



21世纪高等学校工程材料及
机械制造工艺基础系列教材

材料成形 及 机械制造工艺基础

● 主编 童幸生 徐翔 胡建华
主审 徐鸿本



华中科技大学出版社

E-mail: hustpp@wuhan.cngb.com

21 世纪高等学校工程材料及机械制造工艺基础系列教材

材料成形及机械制造 工艺基础

主编 童幸生 徐 翔 胡建华
主审 徐鸿本

华中科技大学出版社
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

材料成形及机械制造工艺基础/童幸生 徐翔 胡建华 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2002年11月

ISBN 978-7-5609-2862-3

21世纪高等学校工程材料及机械制造工艺基础系列教材

I. 材… II. ①童… ②徐… ③胡… III. 工程材料-成形 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 003800 号

21 世纪高等学校

工程材料及机械制造工艺基础系列教材

材料成形及机械制造工艺基础 童幸生 徐翔 胡建华 主编

策划编辑:徐正达
责任编辑:徐正达
责任校对:蔡晓瑚

封面设计:刘卉
责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华中科技大学出版社照排室

印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:787mm×960mm 1/16

印张:22.5

字数:403 000

版次:2002年11月第1版

印次:2012年5月第7次印刷

定价:28.00元

ISBN 978-7-5609-2862-3/TB·56

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

21 世纪高等学校 工程材料及机械制造工艺基础系列教材

编审委员会

顾 问： 傅水根 孙康宁
 (清华大学教授) (山东大学教授)
 刘胜青 陈金水
 (四川大学教授) (天津大学教授)

主 任： 杜海鹰
 (湖北省教育厅高等教育处处长)

副主任： 徐鸿本 黎秋萍
 (教授) (编审)

秘书长： 周世权
 (湖北省金工研究会理事长)

委 员： (按姓氏笔画顺序排列)
 田文峰 朱大林 朱梅五 刘太林 李 桦
 杨 雄 吴海华 周小平 周述积 胡建华
 徐正达 徐自立 徐 翔 郭柏林 舒华岱
 童幸生

内 容 提 要

本书是根据原国家教委高等教育司颁发的《工程材料及机械制造工艺基础教学基本要求》、在湖北省金属工艺学教学研究会的组织下编写的。

本书共分十一章,内容有金属的液态成形、金属的塑性成形、材料的连接成形、非金属材料的成形、毛坯成形方法的选择、金属切削加工的基础知识、典型表面切削成型的基本方法、齿轮成形加工、数控加工、机械加工工艺的基础知识、特种加工,每章附有适量的复习思考题。

本书以材料成形工艺和机械加工工艺为主线,突出应用性,拓宽知识面,以适应教学改革的新要求。

本书可作为高等学校机械类、近机械类专业的教材,也可供相关工程技术人员参考。

序 言

在加入 WTO 以后,我国在经济、文化和教育等方面正全面走向国际化,因此,国家对高层次、高质量和创造性人才的需求日益迫切。世界经济发展中最激烈的竞争,目前不仅表现在生产和科技领域,同时也表现在培养人才的教育领域。教育部于 1996 年制定并实施的“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”,不只是一项富有远见的教育改革计划,而且是迎接新世纪挑战的重要战略部署。湖北省教育厅根据教育部的教育教学改革精神,结合加强工艺性和实践性课程教学的要求,批准实施“工程材料及机械制造工艺基础系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”项目,可以预计,这个项目的完成,将会对湖北省乃至全国的同类系列课程的深化改革产生重要影响,为我国制造业的高层次人才培养和产业发展作出重要贡献。

