

高职高专“十一五”规划教材

机械制造工艺案例教程

刘慎玖 主编

朱鹏超 主审



化学工业出版社

·北京·

本书按照课题形式进行编排,采用案例式教学模式,从生产的实际要求出发,突出实际应用,并结合相关理论知识,有很强的实用性和针对性。书中内容包括机械工艺规程的制订、机械加工质量、数控加工工艺等及相关知识,每个单元若干个课题,每个课题一个案例,与理论知识有机地联系在一起。课题所选案例注意实用性、代表性和可学习性,且大都从生产现场选取,符合生产实际的需要,既浅显易懂,又有技术奥妙,能更好地培养学生正确、合理编制零件机械加工工艺规程的应用能力。

本书可作为高职高专机械制造类、数控类、机电类专业的教材,也可供成人高校和中等职业学校相关专业学生使用,并可供从事机械制造专业的有关技术人员参考以及培训之用。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工艺案例教程/刘慎玖主编. —北京:化学工业出版社, 2007.4

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-00197-9

I. 机… II. 刘… III. 机械制造工艺-高等学校-教材 IV. H16

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第045569号

责任编辑:韩庆利 高钰

责任校对:蒋宇

装帧设计:史利平

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:北京市彩桥印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张11¼ 字数278千字 2007年6月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:18.00元

版权所有 违者必究

前 言

本书适合作为高职高专机械制造类、数控类、机电类专业的教材，也可作为各机电类中等职业学校的教材，并可供从事机械制造专业的有关技术人员参考以及培训之用。

本书根据高职高专类学校的教学要求，强调应用性和能力的培养。全书以课题加案例的形式，从生产的实际要求出发，在突出实际应用的同时，结合理论知识分别进行论述。其实用性和针对性极强，特点如下：

① 根据高等职业教育的培养目标和教育特点，每个课题一个案例，与理论知识有机地联系在一起，培养学生正确、合理地编制零件机械加工工艺规程的应用能力。

② 每个课题都是按照学习目的、案例分析、操作要点、相关知识以及针对性练习题编写。既通俗易懂，又内容丰富；既从生产实际出发，又理论联系实际。

③ 每个课题所选案例注意实用性、代表性和可学习性。且大都从生产现场选取，符合生产实际的需要。既浅显易懂，又有技术奥妙，全面介绍各类零件从零件图的分析到加工工艺的整个过程，并指出相关注意事项，以提醒学习者重视。

④ 以传统的机械制造方法为分析基础，重点按照单件小批的生产类型展开加工思路，再融入批量生产的生产类型，与数控加工的方法加以比较分析，找出符合质量、效益及成本要求的最佳工艺方法。

本书共分为4单元，主要内容包括绪论、机械加工工艺规程的制订、机械加工质量、数控加工工艺，其中数控铣削加工工艺在立式加工中心里一起讲解。

本书由刘慎玖主编，朱鹏超主审，其中第1单元、第2单元及第4单元中的课题3、4、5由刘慎玖编写，第3单元中的课题1、2、3由胡迎春编写，第3单元中的课题4、5、6由梁碧芬编写，第4单元中的课题1、2由彭京城编写。最后全书由刘慎玖统稿和定稿。同时周虹为本书的编写提出了宝贵的意见，在此表示衷心地感谢。

由于编写者水平和经验有限，时间仓促，书中难免有欠妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2007年1月

目 录

第 1 单元 绪论	1	2.3.3.1 零件的工艺分析	25
1.1 机械制造业的发展	1	2.3.3.2 毛坯的确定	31
1.2 机械制造工艺的研究对象	1	2.3.3.3 内孔表面的加工	32
1.3 学习本课程的目的与要求	2	2.3.4 练习	37
1.4 本课程的特点和学习方法	2	课题 4 基准选择	38
第 2 单元 机械工艺规程的制订	3	2.4.1 学习目的	38
课题 1 基本概念	3	2.4.2 案例分析	38
2.1.1 学习目的	3	2.4.2.1 分析	38
2.1.2 案例分析	3	2.4.2.2 机械加工工艺流程	39
2.1.2.1 分析	4	2.4.2.3 操作要点及注意事项	39
2.1.2.2 机械加工工艺流程	4	2.4.3 相关知识点	41
2.1.2.3 操作要点及注意事项	4	2.4.3.1 基准的选择	41
2.1.3 相关知识点	6	2.4.3.2 工件的定位	46
2.1.3.1 生产过程的概念及内容	6	2.4.3.3 平面的加工	49
2.1.3.2 工艺过程及其组成	7	2.4.4 练习	51
2.1.3.3 生产纲领、生产类型及其工艺特征	8	课题 5 工序的安排	51
2.1.3.4 夹具与夹紧	8	2.5.1 学习目的	51
2.1.3.5 外圆表面的加工方法	11	2.5.2 案例分析	52
2.1.4 练习	15	2.5.2.1 分析	52
课题 2 工艺规程的制订	15	2.5.2.2 机械加工工艺流程	53
2.2.1 学习目的	15	2.5.2.3 操作要点及注意事项	53
2.2.2 案例分析	16	2.5.3 相关知识点	54
2.2.2.1 分析	16	2.5.3.1 加工方法的选择	54
2.2.2.2 机械加工工艺文件	16	2.5.3.2 外圆表面加工方法的选择	57
2.2.2.3 操作要点及注意事项	16	2.5.3.3 内孔表面加工方法的选择	57
2.2.3 相关知识点	17	2.5.3.4 平面加工方法的选择	57
2.2.3.1 工艺规程	17	2.5.3.5 平面轮廓和曲面轮廓加工方法的选择	58
2.2.3.2 螺纹表面的加工	20	2.5.3.6 加工顺序的安排原则	58
2.2.4 练习	21	2.5.3.7 机床和工艺装备的选择	60
课题 3 零件的结构工艺性分析	22	2.5.4 练习	60
2.3.1 学习目的	22	课题 6 工序内容	61
2.3.2 案例分析	22	2.6.1 学习目的	61
2.3.2.1 分析	22	2.6.2 案例分析	61
2.3.2.2 机械加工工艺流程	23	2.6.2.1 分析	61
2.3.2.3 操作要点及注意事项	23	2.6.2.2 机械加工工艺流程	62
2.3.3 相关知识点	25	2.6.2.3 操作要点及注意事项	62
		2.6.3 相关知识点	63

