

教育部 - 西门子产学合作专业综合改革项目系列教材



机械制造工艺

——基于 Tecnomatix 平台

孔宪光◎主编

西门子工业软件（上海）有限公司 监制



高等教育出版社

教育部-西门子产学合作专业综合改革项目系

机械制造工艺

——基于 Tecnomatix 平台

Jixie Zhizao Gongyi

孔宪光 主 编

叶向林 马洪波 副主编

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是教育部-西门子产学合作专业综合改革项目系列教材之一,通过对机械制造工艺学的理论知识讲解并结合专业工艺在西门子仿真软件(Tecnomatix)中的应用,介绍机械制造工艺和先进数字化工艺技术。

本书分为6章,第1章介绍机械制造技术现状和机械制造技术发展趋势等,第2章介绍机械制造基础知识及理论,第3章介绍传统工艺规程设计流程与方法、计算机辅助零件工艺规程设计、基于Tecnomatix的零件工艺设计、仿真与管理,第4章介绍机械装配工艺基础知识与理论,第5章介绍传统装配工艺设计流程与方法、计算机辅助装配工艺规程设计、基于Tecnomatix的装配工艺设计与管理,第6章介绍工艺仿真与验证,包括人机工程、工业机器人、数字化工厂设计和物流等。

本书可作为普通高等学校机械类专业的教材,也可供机械类专业的研究生及机械制造行业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工艺:基于Tecnomatix平台/孔宪光主
编.--北京:高等教育出版社,2015.8
ISBN 978-7-04-043583-2

I. ①机… II. ①孔… 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(2015)第171631号

策划编辑	薛立华	责任编辑	薛立华	封面设计	杨立新	版式设计	马敬茹
插图绘制	杜晓丹	责任校对	张小镝	责任印制	尤 静		

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 三河市华润印刷有限公司
开 本 787 mm×1092 mm 1/16
印 张 10.25
字 数 240千字
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.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2015年8月第1版
印 次 2015年8月第1次印刷
定 价 18.80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 43583-00

Preface

Siemens PLM Software has partnered with of the People's Republic of China Ministry of Education (MOE) to support education in engineering technology and help provide the global manufacturing industry with a highly trained and heavily recruited workforce.

This series of textbook cultivates innovative engineering technology talent and enhances career competitive advantages for China's university students. It supports the use of leading edge technology to give students a solid platform to become excellent engineers in the 21st century, and pioneer the development of digital and intelligent manufacturing throughout the country.

This series of textbook combines theory and practice through explanation and examples to enhance the reader's basic knowledge and skills of product lifecycle management (PLM).

The curriculum integrates attributes and processes from Siemens PLM software, which is used by leading manufacturing companies around the globe to develop some of the world's most sophisticated products. This includes NXTM software for integrated computer- aided design, manufacturing and engineering simulation (CAD/CAM/CAE), Teamcenter[®] software for digital lifecycle management software and Tecnomatix[®] software for digital manufacturing.

Strong instruction by top China universities accelerates the development of certified industrial IT talent and boosts the application of computer- aided and digital technologies in the field of engineering.

We are impressed with the innovative engineering design projects developed by students leveraging this series of textbook with top notch classroom instruction.

Leo Liang
CEO and Manager Director
Greater China
Siemens PLM Software

Dora Smith
Global Director
Academic Partner Program
Siemens PLM Software

序言

Siemens PLM Software 与教育部高等教育司合作，支持工科类教育事业，为全球制造业培养和提供大量训练有素的人才。

本系列教材适用于创新型工程技术人才的培养，有助于提高大学生的职业竞争力，为学生成为 21 世纪优秀工程师、全国的数字化和智能制造发展先驱提供了一个领先的技术平台。

本系列教材理论和实践相结合，通过详细的解析及案例分析，增强了读者掌握产品全生命周期 (PLM) 的基本知识和技能。

本系列教材集成了 Siemens PLM Software 的操作及属性，该软件被全球制造业公司用于开发最复杂的产品，软件包括 NX™ 集成计算机辅助设计、制造和工程仿真 (CAD/CAM/CAE) 软件、Teamcenter® 产品全生命周期管理软件、Tecnomatix® 数字化制造软件。

