



全国教育科学“十一五”规划课题研究成果

数控加工技术

周文玉 杜国臣 赵先仲 李 伟 主 编



高等教育出版社

全国教育科学“十一五”规划课题研究成果

数控加工技术

Shukong Jiagong Jishu

周文玉 杜国臣 赵先仲 李伟 主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书详细分析和阐述了数控加工的最新技术和应用成果,精心挑选了当今主流数控系统作为典型实例。本书内容详实,图文并茂,实用性较强,具有系统性、通用性和先进性等特点,力求使读者能从结构与工作原理、知识体系和实际应用方面了解并掌握数控加工技术。

本书共7章,第1章数控加工工艺基础,第2章数控机床,第3章数控加工的计算机控制系统,第4章数控机床的伺服系统,第5章数控加工程序的编制,第6章数控加工的辅助装备,第7章数控加工实验指导。

本书可作为普通高等学校机械设计制造及其自动化专业及相关机械类专业本科生的教材,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工技术 / 周文玉等主编. —北京:高等教育出版社, 2010.5

ISBN 978-7-04-029102-5

I. ①数… II. ①周… III. ①数控机床-加工-高等学校-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 043127 号

策划编辑	卢 广	责任编辑	项 杨	封面设计	于 涛
责任绘图	尹 莉	版式设计	余 杨	责任校对	杨凤玲
责任印制	毛斯璐				

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
总 机	010-58581000

经 销	蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷	国防工业出版社印刷厂

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
畅想教育	http://www.widedu.com

开 本	787×960 1/16
印 张	26.75
字 数	500 000

版 次	2010 年 5 月第 1 版
印 次	2010 年 5 月第 1 次印刷
定 价	38.80 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 29102-00

前 言

数控加工技术是机械加工自动化的基础,其水平的高低和普及程度是衡量一个国家综合国力和工业现代化水平的重要指标。

为适应机械加工技术的发展和教学的需要,我们编写了本书。本书力求体现机械加工的现代性,不仅注重理论和应用,且考虑其最新技术。本书主要作为普通高等学校机械类专业本科生教材,也可供从事数控加工技术开发与应用的技术人员参考。

全书共分七章,主要内容有数控加工工艺基础、数控机床、数控加工的计算机控制系统、数控机床的伺服系统、数控加工程序的编制、数控加工的辅助装备以及数控加工实验指导等。各章既有联系,又有一定的独立性。除第7章外,每章均附有思考题与习题。

本书由周文玉、杜国臣、赵先仲、李伟担任主编,刘秉亮、裴旭明、毕世英担任副主编。第1章和第5章5.3节、5.4节由杜国臣编写,第2章2.1、2.2节、第4章和第5章5.6节由赵先仲编写,第2章2.3节由裴旭明编写,第3章3.1、3.2、3.3节和第6章由丁静编写,第3章3.4—3.7节由李宏伟编写,第5章5.1、5.2节由毕世英编写,第5章5.5节由刘秉亮编写,第7章由郭晓东和周文玉编写。全书由周文玉和李伟负责统稿、定稿。

北京理工大学张建民教授审阅了本书,并提出了宝贵意见和建议。本书编写时参阅了相关院校、科研单位的教材和文献资料,得到许多专家同行的支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平和经验有限,书中难免有疏漏和不当之处,恳请各位读者批评指正。