在工程类人才培养中,工程材料及机械制造工艺基础系列课程的教学内容和课程体系改革占有极为重要的地位。它有利于帮助学生摆脱初、中等教育中过分重视书本而严重脱离实践的现状,是培养学生具备工艺知识、工程实践能力、工程素质和创新意识的关键性课程。结合我国高等教育教学、科研以及制造产业的特点,教改项目组提出“以创新工艺设计与制造为根本,以现代制造工艺为龙头,以 CAD/CAM 为主线,加强工程实践,注重工艺创新”的教学改革思路。正如江泽民同志所指出:“创新是一个民族进步的灵魂,是国家兴旺发达的不竭动力。”创新永远是教育教学改革的重要课题,将现代科学技术,特别是现代科学工艺技术以及现代信息技术融入教学实践,是使教育教学充满活力的重要途径。现代制造技术中的 CAD/CAM 技术,既是改造传统制造业、促进创新设计的重要手段,又是工程学科教育改革的重要组成部分。为了适应现代社会对机械制造的高要求,在我国高校加强外语和计算机技术等工具型课程是十分必要的,但必须同时重视与工艺相关的制造理论课程和工程实践课程,其中特别要强调实习和实验等以操作性为主的工程实践、作业和课程设计等基本训练,以及独立思考性的创新实践。因此,新的工程材料及机械制造工艺基础系列课程体系的设置,将打破原 4 门课程(金工实习、工程材料、材料成形工艺基础和机械制造基础)相对封闭的现状,改善其结构体系,力求实现整体优化,并建立起新型的工程培训中心教学基地。重视开展学校、地区乃至国家之间的学术交流,促进教材建设的国际化。作为课程体系核心的系列课程教材,拟由《工程实践》(机械及近机械类)、《工程实践》(非机械类)、《工程材料》、《材料成形及机械制造工艺基础》和《材料成形及机械制造工艺综合设计型创新实验》等组成。通过构建新的课程体系、改革教学内容,来有效地达到整体优化学生的知识、能力和素质,特别是工程素质、创新思维能力和独立获取知识能力的培养目标。

“教育要面向现代化,面向世界,面向未来”是邓小平同志对我国社会主义教育事

业提出的总体要求,也是我们开展教学改革的指导方针。相信华中科技大学作为教改项目的牵头单位,一定能与全省十余所高校的师生团结一致,吸取国内同行课程改革的成功经验,遵循“解放思想、实事求是”的原则,进一步转变教育观念,努力争取突破性进展。

呈献给大家的这套系列教材,是湖北省金属工艺学教学研究会教改项目组师生们多年工作的初步成果,还有待在教学实践中去反复锤炼。殷切希望得到广大读者和全国同仁的关心、支持和帮助,以将本系列课程的深化改革推向一个崭新的阶段。

教育部高等学校机械学科教学指导委员会委员
教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会副主任
工程材料及机械制造工艺基础课程指导小组组长
清华大学教授

傅水根

2002年5月于清华园

前 言

为了适应我国高等教育发展和教学改革的需要,根据新世纪人才培养模式的新变化,湖北省金属工艺学教学研究会组织全省同行专家,依据原国家教委高教司颁发的高等工科本科《工程材料及机械制造基础教学基本要求》,结合各学校从事工程材料及机械制造基础教学改革的研究和实践,吸收众多学校教学改革的成功经验,编写出工程材料及机械制造工艺基础的系列教材(含工程实践教材)。《材料成形及机械制造工艺基础》就是其中之一。

本书力求反映高等教育改革的特点,理论知识以够用为度,并加强应用性、突出实践性,使学生掌握必要的材料成形与机械制造工艺的基本理论,保证内容有一定的深度并与实际结合紧密。本书全面贯彻最新国家标准,包括名词术语、符号、法定计量单位等,配以适当的技术插图,注重充实新工艺、新技术的内容,使学生通过本书的学习,能掌握机械零件材料的选用及成形工艺、机械加工工艺选择的基本方法、基本原则和思路,并具有综合运用本书中的知识来解决工程技术中实际问题的初步能力。

本书由江汉大学童幸生、湖北汽车工业学院徐翔、武汉理工大学胡建华主编。全书由童幸生统稿。

本书编写分工为:绪论、第五、十章由童幸生编写,第一、八章由徐翔编写,第三、十一章由胡建华编写,第七、九章由江汉石油学院帅玉妹编写,第六章由江汉大学宋玉明编写,第二章由湖北工学院夏露编写,第四章由湖北汽车工业学院周悒武编写。

