

(第2版)

工程材料与成形技术基础

GONGCHENG CAILIAO
YU CHENGXING JISHU JICHU

王少刚 主编

郑勇 汪涛 副主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

高等院校   教材

工程材料与成形技术基础

(第2版)

王少刚 主 编
郑 勇 汪 涛 副主编

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

“工程材料与成形技术基础”是高等工科院校机械类或近机械类各专业学生必修的一门重要专业技术基础课。本书内容包含工程材料与成形工艺基础两大部分。工程材料部分的主要任务是阐述各种常用工程材料的化学成分、金属热处理原理与工艺、组织结构、使用性能及实际应用等方面的基础理论和基本知识,为机械零件及工程结构等的设计、制造和正确使用提供有关合理选材、用材的必要理论指导和实际帮助。材料成形工艺部分的主要任务是讲述金属机件成形工艺,包括金属材料铸造、压力加工和焊接生产过程的基本原理、材料的热加工工艺性能、各种热加工工艺的特点和适用范围、机械零件的结构工艺性等知识。此外,为了适应经济与社会发展,拓宽学生的知识面,教材中有意识地增加了部分先进的材料成形工艺简介方面知识,具有一定的时代特色。

本书可作为高等工科院校机械类及机电类专业本科生使用教材,可也供有关工程技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料与成形技术基础 / 王少刚主编. —2版.

—北京:国防工业出版社,2016.6

ISBN 978-7-118-10826-2

I. ①工… II. ①王… 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 167297 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 22 字数 506 千字

2016 年 6 月第 2 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 46.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

第2版前言

本教材自2008年2月出版至今,已有8届学生使用,对培养学生的工程实践和创新能力起到了较大作用。材料科学与工程技术发展日新月异,新材料、新技术和新工艺不断涌现,近年来取得了一批与工程材料和成形工艺技术有关的新成果;此外,国家有关部门适时对材料牌号及材料力学性能试验颁布了新的标准。为了更好地顺应时代潮流、与时俱进,本教材的编写人员在原教材的基础上,针对教学和使用过程中遇到的问题进行了认真细致的研讨,多次征求授课教师和学生的意见和建议,对原教材体系和内容进行了全面修订,以更加符合教学实际,遵循教育教学规律,为培养学生的创新设计能力、实践能力、工程应用能力等起到应有的作用。

教材的修订编写紧紧围绕专业培养目标要求,通过整体优化教材的知识体系和内在的逻辑联系,对教材的知识点和内容进行了适当整合和精炼,注重培养学生分析和解决实际问题的能力,真正体现“知识、素质、能力”协调发展。与第1版相比,第2版主要进行了以下几方面比较大的修订:①材料的拉伸试验、硬度试验和冲击试验采用新标准;②对材料牌号进行了更新,包括不锈钢、耐热钢和镁合金等;③对原教材中的晶向指数与晶面指数、硬质合金简介、压力加工的理论基础和焊接成形理论基础中的部分内容等进行了适当删减;④补充了铸件结构工艺性一节和铝合金的热处理部分。

本教材的适用对象为高等工科院校材料类、机械类、能源动力类、航空航天类、工业管理工程类专业本科生。教材编写人员努力结合实际,力争把枯燥的理论知识转化为浅显易懂的实践知识,以知识应用为根本,以强化专业基础为导向,坚持以人为本、因材施教的原则,既考虑学习基础好、能力强、学有余力的学生学习,同时又兼顾基础一般学生的学习。对于不同专业的学生,在教学过程中可根据需要对教材内容进行适当选择,力争做到理论与实践、教学与应用的有机统一。

尽管在第2版的修订编写过程中,参编人员付出了许多辛勤劳动,但由于各种各样的原因,加上教材编写人员的水平有限,书中不足在所难免,敬请广大读者提出宝贵的意见和建议。

编者

2015年12月

第 1 版前言

本书是根据教育部机械类及相关专业对该课程的教学要求,结合学校相关专业的实际需要,并充分考虑该课程的教学规律以及学生的学习特点、规律编写而成的。

“工程材料与成形技术基础”是材料类、机械类、能源动力类、航空航天类、工业管理工程类专业一门重要的专业技术基础课。随着科学技术的不断发展,各种新材料、新工艺不断涌现,此外,为了与国际接轨,国家有关部门对一些材料的牌号标准进行了多次修订和补充。基于这种情况,组织编写一本具有国防特色、适应本科专业教学的材料及成形工艺教材就成为急需。