在强有力的引导下，中国顶尖大学加速了工业认证 IT 人才的发展，提高了计算机辅助技术和数字化技术在工程领域的应用水平。

我们深信读者在本系列教材及顶级课堂教学的指引下，一定能掌握创新性工程设计项目的开发。

梁乃明

首席执行官兼董事总经理

大中华区

Siemens PLM Software

Dora Smith

全球总监

教育合作发展部

Siemens PLM Software

前言

本书是教育部-西门子 2013 年产学合作专业综合改革项目(教高司函[2013]101 号)系列教材之一。

机械制造行业是国民经济最重要的基础产业之一,制造企业通过产品的制造过程和工艺,利用制造资源将材料和信息“转变”为有用物品,来为社会提供所需的产品与服务。工艺设计用于确定制造过程及制造所需的制造资源和制造时间等,是完成产品设计信息向制造信息转换的关键性环节,对产品质量和制造成本具有极重要的影响。随着制造技术与计算机技术的不断交叉与融合,数字化制造(digital manufacturing)技术已经成为制造业发展的关键驱动因素,对传统机械制造工艺的知识体系和学科发展都提出了新的要求和挑战。

从 20 世纪末开始,中国制造业一直尝试不断使用数字化、信息化技术改造传统工艺设计环节。计算机辅助工艺规程设计(computer aided processing planning, CAPP)技术是其中最典型的代表,通过信息输入、数值计算、逻辑判断和推理等功能来制订工艺路线、工艺过程和统计汇总,从而完成生产准备工作。目前, CAPP 系统在国内众多制造企业广泛应用,解决了手工工艺设计效率低和一致性差等问题,但其应用仍停留在二维工艺卡片的电子化和数据化,应用的广度和深度还远远不能满足企业需求。随着三维 CAD 的广泛应用,基于三维工艺设计实现三维工艺模型化并提升工艺设计质量,是数字化工艺和制造的发展趋势。

随着第四次工业革命的来临,各国纷纷出台先进制造发展计划,如德国的工业 4.0、美国的“振兴美国先进制造业”“中国制造 2025”等,而数字化工厂是重要基础之一。基于虚拟三维数字化环境对生产过程进行仿真、评估和优化,是解决工艺设计、工艺规划和生产线优化的瓶颈问题,降低设计到生产制造的不确定性,缩短从设计到生产的转化时间,支撑新型快速多变的生产组织方式。西门子公司的 Tecnomatix 软件作为三维数字化工厂的典型方案,体现了工艺设计、仿真与管理的最新技术发展现状。目前,国际许多著名制造企业和国内少数先进制造企业都开始应用这项技术,结合数字化工厂技术改造传统工艺环节和知识体系,符合当今先进制造技术的发展趋势。

“机械制造工艺基础”是我国高等理工院校贯彻和落实工艺教育的一门重要的技术基础课程,然而传统机械制造工艺教材偏重于理论环节,与先进数字化制造技术和软件脱节,不能适应企业三维数字化应用发展和先进工艺教育体系要求。本书面向全国高等学校机械类专业,通过对机械制造工艺学的理论知识讲解并结合专业工艺在西门子仿真软件(Tecnomatix)中的应用,介绍机械制造工艺和先进数字化工艺技术,便于读者对机械制造工艺和数字化应用有更深入的了解。

本书的特点是将机械制造工艺专业知识和数字化制造技术充分融合,将机械加工工艺过程、机械加工工艺系统、机械制造中的加工方法及装备、机械加工质量及其控制、工艺规程设计、机械装配工艺基础等机械制造技术理论,同 Tecnomatix 软件的工艺规划、装配过程仿真分析、数字化工厂、人机工程、工业机器人、自动化生产线等先进的软件技术结合。另外,通过习题安排和案例求解,使读者不但可以学到专业知识,同时对工程实际有一定的了解,提高实践能力和专业素质。