2.6.3.1 切削用量的确定	63	3.2.2.2 操作要点及注意事项	90
2.6.3.2 加工余量的确定	64	3.2.3 相关知识	90
2.6.4 练习	65	3.2.3.1 工艺系统的刚度及其影响	90
课题7 尺寸链的计算	66	3.2.3.2 工艺系统受力变形对加工精度 的影响	91
2.7.1 学习目的	66	3.2.3.3 减少工艺系统受力变形的 措施	92
2.7.2 案例分析	66	3.2.4 练习	93
2.7.2.1 测量基准与设计基准不重合时, 测量尺寸的换算	66	课题3 工艺系统的热变形	93
2.7.2.2 工艺基准与设计基准不重合时, 工序尺寸及其公差确定	68	3.3.1 学习目的	93
2.7.2.3 中间工序的工序尺寸换算	69	3.3.2 案例分析	93
2.7.2.4 操作要点及注意事项	70	3.3.2.1 分析	93
2.7.3 相关知识	70	3.3.2.2 操作要点及注意事项	94
2.7.4 练习	72	3.3.3 相关知识	94
课题8 时间定额与劳动生产率	73	3.3.4 练习	96
2.8.1 学习目的	73	课题4 残余应力引起的误差及保证加工 精度的途径	97
2.8.2 案例分析	73	3.4.1 学习目的	97
2.8.2.1 分析	73	3.4.2 案例分析	97
2.8.2.2 机械加工工艺流程	75	3.4.2.1 分析	97
2.8.2.3 操作要点及注意事项	75	3.4.2.2 操作要点及注意事项	98
2.8.3 相关知识	77	3.4.3 相关知识	98
2.8.3.1 劳动定额	77	3.4.3.1 工件残余应力所引起的 误差	98
2.8.3.2 提高劳动生产率的工艺 途径	78	3.4.3.2 提高机械加工精度的工艺 措施	99
2.8.3.3 工艺过程技术经济分析	78	3.4.4 练习	100
2.8.4 练习	79	课题5 机械加工表面质量	100
习题与思考	80	3.5.1 学习目的	100
第3单元 机械加工质量	82	3.5.2 案例分析	100
课题1 工艺系统的几何误差	82	3.5.2.1 分析	100
3.1.1 学习目的	82	3.5.2.2 操作要点及注意事项	102
3.1.2 案例分析	82	3.5.3 相关知识	102
3.1.2.1 分析	82	3.5.3.1 机械加工表面质量的概念	102
3.1.2.2 操作要点及注意事项	83	3.5.3.2 机械加工表面质量对机器 使用性能的影响	103
3.1.3 相关知识	83	3.5.4 练习	105
3.1.3.1 机械加工精度	83	课题6 零件表面层物理力学性能	105
3.1.3.2 加工误差的敏感方向	85	3.6.1 学习目的	105
3.1.3.3 影响机械加工精度的主要 因素	85	3.6.2 案例分析	105
3.1.4 练习	88	3.6.2.1 分析	105
课题2 工艺系统的受力变形	88	3.6.2.2 操作要点及注意事项	106
3.2.1 学习目的	88	3.6.3 相关知识	106
3.2.2 案例分析	88	3.6.3.1 表面层的加工硬化	106
3.2.2.1 分析	88		

