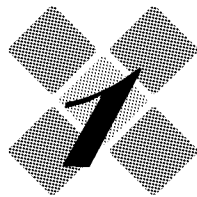


绪 论



1.1 数控加工在机械制造中的地位和作用

随着科学技术和社会生产的不断发展,机械制造技术发生了深刻的变化,机械产品的结构越来越合理,其性能、精度和效率日趋提高,因此对加工机械产品的生产设备提出了高性能、高精度和高自动化的要求。

在机械产品中,单件和小批量产品占到 70%~80%。由于这类产品的生产批量小、品种多,一般都采用通用机床加工,其自动化程度不高,难以提高生产效率和保证产品质量。实现这类产品的生产自动化成为机械制造业中长期未能解决的难题。

为解决大批量生产产品的质量问題,一般采用专用机床、组合机床、专用自动化机床以及专用自动生产线和自动化车间进行生产。但这些设备或生产线的生产周期长,产品改型不易,因而使新产品的开发周期增长,生产设备使用的柔性很差。

现代机械产品的一些关键零部件往往都精密复杂,加工批量小,改型频繁,显然不能在专用机床或组合机床上加工。而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。特别对复杂的空间曲线、曲面,在普通机床上根本无法加工。

为了解决单件、小批量生产,特别是复杂型面零件的自动化加工,数控加工应运而生。自 1952 年美国 PARSONS 公司与麻省理工学院(MIT)合作研制了第一台三坐标立式数控铣床以来,机械制造行业发生了技术革命,使机械制造业的发展进入了一个新的阶段。以后成功研制了数控转塔式冲床、数控转塔式钻床、加工中心(machining center, MC)等。随着计算机数控(computer numerical control, CNC)技术、信息技术、网络技术以及系统工程学的发展,在 20 世纪 60 年代以来先后出现了直接数字控制(direct numerical control, DNC)系统、柔性制造系统(flexible manufacturing system, FMS)、柔性制造单元(flexible manufacturing cell, FMC)、计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing system, CIMS)等。

数控加工是机械制造中的先进加工技术。它的广泛使用给机械制造业的生产方式、产品结构、产业结构带来了深刻的变化,是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础,为机械制造行业和国民经济产生了巨大的效益。

1.2 数控加工概述

1.2.1 数控设备的工作原理与组成

1. 数控设备的工作原理

操作者根据数控工作要求编制数控程序,并将数控程序记录在程序介质(如穿孔纸带、磁带、磁盘等)上。数控程序经数控设备的输入输出接口输入到数控设备中,控制系统按数控程序控制该设备执行机构的各种动作或运动轨迹,达到规定的工作结果。图 1.1 是数控设备的一般工作原理图。



图 1.1 数控设备的工作原理

2. 数控设备的组成与功能

数控设备的基本结构框图如图 1.2 所示,主要由输入输出装置、计算机数控装置、伺服系统和受控设备 4 部分组成。

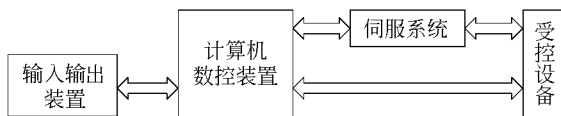


图 1.2 数控设备基本结构框图

1) 输入输出装置

输入输出装置主要用于零件数控程序的编译、存储、打印和显示等。简单的输入输出装置只包括键盘和发光二极管显示器。一般的输入输出装置除了人机对话编程键盘和 CRT 外,还包括纸带、磁带或磁盘输入机、穿孔机等。高级的输入输出装置还包括自动编程机或 CAD/CAM 系统。

2) 计算机数控装置

计算机数控装置是数控设备的核心。它根据输入的程序和数据,经过数控装置的系统软件或逻辑电路进行编译、运算和逻辑处理后,输出各种信号和指令。

3) 伺服系统

伺服系统由伺服驱动电路和伺服驱动装置组成,并与设备的执行部件和机械传动部件组成数控设备的进给系统。它根据数控装置发来的速度和位移指令,控制执行部件的进给速度、方向和位移。

4) 受控设备

受控设备是被控制的对象,是数控设备的主体,一般都需要对它进行位移、角度和各种开关量的控制。在闭环控制的受控设备上一般都装有位置检测装置,以便将位置和各种状

态信号反馈给计算机数控装置。

1.2.2 数控设备的分类

数控设备的种类很多,各行业都有自己的数控设备和分类方法。在机床行业,数控机床通常从以下不同角度进行分类。

1. 按工艺用途分类

1) 金属切削类

指采用车、铣、镗、钻、铰、磨、刨等各种切削工艺的数控机床,它又可分为以下两类。

(1) 普通数控机床:一般指在加工工艺过程中的一个工序上实现数字控制的自动化机床,有数控车、铣、钻、镗及磨床等。普通数控机床在自动化程度上还不够完善,刀具的更换与零件的装夹仍需人工来完成。