本书主编为西安电子科技大学机电工程学院孔宪光副教授(机械工程学会高级会员,西安电子科技大学智能制造西门子校企联合实验室主任、工业大数据技术研究中心主任、可靠性试验与仿真实验室副主任),从1997年开始多年致力于数字化制造和工艺技术的研究和系统开发工作,曾参与多项国家级CAPP项目和航空、装备等大型CAPP项目实施,讲授“先进制造技术”“现代CAPP技术”“数字化工厂技术”等课程,负责编写第1、3、5章;西安电子科技大学马洪波副教授负责编写第6章及全书统稿,殷磊负责编写第2章,常建涛负责编写第4章,刘保强、何春江、王亚茹参与编写部分章节和书稿校阅;西门子数字化制造专家叶向林工程师为本书提供了大量丰富的Tecnomatix素材和行业方案。全书由孔宪光任主编,叶向林、马洪波任副主编。

本书的出版得到孔宪光负责的陕西省教改项目“基于产学研合作的工业虚拟实验室建立模式和方法研究”(编号:13BY20)、西安电子科技大学“学校优秀教材”项目(编号:BJ1409)的支持。

西北工业大学贾晓亮教授认真审阅了本书并提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示诚挚的谢意。本书编写过程中得到了西安电子科技大学仇原鹰、李团结、郭宝龙、郭涛、朱敏波和崔传贞等教师,西安高压电器研究院有限责任公司李翌辉博士、西电西变有限责任公司赵宏武先生,西门子公司方正研究员、陈志光先生、赵辉女士的大力帮助和支持,在此一并表示感谢。

随着工艺技术、信息化技术以及Tecnomatix软件产品的不断发展,本书的内容难免存在不足和错误之处,恳请广大读者给予批评指正。

编者

2015年5月于西安

目录

第1章 绪论	1
1.1 机械制造技术现状	1
1.2 机械制造工艺过程及系统	2
1.2.1 生产过程及工艺过程	2
1.2.2 生产类型与工艺特点	4
1.2.3 机械制造工艺系统	6
1.3 计算机辅助工艺规程设计(CAPP)	7
1.3.1 概述	7
1.3.2 CAPP 的结构及其功能	8
1.3.3 CAPP 存在的主要问题	9
1.4 机械制造技术发展趋势	10
1.4.1 第四次工业革命	10
1.4.2 数字化制造技术概述	11
1.4.3 基于 Tecnomatix 的数字化制造技术	12
习题	15
第2章 机械制造基础知识与理论	16
2.1 切削过程及其控制	16
2.1.1 切削过程原理	16
2.1.2 工件材料的切削加工性	18
2.1.3 切削条件的选择	19
2.2 常见的切削加工方法概述	21
2.2.1 传统机床加工概述	21
2.2.2 数控机床与线切割	26
2.3 机械加工精度与表面质量	27
2.3.1 机械加工精度	27
2.3.2 机械加工表面质量	30
2.4 机床夹具	34
2.4.1 机床夹具概述	34
2.4.2 工件的定位	35
2.4.3 工件的夹紧	38
习题	39
第3章 零件工艺设计、仿真与管理	40
3.1 传统零件工艺规程设计流程与方法	40
3.1.1 零件的结构工艺性分析	40
3.1.2 定位基准的选择	42
3.1.3 加工工艺路线的制订	44
3.1.4 加工余量和工序尺寸的确定	49