3.6.3.2 表面层的残余应力	107	4.3.2.2 操作要点及注意事项	134
3.6.3.3 表面层金相组织变化与磨削 烧伤	108	4.3.3 相关知识点	135
3.6.3.4 提高和改善零件表面层物理 力学性能的措施	108	4.3.3.1 加工中心加工的主要对象 ...	136
3.6.4 练习	109	4.3.3.2 加工中心加工工艺分析	137
习题与思考	110	4.3.3.3 确定进给路线	141
第4单元 数控加工工艺	112	4.3.4 练习	145
课题1 数控车削加工工艺分析（一） ...	112	课题4 加工中心加工工艺（二）	145
4.1.1 学习目的	112	4.4.1 学习目的	145
4.1.2 案例分析	112	4.4.2 案例分析	146
4.1.2.1 分析	113	4.4.2.1 分析	146
4.1.2.2 操作要点及注意事项	114	4.4.2.2 操作要点及注意事项	149
4.1.3 相关知识点	115	4.4.3 相关知识点	151
4.1.3.1 数控车削加工的主要对象 ...	115	4.4.3.1 加工中心刀具的类型及 选用	151
4.1.3.2 零件数控车削加工方案的 拟定	116	4.4.3.2 确定切削用量	156
4.1.4 练习	119	4.4.3.3 确定装夹方法	159
课题2 数控车削工艺分析（二）	119	4.4.4 练习	160
4.2.1 学习目的	119	课题5 数控线切割加工工艺	160
4.2.2 案例分析	119	4.5.1 学习目的	160
4.2.2.1 分析	120	4.5.2 案例分析	161
4.2.2.2 操作要点及注意事项	122	4.5.2.1 分析	161
4.2.3 相关知识点	123	4.5.2.2 操作要点及注意事项	162
4.2.3.1 车刀的类型及选用	123	4.5.3 相关知识点	163
4.2.3.2 选择切削用量	128	4.5.3.1 数控线切割加工原理、特点 及应用	163
4.2.4 练习	130	4.5.3.2 数控线切割加工的主要工艺 指标及影响因素	165
课题3 加工中心加工工艺（一）	131	4.5.3.3 数控线切割加工工艺分析 ...	166
4.3.1 学习目的	131	4.5.4 练习	172
4.3.2 案例分析	131	习题与思考	173
4.3.2.1 分析	131	参考文献	174

1.1 机械制造业的发展

随着我国改革开放深入的发展,全国的机械制造业发展迅速,特别是国有大中型企业及三资企业,在生产中都广泛地应用了数控加工技术和计算机辅助加工技术。数控技术是一种集机、电、液、光、计算机、自动控制技术为一体的知识密集型技术,它是制造业实现现代化、柔性化、集成化生产的基础,同时也是提高产品质量,提高生产率必不可少的物质手段。它广泛用于机械制造和自动化领域,较好地解决了多品种、小批量和复杂零件加工以及生产过程的自动化问题。

机械制造业是国民经济的装备部,是为国民经济提供装备和为人民生活提供耐用消费品的产业。不论是传统产业,还是新兴产业,都离不开各种各样的机械装备。要想高质量,高效率,低成本地提供机械装备,更离不开现代制造业即数控加工。数控加工技术作为先进生产力的代表,在汽车、模具、航空航天、机械电子等制造领域发挥着重要的作用,在科研和生产上极大地促进了生产力的发展。数控加工技术的应用从整体上改善了传统制造业的发展面貌。所以从广义来看,社会要快速发展,要进步,无论是哪一个方面,都与数控加工技术有着千丝万缕的联系。它发展的好坏,将直接对国民经济各部门的技术进步和经济效益产生很大的影响。具体体现的重点有以下几个方面。

- ① 国民经济重大工程所需的成套技术装备及其关键技术。如我国神舟六号飞船关键设备的加工,大型发电机组加工,大型舰船、飞机的加工,等等。
- ② 汽车产品规模生产的关键技术与装备。
- ③ 综合自动化技术和工程。
- ④ 产品质量的可靠保证、全员劳动生产率的提升、技术开发能力全面提高,等等。

1.2 机械制造工艺的研究对象

传统的机械制造业是数控加工的基础,数控加工又反作用于传统的机械制造业,二者相互依存。数控加工不能完全取代传统的机械制造业,它是现代机械制造业的发展方向。传统的机械制造工艺学是以机械制造中的工艺问题为研究对象的一门应用性学科。所谓工艺,是使各种原材料、半成品成为产品的方法和过程;而机械制造工艺,是指各种机械的制造方法和过程的总称。所谓制造技术学科就是在深入了解实际加工的基础上,利用基础理论知识(如数学、物理、化学、力学、机械原理和金属切削原理等),经过具体的分析对比,找出客观原因,解决所面临工艺问题的学科。

机械制造工艺的内容极为广泛,它包括零件的毛坯制造方法、机械加工方法、热处理措施和产品的装配过程等。本课程主要是以案例的形式讨论零件的通用机械加工和数控机械加

工的方法，即机械制造工艺的主要内容。

机械制造工艺涉及范围广，内容丰富，但是研究的工艺问题则可归纳为质量、效率和成本三类。具体实施时要辩证地全面分析。要在满足质量要求的前提下，不断提高劳动生产率和降低成本。这样才能以优质、高效、低耗的工艺去完成零件的加工，这样的工艺才是合理的和先进的。

进入 21 世纪，随着科学技术的迅猛发展和市场竞争的加剧，传统的制造技术以及制造模式正在发生质的飞跃，已发展到一个崭新的阶段，称为先进制造技术。它是传统制造技术不断进步、不断吸收机械、电子、信息、材料、能源及现代管理等技术的结果。当代先进制造技术主要包括快速成形法、虚拟制造技术、柔性制造单元（FMC）和柔性制造系统（FMS）等。这些制造技术扩大和丰富了制造技术学科的内容。

1.3 学习本课程的目的与要求

机械制造工艺案例教程是“机械制造（工程）及设计”类专业的一门主要专业课。通过对本课程的学习，使学生初步具有分析和解决工艺等制造技术问题的能力及自学工艺理论和新工艺、新技术的能力。具体有以下几点要求：

