

● 新专业规范

● 新基本要求

● 新课程体系

● 新教学内容



21世纪机械类课程系列教材

# 工程材料及成形技术

□ 主编 林建榕



高等教育出版社  
Higher Education Press

# 工程材料及成形技术

主 编 林建榕  
副主编 陈 晓 庄哲峰 李东南

高等教育出版社

## 内容简介

本书分为两大篇,共11章。第一篇工程材料,介绍了工程材料的主要性能;金属材料的成分、组织结构与性能的关系,金属材料的改性处理,常用金属材料及其应用;非金属材料及复合材料的组成特点、性能及应用;新材料的发展。第二篇工程材料的成形技术和成形方法的选择,介绍了材料的液态成形、塑性成形、连接成形技术;塑料、陶瓷及复合材料的成形技术;材料各种成形技术的新发展及快速成形技术等。各章后面附有复习思考题。

本书内容丰富,不仅阐述了各种材料技术和成形过程的基本原理、基本方法、自身规律、相互联系及其新发展,归纳总结了工程材料的选择与成形方法的选择,使理论与实践紧密相连,而且还介绍了一些工程上常用的基础知识(如书中带\*号的内容)。

本书主要作为高等院校机械类专业工程材料及成形技术课程的教材,或其他工程类相关专业学生的教材,也可作为相关工程技术人员和工厂管理人员的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

工程材料及成形技术/林建榕主编. —北京:高等教育出版社,2007.12

ISBN 978-7-04-022699-7

I. 工… II. 林… III. 工程材料-成型-高等学校-教材 IV. TB3

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第171759号

策划编辑 宋晓 责任编辑 查成东 封面设计 张志 责任绘图 朱静  
版式设计 马敬茹 责任校对 朱惠芳 责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社  
社址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100011  
总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印刷 北京明月印务有限责任公司

开本 787×1092 1/16  
印张 20.25  
字数 500 000

购书热线 010-58581118  
免费咨询 800-810-0598  
网址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landracom.com>  
<http://www.landracom.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 2007年12月第1版  
印次 2007年12月第1次印刷  
定价 23.40元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 22699-00

## 郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010)58581897/58581896/58581879

传 真：(010)82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118



# 序

工程材料及成形技术是我国高等工科院校机械类专业的一门重要的工艺类技术基础课程,而教材是实施课堂教学、达到教学要求的最重要物质基础之一。林建榕老师组织一批骨干教师编写的《工程材料及成形技术》教材就是着力于为上述课程服务的。

经历近30年的改革开放,我国正从制造大国逐步向制造强国演进,应用于制造领域的各种工程材料及其相关的成形技术也处于高速发展中。金属材料逐步演进为包括金属材料、非金属材料、复合材料、功能材料和纳米材料在内的工程材料;材料成形技术也在液态成形技术、塑性成形技术和连接成形技术的基础上发展了高分子材料、陶瓷材料、复合材料和快速成形等成形技术。即使是原有的金属材料和常规成形技术,也随着科学技术的发展而大步地向前推进,在节约资源和减少能耗的基础上,尽可能高效率地为制造业提供切削余量少的高质量毛坯或制品。材料学科及其相关工艺技术的发展,大大促进了机械制造业的发展,同时给相关课堂教学改革与教材改革带来了蓬勃生机。

林建榕编写的《工程材料及成形技术》教材贯彻了教育部机械基础课程教学指导分委员会有关“重点院校金属工艺学课程改革指南”的精神,体现了该课程知识面广,基础性、实践性和实用性强的特点,同时注重与现代材料科学、现代制造科学与现代管理科学的融合与交叉作用,反映出不同学科的交叉与融合对技术发展的促进作用。

综观本教材,比较突出的特点有下列三点:

## 1. 坚持基础性、实践性与应用性的结合

作为大学本科的工艺基础类教材,本书介绍了必备的工程材料尤其是金属材料和相关成形技术的理论知识,理顺了金属材料与后续发展出的其他工程材料的关系,注重材料及其成形领域共同规律的分析与综合,为学生的未来发展奠定了基础。但作为工科学生,学习理论的目的是为了应用,因此本书关注理论与实践的结合,注重知识的工程实际应用,有利于培养学生分析和解决问题的能力。

## 2. 坚持常规工艺技术与先进工艺技术结合,注重不同学科的交叉与融合

本书保留了我国当前仍大量采用的常规工艺技术,增加了应用范围广或发展前景好的新材料、新技术和新工艺,既体现出我国工艺技术的新进展,又有利于培养学生的工程实践能力、创新思维能力和科学的工程技术发展观。本书在内容上还体现出现代材料科学、现代制造科学与现代管理科学的交叉与融合,这有利于使学生理解学科交叉与融合在工程技术发展中的重要性。