3.1.5 工艺尺寸链及其应用	52
3.1.6 时间定额	55
3.2 计算机辅助零件工艺规程设计	56
3.2.1 CAPP 技术发展的三个阶段	56
3.2.2 CAPP 系统的工程应用	59
3.3 基于 Tecnomatix 的三维零件工艺设计、仿真与管理	60
3.3.1 西门子 CAM-CNC 集成一体化解决思路	60
3.3.2 零件工艺编制	62
3.3.3 工装设计	64
3.3.4 数控加工工艺设计与编程	65
3.3.5 加工工艺仿真与优化	69
3.3.6 工艺文档的管理与输出	77
习题	80
第4章 机械装配工艺基础知识与理论	82
4.1 装配工艺的发展历程	82
4.2 装配的概念	83
4.3 装配精度概述	84
4.3.1 装配精度	84
4.3.2 零件精度与装配精度的关系	85
4.3.3 装配尺寸链	86
4.3.4 保证装配精度的办法	88
4.4 装配系统	101
4.4.1 给料系统	101
4.4.2 装配连接方法	105
4.4.3 装配机器人	106
习题	111
第5章 装配工艺设计与管理	112
5.1 传统装配工艺设计流程与方法	112
5.1.1 装配工艺编制过程	112
5.1.2 传统装配工艺存在的问题	113
5.2 计算机辅助装配工艺规程设计	114
5.2.1 概述	114
5.2.2 CAAPP 系统的结构与功能	114
5.2.3 CAAPP 系统存在的主要问题	116
5.3 基于 Tecnomatix 的装配工艺设计与管理	116
5.3.1 虚拟装配方案	116
5.3.2 装配工艺信息建模	118
5.3.3 装配规划	119
5.3.4 公差分析仿真	121
5.3.5 Tecnomatix 在装配规划方面的特点	122

5.4 Tecnomatix 在规划过程中的应用	124
习题	129
第 6 章 工艺仿真与验证	130
6.1 人机工程虚拟仿真与工效学评价	130
6.1.1 人机工程学概述	130
6.1.2 人机工程虚拟仿真系统分析	133
6.1.3 基于 Tecnomatix 的人机工程工作流程	135
6.2 工业机器人、自动化生产线模拟与虚拟调试	140
6.2.1 机械运动仿真	140
6.2.2 机器人仿真	142
6.2.3 虚拟试生产	143
6.3 数字化工厂设计和生产物流优化	145
6.3.1 工厂设计与优化	145
6.3.2 物流仿真与优化	148
习题	150
参考文献	151

第1章 绪 论

机械制造工艺是以机械制造过程中的工艺问题为研究对象的一门技术科学。我国是制造业大国，目前正朝着制造业强国的方向迈进。本章主要讲述机械制造技术现状、传统的机械制造工艺过程以及机械制造技术的发展趋势。

1.1 机械制造技术现状

制造技术是以满足人们所需为目的，运用主观掌握的知识和技能，利用客观物质并采用有效的方法，使原材料转化为物质产品的过程所施行的手段的总和，是生产力的主要体现。制造技术、投资和熟练劳动力结合在一起将创造新的企业、新的市场和新的就业。制造技术是制造业的支柱，而制造业又是工业的基石，因此可以说制造技术是一个国家经济持续增长的根本动力。

机械制造技术就是完成机械制造活动所施行的一切手段的总和，具体来说就是研究产品设计、生产、加工制造、销售使用、维修服务乃至回收再生的整个过程的工程学科，是以提高质量、效益、竞争力为目标，包含物资流、信息流和能量流的完整的系统工程。进入21世纪，全球性的产业结构重新组合和国际分工不断深化，科学技术在突飞猛进地发展，各国都把提高产业竞争能力及发展高新技术，抢占未来经济的制高点，作为科技工作的主攻方向。在机械制造技术方面，我国与世界各国的联系日益紧密，中国市场与国际市场进一步接轨，面对国内外市场的激烈竞争，我国企业对技术的需求更加迫切和强烈。努力找出存在的差距与任务，才能够在制造工艺技术与管理水平上提高自己的竞争力。

与工业发达国家相比，我国机械制造业仍存在整体发展不平衡的差距，集中表现为整体制造技术水平在设计方法和手段、制造工艺、制造过程自动化技术及管理技术诸多方面都明显落后。为了提高整体制造技术水平，首先要重视工艺，按经济规律组织生产，不断提高生产管理水平，处理好质量、生产率和经济性之间的关系，找出三者最佳结合点。不断提高企业的产品自主开发能力，以新兴微电子、光电技术为基础，着力发展重型成套设备、装备的生产能力，提高重型成套设备、装备大批制造技术的水平，提高生产优质高效的精密仪器及工艺装备的能力，为新产品的投产及形成规模提供新工艺、新装备，形成合理比例的常规制造技术、先进制造技术及高新技术并存的多层次结构，这将成为我国机械加工技术近期发展的战略任务。