编 者

2010年1月

目 录

第1章 数控加工工艺基础	1
1.1 数控加工技术概论	1
1.1.1 数控加工技术	1
1.1.2 数控加工零件的过程	2
1.1.3 数控加工技术的产生和发展	4
1.2 数控加工工艺	5
1.2.1 数控加工工艺的特点与内容	5
1.2.2 数控加工工艺设计	6
1.3 零件图形的数学处理	18
1.3.1 基点计算	18
1.3.2 节点计算	18
1.3.3 辅助计算	20
1.3.4 典型零件的数控加工工艺分析	21
思考题与习题	30
第2章 数控机床	33
2.1 数控机床的工作原理及组成	33
2.1.1 数控机床的工作原理	33
2.1.2 数控机床的组成	34
2.2 数控机床的分类	36
2.2.1 按加工方式分类	36
2.2.2 按运动轨迹分类	37
2.2.3 按伺服控制方式分类	38
2.2.4 按控制的联动坐标数分类	40
2.2.5 按控制系统的功能水平分类	42
2.3 数控机床的机械结构	43
2.3.1 数控机床机械结构的组成、特点及要求	43
2.3.2 数控机床的总体布局	57
2.3.3 数控机床的主传动系统	65
2.3.4 数控机床的进给传动系统	79
2.3.5 数控机床的导轨	98
思考题与习题	108

第3章 数控加工的计算机控制系统	109
3.1 概述	109
3.1.1 CNC系统的组成	109
3.1.2 CNC系统的功能	111
3.2 CNC系统的硬件结构	113
3.2.1 单微处理器CNC装置	113
3.2.2 多微处理器CNC装置	114
3.3 CNC系统的软件结构	116
3.3.1 CNC系统的软件特点	117
3.3.2 CNC系统软件的结构模式	118
3.4 CNC系统中的可编程逻辑控制器	121
3.4.1 PLC及其工作过程	121
3.4.2 PLC在数控机床上的应用	123
3.5 CNC系统的输入/输出与通信	126
3.5.1 CNC系统的输入/输出与通信要求	126
3.5.2 CNC系统常用外设及接口	126
3.6 CNC系统的轨迹控制原理	130
3.6.1 基准脉冲插补	131
3.6.2 数据采样插补	142
3.6.3 CNC系统的加、减速控制	147
3.6.4 轨迹自动偏移	151
3.7 开放式数控系统	153
3.7.1 开放式数控系统的体系结构	153
3.7.2 开放式数控系统的接口规范	156
3.7.3 开放式数控系统的实现方法	158
思考题与习题	160
第4章 数控机床的伺服系统	162
4.1 概述	162
4.1.1 数控机床伺服系统的基本要求	162
4.1.2 数控机床伺服系统的组成	164
4.1.3 数控机床伺服系统的分类	165
4.2 开环伺服系统	166
4.2.1 开环伺服系统的工作原理与组成	166
4.2.2 开环伺服系统的执行元件与控制	167
4.3 闭环伺服系统	178

4.3.1 闭环伺服系统的工作原理与组成	178
4.3.2 闭环伺服系统的检测元件	179
4.3.3 闭环伺服系统的执行元件与控制	193
思考题与习题	199
第5章 数控加工程序的编制	201
5.1 概述	201
5.1.1 数控编程的基本概念	201
5.1.2 数控编程的步骤和方法	201
5.2 数控编程基础知识	203
5.2.1 数控加工程序的结构	203
5.2.2 数控机床的坐标系	205
5.3 数控车削加工程序的编制	206
5.3.1 数控车床的编程特点和代码	207
5.3.2 编程坐标系的设定	208
5.3.3 数控车床基本编程指令	210
5.3.4 车削加工循环	216
5.3.5 刀具补偿功能	224
5.3.6 辅助功能	229
5.4 数控铣削加工程序的编制	233
5.4.1 数控铣床的功能指令	233
5.4.2 程序名和坐标系指令	235
5.4.3 数控铣床基本编程指令	242
5.4.4 刀具补偿	247
5.4.5 子程序	249
5.4.6 计算参数和程序跳转	250
5.4.7 循环	254
5.5 加工中心加工程序的编制	268
5.5.1 G 功能指令	268
5.5.2 坐标系指令	269
5.5.3 基本编程指令	272
5.5.4 刀具补偿指令	275
5.5.5 固定循环功能指令	277
5.5.6 M 功能指令	282
5.6 自动编程	289
5.6.1 自动编程概述	289