## 3. 坚持贯彻国家最新标准,力求图文并茂

在编写过程中,注意学习和贯彻有关国家最新标准,使本书在文字、技术术语、公式、符号和法定计量单位等方面与国家标准一致。配合文字,本书设计和选择了大量插图,力求图文并茂。此外,本书为适应不同院校对教学的不同要求,以利于学生的个性发展,还增加了一些可选材料。

众所周知,设计是创新的基础。然而,工艺技术不只是为设计服务,其本身的进步同样意味着创新,而工艺教材正是为工艺技术的创新鸣锣开道的。

清华大学 傅水根  
2007年4月于清华园

# 前 言

工程材料及成形技术是高等工科院校机械类专业必修的一门重要的技术基础课程。该课程主要介绍工程材料及成形技术的基本原理和有关工艺知识,是学生了解与认知现代工业基础知识的重要平台。该课程与工程训练紧密结合,在培养学生的工程意识、创新意识、运用规范的工程语言和解决工程实际问题的能力等方面,具有其他课程难以替代的作用。

本书是根据教育部机械基础课程教学指导分委员会有关“重点院校金属工艺学课程改革指南”的精神,借鉴国内外教材内容及结构特点,结合国内学者及编者多年的教学实践经验和取得的教学成果编写的。编写过程中力求使教材内容与课程定位相一致,与制造业的发展需求相适应。

由于本课程具有基础性、实用性、实践性强、知识面广等特点,而且充分体现了工程材料及成形技术的发展与现代制造技术、材料科学、现代信息技术和现代管理科学技术等学科与领域的密切交叉与渗透。因此,在教材编写过程中,一方面力求使教材内容体现对工业基础认知的平台作用,使读者通过学习掌握必要的基础知识;另一方面力求充分体现现代工程材料及成形技术的发展趋势,体现不同学科交叉与渗透对材料发展及成形技术进步的积极作用,以拓宽读者的知识面,增强创新意识。

本教材具有以下特点:

1. 力求处理好理论与实践内容的关系。本书以实际应用为目的介绍必要的理论知识,同时尽量做到深入浅出,而对工程上实际需求的内容进行较深入的分析,对各种材料处理方法和成形方法进行比较与分析,力求提高学生分析问题与解决问题的能力,也为今后解决现代工程材料及成形技术中的问题和新材料及新技术的开发应用打下基础。

2. 力求处理好金属材料与其他工程材料内容的关系。由于金属材料与其他工程材料在性能、组织结构、改性处理及成形技术等方面的研究与分析有许多共同规律。因此,从剖析金属材料入手,再引申到对其他材料的分析,对学生学习有举一反三的作用。

3. 力求处理好常规工艺与现代成形新技术的关系。本书保留了现代制造业中仍广泛应用的常规工艺,增加了技术上较成熟、应用范围较广或发展前景较好的新材料、新技术、新工艺(即“三新”)。本书引入的新材料、新技术、新工艺的内容较丰富,有利于学生理解多学科交叉与渗透对现代工程材料及其成形技术发展的影响,可拓宽学生的知识面,提高创新能力。

4. 力求适应不同院校对教学的需求,满足学生的个性发展与深入钻研的要求。本书不仅反映了学科发展前沿的新材料、新工艺、新技术,而且还增加了一部分带\*号的内容,如焊缝的表示方法、塑料模具的设计基础等。

5. 力求规范工程语言,全面贯彻最新国家标准。本书全部采用最新国家标准,包括名词术语、符号及法定计量单位等。如采用新国家标准规定的强度与塑性指标的表示方法;布氏硬度取消了钢球压头测定的硬度指标、钢的分类等。

6. 为便于学生复习,提高学习成效,各章节后附有复习思考题,书后有参考文献。

本书由福州大学林建榕担任主编,由陈晓、庄哲峰、李东南担任副主编,参加本书编写的人员有:福州大学林建榕(前言、绪论、第1、4、7、8、9章)、卢月美(第2章)、陈晓(第3章),福建农林大学庄哲峰(第5章),福建工程学院李东南(第6章),浙江师范大学徐洪(第10章),华侨大学戴秋莲(第11章)。山东大学孙康宁教授、福州大学李树江教授、东华大学刘烈元教授审阅。

在编写过程中得到福州大学机械制造及自动化工程学院的大力支持及校内外同行的热情帮助与指导,在此向他们致以真诚的感谢。此外,本书还参考并引用了国内外有关教材、科技著作及论文等文献资料的内容和插图,在此特向有关作者和单位致以诚挚的感谢。

