

“十三五”国家重点出版物出版规划项目
现代机械工程系列精品教材



Manufacturing Processes

制造工艺基础

朱 平 © 主编

 双色印刷

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

“十三五”国家重点出版物出版规划项目
现代机械工程系列精品教材

制造工艺基础

主 编 朱 平

参 编 (按章节顺序)

于忠奇 彭林法 李永兵 张延松

沈 彬 顾 琳 沈 洪 张雪萍

主 审 姚振强



机械工业出版社

本书着重介绍了各种制造工艺的基本原理、方法、特点、装备、应用以及发展方向。在精选传统材料成形技术与制造工艺内容的基础上,增加了在现代工业制造工程中应用的新工艺、新技术和新进展,遵循“先原理、再工艺,先传统、再现代”的编排方式。本书主要内容包括金属铸造成形工艺、金属塑性成形工艺、连接成形工艺、机械加工方法与金属切削原理、金属切削机床、工件装夹与制造质量分析等。本书引入工艺设计实用资料和典型工艺案例,内容由浅入深、由表及里、由理论到实践。全书共分10章,在每章后面都附有适量的复习思考题。

本书为高等院校机械工程类专业本科学生的专业技术基础课教材,也可供工科近机类专业学生选用,同时还可作为相关科研及工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

制造工艺基础/朱平主编. —北京:机械工业出版社,2018.10
“十三五”国家重点出版物出版规划项目 现代机械工程系系列精品教材
ISBN 978-7-111-61055-7

I. ①制… II. ①朱… III. ①机械制造工艺-高等学校-教材
IV. ①TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第227485号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:蔡开颖 责任编辑:蔡开颖 王海霞 刘丽敏

责任校对:郑婕 封面设计:张静

责任印制:孙炜

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2019年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·30.5印张·750千字

标准书号:ISBN 978-7-111-61055-7

定价:69.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com



前言

本书是高等院校机械工程类各专业学生的综合性专业技术基础课教材，按教育部本科机械类专业人才培养模式改革要求，根据教育部《新工科研究与实践项目指南》的精神，汲取了大量的国内外相关资料及教材的优点，结合编者多年的教学和教改经验，由上海交通大学一线教学团队教师编写而成。本书内容涵盖机械加工中传统的热加工、冷加工以及现代机械加工工艺，系统地论述了各种制造工艺的基本原理、方法、特点、装备、应用以及发展方向。本书在精选传统材料成形技术与制造工艺内容的基础上，增加了在现代工业制造工程中应用的新工艺、新技术和新进展，遵循“先原理、再工艺，先传统、再现代”的编排方式。本书内容丰富精炼、知识体系完整，符合教育部的改革精神，有助于对机械创新型人才的培养。

随着世界范围内科技革命和产业变革的加速进行，以新技术、新业态、新产业、新模式为特点的新经济蓬勃发展，迫切需要培养一大批多样化、创新型的卓越工程科技人才。从培养学生成为专业知识面宽、基础扎实的人才目标出发，本书不仅注重对学生获取知识、分析问题与解决工程技术实际问题能力的培养，还注重对学生工程素质与创新思维能力的培养。全书共分10章：第1章介绍了机械制造系统的概念和零件成形基本原理以及先进制造技术；第2~6章介绍了铸造成形、塑性成形、连接成形以及其他成形工艺，毛坯成形方法的选择；第7、8章介绍了机械加工方法、金属切削原理以及金属切削机床；第9、10章介绍了夹具的定位与夹紧、机械加工质量及其控制以及工艺规程等内容。以此组成全书的章节结构，使读者对制造业的整个生产活动有一个完整的系统概念，对各部分知识形成连贯的认识。本书根据机械工程类各专业方向的特点，编写内容丰富、覆盖面宽，授课时应结合专业特点灵活选用内容。

本书由朱平主编，参加编写的人员及分工是：朱平（第1章、第2章、第6章），于忠奇、彭林法（第3章），李永兵（第4章），张延松（第5章），沈彬（第7章），顾琳（第8章），沈洪（第9章），张雪萍（第10章）。在本书编写过程中，参考了相关教材、手册、学术期刊论文、文献资料等内容，在此一并向其作者表示由衷的感谢。

姚振强教授担任本书的主审并提出了许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

本书涉及的专业知识面较广，由于编者水平和经验有限，书中难免有不足和疏漏之处，敬请读者批评指正。



目录

前言

第1章 机械制造系统与制造技术的发展

1.1 机械制造系统概述	1
1.2 材料成形原理	3
1.3 材料加工与成形方法	4
1.4 机械制造技术的发展	8
复习思考题	26
参考文献	27

第2章 金属铸造成形工艺

2.1 金属铸造成形理论基础	28
2.2 常用合金的铸造	46
2.3 铸造成形工艺方法	57
2.4 铸造工艺设计与铸件结构设计	76
2.5 金属铸造成形先进技术	94
复习思考题	104
参考文献	107

第3章 金属塑性成形工艺

3.1 塑性成形概述	108
3.2 塑性成形理论基础	109
3.3 体积成形工艺	115
3.4 薄板成形工艺	133
3.5 先进塑性成形技术	171
复习思考题	175
参考文献	177