① 初步掌握机械制造中工艺分析的方法；

② 初步掌握机械制造中工艺分析的基本理论（包括基准理论、六点定位理论、夹具与夹紧理论、工艺尺寸链理论、加工精度和误差分析理论、表面质量等），并注重基本概念和理论的具体应用；

③ 初步掌握数控加工中工艺分析及制订的基本理论；

④ 具有熟练制订简单及中等复杂零件的机械加工工艺规程的能力。

1.4 本课程的特点和学习方法

本课程的内容安排，主要依据从实践到理论再到实践的线索加以展开，即先案例分析，再相关理论，然后安排练习。本课程的案例主要来自生产实践。一方面，它的分析与应用离不开工艺理论。学习机械制造工艺的目的在于应用，在于提高工艺水平。因此，在各部分的教与学中，要注意理论联系实际，实际要总结提高。另一方面，传统的制造技术，涉及面广，内容又丰富。它涉及各类制造方法和过程，如从毛坯制造、热处理到机械加工、表面处理和装配等。在此，主要讲解分析从毛坯制造、热处理到机械加工方面的内容。而机械加工方面又按照传统机械加工和数控机械加工两方面来讲解，学习时要善于综合运用已学过的专业基础课和专业课，如金属工艺与机械工程材料、计算机应用技术与电工电子、检测技术与金属切削原理、液压与气动等课程。再一方面，具体的机械制造中，同一结构的加工方法有多种多样，极具灵活性。因此，在实际的运用中，必须根据具体条件和实际情况，实事求是地进行分析和处理。

2.1.2.1 分析

对零件图进行分析,包括零件材料、结构、数量、尺寸标注、尺寸精度、形位精度、热处理和特殊要求等,分别确定生产类型、毛坯、加工方法与加工顺序、加工设备及工艺装备、定位装夹方式、测量方式、刀、量具的选用等。该零件结构简单,主要结构表现在外圆面、键槽、越程槽,而精度集中在外圆面上,即尺寸精度和位置精度。所以要重点保证外圆面的加工。

① 生产类型 零件数量为 10 件,应属单件小批量生产。这一般由企业的生产计划来决定。

② 毛坯准备 该零件无特殊力学性能要求,故使用棒材作毛坯,可简化准备要求。

③ 加工方法 从图上可以看出,该零件为旋转性轴类零件。尺寸精度达 IT6 级,粗糙度为 $R_a0.8\mu\text{m}$,可采用车削、磨削加工的形式,再辅以铣键槽等辅助性工序,则可完成整个零件的加工。

④ 加工顺序 原则上可按照:先大头→后小头;先粗加工→后精加工;先端面→中心孔→后外圆。

⑤ 加工设备 既可在通用机床上加工,亦可在数控机床上加工。从本例中要求出发,选通用机床加工为妥。

⑥ 定位装夹 车削加工时,外形适合用自定心三爪卡盘装夹;铣、磨削加工时,分别采用一夹一顶和双顶(辅以鸡心夹头)的形式装夹。故车削加工时,应加工出两端中心孔。

⑦ 刀具选择 根据零件的不同结构选择具体的刀具。 90° 外圆粗、精车刀各一把,分别用来粗、精车外圆; 45° 端面车刀一把,用来加工端面;B3 中心钻一件,用来加工两端的中心孔; $\phi 14\text{mm}$ 键槽铣刀一把,专门用来加工键槽。

⑧ 测量 因该零件的生产类型属单件小批生产,应选通用量具。而外圆精度达 IT6 级,故外圆的最终测量可使用外径千分尺,轴向尺寸及其他工序测量时,游标卡尺即可满足使用要求。

2.1.2.2 机械加工工艺过程

根据上述分析,确定零件的机械加工工艺过程,如按单件小批生产,该零件的机械加工工艺过程卡如表 2.1 所示。如生产数量为 300 件,按批量生产,该零件的机械加工工艺过程卡如表 2.2 所示。请仔细比较它们的异同点,找出实际之所在。

2.1.2.3 操作要点及注意事项

(1) 零件图形分析

确定零件的机械加工工艺过程,首先是对零件图的分析。对零件图形的分析思路如上所述,应尽量全面准确,以杜绝后续错误。

(2) 机械加工工艺过程

① 机械加工工艺过程 是由一个或若干个顺序排列的工序组成。工序是组成工艺过程的基本单元。所以《机械加工工艺过程卡》是以工序为基本的单元进行描述的。

② 工序内容 工序内容的描述必须简洁、清晰、全面、准确。不能繁琐或遗缺,也不能含混不清。工序的内容并不是固定不变的东西,它随着加工思路的改变,加工设备的不同,生产数量的多少等一些实际情况而发生变化。

表 2.1 心轴机械加工工艺流程卡 (单件小批生产)