本书在编写过程中,始终贯穿一条主线,即材料的组成—结构—性能—应用,为了保持教材内容的先进性,书中既吸纳了多年的教学改革成果,又融入了最新的科研成果,尤其强调教材的系统性、科学性、先进性和实践性,给学有余力的同学预留了较大的学习空间,增加了部分拓展内容,教师在教学过程中可根据专业需要对相关内容进行取舍,书中全面贯彻最新的国家标准。此外,为了学生便于复习,全书每章中均进行了总结,给出了相关的一些重要概念和内容提要以及一定量的复习思考题,有利于学生理清思路,把握重点和难点。

本书由长期讲授“工程材料学”“工程材料与热加工基础”和“热加工工艺基础”等本科生课程的教师编写。在长期的教学和科研工作中,他们积累了丰富的教学经验,充分发挥了每位教师的教学科研专长,力求做到理论联系实际,充分体现目前教育教学改革提出的“厚基础、宽口径、强能力、高素质”培养目标要求,全书在注重知识性、实用性以及结构完整性的同时,考虑到学科的发展,补充了工程材料及材料成形工艺方面的新技术、新工艺,有利于培养学生的创新思维和工程意识,以提高学生的分析问题和解决问题的能力。

本书由南京航空航天大学材料科学与技术学院王少刚任主编,由南京工业大学材料科学与工程学院马立群教授主审。参加本教材编写的人员有王少刚(绪论和第 11 章)、郑勇(第 1 章)、汪涛(第 2 章)、潘蕾(第 3 章和第 8 章第 3 节)、顾冰芳(第 4 章和第 6 章)、陈铭(第 5 章)、刘子利(第 7 章和第 9 章)、苏新清(第 8 章第 1 节和第 2 节)、陈明和(第 10 章)、冯晓梅(第 12 章)。在全书统稿过程中得到了封小松博士的大力支持,在此表示感谢!

本书在编写过程中,参阅并引用了国内外大量相关的文献、手册及教材,在此谨向原作者表示衷心的感谢!

由于教材编写时间仓促,加上编者水平有限,书中不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者

2007 年 12 月

目 录

绪论	1
第 1 章 工程材料及力学性能	6
1.1 工程材料的分类	6
1.2 工程材料的主要力学性能	8
1.2.1 单向静拉伸载荷下材料的力学性能	8
1.2.2 硬度	11
1.2.3 材料在冲击载荷下的力学性能	14
1.2.4 材料在疲劳载荷下的力学性能	15
1.2.5 材料的高温力学性能	17
1.2.6 断裂韧性	20
本章小结	21
思考题与习题	22
第 2 章 材料的微观结构	24
2.1 原子键合机制	24
2.2 金属晶体结构	26
2.2.1 晶体结构与空间点阵	26
2.2.2 常见金属的晶格类型	27
2.2.3 实际金属的晶体结构	30
2.2.4 晶体缺陷	30
2.3 合金的相结构	33
2.3.1 合金中的一些基本概念	33
2.3.2 合金中的基本相	33
本章小结	35
思考题与习题	35
第 3 章 金属的结晶、变形与再结晶	37
3.1 金属的结晶及铸件晶粒大小控制	37
3.1.1 冷却曲线及结晶一般过程	37
3.1.2 同素异构转变	39

3.2	塑性变形与再结晶	39
3.2.1	塑性变形方式及机制	40
3.2.2	塑性变形对金属组织与性能的影响	44
3.2.3	变形金属加热时的组织与性能	46
3.3	金属的热加工	47
3.3.1	热加工与冷加工的区别	47
3.3.2	热加工时组织和性能的变化	47
	本章小结	48
	思考题与习题	48
第4章	二元合金相图	51
4.1	二元合金相图的建立	51
4.2	二元合金相图的基本类型	52
4.3	相图与合金性能之间的关系	57
4.4	铁碳合金相图	59
	本章小结	68
	思考题与习题	69
第5章	金属热处理	71
5.1	钢的热处理原理	71
5.1.1	钢在加热时的组织转变	71
5.1.2	钢在冷却时的组织转变	73
5.2	钢的热处理工艺	77
5.2.1	退火与正火	77
5.2.2	淬火与回火	78
5.3	表面热处理	84
5.3.1	表面淬火	84
5.3.2	化学热处理	85
	本章小结	88
	思考题与习题	89
第6章	常用工程金属材料	91
6.1	铁碳合金	91
6.1.1	碳钢	91
6.1.2	铸铁	94
6.2	合金钢	103
6.2.1	概述	103
6.2.2	合金元素在钢中的主要作用	105
6.2.3	合金结构钢	108

