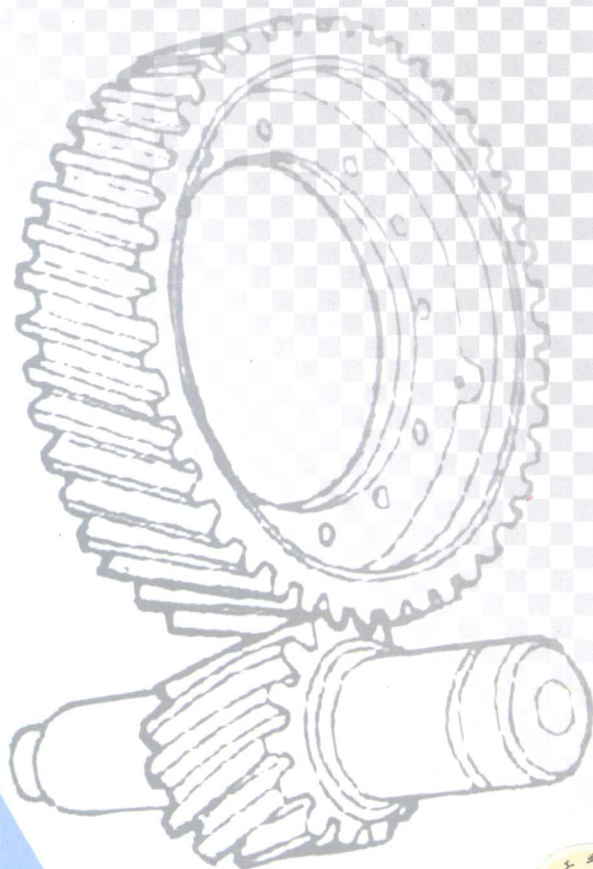


—— 职业技术院校教材 ——

现代机械制造技术概论

XIANDAI JIXIE ZHIZAO JISHU GAILUN

齐 宏 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

职业技术学院教材

现代机械制造技术概论

主编 齐 宏

参编 周立波

江苏工业学院图书馆
藏书章



机械工业出版社

为培养适应新技术进步的 21 世纪的创新人才,本书围绕机械制造生产过程的基本知识和现代制造技术的核心概念,为学生建立起现代制造技术相关学科的知识框架,使学生对现代制造技术及其发展有一个概括的了解。

全书共分 10 章,重点介绍了现代机械制造技术的基本构成、数控(NC)技术、计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)的基本内容,并简要介绍了成组技术(GT)、计算机辅助工艺规程设计(CAPP)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)技术的基本概念和基本方法等。

本书适用于高等职业院校机械设计制造类、自动化类相关专业及施工管理专业使用,也可作为从事计算机辅助设计与制造、计算机集成制造的工程技术人员和技术管理人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代机械制造技术概论/齐宏主编. —北京:机械工业出版社, 2007. 7
职业技术院校教材

ISBN 978-7-111-21637-7

I. 现… II. 齐… III. 机械制造工艺-技术教育-教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 085918 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:荆宏智 责任编辑:马 晋 版式设计:冉晓华

责任校对:王 欣 封面设计:陈 沛 责任印制:杨 曦

北京富生印刷厂印刷

2007 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·8.75 印张·209 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-21637-7

定价:15.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379083

封面无防伪标均为盗版

前 言

21 世纪,制造业不但需要大量的具有熟练操作技能的人才,还需要众多的具备良好新知识挖掘和技术应用推广能力的人才。培养能够不断学习和运用新技术知识、开拓新技术应用能力的合格人才将是我国制造业发展的关键,也是职业教育的一项新任务。

20 世纪 70 年代前后出现的数控 (NC) 技术、成组技术 (GT)、计算机辅助设计与制造 (CAD/CAM)、柔性制造 (FMS) 和计算机集成制造 (CIMS) 都曾经属于制造技术的范畴,并成为机械制造技术教育的一个重要内容——现代制造技术。

早期的新技术仅仅是不同学科领域知识之间的交叉渗透,例如计算机控制技术与机床的结合而发展的 CNC 加工技术。过去的 10 年间,技术的发展特征是跨学科发展,学科间知识的融合还推动了多学科的共同发展,例如 CIMS 系统同时推动了机械设计、生产过程管理组织、市场营销等多学科的发展。正是这种不同学科领域知识之间的作用方式提升了现代制造技术发展的速度。现在,制造技术这个伴随人类出现和发展的技术,正在发生着翻天覆地的变化。

我国的制造技术正在逐渐缩小与国际先进水平的差距,我国先进制造设备的拥有率也处于一个较高水平。但是,具备现代制造技术技能和知识的应用型人才匮乏和人们的知识、理念陈旧制约了我国现代制造技术的发展,羁绊了我国经济发展的步伐。现代制造技术应用领域期望教育部门培养大量掌握现代制造技术理论的实用型人才。

为适应这一需求,培养适应新技术进步的 21 世纪的创新人才,我应上海工程技术大学的邀请,作为主编参加了本书的编写。书中介绍了机械制造生产过程的基本知识和成组技术 (GT)、数控 (NC)、计算机辅助设计与制造 (CAD/CAM)、计算机辅助工艺规程设计 (CAPP)、柔性制造 (FMS)、计算机集成制造 (CIMS) 等现代制造技术的核心概念,为学生建立起现代制造技术相关学科之间的知识框架,使学生对现代制造技术的特点和未来的发展趋势有一个概括的了解,为后继课程的学习打下基础。