第4章 连接成形工艺

4.1 连接成形工艺概述	179
4.2 焊接成形理论基础	180
4.3 熔焊	196
4.4 压焊	207
4.5 钎焊	216

4.6 焊接件的结构工艺性	222
4.7 胶接工艺	228
4.8 先进连接技术	231
复习思考题	237
参考文献	239

第5章 材料的其他成形工艺

5.1 粉末冶金成形	240
5.2 非金属材料成型	249
5.3 快速成形技术	264
复习思考题	271
参考文献	271

第6章 毛坯成形方法选择

6.1 材料成形方法选择的原则与依据	273
6.2 零件毛坯的主要种类及其成形特点	280
6.3 常用机械零件毛坯成形方法的选择	289
6.4 毛坯成形方法选择实例	292
复习思考题	295
参考文献	295

第7章 机械加工方法与金属切削原理

7.1 零件表面成形与机械加工方法	296
7.2 切削运动与切削要素	313
7.3 刀具结构与材料	317
7.4 金属切削过程及其物理现象	321
7.5 工件材料的切削加工性	334
7.6 高速切削技术	335
复习思考题	342
参考文献	343

第8章 金属切削机床

8.1 金属切削机床概述	344
8.2 金属切削机床核心部件	349



8.3 常见金属切削机床	365	参考文献	429
复习思考题	381	第10章 机械加工工艺流程	430
参考文献	381	10.1 加工工艺流程概述	430
第9章 工件装夹与制造质量分析	382	10.2 机械加工工艺流程设计	434
9.1 夹具概述	382	10.3 机械加工工艺流程及典型应用 实例	449
9.2 夹具的定位与夹紧	387	10.4 机械装配工艺流程	472
9.3 定位误差分析	397	复习思考题	478
9.4 机械加工质量及其控制	405	参考文献	479
9.5 机械加工表面质量	413		
复习思考题	425		



第 1 章

机械制造系统与制造技术的发展

1.1 机械制造系统概述

1.1.1 机械制造系统及其组成

系统是由若干个相互作用和相互依赖的元素（或部分）组成的、具有特定功能和目标的有机整体。系统的基本特征为：

- (1) 整体性 这是最核心的特征，表现为追求整体目标的最佳效果。
- (2) 环境适应性（柔性） 表现为能在复杂的市场环境下很好地适应和生存下去。
- (3) 元素集合性 为满足以上两个特征，需要协调各相关元素之间及其和整体之间的关系，使各相关元素集合在一个整体系统中。
- (4) 层次性 为了方便研究复杂的系统，可把它分解成各层次的子系统逐一分析，最终解决复杂的系统问题。

工厂是社会生产的基本单位。工厂根据国家的生产计划、市场需求情况以及自身的生产条件，决定其生产的产品类型和产量，制订生产计划，进行产品设计、制造、装配等，最后输出产品。

随着微电子技术、控制技术、传感技术与机电一体化技术的迅速发展，由系统论、信息论和控制论组成的系统科学与方法论在机械制造领域产生了越来越大的影响，由此产生了机械制造系统的概念。目前，机械制造系统已经被定义为具有整体目的性并包含物质流、信息流和能量流的系统。机械制造系统包括从原材料到产品实现其社会价值的整个范围，如图 1-1 所示。

整个系统由信息流、物质流和能量流联系起来。信息流主要是指计划、调度、管理、设计、工艺等方面的信息；物质流主要是指从原材料经过加工、装配到成品的过程，并包括储存、运输、检验、涂装、包装等过程；能量流主要是指能源动力系统。

