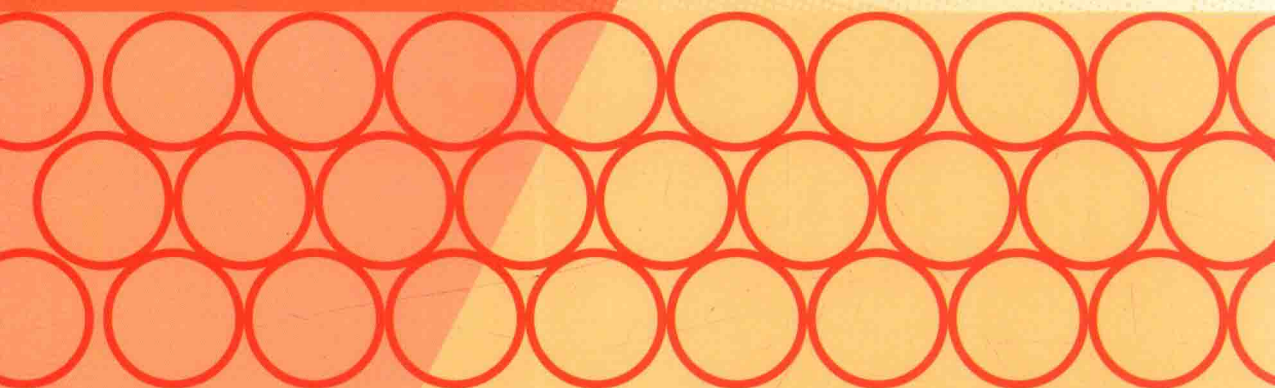


高等学校教材

# 工程材料与热成型

主编 赵越超 张兴元 盛光英



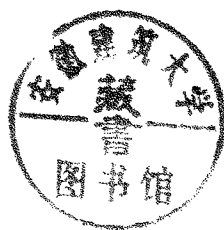
高等教育出版社

高等学校教材

# 工程材料与热成型

Gongcheng Cailiao yu Rechengxing

主编 赵越超 张兴元 盛光英



高等教育出版社·北京

## 内容简介

本书主要包括工程材料与热成型两部分内容。其中工程材料部分包括工程材料的分类及力学性能、金属学基础、铁碳合金、钢铁材料、钢的热处理、有色金属及其合金、非金属材料及其成型等。热成型部分包括铸造成型、塑性成型、焊接与黏接成型、材料及成型工艺的选择等内容。同时特别注意材料及成型的发展动向,每部分都加了新材料、新工艺,以加强对新知识的了解。

本书可作为高等院校机械类、近机类专业的专业教材,也可以供其他相关专业及工程技术人员作为参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

工程材料与热成型/赵越超,张兴元,盛光英主编

—北京:高等教育出版社,2018.5

ISBN 978-7-04-049493-8

I. ①工… II. ①赵… ②张… ③盛… III. ①工程材料-热成型-高等学校-教材 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 037020 号

策划编辑 杜惠萍

责任编辑 李文婷

封面设计 张志

版式设计 马敬茹

插图绘制 于博

责任校对 刘丽娴

责任印制 赵义民

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 100120  
印刷 中国农业出版社印刷厂  
开本 787mm×1092mm 1/16  
印张 20.5  
字数 500千字  
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598  
网址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>  
<http://www.hepmall.com>  
<http://www.hepmall.cn>  
版次 2018年5月第1版  
印次 2018年5月第1次印刷  
定价 39.30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 49493-00

# 序

## 一、应用型高校转型呼唤应用型教材

教学与生产脱节,很多教材内容严重滞后于现实,所学难以致用。这是我们在进行毕业生跟踪调查时经常听到的对高校教学现状提出的批评意见。由于这种脱节和滞后,造成很多毕业生及其就业单位不得不花费大量时间进行“补课”,既给刚踏上社会的学生无端增加了很大压力,又给就业单位白白增添了额外培训成本。难怪学生抱怨“专业不对口,学非所用”,企业讥讽“学生质量低,人才难寻”。

2010年颁布的《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》指出,要加大教学投入,重点扩大应用型、复合型、技能型人才培养规模。2014年,《国务院关于加快发展现代职业教育的决定》进一步指出,要引导一批普通本科高等学校向应用技术类型高等学校转型,重点举办本科职业教育,培养应用型、技术技能人才。这表明国家已发现并着手解决高等教育供给侧结构不合理问题。

2014年3月,在中国发展高层论坛上有关领导披露,教育部拟将600多所地方本科高校向应用技术、职业教育类型转变。这意味着未来几年,我国将有50%以上的本科高校(2014年全国本科高校1202所)面临应用型转型,更多地承担应用型人才,特别是生产、管理、服务一线急需的应用技术型人才的培养任务。应用型人才培养作为高等教育人才培养体系的重要组成部分,已经被提上国家重要的议事日程。