1.2 机械制造工艺过程及系统

1.2.1 生产过程及工艺过程

一、机械产品生产过程

机械产品生产过程是指从原材料开始到成品出厂的全部劳动过程,它既包括毛坯的制造,零件的机械加工和热处理,机器的装配、检验、测试和涂装等主要劳动过程,还包括专用工具、夹具、量具和辅具的制造,机器的包装,工件和成品的储存和运输,加工设备的维修,以及动力(电、压缩空气、液压等)供应等辅助劳动过程。

由于机械产品的主要劳动过程都使被加工对象的尺寸、形状和性能产生一定的变化,即与生产过程有直接关系,因此称为直接生产过程。而机械产品的辅助劳动过程虽然不是使加工对象产生直接变化,但也是非常必要的,因此称为辅助生产过程。所以,机械产品的生产过程是由直接生产过程和辅助生产过程所组成。鉴于机械产品复杂程度的不同,其生产过程可以由一个车间或一个工厂完成,也可以由多个工厂协作完成。

二、机械加工工艺过程

1. 机械加工工艺过程的概念

机械加工工艺过程是机械产品生产过程的一部分,是直接生产过程,其原意是指采用金属切削刀具或磨具来加工工件,使之达到所要求的形状、尺寸、表面粗糙度、力学及物理性能,成为合格零件的生产过程。由于制造技术的不断发展,现在所说的加工方法除切削和磨削外,还包括如电火花加工、超声加工、电子束加工、离子束加工、激光加工以及化学加工等几乎所有的加工方法。

2. 机械加工工艺过程的组成

机械加工工艺过程由若干个工序组成。机械加工中的每一个工序又可依次细分为安装、工位、工步和走刀。

(1) 工序

机械加工工艺过程中的工序是指一个(或一组)工人在一个工作地点对一个(或同时对几个)工件连续完成的那一部分工艺过程。根据这一定义,只要工人、工作地点、工作对象(工件)之一发生变化或不是连续完成,则应成为另一个工序。因此,对同一个零件,同样的加工内容可以有不同的工序安排。图1-1所示阶梯轴零件的加工内容包括:加工小端面,对小端面钻中心孔;加工大端面,对大端面钻中心孔;车大端外圆,对大端倒角;车小端外圆,对小端倒角;铣键槽,去毛刺。这些加工内容可以安排在两个工序中完成(表1-1),也可以安排在4个工序中完成(表1-2),还可以有其他安排。工序安排和工序数目的确定与零件的技术要求、零件的数量和现有工艺条件等有关。显然,当工件在4个工序中完成时,精度和生产率较高。