由于本书涉及的专业面较广,限于编者的水平,书中存在的一些错误和不足之处,敬祈专家与读者不吝赐教。



# 目 录

绪论 .....	1
----------	---

## 第一篇 工程材料

第 1 章 工程材料的主要性能 .....	9	3.2.2 过冷奥氏体的等温转变曲线 .....	49
1.1 材料的力学性能 .....	9	3.2.3 过冷奥氏体的连续冷却转变 .....	52
1.1.1 强度与塑性 .....	9	3.3 钢的退火与正火 .....	53
1.1.2 弹性、刚性与粘弹性 .....	13	3.3.1 退火 .....	53
1.1.3 硬度 .....	13	3.3.2 正火 .....	54
1.1.4 韧性 .....	15	3.4 钢的淬火 .....	54
1.1.5 疲劳强度 .....	16	3.4.1 淬火温度和冷却介质 .....	55
1.1.6 蠕变强度和持久强度 .....	17	3.4.2 淬火方法 .....	56
1.2 工程材料的物理、化学及工艺性能 .....	17	3.4.3 钢的淬透性 .....	57
1.2.1 物理性能 .....	17	3.5 钢的回火 .....	59
1.2.2 化学性能 .....	17	3.5.1 回火时组织和性能的转变 .....	59
1.2.3 工艺性能 .....	18	3.5.2 回火的分类及应用 .....	60
复习思考题 .....	18	3.6 钢的表面热处理 .....	61
第 2 章 金属材料的组织结构 .....	19	3.6.1 表面淬火 .....	61
2.1 金属材料的晶体结构与结晶 .....	19	3.6.2 化学热处理 .....	62
2.1.1 金属的晶体结构 .....	19	3.7 钢的表面强化技术 .....	66
2.1.2 纯金属的结晶 .....	23	3.7.1 表面熔融强化 .....	67
2.1.3 金属的同素异构转变 .....	25	3.7.2 气相沉积表面强化 .....	68
2.1.4 合金的晶体结构 .....	26	3.7.3 化学溶液沉积表面强化 .....	70
2.2 铁碳合金相图 .....	28	3.8 热处理和表面处理技术新进展 .....	72
2.2.1 二元合金相图种类 .....	28	3.8.1 形变热处理 .....	72
2.2.2 铁碳合金相图 .....	32	3.8.2 超细化热处理 .....	73
复习思考题 .....	40	3.8.3 真空热处理 .....	73
第 3 章 钢的热处理及表面处理 .....	41	3.8.4 激光表面处理 .....	73
3.1 钢在加热时的组织转变 .....	41	3.8.5 电子束表面处理 .....	74
3.1.1 奥氏体的形成过程 .....	42	3.8.6 离子注入和离子渗碳 .....	74
3.1.2 奥氏体晶粒大小及其控制 .....	43	3.8.7 计算机在热处理中的应用 .....	75
3.2 钢在冷却时的组织转变 .....	44	复习思考题 .....	75
3.2.1 过冷奥氏体的转变产物及转变过程 .....	45	第 4 章 常用金属材料 .....	77
		4.1 工业用钢概述 .....	77

4.1.1 工业用钢的分类与牌号 .....	77	4.8.4 功能梯度材料 .....	110
4.1.2 杂质对钢质量的影响 .....	77	4.8.5 金属间化合物 .....	110
4.1.3 合金元素在钢中的作用 .....	79	4.8.6 减振合金 .....	111
4.2 结构钢 .....	82	4.8.7 磁性材料 .....	111
4.2.1 工程结构用钢 .....	82	复习思考题 .....	112
4.2.2 机械结构用钢 .....	83	<b>第5章 非金属材料 and 复合材料</b> .....	113
4.3 工具钢 .....	86	5.1 高分子材料概述 .....	113
4.3.1 碳素工具钢 .....	86	5.1.1 高分子化合物的含义 .....	113
4.3.2 合金工具钢 .....	86	5.1.2 高分子化合物的合成方法 .....	113
4.3.3 合金模具钢 .....	88	5.1.3 高聚物的结构 .....	114
4.3.4 合金量具钢 .....	89	5.1.4 高聚物的性能 .....	115
4.4 特殊性能钢 .....	89	5.1.5 高分子化合物的分类和命名 .....	117
4.4.1 不锈钢 .....	90	5.2 工程塑料及其应用 .....	118
4.4.2 耐热钢 .....	91	5.2.1 塑料的组成 .....	118
4.4.3 耐磨钢 .....	91	5.2.2 热塑性工程塑料及其应用 .....	119
4.5 铸铁 .....	91	5.2.3 热固性工程塑料及其应用 .....	121
4.5.1 铸铁的石墨化 .....	92	5.3 工业橡胶及其应用 .....	121
4.5.2 灰口铸铁的牌号、性能及应用 .....	93	5.3.1 工业橡胶的组成 .....	121
4.6 非铁金属 .....	99	5.3.2 常用工业橡胶 .....	122
4.6.1 铝及铝合金 .....	99	5.4 陶瓷材料及其应用 .....	123
4.6.2 铜及铜合金 .....	101	5.4.1 陶瓷材料的组织结构 .....	123
4.6.3 钛及钛合金 .....	103	5.4.2 陶瓷材料的性能 .....	124
4.6.4 镁及镁合金 .....	105	5.4.3 工业陶瓷及其应用 .....	125
4.6.5 轴承合金 .....	106	5.5 复合材料及其应用 .....	126
4.7 粉末冶金材料 .....	107	5.5.1 复合材料及其特点 .....	127
4.7.1 粉末冶金材料及其特点 .....	107	5.5.2 复合材料的构成 .....	127
4.7.2 常用粉末冶金材料 .....	107	5.5.3 金属基复合材料 .....	129
4.8 新型金属材料 .....	108	5.5.4 聚合物基复合材料 .....	131
4.8.1 纳米材料 .....	108	5.5.5 陶瓷基复合材料 .....	132
4.8.2 形状记忆合金 .....	109	复习思考题 .....	133
4.8.3 非晶态材料 .....	110		