(2) 数控加工中心:指带有刀库和自动换刀装置的数控机床。在加工中心上,可使零件一次装夹后,实现多道工序的集中连续加工。加工中心的类型很多,一般分为立式加工中心、卧式加工中心和车削加工中心等。加工中心由于减少了多次安装造成的定位误差,所以提高了零件各加工面的位置精度,近年来发展迅速。

2) 金属成形类

指采用挤、压、冲、拉等成形工艺的数控机床,常用的有数控弯管机、数控压力机、数控冲剪机、数控折弯机、数控旋压机等。

3) 特种加工类

主要有数控电火花线切割机、数控电火花成形机、数控激光与火焰切割机等。

4) 测量、绘图类

主要有数控坐标测量机、数控对刀仪和数控绘图机等。

2. 按控制运动的方式分类

1) 点位控制数控机床

这类数控机床有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床等。

2) 点位直线控制数控机床

这类机床有数控车床和数控铣床等。

3) 轮廓控制数控机床

这类机床有数控车床、铣床、磨床和加工中心等。

3. 按伺服系统的控制方式分类

1) 开环数控机床

它没有位置检测元件,结构较简单,成本较低,调试维修方便,但由于受步进电机的步距精度和传动机构的传动精度的影响,难以实现高精度的位置控制,进给速度也受步进电机工作频率的限制。一般适用于中、小型经济型数控机床。

2) 半闭环控制数控机床

它将位置检测元件安装在驱动电机的端部或传动丝杆端部,间接测量执行部件的实际位置或位移。这类控制可以获得比开环系统更高的精度,调试比较方便,因而得到广泛应用。

3) 闭环控制数控机床

它将位置检测元件直接安装在机床工作台上。由于它采用了反馈控制,可以清除包括工作台传动链在内的传动误差,因而定位精度高,速度更快。但由于系统复杂,调试和维修较困难,成本高,一般适用于精度要求高的数控机床。

此外,按所用数控系统的档次通常把数控机床分为低档、中档、高档 3 类数控机床。中档、高档数控机床一般称为全功能数控或标准型数控。

1.2.3 数控加工及其特点

数控加工是指在数控机床上进行自动加工零件的一种工艺方法。数控机床加工零件时,将编制好的零件加工数控程序输入到数控装置中,再由数控装置控制机床主运动的变速、启停,进给运动的方向、速度和位移大小,以及其他诸如刀具选择交换、工件夹紧松开和冷却润滑的启、停等动作,使刀具与工件及其他辅助装置严格地按照数控程序规定的顺序、路程和参数进行工作,从而加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件。

一般来说,数控加工主要包括以下内容:

- (1) 选择并确定零件的数控加工内容;
- (2) 对零件图进行数控加工的工艺分析;
- (3) 设计数控加工的工艺;
- (4) 编写数控加工程序单(手工编程时需对零件图形进行数学处理,自动编程时需进行零件 CAD、刀具路径的产生和后置处理);
- (5) 按程序单制作程序介质;
- (6) 校验与修改数控程序;
- (7) 进行首件试加工与现场问题处理;
- (8) 对数控加工工艺技术文件进行定型与归档。

与常规加工相比,数控加工具有如下特点。

1) 适应性强

数控加工是根据零件要求编制的数控程序来控制设备执行机构的各种动作,当数控工作要求改变时,只需改变数控程序软件,而不需改变机械部分和控制部分的硬件,就能适应新的工作要求。因此,生产准备周期短,有利于机械产品的更新换代。

2) 精度高,质量稳定

数控加工本身的加工精度较高,还可以利用软件进行精度校正和补偿;数控机床加工零件按数控程序自动进行,可以避免人为的误差。因此,数控加工可以获得比常规加工更高的加工精度,尤其提高了同批零件生产的一致性,产品质量稳定。

3) 生产率高

数控设备可以采用较大的切削用量,有效地节省了运动工时。它还具有自动换速、自动

换刀和其他辅助操作自动化等功能,而且无需工序间的检验与测量,故使辅助时间大为缩短。

4) 能完成复杂型面的加工

许多复杂曲线和曲面的加工,普通机床无法实现,而数控加工完全可以完成。

5) 减轻劳动强度,改善劳动条件

因数控加工是自动完成的,许多动作不需操作者进行,故劳动条件和劳动强度大为改善。

6) 有利于生产管理

采用数控加工,有利于向计算机控制和管理生产方向发展,从而为实现制造和生产管理自动化创造了条件。

1.3 数控加工综合实践的主要内容、 基本要求和学习方法

数控加工综合实践是与数控加工技术理论课程并行、并重的实践环节,其内容主要从零件的机械加工工艺规程编制入手,设计其所涉及的数控加工工序及数控程序,运用所需的工艺装备及技术,操作数控机床,加工出合格的零件。其基本要求如下所述。

