“材料”是早已存在的名词,它不仅是人类进化的标志,还是社会现代化的物质基础与先导。材料、信息与能源被称为现代文明的三大支柱。20 世纪 80 年代人们又把新型材料、生物工程和信息作为产业革命的重要标志。材料,尤其是新型材料的研究、开发与应用反映着一个国家的科学技术与工业水平,它关系着国家的综合国力与安全,因此无论是发达国家还是发展中国家,无不把材料放在重要位置。

工程材料是构成机械的物质基础,它是指在机械、化工、车辆、船舶、仪表、建筑、航空航天等工程领域中用于制造工程构件和机械零件的材料。目前,用于机械制造的材料有上千种,常用的也有上百种,并且还有许多新的材料在不断地被创造出来。大多数工程材料中往往存在着以一种键为主的几种键组成的混合键,其中金属材料以金属键为主,陶瓷材料以离子键为主,高分子材料以共价键为主。一般按照材料的组成及结合键的特点,可以将工程材料分为金属材料、陶瓷材料、高分子材料和复合材料四大类。

金属材料具有良好的导电性、导热性、延展性和金属光泽,是应用面最广、用量最大、承载能力最高的工程材料。金属材料可以分为黑色金属和有色金属两类。黑色金属主要是指铁和以铁为基的合金,即钢铁材料,其世界年产量已超过 10 亿吨,在机械产品中的用量占整个用材的 60% 以上。黑色金属以外的所有金属及其合金都统称为有色金属。有色金属的种类比较繁多,根据其性能和特点的不同可以细分为轻金属、易熔金属、难熔金属、贵金属、稀土金属和碱土金属。有色金属中的轻合金,在航空工业中有着特别重要的作用。

陶瓷材料是指硅酸盐、金属同非金属元素的化合物,其性能特点是熔点高,硬度高,耐腐蚀,脆性大。工业上用的陶瓷主要分为三类:

(1) 普通陶瓷:又称为传统陶瓷,是以黏土、石英、长石等天然材料为原料的陶瓷,主要用作建筑材料。

(2) 金属陶瓷:是由金属粉末与陶瓷粉末烧结的材料,主要用作模具和工具。

(3) 特种陶瓷:又称为精细陶瓷,是由人工氧化物、碳化物、氮化物和硅化物等烧结的材料,主要用作工程上的耐热、耐蚀、耐磨零件。

高分子材料是由许多相对分子质量很大的大分子组成的,作为结构材料,它具有塑性、耐蚀性、电绝缘性、减震性及密度小等优点。根据性能和使用状态,可以将工程应用上的高分子材料分为工程塑料、橡胶和合成纤维。高分子材料广泛应用于机械、电气、纺织、车辆、飞机、轮船等制造业和化学、交通运输、航空航天等工业中。

复合材料是把两种或两种以上不同性质或不同结构的材料以微观或宏观的形式组合在



一起而形成的材料。通常,通过这种组合以求达到进一步提高材料综合性能的目的,其性能是组成它的任何单一材料所不具备的。例如,玻璃钢是由玻璃纤维布和热固性高分子材料复合而成的,而玻璃钢的性能,既不同于玻璃纤维布,也不同于组成它的热固性高分子材料。目前,工程上使用的工程材料主要包括金属基复合材料和非金属基复合材料。这两类材料在建筑、机械制造、交通和国防等领域,有着日益发展的广大前景。如现代航空发动机燃烧室中耐热最高的材料,就是粉末冶金法制备的氧化物粒子弥散强化的镍基复合材料。很多高级游艇、赛艇及体育器械等是由碳纤维复合材料制成的,具有质量轻、弹性好、强度高优点。

## 1.2 材料的力学性能

材料的性能是一种参量,用于表征材料在给定外界条件下的行为。材料的性能只有在外界条件下才能表现出来。外界条件是指温度、载荷、电场、磁场、化学介质等。例如,用表征材料在外力作用下拉伸行为的载荷-位移曲线或应力-应变曲线,采用屈服、颈缩、断裂等行为判据,便分别有屈服强度、抗拉强度等力学性能。又如,用表征材料在外磁场作用下磁化及退磁行为的磁滞回线,采用不同的行为判据,便分别有矫顽力、剩余磁感、储藏的磁能等性能。

材料的性能可以分为两大类:简单性能和复杂性能。简单性能包括材料的物理性能、力学性能和化学性能;复杂性能包括复合性能、工艺性能和使用性能等。材料性能分类如表 1-1 所示。

表 1-1 材料性能分类

材 料 性 能	简单性能	物理性能	热学性能,声学性能,光学性能,电学性能,磁学性能,辐射性能
		力学性能	强度,硬度,塑性,韧性
		化学性能	抗氧化性能,耐腐蚀性能,抗渗入性能
	复杂性能	复合性能:简单性能的组合,如高温疲劳强度	
		工艺性能:铸造性、可焊性、切削性等	
		使用性能:耐磨性、抗弹穿入性、刀刃锋利性等	