## 第二篇 工程材料的成形技术

<b>第6章 金属液态成形技术</b> .....	137	与裂纹 .....	143
6.1 金属液态成形原理 .....	137	6.1.6 铸件中的气孔与防止措施 .....	145
6.1.1 液态合金的凝固特点 .....	137	6.1.7 常用铸造合金的铸造性能 .....	146
6.1.2 液态合金的充型 .....	138	6.2 金属液态成形的方法 .....	147
6.1.3 液态合金的收缩 .....	140	6.2.1 砂型铸造 .....	147
6.1.4 铸件中的缩孔和缩松 .....	141	6.2.2 特种铸造 .....	152
6.1.5 铸造应力、铸件的变形 .....		6.3 金属液态成形件的工艺设计 .....	158

6.3.1 浇注位置与分型面的选择 .....	158	7.5.2 超塑性成形/扩散连接技术 .....	205
6.3.2 工艺参数的选择 .....	161	7.5.3 半固态模锻 .....	206
6.3.3 工艺设计举例 .....	162	7.5.4 粉末锻造 .....	207
6.4 金属液态成形件的结构设计 .....	163	7.5.5 高能率成形 .....	207
6.4.1 铸造性能对铸件结构设计的要求 .....	163	7.5.6 计算机在塑性成形中的应用 .....	208
6.4.2 铸造成形工艺对铸件结构的要求 .....	165	复习思考题 .....	209
6.4.3 铸造成形方法对铸件结构的要求 .....	167	<b>第8章 材料连接成形技术</b> .....	212
6.5 金属液态成形技术的新发展 .....	168	8.1 焊接成形原理 .....	212
6.5.1 造型新技术 .....	168	8.1.1 焊接热源 .....	212
6.5.2 液态成形新技术 .....	169	8.1.2 焊接冶金特点 .....	212
6.5.3 计算机在铸造中的应用 .....	171	8.1.3 焊接材料 .....	213
复习思考题 .....	171	8.1.4 焊接接头的组织和性能 .....	214
<b>第7章 金属塑性成形技术</b> .....	174	8.1.5 焊接应力与变形 .....	215
7.1 金属塑性成形原理 .....	174	8.2 连接成形方法 .....	218
7.1.1 塑性变形的机理 .....	174	8.2.1 熔化焊 .....	218
7.1.2 金属冷塑性变形后的组织与性能 .....	175	8.2.2 压力焊 .....	221
7.1.3 金属热变形后的组织与性能 .....	176	8.2.3 钎焊 .....	223
7.1.4 材料塑性成形性能及影响因素 .....	177	8.2.4 铆接 .....	224
7.2 金属塑性成形方法 .....	179	8.2.5 胶接 .....	225
7.2.1 自由锻造 .....	179	8.3 常用材料的连接 .....	227
7.2.2 模型锻造 .....	180	8.3.1 金属材料的焊接 .....	227
7.2.3 胎模锻 .....	185	8.3.2 塑料的连接 .....	230
7.2.4 薄板冲压成形工艺 .....	185	8.3.3 异种材料的连接 .....	232
7.2.5 拉拔、挤压与轧制工艺简介 .....	191	8.4 焊接件的工艺设计 .....	233
7.3 金属塑性成形件的工艺设计 .....	194	8.4.1 焊接工艺分析 .....	233
7.3.1 自由锻造工艺规程的制订 .....	194	8.4.2 焊接工艺评定 .....	233
7.3.2 模型锻造工艺规程的制订 .....	196	8.5 焊接件的结构设计 .....	234
7.3.3 板料冲压成形工艺规程的制订 .....	200	8.5.1 焊接结构件材料的选择 .....	234
7.4 金属塑性成形件的结构设计 .....	201	8.5.2 焊接工艺方法的选择 .....	235
7.4.1 自由锻件的结构设计 .....	201	8.5.3 焊接接头及其表示 .....	235
7.4.2 模锻件的结构设计 .....	202	8.5.4 焊缝结构的合理设计 .....	237
7.4.3 冲压件的结构设计 .....	203	8.6 焊接技术的新发展 .....	241
7.5 塑性成形技术的新发展 .....	204	8.6.1 激光焊接 .....	241
7.5.1 精密模锻 .....	205	8.6.2 电子束焊 .....	242
		8.6.3 扩散焊接 .....	242
		8.6.4 超声波焊 .....	242
		8.6.5 等离子弧焊接与切割 .....	242
		8.6.6 摩擦焊的发展 .....	243
		8.6.7 微连接技术 .....	244
		8.6.8 焊接过程自动化技术 .....	245
		复习思考题 .....	245