5.6.2 自动编程系统的信息处理过程	290
5.6.3 常用 CAD/CAM 图形交互式自动编程系统简介	291
思考题与习题	294
第 6 章 数控加工的辅助装备	300
6.1 数控刀具系统	300
6.1.1 数控刀具的分类和特点	300
6.1.2 数控车床的刀具系统	302
6.1.3 数控铣床与加工中心的刀具系统	308
6.2 数控机床的对刀工具	312
6.2.1 数控刀具预调仪	312
6.2.2 对刀器	315
6.3 数控系统的自动换刀装置	316
6.3.1 自动换刀装置的基本要求和类型	316
6.3.2 转塔式自动换刀装置	317
6.3.3 刀库式自动换刀装置	322
6.4 数控机床的回转工作台	334
6.4.1 回转工作台的基本要求和形式	334
6.4.2 分度工作台	335
6.4.3 卧式数控回转工作台	340
6.4.4 立式数控回转工作台	342
思考题与习题	344
第 7 章 数控加工实验指导	345
实验一 逐点比较法插补实验	345
实验二 数字积分法插补实验	347
实验三 数控车床调整与加工操作	349
实验四 数控铣床调整与加工操作	359
实验五 加工中心调整与加工操作	370
实验六 FANUC 数控车削编程及仿真加工	377
实验七 FANUC 数控铣削编程及仿真加工	387
实验八 加工中心编程及仿真加工	399
参考文献	416

第1章

数控加工工艺基础

1.1 数控加工技术概论

1.1.1 数控加工技术

数控,即数字控制(numerical control,缩写为 NC)。数控加工技术是指用数字信号形成的控制指令控制机床对工件进行切削加工的一门技术。

数控机床,简单地说,就是采用了数控加工技术的机床,即将机床的各种动作,工件的形状、尺寸以及机床的其他功能用一些数字代码表示,并把这些数字代码通过信息载体输入数控系统,数控系统经过译码、运算以及处理后发出相应的动作指令,自动控制机床的刀具与工件的相对运动,从而加工出所需要的工件。

数控机床与普通机床加工零件的区别在于数控机床是按照程序自动加工零件,而普通机床是由工人手工操作来加工零件。在数控机床上加工零件只要改变控制机床动作的程序,就可以达到加工不同零件的目的,因此数控机床特别适用于加工小批量且形状复杂、精度高的零件。

由于数控加工是一种程序控制过程,使其相应形成了以下几个特点:

① 采用数控机床可以提高零件的加工精度,稳定产品的质量。由于数控机床按照预定的加工程序进行加工,加工过程中消除了操作者人为的操作误差,所以零件加工的一致性好,而且加工精度还可以利用软件来进行校正补偿,因此可以获得比机床本身精度还要高的加工精度。

② 数控机床可以完成普通机床难以完成或根本不能完成的复杂曲面的零件加工,因此数控机床在宇航、造船及模具等加工业中得到广泛应用。

③ 采用数控机床,生产效率比采用普通机床提高2~3倍,尤其对某些复杂零件的加工,生产效率可以提高十几倍,甚至几十倍。

④ 可以实现一机多用。一些数控机床将几种普通机床功能合一,加上刀具

自动交换系统构成加工中心,如果能配置数控转台或分度转台,则可以实现一次安装、多面加工。

⑤ 采用数控机床有利于向计算机控制与管理生产方面发展,为实现生产过程自动化创造了条件。

目前,在机械行业中,随着市场经济的发展,产品更新周期越来越短,中、小批生产所占有的比例越来越大,对机械产品的精度和质量要求也在不断提高。因此,普通机床越来越难以满足加工的要求。同时,由于技术水平的提高,数控机床的价格在不断下降,所以数控加工技术在机械行业中的应用越来越普遍。