全书由湖北省金工教学研究会名誉理事长、华中科技大学徐鸿本教授主审,教材编写委员会的专家对本书提出了宝贵的建议和意见,在此谨向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免出现一些不足和错误之处,恳请使用本书的教师和广大读者批评指正。

编 者

2002年6月

目 录

序	
前言	
绪论	(1)
第 1 章 金属的液态成形	(3)
1.1 金属液态成形的铸造基础	(3)
1.1.1 概述	(3)
1.1.2 液态合金的工艺性能	(4)
1.1.3 铸件的生产工艺简介	(16)
1.2 金属的液态成形工艺	(36)
1.2.1 砂型铸造	(37)
1.2.2 特种铸造	(41)
1.2.3 金属液态成形方法的合理选择	(49)
1.3 液态成形金属件的工艺设计	(51)
1.3.1 铸造成形的方案选择	(52)
1.3.2 工艺参数的确定	(55)
1.3.3 浇注系统	(58)
1.3.4 铸造工艺图	(60)
1.4 液态金属成形件的结构设计	(63)
1.4.1 砂型铸造工艺对铸件结构的要求	(63)
1.4.2 合金铸造性能对铸件结构的要求	(66)
1.4.3 不同成形工艺对铸件结构的要求	(70)
复习思考题	(72)
第 2 章 金属的塑性成形	(79)
2.1 金属塑性成形的工艺基础	(79)
2.1.1 金属塑性成形工艺的种类	(79)
2.1.2 金属变形过程中的组织与性能	(80)
2.1.3 合金的锻造性及影响成形的因素	(83)
2.2 金属塑性成形的工艺方法	(85)
2.2.1 自由锻造	(85)
2.2.2 模膛锻造	(88)
2.2.3 压力机上锻造	(93)
2.2.4 锻造工艺及结构设计	(98)
2.3 薄板冲压成形工艺	(111)
2.3.1 冲压成形基本工序	(112)

2.3.2	冲模的分类及结构	(121)
2.3.3	冲压成形件的结构工艺性	(122)
2.4	金属塑性成形新技术简介	(125)
2.4.1	零件的轧制	(126)
2.4.2	零件的挤压	(128)
2.4.3	精密模锻	(129)
2.4.4	液态模锻	(130)
2.4.5	超塑性成形	(131)
2.4.6	高速高能成形	(132)
	复习思考题	(133)
第3章	材料的连接成形	(135)
3.1	焊接成形	(135)
3.1.1	概述	(135)
3.1.2	焊接成形工艺基础	(137)
3.1.3	熔焊	(146)
3.1.4	压焊	(150)
3.1.5	钎焊	(152)
3.1.6	金属材料的焊接性	(153)
3.1.7	焊接缺陷与检验	(160)
3.1.8	焊接结构的工艺设计	(162)
3.1.9	典型焊件的工艺设计	(171)
3.1.10	焊接技术的新进展	(172)
3.2	材料的其他连接成形方法	(176)
3.2.1	胶接	(176)
3.2.2	机械连接	(181)
	复习思考题	(182)
第4章	非金属材料的成形	(185)
4.1	高分子材料的成形	(185)
4.1.1	工程塑料的成形	(185)
4.1.2	橡胶制品的成形	(191)
4.2	陶瓷材料的成形	(198)
4.2.1	工业陶瓷制品的成形基础	(198)
4.2.2	工业陶瓷制品的成形方法	(200)
4.3	复合材料的成形	(204)
4.3.1	树脂基复合材料的成形	(204)
4.3.2	金属基复合材料的成形	(208)
4.3.3	陶瓷基复合材料的成形	(214)
4.4	成形技术的新进展	(216)
4.4.1	工程塑料成形技术	(216)
4.4.2	陶瓷材料成形技术	(216)