“兵马未动、粮草先行”。应用型高校转型要求加快应用型教材建设。教材是引导学生从未知进入已知的一条便捷途径。一部好的教材既是取得良好教学效果的关键因素,又是优质教育资源的重要组成部分。它在很大程度上决定着学生在某一领域发展起点的高低。在高等教育逐步从“精英”走向“大众”再到“普及”的过程中,加快教材建设,使之与人才培养目标和模式相适应,与社会需求和时代发展相适应,已成为广大应用型高校面临且亟待解决的问题。

烟台南山学院作为中国制造业百强企业——南山集团投资兴办的民办高校,与生俱来就是一所应用型高校。2005年升本以来,该校依托大企业集团,坚定不移地实施地方性、应用型的办学定位,坚持立足胶东,着眼山东,面向全国;坚持以工为主,工管经文艺协调发展;坚持校企一体化、产教融合,培养高素质应用型人才。初步形成自己的校企一体、协同育人的应用型办学特色。为进一步提高应用型人才培养质量,今年学校推出的以“应用型教材”为主的“百部学术著作建设工程”,是我校升本十余年来教学改革经验的初步总结和科研成果的集中展示。

## 二、应用型教材研编原则

应用型本科作为一种本科层次的人才培养类型,目前使用的教材大致有两种:一是借用传统本科教材。实践证明,这种借用很不适宜。因为传统本科教材内容相对较多,教材既深且厚。更突出的是其与实践结合较少,很多内容理论与实践脱节。二是延用高职教材。高职与应用型本科的人才培养方式接近,但它们毕竟培养层次不同,在专业培养目标、课程设置、学时安排、教学

方式等方面均存在很大差别。高职教材虽然也注重理论的实践应用,但“小才难以大用”。用高职教材支撑本科人才培养,实属“力不从心”,尽管它可能十分优秀。换句话说,应用型本科教材贵在“应用”二字。它既不能是传统本科教材加贴一个应用标签,也不能是高职教材的理论强化,应有其相对独立的知识体系和技术技能体系。

基于这种认识,我以为研编应用型本科教材应遵循三个原则:一是实用性原则。理论适度、内容实用应是应用型本科教材的基本特征。学生通过教材能够了解本行业当前主流的生产技术、设备、工艺流程及科学管理状况,掌握企业生产经营活动中与本专业相关的基本知识和专业知识、基本技能和专业技能,以最大限度地缩短毕业生知识、能力与企业现实需要之间的差距。烟台南山学院的《应用型本科专业技能标准》就是根据企业对本科毕业生专业岗位的技能要求研究编制的一个基本教学文件,它为应用型本科有关专业进行课程体系设计和应用型教材建设提供了一个参考依据。二是动态性原则。当今社会科技发展迅猛,新产品、新设备、新技术、新工艺层出不穷。所谓动态性,就是要求应用型教材应与时俱进,反映时代要求,具有时代特征。在内容上应尽可能将那些经过实践检验成熟或比较成熟的技术、装备等人类发明创新成果编入教材,实现教材与生产的有效对接。这是克服传统教材严重滞后于生产、理论与实践脱节、学不致用等教学弊端的重要举措,尽管某些基础知识、理念或技术工艺短期内并不发生突变。三是个性化原则。教材应尽可能适应不同学生的个体需求,至少能够满足不同群体学生的学习需要。不同的学生或学生群体之间存在的差异,显著地表现在对不同知识理解和技能掌握并熟练运用的快慢及深浅程度上。根据个性化原则,可以考虑在教材内容及其结构编排上既有所有学生都要求掌握的基本理论、方法、技能等“普适性”内容,又有满足不同的学生或学生群体不同学习要求的“区别性”内容。本人以为,以上原则是研编应用型本科教材的特征使然,如果能够长期坚持,则有望逐渐形成区别于研究型人才培养的应用型教材体系及其特色。

### 三、应用型教材研编路径

#### 1. 明确教材使用对象

任何教材都有自己特定的服务对象。应用型本科教材不可能满足各类不同高校的教学需求,它主要是为我国新建的包括民办高校在内的本科院校及应用技术型专业服务的。这是因为:近10多年来我国新建了600多所本科院校(其中民办本科院校420所,2014年数据)。这些本科院校大多以地方经济社会发展为其服务定位,以应用技术型人才为其培养模式定位,其学生毕业后大部分选择企业单位就业。基于社会分工及企业性质,这些单位对毕业生的实践应用、技能操作等能力的要求普遍较高,而不苛求毕业生的理论研究能力。因此,作为人才培养的必备条件,高质量应用型本科教材已经成为新建本科院校及应用技术类专业培养合格人才的迫切需要。

#### 2. 认真遴选教材作者

突出理论联系实际,特别注重实践应用是应用型本科教材的基本特征。为确保教材质量,严格遴选研编人员十分重要。其基本要求:一是作者应具有比较丰富的社会阅历和企业实际工作经历或实践经验,这是研编人员的阅历要求。二是主编和副主编应选择那些长期活跃在教学一线、对应用型人才培养模式有深入研究且能将其运用于教学实践的教授、副教授或高级工程师人员,这是研编团队的领袖要求。主编是教材研编团队的灵魂。选择主编应特别注意考察其理论与实践结合能力的大小,以及他们是“应用型”学者还是“研究型”学者的区别。三是研编团队