1.1.2 机械制造系统的功能结构

机械制造系统的功能结构如图 1-2 所示，该图将机械制造系统按功能归纳为若干个子

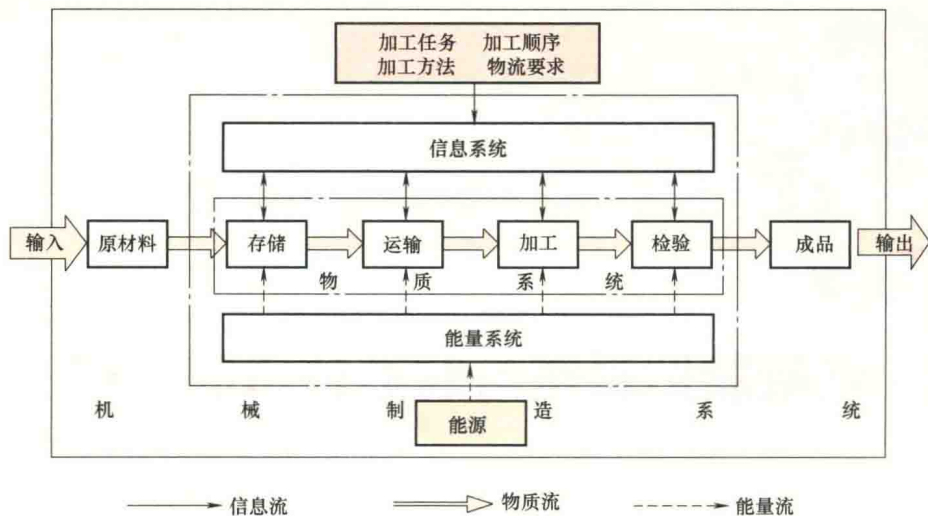


图 1-1 机械制造系统基本框图

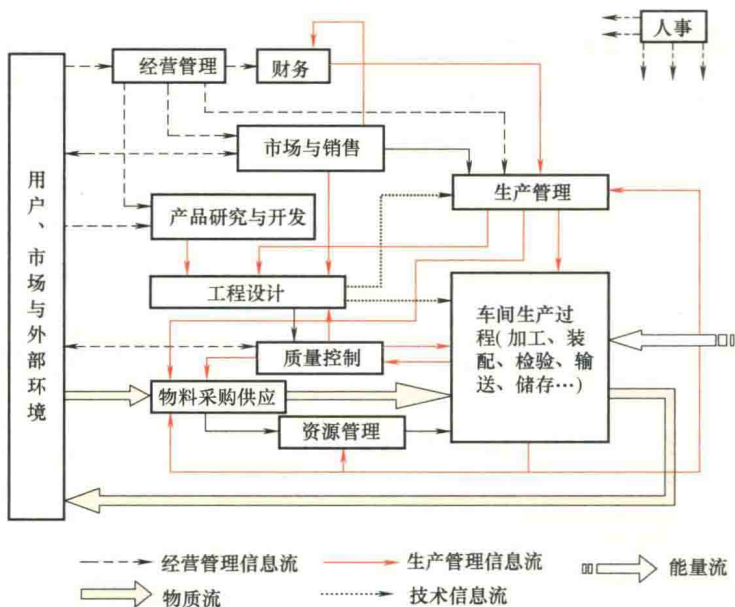


图 1-2 机械制造系统的功能结构

系统。

- 1) 经营管理子系统：确定企业的经营方针与发展方向，进行战略规划与决策。
- 2) 市场与销售子系统：进行市场调研、分析和预测，制订销售计划，开展销售与售后服务。
- 3) 产品研究与开发子系统：制订开发计划，进行产品开发。
- 4) 工程设计子系统：进行产品设计、工艺设计、工程分析、样机试制、试验与评价，制订质量保证计划。

5) 生产管理子系统: 制订生产计划、作业计划, 进行库存管理、成本管理、设备管理、工具管理、能源管理、环境管理、生产过程控制。

6) 物料采购供应子系统: 完成原材料及外购件等物料的采购、验收和存储。

7) 车间生产子系统: 进行零件生产、部件与产品装配、检验、输送、存储等。

8) 质量控制子系统: 收集用户需求与反馈信息, 进行质量监控和统计过程控制。

除此以外, 整个机械制造系统还包括财务、人事、资源管理等子系统。各个功能子系统既相互联系又相互制约, 形成一个有机的整体, 从而实现从用户订货到产品发送的制造全过程。从上述机械制造系统的功能结构图中可见, 制造技术的研究范围更广了, 这也是当前科学技术发展的需要和方向。

从图 1-2 中不仅应看到物质的流动过程, 更应注重控制物流的信息流, 如经营管理信息流、生产管理信息流、技术信息流。制造过程中的能量消耗及其流程, 构成了系统的能量流。

1.1.3 机械制造系统的自动化技术

把机械制造业的全过程看成一个有机的整体, 以系统的观点进行分析和研究, 能对整个制造过程实施最有效的管理和控制, 进而取得最佳的整体利益。同时, 系统具有充分的灵活性和适应性, 也能对多变的市场状况做出迅捷而准确的反应, 这就是系统的柔性。这也是当代机械制造业发展的主流。为了提高系统的柔性和自动化效率, 一般可以从以下两个途径入手并将两者相互结合: 第一, 采用成组(相似)技术, 扩大和应用相似性原理, 如从利用零件形状和生产相似(使小批量扩大到大批量), 逐步扩大到工艺设计、产品设计、生产管理、信息控制, 最后到制造系统中的模块和子系统的广义相似; 第二, 采用数控技术, 如 NC、FMC、FMS、CAM、CIMS 等, 提高加工设备、生产线和制造系统的柔性, 使其能高效、自动化地加工不同的零件, 生产出不同的产品, 从而快速响应市场和顾客的需求。

1.2 材料成形原理

机器或设备中的零件要完成一定的功能, 首先必须具备一定的形状, 这些形状可以通过不同的成形原理来获得。

按照由原材料或毛坯制造成零件的过程中质量 m 的变化, 可分 $\Delta m < 0$ 、 $\Delta m = 0$ 和 $\Delta m > 0$ 三种材料成形原理, 不同成形原理采用不同的成形工艺方法。

(1) $\Delta m < 0$ 材料去除原理, 是指在制造过程中, 通过逐渐去除材料而获得需要的几何形状, 如传统的切削加工方法, 包括磨削、特种加工等。

(2) $\Delta m = 0$ 材料基本不变原理, 是指在成形前后, 材料主要发生形状变化, 而质量基本不变, 如铸造、锻造及模具成形(注射、冲压等)工艺。

(3) $\Delta m > 0$ 材料累加(Material Increase)成形原理, 是指在成形过程中, 通过材料的累加获得所需形状, 如 20 世纪 80 年代出现的快速原形(Rapid Prototyping, RP)技术。