4.4.3 复合材料成形技术	(217)
复习思考题	(218)
第5章 毛坯成形方法的选择	(220)
5.1 毛坯的特点	(220)
5.2 毛坯成形方法的选择原则	(223)
5.3 常用零件的毛坯成形方法	(225)
复习思考题	(227)
第6章 金属切削加工的基础知识	(228)
6.1 切削运动及切削要素	(228)
6.1.1 切削运动与工件上形成的表面	(228)
6.1.2 切削用量	(229)
6.1.3 切削层参数	(230)
6.2 刀具	(231)
6.2.1 刀具材料	(231)
6.2.2 刀具切削部分的几何参数	(235)
6.2.3 刀具结构	(238)
6.3 金属的切削过程	(240)
6.3.1 切屑形成过程及切屑种类	(241)
6.3.2 积屑瘤	(243)
6.3.3 切削力和切削功率	(244)
6.3.4 切削热和切削温度	(246)
6.3.5 刀具的磨损和耐用度	(248)
6.4 金属切削过程基本规律的应用	(249)
6.4.1 金属材料的切削加工性	(249)
6.4.2 已加工表面质量	(249)
6.4.3 切削用量的合理选择	(253)
复习思考题	(255)
第7章 典型表面切削成形的的基本方法	(257)
7.1 外圆表面切削成形	(257)
7.1.1 外圆表面的车削	(257)
7.1.2 外圆表面的磨削	(259)
7.1.3 外圆加工方案的制订	(262)
7.2 平面切削成形	(263)
7.3 孔的加工成形	(269)
7.4 成形面切削成形	(276)
7.4.1 成形面的技术要求	(277)
7.4.2 成形面加工方法的分析	(277)
7.5 螺纹切削成形	(282)
7.5.1 螺纹的技术要求	(282)
7.5.2 螺纹的加工方法	(282)

复习思考题	(286)
第 8 章 齿轮成形加工	(287)
8.1 概述	(287)
8.2 成形法加工齿轮	(289)
8.3 展成法加工齿轮	(291)
8.3.1 插齿	(291)
8.3.2 滚齿	(292)
8.4 圆柱齿轮的精加工	(294)
8.4.1 剃齿	(295)
8.4.2 珩齿	(296)
8.4.3 磨齿	(297)
复习思考题	(298)
第 9 章 数控加工	(299)
9.1 数控的基本原理	(299)
9.1.1 数控机床的工作原理	(299)
9.1.2 数控机床加工的插补原理	(301)
9.1.3 数控加工程序段格式及程序结构	(302)
9.1.4 数控机床的分类	(303)
9.1.5 数控机床的特点	(305)
9.2 数控加工方法	(306)
复习思考题	(309)
第 10 章 机械加工工艺的基本知识	(310)
10.1 机械加工工艺过程的基本知识	(310)
10.2 工件的定位与安装	(312)
10.2.1 工件的定位	(312)
10.2.2 工件的基准	(313)
10.2.3 工件的装夹	(316)
10.2.4 夹具	(316)
10.3 零件的结构工艺性	(317)
10.3.1 结构工艺性的基本概念	(317)
10.3.2 切削加工对零件结构工艺性的要求	(318)
10.4 典型零件的加工工艺	(325)
10.4.1 轴类零件	(325)
10.4.2 盘套类零件	(327)
10.4.3 箱体类零件	(331)
复习思考题	(336)
第 11 章 特种加工	(338)
11.1 特种加工方法的特点与分类	(338)
11.2 电火花加工	(339)

11.3	电火花线切割加工·····	(340)
11.4	电解加工·····	(341)
11.5	超声波加工·····	(342)
11.6	激光加工·····	(343)
11.7	电子束加工·····	(345)
11.8	离子束加工·····	(345)
	复习思考题·····	(347)
	参考文献·····	(348)

绪 论

材料成形及机械制造工艺基础是一门研究材料成形工艺和机械制造工艺的综合性基础课。它主要讲授工程材料常用的成形方法及机械加工方法及其工艺特点、机械制造过程中常用的一些先进技术。