本书前言、第 1 章、第 2 章、第 3 章、第 9 章和第 10 章由中国农业大学客座教授,研究生导师、中央广播电视大学齐宏编写,第 4 章、第 5 章、第 6 章、第 7 章、第 8 章由上海工程技术大学高职院校周立波编写。

本书特请了原同济大学郭大津教授审阅,还得到了上海工程技术大学高职院校张院长、叶院长的大力支持,在此表示感谢。限于作者能力水平,书中难免出现错误,恭请读者赐教、指正。

齐 宏

目 录

前言

第 1 章 绪论 1

- 1.1 机械与机械制造简史 1
- 1.2 机械制造生产过程 3
- 1.3 机械专业的研究对象 4
- 1.4 本课程与专业核心课程的关系 5
- 本章小结 5
- 复习思考题 5

第 2 章 机械生产的基础知识 6

- 2.1 机械生产过程中涉及的问题 6
- 2.2 材料与工程材料的性能 6
- 2.3 热处理技术 9
- 2.4 成形加工 9
- 2.5 机械切削加工(冷加工) 10
- 2.6 互换性与测量技术 14
- 本章小结 16
- 复习思考题 17

第 3 章 机械制造工艺 18

- 3.1 工艺学研究的基本内容 18
- 3.2 质量和质量管理概念 19
- 3.3 生产纲领和生产策略 22
- 3.4 机械加工的工艺过程 23
- 3.5 工艺设计的基本要求 24
- 3.6 典型零件的工艺设计过程简介 26
- 3.7 现代制造技术的工艺特点 31
- 本章小结 35
- 复习思考题 35

第 4 章 成组技术 36

- 4.1 概述 36
- 4.2 零件分类编码系统 37
- 4.3 零件分类成组的方法 42
- 4.4 成组工艺过程设计 43
- 4.5 成组生产的组织形式 45

4.6 成组技术的技术经济效益 46

- 本章小结 47
- 复习思考题 47

第 5 章 数控技术与数控机床 48

- 5.1 概述 48
- 5.2 数控方式的分类 51
- 5.3 数控机床 53
- 5.4 数控机床的数控系统 57
- 5.5 数控技术的发展趋势 63
- 本章小结 65
- 复习思考题 65

第 6 章 计算机辅助设计与制造 66

- 6.1 概述 66
- 6.2 CAD/CAM 系统的功能与任务 68
- 6.3 CAD/CAM 系统的构成 70
- 6.4 CAD/CAM 系统的发展趋势 78
- 6.5 仿真技术和虚拟设计 80
- 6.6 工程数据库 83
- 本章小结 86
- 复习思考题 86

第 7 章 计算机辅助工艺规程设计 87

- 7.1 CAPP 的基本概念 87
- 7.2 CAPP 的组成与基本结构 88
- 7.3 CAPP 的基本技术 89
- 7.4 CAPP 的类型及其工作原理 89
- 7.5 CAPP 的发展趋势 91
- 本章小结 92
- 复习思考题 93

第 8 章 柔性制造系统 94

- 8.1 直接数字控制与柔性制造 94
- 8.2 柔性制造系统的功能与应用效果 95
- 8.3 柔性制造系统的组成 95
- 8.4 柔性制造系统的类型与应用 102

本章小结	105	10.1 先进机械制造技术的主要研	
复习思考题	105	究内容	117
第 9 章 计算机集成制造系统	106	10.2 并行工程设计	118
9.1 两种 CIMS 的定义	106	10.3 工业机器人技术	120
9.2 计算机集成制造与计算机集成制造		10.4 企业资源规划 (ERP)	122
系统	106	10.5 先进制造生产模式	125
9.3 CIMS 技术的几个主要组成部分 ...	109	10.6 先进制造技术发展的新动向	127
9.4 现代集成制造系统	115	本章小结	129
本章小结	116	复习思考题	129
复习思考题	116	参考文献	131
第 10 章 先进机械制造技术及其			
发展	117		

第 1 章 绪 论

本章导读：要求正确理解机械、机械制造和机械生产的基本概念，不同生产对象对应的生产策略；基本了解本专业所涉及的核心课程，课程内容的学科知识分布。

学习重点是全面了解机械产品的基本概念、生产过程、构成生产管理的基本要素；掌握本专业核心课程的基本内容和课程定位。

教学建议：应当为 1.1 节（机械与机械制造简史）和 1.2 节（机械制造生产过程）提供相关的多媒体教学资源。有条件的情况下可组织生产现场参观。

1.1 机械与机械制造简史

我们以前读的很多书都谈到机械，例如小学的自然课、中学的物理课，都多次学习“简单机械”。那么作为一个学科、职业的学习和研究，首先需要明确机械专业的知识内容。

首先谈机器。对“机器”概念的界定有很多说法，有一点是共同的：“人们随着自己的需要制造了机器^[1]”，“使用机器是为了减轻人类的体力劳动和提高工作效率，有些人类难以生存的场合更是非借助机器来代替人进行工作不可^[2]。”

机器保持了 3 个特征：

- (1) 它们都是人为的实体的组合。
- (2) 各个运动实体之间具有确定的相对运动。
- (3) 能实现能量转换、代替或减轻人类的劳动来完成有用的机械功能。

人们需要机器，必然要研究怎样制造最好的机器，由此而产生了机器制造业，并推动了制造技术的发展。机械制造发展简要历程大致可以分为三个阶段：手工作坊时代、规模工业化生产时代和现代制造技术时代。

