



中国机械工程学科教程配套系列教材
教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

材料成形技术基础

主编 于爱兵
参编 陈思夫 王爱君 胡少媚
主审 王龙山

中国机械工程学科教程系列
China Mechanical Engineering Curricula
中国机械工程学科教程

清华大学出版社

清华大学出版社



中国机械工程学科教程配套系列教材
教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

主编 于爱兵
参编 陈思夫 王爱君 胡少媚
主审 王龙山

材料成形技术基础

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书共7章,内容涉及金属铸造成形、金属塑性成形、金属连接成形、高分子材料及复合材料成形、粉末冶金及陶瓷成形以及表面技术。

本书主要讲解每种材料成形技术的基本原理、成形方法及装备、成形工艺以及成形新技术。本书在介绍成形基本原理和方法的基础上,强化工程应用。每章介绍一个典型工程综合实例,以增强学生的工程概念和实践能力,培养学生在理论指导下解决实际问题的能力。此外,本书还增加了材料成形技术专业术语的英汉对照和趣味性阅读材料。

本书可作为高等工科院校机械类专业本科学生的通用教材,也可供工科近机类专业学生选用,同时可作为相关科研及工程技术人员参考书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

材料成形技术基础/于爱兵主编.--北京:清华大学出版社,2010.4
(中国机械工程学科教程配套系列教材)

ISBN 978-7-302-22030-5

I. ①材… II. ①于… 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(2010)第 025273 号

责任编辑:庄红权

责任校对:刘玉霞

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:三河市春园印刷有限公司

装 订 者:三河市溧源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:21 字 数:506 千字

版 次:2010 年 4 月第 1 版 印 次:2010 年 4 月第 1 次印刷

印 数:1~5000

定 价:32.00 元

产品编号:030529-01

中国机械工程学科教程配套系列教材暨教育部高等学校
机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

编 委 会

顾 问
李培根院士

主 任 委 员
陈关龙 吴昌林

副主任委员
许明恒 于晓红 李郝林 李 旦 郭钟宁

编 委(按姓氏首字母排列)
韩建海 李理光 李尚平 潘柏松 芮执元
许映秋 袁军堂 张 慧 张有枕 左健民

秘 书
庄红权

丛书序言

PREFACE

我曾提出过高等工程教育边界再设计的想法,这个想法源于社会的反应。常听到工业界人士提出这样的话题:大学能否为他们进行人才的订单式培养。这种要求看似简单、直白,却反映了当前学校人才培养工作的一种尴尬:大学培养的人才还不是很适应企业的需求,或者说毕业生的知识结构还难以很快适应企业的工作。

当今世界,科技发展日新月异,业界需求千变万化。为了适应工业界和人才市场的这种需求,也即是适应科技发展的需求,工程教学应该适时地进行某些调整或变化。一个专业的知识体系、一门课程的教学内容都需要不断变化,此乃客观规律。我所主张的边界再设计即是这种调整或变化的体现。边界再设计的内涵之一即是课程体系及课程内容边界的再设计。

技术的快速进步,使得企业的工作内容有了很大变化。如从 20 世纪 90 年代以来,信息技术相继成为很多企业进一步发展的瓶颈,因此不少企业纷纷把信息化作为一项具有战略意义的工作。但是业界人士很快发现,在毕业生中很难找到这样的专门人才。计算机专业的学生并不熟悉企业信息化的内容、流程等,管理专业的学生不熟悉信息技术,工程专业的学生可能既不熟悉管理,也不熟悉信息技术。我们不难发现,制造业信息化其实就处在某些专业的边缘地带。那么对那些专业而言,其课程体系的边界是否要变?某些课程内容的边界是否有可能变?目前不少课程的内容不仅未跟上科学研究的发展,也未跟上技术的实际应用。极端情况甚至存在有些地方个别课程还在讲授已多年弃之不用的技术。若课程内容滞后于新技术的实际应用好多年,则是高等工程教育的落后甚至是悲哀。