(1) 综合运用机械加工工艺的基本知识和理论,掌握零件的机械加工工艺规程编制。这些工艺规程包括:机械加工工艺卡片;机械加工工艺过程卡;工序卡(毛坯工序卡,机械加工工序卡,热处理工序卡及表面处理工序卡,数控加工工序卡,数控加工程序说明卡和数控加工走刀路线图,钳工工序卡,特种检验工序卡,洗涤、防锈、油封工序卡和检验工序卡等)。

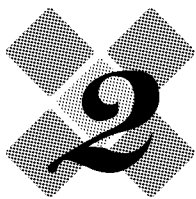
(2) 熟悉数控加工工序的设计,能手工或自动编制出零件的优化数控加工程序。

(3) 根据机械加工中所需的工艺装备(刀具、量具、夹具、模具等),能对其进行正确设计或选用、使用与维护。

(4) 一般了解所用数控机床的结构、工作原理和使用范围,熟悉数控车削加工、数控铣削加工、加工中心加工、数控电火花成形加工、数控电火花线切割加工的工艺与操作,能加工出合格的零件。

(5) 能进行数控加工的综合应用,熟练掌握数控自动编程综合技术,进行数控机床的基本维修、调试与检测。

数控加工综合实践与生产实际联系紧密,只有在实践中不断积累知识和经验,才能深入理解和熟练掌握,真正具备数控加工技术的综合应用能力。该实践需要通过参观、课内实验、实训或实习、课程设计及课后练习等多种实践教学环节的配合,每一个环节都是重要的、不可缺少的,学习时应予以注意。



数控加工工艺及工装设计

2.1 工艺过程制订

2.1.1 基本概念

1. 生产过程与工艺过程

生产过程是将原材料或半成品转变为成品所进行的全部过程。一般包括毛坯制造、零件加工、零件装配、部件或产品试验检测等阶段。

在生产过程中,工艺过程占有重要的地位。工艺过程是与改变原材料或半成品成为成品直接相关的过程。它包括锻压、铸造、冲压、焊接、机械加工、热处理、表面处理、装配和试车等。

机械加工工艺过程在工艺过程中占有重要的地位。它是指用机械加工的方法逐步改变毛坯的状态(形状、尺寸和表面质量),使之成为合格的零件所进行的全部过程。

2. 工艺过程的组成

机械加工工艺过程是由一系列顺序排列的工序组成的。工序是指在一个工作地点,对一个或一组工件所连续进行的工作。它是组成工艺过程的基本单元,毛坯依次通过这些工序而成为成品。工序又包括工步、走刀、安装和工位等内容。

(1) 工步: 在被加工表面、切削工具和机床的切削用量均保持不变的情况下所进行的工作。一个工序可包括一个工步,也可以包括几个工步。

(2) 走刀: 在一个工步中,切削工具从被加工表面上每切除一层金属所进行的工作。一个工步可包括一次或几次走刀。

(3) 安装: 工件在加工前,使工件在机床上占有正确的位置,然后使之夹紧的过程。在一个工序中,可能需要一次安装,也可能需要多次安装。多次安装常常会降低加工质量,还增加安装工件的辅助时间。

(4) 工位: 为了减少工件的安装次数,常采用各种回转工作台、回转夹具或移位夹具等在一次安装后改变工件的加工位置。这种使工件在机床上占有的每个加工位置称为工位。

2.1.2 制订工艺过程的基本要求与技术依据

1. 制订工艺过程的基本要求

制订零件的机械加工工艺过程可以有不同的方案,但合理的工艺过程应满足以下基本的技术和经济要求:

- (1) 保证质量,即保证产品符合设计图纸和技术条件所规定的要求;
- (2) 保证高的生产率和改善劳动条件;
- (3) 保证合理的经济性与安全性。

2. 制订工艺过程的技术依据

零件的机械加工工艺过程取决于零件图及其技术要求、毛坯的性质、生产纲领与生产类型、现场的生产条件等因素,具体有以下技术依据。

1) 零件图及其技术要求

零件图及其技术要求是制造零件的主要技术依据。在零件图上一般包括:

- (1) 构形:必要的视图、剖视、剖面图以及确定构形大小的尺寸等;
- (2) 技术要求:有关尺寸、形状所允许的偏差、表面粗糙度以及某些特殊的技术要求(平衡、音频和质量等);
- (3) 材料:有关材料牌号、热处理及硬度、材料的无损探伤等。