在手工作坊时代的人们是一件一件地生产机器，因此手工作坊时代又称为单件生产模式的时代。它的起源可以追溯到很久以前，考古发现巴比伦帝国在建造通天塔的时候（公元前 800 年）就利用了斜面、轮轴和动滑轮等简单机械（见图 1-1）。还有历史资料为我们呈现了公元前 1 世纪前后的机器，主要是造纸机械、水果压榨机械、运输车辆。这些机器不再是简单机械的直接利用，而是利用了简单机械的原理设计生产的较复杂的机器。出现了机械钟表（1350 年）后，经过一个多世纪的发展，人们的机器制造工艺水平已走向精确化。自从意大利人伽利略发现单摆特性到人们制造出了摆钟，机械制造技术实现了突飞猛进的进步。

和社会经济与技术的发展水平相适应，机械产品的生产还是一种“手艺”，技术知识的传播在这个时期还没有成形的教育，而是建立在师徒之间的手艺传承基础上的。瓦特蒸汽机（图 1-2）的出现带动机器的批量生产，工业从作坊模式进入了规模工业化生产时代。

在这种传统制造技术领域研究的生产模式是一种追求高效率、低成本的大规模生产。这个时代的代表产品是汽车制造。实际上，对生产产品的设备（在机械制造中称为工作母机）也提出了更高的要求，应运而生的是装备制造业。在这个时期，围绕机械产品制造本身的知

识领域出现了明显的专业分工，在按照机械产品生产过程所涉及的技术知识，出现了有代表性的研究领域，并逐步形成了机械学科知识的教学体系，其中的三个机械类传统的专业基础课程见表 1-1。

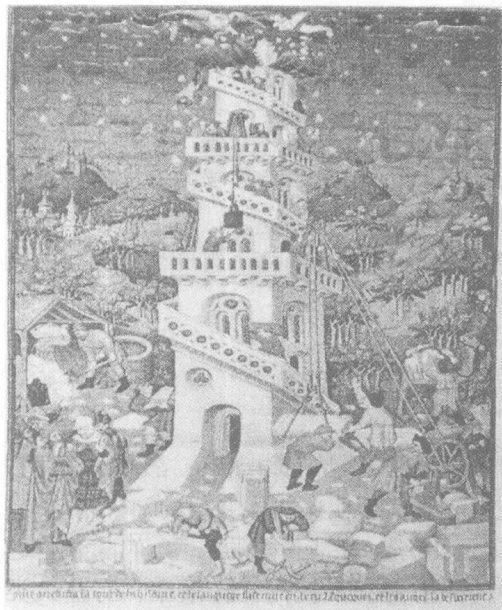


图 1-1 巴比伦在建造通天塔的古代壁画

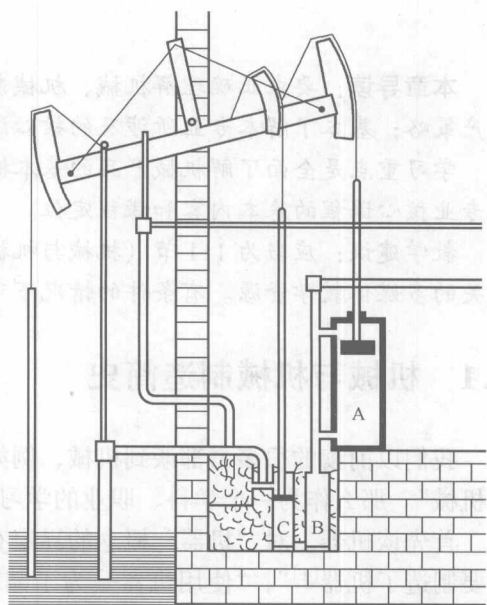


图 1-2 瓦特蒸汽机（1788 年）

表 1-1 机械学的传统研究学科分类

专业课程	研究的目标
机械原理	研究能够实现预想运动的机器
机械设计	研究能够保证安全可靠、使用性能好的机器
机械制造	用最经济的方式生产出满足质量要求的机器

机械原理主要研究了机器的各种结构及其运动规律。它的内容包括讨论机构运动的简化描述和摩擦、效率与自锁；讨论连杆机构、凸轮机构、齿轮和轮系的参数选择和计算；还讨论机器运转的稳定性问题。

机械设计的目标是要使机器满足使用要求，经过 4 个基本过程完成设计：确定设计任务（产品调查、分析和预测，确定机器的外廓尺寸、噪声、重量、成本、适用性和安全性等各项指标）、进行方案设计、技术设计和施工设计。零件设计是机械设计中的一个主要研究内容，它从零件失效研究开始，解决零件的可靠性设计问题。

机械制造（工艺）从生产过程入手，研究高效率生产满足机器运转要求的有关问题。它讨论的范畴包括：生产的组织方式、机械加工的方法和产品质量问题、机械加工的生产流程问题等。传统制造技术的基本知识体系对于现今的产品制造过程仍然是重要的，而且仍然会发展。对这些相关知识的教育仍然是机械制造类专业的主干课程的教学内容。

20 世纪 70 年代前后出现的数控（NC）技术、成组技术（GT）、计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）、柔性制造（FMS）和计算机集成制造（CIMS）都曾经属于制造技术的范畴，

并成为机械制造技术教育的一个重要内容——现代制造技术。应该看到，传统制造技术并没有因为现代制造技术的出现而退出舞台，一方面，在相当多的领域还在沿用传统的制造模式；另一方面，在今后很长的时间内，传统制造模式中的低成本、高效率使得它仍然有广阔的用武之地，例如传统的工艺技术应用在汽车制造等行业的大批量生产活动中。