课程体系的边界在哪里?某一门课程内容的边界又在哪里?这些实际上是业界或人才市场对高等工程教育提出的我们必须面对的问题。因此可以说,真正驱动工程教育边界再设计的是业界或人才市场,当然更重要的是大学如何主动响应业界的驱动。

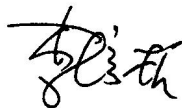
当然,教育理想和社会需求是有矛盾的,对通才和专才的需求是有矛盾的。高等学校既不能丧失教育理想、丧失自己应有的价值观,又不能无视社会需求。明智的学校或教师都应该而且能够通过合适的边界再设计找到适合自己的平衡点。

我认为,长期以来,我们的高等教育其实是“以教师为中心”的。几乎所有的教育活动都是由教师设计或制定的。然而,更好的教育应该是“以学生

为中心”的,即充分挖掘、启发学生的潜能。尽管教材的编写完全是由教师完成的,但是真正好的教材需要教师在编写时常怀“以学生为中心”的教育理念。如此,方得以产生真正的“精品教材”。

教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会、中国机械工程学会与清华大学出版社合作编写、出版了《中国机械工程学科教程》,规划机械专业乃至相关课程的内容。但是“教程”绝不应该成为教师们编写教材的束缚。从适应科技和教育发展的需求而言,这项工作应该不是一时的,而是长期的,不是静止的,而是动态的。《中国机械工程学科教程》只是提供一个平台。我很高兴地看到,已经有多位教授努力地进行了探索,推出了新的、有创新思维的教材。希望有志于此的人们更多地利用这个平台,持续、有效地展开专业的、课程的边界再设计,使得我们的教学内容总能跟上技术的发展,使得我们培养的人才更能为社会所认可,为业界所欢迎。

是以为序。



2009年7月

前言

FOREWORD

“材料成形技术基础”是机械类专业的一门综合性技术基础课程。本书是为机械类专业编写的教材,其内容以我国高等工科院校机械类专业人才培养目标为出发点,主要介绍与产品制造有关的材料成形技术基础知识。

本书介绍了工程材料的常见成形技术,包括金属铸造成形、金属塑性成形、金属连接成形、高分子材料及复合材料成形、粉末冶金及陶瓷成形以及表面技术。内容涉及每种成形方法的基本原理、成形方法及设备、典型成形工艺、成形新技术和工程实例。本书内容共7章。第1章在产品制造过程的基础上,介绍了材料成形的相关基础知识,为后续章节的学习奠定基础;第2章阐述液态金属铸造成形;第3章为固态金属塑性成形;第4章为金属连接成形,以焊接技术为主;第5章为高分子材料成形,包含塑料、橡胶和复合材料的成形技术;第6章介绍粉末冶金和陶瓷成形技术;第7章是表面技术。教师可以根据教学计划和学时,选取其中的教学内容。

本书的主要特点如下。

(1) 以产品制造过程为基础,讲述材料成形技术的基础知识。读者可以从产品制造过程的全局,学习和体会各种材料成形技术的工程应用。同时,为了便于同学们对所学的包括本课程在内的专业课程有一个清晰认识,本书以机械产品的制造过程为主线,介绍了本课程以及其他专业课程知识在制造过程中的作用。

(2) 强化工程应用,注重理论联系实际。结合编者的科研、生产实践和教学经验,每章介绍一个典型工程实例,完整描述实际产品的全部制造过程。工程综合实例以本章学习的成形技术为主,兼顾其他章节的技术内容。通过工程实例,一方面加深学生对所学成形技术的理解和掌握,另一方面使学生对产品的制造过程有一个具体的认识。这样,使学生在专业学习的过程中不再感到深奥。此外,作者在讲解基本原理的基础上,从应用的角度出发,引入了一些实例和实物图片,以增强学生的工程概念和实践认识。

