

全国高等职业教育规划教材

数控加工工艺设计

陈玉阁 陆中宏 © 主 编

SHUKONG JIAGONG GONGYI SHEJI

 中央广播电视大学出版社

全国高等职业教育规划教材

数控加工工艺设计

陈玉阁 陆中宏 主 编



中央广播电视大学出版社
北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

数控加工工艺设计 / 陈玉阁, 陆中宏主编. —北京:
中央广播电视大学出版社, 2011.10
全国高等职业教育规划教材
ISBN 978-7-304-05246-1

I. ①数… II. ①陈… ②陆… III. ①数控机床—
加工—工艺设计—高等职业教育—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 197927 号

版权所有, 翻印必究。

全国高等职业教育规划教材

数控加工工艺设计

陈玉阁 陆中宏 主编

出版·发行: 中央广播电视大学出版社

电话: 营销中心: 010-58840200 总编室: 010-68182524

网址: <http://www.crtvup.com.cn>

地址: 北京市海淀区西四环中路 45 号

邮编: 100039

经销: 新华书店北京发行所

策划编辑: 苏 醒

责任编辑: 刘 恒

印刷: 北京市平谷早立印刷厂

印数: 0001~3000

版本: 2011 年 11 月第 1 版

2011 年 11 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 12.75 字数: 190 千字

书号: ISBN 978-7-304-05246-1

定价: 25.00 元

(如有缺页或倒装, 本社负责退换)

编写人员

主 编：陈玉阁 陆中宏

编 委：（以姓氏笔画为序）

王继红 王林志 方 彬 刘 钊

吴 言 李冬梅 李妹燕 肖学华

陈韦华 张建军 罗建航 段 勇

侯庆愉 郭 颖 高 凯 唐连三

曹建军 梁 强 焦春华 舒德凯

前 言

目前,随着国内数控机床用量的剧增和国家大力发展制造业的需要,社会急需大批熟练掌握数控机床加工的高技能型人才。数控加工是机械制造中的先进加工技术,是一种具有高效率、高精度与高柔性特点的自动化加工方法。数控加工技术可以有效解决复杂、精密、小批多变零件的加工问题,充分适应了现代化生产的需要。大力发展数控加工技术已成为各国加速经济发展、提高综合国力的重要途径。我国数控机床使用越来越普及,如何提高数控加工技术水平已成为当务之急。

随着数控加工的日益普及,数控加工行业的许多有识之士感到,数控加工工艺掌握的程度是制约数控手工编程与 CAD/CAM 自动编程质量的关键因素,而正确、全面、合理的数控加工工艺是实现产品加工高精度、高质量、高效率、高效益的有效保证。为了适应我国高等职业技术教育发展及应用型技术人才培养的需要,经过实践与总结,我们组织专家和教学一线的教师对数控专业教学的课程体系和教学方式进行了有益的探索和实践,编写了这本教材。

本教材以培养学生从事实际工作的基本能力和基本技能为目的,本着理论知识以必需、够用为度,注重知识的系统性和实用性,同时尽量反映数控加工工艺领域内的新技术和新趋势。它以实际应用为目的,以讲清概念、强化应用为教学重点的原则,紧紧围绕数控加工的工艺内容,把数控加工工艺基础、数控机床夹具基础和数控加工刀具的基础知识有机地融合在一起,并在此基础上系统地介绍了数控加工工艺基础、数控加工刀具的基础、数控机床夹具基础、数控加工工艺规程、数控车削加工工艺、数控铣削加工工艺、加工中心工艺及数控线切割加工工艺等内容。

此外,本教材针对数控职业教育特点,内容由浅入深、循序渐进、图文并茂、形象生动,突出了简明性、系统性、实用性和先进性。本书适合数控加工技术研究、教学与生产等方面的人员使用。

由于编者的水平有限,在编写过程中难免有疏漏和不当之处,书中难免存在一些不足,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 数控加工工艺概述

1.1 数控加工在机械制造业中的地位、作用及发展	1
1.1.1 数控加工在机械制造业中的地位和作用	1
1.1.2 数控加工的发展	2
1.1.3 数控加工的内容	3
1.1.4 数控加工工艺的概念	3
1.1.5 数控加工工艺的特点	4
1.2 数控加工工艺过程的基本概念	5
1.2.1 生产过程	5
1.2.2 工艺过程	6
1.2.3 生产纲领和生产类型	9
1.3 工件获得加工精度的方法	11
1.3.1 获得尺寸精度的方法	11
1.3.2 获得形状精度的方法	12
1.3.3 获得位置精度的方法	13