现代制造技术实际是 20 世纪 70 年代以来逐渐形成的新的机械制造技术研究领域，伴随技术上的进步，制造技术的内涵、手段、管理理念都发生了巨大的变化，我们称之为现代制造技术发展的时代。期间，计算机技术、信息技术、自动控制技术做出了巨大的贡献，不仅使得产品的设计、制造方法和生产过程的很多环节逐渐融为一体，而且有更多的管理技术，甚至包括很多非传统机械制造领域的知识概念（市场营销、物流、团队协作、人性化产品设计等）的不断渗透，推动了制造理念变革，形成了现代制造技术，而且这种伟大的变革还会不断地继续下去。

1.2 机械制造生产过程

生产机械产品一般是为了满足人们的生产、生活需要。而产品的制造过程通常要包括原材料与成品、生产技术准备、毛坯制造、零件加工、装配与调试、成品检验与包装等一系列环节。

机械制造过程是机械制造工艺学（简称制造工艺）研究的内容。通过研究零件的机械加工和产品的装配解决生产过程中的质量、生产率和经济性的问题（工艺学的三类基本问题）。

保证和提高成品质量称为工艺学的第一类问题。成品质量包括整台机械的装配精度、使用性能、使用寿命、可靠性以及零件的加工精度和表面质量。

称为第二类问题的是提高劳动生产率。机械制造工艺学认为提高生产率的方法有三个：一是改变切削加工参数，提高加工效率；二是改进工艺方法和创新工艺，例如新的工艺装备（刀具、夹具等）；三是提高机械制造技术水平，这就是采用先进制造技术，如 GT、NC、FMS、CIMS、RP 等。

工艺学的第三类基本问题是研究生产策略（生产过程的组织策略）。

尤其是先进制造技术推动了制造业和装备业的进步，工艺技术融入了大量的管理科学理念，产品制造策略在不断变化，不同制造策略所包括的工作环节是不同的，如图 1-3 所示。

例如出于环保要求，柴油发动机需要生产低（尾气）排放和天然气燃料发动机。作为一种新产品投产需要建设专门的生产线（或专门生产厂）。对于类似建设生产线的大项目（制造飞机、建造厂房），其技术策略称为工程目标 ETO（Engineering to Order），ETO 生产策略的起始时间



图 1-3 各生产策略类型的起始点

是从工程设计环节开始的。

第二种生产策略称为生产目标 MTO (Make to Order)。它包括对具体产品的修改或设计、产品生产的全过程,按照订单进行的生产活动是典型的 MTO 策略,它的起始时间是从订单就开始了。

第三种生产策略称为装配目标 ATO (Assemble to Order)。典型的生产模式是制造汽车,它最后的订单是客户对产品的具体要求(型号、外观等),ATO 生产策略是根据市场需求的预测、部件产品(例如其它厂生产的发动机、汽车底盘、传动系统等)的质量、数量保证水平确定自己的生产策略。

第四种生产策略称为期货目标 MTS (Make to Stock)。它是适应市场淡季、旺季变化进行的生产策略。例如空调机在销售淡季需要对下一个生产旺季进行预测,并确定相应的生产计划。当然,MTS 这也可能包括采用 ETO 策略,例如城市对汽车尾气排放标准提高,可能产生的新发动机和技术需求,需要新的生产线出现;MTS 也可能包括 MTO 和 ATO。

区分生产策略的关键点是确定不同生产策略的特征,解决生产过程中的问题:

1) 来自外部的挑战。

2) 明确策略实施成功的要素。

3) 调整生产指导规则。

4) 调整软硬件系统。

5) 调整市场环节。

影响采用不同生产策略的因素之一是各种策略相适应的生产批量,有统计结果表明的规律,如图 1-4 所示。图中纵轴为产品需求量。显然,ETO 适合很小生产批量的产品,MTO 适于批量生产,ATO 和 MTS 策略适应的生产批量基本相等,即适合于大量生产;同时根据生产策略在水平轴方向的分布宽度反映其实际出现比率关系,ETO 的比率最小,MTO 的相对出现比率最大,采用 ATO 和 MTS 策略的几率基本相等。

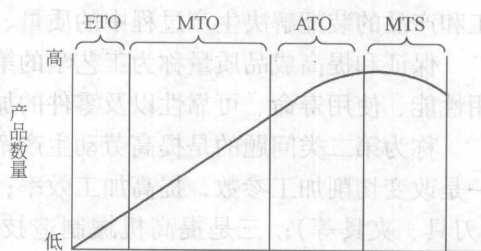


图 1-4 各类生产策略与适用的产品数量

1.3 机械专业的研究对象

从教育学科分类的角度,机械类教学一般可以分为 4 个亚类(2 级专业):机械设计与制造类、机械生产自动化类、机电设备类和汽车类。这是依据生产特征进行的分类,各类产品之间具有不同的制造精度。为了最经济的生产目的,需要采用不同的生产策略和制造技术手段,对于学生来说,要具备不同的基础知识和基本能力。

从我国制造业发展总体状况看,机械类(包括所有专业亚类)最缺乏的是工作在生产一线的,具有专业知识和能力的生产人员和工程技术人员。有调查证明,对于工科学生来说,为了适应现代技术的迅速发展,特别需要不断更新知识。因此,本课程的教学任务主要体现在系统把握新技术发展特征和归纳新知识能力的训练上。