1.1.2 数控加工零件的过程

在数控机床上加工零件时,要事先根据零件加工图样的要求确定零件加工路线、工艺参数和刀具数据,再按数控机床编程手册的有关规定编写零件数控加工程序,然后通过输入装置将数控加工程序输入数控系统,在数控系统控制软件的支持下,经过处理与计算后发出相应的控制指令,通过伺服系统使机床按预定的轨迹运动,从而进行零件的切削加工。数控机床加工零件的过程如图 1-1 所示。

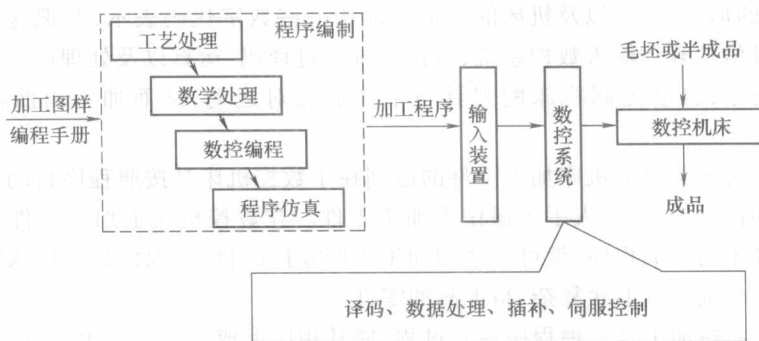


图 1-1 数控加工过程

在数控机床上加工零件的整个工作过程如下。

1. 零件图工艺处理

拿到零件加工图样后,应根据图样对工件的形状、尺寸、位置关系及技术要求等进行分析,然后确定合理的加工方案、加工路线、装夹方式、刀具及切削参数,同时还要考虑所用数控机床的指令功能。

2. 数学处理

在工艺处理后,应根据加工路线、图样上的几何尺寸计算刀具中心运动轨

迹,获得刀位数据。如果数控系统有刀具补偿功能,则需要计算出轮廓轨迹上的坐标值。

3. 数控编程

根据加工路线、工艺参数、刀位数据、数控系统规定的功能指令代码及程序段格式编写数控加工程序。程序编完后,可存放在控制介质(如软盘、U 盘)中。

4. 程序输入

数控加工程序通过输入装置输入数控系统。目前采用的输入方法主要有软驱、USB 接口、RS232C 接口、分布式数字控制(direct numerical control, DNC)接口及网络接口等。数控系统一般有两种不同的输入工作方式:一种是边输入边加工,DNC 即属于此类工作方式;另一种是一次将零件的数控加工程序输入计算机内部的存储器中,加工时再由存储器一段一段地读出,软驱、USB 接口即属于此类工作方式。

5. 译码

输入的程序中含有零件的轮廓信息、切削用量、辅助信息(换刀、冷却液开与关及主轴旋转等)。数控系统以一个程序段为单位,按照一定的语法规则把数控程序解释、翻译成计算机内部能识别的数据格式,并以一定的数据格式存储在指定的内存中。在译码的同时还完成对程序段的语法检查,一旦有错,立即给出报警信息。

6. 数据处理

数据处理程序一般包括刀具补偿、速度计算以及辅助功能的处理程序。刀具补偿有刀具半径补偿和刀具长度补偿。刀具半径补偿的任务是根据刀具半径补偿值和零件轮廓轨迹计算出刀具中心轨迹。刀具长度补偿的任务是根据刀具长度补偿值和程序值计算出刀具轴向实际移动值。速度计算是根据程序中所给的合成进给速度计算出各坐标轴运动方向的分速度。辅助功能的处理程序主要完成指令的识别、存储以及设标志。这些指令大都是开关量信号,现代数控机床可由 PLC 控制。

7. 插补

数控加工程序提供了刀具运动的起点、终点和运动轨迹,而刀具从起点沿直线或圆弧运动轨迹走向终点的过程则要通过数控系统的插补软件来控制。插补的任务就是通过插补计算程序,根据程序规定的进给速度要求,完成在轮廓起点和终点之间的中间点坐标值的计算,也即数据点的密化工作。