第 2 章 数控切削刀具基础

2.1 切削运动和切削要素	15
2.1.1 切削运动和工件加工表面	15
2.1.2 切削要素	16
2.2 切削刀具及其几何参数的选择	19
2.2.1 刀具材料及其选择	19
2.2.2 刀具几何参数及其选择	29
2.3 刀具磨损及其耐用度	33
2.3.1 刀具的磨损形式及原因	33
2.3.2 刀具磨损过程与磨钝标准	35
2.3.3 刀具耐用度	36
2.4 切削过程的基本规律及其应用	37
2.4.1 切屑的形成过程和切屑种类	37
2.4.2 积屑瘤	39
2.4.3 切削力、切削热与切削温度	41
2.4.4 切削用量的合理选择	44

2.4.5 切削液的选择	45
第3章 数控机床夹具基础	
3.1 机床夹具概述	48
3.1.1 机床夹具的组成与分类	48
3.1.2 工件在夹具中的加工误差	50
3.2 工件的定位	51
3.2.1 工件定位的基本原理	52
3.2.2 定位与夹紧的关系	54
3.2.3 常见的定位方式和定位元件	54
3.3 定位误差	61
3.3.1 产生定位误差的原因	61
3.3.2 定位误差的计算	62
3.4 工件的夹紧	64
3.4.1 夹紧装置的组成与要求	64
3.4.2 夹紧力的选择	65
3.4.3 典型夹紧机构	67
3.4.4 组合夹具简介	68
第4章 数控加工工艺规程	
4.1 工艺规程的概述	72
4.1.1 工艺规程的概念及其作用	72
4.1.2 工艺规程的制定程序	72
4.2 数控加工工艺设计	73
4.2.1 数控加工工艺设计内容的选择	73
4.2.2 数控加工的设计步骤	75
4.2.3 数控加工工艺文件的编写	75
4.3 数控加工工艺分析	78
4.3.1 零件图样的工艺性分析	78
4.3.2 零件结构的工艺性分析	80
4.3.3 毛坯的确定	82
4.4 定位基准的选择	83
4.4.1 基准及其分类	83
4.4.2 定位基准的选择原则	85
4.5 数控加工工艺路线的制订	88
4.5.1 表面加工方法的选择	88
4.5.2 加工阶段的划分	91
4.5.3 加工工序的划分	92

4.5.4 加工顺序的安排	94
4.6 数控加工工序设计	96
4.6.1 数控机床的选择	96
4.6.2 夹具的选择	96
4.6.3 刀具、量具的选择	97
4.6.4 走刀路线和工步顺序的确定	97
4.6.5 加工余量的确定	99
4.6.6 工序尺寸及公差的确定	102
4.6.7 加工工艺过程的生产率	109
第 5 章 数控车削加工工艺	
5.1 数控车削的主要加工对象	112
5.2 数控车削加工工艺的制订	113
5.2.1 零件图工艺分析	113
5.2.2 工序的确定和夹具的选择	116
5.2.3 刀具的选择	118
5.2.4 加工顺序的确定	123
5.2.5 进给路线的确定	124
5.2.6 切削用量的选择	128
5.3 典型零件的数控车削加工工艺分析	131
第 6 章 数控铣削加工工艺	
6.1 数控铣削的主要加工对象	134
6.2 数控铣削的方式	135
6.3 数控铣削加工工艺的制订	137
6.3.1 数控铣削加工内容的确定	137
6.3.2 数控铣削加工零件的工艺性分析	137
6.3.3 数控铣削加工工艺路线的确定	139
6.3.4 铣刀的选择	143
6.3.5 切削用量的选择	149
6.4 典型零件的数控铣削加工工艺分析	151
第 7 章 加工中心加工工艺	
7.1 加工中心工艺的主要加工对象及其特点	
7.1.1 加工中心加工工艺特点	155
7.1.2 加工中心工艺的主要加工对象	156
7.2 加工中心加工工艺的制订	159
7.2.1 加工中心加工零件的工艺性分析	159
7.2.2 加工中心的工艺路线的确定	160