1.4 本课程与专业核心课程的关系

学习本课程应该有计算机应用基础（主要是会运用 Word 和 PowerPoint）、并具有机械图的基本识图能力。考虑到学生在高中阶段对 Word 和 PowerPoint 的了解，所以本课程可以作为基础课程，可以和数学、外语等课程同步教学。

本课程的后继课主要是机械设计基础、机械制造基础和机械类专业课。

为了全面掌握专业基础课程和专业课程的知识内容，学生需要完成规定的基础课程学习任务，与本课程的后继直接相关的课程是其它专业基础课程和专业课程。包括机械原理、机械设计、工程材料及其工艺、刀具、机床、加工工艺学等；为了掌握现代机械制造技术，专业基础课程还必须包括一定数量的电类和其它类的课程，如电工电子技术、计算机控制，另外自动控制、管理学方面理论知识学习也是必须的。

后继的制造专业技术课程有关于 GT、CAPP、FMS、CIMS 的专业课程，本课程只介绍必要的最基本概念，为学生全面理解本专业的知识体系构建框架，便于设计个人学习策略，培养自学能力，也为相关专业课程学习打下基础。

本章小结

本章首先介绍的是机械学的基本知识，机器最初的产生是为了减轻人类的体力劳动和提高工作效率。制造出机器要经过三个主要过程：能够实现预想运动的机械原理设计、保证安全可靠的使用性的机械设计和用最经济的方式生产出满足质量要求机器的机械制造过程。

然后讲述了现代制造技术的基本构成，介绍了机械专业的研究对象。

复习思考题

1. 生产出机械产品必须要经过原理设计、零件设计和制造工艺设计，简述三个设计过程的基本目标。
2. 机械工艺学研究的三类基本问题是什么？
3. 简述四种生产策略的特点。

第2章 机械生产的基础知识

本章导读：在掌握了机械的基本概念之后，本章介绍机械生产的基本知识，包括材料和加工的基本方法这两个核心内容，这是一个机械专业技术人员必备的机械制造基础知识。通过学习为不同专业方向的学生学习后面的专业课程打下基础。

学习重点：是对制造机械使用的材料基本性质与类型、改变材料性质的技术手段、机械零件的成形和加工方法有全面的认识。

教学建议：对于首次接触切削加工方式和加工机床概念的学生来说，它们是比较容易混淆的概念，教学中需要注意说明其区别。误差是研究零件加工质量的一个主要概念，因此误差的概念和分类是讲授的重点；工艺规程部分概念较多，应注意抓住基本概念讲授。

2.1 机械生产过程中涉及的问题

我们已经知道机器是人们的一种生产工具。在人类漫长的生产活动中对机械制造，或者说是制造机械过程的认识都涉及了哪些基础知识？为了获得更好用的机器，人们在机械制造过程中需要研究制造机器所用的材料、为发挥材料的性能进行的特定处理方法、零件的成形手段及其造成的误差。还包括：最经济的加工方法、减小制造误差的技术策略、制造过程各加工步骤先后次序和质量保证手段等问题。

研究机械制造和我们日常生活中烹调美味佳肴的过程很相似，有选择蔬菜品种（原材料）和解决烹制手段（加工过程）两个问题。

2.2 材料与工程材料的性能

古人类首先是利用天然材料的不同性质制作工具，例如：利用石头打制的刀狩猎和切割猎物以饱腹，用兽骨制成针缝制兽皮以御寒，用木材和草搭建房屋以蔽日遮雨等。随后出现的是人类的烧结工具：陶器，红陶和灰陶，标志了人类对材料认识上的一个重要的飞跃；人类对金属冶炼的认识是从熔化温度较低的青铜开始的，青铜实际是一种铜的合金（多元金属元素组成的金属材料），铁的冶炼是材料科学领域的一个重要里程碑，铁比青铜具备更为优秀的韧性、耐磨性，铁的可加工性使人们注意到材料科学的两个最基本概念：材料的强度和韧性，也正是因为钢（铁碳合金）的这些优秀性能才使其成为至今仍然被广泛应用的工程材料。

在铁及其合金的研究和应用不断深入发展的过程中，人们还不断探索新材料的应用，拓宽了人类选择材料的空间，对材料的各种性能指标的认识也在不断深化，从不同的专业角度提出对各项性能指标的相对重视程度。在机械制造专业中，人们考虑最多的是材料的可加工性和综合经济性指标，应运而生的是非金属材料的发展，具有代表性的是高分子材料科学的突破，由此也促进了加工技术的发展。常用工程材料的分类如图 2-1 所示。