×××工厂		机械加工工艺流程卡				产品型号		图 号		
材料名称		45	数量	10	材料规格	φ65	零件名称	心轴	文件编号	
工序号		工序名称	工 序 内 容			设 备		工 艺 设 备		作业时间
						名称	型号	名称	编号	
1	下料	按 φ65×205/10 下料			弓锯		V 形块			
2	车	车两端面、钻两中心孔 φ3, 保 200			车床	C616	三爪卡盘			
3	车	顶车大端 φ30、φ60、槽、倒角, 调头顶车其余尺寸, 各外圆留 0.3 余量			车床	C616	三爪卡盘			
4	铣	铣两键槽, 去毛刺到要求			铣床	X52	分度头			
5	磨	顶磨各外圆到尺寸及粗糙度要求			磨床	M131W	鸡心夹			
6	检									
标记	处数	签字	日期	刘×	王×	李×	张×	日期	第 1 页	共 1 页
				编制	校对	审核	会 签			

表 2.2 心轴机械加工工艺流程卡 (批量生产)

×××工厂		机械加工工艺流程卡				产品型号		图 号		
材料名称		45	数量	30	材料规格	φ65	零件名称	心轴	文件编号	
工序号		工序名称	工 序 内 容			设 备		工 艺 设 备		作业时间
						名称	型号	名称	编号	
1	下料	按 φ65×205/300 切割下料			切割机		V 形块			
2	铣	两端同时铣端面、钻中心孔, 保 200			专用机床		专用夹具			
3	车	顶车大端 φ30、φ60、槽、倒角, 各外圆留 0.3 余量			车床	C616	三爪卡盘			
4	车	顶车另一端 φ30、φ45、槽、倒角, 各外圆留 0.3 余量			车床	C616	三爪卡盘			
5	铣	一夹一顶铣两键槽, 去毛刺到要求			铣床	X52	分度头			
6	粗磨	顶磨各外圆, 留 0.06 余量			磨床	M131W	鸡心夹			
7	精磨	顶磨各外圆到尺寸及粗糙度要求			磨床	M131W	鸡心夹			
	检									
标记	处数	签字	日期	刘×	王×	李××	张×	日期	第 1 页	共 1 页
				编制	校对	审核	会 签			

③ 下料情况 工序下料中的“ $\phi 65 \times 205/10$ ”，代表取棒料 $\phi 65\text{mm}$ 按 205mm 的净长度下料，数量 10 件。这为一般工厂性企业的习惯性表示法。

现代工厂一般下料方式（单件小批）有：弓锯机下料，砂轮切割机下料，氧切割下料，等离子切割机下料（主要用于铝、不锈钢），等等。

④ 工艺装备 原则上，批量生产时，既要保证质量，又要强调工效。所以，大多使用专用设备、专用工艺装备、专用量具等来组织生产，以利于保证质量，提高工效，降低成本。单件小批生产时，主要以保证质量为主，一切以通用设备、通用工艺装备、通用量具为主。

⑤ 生产类型 零件的生产类型不一样其机械加工工艺流程也大不相同。

（3）零件结构

零件图上有三处 5mm 的槽，工艺上常常称为砂轮的越程槽。对于最终工序为磨削的外圆或内孔，在靠近台阶处，都必须加工出越程槽，否则，磨削加工后台阶的两表面连接处，会出现圆弧，可能满足不了有关零件的安装要求。越程槽、退刀槽都是工艺加工中必需的工艺结构，有的零件图中虽然没有画出这种结构，但是根据加工的实际需要，工艺中有时应添加上这种结构，才能最终达到加工的目的。

（4）定位基准

本例中的两中心孔，属工艺基准。它是在零件图中没有的结构，而在加工中根据加工的实际需要添加上的基准。这样在最终的磨削加工中，可确保各被加工外圆的同轴度。在轴类零件的加工中，常常采用这种方法，来保证各被加工表面定位基准的统一性，从而确保轴上有关表面的垂直度、同轴度、跳动等位置度的要求。

（5）中心孔

中心孔的大小可通过《机械设计手册》依据工件的外径大小及零件重量来确定。中心孔分 A 型、B 型、C 型三种。一般不要求保留中心孔的零件采用 A 型；要求保留中心孔的零件采用 B 型；为了将零件固定在轴上的中心孔采用 C 型。本例中，因车、磨两道工序均用到中心孔，故选 B3 中心孔。

2.1.3 相关知识点

2.1.3.1 生产过程的概念及内容

生产过程主要是指将原材料转变为成品的全过程。对机械制造而言，全过程如下。

① 运输和保管 原材料、半成品和成品（产品）的运输和保管。

② 生产和技术准备工作 如产品的开发和设计、工艺设计、专用工艺装备的设计和制造、各种生产资料的准备以及生产组织等方面的准备工作。

③ 毛坯制造 如铸造、锻造、冲压、冷拉和焊接等。

④ 机械加工过程 零件的机械加工、热处理和其他表面处理等。

⑤ 装配 部件和产品的装配、调整、检验、试验、油漆和包装等。

上述过程中凡使被加工对象的尺寸、形状或性能产生一定变化的均称为直接生产过程。如工艺装备的制造、原材料的供应、工件的运输和储存、设备的维修及动力供应等，这些过程不使加工对象产生直接的变化，故称为辅助生产过程。

2.1.3.2 工艺过程及其组成

(1) 工艺过程的概念

① 工艺过程 改变生产对象的形状、尺寸、相对位置和性质等，使其成为成品或半成品的过程。如毛坯制造、机械加工、热处理、表面处理、装配等过程，均为工艺过程。工艺过程是生产过程的重要组成部分。