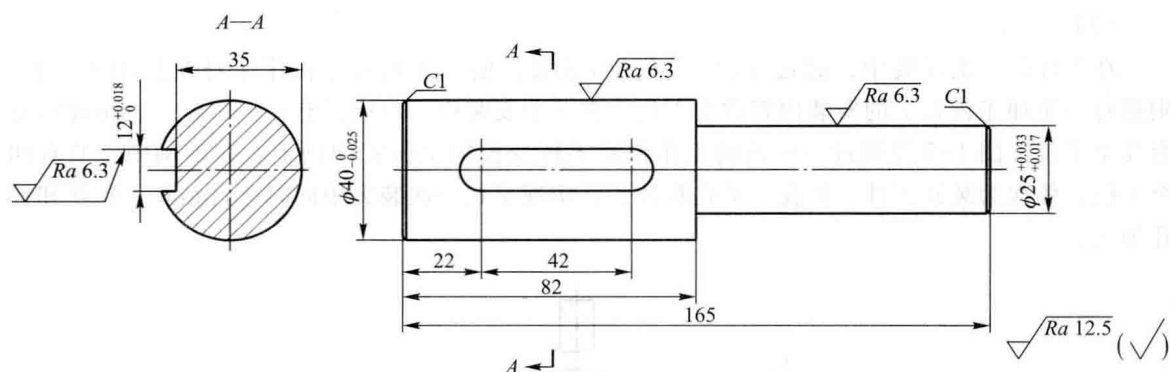


图 1-1 阶梯轴零件图

表 1-1 阶梯轴第一种工序安排方案

工序号	工序内容	设备
1	加工小端面，对小端面钻中心孔；粗车小端外圆，对小端倒角；加工大端面，对大端面钻中心孔；粗车大端外圆，对大端倒角；精车外圆	车床
2	铣键槽，手工去毛刺	铣床

表 1-2 阶梯轴第二种工序安排方案

工序号	工序内容	设备
1	加工小端面，对小端面钻中心孔；粗车小端外圆，对小端倒角	车床
2	加工大端面，对大端面钻中心孔；粗车大端外圆，对大端倒角	车床
3	精车外圆	车床
4	铣键槽，手工去毛刺	铣床

(2) 安装

如果在一个工序中需要对工件进行几次装夹,则每次装夹下完成的那部分工序内容称为一个安装。例如表 1-1 中的工序 1,在一次装夹后尚需有 3 次调头装夹才能完成全部工序内容,因此该工序共有 4 个安装;表 1-1 中工序 2 是在一次装夹下完成全部工序内容,故该工序只有 1 个安装(表 1-3)。

表 1-3 工序和安装

工序号	安装号	工序内容	设备
1	1	车小端面, 钻小端面中心孔; 粗车小端外圆, 倒角	车床
	2	车大端面, 钻大端面中心孔; 粗车大端外圆, 倒角	
	3	精车大端外圆	
	4	精车小端外圆	
2	1	铣键槽, 手工去毛刺	铣床

(3) 工位

在工件的一次安装中,通过分度(或移位)装置,使工件相对于机床床身变换加工位置,则把每一个加工位置上的安装内容称为工位。在一个安装中,可能只有一个工位,也可能需要有几个工位。图1-2是通过一种回转工作台使工件变换加工位置的例子。在该例中,共有四个工位,依次为装卸工件、钻孔、扩孔和铰孔,实现了在一次装夹中同时进行钻孔、扩孔和铰孔加工。

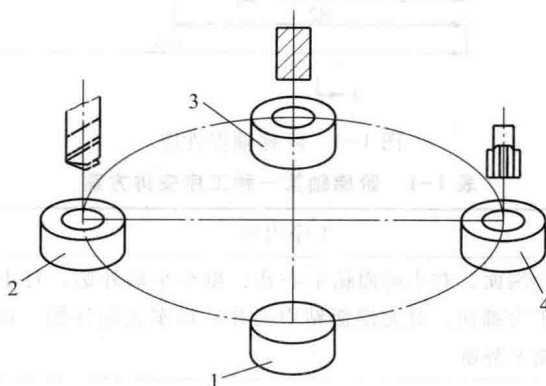


图 1-2 多工位加工

1—装卸工件; 2—钻孔; 3—扩孔; 4—铰孔

(4) 工步

所谓工步,是指加工表面、切削刀具、切削速度和进给量都不变的情况下所完成的工位内容。

按照工步的定义,带回转刀架的机床(转塔车床、加工中心)其回转刀架的一次转位所完成的工位内容应属于一个工步,此时若有几把刀具同时参与切削,则该工步称为复合工步。

(5) 走刀

切削刀具在加工表面上切削一次所完成的工步内容,称为一次走刀。一个工步可以包括一次或数次走刀。若需要切去的金属层很厚,不能在一次走刀下切完,则需分几次走刀。走刀次数又称行程次数。

1.2.2 生产类型与工艺特点

一、生产纲领

企业根据市场需求和自身的生产能力决定生产计划。在计划期内,应当生产的产品产量和进度计划称为生产纲领。计划期为一年的生产纲领称为年生产纲领。零件的年生产纲领通常按下式计算:

$$N = Qn(1 + \alpha + \beta) \quad (1-1)$$

式中: N ——零件的年生产纲领;