6.2.4	合金工具钢	117
6.2.5	特殊性能钢	123
	本章小结	134
	思考题与习题	134
第7章	有色金属及其合金	136
7.1	铝及铝合金	136
7.1.1	纯铝的性能特点及应用	136
7.1.2	铝合金的分类及其合金元素的作用	137
7.1.3	铝合金的热处理	139
7.1.4	变形铝合金	140
7.1.5	铸造铝合金	142
7.2	镁及镁合金	145
7.2.1	纯镁的性质	145
7.2.2	镁的强化机制及其合金元素的作用	145
7.2.3	镁合金的分类	146
7.2.4	镁合金的性能特点及应用	148
7.3	钛及钛合金	149
7.3.1	纯钛的特性	150
7.3.2	钛合金的合金化及其分类	150
7.3.3	钛及钛合金的热处理	152
7.4	铜及铜合金	152
7.4.1	纯铜	153
7.4.2	黄铜	153
7.4.3	青铜	156
7.4.4	铍铜	158
	本章小结	158
	思考题与习题	159
第8章	常用非金属材料及复合材料	160
8.1	高分子材料	160
8.1.1	高分子化合物的基本概念	160
8.1.2	高分子材料的结构	160
8.1.3	高分子材料的性能特点	164
8.1.4	常用高分子材料简介	165
8.1.5	高分子材料的成形加工	168
8.2	陶瓷材料	170
8.2.1	陶瓷的概念及分类	170
8.2.2	陶瓷材料的物质结构和显微结构	171

8.2.3	陶瓷材料的性能特点	172
8.2.4	陶瓷的制备工艺	172
8.3	复合材料	173
8.3.1	复合材料的定义与分类	173
8.3.2	复合材料的性能特点	175
8.3.3	复合材料的成形工艺	176
8.3.4	常见复合材料及其应用	180
	本章小结	182
	思考题与习题	183
第9章	铸造	184
9.1	铸造工艺理论基础	184
9.1.1	铸造成形概述	184
9.1.2	铸造工艺基础	184
9.2	砂型铸造	194
9.2.1	造型与造芯方法	195
9.2.2	铸造工艺设计	199
9.2.3	铸造成形工艺设计示例	204
9.3	特种铸造	206
9.3.1	熔模铸造	206
9.3.2	金属型铸造	207
9.3.3	压力铸造	209
9.3.4	低压铸造	210
9.3.5	离心铸造	211
9.3.6	陶瓷型铸造	212
9.3.7	消失模铸造	213
9.3.8	磁型铸造	214
9.4	铸件结构工艺性	215
9.4.1	合金铸造性能对铸件结构工艺性的影响	215
9.4.2	铸造工艺对铸件结构工艺性的影响	220
9.4.3	机械加工对铸件结构工艺性的影响	221
9.4.4	铸造合金及热处理对结构工艺性的影响	222
9.5	液态成形新技术	223
9.5.1	悬浮铸造	223
9.5.2	半固态金属铸造	223
9.5.3	近终形状铸造	224
9.5.4	计算机数值模拟技术	225
	本章小结	226
	思考题与习题	226

第 10 章 压力加工	228
10.1 压力加工的理论基础	229
10.1.1 纤维组织与锻造比	229
10.1.2 金属的可锻性	230
10.1.3 金属塑性变形的基本定律	232
10.2 自由锻	233
10.2.1 自由锻的基本工序	233
10.2.2 自由锻工艺规程的制定	238
10.3 模锻	241
10.3.1 锤上模锻	242
10.3.2 压力机上模锻	248
10.3.3 胎模锻	251
10.4 板料冲压	252
10.4.1 分离工序	252
10.4.2 变形工序	255
10.4.3 冲模的分类和构造	259
10.5 锻件及冲压件的结构工艺性	261
10.5.1 锻件结构工艺性	261
10.5.2 冲压件结构工艺性	264
10.6 塑性成形新技术	266
10.6.1 超塑性成形	266
10.6.2 精密模锻	268
10.6.3 粉末热锻	269
10.6.4 板料激光成形技术	270
10.6.5 金属板料数控渐进成形技术	272
本章小结	274
思考题与习题	275
第 11 章 焊接	276
11.1 焊接成形理论基础	276
11.1.1 焊接的本质及焊接方法分类	276
11.1.2 焊接电弧	278
11.1.3 焊接冶金	279
11.1.4 焊接接头的组织与性能	281
11.1.5 焊接应力与焊接变形	282
11.1.6 焊接缺陷及接头质量检验	288
11.2 常用金属焊接方法	289
11.2.1 熔化焊	289