在工业生产中,机械产品的制造过程一般是将材料制成毛坯,再经过机械加工方法制成所需的零件。由材料制成毛坯的成形方法有多种,如液态成形、塑性成形、连接成形、粉末冶金成形等。不同的材料的成形工艺各不相同;零件的结构和使用要求不同,其成形方法也不同,因此必须综合考虑,选择最佳成形方法来满足毛坯的性能要求。由毛坯制成零件,其加工方法也有多种,如传统的车削、刨削、铣削、钻削、磨削等;也有现代的数控加工和电火花加工、激光加工等特种加工方法,因此要根据各种加工方法的特点和零件的自身特性要求(包括结构工艺性、经济性等)来加以选择。从材料到毛坯又由毛坯到零件的工艺过程是贯穿机械制造过程中的一条主线,它包含了材料成形及机械制造工艺的基本理论、基本知识、基本方法。对于一个合格的工程技术人员来说,掌握这些知识,对所从事的工作是非常重要的。

我国材料成形及机械制造技术具有悠久的历史:远在公元前 2700 年左右,就制造出指南车;到了公元前 1700 年左右(商代),进入了使用青铜器的全盛时期;春秋战国时制造刀、剑的技术已经达到了相当高的水平;公元前 400 年左右已经普遍使用铁器工具了。明朝大科学家宋应星编著的《天工开物》一书中,详细论述了冶铁、铸钟、锻铁、淬火等各种金属的加工方法。这部论著是世界上有金属材料成形及加工方法以来最早的科学论著,充分反映了我国历代劳动人民在材料成形及机械加工技术方面的卓越贡献。

由此看来,我国古代的材料成形及其加工工艺在当时具有遥遥领先的地位,对世界文明和人类进步作出了巨大贡献。但是,封建体制的长期统治和闭关自守,严重地阻碍了我国生产力的发展,加上外来侵略和掠夺,我国的工业技术在相当长的时间内处于落后状态。

解放后,新中国的工农业生产和机械制造技术得到迅速发展,建立了产品齐全、布局合理、并具有相当规模的机械制造工业体系。特别是步入 20 世纪 80 年代后,随着高新技术的应用,我国的不少机电产品的加工制造技术已经接近和达到世界先进水平,这为我国的国民经济建设奠定了牢固的基础。

现代科学技术的发展更新了机械制造技术的观念,传统的金属工艺和机械制造过程发生了变化,金属工艺学的内容构成也有所发展。

首先,在材料成形工艺方面,所使用的不仅包括原有的金属材料,而且也包括应用越来越多的非金属材料;其成形工艺也不仅是传统的铸造、锻压和焊接,而且还开发了一些能适应不同材料的快速成形方法,金属材料的高速高能成形方法以及塑料、陶瓷、复合材料的成形工艺。

其次,材料加工技术的高速发展,使得成组加工、数控加工、柔性制造、虚拟设计等也逐步应用于机械制造业中,使得生产过程高效化、工艺专业化,极大地提高了制造业的技术水平。

因此,随着科学技术和生产力的不断发展,随着有关学科的相互渗透和综合,本课程的构成也必然注入新的内容、新的技术。但它也不能包罗万象,仍要以材料成形和机械制造工艺为主线,在基本理论、基本工艺、基本方法的基础上,有所创新,有所发展。

材料成形及机械制造工艺基础是一门内容广泛,技术性和实践性较强的课程。它应该在“工程实践”教学环节后开设,讲授时应注意教学内容与生产实际结合,尽可能列举生产中应用的工艺实例,辅以课堂讨论,强化实践,加深学生对课程内容的理解,以期收到应有的教学效果,培养学生的实际工作能力。

第 1 章 金属的液态成形

本章内容 金属液态成形的铸造基础知识,成形工艺的特点及应用,金属液态成形件的工艺设计及结构工艺设计。

本章重点 液态金属的工艺性能,液态金属成形的结构设计,工艺设计以及成形工艺方法。

1.1 金属液态成形的铸造基础

1.1.1 概述

将液态金属浇入与零件形状、尺寸相适应的铸型型腔中,待其冷却凝固,以获得毛坯或零件的工艺方法,通常称为金属液态成形或铸造(casting)。其区别于其他成形方法的基本特点是利用液态金属的流动性来成形。