应有强烈的应用型人才培养模式改革的认可度,以及应用型教材编写的责任感和积极性,这是写作态度要求。四是在满足以上条件的基础上,作者应有较高的学术水平和教材编写经验,这是学术水平要求。显然,学术水平高、编写经验丰富的研编团队,不仅能够保证教材质量,而且对教材出版后的市场推广也会产生有利的影响。

### 3. 强化教材内容设计

应用型教材服务于应用型人才培养模式的改革。应以改革精神和务实态度,认真研究课程要求,科学设计教材内容,合理编排教材结构。其要点包括:

(1) 缩减理论篇幅,明晰知识结构。应摒弃传统研究型或理论型人才培养思维模式下重理论、轻实践的做法,克服理论篇幅越编越长、教材越编越厚、应用越来越少的弊端。一是基本理论应坚持以必要、够用、适用为度。在满足本课程知识连贯性和专业应用需要的前提下,精简推导过程,删除过时内容,缩减理论篇幅;二是知识体系及其应用结构应清晰明了、符合逻辑,为学生提供“是什么”和“怎么做”;三是文字简洁,不拖泥带水。内容编排留有余地,为学生自我学习和实践教学留出必要的空间。

(2) 坚持能力本位,突出技能应用。应用型教材是强调实践的教材。没有“实践”、不能让学生“动起来”的教材很难取得良好的教学效果。因此,教材既要关注并反映职业技术现状,以行业、企业岗位或岗位群需要的能力和技术为逻辑体系,又要适应未来一段时期技术推广和职业发展要求。在方式上应坚持能力本位、突出技能应用、突出就业导向;在内容上应关注不同产业的前沿技术、重要技术标准及其相关的学科专业知识,把技术技能标准、方法程序等实践应用作为重要内容纳入教材体系,贯穿于课程教学过程,从而推动教材改革,在结构上形成区别于理论与实践分离的传统教材模式,培养学生从事与所学专业紧密相关的技术开发、管理、服务等工作所必需的意识 and 能力。

(3) 精心选编案例,推进案例教学。什么是案例?案例是真实典型且含有问题的事件。该定义的内涵:第一,案例是事件。案例是对教学过程中一个实际情境的故事描述,讲述的是这个教学故事产生、发展的历程。第二,案例是含有问题的事件。事件只是案例的基本素材,但并非所有的事件都可以成为案例。能够成为教学案例的事件,必须包含问题或疑难情境,并且可能包含解决问题的方法。第三,案例是典型且真实的事件。案例必须具有典型意义,能给读者带来一定的启示和体会。案例是故事但又不完全是故事,其主要区别在于故事可以杜撰,而案例是教学事件的真实再现。

案例之所以成为应用型教材的重要组成部分,是因为基于案例的教学是向学生进行有针对性的说服、引发思考、教育的有效方法。研编应用型教材,作者应根据课程性质、内容和要求,精心选择并按一定书写格式或标准样式编写案例。特别要重视选择那些贴近学生生活、便于学生调研的案例。然后根据教学进程和学生理解能力,研究在哪些章节,以多大篇幅安排和使用案例,为案例教学更好地适应案例情景提供更多的方便。

最后需要说明的是,应用型本科作为一种新的人才培养类型出现时间不长,对其进行系统研究尚需时日。相应的教材建设是一项复杂的工程。事实上,从教材选题申报到编写、试用、评价、修订,再到出版发行,至少需要3~5年甚至更长的时间。因此,时至今日完全意义上的应用型本科教材并不多。烟台南山学院在开展学术年、学科年活动期间,组织研编出版的这套系列教材,既是本校对近10年来推行校企一体、协同育人教育教学成果的总结和展示,也是对应用型教材

#### IV 序

建设的一个积极尝试,其中肯定存在很多问题,我们期待能在取得试用、取得反馈意见的基础上进一步改进和完善。

烟台南山学院 院长



2017年12月

# 前 言

根据教育部高等学校工程材料及机械制造基础课程教学指导组 2012 年制定的《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》，结合《高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革》及应用型人才培养的需要，我们组织有长期教学经验的教师编写了本书。

在编写过程中，为贯彻素质教育思想，注重对学生应用和创新能力的培养，我们注意以下几点：

1. 力求精选内容，突出重点，以讲授基本理论为主，结合生产实践，对材料基本知识、常用性能和选用及材料热成型进行了重点介绍。
2. 力争按工程材料和热成型工艺之间的内在联系安排各章内容，注意教材的系统性和完整性。
3. 为了满足工程材料及热成型的发展及高校教学的需要，增大了关于非金属材料内容的比重。
4. 增加了新材料、新工艺、新技术的内容，全面采用了国家最新标准。
5. 为了帮助学生加深对课程内容的理解和掌握，培养其分析和解决实际问题的能力，提高学习兴趣，各章后附有复习思考题。

本书由烟台南山学院盛光英编写第一章、第六章，赵越超编写绪论、第二章、第十一章，王淑慧编写第四章、第八章，郭春洁编写第七章、第十章；辽宁工程技术大学董世知编写第五章，张兴元编写第三章、第九章。本书由赵越超、张兴元、盛光英担任主编。