(3) 围绕成形技术的三个方面建立知识结构体系:成形技术的基本原理、成形方法与工艺、工程应用。每章内容的编写和教学主线为:基本原理—成形方法及设备—成形工艺—成形新技术—工程综合实例—阅读材料—小结—思考题。

(4) 设有专业术语的英汉对照。双语教学是目前各高校普遍提倡的教学方式,专业词汇是学生在双语教学和科技英语读写中遇到的主要问题。

因此,渗透式双语教学显得更为有效。本书在各章节增加了常见材料成形技术专业术语的英文翻译,并在附录中配有材料成形技术专业术语的英汉对照表,希望以这种潜移默化的方式帮助学生更好地学习和掌握科技英语。

(5) 每一章设置一篇趣味性阅读材料,讲解有关本章内容的背景知识,其中包含成形技术的发展历史、发明过程、历史人物、相关事件、工程应用实例等内容。阅读材料在增加学习兴趣和工程概念的同时,对工科学生的人文知识也是有益的补充。

本书由于爱兵担任主编。参加编写的人员有:宁波大学于爱兵(第1章、第5章、第6章、第7章、附录),天津大学陈思夫(第2章),宁波大学胡少媚(第3章),烟台职业学院王爱君(第4章),研究生李照完成了部分文字的录入工作。书稿由吉林大学王龙山教授审阅。

在本书的编写过程中,参考并引用了国内外部分教材、手册、期刊以及网络上的相关内容,在此特向有关作者和单位表示诚挚的感谢!

由于编者水平所限,在应用型教材建设和教学中探索的经验还有待进一步完善,书中难免存在错误与不妥之处,敬请广大读者指正。

编 者

2010年3月

第 1 章 绪论	1
1.1 材料成形技术概述	1
1.1.1 制造与材料成形	1
1.1.2 材料成形方法的分类	4
1.1.3 材料成形加工的特点	4
1.1.4 材料成形技术的作用	6
1.1.5 材料成形技术的发展趋势	7
1.2 工程材料的基础知识	8
1.2.1 材料的分类与应用	9
1.2.2 材料的性能与材料加工	12
1.3 本课程的性质和学习方法	13
小结	14
思考题	15
参考文献	15
第 2 章 液态金属铸造成形	16
2.1 液态金属铸造成形的基本原理	16
2.1.1 铸造工艺特点、分类及应用	16
2.1.2 合金的铸造性能	19
2.1.3 铸件的凝固	21
2.1.4 铸件的收缩	24
2.1.5 铸造应力、变形和裂纹	29
2.1.6 铸件缺陷分析及铸件质量控制	34
2.2 砂型铸造的方法及设备	37
2.2.1 造型材料	37
2.2.2 造型与制芯	40
2.2.3 合金的熔炼	48
2.3 铸造成形工艺设计	59
2.3.1 铸件结构的铸造工艺性分析	59

2.3.2	铸造工艺方案的确定	64
2.3.3	铸造工艺参数的确定	70
2.3.4	浇注系统和冒口的设置	73
2.3.5	常用合金的铸造工艺性能	79
2.4	铸造成形的新技术	86
2.4.1	金属成形工艺间的相互竞争和铸造成形技术的发展	86
2.4.2	消失模铸造技术	87
2.4.3	V 法铸造	89
2.4.4	铸铁型材连续铸造技术	91
2.4.5	双金属铸造	93
2.5	工程实例——CA6140 车床进给箱体的生产	95
2.5.1	CA6140 车床进给箱体的铸造工艺	95
2.5.2	进给箱体铸件的熔炼与浇注工艺	99
	阅读材料——熔模铸造	105
	小结	107
	思考题	108
	参考文献	110