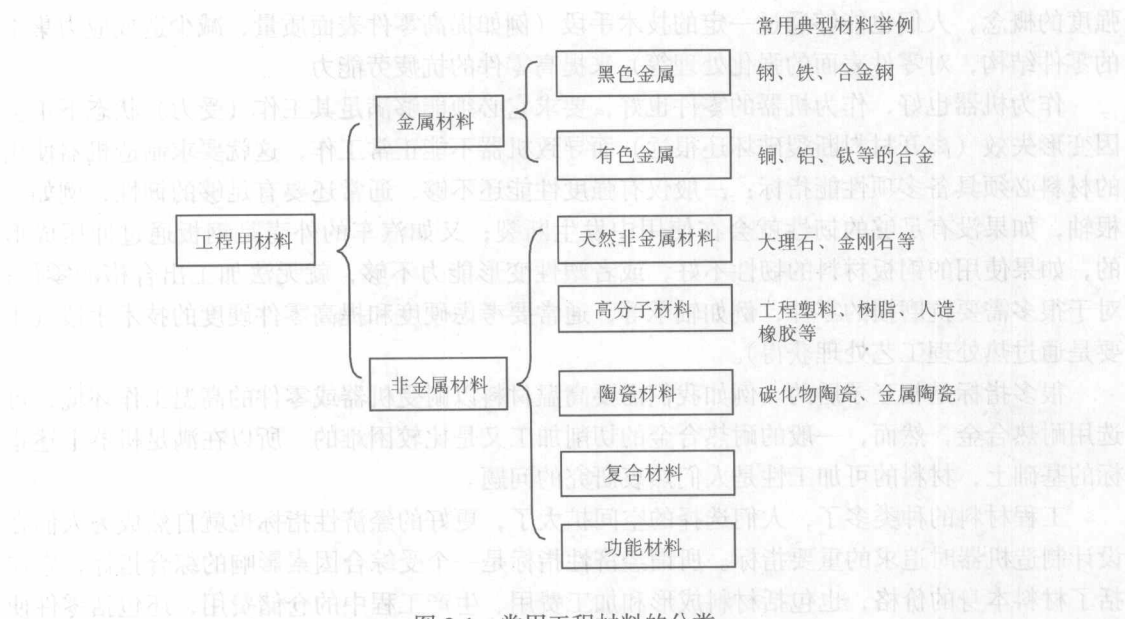


图 2-1 常用工程材料的分类

衡量材料性能的基本指标包括它的强度、韧性、塑性、硬度、抗疲劳强度、可加工性和经济性。在有些特殊的工作环境下还对材料提出特殊的性能指标，例如非常温、高温环境下工作的材料需要用耐热合金材料；在低温环境下（青藏铁路的钢轨）要考虑材料的低温性能；在避免磁场影响或利用磁场作用的环境下，必须考虑材料的磁性能特征；在另外的使用场合（制造变压器铁心使用的硅钢片）则要利用材料特殊的磁性能。

材料受到外来力的作用一般都表现为变形，例如拉伸一个橡皮筋（弹性材料），受到拉力会伸长，放松后可以看到三个结果：回弹（回复原状）、变形（不能回复原来长度）或拉断。一般的金属材料也属于弹性材料，观察它的受力变形过程是在拉伸试验机上进行的。另外一种材料是脆性材料，例如岩石材料，它几乎没有受到拉力而变形的能力，但具备优秀的抗压性能。由于它承受很大的压力而没有变形的特点可用于做基础，有很多的机器零件用的铸铁材料就属于脆性材料。

评价工程使用材料的主要性能指标一般包括这样的内容：

(1) 强度 强度是指金属材料在载荷作用下抵抗塑性变形或断裂的能力。包括两个指标，即屈服点和抗拉强度。

(2) 塑性 塑性是指金属材料在载荷作用下产生塑性变形而不断裂的能力，在手册中可以看到它的两种表示方法：断后伸长率和断面收缩率指标。这也是在产品中经常使用的加工方法，用来加工需要变形的金属零件，如用钢板冲压的汽车外壳、不锈钢水杯等。

(3) 韧性 零件在工作中有一种突然受到的冲击力，例如用锤子打铁，工程上称为冲击载荷。对于承受冲击载荷的零件需要考虑它的一项韧性指标：冲击韧度。

(4) 硬度 硬度是指材料抵抗外物压入其表面的能力。一般硬度高的材料耐磨性能比较好，强度也比较高。

(5) 抗疲劳强度 在机器运行的过程中，还有一种零件载荷是处于周期性变化的受力状态，称为交变载荷。由于机器的很多零件会在交变载荷工作状态下损坏而提出材料的抗疲劳

强度的概念,人们也能够通过一定的技术手段(例如提高零件表面质量,减少造成应力集中的零件结构,对零件表面的强化处理等)来提高零件的抗疲劳能力。

作为机器也好,作为机器的零件也好,要求它必须能够满足其工作(受力)状态下不会因变形失效(离开材料断裂破坏还很远)而导致机器不能正常工作,这就要求制造机器使用的材料必须具备多项性能指标:一般仅有强度性能还不够,通常还要有足够的韧性,例如一根轴,如果没有足够的韧性就会在使用中发生断裂;又如汽车的外壳是钢板通过冲压成形的,如果使用的钢板材料的韧性不好,或者塑性变形能力不够,就无法加工出合格的零件;对于很多需要抗磨损的零件,例如轴承等,通常要考虑硬度和提高零件硬度的技术手段(主要是通过热处理工艺处理获得)。

很多指标是相互矛盾的。例如我们需要高温材料以耐受机器或零件的高温工作环境,可选用耐热合金,然而,一般的耐热合金的切削加工又是比较困难的。所以在满足机器上述指标的基础上,材料的可加工性是人们热衷研究的问题。

工程材料的种类多了,人们选择的空间扩大了,更好的经济性指标也就自然成为人们在设计制造机器时追求的重要指标。所谓经济性指标是一个受综合因素影响的综合指标,它包括了材料本身的价格,也包括材料成形和加工费用、生产工程中的仓储费用,还包括零件使用寿命的分摊价值和产品的二次投入(产品使用后的能耗与维护的投入)等。

人们对所使用金属材料的分类主要是依照其性能。例如,黑色金属材料,人们研究了影响材料力学性能的基本因素,选择了按材料含碳量分类,有工业纯铁、低碳钢、中碳钢、高碳钢、铸铁等,因为碳含量的变化对材料性能产生重要影响。