Q ——产品的年产量;

n ——每台产品中该零件的数量;

α ——备品率, %;

β ——废品率,%。

年生产纲领是设计或修改工艺规程的重要依据,是车间(或工段)设计的基本文件,生产纲领确定后,还应该确定生产批量。

二、生产批量

生产批量是指一次投入或产出的同一产品或零件的数量。零件生产批量的计算公式如下:

$$n' = \frac{NA}{F} \quad (1-2)$$

式中: n' ——每批中的零件数量;

N ——零件的年生产纲领规定的零件数量;

A ——零件应该储备的天数;

F ——一年中工作日天数。

确定生产批量的大小是一个相当复杂的问题,主要考虑以下几方面的因素:

- 1) 市场需求及趋势分析。保证市场的供销量,还应保证装配和销售有必要的库存。
- 2) 便于生产的组织与安排。保证多品种产品的均衡生产。
- 3) 产品的制造工作量。对于大型产品,其制造工作量较大,批量可能应少一些,而中、小型产品的批量可大一些。
- 4) 生产资金的投入。批量小,次数多,投入的资金少,有利于资金的周转。
- 5) 制造生产率和成本。批量大,可采用一些先进的专用高效设备和工具,有利于提高生产率和降低成本。

三、生产类型及其工艺特点

根据工厂(或车间、工段、班组、工作地)生产专业化程度的不同,可将它们按大量生产、成批生产和单件生产三种生产类型来分类。其中,成批生产又可分为大批生产、中批生产和小批生产。显然,产量愈大,生产专业化程度应该愈高。表 1-4 按重型机械、中型机械和轻型机械的年生产量列出了不同生产类型的规范,可见对重型机械来说,其大量生产的数量远小于轻型机械的数量。

表 1-4 各种生产类型的规范

生产类型	零件的年生产纲领/(件/年)		
	重型机械	中型机械	轻型机械
单件生产	≤ 5	≤ 20	≤ 100
小批生产	$> 5 \sim 100$	$> 20 \sim 200$	$> 100 \sim 500$
中批生产	$> 100 \sim 300$	$> 200 \sim 500$	$> 500 \sim 5\,000$
大批生产	$> 300 \sim 1\,000$	$> 500 \sim 5\,000$	$> 5\,000 \sim 50\,000$
大量生产	$> 1\,000$	$> 5\,000$	$> 50\,000$

从工艺特点上看,小批生产和单件生产的工艺特点相似,大批生产和大量生产的工艺特点相似,因此生产上常按单件小批生产、中批生产和大批大量生产来划分生产类型,并且按这三种生产类型归纳它们的工艺特点(表 1-5)。可以看出,生产类型不同,其工艺特点有很大

差异。

表 1-5 各种生产类型的工艺特点

项目	单件小批生产	中批生产	大批大量生产
加工对象	经常变换	周期性变换	固定不变
毛坯的制造方法及加工余量	木模手工造型，自由锻；毛坯精度低，加工余量大	部分铸件用金属型；部分锻件用模锻；毛坯精度中等，加工余量中等	广泛采用金属型机器造型、压铸、精铸、模锻；毛坯精度高，加工余量小
机床设备及其布置形式	通用机床，按类别和规格大小，采用机群式排列布置	部分采用通用机床，部分采用专用机床，按零件分类，部分布置成流水线，部分布置成机群式	广泛采用专用机床，按流水线或自动线布置
夹具	通用夹具或组合夹具，必要时采用专用夹具	广泛使用专用夹具、可调夹具	广泛使用高效率的专用夹具
刀具和量具	通用刀具和量具	按零件产量和精度，部分采用通用刀具和量具，部分采用专用刀具和量具	广泛使用高效率专用刀具和量具
工件的装夹方法	划线找正装夹，必要时采用通用夹具或专用夹具装夹	部分采用划线找正，广泛采用通用或专用夹具装夹	广泛使用专用夹具装夹
装配方法	广泛采用配刮	少量采用配刮，多采用互换装配法	采用互换装配法
操作工人平均技术水平	高	一般	低
生产率	低	一般	高
成本	高	一般	低
工艺文件	用简单的工艺过程卡管理生产	有较详细的工艺规程，用工艺卡管理生产	详细制订工艺规程，用工序卡、操作卡及调整卡管理生产