东北地区工程训练/金工研究会理事长、大连理工大学梁延德教授认真审阅了本书，在此表示衷心感谢。

本书在编写过程中得到了兄弟院校大力支持，在此深表感谢。

由于编写水平有限，书中的错误及不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2017 年 2 月

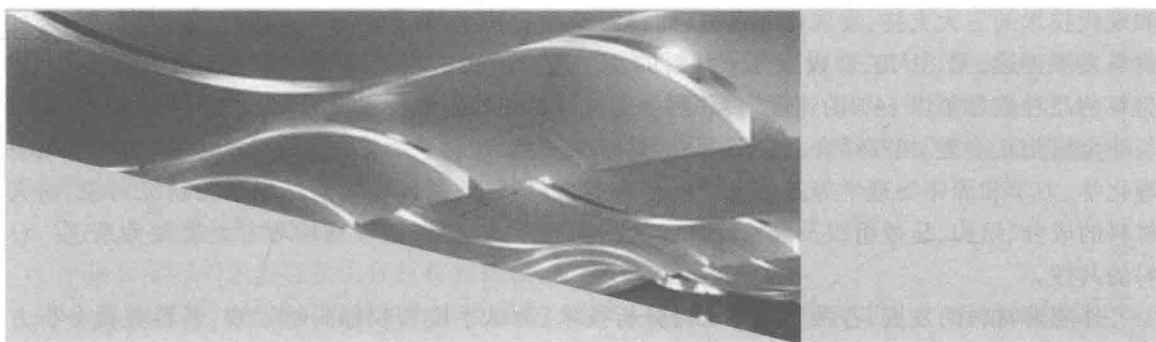


# 目 录

绪论	1
第 1 章 工程材料的分类及力学性能	4
1.1 工程材料的分类	4
1.2 工程材料的力学性能	5
复习思考题	12
第 2 章 金属学基础	13
2.1 金属的晶体结构	13
2.2 金属的结晶	17
2.3 合金的结构	20
2.4 合金相图	22
复习思考题	27
第 3 章 铁碳合金	29
3.1 铁碳合金相图	29
3.2 铁碳合金相图的应用	36
复习思考题	40
第 4 章 钢铁材料	41
4.1 碳钢	41
4.2 合金钢	45
4.3 铸铁和铸钢	62
4.4 粉末冶金材料	75
复习思考题	80
第 5 章 钢的热处理	82
5.1 钢在加热及冷却时的组织转变	83
5.2 钢的退火与正火	87
5.3 钢的淬火	89
5.4 钢的回火	93
5.5 钢的表面热处理	96
5.6 热处理新工艺	100
复习思考题	105
第 6 章 有色金属及其合金	107
6.1 铝及其合金	107
6.2 铜及其合金	117
6.3 轴承合金	123
6.4 有色金属新材料	126
复习思考题	133

## II 目录

<b>第7章 非金属材料及其成型</b> .....	135
7.1 高分子材料及其成型 .....	135
7.2 陶瓷材料及其成型 .....	145
7.3 复合材料及其成型 .....	151
7.4 非金属新材料 .....	157
复习思考题 .....	166
<b>第8章 铸造成型</b> .....	167
8.1 砂型铸造的基本工艺 .....	168
8.2 合金的铸造性能 .....	172
8.3 铸造工艺设计 .....	180
8.4 特种铸造 .....	199
8.5 铸造成型新工艺 .....	207
复习思考题 .....	213
<b>第9章 塑性成型</b> .....	216
9.1 金属的塑性变形 .....	216
9.2 金属塑性成型分类及原理 .....	220
9.3 自由锻 .....	225
9.4 模型锻造 .....	232
9.5 板料冲压 .....	240
9.6 塑性成型新工艺 .....	247
复习思考题 .....	251
<b>第10章 焊接与黏接成型</b> .....	253
10.1 焊接成型的工艺基础 .....	254
10.2 常用焊接成型方法 .....	263
10.3 常用金属材料的焊接 .....	276
10.4 焊接结构设计 .....	281
10.5 焊接成型新工艺 .....	288
10.6 黏接 .....	292
复习思考题 .....	297
<b>第11章 材料及成型工艺的选择</b> .....	299
11.1 零件的失效及其防止 .....	299
11.2 毛坯质量检验 .....	303
11.3 零件材料及成型工艺的选择 .....	306
复习思考题 .....	313
<b>参考文献</b> .....	314



## 绪 论

### 1. 工程材料与热成型工艺发展史

材料是人类生产和社会发展所必需的物质基础,也是人类日常生活中不可分割的组成部分。社会的发展史表明,材料及其成型是社会文明进步的标志之一。因此,历史学家曾根据制造生产工具的材料及其加工工艺,将人类发展史划分为石器时代、铜器时代和铁器时代。现今人类已跨进人工合成材料的新时代,金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料等新型材料得到迅速的发展,为现代科技的发展奠定了重要的物质基础。