一般工程上大量使用碳钢(碳元素和铁组成的)制作零件。根据钢铁中含碳量的增加表现出不同的性质:当碳的质量分数很小很小(0.02%)的时候,称之为工业纯铁,材料很软,利用它的电磁特性可以制造电磁铁。随着碳含量的增加,当碳的质量分数较低(低于0.25%)的时候,称为低碳钢,常见的材料20钢的碳的质量分数为0.20%。20钢具备优秀的韧性,同时表现出硬度增加,但是作为工程材料往往显得硬度不高,需要通过热处理方法提高硬度。当碳的质量分数继续增加而低于0.55%的时候,称为中碳钢,这类钢具有良好的韧性、切削加工性,同时具备良好的强硬性,因此是使用最多的碳钢工程材料,例如40钢、45钢。碳钢的碳的质量分数进一步增加且低于0.60%的时候称为高碳钢,最明显的特点是材料热处理后的硬度很高,通常用来制造切削工具,所以也称为碳素工具钢。例如,小直径钻头经常使用的T8、T10材料。当碳的质量分数超过2.11%时,铁碳合金便成为一种坚硬而且脆性明显的材料,即各种铸铁,由于它的切削性指标明显变坏,多数铸铁零件是通过铸造方法生产的(一般还要通过添加其它元素,如金属镁,或通过热处理改变材料的组织结构才能在工程中使用)。

黑色金属材料中还有一个重要的家族就是碳素合金钢,它是在碳素钢中添加少量其它元素来影响材料的某些性能,例如:锰、硅、铬、镍等元素。作为知识必须知道的是加入合金元素对改变材料性能可能是有利的,有时也带来不利的影响,例如钒元素能够改变金属晶格结构,通过控制冶炼过程形成贝氏体结构,是一种特别适合做铁路钢轨的耐磨材料,但它的晶格缺陷是在其它场合下使用时必须注意的问题。

另外,有些元素会明显破坏钢铁的力学性能,最常见的是硫和磷。

2.3 热处理技术

人们在长期使用黑色金属的过程中发现,一般的铁碳材料(称为普通钢)中的不同元素组分影响了材料的强度、韧性、硬度、加工性等多项指标,形成了合金钢。例如常用到的40Cr(一种制造轴承用的钢材)就是在铁碳合金中添加少量的金属铬(Cr)来提高材料的耐磨性能。在发现材料组分对材料性能影响的同时,还发现了热处理对材料性质的影响。

通常的热处理方法包括正火(回火)、退火、淬火和调质等。

退火、正火(回火)的目的是使材料变软,其中退火使得材料变得最软。这些热处理方法可以有效地提高材料可加工性能,在制造过程中,通常将它们安排在材料进入机械加工之前。对于有些精度要求高的零件要在加工过程中间安排回火工序(人工时效),用来消除加工应力,提高最终产品的加工质量。在正火过程中,材料内部的应力得到释放,材料的组织也会发生改变(将在材料学课程中详细讲述)。

淬火的目的是使得材料变硬,这对提高零件的耐磨性等性能产生作用。在一般的生产过程中,对淬火的零件要预先留有加工余量,淬火热处理后进行精加工(采用精车或磨削方法加工)。

前面我们讲到材料的硬度和韧性是一对相互对应的性能指标,一般的情况下,材料的硬度越高越耐磨,但其韧性会降低;韧性越好,耐磨性会下降。为了提高材料的综合性能指标,采用了一种追求零件“内软外硬”的热处理方法:调质。调质实际上是对材料先淬火后退火的热处理工艺过程,它对于合金钢的作用最明显。同时,退火克服了合金钢中的少量金属元素对材料加工性的不利影响。通过退火使得材料避免获得高的硬度。

材料还有一些其它的热处理工艺手段,将在工程材料或金属工艺专业课程中专门讨论。

2.4 成形加工

通常情况下用成形加工方法制造零件毛坯,即在高温情况下进行的加工过程(传统的教学中称之为热加工)。它与改变材料性能为目的的热处理完全不同,材料的热加工是一种改变零件形状或制造机器的过程,主要包括铸造、锻压、焊接的机械生产方式。

2.4.1 铸造

熔炼金属,制造铸型,并将熔融金属浇入铸型,凝固后获得一定形状和性能铸件的成形方法,称为铸造。它在减少零件毛坯切削加工量和原料来源广泛,尤其是可以利用废料、废零件方面的优点,使之成为制造毛坯或零件的重要方法之一。

铸造主要应用在制造体积和重量大、形状复杂,特别是有内腔的毛坯或零件。铸造件使用的主要材料包括各种铸铁、铸钢和铜、铝等有色金属。

铸造主要的质量缺陷是通过改进铸件结构设计解决的。例如保留零件的结构圆角防止产生裂纹、铸件壁厚尽量均匀(要逐步过渡)防止金属材料凝固时出现缩松、防止过大的水平面(指铸造时处于水平位置的大平面)防止金属材料填充的缺陷等。

2.4.2 锻压

锻压是对坯料施加外力、使其产生塑性变形、改变尺寸、形状及改善性能,用以制造机械零件、工件或毛坯的成形加工方法。

了解锻造的过程可以借鉴生活的很多类似事情,如“揉馒头”一是为了成形,二是使馒头不松散。我们在影视节目中看到的铁匠打铁就是最简单的金属锻造过程。在成形加工中,把这种直接通过锻打成形的方法叫做“自由锻”,对应地,有一种用模子的方法,是在压力下使坯料流动而充满模型的锻造方法称为“模锻”,也很像用模子做月饼的过程。