② 机械加工工艺过程（以下简称为工艺过程）采用机械加工的方法，直接改变毛坯的形状、尺寸和表面质量等，使其成为零件的过程。

③ 装配工艺过程 把零件装配成机器并达到装配要求的工艺过程。

(2) 工艺过程的组成

机械加工工艺过程是由一个或若干个顺序排列的工序组成。工序是组成工艺过程的基本单元。

① 工序 一个或一组工人，在某一个工作地对同一个或同时对几个工件所连续完成的那一部分工艺过程，称为工序。

划分工序的依据，是被加工的工件是否在同一工作地和加工过程是否连续。如图 2.1 所示心轴，当加工数量较少时，其工序过程如表 2.1 所示；而批量生产时，其工序过程如表 2.2 所示。

工序可分为安装、工位、工步和进给。

② 安装

a. 安装。所谓安装就是工件经一次装夹后所完成的那一部分工序。在一道工序中，工件可能被装夹一次或多次，才有可能完成全部加工。如表 2.1 所示的工序 3 要进行两次装夹。先装夹工件小端，顶车大端 $\phi 30\text{mm}$ 、 $\phi 60\text{mm}$ 、槽、倒角，称为安装 1；再调头装夹，顶车其余尺寸，各外圆留 0.3mm 余量，称为安装 2。工件在加工中应尽量减少装夹次数，因为多一次装夹，就会增加装夹的时间，还会增加装夹误差。

b. 定位。所谓定位就是确定工件在机床上或夹具中占有正确位置的过程。如表 2.1 所示的工序 3 中进行的第一次装夹时，先装夹工件未加工的小端毛坯面 $\phi 65\text{mm}$ ，其径向定位面是三爪卡盘装夹处的圆柱面 $\phi 65\text{mm}$ ，其轴向定位面是轴向紧靠三爪卡盘的棒料端面。

c. 夹紧。所谓夹紧就是工件定位后将其固定，使其在加工过程中保持定位位置不变的操作。

d. 装夹。所谓装夹就是将工件在机床上或夹具中定位、夹紧的过程。

③ 工位 在机械加工中，常采用各种回转工作台、回转夹具或移动夹具，以减少工件的装夹次数，使工件在一次装夹中，先后处于几个不同的位置进行加工。像这种工件在一次安装中，工件先后处于几个不同的加工位置，称为工位。如图 2.2 所示为一种用回转工作台在一次安装中顺序完成装卸工件、钻孔、扩孔和铰孔四个工位加工的实例。

④ 工步 在加工表面（或装配时的连接表面）和加工（或装配）工具不变的情况下，所连续完成的那一部分工序内容称为工步。如表 2.1 中的工序 3，第一个安装中有车大端外圆 $\phi 30\text{mm}$ 、 $\phi 60\text{mm}$ 、槽、倒角（两次）等五个工步。常

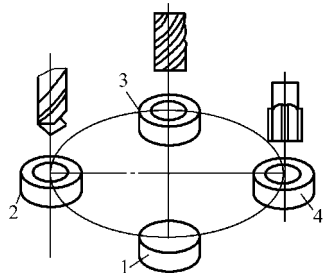


图 2.2 多工位加工
1—装卸工件；2—钻孔；
3—扩孔；4—铰孔

见的还有复合工步（如表 2.2 中的工序 2，两端同时加工中心孔）、简化工步、辅助工步等。

⑤ 进给 在一个工步内，有时被加工表面的加工余量较大，需要多次切削才能完成该表面的加工，每次切削称为一次进给。

2.1.3.3 生产纲领、生产类型及其工艺特征

(1) 生产纲领

生产纲领是指企业在计划期内应当生产的产品产量和进度计划。计划期常定为 1 年，所以生产纲领也称年产量。

由于零件的生产纲领需要计入备品和废品的数量，所以可按下式计算

$$N = Qn(1 + \alpha)(1 + \beta) \quad (2.1)$$

式中 N ——零件的年产量，件/年；

Q ——产品的年产量，台/年；

n ——每台产品中，该零件的数量，件/台；

α ——备品的百分率；

β ——废品的百分率。

(2) 生产类型

生产类型是指企业（或车间、工段）生产专业化程度的分类。一般分为大批大量生产、成批生产和单件小批生产三种类型。

① 单件小批生产 产品品种多，各种产品的产量很少，结构、尺寸不同，各个工作地点的加工对象时常改变，重要的是很少重复生产。例如新产品试制、大型和专用设备的制造等都属于单件生产。

② 大批大量生产 某种产品的产量很大，大多数工作地长期按照一定的生产节拍进行某一种零件的某一道工序的重复加工。例如，汽车、自行车、轴承、手表的制造常属大量生产。

③ 成批生产 一年中某一生产场地分批轮流地制造几种不同的产品，每种产品均拥有一定的数量，工作地的加工对象只能周期性地重复。例如，机床、机车和纺织机械的制造常属成批生产。