1.2.1 $\Delta m < 0$ 的制造过程

$\Delta m < 0$ 主要是指切削加工。切削加工是通过刀具和工件之间的相对运动及相互间力的作

用实现的。工件往往通过夹具装夹在机床上，机床带动刀具或工件或两者同时运动。切削过程中，有力、热、变形、振动、磨损等现象产生，这些运动的综合决定了零件最终能够获得的几何形状及表面质量。

对于加工精度及表面粗糙度要求特别高的零件，需要采用精加工及超精加工工艺。精加工及超精加工工艺的尺寸精度往往可达到亚微米乃至纳米（nm）级，这些工艺在航空航天、计算机产品等领域有着广泛的应用。

特种加工是指利用电能、光能或化学能等完成材料去除的成形方法，这些方法主要适用于用常规加工方法难以加工的场所，如加工超硬、易碎材料等。例如，当前发展比较快的“三束”加工，包括激光束、电子束、离子束加工，在微细加工中有着广泛的应用。另外，近几年发展起来的高压水射流等加工方法也有其显著的优点。

1.2.2 $\Delta m=0$ 的制造过程

$\Delta m=0$ 主要是指材料的成形过程。统计数据表明，机电产品中 40%~50% 的零件是由模具成形的，因此模具的作用是显而易见的。模具可分为注射模、压铸模、锻模、冲裁模、拉深模、吹塑模等。在我国，模具设计与制造目前是一个薄弱环节。模具制造精度一般要求较高，其生产方式往往是单件生产。模具设计要用到 CAD、CAE 等一系列技术，是一个技术密集型的产业。

1.2.3 $\Delta m>0$ 的制造过程

20 世纪 80 年代出现的材料累加法制造工艺中，成形后与成形前相比 $\Delta m>0$ ，制造过程中，零件是通过材料的逐渐累加成形的。这一工艺方法的优点是可以成形任意形状复杂的零件，而无需刀具、夹具等工具，也无需进行相关生产准备活动。这一工艺又称 RP 技术。RP 技术制造出来的原型可作为设计评估、投标或展示的样件。RP 技术与快速精铸技术（Quick Casting）及快速模具制造技术（Rapid Tolling）等相结合，又可以为小批量或大批量生产服务，因此，RP 技术成为加速新产品开发及实现并行工程的有效技术，一些工业发达国家（如美国、日本等）已经全面应用这一技术来提高制造业的竞争能力。

RP 技术已形成了几种成熟的工艺方法，进入了商业化阶段。目前，商业化工艺方法主要有光固化法（Stereo Lithography, SL）、叠层实体制造法（Laminated Object Manufacturing, LOM）、激光选区烧结法（Selective Laser Sintering, SLS）、熔积法（Fused Deposition Modeling, FDM）。此外，目前正在研究的工艺方法还有三维打印法、漏板光固化法等。这些工艺方法有各自的不同特点，各有不同的适用场合。

1.3 材料加工与成形方法

1.3.1 材料加工与材料成形

图 1-3 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) 是产品制造过程中最基本的内容, 也是狭义制造的主要内容。

材料加工一般是指采用适当的方式, 将材料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的过程。材料加工的方法较多, 分类方法也不尽相同。按照加工过程中材料形态的改变方式, 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 1-4 所示为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。在金属再结晶温度以下进行材料加工称为冷加工, 而高于金属再结晶温度进行材料加工称为热加工。铸造、锻造和