第 3 章 固态金属塑性成形

3.1	固态金属塑性成形的基本原理	112
3.1.1	塑性成形概述	112
3.1.2	金属塑性变形	113
3.1.3	塑性成形基本规律	114
3.1.4	塑性变形影响因素	115
3.2	金属塑性成型的方法及设备	116
3.2.1	模锻	116
3.2.2	冲压	121
3.3	锻压成型工艺设计	129
3.3.1	模锻件结构工艺性	129
3.3.2	锻压工艺方案	130
3.3.3	锻压工艺参数	133
3.3.4	常用金属的锻压工艺性能	137
3.4	板料冲压成型工艺设计	138
3.4.1	冲压件结构工艺性	138
3.4.2	冲压工艺方案	143
3.4.3	冲压工艺参数	145
3.4.4	常用金属的冲压工艺性能	157
3.5	金属塑性成形新技术	160
3.5.1	精密模锻	160

3.5.2 液态模锻	162
3.5.3 超塑性成形	163
3.5.4 等温锻造	164
3.6 工程实例——车门玻璃升降器外壳生产	166
阅读材料——锻压机械的发展史	171
小结	172
思考题	172
参考文献	173

第4章 金属连接成形

174

4.1 金属连接成形的基本原理	174
4.1.1 金属连接概述	174
4.1.2 焊接的定义及分类	177
4.1.3 焊接成形的基本原理	179
4.1.4 常用金属材料的焊接性能	185
4.1.5 焊接缺陷与及其检验方法	189
4.2 焊接成形的方法及设备	193
4.2.1 焊条电弧焊	193
4.2.2 埋弧焊	205
4.2.3 气体保护焊	207
4.2.4 电渣焊	209
4.2.5 电阻焊	210
4.2.6 钎焊	213
4.3 金属焊接结构工艺设计	215
4.3.1 焊接结构材料的选择	215
4.3.2 焊缝布置	216
4.3.3 焊接接头的工艺设计	218
4.3.4 焊接工艺参数的选择	222
4.3.5 焊接方法的选择	224
4.3.6 低碳钢的焊接工艺方案	225
4.4 焊接成形新技术	229
4.4.1 高能束焊接方法的应用	230
4.4.2 特种焊接方法简介	234
4.5 工程实例——贮液器的生产过程	236
阅读材料——水下焊接技术	242
小结	243
思考题	244
参考文献	245

第5章 高分子材料及复合材料成形	246
5.1 高分子材料成形的基本原理	246
5.2 高分子材料的成形方法及设备	250
5.2.1 塑料成形方法	250
5.2.2 橡胶成形方法	254
5.3 高分子材料制品的结构工艺性	258
5.3.1 塑料制品的结构工艺性	258
5.3.2 橡胶制品的结构工艺性	260
5.4 高分子材料成形新技术	262
5.4.1 高分子材料的快速成形	262
5.4.2 热流道技术	265
5.5 复合材料成形	266
5.5.1 复合材料成形的工艺特点	266
5.5.2 树脂基复合材料的成形方法	267
5.5.3 复合材料制品的结构工艺性	269
5.6 工程实例——汽车轮胎的制造	269
阅读材料——塑料的诞生及其成形加工	273
小结	274
思考题	274
参考文献	275
第6章 粉末冶金及陶瓷成形技术	276
6.1 粉末冶金及陶瓷成形的基本原理	276
6.1.1 概述	276
6.1.2 粉体的基本性能	278
6.1.3 粉体成形的原理	279
6.1.4 烧结的基本原理	280
6.2 粉体的成形方法及设备	281
6.2.1 粉体制备	281
6.2.2 粉体成形	282
6.2.3 烧结	284
6.2.4 后处理	284
6.3 粉末冶金制品的结构工艺性	286
6.4 粉末冶金及陶瓷成形新技术	286
6.4.1 快速成形技术	286
6.4.2 等静压成形	287
6.5 工程实例——铜基含油轴承的制造	288
阅读材料——电灯钨丝与粉末冶金	290