(3) 各种生产类型的工艺特征

不同的生产类型，零件和产品的制造工艺、所使用设备及工艺装备、对工人的各项技术要求、采取的各种工艺措施、最终达到的经济效果也会有极大的不同。大批大量生产往往采用专用设备及专用工艺装备，因而产品成本低，但常常很难适应多品种生产的要求；单件小批生产通常采用通用设备及通用工艺装备，所以较容易适应品种的变化，但一般情况下，生产组织不易，产品成本较高。数控加工一般极适合于单件小批生产和批量生产，它的经济效益远远优于通用机床的加工，所以目前各种生产类型的企业为了既要适应多品种生产的要求，又要提高经济效益，它们的发展趋势是要朝着数控加工的方向发展，以提高经济效益。如表 2.3 为不同生产类型的工艺特征。

2.1.3.4 夹具与夹紧

(1) 机床夹具的分类

所谓机床夹具，就是用于装夹工件的工艺装备，它的主要作用是使被加工的工件在加工

表 2.3 不同生产类型的工艺特征

类 型	产量	设备	工 装	工人要求	毛坯精度	余量	成本
单件小批	小	通用	通用	高	低	大	高
成 批	中	专+通	专+通	中	中	中	中
大批大量	大	专用	专用	操作低调整高	高	小	低

过程中占有正确的加工位置并始终保持不变。通常机床夹具的种类繁多，可通过不同的角度来进行划分。有按使用机床分类的，如车床夹具、铣床夹具等。有按动力源分类的，如手动夹具、气动夹具、液压夹具、电动夹具、磁力夹具、真空夹具及自夹紧夹具等。有按通用化程度分类的，具体如下。

① 通用夹具 是指尺寸已经系列化、形状已经标准化、无需调整或稍加调整就可用于装夹不同工件的夹具。如三爪自定心卡盘、四爪单动卡盘、平口钳、回转工作台、分度头、电磁吸盘、中心架、跟刀架和顶尖等。这类夹具一般由机床制造厂以机床附件的形式提供给用户，也可在市场采购或向专业制造厂订购。其最大特点是通用性好，生产准备周期短，但定位夹紧过程费时费力，一般效率较低，所以主要用于单件、小批量生产。

② 专用夹具 专门为某一工件的一道工序加工而设计制造的夹具。其结构紧凑，操作方便，生产效率高，主要用于产品固定的大批大量生产中，但设计、制造的费用高，周期长。

③ 组合夹具 是指由一套大部分通用的元件和部件组合而成的夹具。这种夹具进行拆卸或重新组装后，可加工不同的工件。具有缩短生产周期，减少专用夹具的品种和数量的优点。适用于新产品的试制及多品种、小批量的生产。

除上述几种分类外，还衍生出了可调夹具、成组夹具等。在专用夹具中，通过调整或更换个别元件，使夹具扩大它的使用范围，称为可调夹具。按成组的原理进行设计的，用于加工形状相似、尺寸相近的一组工件的夹具，称为成组夹具。

(2) 机床夹具的组成

虽然机床夹具种类很多，但它们的基本组成是相同的。下面以最常见的三爪自定心卡盘为例，来说明夹具的组成。

图 2.3 所示为在车床、磨床上常用的三爪自定心卡盘。该夹具卡盘体 2 靠定位锥凸台 5 和螺栓连接到机床主轴上。加工时，工件在三爪自定心卡盘中的正确位置由卡爪 1 和卡盘端

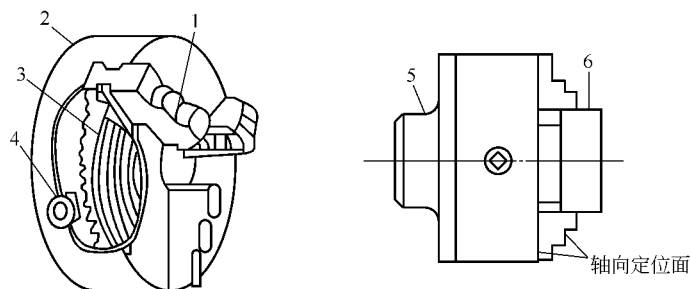


图 2.3 三爪自定心卡盘

1—卡爪；2—卡盘体；3—锥齿端面螺纹圆盘；4—小锥齿轮；5—定位锥凸台；6—工件

面来保证。夹紧时，用专用扳手转动小锥齿轮 4，通过锥齿端面螺纹圆盘 3，带动卡爪 1 夹紧工件 6，保证工件 6 的正确位置不变。

从三爪自定心卡盘的结构及工作原理可知，机床夹具由以下几部分组成。

① 定位部分 是由定位元件或其组合体构成。它用于确定工件在夹具中的正确位置。如图 2.3 中的卡爪 1（三个），卡盘端面 2 都是定位元件。常用的定位元件有定位销、定位块、V 形块等。

② 夹紧部分 用于保持工件在夹具中的定位位置，使其在正常外力作用下不致产生松动。它通常包括夹紧元件（如压板）、传动部分（如杠杆、齿轮、螺旋、偏心轮）及动力部分（如气缸、液压缸）等。如图 2.3 中的卡爪 1、锥齿端面螺纹圆盘 3、小锥齿轮 4 等元件组成的部分就是夹紧部分。