按铸型材料的不同,金属液态成形可分为砂型铸造和特种铸造(包括熔模铸造、壳型铸造、陶瓷型铸造、金属型铸造、压力铸造、低压铸造、离心铸造、连续铸造等)两大类。其中,砂型铸造是最基本的液态成形方法,所生产的铸件要占铸件总量的 80%以上。为了提高铸件的质量和生产率,特种铸造的应用也越来越广泛。

金属液态成形在机械制造业中占有重要的地位。它是制造毛坯、零件的重要方法之一。就重量而论,铸件在一般机械设备中占 45%~90%,在金属切削机床中占 70%~80%,在汽车及农业机械中占 40%~70%。金属液态成形之所以能获得如此广泛的应用,是因为它具有如下优点:

1) 金属液态成形最适合制造形状复杂,特别是具有复杂内腔的毛坯,如各种箱体、床身、机架、车轮、阀体、泵体、叶轮、汽缸体、螺旋桨等。

2) 金属液态成形适应性广,既可用于单件、小批生产,也可用于成批、大量生产;小到重几克的钟表零件,大到重数百吨的重型机架,铸件的大小几乎不受限制;工业中常用的合金都可采用液态成形来制造毛坯或零件。

3) 金属液态成形的成本低,所用原材料来源广泛,价格低廉,一般不需要昂贵的设备。

4) 对于某些塑性很差的材料,如铸铁等,液态成形是制造其零件或毛坯的惟一成形工艺。

但是,液态成形的零件,其内部组织的均匀性、致密性一般较差。金属液态成

形过程比较复杂,一些工艺过程还难以控制,铸件容易出现缩孔、缩松、气孔、砂眼等铸造缺陷,产品质量不够稳定;由于铸件内部晶粒粗大,组织不均匀,且常伴有缺陷,其力学性能比同类材料的塑性成形件低。这些缺陷对铸件质量有着严重的影响。然而,随着科学和技术的不断发展,新工艺、新技术、新材料和新设备日益得到广泛的应用,铸件质量和生产率也得到了很大的提高。

1.1.2 液态合金的工艺性能

液态合金的工艺性能是指液态合金符合某种生产工艺要求所需要的性能。就液态成形而言,其工艺性能表征为其铸造性能,通常是指合金的流动性、收缩性、吸气性及偏析等性能,它们对获得合格的铸件有很大的影响。因此,合金铸造性能是选择铸造金属材料,确定铸件的铸造工艺方案及进行铸件结构设计的依据。

1.1.2.1 充型能力

液态合金填充铸型的过程,简称充型。

液体金属充满铸型型腔,获得尺寸精确、轮廓清晰的成形件的能力,称为充型能力(mold filling capacity)。充型能力不足时,铸件会产生浇不足、冷隔、夹渣、气孔等缺陷。

充型能力首先取决于金属本身的流动性(流动能力),同时又受铸型性质、浇注条件和铸件结构等因素的影响。

1. 合金的流动性对充型能力的影响

合金流动性(fluidity)是指液态合金本身的流动能力。合金的流动性用浇注流动性试样的方法来衡量。流动性的试样种类很多,如螺旋形试样、球形试样、平板 α 形试样、真空试样等等。

如图 1-1 所示为测定合金流动性的螺旋形标准试样,螺旋段为等截面的梯形或半圆形,总长度为 1.5 m,螺旋段上每隔 50 mm 有一个凸台,用于计量长度。将合金液浇注到试样铸型中(一般用砂型铸造),冷凝后测出充满型腔的试样长度。浇出的试样愈长,说明合金的流动性愈好。常用合金的流动性如表 1-1 所示。

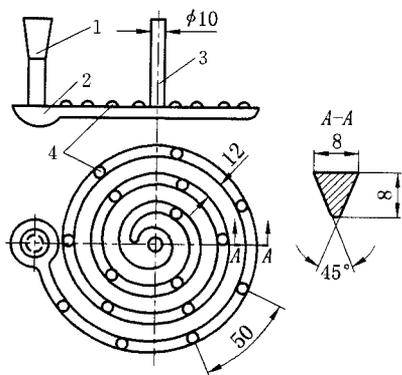


图 1-1 螺旋形标准试样

- 1—浇口杯 2—内浇道
- 3—出气口 4—试样凸台