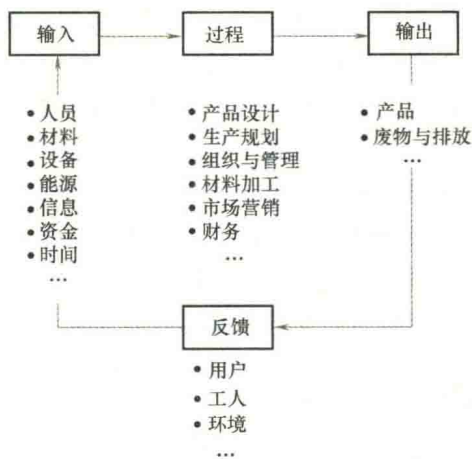


图 1-3 制造系统框图

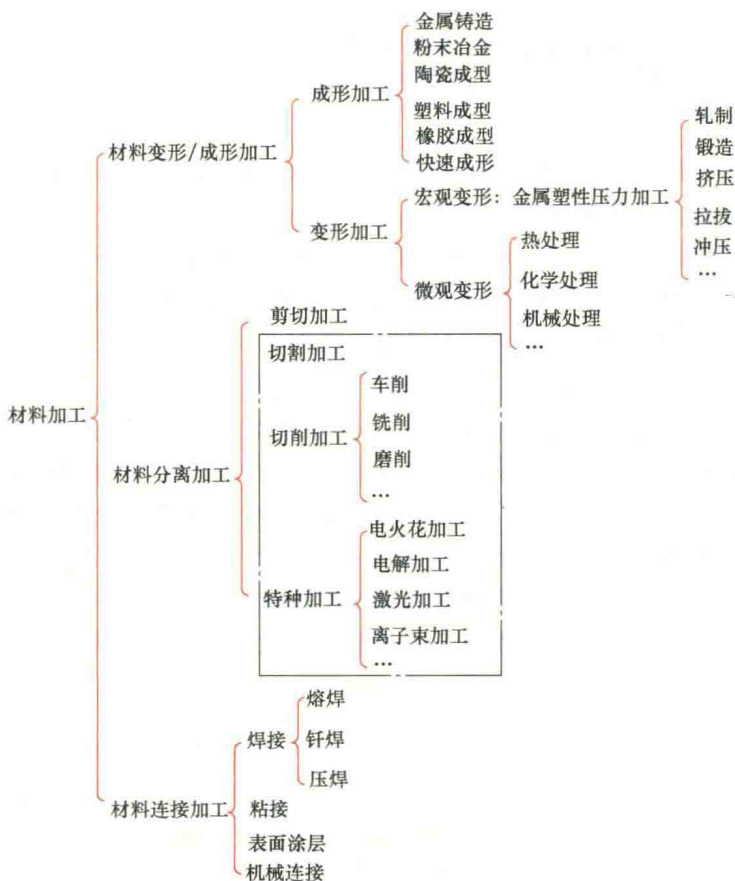


图 1-4 材料加工方法分类

焊接是常见的金属材料的热加工方法，是将金属原材料加工成毛坯或成品的主要方法，人们习惯称它们为成形加工；车削、铣削、磨削以及特种加工等是常见的金属材料的冷加工方法，人们习惯称其为机械加工。

随着工程材料种类的增多以及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被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，还包含粉末冶金、塑料成型、复合材料成型以及表面成形等。可见，材料成形的范围是不断扩展的。

材料成形技术不仅可以制造毛坯，也可以直接制造出成品。图 1-5 所示为零件的制造过程，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。从这个意义上看，制造技术可以分为机械加工制造技术和成形制造技术两大类。



图 1-5 零件的制造过程

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，工作时，其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，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，其所用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，可以使用灰铸铁、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、玩具等的齿轮，可选用尼龙、聚碳酸酯、聚甲醛等塑料注射成型方法制造。

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。

汽车、拖拉机齿轮的制造工艺路线如图 1-6 所示。20CrMnTi 合金钢适用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、轧制内孔和锻造三个材料成形工艺后，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，进一步提高齿面的硬度、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。

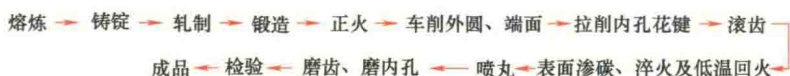


图 1-6 汽车、拖拉机齿轮的制造工艺路线

由上述齿轮的制造工艺可以看出，零件制造过程涉及材料成形加工和机械加工两类加工方式，而且两种加工方式在零件的制造工艺路线中可以相互替换。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，一般都需要经历通过材料成形制造毛坯，并经机械加工获得成品的工艺过程。

1.3.2 材料成形方法

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。在图 1-7 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型，也可以用于橡胶成型，还可以用于陶瓷制品成型。