③ 夹具体 属夹具的基础件，用于连接夹具各元件及装置，以保证夹具的使用精度和刚度。

④ 其他元件及装置 如定位件、导向件、操作件、分度装置以及连接元件等。

对夹紧部分的基本要求如下。

① 整个夹紧过程中，不能改变工件定位后所占据的正确位置。

② 夹紧力适当，既要确保工件在加工过程中的位置稳定不变、振动小，又要保证工件在夹紧力作用下不会产生大的变形。

③ 操作方便、省力、安全可靠。

④ 自动化程度及复杂程度应与工件的产量相适应。

(3) 常用夹具及夹紧方法

车床和铣床的常用夹具及夹紧方法，分别参考本书 2.1.3.5 节和 2.4.2.3 节。

(4) 夹紧力方向和作用点的选择

① 夹紧力朝向 夹紧力应朝向主要定位基准。如图 2.4(a) 所示，在被加工孔与左端面有垂直度要求时，夹紧力 F 应朝向定位元件 A 面。如果夹紧力朝向 B 面，由于工件左端面与底面的夹角误差，夹紧时将不能保证 A 面与定位面结合，影响孔与左端面的垂直度要求。

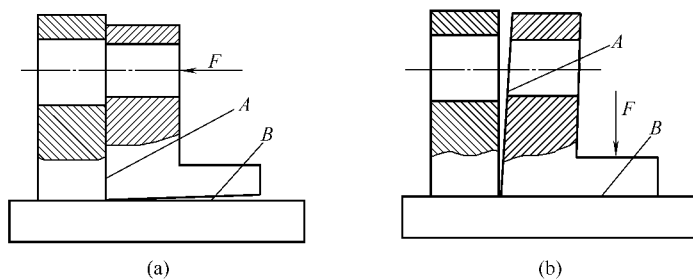


图 2.4 夹紧力朝向主要定位面

② 利于减小夹紧力 夹紧力方向应有利于减小夹紧力。如图 2.5 所示，当夹紧力 F 与切削力 F_T 、工件重力 W 同方向时，加工过程所需的夹紧力可最小。

③ 夹紧力的作用点 夹紧力的作用点应避开工件刚性较差的方向及部位。这对刚性差的工件特别重要。如图 2.5 所示的薄壁箱体，加工时夹紧力不应作用在箱体的顶面，而应作

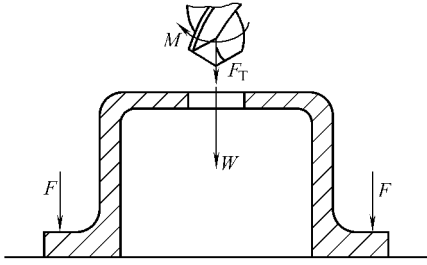


图 2.5 夹紧力 F 与切削力 F_T 、重力 W 同向

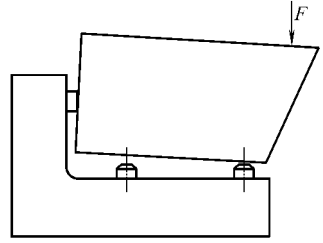


图 2.6 夹紧力 F 的作用线

用于刚性较好的凸边上。另外夹紧力作用点应尽量靠近工件加工面。这样确保了工件的装夹刚性，减少了加工过程中的振动。

④ 夹紧力作用线 夹紧力作用线应落在定位支承范围内。如图 2.6 所示，夹紧力作用线落在定位元件支承范围之外，这将破坏工件的定位，因而必须纠正。

2.1.3.5 外圆表面的加工方法

外圆表面的加工方法主要有车削加工和磨削加工。

(1) 外圆表面的车削加工

① 工件的装夹 在车床上可使用各种附件、不同的装夹方法来加工不同形状和不同表面的工件。工件的装夹方法大体上可分为卡盘装夹、顶尖装夹、心轴装夹三种。

a. 卡盘装夹。卡盘的种类主要有三爪自定心卡盘、四爪单动卡盘和花盘等。

三爪自定心卡盘，如图 2.3 所示，能自动定心，装夹方便，应用广泛。但它的夹紧力较小，且不利于夹持外形不规则的工件。主要适用于装夹轴类、盘套类零件。

四爪单动卡盘，如图 2.7 所示，其四个爪都可单独移动，安装工件时需找正，其夹紧力大，适合于装夹毛坯及外形不规则、非圆柱体、偏心、有孔距要求（孔距不能太大）的零件。

花盘，如图 2.8 所示，适合于外形不规则、偏心和形状复杂的工件。装夹工件时，与其他车床附件一起使用，需要端面定位夹紧，反复校正和平衡。

b. 顶尖装夹。双顶尖装夹如表 2.4 所示，适于较长的轴类工件（ $4 < \text{长径比} < 15$ ）。加工细长轴（长径比 > 15 ）时，为减小工件振动和弯曲变形，常用跟刀架或中心架作辅助支承，以增加工件的刚性。如表 2.4 所示为最常见的车削装夹方法。

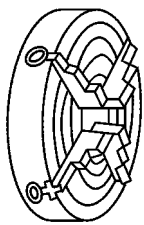


图 2.7 四爪单动卡盘

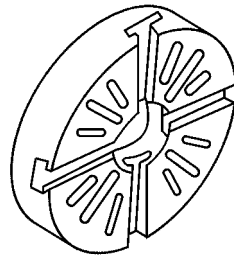


图 2.8 花盘

c. 心轴装夹。对于以孔为定位基准的盘套类工件，可采用心轴装夹，易于保证外圆、端面和内孔之间的位置精度，如图 2.9 所示为常用的圆柱心轴和花键心轴。