本小节主要介绍材料的力学性能,主要是指材料在外加载荷作用下表现出的行为,如变形、断裂等。当材料受力时,产生的几何形状和尺寸的变化称为变形。在外力不大时,外力去除后变形随之消失,这种变形称为弹性变形;如果外力增大,材料产生了外力撤除后仍不能恢复的永久性变形,则称为塑性变形或永久变形。

在制造结构件时,除在一些特殊的条件(如高温、高压、腐蚀气氛及要求导电、导磁)下服役外,力学性能是合理选择材料,确定适当的加工工艺,正确进行工程设计,确保构件使用安全的重要依据。

### 1.2.1 强度和塑性

#### 1. 工程应力-应变曲线

GB/T 228. 1 — 2010《金属材料 拉伸试验 第 1 部分:室温试验方法》规定了金属材料

拉伸试验方法的原理、定义、符号、说明、试样及其尺寸测量、试验设备、试验要求、性能测定、测定结果数据修约和试验报告等。

试验过程为：试样制备(如图 1-1 所示)，在拉伸试验机上加载，试样在载荷作用下发生弹性变形、塑性变形直至断裂。在拉伸过程中，试验机自动记录每一个固定时间点的载荷和伸长量之间的关系，并绘制出应力-应变曲线。由计算机控制的具有数据采集系统的试验机可直接获得强度和塑性的试验数据。

图 1-2 所示为退火低碳钢单向静载拉伸应力-应变曲线。图中， $OB$  段为弹性变形阶段， $BDC$  段为屈服变形阶段， $CE$  段为均匀塑性变形阶段， $E$  点为试样屈服后所能承受的最大受力点， $EF$  段为颈缩阶段。该应力-应变曲线可直接反映出材料强度与塑性的性能好坏。

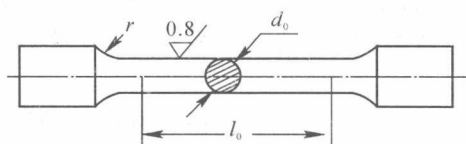


图 1-1 圆形横截面拉伸试样示意图

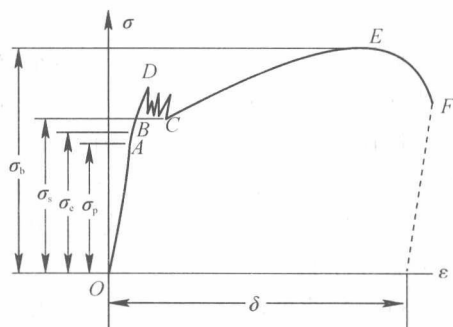


图 1-2 退火低碳钢单向静载拉伸应力-应变曲线

当应力低于  $\sigma_e$  时，应力与应变呈正比， $\sigma = E\epsilon$ ，其中， $E$  为弹性模量，表示材料的刚性； $\epsilon$  为应变。此时应力去除后，变形完全消失，这种变形为弹性变形。在弹性变形中，原子离开平衡位置，但并没有达到新的平衡位置，因此外力去除后，原子就回到其原始位置并使变形消失。 $\sigma_e$  称为弹性极限。

当应力超过  $\sigma_e$  时，材料发生塑性变形，在应力去除后，变形只能部分恢复，而保留部分永久变形。在塑性变形过程中，原子离开其原始位置，产生永久位移并达到新的平衡位置。

当应力达到  $\sigma_s$  时，材料会产生明显的塑性变形抗力， $\sigma_s$  称为材料的屈服强度或屈服极限。它是材料开始发生塑性变形的最小应力。对于没有明显屈服的材料，工程上规定以产生 0.2% 残余变形的应力作为屈服极限，以  $\sigma_{0.2}$  表示。在 GB/T 228—2002 中，屈服强度分为上屈服强度 ( $R_{eH}$ ) 和下屈服强度 ( $R_{eL}$ )。上屈服强度，是指试样发生屈服而应力首次下降前的最高应力；下屈服强度，是指在屈服期间不计初始瞬时效应时的最低应力。

在外力超过  $\sigma_s$  ( $\sigma_{0.2}$ ) 后，试样发生明显而均匀的塑性变形，欲使试样的应变增大，必须提高外加应力。这种随塑性变形的增大，塑性变形抗力不断增大的现象称为加工硬化或应变硬化。在应力达到  $\sigma_b$  时，试样的均匀变形结束， $\sigma_b$  称为材料的抗拉强度。它是材料极限承载能力的标志。几种常用工程材料的抗拉强度如表 1-2 所示。

当应力达到  $\sigma_b$  后，试样开始发生不均匀塑性变形，并形成颈缩现象，因试样截面积急剧下降而导致载荷降低超过强化作用，故应力开始下降，最后达到  $F$  点，试样发生断裂。试样在  $F$  点所对应的应力  $\sigma_k$  称为材料的条件断裂强度。