冲压件在生活中使用得很多。它的成形方式主要有:冲裁,利用模具或剪刀使板料分离;弯曲,使坯料的一部分相对于另一部分弯曲成一定角度的工序;拉深,使坯料变形成开口空心零件的工序,如金属杯子。

弯曲和拉深加工最主要的质量问题是材料拉裂,一般是通过改进零件设计和热处理的方法解决。

2.4.3 焊接

焊接是通过加热或加压,或两者并用,并且用或不用填充材料、使工件达到结合的一种方法,它是一种金属之间永久性连接的方法。焊接的方法包括三种:熔焊,将金属材料局部熔化的焊接,如我们日常可以见到的焊条电弧焊;压焊,通过对焊接件施加压力,或通过加热的焊接,如罐头筒的焊接;钎焊,将低熔点填充金属熔化后使焊接件金属结合的焊接,如日常见到的气焊,电子课实验中焊接电路板都是钎焊。

钎焊主要应用在制造大型结构件上,如车辆、船舶、桥梁、水轮机、容器、管道等;也用于制造机器零件(或毛坯),如机器架、箱体等;还可用于修补零件的缺陷或损坏的零件。

2.5 机械切削加工(冷加工)

机械切削加工是通过刀具和工件的相对运动(干涉)切除毛坯的多余部分的过程,因为它通常是在室温下加工零件,因而称为“冷加工”。冷加工方法通常包括车、铣、刨、磨、钻、镗。

2.5.1 机械加工刀具

机械加工过程是刀具和零件在相对运动中发生干涉时将零件表面材料切除的过程。刀具质量对加工质量、切削效率起到重要的作用,因此对刀具的研究是机械制造的一个重要的课题,包括对刀具的材料、刀具切削角度和刀具结构的研究。

衡量刀具的材料性能优劣的基本指标有4个:具有强韧性、热硬性、可加工性和经济性。例如碳素工具钢、合金工具钢、硬质合金、陶瓷、金刚石材料等都是具有不同性能指标的刀具材料。

刀具角度的选择将直接影响切削加工的效率和刀具本身的使用寿命,因此不同用途、不同精度要求的零件表面、不同的工件材料,需要选择不同的刀具角度。刀具的主要角度包括

(见图 2-2):

(1) 前角 前角越大,切削刃越锋利,切削的过程也越顺利;前角越小,刀具的强度越好,越能够承受冲击力。

(2) 后角 刀具的后角越大,越有利于提高零件表面的质量,但使得刀具的强度下降得越多,一般加工回弹比较大的材料(铜、铝等有色金属)的零件应采用较大的后角,对回弹小的零件(铸铁等)都采用较小的后角。

刀具的其它角度,如刃倾角、主偏角、副偏角等将在刀具课程中详细介绍。

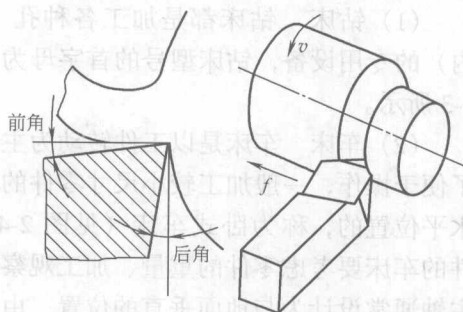


图 2-2 外圆车刀

2.5.2 切削加工方法

判断加工方法类型的依据是加工过程中的“切削运动”,切削运动包括主运动(消耗主要切削功率的运动)和进给运动(保证切削能够持续进行的运动):

(1) 车削加工 车削加工的特点是工件做回转运动(主运动),因此它最适合加工零件回转表面,加工中刀具的运动为进给运动,它可以是直线运动(直母线的圆柱或圆锥表面),或是曲线运动(加工曲面,如球面)。在车削加工中通常是一种连续的、平稳的切削过程,一般可以获得比较好的零件表面质量。

特殊地,利用车削加工也能够实现平面的加工(辅助运动和工件回转轴线相垂直的运动),例如加工轴的端面,加工盘类零件的平面。

(2) 铣削加工 铣削加工的主运动是刀具做回转运动,工件做直线运动(辅助运动),适合加工平面、沟槽、孔、轮齿等零件表面。

为了提高铣削加工的效率,铣削所用的刀具多数有较多个切削刃。和车削加工相比较,铣削的加工过程不够平稳,所以零件表面质量相对差一些。

(3) 刨削加工 刨削加工的运动比较简单,它的主运动是刀具的往复直线运动,工件的运动是一种辅助运动,适合加工平面、沟槽等表面。刨削加工是一种费用较低的加工方式,是一种可以实现高表面质量(很光洁的表面)的加工。

(4) 磨削加工 磨削加工是生产零件高精度表面的切削加工方法,它是通过砂轮上坚硬的颗粒将零件表层材料切除的方法实现切削加工,特别适用于经过淬火后硬表面的精加工。也是加工成本较高的加工手段,尤其是高表面精度要求零件的加工。

(5) 钻削加工 钻削加工和镗削加工都是加工孔表面的切削加工方法,其差别是镗削加工适合加工直径大、精度高的孔,但是不能加工没有预制孔的表面。

(6) 特种加工 特种加工是一种为特殊目的,或用特殊方法的加工,例如,线切割加工冲模、电火花加工模具腔体、激光加工等等。

其它还有一些切削加工方法就不再一一列举。

2.5.3 金属切削机床

人们已经制造了很多种类的机床,按照适应不同切削运动的特点把机床分为钻床、车