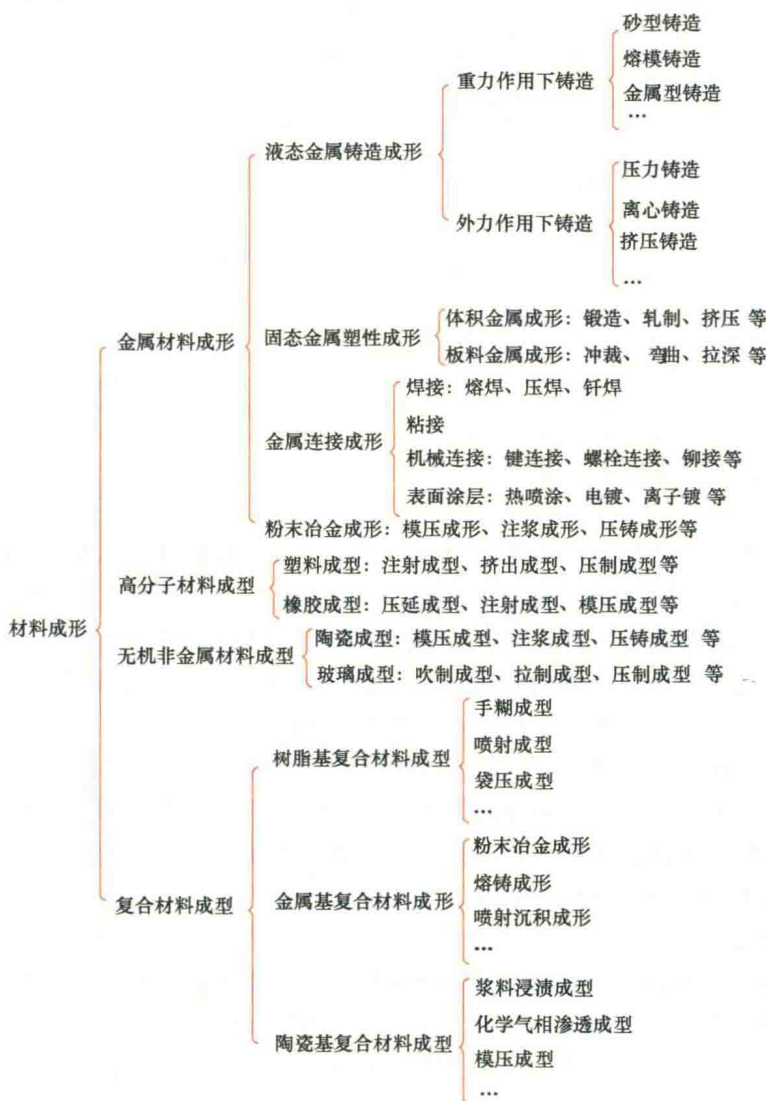


图 1-7 材料成形方法分类

材料成形方法的种类较多，各有特色，有些材料成形方法具有独特的性能，是其他材料加工技术所不能替代的。例如：金属材料通过塑性成形加工可以获得纤维组织，有利于提高材料的力学性能。与切削加工相比，采用塑性成形技术加工的锥齿轮的强度和疲劳寿命均提高了20%；高熔点时，难熔材料需要用粉末冶金方法制造；对于塑性较差的铸铁材料而言，

铸造是零件成形的唯一选择，具有复杂型腔的缸体、箱体、壳体类零件通常采用铸造成形。

材料成形技术广泛应用于机械、汽车、电子、化工、家用物品制造等领域。以汽车为例，汽车中有 80%~90% 的零件是通过材料成形方法制造的。表 1-1 中列举了汽车主要零件的材料成形方法。

表 1-1 汽车主要零件的材料成形方法

材料成形方法	典型汽车零件举例
铸造	发动机缸体、离合器壳体、变速器箱体、液压泵壳体、活塞、化油器壳体……
锻造	连杆、曲轴、半轴、齿轮、万向节、板簧、十字轴……
冲压	车门、驾驶室顶棚、油箱、发动机舱盖……
焊接	车门、车身、车架、油箱……
注射成型	转向盘、车灯、保险杠、内饰件、仪表盘
压制成型	轮胎、密封垫
粉末冶金	离合器、制动器、轴承、齿轮
陶瓷成型	电热塞、气门、摇臂镶块
玻璃成型	风窗玻璃、反光镜
表面技术	齿轮、连杆、亮条、车身

1.4 机械制造技术的发展

现代制造技术或先进制造技术是在 20 世纪 80 年代提出来的，但其工作基础的奠定已经历了半个多世纪的时间。最初的制造是靠手工来完成的，以后逐渐用机械代替手工，以达到提高产品质量和生产率的目的，同时为了解放劳动力和减轻繁重的体力劳动，出现了机械制造技术。机械制造技术有两方面的含义：一方面，是指用机器来加工零件（或工件）的技术，更明确地说是在一种机器上用切削方法来加工零件，这种机器通常称为机床、工具机或工作母机；另一方面是指制造某种机械（如汽车、涡轮机等）的技术。此后，由于在制造方法上有了很大的发展，除用机械方法加工外，还出现了电加工、光学加工、电子加工、化学加工等非机械加工方法，因此，人们把机械制造技术简称为制造技术。

现代制造技术是一门以机械为主体，交叉融合了光、电、信息、材料、管理等学科的综合体，并与社会科学、文化、艺术等关系密切。先进制造技术是将机械、电子、信息、材料、能源和管理等方面的技术进行交叉、融合和集成，综合应用于产品全生命周期的制造全过程，包括市场需求、产品设计、工艺设计、加工装配、检测、销售、使用、维修、报废处理等，以实现优质、敏捷、高效、低耗、清洁生产，快速响应市场的需求。

机械制造技术的发展主要沿着“广义制造”或称“大制造”的方向发展，其具体发展方向如图 1-8 所示。当前，机械制造技术发展的重点是创新设计、并行设计、现代成形与改性技术、材料成形过程仿真和优化、高速与超高速加工、精密工程与纳米技术、数控加工技术、集成制造技术、虚拟制造技术、协同制造技术和工业工程等。

当前值得开展的制造技术可结合汽车、运载装置、模具、芯片、微型机械和医疗器械等进行反求工程、高速加工、纳米技术、模块化功能部件、使能技术软件、并行工程和数控系

统等的研究。我国已是一个制造大国，要形成世界制造中心就必须掌握先进的制造技术，具备很高的制造技术水平，这样才能从制造大国走向制造强国。

1.4.1 机械制造先进技术

先进制造技术是传统制造技术在不断吸收机械、电子、信息、材料、能源及现代管理技术等先进技术成果的基础上，将其综合应用到产品设计、加工、检测、管理、销售、使用、服务的机械制造全过程，实现优质、高效、低能耗、清洁、灵活生产，提高对动态多变市场的适应能力和竞争能力的制造技术的总称。

先进制造技术具有如下特点：

1) 适用于单件、中小批量、多品种的生产规模。

2) 采用信息和知识密集型的生产方式。

3) 使用柔性自动化和智能自动化的制造设备。

4) 重视必不可少的辅助工序，如加工前、后处理；重视工艺装备，使制造技术成为集工艺方法、工艺装备和工艺材料为一体的成套技术；重视物流、检验、包装及储存，使制造技术成为覆盖加工全过程的综合技术，不断发展优质、高效、低耗的工艺及加工方法，取代落后工艺；不断吸收高新技术成果，实现 CAD、CAM、CAPP、CAT、CAE、NC、CNC、MIS、FMS、CIMS、IMT、IMS 等一系列现代制造技术，并实现上述技术的局部或系统集成，形成从单机到自动生产线等不同档次的自动化制造系统。