大约在二三百万年前,原始人类用石头制作简单工具,这时期称为石器时代。公元前 2140—公元前 1711 年,人们用孔雀石(铜矿石)和木炭炼出铜。到了殷、西周时期已发展到较高的水平,普遍用于制作各种工具、食器、兵器等,这时期称为青铜时代。我国春秋战国时期的《周礼·考工记》中记载了青铜的成分和性能之间的关系,创造了灿烂的青铜文化。公元前 770—公元前 475 年,发明生铁冶炼技术,到了西汉时期,炼铁技术有了很大的提高,采用煤作为炼铁的燃料,这要比欧洲早 1 900 多年。从西汉到明朝的 1 600 多年间,我国钢铁生产技术远远超过世界其他国家。

材料的种类繁多,大体可分为四类。第一类是能源用材料。第二类是化学制品用材料。这两类都以消耗材料本身为代价完成它们的功能。第三类是依靠物质的声、光、电、磁、热等物理性能,体现产品的功能和效应的功能材料。第四类是利用其强度、塑性、韧性、硬度等力学性能,在工程上用来制造承载构件而长期使用的结构材料。工程材料主要指第三类和第四类材料。当前,功能材料愈来愈受到人们的重视,例如,没有半导体材料,就不会有大规模的集成电路,也就不会有今天的电子计算机技术;压电陶瓷的广泛应用,超导材料、光导纤维等方面的研究和应用都十分活跃,但这类材料一般不在工程材料中讨论。因此,一般将用于制作机械结构、机械零件和工模具等的材料称为工程材料。工程材料包括金属材料、高分子材料、陶瓷材料及它们的复合材料。其中,金属材料具有优良的力学、物理、化学等使用性能和铸造、塑性成型、焊接、切削加工、热处理等工艺性能,特别是热处理,可以改变其组织结构和性能,充分挖掘材料的潜力,提高产品质量。所以,金属材料成为最重要且应用最广泛的一类工程材料。

进入 20 世纪以来,随着现代科学技术和生产力的飞跃发展,材料、能源与信息作为现代社会

和现代技术的三大支柱,发展格外迅猛,而材料又是后两者赖以发展的基础。在材料中,非金属材料发展神速,尤以人工合成高分子材料的发展最快。从20世纪60年代到70年代,有机合成材料的品种数每年以14%的速度增长,而金属材料品种的年增长率仅为4%。近20多年来,金属与非金属相互渗透、相互结合,新型复合材料异军突起,组成了一个完整的材料体系。在化学、物理化学、力学和固体物理学等基础上发展起来的材料科学,是以一切固体材料为研究对象,研究材料的成分、结构、显微组织及其性能之间的相互关系,并强调微观结构与宏观表现关系这一材料的共性。

伴随着材料的发展,各种先进的材料分析技术、测试手段和仪器纷纷出现,各种显微分析方法如X射线衍射、扫描电镜、透射电镜、电子衍射和电子探针的发展以及数字化、计算机的连接,都有利地促进了对材料显微结构的分析,从而对材料的发展提供技术指导。

在材料的生产和加工工艺方面,中华民族曾创造了辉煌的成就,为人类文明和世界进步做出了巨大的贡献。我国原始社会后期开始有陶器,早在仰韶文化和龙山文化时期,制陶技术已经很成熟。我国使用铜的历史有4000年左右,在商代(公元前1562—公元前1066)就有高度发达的青铜加工技术。如河南安阳出土的殷商祭器司母戊大方鼎,重达875 kg,它不仅体积庞大,而且上面花纹精巧、造型精美,反映了我国古代高超的铸造技术。湖北江陵楚墓中发现的越王勾践的宝剑更令世人震惊,距今已2300多年仍光彩夺目、锋利如新,经化验它渗入了14种合金元素,表面是一层含铬的氧化物。它不仅显示出铸、锻、焊工艺技术精湛,而热处理水平、合金化水平也令现代人赞叹叫绝。陕西临潼秦始皇陵出土的大型彩绘铜车马,由3000多个零、部件组成,综合采用了铸造、焊接、凿削、研磨、抛光及各种连接工艺,结构复杂,制作精美。现存于北京大钟寺内明朝永乐年间制造的大钟(重46.5 t),其上遍布经文20余万字,其浑厚悦耳的钟声至今仍伴随着华夏子孙辞旧迎新。在春秋时代,我国就大量使用了铁器,比欧洲早约1900余年。东汉时期我国就掌握了炼钢技术,比其他国家早约1600余年。到明朝就有关于此方面的比较完整的文字著作,宋应星所著的《天工开物》一书,记载了冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、焊接(锡焊和银焊)和淬火等各种金属成型、改性方法及日用品的生产技术和经验,并附有123幅工艺流程插图,其中记载的关于锉刀的制造、翻修和热处理工艺与现在相差无几,是世界上最早的较全面阐述金属加工的科学技术著作之一。

以上事实充分说明了中华民族在材料生产和材料成型工艺方面所取得的卓越成就。但是到了18世纪以后,由于长期的封建统治和闭关自守以及资本主义列强的侵略,严重地束缚了我国生产力和科学技术的发展,使我国的材料生产和材料成型技术出现了落后的局面。