7.2.3 装夹方案的确定和夹具的选择·····	164
7.2.4 刀具的选择·····	165
7.2.5 选择切削用量·····	170
7.3 典型零件的加工中心加工工艺分析·····	172
第8章 数控线切割加工工艺	
8.1 数控线切割加工概述·····	175
8.1.1 数控线切割加工原理·····	175
8.1.2 数控线切割加工的特点·····	176
8.1.3 数控线切割加工的应用·····	177
8.2 数控线切割加工工艺指标及影响因素·····	177
8.2.1 数控线切割加工的主要工艺指标·····	177
8.2.2 影响数控线切割加工工艺指标的主要因素·····	178
8.3 数控线切割加工工艺·····	181
8.3.1 零件图的工艺性分析·····	181
8.3.2 工艺准备·····	182
8.3.3 加工路线的选择·····	185
8.3.4 加工参数的选择·····	188
8.4 典型模具零件的线切割加工工艺分析·····	190
8.4.1 冲模加工·····	190
8.4.2 卡箍落料模加工·····	193
参考文献 ·····	195

第1章 数控加工工艺概述

机械制造业是国民经济的基础。据相关部门统计,机械制造业创造了三分之二的社会财富和将近二分之一的国民经济收入。如果没有机械制造业提供质量优良、技术先进的技术装备,那么信息技术、新材料技术、海洋工程技术、生物工程技术以及空间技术等新技术群的发展将会受到严重的制约。可以说,机械制造业的发展水平是衡量一个国家经济实力和科学技术水平的重要标志之一。

我国目前的机械制造业技术水平和国外相比还有相当大的差距。我国的机械制造业是在1949年以后才逐步建立和发展起来的,60多年以来,我国的机械制造技术和材料加工工艺等有了很大的发展,为工业、农业、科技、国防提供了大量的机械产品和设备,为我国国民经济的发展做出了巨大的贡献。近年来,随着世界各国都把提高产业竞争力和发展高新技术作为科技工作的方向,我国也明确提出了要振兴机械工业,使之成为国民经济的支柱产业。

我国机械制造工业今后的发展,除了要不断提高常规机械生产的工艺装备和工艺水平外,还必须研究开发优质高效的精密装备与工艺,为高新技术产品的生产提供新工艺、新装备,同时还要加强基础技术研究,提高自主开发和创新能力。

1.1 数控加工在机械制造业中的地位、作用及发展

1.1.1 数控加工在机械制造业中的地位和作用

随着科学技术的发展,机械产品结构越来越合理,其性能、精度和效率日趋提高,更新换代频繁,生产类型由大批量生产向多品种小批量生产转化,对机械产品的加工相应地提出了高精度、高柔性 with 高度自动化的要求。

为了实现高产、优质的目标,大批量的产品如汽车、飞机与家用电器的零件,多采用专用的工艺装备、专用自动化机床或专用的自动生产线和自动车间进行生产。但是应用这些专用生产设备进行生产,生产准备周期长,产品改型不易,使产品的开发周期增长。在机械产品中,单件与小批量产品占到70%~80%,这类产品一般都采用通用机床加工,当产品改变时,机床与工艺装备均需作相应的变换和调整,而且通用机床的自动化程度不高,基本上由人工操作,难以提高生产效率和保证产品质量。特别是一些曲线、曲面轮廓组成的复杂零件,只能借助靠模和仿形机床,或者借助划线和样板用手工操作的方法来加工,

加工精度和生产效率受到很大的限制。

数控机床综合应用了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密检测与新型机械结构等方面的技术成果,具有高柔性、高精度与高度自动化的特点,因此,采用数控加工手段,很好地解决了机械制造中常规加工技术难以解决甚至无法解决的单件、小批量,特别是复杂型零件的加工问题。应用数控加工技术是机械制造业的一次技术革命,使机械制造业的发展进入了一个新的阶段,提高了机械制造业的制造水平,为社会提供了高质量、多品种及高可靠性的机械产品。目前应用数控加工技术的领域已从当初的航空工业逐步扩大到汽车、造船、机床、建筑等民用机械制造业,并已取得了巨大的经济效益。

1948年,美国帕森斯公司(Parsons Corporation)受美国空军委托与麻省理工学院伺服机构研究所合作进行数控机床的研制工作。1954年由美国迪克斯公司(Bendix Corporation)生产出第一台工业用数控机床。从此,数控技术随着计算机技术和微电子技术的发展而迅速发展起来。我国数控机床的研制是从1958年开始的,由清华大学研制出最早的样机。到目前为止,我国已自行开发了三轴、四轴和五轴联动的数控系统,新开发的数控机床产品已达到国际先进水平,为国家重点建设提供了一批高水平的数控机床。