8. 伺服控制与加工

伺服系统接受插补运算后的脉冲指令信号或插补周期内的位置增量信号经放大后驱动伺服电机,带动机床的执行部件运动,从而加工出零件。

1.1.3 数控加工技术的产生和发展

1946年世界上第一台电子计算机问世,由此掀开了信息自动化的新篇章。1948年美国密歇根州北部的一个小型飞机工业承包商帕森斯公司(Parsons Co.)在制造飞机的框架及直升机的转动机翼时,提出了采用电子计算机对加工轨迹进行控制和数据处理设想,后来得到美国空军的支持,并与美国麻省理工学院(MIT)合作,于1952年研制出第一台三坐标数控铣床。1954年底,美国本迪克斯公司(Bendix Co.)在帕森斯专利的基础上生产出了第一台工业用的数控机床。这时数控机床的控制系统采用的是电子管,其体积庞大,功耗高,仅在一些军事部门中承担普通机床难以加工的形状复杂零件的加工任务。这是第一代数控系统。

1959年,晶体管出现。电子计算机应用晶体管元件和印制电路板,机床数控系统跨入了第二代。1959年克耐·杜列克公司(Keaney & Trecker Co.,简称K&T公司)在数控机床上设置刀库,并在刀库中装有丝锥、钻头及铰刀等刀具,根据穿孔带的指令自动选择刀具,并通过机械手将刀具装在主轴上,以缩短刀具的装卸时间,并减少零件的定位装夹时间。人们把这种带自动交换刀具功能的数控机床称为加工中心(machining center,简称MC)。加工中心的出现把数控机床的应用推上了一个更高的层次。它一般都集铣、钻、镗于一身,为以后立式、卧式加工中心,车削中心,磨削中心,五面体加工中心及板材加工中心等的发展打下基础。

20世纪60年代,出现了集成电路,数控系统发展到第三代。以上三代都属于硬件逻辑数控系统(称为NC)。1967年英国Mollin Co.将7台机床用计算机集中控制,组成柔性制造系统(FMS)。该系统首开柔性制造系统的先河,能执行生产调度程序和数控程序,具有工件储存、传送和检验自动化的功能。

随着计算机技术的发展,小型计算机应用于数控机床,由此组成的数控系统称为计算机数控(CNC)系统,数控系统进入第四代。20世纪70年代初,微处理机出现,美、日、德等国都迅速推出以微处理机为核心的数控系统。这样组成的数控系统称为第五代数控系统(MNC,通称为CNC)。自此,开始了数控机床大发展的时代。

进入20世纪80年代,微处理机升级更加迅速,极大地促进了数控机床向柔性制造单元(flexible manufacturing cell,即FMC)、柔性制造系统(flexible manufacturing system,即FMS)方向发展,并奠定了向规模更大、层次更高的生产自动化系统,如计算机集成制造系统(CIMS)、自动化工厂(factory automation, FA)方向发展的坚实基础。

我国从1958年开始研制数控机床,一些高等院校、科研单位及企业从利用电子管着手,到20世纪60年代曾研究出部分样机,1965年开始研制晶体管数控系统,到20世纪70年代初曾研究出数控劈锥铣床、非圆插齿机、数控立铣床以及数控车床、数控镗床、数控磨床和加工中心等。这一时期国产数控系统的稳定性、可靠性问题尚未得到很好的解决,因而也限制了国产数控机床的发展,而数控线切割机床由于其结构简单、价格低廉、使用方便,得到了较快的发展。据资料统计,1973—1979年,我国共生产数控机床4 180台,而其中数控线切割机床占86%左右。

20世纪80年代初,随着改革开放政策的实施,我国从国外引进技术,开始了批量生产微处理机数控系统,推动了我国数控机床新的发展高潮。我国开发了立式、卧式加工中心,立式、卧式数控车床,数控铣床,数控钻镗床及数控磨床等。