新中国成立后,我国人民在党的领导下,在金属材料、非金属材料及其成型工艺方面有了突飞猛进的发展。原子弹、氢弹、导弹、人造地球卫星、载人宇宙飞船、超导材料、纳米材料等重大项目的研究与实验成功,标志着金属工艺学的研究与应用在材料生产和材料加工科学方面达到了很高的水平。目前,经过半个多世纪的发展,我国已形成规模庞大、品种齐全、性能较高和较完整的材料工业体系,成为世界上的材料生产大国和材料消费大国。

随着人类文明的进步,对材料品种和性能的要求越来越高,科学工作者对新材料的开发研究一刻也没有停止过,新开发材料的品种以每年5%的速度递增。面向21世纪,新材料有如下发展趋势:继续重视对新型金属材料的研究开发,开发非晶合金材料;发展在分子水平设计高分子材料的技术;继续发掘复合材料和半导体硅材料的潜在价值;大力发展纳米材料、信息材料、智能材

料、生物材料和高性能陶瓷材料等。

尽管各种新技术、新工艺应运而生,新的制造理念不断形成,但铸造、锻压、焊接、热处理及机械加工等传统的常规成型工艺至今仍是量大面广、经济适用的技术。因此,常规成型工艺的不断改进和提高,并通过各种途径实现高效化、精密化、轻量化和绿色化,具有很大的技术经济意义。本课程也是学习上述基本知识的入门课程。

## 2. 本课程的内容和特点

本课程学习的内容包括工程材料和热成型工艺基础两部分。

1) 工程材料 包括工程材料力学性能、金属学基础、热处理原理和工艺、工程材料及选用等四部分。其中工程材料部分以金属材料为主,非金属材料作一定阐述。学习本课程的目的是使学生获得有关金属学、热处理的基本理论及工程材料的一般知识。因此,本课程重点阐述常用工程材料的化学成分、组织结构、性能及热处理工艺之间的关系,以及应用方面的一般规律和知识,使学生具备为工程结构和机器零件的设计及使用提供正确选材、合理用材、正确制定热处理工艺的基本知识和初步能力。

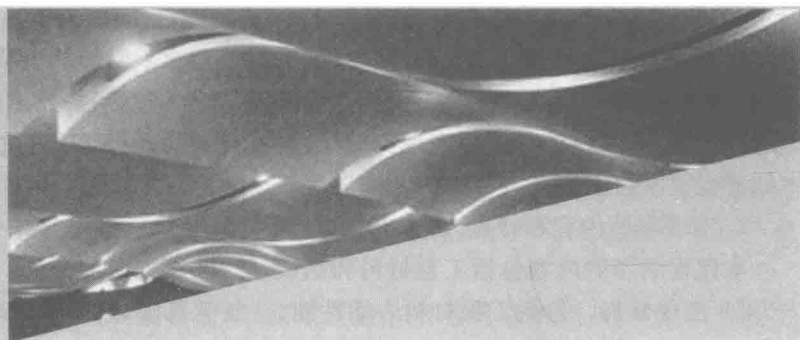
2) 热成型工艺 包括铸造、锻压、焊接等热成型工艺的原理、特点、加工的工艺过程、应用情况和结构工艺性。面对非金属材料的迅速发展,从机械制造业的实际应用出发,介绍了非金属材料的成型方法、黏接技术及材料成型工艺的选择。

另外,结合当前材料的高速发展,增加了有色金属新材料、非金属新材料、热处理新工艺、非金属材料成型方法、铸造新工艺、塑性成型新工艺、焊接新工艺等内容。

## 3. 本课程的目的和基本要求

工程材料与热成型是高等工科院校机械类专业的一门重要的技术基础课,其主要目的是使学生获得有关金属学、热处理及工程材料、热成型工艺等基本理论知识;了解常用金属材料的成分、组织、性能、热处理工艺与热成型之间的关系。学生在学习本课程之后,具有根据零件的使用条件和性能要求,合理选用工程材料、正确选定毛坯成型方法和制定热处理工艺、妥善安排工艺路线等方面的能力。

本课程是一门从生产实践中发展起来、又直接为生产服务的学科,是一门理论性和实践性很强的技术基础课。因此,在学习时,不但要注意理论的系统性,更要重视理论联系实际,强化实践环节,把实习、实验与课堂教学有机结合起来,互相补充,密切配合,以获得最佳的效果。



## 工程材料的分类及力学性能

现代科学技术与材料发展密切相关。任何先进的机械产品或成套设备,除设计先进外,在很大程度上取决于所选用的工程材料的质量。材料质量不好,不仅产品粗笨,更重要的是零部件使用寿命不长,其结果是整机质量难以保证。只有采用性质优良的材料,才能保证在先进的设计参数和技术下,生产或制造出质量优异的机械产品和机械设备。因此,世界各国都非常重视材料科学技术的研究和开发。目前世界各国注册的工程材料有几十万种,并在不断增加之中。工程材料通常可分为金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料和复合材料等。