在制订工艺过程时,应首先对零件图及其技术要求进行详细的工艺分析,以便为满足加工要求和保证质量采取相应的措施。

2) 毛坯的性质

毛坯的性质通过毛坯图设计来体现,而毛坯图是根据零件图而设计的。对于机械性能要求高、构形复杂的零件,其大部分毛坯采用锻件、铸件或板材制造,而对于一些标准件或强度要求不高的零件,可选用型材做毛坯。

为减少加工时的劳动量和提高优质材料的利用率,以及保证零件内部的质量,常采用较先进的方法来制造毛坯,如空心锻造、小余量或无余量毛坯的碾压等。

3) 生产纲领与生产类型

产品或零件的生产纲领是指备品和废品在内的年产量。根据生产纲领的大小和产品品种的多少,机械制造业的生产类型可分为3种类型:单件生产、成批生产和大量生产。

(1) 单件生产:这种生产类型的特点是产品的品种多、产量小(一件或几十件),而且不再重复或不定期重复。这种类型的生产常采用数控设备或通用的设备及工具。

(2) 成批生产:这种生产类型的特点是产品分批进行生产,按一定时期交替地重复。它可采用数控设备、通用设备及部分专用设备,并广泛采用专用夹具和工具。按投入生产的批量的大小,成批生产可分为小批生产、中批生产、大批生产3种。小批生产的工艺过程特点与单件生产的相似;大批生产的工艺过程特点与大量生产的相似;中批生产的工艺过程特点则介于小批生产和大批生产之间。

(3) 大量生产:这种生产类型的特点是产品的产量大、品种少,大多数工作是长期重复

地进行某一零件的某一工序的加工。这种生产类型常采用专用设备及工艺装备,并广泛采用生产率高的专用机床、组合机床、自动化机床和自动线。

生产类型的划分,主要取决于产品的复杂程度及生产纲领的大小,具体可查阅有关手册。生产类型不同,制订工艺过程的详细程度也不同。在单件生产时,一般只制订工艺路线;在成批和大量生产中,则需要详细制订工艺过程。

4) 现场的生产条件

工艺过程的制订,须在现有工厂的条件下,或者是在新设计的工厂条件下进行。对于前者,主要应从现有的设备和工艺装备出发,来制订较为合理的工艺过程,使现有的设备得到充分的利用;对于后者,则可以根据需要并考虑当前可能的条件来选择设备,因而可采用较为先进的设备。此外,要注意新技术、新工艺的应用。

2.1.3 零件图的工艺分析与绘制

零件图是工艺设计的原始资料和基本依据,工艺过程的设计必须能保证零件图上的全部要求。

进行零件图的工艺分析时,要仔细熟悉零件的构造及其技术要求,了解零件的工作条件、各部分的作用,并按制图标准绘制零件图。

对这一部分的具体要求是:

- (1) 了解零件的功用、工作条件、各部分各表面的作用、零件构造特点及主要的技术要求(包括尺寸、公差、表面质量及其他技术条件等);
- (2) 对零件进行工艺分析,确定主要表面,了解主要表面质量的保证方法及检查方法;
- (3) 初步制订主要表面的加工方法和零件的加工顺序;
- (4) 对零件进行结构工艺分析,从工艺观点分析零件结构的合理性,掌握分析的方法。这一部分可在工艺规程完成以后再确定。

2.1.4 毛坯的设计

通过毛坯设计,应会正确地选择毛坯,并熟悉毛坯设计的内容和要求。首先要根据零件的结构、材料、生产规模、机械加工的要求(余量、基准等)决定毛坯的制造方法,然后(对锻造和铸造毛坯)确定其形状、出模角、圆角半径及技术条件。毛坯的尺寸和公差则在详细拟定零件机械加工工艺路线以后,根据各工序加工余量决定总加工余量及毛坯尺寸和公差。

对毛坯图的要求如下所述:

- (1) 绘制毛坯简图;
- (2) 毛坯的分模面、出模角、圆角半径都要表示清楚。最多且相同的出模角、圆角半径可不在图上注明,而在技术条件中注明。毛坯图中的尺寸、公差应齐全;
- (3) 在毛坯图中,用细实线画出零件的大小,不影响零件外形的可不画;
- (4) 毛坯需切取试片时,应在毛坯图上画出试片的部位及大小;
- (5) 在毛坯外廓尺寸下,用括号标明零件成品的名义尺寸;
- (6) 毛坯为型材时,可不另画毛坯图,但需在工艺规程毛坯工序卡片中画出下料简图。