随着计算机、微电子、信息、自动控制、精密检测及机械制造技术的高速发展,数控加工技术也得到了长足进步。近几年,一些相关技术的发展,如刀具及新材料的发展,主轴伺服和进给伺服、超高速切削等技术的发展以及对机械产品质量的要求越来越高等都加速了数控加工技术的发展。目前,数控加工技术正朝着高速度、高精度、高工序集中度、高复合化和高可靠性等方向发展。

1.2 数控加工工艺

无论是手工编程还是自动编程,在编程以前都要对所加工的零件进行工艺分析,拟订加工方案,设计工序内容,编制工艺文件等。因此,程序编制中的工艺分析是一项十分重要的工作。

1.2.1 数控加工工艺的特点与内容

1. 数控加工工艺的特点

数控加工工艺与常规加工工艺在工艺设计过程和设计原则上是基本相似的,但数控工艺也有不同于常规加工工艺的特点,主要表现在以下几个方面。

(1) 工序内容具体

在普通机床上加工零件时,工序卡片的内容比较简单,很多内容,如走刀路线的安排、刀具选择等可由操作人员自行决定。而在数控机床上加工零件时,工序卡片中应包括详细的工步内容和工艺参数等信息,在编制数控加工程序时,每个动作、每个参数都应体现其中,甚至包括刀具与夹具、工件的干涉,刀具与工件的冷却和排屑等问题,以控制数控机床顺利地自动完成数控加工。

(2) 工序内容复杂

由于数控机床的运行成本和对操作人员的要求相对较高,所以在安排数控加工零件时,一般应首先考虑使用普通机床加工困难而使用数控加工能明显提高效率和提高质量的复杂零件,如整体叶轮、叶片及模具型腔的加工等。由于零件结构复杂、精度高、数值计算量大,所以零件的工艺也相应复杂。

此外,由于数控机床较普通机床的刚度高,所配的刀具也较好,因而在同等情况下,所采用的切削用量通常比普通机床大,加工效率也较高。选择切削用量时要充分考虑这些特点。

2. 数控加工工艺的主要内容

根据实际应用需要,数控加工工艺分析主要考虑以下内容:

- ① 分析零件图样,明确加工内容、精度及技术要求。
- ② 制订工艺过程,确定加工方案。
- ③ 设计工序内容,如工步的划分、工件的定位与夹紧、刀具的选择及切削用量的确定等。
- ④ 图形的数学处理及加工路线的确定等,如基点、节点的计算,对刀点、换刀点的选择,加工路线的确定等。
- ⑤ 编制工艺文件,包括工艺过程卡、工序卡、刀具卡及加工路线图等。

1.2.2 数控加工工艺设计

1. 数控加工工艺性分析

数控加工工艺性分析涉及面很广,在此仅从数控加工的可能性和方便性两方面加以分析。

① 零件图的尺寸标注应符合编程方便的原则。一是零件图上尺寸标注的方法应适应数控加工的特点。在数控加工零件图上,应以同一基准或直接给出坐标尺寸。这种标注方法既便于编程,也便于尺寸之间的相互协调和保证设计基准、工艺基准、检测基准与编程原点设置的一致性。由于零件设计人员一般在尺寸标注中较多地考虑装配等使用特性而不得不采用局部分散的标注方法,这样就会给工序安排与数控加工带来许多不便。由于数控加工精度和重复定位精度都很高,不会因产生较大的积累误差而破坏使用特性,因此可将局部的分散标注法改为统一基准引注尺寸或直接给出坐标尺寸的标注法。二是构成零件轮廓的几何元素的条件应充分。在手工编程时,要计算每个基点坐标。在自动编程时,要对构成零件轮廓的所有几何元素进行定义。因此,在分析零件图时,要分析几何元素的给定条件是否充分。