当今世界各国制造业广泛采用数控技术,以提高制造能力和水平,提高对动态多变市场的适应能力和竞争能力。数控技术及装备是发展新兴高新技术产业和尖端工业的实用技术和最基本的装备,装备工业的技术水平和现代化程度,决定着整个国民经济的水平和现代化程度。

1.1.2 数控加工的发展

世界上第一台数控铣床于1952年在美国诞生,之后伴随着电子技术、计算机技术、自动控制和精密测量技术的发展,数控机床技术得到迅速的发展,其产品更新换代的频率大幅提高。数控机床的发展先后经历了电子管(1952年)、晶体管(1959年)、小规模集成电路(1965年)、大规模集成电路及小型计算机(1970年)和微处理机或微型计算机(1974年)等五代数控系统。前三代系统采用专用电子线路实现的硬件式数控系统,一般称为普通数控系统,简称NC。第四代和第五代系统是采用微处理器及大规模或超大规模集成电路组成的软件式数控系统,称为现代数控系统,简称CNC(第四代)和MNC(第五代)。由于现代数控系统的控制功能大部分由软件技术来实现,因而使硬件进一步得到了简化,系统可靠性提高,功能更加灵活和完善。目前现代数控系统几乎完全取代了以往的普通数控系统。

随着现代科学技术的进步,特别是微电子技术和计算机技术的发展,机械制造这个传统工业焕发了新的活力,增加了新的内涵。如计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、成组技术(GT)、计算机数字控制(CNC)、计算机直接控制和分布式控制(DNC)、柔性制造系统(FMS)、工业机器人(ROBOT)、计算机集成制造系统(CIMS)等新技术已被人们了解和熟悉。这些新技术的引进和使用,使机械制造业无论在加工自动化方面,还是在生产组织、制造精度、制造工艺方法方面都发生了令人瞩目的变化。

我国数控技术的发展过程可分为四个阶段:

第一阶段是1958~1965年,开始研究数控铣床(电子管控制、步进电动机和液力放大器拖动的开环系统),处于试制、试用阶段。

第二阶段是从1965年开始,研制晶体管数控系统,直到20世纪60年代末和70年代初。这一阶段的特点是,虽然数控机床的数量和品种不多,但在少数复杂零件的加工中,已开始从试验阶段进入生产试用阶段。

第三阶段为1972~1979年,是数控技术的生产和试用阶段,成功研制了集成电路数控系统,数控技术在车、铣、钻、镗、磨、齿轮加工、电加工领域开始研究或应用,数控加工中心机床研制成功,数控线切割机床也取得了较大的发展等。

第四阶段为1980年以后,通过研究和引进国外的先进技术,我国的数控技术水平发展很快,已自行研制开发了三轴、四轴和五轴联动的数控系统,研制了具有工艺处理能力的数控系统,数控机床的品种已超过五百种,其中金属切削机床品种的数控化率已达20%以上。

1.1.3 数控加工的内容

数字控制(Numerical Control),简称为数控NC,是一种自动控制技术,是用数字化信号对控制对象加以控制的一种方法。数字控制是相对模拟控制而言的,数字控制中的控制信息是数字量,而模拟控制系统中的控制信息是模拟量。数字控制与模拟控制相比有许多优点,如可用不同的字长表示不同精度的信息,可对数字化信息进行逻辑运算、数学运算等复杂的信息处理工作,特别是可用软件来改变信息处理的方式或过程,而不用改动电路或机械结构,从而使机械设备具有很大的“柔性”。因此,数字控制已被广泛用于机械运动的轨迹控制和机械系统的开关量控制,如机床的控制、机器人的控制等。

数控加工实质上是利用数控机床对零件进行加工的全过程。目前被广泛地应用于机械制造生产领域。

数控加工主要包括以下几个方面的内容:

- ① 通过数控加工的适应性分析选择并确定进行数控加工的零件的内容。
- ② 结合加工表面的特点和数控设备的功能对零件进行数控加工的工艺分析。
- ③ 进行数控加工的工艺设计。
- ④ 根据编程的需要,对零件图形进行数学处理和计算。
- ⑤ 编写加工程序单。
- ⑥ 按照程序单制作控制介质,如穿孔纸带、磁带、磁盘等。
- ⑦ 检验与修改加工程序。
- ⑧ 首件试加工以及进一步修改加工程序,并对现场问题进行处理。
- ⑨ 编制数控加工工艺技术文件,如数控加工工序卡、程序说明卡、走刀路线图等。