11.2.2	压力焊与钎焊	301
11.3	常用金属材料的焊接	304
11.3.1	金属焊接性	304
11.3.2	碳素钢的焊接	305
11.3.3	低合金钢的焊接	306
11.3.4	不锈钢的焊接	306
11.3.5	铸铁的补焊	307
11.3.6	有色金属的焊接	308
11.4	焊接结构工艺性	309
11.5	焊接成形新技术	314
11.5.1	计算机辅助焊接技术	315
11.5.2	焊接机器人	316
11.5.3	搅拌摩擦焊	316
11.5.4	激光-电弧复合热源焊接	317
11.5.5	数字化焊接电源	318
	本章小结	319
	思考题与习题	319
第 12 章	工程材料及毛坯成形方法选择	321
12.1	工程材料的选择	321
12.1.1	机械零件的失效分析	321
12.1.2	材料的选择原则及应用实例	324
12.2	毛坯成形方法选择	330
12.2.1	毛坯成形方法选择原则	330
12.2.2	毛坯的分类	333
12.2.3	毛坯成形选择应用实例	335
	本章小结	337
	思考题与习题	338
	参考文献	339

绪 论

1. 工程材料的发展及范围

材料是指用于制造人类生活和生产中有用器件的物质。历史学家根据生产工具所使用的材料来划分历史时代,即划分为石器、青铜器、铁器和新材料时代。材料科学与工程领域中的每一次重大发现,都会引起生产技术的革命,大大加速社会发展的历史进程,给社会生产和人们生活带来巨大变化,把人类物质文明向前推进。在石器时代,人类就懂得如何利用岩石、动物的骨骼和皮毛、贝壳、木材等材料来制作工具。人类使用金属材料的历史大约有6000年,我国早在公元前3200年到公元前2300年,就掌握了矿石炼铜、铜及青铜合金的精炼技术,并学会了采用铸造的方法来制造各种工具和武器,到商周时期形成了灿烂的商周青铜文化。在公元前600多年,我国就发明了生铁和铸铁技术,在战国时代中期,用铸铁制造的农具、手工工具取代了青铜器成为主要的生产工具,到汉代已有“先炼铁后炼钢”的技术,居世界领先地位。人类进入15世纪后,炼铁高炉在欧洲得到了迅速发展,炼钢技术在蒸汽机出现之后也得以快速发展。进入20世纪后半叶,各种新材料层出不穷,高分子材料、半导体材料、先进陶瓷材料和复合材料等被大量使用,材料的发展进入了丰富多彩的时代。

工业技术的飞速发展对材料的性能要求不断提高,促使了各类新材料和新技术不断出现,加速了材料领域的科技进步和变革。从20世纪70年代开始,材料、能源、信息成为现代文明的三大支柱,其中材料是社会进步的物质基础与先导,能源的开发输送与储存、信息的处理传播与存取都离不开材料。有学者形象地比喻:材料相当于人的骨骼,能源相当于人的血液,那么信息就是人的神经系统。新材料技术被称为“发明之母”和“产业粮食”。各种高新技术材料,如高性能金属材料、先进复合材料、特种陶瓷材料、新型高分子材料等都是未来工业发展必不可少的。这些材料都属于工程材料的研究对象和范围。

通常,一个国家使用的材料品种或数量的多寡已经被用于衡量其科学技术和经济发展水平的重要标志。新材料在国防建设和民用工业中的作用重大。无论是交通、能源、航空航天、通信信息、核工程、海洋工程、生物工程等领域都是建立在新材料开发的基础上的。例如,超纯硅、砷化镓研制成功,导致大规模和超大规模集成电路的诞生,使计算机运算速度从每秒几十万次提高到每秒百亿次以上;航空发动机材料的工作温度每提高 100°C ,推力可增大24%;隐身材料能吸收电磁波或降低武器装备的红外辐射,使敌方探测系统难以发现等。由于多种材料和多学科的交叉与融合,使材料的复合化成为发展新材料的一种重要手段。近年来,先进复合材料及其工艺技术发展很快,利用多种基体与增强体的复合、多种层次的复合以及利用非线性复合效应可以制备出高性能的材料。复合材料的最大特点是具有可设计性。碳-碳(C/C)复合材料是当今世界上最理想的耐高温先进复合材料(烧蚀材料),它是以碳或石墨作基体,用碳纤维或石墨纤维增强的一种特种工程材料,具有高强度、高刚性、尺寸稳定及良好的化学稳定性等优异性能,在航空航天和核反应堆等许多领域中应用广泛,