2.1.5 工艺路线的制订

制订工艺过程时,首先要制订工艺路线,然后详细进行工序设计,这两个过程是相互联系的,需进行反复和综合的分析。

制订工艺路线是制订工艺过程的总体布局,其任务是确定工序的数量、内容和顺序,需从以下方面进行考虑。

1. 加工方法的选择

表面加工方法的选择,首先要保证加工表面的加工精度和表面粗糙度的要求。由于获得同一精度及表面粗糙度的加工方法往往有若干种,实际选择时还要结合零件的结构形状、尺寸大小以及材料和热处理的要求全面考虑。例如对于 IT7 级精度的孔,采用镗削、铰削、拉削和磨削均可达到要求。但箱体上的孔,一般不宜选择拉孔和磨孔,而常选择镗孔或铰孔;孔径大时选镗孔,孔径小时选铰孔。对于一些需经淬火处理的零件,热处理后应选磨孔。对于有色金属零件,为避免磨削时堵塞砂轮,则应选择高速镗孔。

表面加工方法的选择,除了首先保证质量要求外,还需考虑生产率和经济性的要求。大批大量生产时,应尽量采用高效率的先进工艺方法,如拉削内孔与平面、同时加工几个表面的组合铣削或磨削等。这些方法都能大幅度提高生产率,取得很大的经济效益。但是在生产批量不大的条件下,如果盲目采用高效率加工方法及专用设备,则会因设备利用率不高,造成较大的经济损失。此外,任何一种加工方法,可以获得的加工精度和表面质量均有一个相当大的范围,但只有在一定的精度范围内才是经济的,这种一定范围的加工精度即为该种加工方法的经济精度。选择加工方法时,应根据工件的精度要求选择与经济精度相适应的加工方法。例如对于 IT7 级精度、表面粗糙度 Ra 值为 $0.8 \mu\text{m}$ 的外圆,通过精车虽也可以达到要求,但在经济上就不及磨削合理。表面加工方法的选择还要考虑现场的实际情况,如设备的精度状况、设备的负荷以及工艺装备和工人技术水平等。各种加工方法的特点、经济加工精度及其表面粗糙度,可查阅有关工艺手册。

在一般的机械制造过程中,金属切削方法仍占主要地位。由于科学技术的日益发展,特殊的结构、难加工材料的使用日益增多,导致特种加工方法的采用更为广泛,如电脉冲、电火花、电解加工、电抛光,以及激光加工、超声加工、化学加工和电子束加工等。

各表面由于精度和表面质量的要求,一般不是只用一种方法、一次加工就能达到要求的。对于主要表面来说,往往需要通过粗加工、半精加工和精加工逐步达到要求,因此应首先选择相应的最终加工方法,然后确定从毛坯到最终成形的加工路线——加工方案。各表面的加工方案可查阅有关手册。在各主要表面的加工方法确定后,还应确定各次要表面的加工方法。

2. 加工阶段的划分

工艺路线按工序性质的不同,一般可划分成以下几个阶段。

(1) 粗加工阶段:其主要任务是切除各加工表面上的大部分加工余量,使毛坯在形状和尺寸上尽量接近成品。因此,在此阶段中应采取措施尽可能提高生产率。

(2) 半精加工阶段(细加工阶段): 其任务是达到一般的技术要求, 包括完成一些次要表面的加工、为主要表面的精加工做好准备(如保证精加工前的必要精度和加工余量等)。

(3) 精加工阶段(光整加工): 其任务是保证各主要表面达到规定的质量要求。在这个阶段, 加工余量一般均较小。

当有些零件具有很高的精度和很细的表面粗糙度要求时, 尚需增加超精加工阶段, 其主要任务是提高尺寸精度和降低表面粗糙度。

工艺路线划分阶段的主要原因如下所述:

(1) 保证加工质量。如果不分阶段地连续进行粗、精加工, 就无法避免因力和热产生的工件变形所引起的加工误差。而加工过程划分阶段后, 粗加工造成的加工误差, 可通过半精加工和精加工得到纠正, 并逐步提高零件的加工精度, 降低表面粗糙度, 保证加工质量。

(2) 合理使用设备。划分阶段后, 粗加工可采用功率大、刚度好和精度较低的高效率机床, 以提高生产率; 精加工则可采用高精度机床以确保零件的精度要求, 这样即充分发挥了设备的各自特点, 也做到了设备的合理使用。

(3) 便于安排热处理工序, 使冷热加工工序配合得更好。例如, 一些零件在半精加工后安排淬火, 不仅容易满足零件性能要求, 而且淬火引起的变形又可通过精加工工序予以消除。

此外, 粗、精加工分开后, 毛坯的缺陷(如气孔、砂眼和加工余量不足等)在粗加工后即可及早发现, 及时决定修补或报废, 以免对应报废的零件继续进行精加工而浪费工时和其他制造费用。精加工表面安排在后面, 还可保护其不受损伤。