1.1.4 数控加工工艺的概念

数控加工前对工件进行工艺设计是必不可少的准备工作。无论是手工编程还是自动编

程,在编程前都要对所加工的工件进行工艺分析,拟订工艺路线,编制加工程序。因此,合理的工艺设计方案是编制加工程序的依据。如果工艺设计不合理,会造成工艺设计的反复,造成机械加工材料、零件等的浪费,大量增加加工成本。编程人员必须首先搞好工艺设计,再考虑数控加工程序的编制。

数控加工工艺是指采用数控机床加工零件时,所运用各种方法和技术手段的总和,应用于整个数控加工工艺过程。数控加工工艺是使用数控机床加工零件的一种工艺方法。数控技术的应用使机械加工工艺过程产生了巨大的变化,它不仅涉及数控加工设备,还包括了工艺规程、工装和加工过程的控制等内容。其中,数控加工工艺的制定是核心工作。

数控加工过程是在一个由数控机床、刀具、夹具和工件构成的数控加工工艺系统中完成的。数控机床是加工零件的工作机械,刀具直接对零件进行切削,夹具用来固定被加工零件并使之占有正确的位置,加工程序控制刀具与工件之间的相对运动轨迹。工艺设计的好坏直接影响数控加工的尺寸精度和表面精度、加工时间的长短、材料和人工的耗费,甚至直接影响加工的安全性。所以,掌握数控加工工艺的内容和方法非常重要。

1.1.5 数控加工工艺的特点

1. 数控加工的优点

(1) 自动化程度高

数控加工过程是按输入程序自动完成的,简化了工人的操作,也使操作时的紧张程度大为减轻。当然,对操作者的知识结构和文化程度要求相应提高。

(2) 提高加工精度

数控机床本身的定位精度和重复定位精度都很高,很容易保证零件尺寸的一致性,同时也消除了普通机床加工中操作者的人为误差,因此,数控加工零件的一致性好,质量稳定,便于对加工过程实行质量控制。

(3) 生产效率高

使用数控机床加工,对工装夹具的要求降低,加工时能在一次装夹中加工出很多待加工的部位,既省去了通用机床加工时原有的不少中间工序(如划线、装夹、检验等),避免了多次定位误差,缩短了辅助时间,同时也为后继工序(如装配等)带来了方便,生产效率的提高非常显著。

(4) 灵活性高、适应性强

数控加工一般不需要很多复杂的工艺装备,就可以通过编制程序把形状复杂和精度要求高的零件加工出来。而当设计更改时,可以通过改变相应的程序来实现,一般不需要重新设计制造工装。因此,数控加工能大大缩短产品研制周期,给新产品的研制开发、产品的改进和改型提供了很好的手段。

(5) 有利于实现计算机辅助制造

计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)已成为航空航天、汽车、船舶及其他机械工业实现现代化的必由之路。而用计算机辅助设计出来的产品图样及数据变为实际产品最有效的途径,就是采取计算机辅助制造技术直接制造出零部件。而数控机床使用数字量信号与标

准代码输入,最适宜与数字计算机连接,它是计算机辅助制造系统的基础。

2. 数控加工的缺点

(1) 加工成本一般较高

数控机床及其配套设备价格昂贵。数控机床的价格一般是同类通用机床的几倍甚至几十倍,再加上与之配套的编程设施、计算机及其外围设备等,使其产品加工成本大大高于通用机床,同时,数控机床维修成本也高。

(2) 只适宜于多品种小批量或中批量生产

由于数控加工对象一般为较复杂零件,又往往采用工序相对集中的工艺方法,在一次定位安装中加工出许多待加工面,势必将工序时间拉长。尽管目前在数控机床的设计制造方面做出了很多努力(如多轴化、自动交换工作台与柔性加工单元等),但与专用多工位组合机床或自动机形成的生产线相比,在生产规模与生产效率方面仍有较大差距,即占机械加工 20%~30%的大批量零件生产,数控加工还难以适应。