5) 引入工业工程和并行工程的概念，强调系统化及其技术和管理的集成，将机械和管理有机地结合在一起，引入先进管理模式，使制造技术及制造过程成为覆盖整个产品生命周期的，包含物质流、能量流、信息流的系统工程。

1. 数控加工技术

数控加工技术是集微电子、计算机、信息处理、自动检测、自动控制等高新技术于一体的加工技术，具有精度高、效率高、柔性自动化等特点。普通机床加工是指操作者直接操纵工作台或利用刀具进给手柄对工件进行切削加工，其特点是生产效率低、劳动强度大、对操作者技术要求高。而数控机床加工则是通过由外部输入的程序（按规定格式，将加工零件的几何信息和工艺信息编写成的数字化代码，称为数控加工程序）对工件进行自动加工的，其特点是适应性好、效率高、加工精度高，可以改善劳动条件并降低成本。因此，数控加工

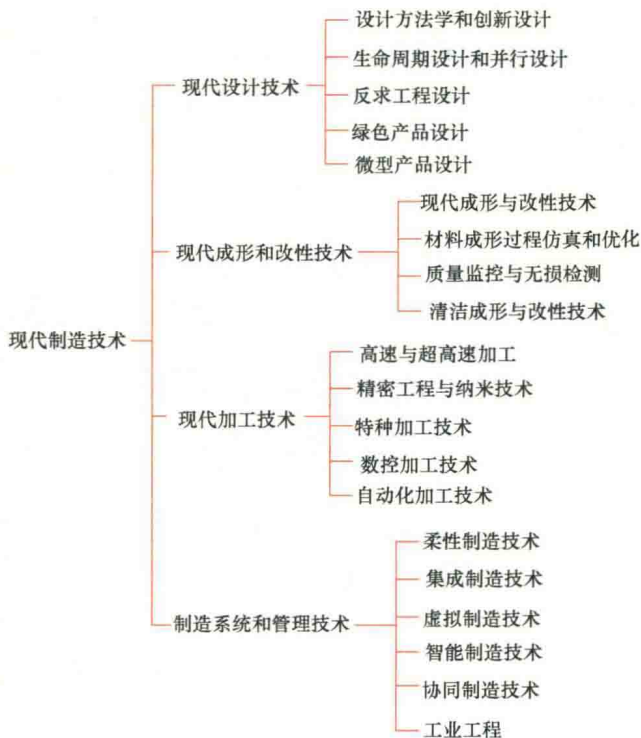


图 1-8 机械制造技术的发展方向

在现代机械加工中的应用日趋广泛，它对机械制造实现柔性集成化、智能化起着至关重要的作用。

(1) 数控机床的基本组成 以数字技术实现机床主运动与进给运动的自动化控制，这种机床称为数控机床。数控机床是从普通机床演变而来的，它主要由输入与输出装置、数控(CNC)系统、伺服驱动系统、机床主机和其他辅助装置组成，如图 1-9 所示。

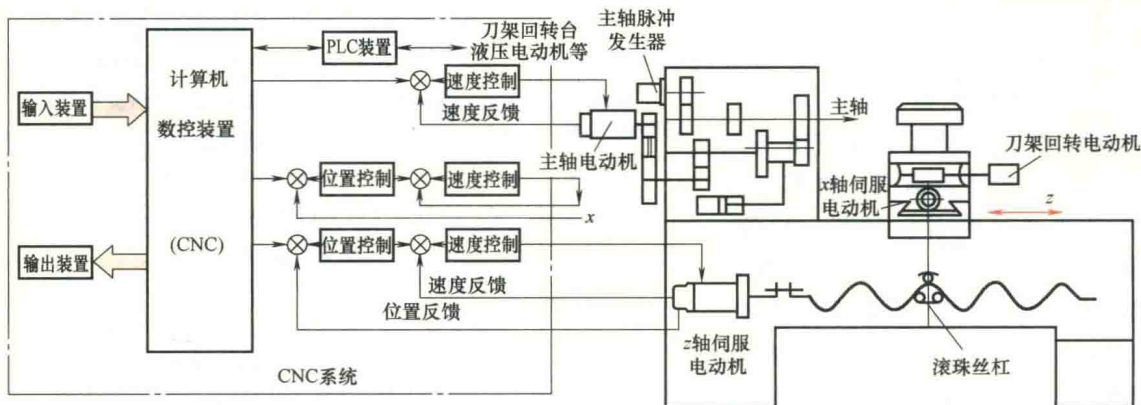


图 1-9 数控机床的基本组成

(2) 数控加工过程 图 1-10 为数控加工过程示意图。其工作过程是：根据零件图样上的数据和工艺内容，用标准的数控代码按规定的方法和格式编制零件加工的数控程序。数控程序是数控机床自动加工零件的工作指令，可以由人工编制，也可以由计算机或数控装置编制。编制好的数控程序通过输入输出设备存放或记录在相应的控制介质上，经必要的信息处理后产生相应的操作指令，经伺服系统控制机床运动，从而完成零件的自动加工过程。