<b>第 9 章 非金属材料成形</b> .....	247	10.1.1 快速成形原理 .....	277
9.1 高分子材料的成形 .....	247	10.1.2 快速成形的工艺过程 .....	278
9.1.1 塑料的成形 .....	247	10.1.3 快速成形技术的特征 .....	279
9.1.2 橡胶制品的成形 .....	256	<b>10.2 几种典型快速成形工艺</b> .....	279
9.2 陶瓷制品的成形 .....	258	10.2.1 立体光固化成形 .....	279
9.2.1 陶瓷成形基础 .....	258	10.2.2 选择性激光烧结 .....	280
9.2.2 陶瓷成形方法 .....	259	10.2.3 分层实体制造 .....	281
9.3 复合材料的成形 .....	262	10.2.4 熔融沉积成形 .....	281
9.3.1 树脂基复合材料的成形 .....	262	10.2.5 三维印刷 .....	281
9.3.2 金属基复合材料的成形 .....	264	<b>10.3 快速成形技术在工程中的</b>	
9.3.3 陶瓷基复合材料的成形 .....	264	应用 .....	283
9.4 非金属材料成形技术的		复习思考题 .....	284
新发展 .....	266	<b>第 11 章 工程材料及成形方法的选择</b> .....	285
9.4.1 高分子材料成形技术的		11.1 工程材料的选择 .....	285
新发展 .....	266	11.1.1 工程材料选择的基本原则 .....	285
9.4.2 陶瓷成形技术的新发展 .....	267	11.1.2 选材的方法步骤 .....	291
9.4.3 复合材料制造技术的新发展 .....	268	11.1.3 典型零件材料选择举例 .....	292
*9.5 塑料模具设计基础 .....	269	<b>11.2 成形方法的选择</b> .....	297
9.5.1 注射成形模具设计基础 .....	269	11.2.1 成形方法选择的原则 .....	297
9.5.2 挤出成形模具设计基础 .....	274	11.2.2 常用成形方法及其特点 .....	299
复习思考题 .....	276	11.2.3 典型零件成形方法选择	
<b>第 10 章 快速成形技术</b> .....	277	实例 .....	303
10.1 快速成形技术的原理及特征 .....	277	复习思考题 .....	308
<b>附录 1</b> .....	309		
<b>附录 2</b> .....	310		
<b>附录 3</b> .....	311		
<b>参考文献</b> .....	312		

# 绪 论

## 0.1 工程材料及成形技术在制造业中的地位与作用

制造业是工业经济时代国民经济增长的“发动机”。纵观英国、美国、日本等发达国家的经济高速发展进程,发挥关键作用的就是制造业。目前,制造业仍然在国民经济中占有十分重要的地位。21世纪世界各发达国家经济上的竞争主要还是制造技术的竞争,而制造技术的提高离不开工程材料的发展和成形技术的进步。

众所周知,材料是人类文明、社会进步的物质基础,材料的更新与发展促进了人类社会的进步。先进材料是工业革命的先导,是一个国家综合国力的重要标志。一种新材料的出现和应用,孕育着一项新技术的诞生,甚至导致一个领域的技术革命,从而大大加速社会的发展进程,并给社会生产和人们的生活带来巨大的变化。例如:18、19世纪钢铁材料的大规模使用,促进了机械制造业的飞速发展。进入20世纪以后,硅半导体材料的工业化生产以及低损耗光纤技术的进步,使人类进入信息时代、网络时代。

现代工程材料,按组成特点可分为金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料、复合材料等;按使用功能可分为结构材料 and 功能材料(如生物材料、智能材料、生态环境材料、信息功能材料、能源材料)等。本课程介绍的工程材料主要是结构材料,即用于机械、车辆、建筑、船舶、化工、能源、仪器仪表、航空航天等工程领域中制造工程构件和机械零件,也包括那些用于制造工具和具有特殊性能(如耐蚀、耐高温等)的材料。这些工程材料都是制造业发展的重要物质基础。因为在各种装备研制过程中,材料本身的性质是装备中各种零部件使用性能达到其设计要求的基本保证,而且越是先进的装备对材料性能的要求也越高。高性能的装备需要先进的工程材料作为基础。据估算,燃气涡轮发动机效率与性能的提高大约有50%来自材料的改进;飞机性能的提高,材料的贡献所占比例达2/3左右;宇航技术中材料的影响更大。汽车每减重100 kg,每升油就多行驶0.5 km。也正是因为材料在各种装备研究制造过程中的基础与支撑作用,各国在制定国家科技与产业发展计划时,都将新材料开发列为优先发展的关键技术,予以重视。