在拟定零件的工艺路线时, 一般应遵循划分加工阶段这一原则, 但具体运用时要灵活掌握, 不能绝对化。例如, 对于一些毛坯质量高、加工余量小、加工精度要求较低而刚性又较好的零件, 即不必划分加工阶段; 对于一些刚性好的重型零件, 由于装夹吊运很费工时, 往往也可不划分阶段, 而在一次安装中完成表面的粗、精加工。

需要注意的是, 工艺路线的划分阶段, 是指零件加工的整个过程来说的, 不能从某一表面的加工或某一工序的性质来判断。例如, 有些定位基准, 在半精加工阶段甚至粗加工阶段就需要加工得很精确; 而某些钻小孔的粗加工工序, 常常又安排在精加工阶段。

3. 工序的集中与分散

工序集中与分散是拟定工艺路线时确定工序数目的两个不同的原则。

1) 工序集中

工序集中是将零件的加工集中在少数工序内完成, 而每一工序的加工内容却比较多。它有以下特点:

- (1) 工序数目少, 工序内容复杂, 因而缩短了工艺路线, 简化了生产组织工作;
- (2) 减少了设备数目, 从而减小了操作工人和生产面积;
- (3) 减少了工件安装次数, 缩短了辅助时间, 因而易于保证同时加工表面的相对位置精度, 有利于提高生产率和缩短生产周期;

(4) 有利于采用高生产率的专用设备和工艺装备, 但相应的生产准备工作和投资都比较大, 这些专用设备和工艺装备的操作、调整、维修费时费事, 转换新产品比较困难。

2) 工序分散

与工序集中相反,工序分散是将零件的加工集中在尽可能多的工序内完成,而每一工序的加工内容却比较少。它有以下特点:

- (1) 工序数目多,因而设备数量多,生产组织工作复杂,生产面积大;
- (2) 工序内容简单,因而生产准备工作量小,设备和工艺装备简单,操作、调整、维修简单,产品变换容易;
- (3) 可以采用最合理的切削用量,以减少机动时间。

以上两种原则各有特点,因此在加工过程中均有采用。工序集中与分散程度的确定,一般需要考虑下述因素:

(1) 生产量的大小:在产量较小时,为简化计划、调度等工作,选取工序集中原则便于组织生产;当产量很大时,可按分散原则以利于组织流水生产。

(2) 工件的尺寸和质量:对尺寸和质量大的工件,由于安装和运输困难,一般宜采用集中原则组织生产。

(3) 工艺设备的条件:由于工序集中的优点较多,现代自动化生产的发展多倾向工序集中(如数控机床以及其他专用、特种设备等高生产率的设备),这是机械加工的发展方向之一。

4. 工序顺序的安排

1) 机械加工工序的安排

在安排机械加工工序顺序时,应注意以下几点:

(1) 根据零件的功用和技术要求,先将零件的主要表面和次要表面区分开,然后着重考虑主要表面的加工顺序,次要表面加工可适当穿插在主要表面加工工序之间。

(2) 当零件需要分阶段进行加工时,先安排各表面的粗加工,中间安排半精加工,最后安排主要表面的精加工和光整加工。由于次要表面精度要求不高,一般在粗、半精加工阶段即可完成,但对于那些同主要表面相对位置关系密切的表面,通常多放于主要表面精加工之后完成。例如,许多零件主要孔周围的紧固螺孔的钻孔和攻螺纹,多在主要孔精加工之后进行。

(3) 零件加工多从基准面加工开始,然后以基准面定位加工其他主要表面和次要表面。

(4) 为了缩短工件在车间内的运输距离,避免工件的往返流动,加工顺序应考虑车间设备的布置情况,当设备呈机群式布置时,尽可能将同工种的工序相继安排。

2) 热处理工序的安排

热处理用于提高材料的机械性能,改善金属的加工性能以及消除内应力。在制订工艺规程时,由工艺人员根据设计和工艺要求全面考虑。按照热处理的目的,可将热处理大致分为预备热处理和最终热处理两大类。

(1) 预备热处理:其目的是改善加工性能,为消除内应力和最终热处理做好准备。其工序位置多安排在粗加工前后,包括退火、正火、时效和调质等。调质处理能得到组织均匀细致的回火索氏体,有时也作为预备热处理,常安排在粗加工后。

(2) 最终热处理:其目的主要是提高零件材料的硬度和耐磨性,常安排在精加工前后,包括调质、淬火、渗碳淬火和氮化等。调质也应安排在精加工前进行;变形较大的热处理如渗碳淬火应安排在精加工磨削前进行,以便在精加工磨削时纠正热处理的变形;变形较小的