工程材料与热成型主要讲述结构材料的成分、组织、性能和热成型应用方面的知识。所谓结构材料,是指在工程上要求有一定强度、韧性、塑性等力学性能的工程结构和机械零件材料以及工具材料。学习工程材料的基本知识是为正确、合理选用材料提供必要的理论基础。

### 1.1 工程材料的分类

#### 1.1.1 金属材料

金属材料是最重要的工程材料之一,它的用量最多,使用范围最广。金属材料又分为:

- (1) 黑色金属 铁和以铁为基的合金(碳素钢、铸铁、合金钢及合金铸铁)。
- (2) 有色金属 轻金属(Mg、Al、Be 及其合金)、易熔金属(Zn、Sn、Pb、Sb、Bi 及其合金)、难熔金属(W、Mo、V、Ti、Nb、Ta 及其合金)、贵金属(Cu、Ag、Au、Pt 及其合金)、稀土及碱土金属等。

#### 1.1.2 高分子材料

高分子材料包括塑料(热塑性工程塑料和热固性工程塑料两种)、橡胶(通用橡胶和特殊橡胶两种)、合成纤维等。

#### 1.1.3 陶瓷材料

陶瓷材料包括普通陶瓷(主要为硅酸盐材料)、特种陶瓷(氧化物、硅化物、碳化物等的烧结

材料)等。

### 1.1.4 复合材料

复合材料即由两种或两种以上性质不同的材料合成的材料。根据基体不同分为塑料基复合材料、金属基复合材料、橡胶基复合材料、陶瓷基复合材料等。

## 1.2 工程材料的力学性能

为了研究工程材料的性能、组织、成分之间的关系及正确和合理使用材料,必须了解有关工程材料各种性能的基本概念。工程材料的各种性能分为使用性能和工艺性能。使用性能是材料在使用条件下表现出的性能,包括力学性能(如强度、塑性及韧性等)、物理性能(如电性能、磁性能及热性能等)、化学性能(如耐腐蚀性、抗高温氧化性等)。工艺性能则指材料在加工过程中反映出的性能,随制造工艺不同,分为锻造性能、铸造性能、焊接性能、热处理性能及切削加工性能等。其中力学性能是工程材料最重要的性能指标。

### 1.2.1 强度

材料在外力作用下抵抗变形和断裂的能力,称为强度。测定强度最基本的方法是拉伸试验。在室温下以静态拉伸试验方法测得的抗拉强度、屈服强度等应用最为广泛。从一个完整的拉伸试验记录中,可以得到许多有关该材料的重要指标,如材料的弹性、塑性变形的特点和程度、屈服极限和抗拉强度等。

拉伸试验应依据 GB/T 228—2010《金属材料 拉伸试验》中的规定进行。进行拉伸试验前,将金属材料制成图 1-1 所示的标准拉伸试样。将标准拉伸试样安装在拉伸试验机的两个夹头上夹紧,然后缓慢而均匀地施加轴向拉力。随着拉力的增大,试样开始被拉伸,直到拉断为止。试验机带有的自动记录装置根据试样所受拉力  $F$  和伸长量  $\Delta L$ ,绘出拉伸曲线,图 1-2 为低碳钢的拉伸曲线图。

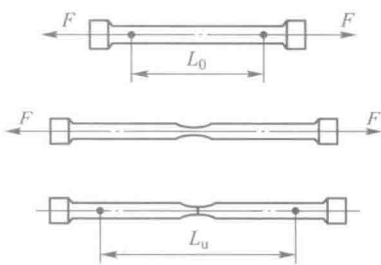


图 1-1 拉伸试样

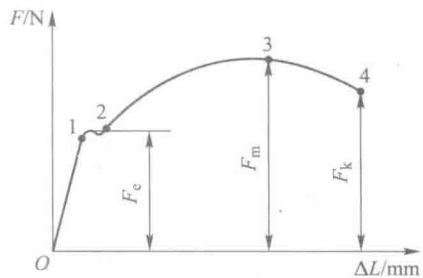


图 1-2 低碳钢拉伸曲线

当金属材料受外力作用时,其内部产生与外力相平衡的内力。材料单位截面上的内力称为应力。拉伸试验期间,应力为任一时刻的外力除以试样原始横截面积之商。

#### 1. 弹性变形阶段

拉伸曲线的 0~1 段为弹性变形阶段,试样受外力作用产生变形,其变形量与外力成正比,外

力去除后,试样将恢复到原始状态。

## 2. 屈服阶段

1~2段为屈服阶段,试样受外力作用除发生弹性变形外还发生了部分塑性变形。当外力增大到 $F_e$ 时,在2点的曲线几乎呈水平线段或锯齿形折线,说明外力不再增加而试样仍继续变形,这种现象称为“屈服”,它表明材料开始发生塑性变形。外力去除后,一部分变形恢复,还有一部分变形不能恢复,这部分不能恢复的变形即塑性变形。材料产生屈服现象时的应力称为屈服强度,可通过下式计算:

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} \quad (1-1)$$

式中: $F_e$ ——试样产生屈服现象时的拉力,N;

$S_0$ ——试样原始横截面积, $\text{mm}^2$ ;