成形技术是制造业发展的关键技术。材料只有经过各种加工,包括材料的成形加工、改性处理等,最终形成产品,才能体现其功能和价值。任何装备都是由不同形状的零部件组成的,成形技术就是要直接改变原材料使之成为具有一定形状、尺寸和性能的各种零部件,以满足使用要求。因此,材料成形技术不仅要研究如何使材料获得所需的形状尺寸,也包括如何通过过程控制获得一定的化学成分、组织结构和性能,从而保证机器零部件使用的安全可靠、寿命长和效能高等。也就是说,材料成形技术是制造业中获得高质量、低成本产品的中心环节,是制造业发展的关键技术。

材料的选用与其成形技术是紧密相关的。新材料的出现,必将导致材料成形技术自身的进

步与变革,包括全新加工方法与工艺的获得和传统加工方法的改进与工序的综合等,从而促进制造业的发展。而成形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。例如燃气轮机的叶片,工作温度越高,其推重比越大。当使用高温合金制造时,采用锻造成形;随着发动机工作温度的提高,要求叶片合金的热强性能进一步提高,但在优化高温合金成分设计、提高材料高温强度的同时,材料塑性变形的性能下降,甚至不能变形,于是改用熔模精密铸造工艺制作叶片。20世纪70年代之后,由于定向凝固技术和单晶合金的出现,导致高温合金进入一个崭新的发展阶段,使得所有国家的新型发动机几乎无一例外地选用铸造高温合金制作在最高温区工作的叶片。加之合金化理论和热处理工艺的突破,单晶合金进入了一个蓬勃发展的时期,相继出现了承温能力分别提高约 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的第一代、第二代、第三代单晶合金,目前已有第四代单晶合金,并能铸出多道冷却孔的叶片,加上热障涂层的应用,改进了冷却技术。经历了半个多世纪的发展,使航空发动机的涡轮进口温度从20世纪40年代的 $730\text{ }^{\circ}\text{C}$ 提高到如今的 $1\ 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,推重比从大约3提高到10以上。涡轮叶片发展的实践证明,铸造高温合金的发展不仅要有优化的合金设计,也离不开成形技术的进步。材料制备与成形技术的发展是获得高性能、低成本材料的保证,新科技及新材料的出现也促使了材料成形加工技术的进一步发展与深刻变革。总之,材料的选用与成形技术是密切相关的,其发展是相辅相成的。同时,材料与成形技术的进步,又直接推动着制造业的发展。

## 0.2 工程材料及成形技术的发展

### 0.2.1 工程材料的发展及应用

耐高温、高比强度、高比刚度等是结构材料发展的永恒主题。21世纪,新型材料将进一步沿着高强、高韧、轻质、耐高温、耐低温、抗腐蚀、耐磨损、抗辐射以及低成本、结构功能一体化等方向发展,同时趋向于材料先进制备、成形技术与装备、材料设计与评价技术的综合发展。

#### (1) 金属材料

金属材料具有其他材料体系不可能完全替代的独特性质和使用性能,如具有比高分子材料高得多的弹性模量,比陶瓷材料高得多的韧性、磁性和导电性,以及成熟的工艺和广泛的应用,在新材料发展中仍占有重要地位。其发展一方面是不不断推陈出新,向极限挑战,另一方面是不不断开发金属与非金属相互渗透的新型复合材料及其他新型材料。例如:在航天航空、原子能、深海潜艇等领域应用的高强韧化金属材料(如超高强度钢、高强度铝合金、高强度钛合金等),在制造工具和耐磨材料等方面应用的高硬度、高耐磨性、耐高温、抗氧化的硬质合金和金属陶瓷(金属与陶瓷的复合材料)等,在飞机等涡轮发动机使用的高温合金(如镍基高温合金、金属基复合材料以及金属间化合物等)。还有采用快速凝固技术制造的非晶态金属(又称金属玻璃),其具有超耐腐蚀性、高磁导率、恒弹性、高强韧性、低热膨胀系数、高磁致伸缩性等。此外,具有吸氢特性的储氢合金、形状记忆合金、纳米金属材料、智能金属材料等,在21世纪都有很大的发展空间。

#### (2) 工程塑料

工程塑料的发展是在高分子聚集态界面物理及化学研究不断取得新进展的理论指导下,在双螺杆挤出设备及工艺不断创新提供的先进加工手段的推动下,极大地促进了工程塑料通过共混改性合金化的过程,开发出很多的新品种,满足了高新技术对工程塑料品种及性能愈来愈高的