可用于制作飞机刹车盘、固体火箭发动机喷管喉道和喷嘴,高超声速飞行器头罩和前缘等。

与其他几种工程材料相比,金属材料的发展历史悠久,在目前的工业生产中仍是使用量大、面广的一类材料。为了进一步充分挖掘传统金属材料的性能,对于新型金属材料的研发,采用微合金化、添加变质剂、连铸连轧、快速凝固、非晶态、控制轧制、控制锻造、形变热处理、表面强化、超塑性和材料复合等技术手段,不断改进和提高现有金属材料的性能以及开发新型金属材料。基于需求牵引,近年来,钢铁材料的研究开发主要朝着强韧化、节能、低耗和满足某些特殊性能要求的方向发展。为了满足汽车轻量化的要求,研究开发了一系列使汽车减重的金属材料,在汽车配件生产中使用铝合金、镁合金、钛合金等有色轻金属作为选材,逐步替代常用的钢铁材料。在功能材料方面,新材料开发正朝着研制生产更小、更智能、多功能、环保型以及可定制的产品、元件等方向发展。由于纳米技术从根本上改变了材料和器件的制造方法,使得纳米材料在光、电、磁敏感性方面呈现出常规材料不具备的许多特性,在许多领域有着广阔的应用前景。超导材料在电动机、变压器和磁悬浮列车等领域有着巨大的市场,如用超导材料制造电机可增大极限输出量 20 倍,减轻质量 90%。在今后一段时期,新材料的发展将以新型功能材料、高性能结构材料和先进复合材料为重点。

从以上可以看出,材料的开发和利用与人类的生产生活密切相关,材料科学与工程领域研究的对象多、范围广。本课程中“工程材料”涉及的范围只是固体材料领域中有关工程结构、机械零件和工具制造,且主要要求力学性能的材料,研究这些材料的成分、内部结构、性能和应用之间的关系。

2. 材料成形技术及其发展趋势

材料成形技术是一门研究如何利用加热或加压的方法将材料加工成机器零件或零件毛坯,并研究如何保证、评估、提高这些部件和结构的安全可靠性和寿命的技术科学。传统意义上的材料成形技术一般包括铸造成形、锻压成形、焊接成形,随着非金属和复合材料的广泛使用,非金属材料成形等工艺技术也获得了快速发展。在大部分的材料成形过程中,材料除了发生几何尺寸的变化,还会发生成分、组织结构及性能的变化。因此,材料成形技术不仅包括一些获得材料形状和尺寸的工艺过程,如铸、锻、焊等,也包括保证材料组织和性能的热处理工艺。随着科学技术的发展,各种新材料和新工艺不断出现,新材料的开发在不断提高材料性能的同时,由传统的单一材料向复合型、多功能型方向发展,这必将推动材料成形技术的进步和变革。具体表现为:一方面,传统材料成形技术的不断改进;另一方面,不断研究开发新的材料成形技术和工艺,朝着综合化、高精度、高质量、柔性化的方向发展。

由于材料成形技术向精密化、高质量方向发展,要生产高精度的产品,就要对成形过程进行准确控制,对整个系统进行优化。计算机技术为成形过程的综合控制提供了可能。利用计算机对材料成形过程进行模拟分析,可以对结晶过程、温度分布、应力场、金属变形流动过程、组织变化等进行控制和预测,最大限度地对产品质量进行全面控制,从局部到全局对生产过程进行优化。目前,尽管各种材料成形新技术、新工艺应运而生,新的制造理念不断形成,但是,铸造、锻压、焊接、热处理及机械加工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,通过采用各种技术手段对常规成形工艺不断改进和提高,以实现零件加工过程的高效化、精密化、轻量化、信息化和绿色化,具有很大的技术和经济意义。

在铸造领域,以强韧化、轻量化、精密化、高效化为目标,开发铸锭(铸件)新材料。例如,在铝合金铸件生产中,主要解决无污染、高效、操纵简便的精炼技术、变质技术、晶粒细化