$R_e$ ——屈服强度,MPa。

在GB/T 228—2010中,屈服强度分为上屈服强度和下屈服强度,分别以 $R_{eH}$ 和 $R_{eL}$ 表示(目前很多有关手册和有关工厂、企业所提供的资料继续沿用旧标准,未将屈服强度分为上、下屈服强度。最新国家标准中并未规定屈服强度的符号,本书采用 $R_e$ 表示屈服强度)。所谓上屈服强度是指在拉伸试验时,试样发生屈服而首次下降前的最高应力,而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。新的国家标准中未规定弹性极限,弹性极限用上屈服强度表示。

有些金属材料(如铸铁等)在进行拉伸试验时没有明显的屈服现象,如图1-3所示。工程上规定用对应于产生一定百分率的塑性变形时的应力值作为条件屈服强度(也称为规定塑性延伸强度)。例如,塑性延伸率为0.2%时规定塑性延伸强度用 $R_{p0.2}$ 表示,如图1-4所示。

$$R_{p0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0} \quad (1-2)$$

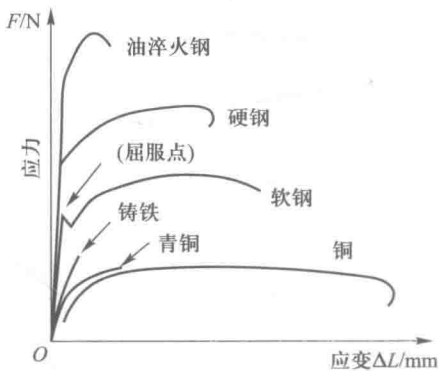


图 1-3 多种材料的应力—应变曲线

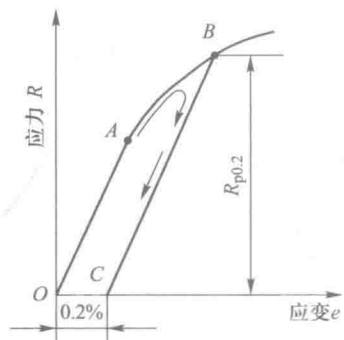


图 1-4 没有明显屈服点的拉伸曲线

对机械零件而言,一般不允许发生塑性变形。故屈服强度是评定金属材料质量的重要力学性能指标,是进行机械零件设计的主要依据。

## 3. 强化阶段

2~3段为强化阶段,为使试样继续变形,外力由 $F_e$ 增大到 $F_m$ ,随着塑性变形的增大,材料变



形抗力也逐渐增加。

#### 4. 缩颈和断裂阶段

3~4 段为缩颈和断裂阶段,当外力增加到最大值 $F_m$ 时,试样的直径发生局部收缩现象,称为“缩颈”。由于横截面积减小,使试样继续变形所需外力减小。当外力减至 $F_k$ 时,试样在缩颈处断裂。试样在拉断前所能承受的最大拉应力称为抗拉强度:

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad (1-3)$$

式中: $F_m$ ——试样在拉断前的最大拉力,N;

$S_0$ ——试样原始横截面积, $\text{mm}^2$ ;

$R_m$ ——抗拉强度,MPa。

### 1.2.2 塑性

所谓塑性,即在外力作用下,材料产生永久变形而不破坏的能力。在拉伸、压缩、扭转、弯曲等外力作用下所产生的伸长、扭曲、弯曲等,均可表示材料的塑性。一般而言,材料的塑性皆通过拉伸试验所求得的断后伸长率和断面收缩率来表示,这是两个最常用的塑性指标。

#### 1. 断后伸长率

如图 1-1 所示,拉伸试样在拉断后,标距长度的增量与原标距长度的百分比,即称为断后伸长率,用  $A$  表示为:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中: $L_0$ ——加负荷前试样的标点间距离,mm;

$L_u$ ——拉断后标点间的距离,mm。

断后伸长率的大小与试样尺寸有关。为了便于比较,必须采用标准试样尺寸。对于比例试样(指试样原始标距与原始横截面积有 $L_0 = k(S_0)^{1/2}$ 关系者),当原始标距长度等于 $5.65(S_0)^{1/2}$ 时,测得的断后伸长率用  $A$  表示;当原始标距长度不满足该条件时,符号  $A$  应附以下脚注说明所使用的比例系数,例如  $A_{11.3}$  表示原始标距长度为  $11.3(S_0)^{1/2}$  的断后伸长率。

#### 2. 断面收缩率

试样拉断后,试样横截面积的最大缩减量与原始横截面积之比的百分率称为断面收缩率,用符号  $Z$  表示。

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中: $S_0$ ——试样原始横截面积, $\text{mm}^2$ ;

$S_u$ ——试样断裂后的最小横截面积, $\text{mm}^2$ 。

金属材料应具有良好的塑性才能顺利地承受各种变形加工,故塑性是压力加工成型的重要参数。另一方面,材料具有一定塑性可以提高零件使用的可靠性,防止突然断裂。

目前,原有的有关手册和有关工厂、企业所使用的金属力学性能数据均是按照国家标准 GB/T 228—1987《金属拉伸试验方法》的规定测定和标注的,本书为方便读者阅读,列出了新、旧标准