热处理如氮化等,应安排在精加工后;表面装饰性镀层和发蓝处理,一般都安排在机械加工完毕后进行。

3) 辅助工序的安排

辅助工序的种类较多,包括去毛刺、倒棱、清洗、防锈、去磁、平衡和检验等。辅助工序也是必要的工序,若安排不当或遗漏,将会影响产品质量,甚至使机器不能使用。如未去净的毛刺将影响装夹、测量和装配精度以及工人安全;润滑油中未去净的切屑将影响机器的使用质量;研磨、珩磨后没清洗过的工件会带入残存的砂粒,加剧工件在使用中的磨损;用磁力夹紧的工件没有安排去磁工序,会使带有磁性的工件进入装配线,影响装配质量。

检验工序更是必不可少的工序。它对保证质量,防止产生废品起到重要作用。除了工序中自检外,还需要在下列场合单独安排检验工序:

- (1) 粗加工阶段结束后,精加工之前;
- (2) 送往外车间加工的前后,如热处理工序前后;
- (3) 重要工序前后;
- (4) 零件全部加工工序完成后。

有些特殊的检验,如探伤等检查工件内部质量,一般都安排在精加工阶段;密封性检验、工件的平衡和质量检验,一般都安排在工艺过程最后进行。

2.1.6 工序设计

工艺路线拟定之后,就要进行工序设计,确定各工序的具体内容如下所述。

1. 基准的选择

1) 基准及其分类

机械零件表面间的相对位置包括两方面的要求:表面间的距离尺寸精度和相对位置精度(如同轴度、平行度、垂直度和圆跳动等)。基准就是指零件上用以确定其他点、线、面的位置所依据的点、线、面。

根据基准功用的不同,基准分为设计基准和工艺基准两大类:在零件图上用以确定其他点、线、面位置的基准称为设计基准;零件在加工和装配过程中所使用的基准称为工艺基准。工艺基准包括以下基准:

- (1) 工序基准(原始基准),指在工序图上用来确定本工序所加工表面位置的基准。
 - (2) 定位基准,指在加工中用作定位的基准。用夹具装夹时,定位基准就是工件上直接与夹具的定位元件相接触的点、线、面。
 - (3) 测量基准,指测量时所用的基准。
 - (4) 装配基准,装配时用来确定零件或部件在产品中的相对位置所采用的基准。
- 下面主要就工序基准和定位基准的选择做一些说明。

2) 工序基准的选择

工序基准的选择包括最终工序基准的选择和中间工序基准的选择。

最终工序基准的选择原则是:

- (1) 工序基准和设计基准重合,以避免尺寸换算和压缩公差;

- (2) 便于作测量基准,以使测量方便和测具简单;
- (3) 在最终工序基准参与多尺寸保证时,应直接保证公差值最小的设计尺寸。

中间工序基准的一般选择原则是:

- (1) 当工序尺寸参与间接保证零件的设计尺寸时,要使有关尺寸链的环数少;
- (2) 要使精加工余量的变化量小。

3) 定位基准的选择

在起始工序中,只能选择未经加工的毛坯表面作定位基准,这种基准称为粗基准。用加工过的表面作定位基准,则称为精基准。在确定定位基准的选择顺序时,应从精基准到粗基准。

精基准的选择原则如下所述:

(1) 基准重合原则。是指采用设计基准作为定位基准。为避免基准不重合而引起的基准不重合误差,保证加工精度,应遵循基准重合原则。

(2) 基准统一原则。当工件以某一组精基准定位,可以比较方便地加工其他各表面时,应尽可能在多数工序中采用此同一组精基准定位,这就称为基准统一原则。

(3) 自为基准原则。当某些精加工要求加工余量小而均匀时,选择加工表面本身作为定位基准则称为自为基准原则。遵循自为基准原则时,不能提高加工表面的位置精度,只能提高加工表面本身的精度。

(4) 互为基准原则。为了使加工表面间有较高的位置精度,又为了使其加工余量小而均匀,可采取反复加工、互为基准的原则。

(5) 保证工件定位准确,夹具夹紧可靠、结构简单、操作方便的原则。

粗基准的选择要求应能保证加工表面与不加工表面之间的位置要求和合理分配各加工表面的余量,同时为后续工序提供精基准。具体可按下列原则选择:

(1) 为了保证加工表面与不加工表面之间的位置要求,应选不加工表面为粗基准。

(2) 对于具有较多加工表面的工件,粗基准的选择应合理分配各加工表面的加工余量。在分配加工余量时,应保证各加工表面都有足够的加工余量;对于某些重要的表面(如导轨面和重要的内孔等),应尽可能使其加工余量均匀,对导轨面还要求加工余量尽可能小一些,以便能获得硬度和耐磨性更好的表面;使工件上各加工表面总的金属切除量最小。