技术和炉前快速检测技术,以充分发挥材料的潜能和提高材料的性能。快速成形(Rapid Prototyping, RP)是利用材料堆积法制造实物产品的一种高新技术。它根据产品的三维模型数据,不借助其他工具设备,迅速而精确地制造出该产品,集中体现在计算机辅助设计、数控、激光加工、新材料开发等多学科、多技术的综合应用。快速成形技术是现代制造技术中的一次重大突破。大力发展可视化铸造技术,推动铸造过程数值模拟技术 CAE(Computer Aided Engineering)向集成、虚拟、智能、实用化发展;开发基于特征化造型的铸造 CAD(Computer Aided Design)系统是铸造企业实现现代化生产工艺设计的基础和条件,新一代铸造 CAD 系统是一个集模拟分析、专家系统、人工智能于一体的集成化系统。采用真空熔炼浇注、炉外精炼、强化孕育变质、定向结晶、快速凝固及电磁搅拌等新型凝固技术,实现“近无缺陷成形与加工”。发展清洁(绿色)铸造技术,使生产全过程节能、降耗,产生的排放物无毒无害、数量少且最大限度再生利用。目前,3D 打印(Three Dimensional Printing)技术在各个行业领域应用广泛,3D 打印已可生产出的产品有:汽车、航空航天部件、机器部件、家用器具和玩具、砂型和砂芯、建筑物等。未来铸造技术的发展,产品需求上将呈现“品种多样性、结构复杂化、更新换代快”等特点,这就要求在铸造生产中采用先进的工艺及技术,3D 打印将在各种新型铸造工艺中大有用武之地。

在压力加工领域,通过与计算机的紧密结合,使数控加工、激光成形、人工智能、材料科学和集成制造等一系列与压力加工相关联的技术飞速发展。现代压力加工技术的发展趋势是:提高锻件的性能和质量;实现少、无切屑加工和污染,做到清洁生产;利用 IT 技术,发展高柔性和高效率的自动化压力加工设备,提高零件的生产效率,降低生产成本。塑性成形技术将以新材料、新能源、新介质以及计算机、信息、电子、控制技术等为依托,发展方向将更加突出“精、省、净”的需求。具体表现在:激光、电磁场、超声波和微波等新能源的应用为压力加工提供了新方法,出现了激光热应力成形、激光冲压成形、电磁成形、超声塑性成形、爆炸焊接—轧制成形等;液体、气体等新介质在塑性加工中的使用产生了新的成形技术。液压成形技术、气压成形技术主要有热态金属气压成形(Hot Metal Gas Forming, HMGF)和快速塑性成形(Quick Plastic Forming, QPF)技术、黏性介质压力成形、喷丸成形等;基于不同加载方式的塑性成形新技术,近年提出的无模多点成形和数控渐进成形,结合现代控制技术,可实现板材三维曲面的无模化生产与柔性制造。从成形过程来看,材料设计、制备、成形与加工的一体化,使各个环节的关联越来越紧密。例如,金属半固态加工、连续铸挤、连续铸轧、粉末冶金塑性成形新技术、爆炸焊接或扩散焊接后进行塑性加工、复合材料塑性成形新技术等都体现了多学科与多种技术综合的特点。随着新材料的不断出现及对成形技术要求的不断提高,未来压力加工技术将朝着构件轻量化、柔性化、低载荷与节能化、复合化成形的方向发展。

在焊接领域,焊接设备向数字化、智能化、机械化、自动化方向发展,与之相对应的焊接技术呈现智慧焊接、精准焊接、环保焊接、高效焊接发展的趋势。自从 20 世纪 90 年代末奥地利 Fronius 全数字化焊机进入中国市场,数字化焊机的发展引起了广泛关注。采用数字化控制技术的焊接电源已不再是单纯的焊接能量提供源,还具有数字操作系统平台、焊接参数动态自适应调整、过程稳定质量的评定、保护及自诊断提示等功能,焊接电源实际上已拓宽为焊接电源系统。此外,焊接机器人技术(Welding Robotic Technology)的开发和利用不断扩大。随着机器人控制速度和精度的提高,尤其是电弧传感器的开发并在机器人焊接中得到