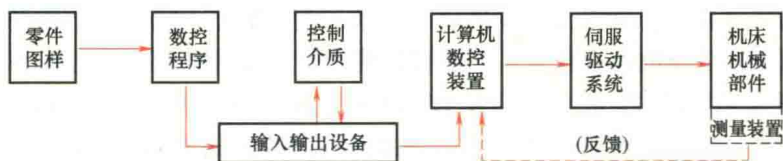


图 1-10 数控加工过程示意图

(3) 数控机床加工的特点 自动化生产是人们始终追求的目标，成批大量生产时，一般采用专用设备、自动机床、组合机床、自动生产线等刚性自动化措施来实现。要实现多品种少批量自动化生产却是一个难题。数控技术在这方面有着重大突破。传统机械加工中的人工操作，在数控机床中可由程序控制自动完成，其加工精度与生产率都大大超过普通机床。所以，数控机床作为自动化设备在机械加工中得到了广泛的应用。与普通机床相比，数控机床有以下几方面的特点：

1) 加工精度高、质量稳定。数控机床的机械结构具有很高的刚度和热稳定性，其传动系统采用无间隙的滚珠丝杠、滚动导轨、零间隙的齿轮机构等，大大提高了机床传动刚度、传动精度与重复精度，数控系统的误差补偿功能消除了系统误差，所以数控机床有较高的加

工精度；数控机床是自动加工，消除了人为误差，提高了同批零件加工尺寸的一致性，加工质量稳定；一次安装能进行多道工序的连续加工，减小了安装误差。

2) 能加工形状复杂的零件。采用二轴以上联动的数控机床，可以加工素线为曲线的旋转体、凸轮、各种空间曲面复杂零件，能完成普通机床难以完成的加工任务。例如，船用螺旋桨是空间曲面复杂零件，加工时采用面铣刀、五轴联动卧式数控机床才能进行加工。

3) 加工生产率高。数控机床加工可显著地节省辅助时间，并优化切削用量，可充分发挥机床的加工能力，与普通机床相比，数控机床的生产率可提高2~3倍，加工中心的生产率可提高十几倍至几十倍。

4) 适应性强，能适应不同品种、规格和尺寸工件的加工。当改变加工零件时，只需用通用夹具装夹工件、更换刀具、更换加工程序后就可立即进行加工。计算机数控系统能利用系统控制软件灵活地增加或改变数控系统的功能，从而适应生产发展的需要。

5) 有利于生产管理现代化。数控机床是机械加工自动化的基础设备，柔性加工单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)以及计算机集成制造系统(CIMS)都是以数控机床为主体，根据不同的加工要求、不同的对象，由一台或多台数控机床配合其他辅助设备(如运输小车、机器人、可换工作台、立体仓库等)而构成的自动化生产系统。数控系统具有通信接口，易于进行计算机间的通信，实现生产过程的计算机管理与控制。

6) 加工成本高。数控机床的造价比普通机床高，加工成本相对较高。所以，不是所有零件都适合在数控机床上加工，它有一定的加工范围，要根据产品的生产类型、结构大小、复杂程度来决定其是否适合使用数控机床加工。通用机床适用于单件、小批量生产，加工结构不太复杂的工件；专用机床适用于大批量工件的加工；数控机床适用于复杂工件的成批加工。

7) 对管理、操作、维修、编程人员的技术水平要求比较高。数控机床作为机电一体化设备有其自身的特点，对管理、操作、维修、编程人员的技术水平要求比较高。数控机床的使用效果在很大程度上取决于使用者的技术水平、数控加工工艺的拟订以及数控程序编制得正确与否。所以，数控机床的操作技术是人才、管理、设备系统的技术应用工程。数控机床的操作人员要有丰富的工艺知识，同时在数控技术应用等方面要有较强的操作能力，以保证数控机床有较高的完好率与开工率。

(4) 加工中心 加工中心是在数控镗铣床基础上发展起来的柔性、高效率的自动化装备，它使数控机床在技术上又上了一个新的台阶。加工中心与数控机床的显著区别在于它装有一套能自动换刀的刀库系统。刀库系统由刀库、机械手和驱动机构组成。在数控系统及可编程控制器的控制下，执行电动机或液压气动机构驱动刀库和机械手实现刀具的选择与交换。加工中心伺服单元控制三轴至五轴的联动伺服机构。

1) 加工中心的分类与应用范围。加工中心按其外形不同，主要分为以下三大类：

① 卧式加工中心。卧式加工中心是指主轴轴线为水平状态的加工中心，它通常带有可分度的回转工作台，如图1-11所示。此类加工中心主要以镗、铣、削加工为主，适合加工壳体、泵体、阀体等箱体类零件以及进行复杂零件中特殊曲线与曲面轮廓的多工序加工。

② 立式加工中心。立式加工中心是指主轴轴线为垂直状态的加工中心，如图1-12所示。此类加工中心主要以钻、铣、削加工为主，适用于中、小零件的钻、扩、铰、攻螺纹等切削加工，也可进行连续轮廓的铣削加工。