小结	291
思考题	292
参考文献	292
第7章 表面技术	293
7.1 表面技术的基本原理	293
7.1.1 表面技术概述	293
7.1.2 材料的表面特性	296
7.2 表面成型的方法及设备	299
7.2.1 热喷涂	299
7.2.2 电镀	304
7.3 表面成型工艺设计	307
7.3.1 基体表面的预处理	308
7.3.2 热喷涂表面成型工艺	309
7.4 表面工程新技术	311
7.4.1 气相沉积技术	311
7.4.2 高能束表面改性技术	312
7.5 工程实例——发动机曲轴的修复	314
阅读材料——溅射镀膜技术的发展	315
小结	316
思考题	317
参考文献	317
附录 专业术语英汉对照	318

绪 论

材料成形一般指采用适当的方法或手段,将原材料转变成所需要的具有一定形状、尺寸和使用功能的毛坯或成品。材料是人们生活和生产的物质基础,大多数材料在被人们制造成产品的过程中,都需要经过成形加工。产品制造过程的核心就是材料的加工过程,材料成形是制造过程的重要部分之一。材料成形技术种类较多,应用广泛,生产效率高,是现代制造业的基础。

1.1 材料成形技术概述

1.1.1 制造与材料成形

1. 制造

制造一般指通过人工或机器使原材料或半成品成为可供使用的物品(即产品)。制造过程一般需要相应的资源和活动,并产生相应的附加值,如图 1-1 所示。“manufacture”这个英文单词最早出现在 1567 年,源于拉丁词“*manu factus*”,原意是手工制作,即把原材料用手工方式制成有用的产品。

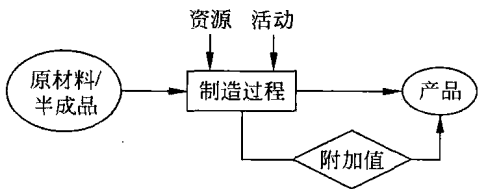


图 1-1 制造的含义

随着历史的发展和技术的进步,制造的含义在不断扩展。目前,制造的含义有狭义制造和广义制造两类。狭义制造又称为“小制造”,指产品的制作过程,这也是一般意义上人们对制造的理解,例如,齿轮的制造、鼠标的制造、汽车的制造等。而广义制造又称为“大制造”,指产品的全生命周期过程,是一个涉及制造中产品设计、材料选择、生产规划、生产过程、质量保证、经营管理、市场销售和服务的一系列相关活动和工作的总称。图 1-2 是从系统角度对制造过程的描述。制造系统的输入主要指制造企业正常运转所需要的条件,包括人员、材料、设备、能源、信息、资金等。制造企业的输出为制造过程产生的一切,包括产品、废物与排

放等。系统的反馈可以用来获得输入、过程和输出三者之间的相互协调。

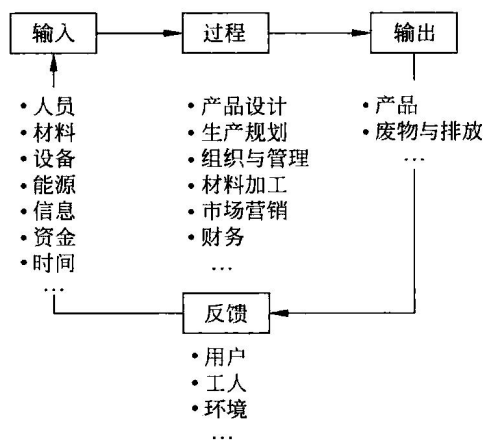


图 1-2 制造的系统框图

2. 材料加工与材料成形

图 1-2 中的制造过程主要涉及产品的设计、生产、销售等方面的相关工作和任务，是制造系统的核心内容，主要包括产品设计、生产规划、组织与管理、材料加工、市场营销等。其中的材料加工(materials processing)是产品制造过程的最基本内容，也是狭义制造的主要内容。

材料加工一般指人类将材料采用适当的方式，加工成所需要的具有一定形状、尺寸和使用性能的零件或产品。材料加工的方法较多，分类方法也不一致。按照在加工过程中材料的形态改变方式，材料加工可以分为三大类：材料变形/成形加工(material forming and shaping processes)、材料分离加工(material separating processes)和材料连接加工(material joining processes)。