随着技术的进步和市场需求的变换，生产类型的划分正在发生着深刻的变化，传统的大批大量生产往往不能适应产品及时更新换代的需求，而单件小批生产的生产能力又跟不上市场之需求，因此各种生产类型都朝着生产过程柔性化的方向发展。成组技术(包括成组工艺、成组夹具)为这种柔性化生产提供了重要的基础。

1.2.3 机械制造工艺系统

零件进行机械加工时必须具备一定的条件，即要有一个系统来支持，称之为机械制造工艺系统。通常，一个系统是由物质分系统、能量分系统和信息分系统所组成。

1) 物质分系统是由工件、机床、工具和夹具所组成。工件是被加工对象;机床是加工设备,如车床、铣床、磨床等,也包括钳工台等钳工设备;工具是各种刀具、磨具、检具,如车刀、铣刀、砂轮等;夹具是指机床夹具,如果加工时是将工件直接装夹在机床工作台上,则也可以不要夹具,因此一般情况下工件、机床和工具是不可少的,而夹具是可有可无的。

2) 能量分系统是指动力供应系统。

3) 信息分系统是在现代的数控机床、加工中心和生产线工作时提出的,其加工内容和信息技术有着密切关系,在用一般的通用机床加工时多为手工操作,未涉及信息技术。

机械制造工艺系统可以是单台机床,如自动机床、数控机床和加工中心等,也可以是多台机床组成的生产线。

1.3 计算机辅助工艺规程设计(CAPP)

1.3.1 概述

随着计算机科学与技术的迅速发展,计算机技术在工艺规程设计中得到了应用,即计算机辅助工艺规程设计(computer aided process planning, CAPP)。它是指工艺设计人员借助于计算机,根据产品设计阶段给出的信息和产品制造工艺要求,交互地或自动地确定产品的加工方法和方案。具体地说,CAPP就是利用计算机的信息处理和信息管理优势,采用先进的信息处理技术和智能技术,帮助工艺设计人员完成工艺设计中的各项任务,如选择定位基准、拟订零件加工工艺路线、确定各工序的加工余量、计算工艺尺寸和公差、选择加工设备和工艺装置、确定切削用量、确定重要工序的质量检测项目和检测方法、计算工时定额、编写各类工艺文件等,最后生成产品生产所需的各种工艺文件(如生产工艺流程图、加工工艺过程卡、加工工艺卡或加工工序卡、工艺管理文档等)及数控加工编程、生产计划制订和作业计划制订所需的相关数据信息,作为数控加工程序编制、生产管理与运行控制系统执行的基础信息。

工艺设计又是一项经验性很强、影响因素很多的决策过程和工作量大、易于出错的工作。面对当前的多品种小批生产和多品种大量定制生产模式,传统的工艺设计方法已远远不能适应机械制造行业发展的需要,借助于计算机来完成这项工作,不仅可以大大减轻劳动量,更重要的是便于知识积累、数据管理和系统集成。

自20世纪60年代开始提出CAPP的理论与方法以来,CAPP的研究取得了重大的成果,但到目前为止仍存在着许多问题,有待于进一步的研究。尤其是随着CAD(computer aided design)/CAM(computer aided manufacturing)向集成化、智能化方向发展及并行工作模式的出现等,都对CAPP提出了新的要求。因此,CAPP的内涵也在不断地发展。从狭义的观点来看,CAPP是完成如上所述的工艺过程设计,输出工艺规程。但是在CAD/CAM集成系统中,特别是在并行工作模式下,“PP”不再单纯理解为“process planning”,而应增加“production planning”的含义,因此产生了CAPP的广义概念:即CAPP的一头向生产规划最佳化及作业计划最佳化发展,作为MRP(manufacturing resource planning)-II的一个重要组成部分;而另一头则