要求。工程塑料一般具有相对密度小(仅为1.0~2.0)、可加工性好、耐腐蚀性强、自润滑性好、易着色、易与各种纤维及各种填料复合、优良的电绝缘性和隔热性以及成本低等优点。但工程塑料耐热性差、易软化与老化、机械强度低、尺寸稳定性差。工程塑料的发展方向仍然是通过聚合物的改性,包括纳米材料的应用,及与其他塑料的合金化,开发高性能低成本的新品种,尤其是高附加值特种工程塑料的研究与开发,复合材料用高性能基体树脂的研究与开发,以及塑料废弃物的有效回收与利用等。

### (3) 陶瓷材料

陶瓷材料包括普通陶瓷和特种陶瓷(又称先进陶瓷)。普通陶瓷主要有日用瓷器和建筑瓷器,工业上应用的主要是特种陶瓷。特种陶瓷有结构陶瓷、陶瓷基复合材料和功能陶瓷等,是现代材料科学发展最活跃的领域之一。结构陶瓷具有优异的高温力学性能,耐化学腐蚀、耐高温氧化、耐磨损、比重小,因而可用于替代昂贵的超高合金钢制造发动机气缸套、轴瓦、密封圈、陶瓷切削刀具等。陶瓷基复合材料有氧化锆相变增韧和陶瓷纤维强化复合材料等,主要是为了改善陶瓷的韧性。功能陶瓷有电子陶瓷、电介质陶瓷、光学陶瓷、磁性陶瓷、敏感陶瓷等。

特种陶瓷的研究发展主要围绕其脆性大、粉体制备、陶瓷加工工艺复杂和成本高等主要弱点展开。如为进一步提高强韧化而进行的陶瓷与陶瓷或陶瓷与其他材料的复合,高质量陶瓷超细粉体的低成本规模化生产技术的研究,材料设计、粉料合成技术、检测技术、成形烧结与加工技术及相关设备等方面的基础研究和工艺方法的改进,以及在新型结构陶瓷、生物陶瓷和其他功能陶瓷材料方面的研究。

### (4) 复合材料

复合材料是由两种或多种不同类型、不同性质、不同相材料,运用适当的方法,将其组合成具有整体结构、优异综合性能的一类新型材料体系。它可以发挥材料各自的优点,克服单一材料的缺陷,而且还可出现原来单一材料本身所不具备的性能,从而成为当代军事技术、航空航天、武器装备、信息技术、能源工程、海洋工程、生物工程乃至民用建筑、交通运输、文化娱乐和日常生活等不可缺少的材料之一,近几年更是得到了飞速发展。

现代复合材料按基体成分分类,可分为树脂基复合材料、碳/碳(C/C)复合材料、陶瓷基复合材料、金属基复合材料等,采用的增强体有颗粒、晶须、纤维(长纤维和短纤维)和各种纳米单元等。树脂基复合材料的成形工艺方法较多,在复合材料中应用范围最广,用量最大。C/C复合材料已在航天、航空和热防护中取得了较为广泛的应用,其制造工艺也趋于成熟,属于发展前景十分光明的高级复合材料。陶瓷基复合材料经过添加增强材料,有效地解决了陶瓷脆性大的弱点,为今后材料应用范围的扩展打下了基础。金属基复合材料目前仍处于发展阶段。纳米复合材料是近几年发展起来的高新材料,0-3类复合材料(即用纳米粉体改性传统材料)已从实验室进入初步应用阶段,某些品种已批量生产。现代复合材料的新发展仍然是:复合增强理论的研究(涉及基体与增强体性能以及它们的结合界面状况等)、复合材料制造工艺的发展及研究开发高性能低成本的复合材料等。

由于复合材料的研究涉及数学、物理、化学、力学、生物、金属材料、高分子材料、无机非金属材料、机械、电子学等多学科的基础与专业知识,是一门多学科交叉的综合性科学,因此各学科的新理论、新技术、新工艺的发展都会对复合材料的发展产生影响。

## 2. 材料成形技术的发展

21 世纪的制造业已成为集机械、电子、光学、信息科学、材料科学、生物科学、激光学及管理学的最新成果为一体的新兴技术与新兴工业。因此,现代成形技术也成为集多种学科为一体的综合技术,成为代表一个国家制造技术水平的重要方面。现代材料成形技术的发展主要体现在以下几个方面:

1) 材料成形技术的理论研究不断深入。如液态成形中金属凝固理论研究,建立起铸件冷却速度和晶粒度以及晶粒度和力学性能之间的函数关系,为控制铸造成形工艺参数和铸件力学性能创造了条件。塑性成形的理论研究找出其塑性加工中金属塑性变形和塑性流动的规律,为优化工艺参数,提高成形极限和产品质量提供理论依据。同时借助于弹塑性有限元和粘塑性有限元法的研究与发展,塑性加工过程的模拟得到较快的发展,促进了许多大型复杂形状零件的塑性加工工艺的进一步发展。