应用,使机器人电弧焊的焊缝轨迹跟踪和控制问题在一定程度上得到较好解决,焊接机器人应用从原来较为单一的装配点焊发展为零部件和装配过程中的电弧焊。机器人电弧焊的最大特点是柔性,具有6个自由度的机器人可以保证焊枪的任意空间轨迹和姿态,适合于被焊工件的品种变化大、焊缝短而多、形状复杂的产品。搅拌摩擦焊(Friction Stir Welding,FSW)不会产生与熔化有关的如裂纹、气孔及合金元素的烧损等焊接缺陷,焊接过程中不需要填充材料和保护气体,使得以往采用传统熔焊方法无法实现焊接的材料通过搅拌摩擦焊技术得以实现连接,是一种经济、高效、绿色的焊接技术,被誉为“继激光焊后又一次革命性的焊接技术”。激光-电弧复合焊技术,综合了激光和电弧的优点,将激光的高能量密度和电弧的较大加热区组合起来,同时通过激光与电弧的相互作用来改善激光能量的耦合现象(焊件表面受能量激发产生的等离子体吸收光子能量,使到达焊缝的能量减少),提高了电弧的稳定性。激光-电弧复合焊在航空航天、汽车、造船等领域中应用广泛。

进入21世纪,材料(零件)的精密成形技术得到了快速发展。精密成形技术是指零件成形后仅需少量加工或不再加工就可用作机械构件的近净成形技术(Near-Net Shape Forming)或净成形技术(Net-Shape Forming)。它是建立在新材料、新能源、信息技术、自动化技术等多学科综合的基础上,改造传统的毛坯成形技术,使之成为优质、高效、高精度、轻量化、低成本、绿色的成形技术。精密成形技术对于提高产品精度、缩短产品交货期、减少切削加工和降低生产成本均具有重要的经济和技术意义。近年来,精密铸造、精密压力加工与精密焊接技术都取得了突飞猛进的发展。在精密铸造方面,熔模精密铸造、陶瓷型精密铸造、金属型铸造和消失模铸造等技术得到了重点发展,使铸件质量大大提高;在精密压力加工方面,精冲技术、超塑性成形技术、冷挤压技术、成形轧制、无飞边热模锻技术、温锻技术、多向模锻技术的发展很快;在精密焊接方面,电子束焊接、激光焊接、激光切割、脉冲电阻焊接技术和感应钎焊技术的发展十分迅速。此外,在粉末冶金和塑料加工方面,金属粉末超塑性成形、粉末注射成形、粉末喷射和喷涂成形以及塑料注射成形中的气体辅助技术和热流道技术,大大扩展了现代精密成形技术的应用范围。目前,各种精密成形技术已经在航空航天、汽车和家电等行业中得到了广泛应用,并取得了显著的经济和社会效益。

3. 本课程的性质、任务及教学要求

“工程材料与成形技术基础”是高等工科院校材料类、机械类、能源动力类和航空航天类专业学生必修的一门重要的专业技术基础课程,主要讲述常用工程材料及机械零件成形工艺方法,即从选择材料到毛坯或零件成形的综合性课程。本课程的主要内容包括:

(1)工程材料。材料的性能、组织结构、化学成分以及它们之间的关系和改变材料性能的方法;常用工程材料的分类、性能特点、应用及选材方法等。

(2)材料成形工艺基础。其主要包括液态成形(铸造)、塑性成形(压力加工)和连接成形(焊接)等各种成形技术的理论基础,材料成形过程中影响材料质量和制品性能的因素及缺陷形成原因,以及非金属材料 and 复合材料的性能特点和成形工艺简介。

通过本课程的学习,使学生对常用工程材料及材料成形过程和基本原理有较全面的了解;使学生真正建立起生产过程的基本知识,了解新材料的发展趋势,掌握现代制造和工艺方法,培养学生的工程素质、实践能力和创新设计能力。能从本质上认识和分析材料成形过程中遇到的实际问题和提出解决问题的途径;为今后学习具体零件或结构的工艺设计、其他制造成形技术的工艺方法、设备控制等课程,为开发新材料、新的成形工艺技术奠定坚实的

理论基础。

通过本课程学习,使学生达到以下基本要求:

- (1) 了解工程材料的发展、分类及其在现代工业生产中的重要作用。
- (2) 了解材料组成—结构—性能—应用之间的内在关系和规律,重点掌握材料的力学性能(强度、硬度、塑性和韧性等)、晶体结构(晶格类型和晶体缺陷等)、金属的结晶过程和塑性变形基本方式和规律。
- (3) 重点掌握铁-碳相图、金属的热处理原理与工艺以及各种常见强化金属材料的方式。
- (4) 熟悉各种常用工程材料的牌号、成分特点、热处理特点及其在实际生产中的应用范围,达到能够合理选择材料以及正确制定热处理工艺。
- (5) 了解和掌握铸造、压力加工和焊接成形的理论基础,各种常见成形工艺方法的原理、特点及其适用范围,达到能够在实际生产中合理选择毛坯成形工艺。

本教材适宜的学时数为 40~60 学时,部分内容可根据各专业不同培养要求作为选学内容。由于本课程内容较多,涉及面宽,知识点多、细、全,课程性质侧重叙述性,因此,要求教师在课堂讲述时,尽可能结合具体的工程应用实例进行讲述,避免过多地枯燥乏味讲授。同时应用多媒体辅助教学,特别是针对各种成形工艺过程,由于学时数少,许多设备的工作原理难以讲述清楚,因此应结合动画演示和教学录像片播放,可能会起到意想不到的效果。在教学过程中,关键是要调动学生学习的积极性和学习兴趣,让学生真正体会到该课程无论是在今后的专业学习还是在日常工作、生活当中都具有重要作用,使学生由被动学习转变为主动学习,同时布置适量的课外复习与思考题,往往会起到事半功倍的效果。

第 1 章 工程材料及力学性能

1.1 工程材料的分类

材料是人类生产活动和生活所必需的物质基础。材料的使用情况标志着人类文明的发展水平。因此,材料的研究和开发在世界各国都处于非常重要的地位。迄今为止,人类发现和使用的材料种类繁多。而工程材料主要是指用于机械、车辆、船舶、建筑、化工、能源、仪器仪表、航空航天等工程领域中的材料,用来制造工程构件和零件,也包括一些用于制造工具的材料和具有特殊性能(如耐腐蚀、耐高温等)的材料。

工程材料的种类多,应用广泛,分类方法也很多。通常根据材料的本性或其结合键的性质将工程材料分为金属材料、高分子材料、无机非金属材料 and 复合材料。按照化学组成又可将其进一步细分,如图 1-1 所示。

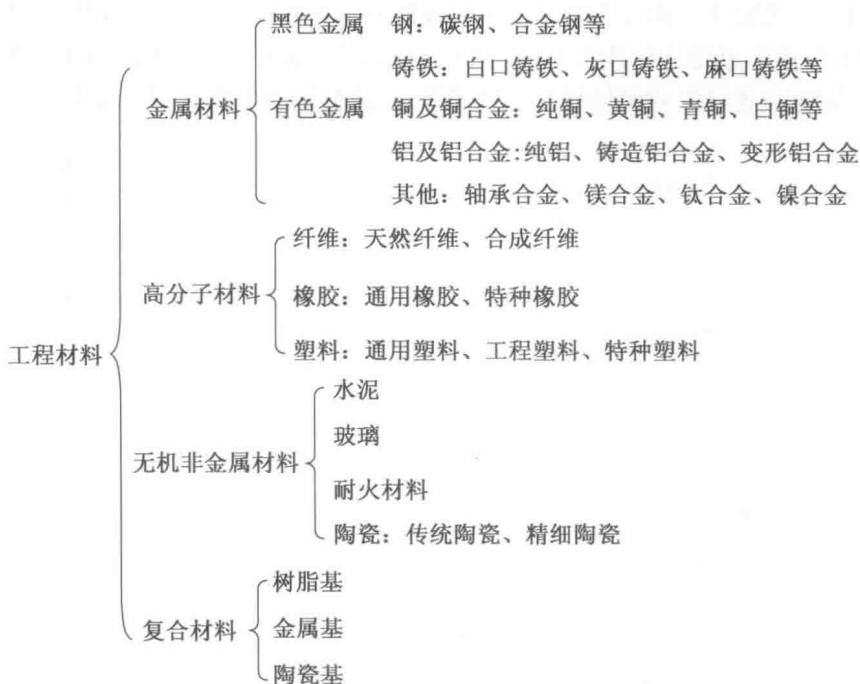


图 1-1 工程材料的分类

1. 金属材料

目前金属材料仍然是应用最广泛的材料。金属材料的结合键主要为金属键。金属键是无方向性的,将原子维持在一起的电子并不固定在一定的位置上。当金属发生弯曲等变形时,只是变动键的方向,并不使原有键发生破坏。因此,金属具有良好的塑性。在电