(3) 加工中难以调整

由于数控机床是按程序运行自动加工的,一般很难在加工过程中进行适时的人工调整,即使可以做局部调整,但其可调范围也很有限。

(4) 对操作人员、维修人员的技术水平要求较高

数控机床是技术密集型的机电一体化产品,其操作和维修均较复杂,故要求操作、维修以及管理人员具有较高的文化水平和技术素质,一般均需配备技术素质较高的操作人员、维修人员与较好的维修装备。

1.2 数控加工工艺过程的基本概念

1.2.1 生产过程

生产过程是指将原材料转变为成品的全过程。对机械产品的制造而言,其生产过程主要包括下列过程:

- ① 生产的准备工作,如产品的开发设计和工艺设计,专用装备的设计与制造,各种生产的组织及其他生产所需物资的准备工作。
- ② 原材料及半成品的运输和保管。
- ③ 毛坯的制造过程,如铸造、锻造和冲压等。
- ④ 零件的各种加工过程,如机械加工、焊接、热处理和表面处理等。
- ⑤ 部件和产品的装配过程,包括组装、部装等。
- ⑥ 部件和产品的检验、调试、油漆和包装等。

需要指出的是:上述的“原材料”和“产品”的概念是相对的。一个工厂的“产品”可能是另一个工厂的“原材料”,而另一个工厂的“产品”又可能是其他工厂的“原材料”。

因为在现代制造业中,组织专业化生产的程度越来越高,即一种产品的生产是分散在若干个专业化工厂进行,最后集中由一个工厂制造成完整的机械产品。例如,汽车上的轮胎、仪表、电器元件、标准件等许多零件都是由其他专业厂生产的,汽车制造厂只生产一些关键部件和配套件,并最后装配成完整的汽车。

1.2.2 工艺过程

所谓“工艺”,就是制造产品的方法。在生产过程中直接改变生产对象的形状、尺寸、相对位置和性能等,使其成为半成品或成品的过程称为工艺过程。工艺过程是生产过程中的主要部分。

利用机械加工方法,直接改变毛坯的形状、尺寸、相对位置和性能等,使其转变为成品的过程称为机械加工工艺过程。机械加工工艺过程直接决定零件和产品的质量,对产品的成本和生产周期都有较大的影响,是整个工艺过程的重要组成部分。

在机械加工中,一台结构相同、要求相同的机器,一个要求相同的机械零件,可以采用几种不同的工艺过程来完成,但其中总有一种在某一特定的具体条件下是最合理的。那么,这种在具体条件下最合理或较合理的工艺过程,我们把它用文字的形式或按规定的表格形式书写下来,形成工艺文件,这种工艺文件就称为机械加工工艺规程,简称工艺规程。

工艺规程是依据工艺理论、生产实践经验和工艺试验制定的,是保证产品质量和提高经济效益的指导性文件,是组织和管理生产的基本依据。

然而,工艺规程也不是一成不变的。随着科学技术的进步,新的加工方法、加工设备的出现,会有更合理的工艺规程代替旧的相对不合理的工艺规程。但工艺规程的修订必须经过充分的试验论证,并经过严格的审批手续。

1. 工序

工序是组成工艺过程的基本单元。工序是指一个(或一组)工人,在一个工作地(或一台设备)上,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。划分工序的主要依据是工作地点是否改变及加工是否连续完成。表 1-1 所示为单件、小批生产的工艺过程。表 1-2 所示为大批、大量生产的工艺过程。图 1-1 所示为某传动轴,在不同的生产条件下有不同的工序。

表 1-1 单件、小批生产的工艺过程

工序	内 容	设 备
1	车端面,打中心孔,调头车另一端面,打中心孔	车床
2	车大外圆及倒角,调头车小外圆及倒角	车床
3	铣键槽,去毛刺	铣床

表 1-2 大批、大量生产的工艺过程

工 序	内 容	设 备
1	铣端面；打中心孔	专用机床
2	车大外圆及倒角	车床
3	车小外圆及倒角	车床
4	铣键槽	键槽铣床
5	去毛刺	钳工台

2. 工步

在一次安装或工位中，加工表面、切削刀具及切削用量都不变的情况下所连续完成的加工内容称为一个工步。如表 1-1 中的工序 1，一次安装中都有车端面、钻中心孔两个工步。为简化工艺文件，对于那些连续进行的若干个相同的工步，通常都看作一个工步。例如，加工如图 1-2 所示零件，在同一工序中，连续钻四个 $\phi 15\text{mm}$ 的孔，就可看作一个工步。为了提高生产率，用几把刀具同时加工几个表面，这也可看作一个工步，称为复合工步。如图 1-3 铣端面、钻中心孔，每个工位都是用两把刀具同时铣两端面或钻两端中心孔，它们都是复合工步。除上述工步概念外，还有辅助工步，它是由人和（或）设备连续完成的一部分工序，该部分工序不改变工件的形状、尺寸和表面粗糙度，但它是完成工步所必需的，如更换工具等。引入辅助工步的概念，是为了能精确计算工步工时。