图 1-3 列举了产品制造过程中的主要材料加工方法。通常情况下，根据材料在加工过程中的温度，人们将金属材料的加工分为冷加工和热加工两大类。即在金属再结晶温度以下的材料加工称为冷加工，而高于金属再结晶温度的材料加工称为热加工。铸造、锻造和焊接是金属材料的常见热加工方法，是将金属原材料加工成毛坯或成品的主要方法，人们习惯称之为成形加工(forming)。车削、铣削、磨削以及特种加工等是金属材料的常见冷加工方法，人们习惯称之为机械加工(machining)。

随着工程材料种类的增多和材料加工技术的快速发展，制造产品的材料已不局限于金属材料，无机非金属材料、高分子材料以及复合材料已广泛应用于生产和生活的各个领域，相应的材料成形方法也不仅仅是铸造、锻造和焊接，材料成形也包含粉末冶金、塑料成形、复合材料成形以及表面成形等方法。可见，材料成形的范围是不断扩展的。

材料成形不仅可以制造毛坯，也可以直接制造出成品。图 1-4 为零件的制造过程示意图，可以看出零件的制造过程主要由成形加工和机械加工两部分组成的。从这个意义上看，制造技术可分为机械加工制造和成形制造技术两大类。

下面以齿轮的制造过程为例，说明零件制造过程中所涉及的材料成形技术。齿轮是典型的盘套类零件，在工作时齿面承受较高的接触应力和摩擦力，齿根承受较大的弯曲应力，

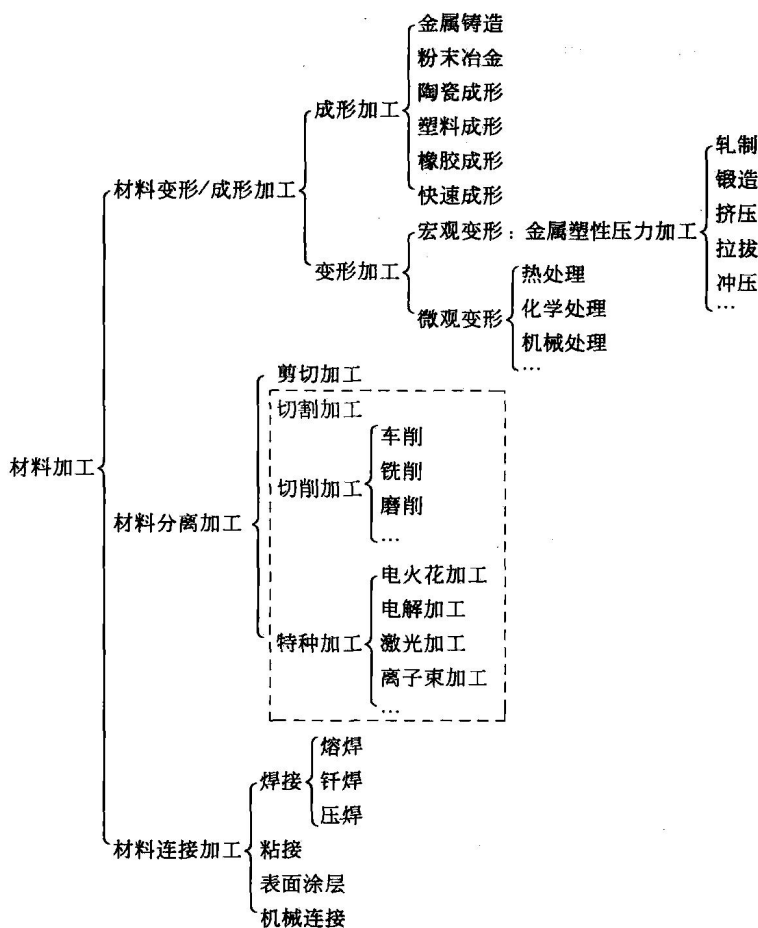


图 1-3 材料加工的分类

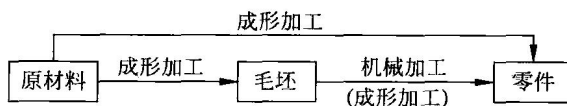


图 1-4 零件的制造过程

有时还承受冲击载荷。因此，对齿轮的力学性能要求较高，要求齿面有高的硬度和耐磨性，齿轮心部有足够高的强度和韧性。齿轮的工作条件不同，材料和制造方法也存在差异。下面列举齿轮的几种不同制造方法。