② 零件的结构工艺性应符合数控加工的特点。一是零件的内腔和外形最好

采用统一的几何类型和尺寸,这样可以减少刀具规格和换刀次数,使编程方便、生产效率提高。二是内槽圆角的大小决定刀具直径的大小,因而内槽圆角半径不应过小,如图 1-2 所示。零件工艺性的好坏与被加工轮廓的高低、转角圆弧半径的大小有关,图 1-2b 与图 1-2a 相比,转角圆弧半径大,可以采用较大直径的铣刀来加工。加工平面时,进给次数也相应减少,表面加工质量也会好一些,因此工艺性较好。通常 $R < 0.2H$ (R 为刀具半径, H 为被加工零件轮廓面的最大高度) 时,可以判定零件的该部位工艺性不好。三是铣削零件底平面时,槽底圆角半径 r 不应过大。如图 1-3 所示,圆角半径 r 越大,铣刀端刃铣削平面的能力越差,效率也越低。因为铣刀与铣削平面接触的最大直径 $d = D - 2r$ (D 为铣刀直径),当 D 一定时, r 越大,铣刀端刃铣削平面的面积越小,加工表面的能力越差,工艺性也越差。四是应采用统一的定位基准。在数控加工中,若没有统一的定位基准,会因工件的重新安装而导致加工后的两个面上的轮廓位置及尺寸不协调。因此,要避免上述问题的产生,应保证两次装夹加工后其相对位置的准确性。

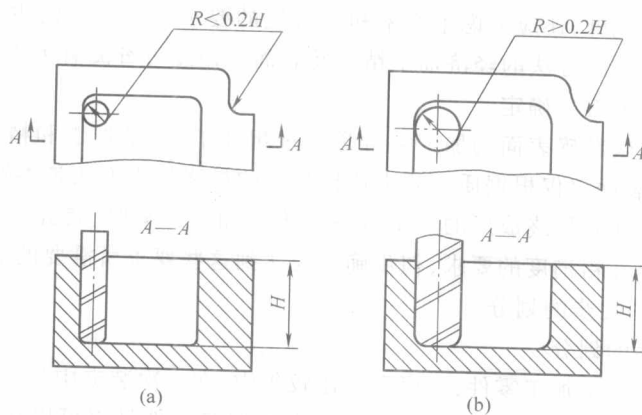


图 1-2 数控加工工艺性对比

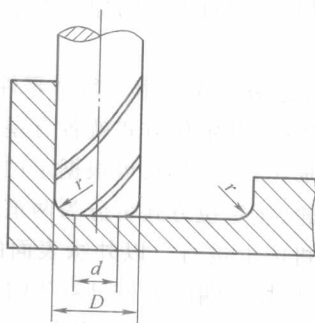


图 1-3 零件底平面圆弧对加工工艺的影响

零件上最好有合适的孔作为定位基准孔,若没有设置工艺孔作为定位基准孔(如在毛坯上增加工艺凸耳或在后续工序要铣去的余量上设置工艺孔),或无法制造出工艺孔时,也要用经过精加工的表面作为统一基准,以减少两次装夹产生的误差。

此外,还应分析零件所要求的加工精度、尺寸公差等是否可以得到保证,有无引起矛盾的多余尺寸或影响工序安排的封闭尺寸等。

2. 加工方法与加工方案的确定

(1) 加工方法的选择

加工方法的选择原则是保证加工表面的加工精度和表面粗糙度的要求。由于获得同一级精度及表面粗糙度的加工方法一般有许多,因而在实际选择时,要结合零件的形状、尺寸大小和热处理要求等全面考虑。例如,对于 IT7 级精度的孔采用镗削、铰削及磨削等加工方法均可达到精度要求,但箱体上的孔一般采用镗削或铰削,而不宜采用磨削。一般小尺寸的箱体孔选择铰孔,当孔径较大时则应选择镗孔。此外,还应考虑生产率和经济性的要求以及工厂的生产设备等实际情况。常用加工方法的经济加工精度及表面粗糙度可查阅有关工艺手册。