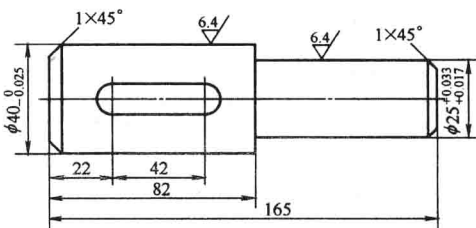


图 1-1 传动轴

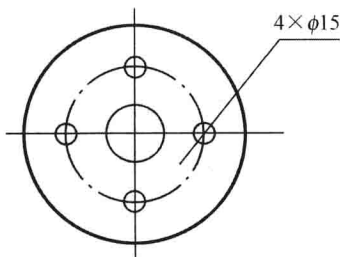


图 1-2 多个相同表面加工的工步实例

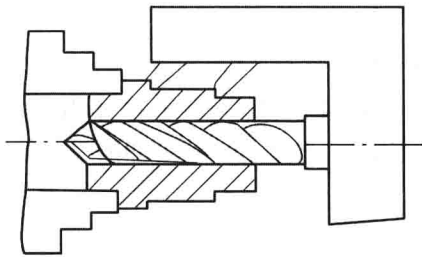


图 1-3 复合工步实例

3. 安装

在机械加工中，使工件在机床或夹具中占据某一正确位置并被夹紧的过程，称为装夹。有时，工件在机床上需经过多次装夹才能完成一个工序的工作内容。工件经一次装夹后所完成的那一部分工序称为安装。在一个工序中，工件的工作位置可能只需一次安装，也可能需要几次安装。例如表 1-3 的工序 2，一次安装即可铣出键槽；而工序 1 中，为了车出全

部外圆则最少需要两次安装。零件在加工过程中应尽可能减少安装次数，因为安装次数越多，安装误差就越大，而且安装工件的辅助时间也要增加。

表 1-3 阶梯轴加工工艺过程（生产批量较小）

工 序	内 容	设 备
1	车端面，钻中心孔，车全部外圆，车槽与倒角	车床
2	铣键槽，去毛刺	铣床
3	粗磨各外圆	外圆磨床
4	热处理	高频淬火机
5	精磨外圆	外圆磨床

4. 工位

对于回转工作台（或夹具）、移动工作台（或夹具），在一次安装中工件先后在几个不同的位置进行加工，每个位置称为一个工位。如图 1-4 所示，用移动工作台（或夹具），在一次安装中可完成铣端面、钻中心孔两个工位的加工。采用多工位加工方法，可减少安装次数，提高加工精度和效率。

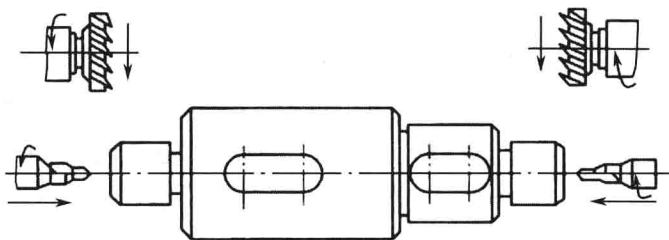


图 1-4 多工位加工实例

5. 进给

进给也称走刀。在一个工步内，若被加工表面需切除的余量较大，可分几次切削，每次切削称为一次进给。车削如图 1-5 所示的阶梯轴，第一工步为一次进给，第二工步分二次进给。

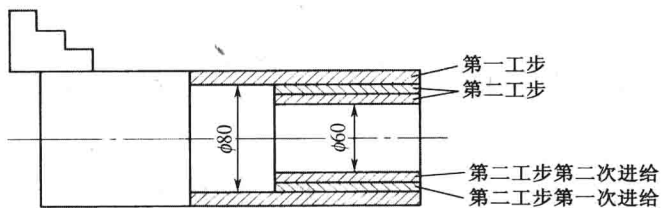


图 1-5 阶梯轴的车削进给