(1) 对于低速、轻载齿轮，常用低碳钢或中碳钢锻造成形，再经机械加工、调质等工序。

(2) 对于高速、重载齿轮，常采用 20CrMnTi、20CrMo 等合金结构钢锻造成形，再经机械加工、渗碳等工艺。

(3) 对于要求不高的齿轮，可以采用灰铸铁、球墨铸铁等材料铸造成形。

(4) 对于精度和强度要求不高的传动齿轮，如仪器设备、家用器具、玩具等齿轮，可选用尼龙、聚碳酸酯、聚甲醛等塑料注射成形方法制造。

(5) 对于一些强度和硬度较高的小型齿轮,可选用铁基粉末冶金方法制造。

图 1-5 示出了汽车、拖拉机齿轮的制造工艺路线。20CrMnTi 合金钢,适于承受中等载荷以及冲击、摩擦的重要零件,常用来制造汽车和拖拉机的齿轮。汽车齿轮的毛坯经铸造、轧制内孔和锻造 3 个材料成形工艺后,经过机械加工获得一定的尺寸和形状精度;然后经过表面渗碳、淬火及低温回火,使齿面硬度达到 58~62HRC、心部硬度为 30~45HRC;经过喷丸处理可以去除热处理的氧化皮,并在材料表面产生残余压应力,进一步提高齿面硬度、耐磨性能和抗疲劳性能;最后通过精磨加工,去除热处理变形,获得所需的尺寸和精度;经检验合格后即为成品,如图 1-5 所示。

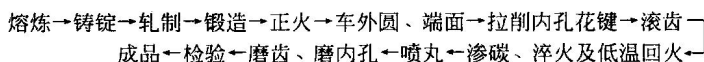


图 1-5 汽车、拖拉机齿轮制造工艺路线

通过上述齿轮的制造工艺可以看出,在零件制造过程中,包含有材料成形和机械加工两类加工方式,而且,两种加工方式在零件工艺路线中可以相互交替出现。当然,不同零件的制造工艺路线是不同的。对于具有一定尺寸公差和形状精度要求的机械零件而言,一般都需要由材料成形制造毛坯,并经机械加工获得成品的工艺过程。

1.1.2 材料成形方法的分类

如图 1-3 虚线所示,除去有关机械加工的切割加工、切削加工和特种加工,其余的材料加工方法便可以归为材料成形方法。上述分类方法具有较广的涵盖面,大部分的材料成形方法均可以包括在内。

按照材料的种类分类,材料成形大致可分为金属材料成形、高分子材料成形、无机非金属材料成形以及复合材料成形,如图 1-6 所示。在图 1-6 所示的分类方法中,有一些成形方法是重复的,例如注射成形可以用于塑料成形,也可以用于橡胶成形,也可以用于陶瓷制品成形。目前,人们较习惯于按成形材料的种类分类,本教材也是按照成形材料的种类介绍各种材料成形技术的。

1.1.3 材料成形加工的特点

材料成形的主要方法有铸造、锻造、焊接、粉末冶金、注塑等。与机械加工相比,材料成形加工具有以下特点。

1. 生产效率高

材料的成形过程可采用机械化、自动化流水作业,可以实现大批量生产。例如,采用高速冲床冲压小型零件,单班产量可达 20000 件。

2. 材料利用率高

机械加工通过材料的去除方式获得所需要的尺寸和形状;而对于铸造、锻造等成形加