(2) 加工方案的确定

零件上比较精确表面的加工常常是通过粗加工、半精加工和精加工逐步达到的,对这些表面仅仅根据质量要求选择相应的最终加工方法是不够的,还应正确地确定从毛坯到最终成形的加工方案。确定加工方案时,首先应根据主要表面的精度和表面粗糙度的要求,初步确定为达到这些要求所需要的加工方法。

3. 工序与工步的划分

(1) 工序的划分

在数控机床上加工零件,工序可以比较集中,在一次装夹中尽可能完成大部分或全部工序。首先应根据零件图样,考虑被加工零件是否可以在一台数控机床上完成整个零件的加工工作,若不能,则应决定其中哪一部分在数控机床上加工,哪一部分在其他机床上加工,即对零件的加工工序进行划分。一般有以下几种方式:

① 按零件装夹定位方式划分工序 由于每个零件结构形状不同,各表面的技术要求也有所不同,故加工时,其定位方式就各有差异。一般加工外形时以内形定位,加工内形时又以外形定位。因而,可根据定位方式的不同来划分工序。

图 1-4 所示的片状凸轮,按定位方式可分为两道工序。第一道工序可在数控机床上进行,也可在普通机床上进行。以外缘表面的平面 B 定位加工端面 A 和直径 $\phi 22H7$ 的内孔,然后再加工端面 B 和 $\phi 4H7$ 的工艺孔。第二道工序以已加工过的两个孔和一个端面定位,在另一台数控铣床或加工中心上铣削凸轮外表面轮廓。

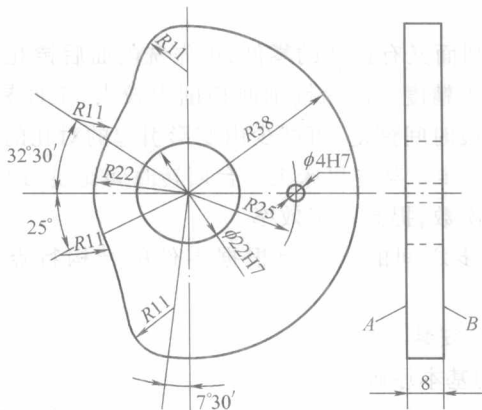


图 1-4 片状凸轮

② 按粗、精加工划分工序 根据零件的加工精度、刚度和变形等因素来划分工序时,可按粗、精加工分开的原则来划分工序,即先粗加工再精加工,此时可用不同的机床或不同的刀具进行加工。通常在一次安装中,不允许将零件某一部分表面加工完毕后,再加工零件的其他表面。批量生产图 1-5 所示的零件时,第一道工序在数控车床上进行粗车削,应切除整个零件的大部分余量;第二道工序进行半、精车削,以保证加工精度和表面粗糙度的要求。

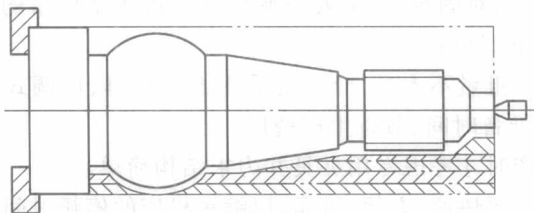


图 1-5 车削加工的零件

③ 按所用刀具划分工序 为了减少换刀次数、压缩空程时间、减少不必要的定位误差,可按刀具集中工序的方法加工零件,即在一次装夹中,尽可能用同一把刀具加工出可能加工的所有部位,然后再换另一把刀加工其他部位。在专用数控机床和加工中心上常采用这种方法。

(2) 工步的划分

工步的划分主要从加工精度和效率两方面考虑。在一个工序内往往需要采用不同的刀具和切削用量,对不同的表面进行加工。为了便于分析和描述较复杂的工序,在工序内又细分为工步。下面说明工步划分的原则。

① 同一表面按粗加工、半精加工和精加工依次完成或全部加工表面按先粗