2) 轻量化及近净成形加工技术成为重要的发展趋势。如液态成形方法出现了新一代轿车发动机铝合金缸体的铸造成形新工艺,采用定向凝固技术,制造新型航空发动机的单晶空心叶片的熔模铸造新技术,用快速凝固技术直接形成非晶结构的固体及利用凝固技术制备复合材料等。在塑性成形技术中出现了如精密加工(精冲、精锻工艺)、超塑成形、液态模锻等新工艺。在连接成形技术中出现了如搅拌摩擦焊以及喷射沉积成形和隔热涂层技术等新工艺。

3) 现代技术对常规成形技术进行改造。如传统的铸、锻、焊、热处理和表面处理技术引进了计算机、真空和高能束等技术,被改造为高新技术,如多向模锻、真空热处理、激光焊接、焊接机器人的应用等。

4) 组合或复合成形工艺得到应用。如半固态成形技术、粉末冶金锻造、形变热处理、超塑成形与扩散连接组合、电弧与激光复合热源焊接等。

5) 计算机及信息技术等在成形技术中得到广泛应用。如液态金属凝固过程的数值模拟可优化工艺方案,对于大型复杂形状或贵重材料铸件的生产,其优越性和经济效益尤为突出,同时还促进了凝固理论的发展。材料成形过程不仅采用计算机数值模拟来优化工艺,提高产品质量,同时采用 CAD/CAE/CAM 系统一体化完成产品或模具的设计与制造过程。计算机及信息技术的大量应用,使成形工艺逐步向柔性化和集成化方向发展,如柔性的铸造生产线、锻造生产线、冲压生产线和焊接生产线等,实现质量控制向控制过程智能化方向发展。

6) 实现材料制备、成形加工工艺、产品一体化。如利用复合材料的可设计性和可控制性,根据产品的使用条件和性能要求自配材料和设计制造工艺,直接生产所需的零件,还有梯度材料的设计与制造,纳米材料成形的研究与开发等。

总之,在 21 世纪工程材料将继续沿着高性能化、复合化、更强的功能化、实用化方向发展。材料成形技术将沿着精密、优质、复合、快速、绿色和信息化的方向发展。而且成形方式除了传统的去除加工成形,还出现了堆积加工成形等新型加工方式,促进了材料成形技术的进步与发展。

### 0.3 本课程的特点及教学要求

工程材料及成形技术是机械类和近机类专业学生的一门必修的综合性技术基础课程。本课程是从工程材料的应用角度出发,阐明工程材料的基本理论及其成分、组织结构、性能与加工工艺之间的关系,介绍常用工程材料与成形工艺及应用等基本知识。本课程的一个特点是涵盖的



知识面广,且融入了材料科学、机械、电子、信息、管理学等多学科的最新知识,体现了多学科的交叉与渗透;另一特点是实践性强,与工程训练或金工实习紧密结合,使学生了解材料及制造技术的发展和现代制造行业的组织结构与运行模式,即能对机械制造全过程有一定的了解。因此,在培养学生的工程意识、创新意识、运用规范的工程语言和解决工程实际问题的能力方面,本课程具有其他课程难以替代的作用。

本课程的主要内容包括如下几个方面:

- 1) 工程材料的主要性能。
- 2) 金属材料的结构、组织和性能以及它们之间的关系,金属材料的改性处理,常用金属材料及其应用。
- 3) 非金属材料及复合材料的组成特点、应用及其成形技术。
- 4) 液态成形、塑性成形、焊接成形工艺的基本理论、基本方法、工艺设计和结构设计。
- 5) 新材料及新成形技术的介绍。
- 6) 工程材料及成形方法的选择。

通过本课程的学习,在掌握工程材料的基本理论及基本知识的基础上,使学生初步具备根据零件的使用条件和性能要求合理选用工程材料的能力;根据所选的材料合理设计零件结构和制订零件工艺路线的能力;使学生通过理论与实践的联系,培养分析工艺问题的初步能力;通过了解现代工程材料及成形技术的发展趋势,了解现代材料科学、先进制造技术、信息技术及现代管理科学等多学科的交叉与渗透对本学科发展的影响,不断拓宽知识面,提高创新能力。

在本课程的学习过程中,学生要注意材料的成分和组织。材料性质、材料的成形工艺与最终成形为产品的使用性能之间存在着密切联系。不仅材料成分和组织的变化会引起材料性能、成形工艺与产品最终性能的改变,即使是同一材料,采用不同成形工艺制造的产品,其性能也可能有很大的差异。因此,应通过分析比较充分认识几个因素间的内在联系及变化规律。其次,本课程以大学物理、工程图学、工程力学以及工程训练(或金工实习)为基础,在学习过程中要联系上述课程和教学环节的有关内容,以加深对本课程的理解。其三,针对本课程实践性强的特点,在学习本课程基本理论和基本知识的同时,要密切联系实际,加强实验与实践。也只有这样才能真正培养上述能力。