(3) 作为粗基准的表面,应尽量平整,没有浇口、冒口或飞边等其他表面缺陷,以便使工件定位可靠,夹紧方便。

(4) 由于毛坯表面比较粗糙且精度较低,一般情况下同一尺寸方向上的粗基准表面只能使用一次。否则,因重复使用所产生的定位误差,会引起相应加工表面间出现较大的位置误差。

2. 加工余量的确定

1) 工序(工步)加工余量与总加工余量

加工余量是指加工过程中从加工表面切去的金属层厚度。加工余量可分为工序(工步)加工余量和总加工余量。

工序(工步)加工余量是指某一表面在一道工序(工步)中所切除的金属层厚度,它取决于同一表面相邻工序(工步)的尺寸之差。

总加工余量是指零件从毛坯变为成品的整个加工过程中某一表面所切除金属层的总厚度,即零件上同一表面毛坯尺寸与零件尺寸之差。总加工余量等于各工序加工余量之和。

2) 影响加工余量大小的因素

加工余量的大小对于零件的加工质量和生产率均有较大的影响。加工余量过大,不仅会增加机械加工的劳动量,降低生产率,而且会增加材料、工具和电力的消耗,提高加工成本。但是加工余量过小,又不能保证消除前工序的各种误差和表面缺陷,甚至产生废品。因此,应当合理地确定加工余量。影响工序加工余量的因素可归纳为以下几项:

- (1) 前工序的表面质量(表面粗糙度 Ra 与变形层深度 Ta);
- (2) 前工序的工序尺寸公差(δ_a);
- (3) 前工序的位置误差(ϵ_a);
- (4) 本工序工件的安装误差(ϵ_b)。

本工序加工余量(Z_b)的组成可用下式表示为

$$\text{对称加工面:} \quad 2Z_b \geq \delta_a + 2(Ra + Ta) + 2|\epsilon_a + \epsilon_b| \quad (2-1)$$

$$\text{非对称加工面:} \quad Z_b \geq \delta_a + (Ra + Ta) + |\epsilon_a + \epsilon_b| \quad (2-2)$$

上述公式有助于分析余量的大小。在具体使用时,应结合加工方法本身的特点、热处理变形等其他因素进行分析。确定加工余量的方法有查表法、经验估计法、分析计算法等。由于影响因素多,目前尚难以用分析计算法来确定加工余量的大小。在实际中,总加工余量的大小与所选择的毛坯制造精度有关,工序(工步)加工余量一般用查表法或经验估计法(单件小批生产)确定,粗加工工序余量由总加工余量减去其他各工序余量而得。

3. 工序尺寸及其公差的确 定

工序尺寸及其公差是本工序应保证的加工尺寸要求,在确定时有以下两种情况。

1) 基准重合时工序尺寸及其公差的确 定

基准重合是指工序基准或定位基准与设计基准重合。表面需经多次加工时,各工序的加工尺寸及公差的计算顺序为:采取由后向前逐个工序推算的办法,最终工序尺寸及公差一般取自零件图上规定的值,其他工序尺寸为该工序的后一道工序尺寸加(外表面)或减(内表面)后一道工序的加工余量,工序尺寸的公差取该工序加工方法的经济加工精度,并按“入体原则”确定其上、下偏差。

2) 基准不重合时工序尺寸及其公差的确 定

工序基准或定位基准与设计基准不重合时,工序尺寸及其公差需通过工艺尺寸链或尺寸图表法进行分析计算。具体内容请参阅相关参考书。

4. 设备、工艺装备的选择

1) 设备的选择

选择设备时应考虑以下几点:

- (1) 机床精度与工件精度相适应。
- (2) 机床规格与工件的外形尺寸、工序的性质相适应。另外,机床的切削用量范围应和工件要求的合理切削用量相适应。
- (3) 所选设备与现有加工条件相适应,如设备负荷的平衡状况等。如果没有现成设备

供选用,经过方案的技术经济分析后,也可提出专用设备的设计任务书或改装旧设备。有时在试制新产品及小批生产时,较多地选用数控机床或加工中心机床等设备,以减少工艺装备的设计与制造,从而大大缩短生产周期和提高经济性。

2) 工艺装备的选择

工艺装备(简称工装)应根据生产类型、具体加工条件、工件结构特点和技术要求等进行合理选择。

(1) 夹具的选择。单件小批生产应首先采用各种通用夹具和机床附件,如卡盘、机床用平口虎钳、分度头等。有组合夹具站的,可采用组合夹具。对于中、大批和大量生产,为提高劳动生产率而采用专用高效夹具。中、小批生产应用成组技术时,可采用可调和成组夹具。

(2) 刀具的选择。一般优先采用标准刀具,必要时也可采用各种高效的专用刀具、复合刀具、多刃刀具等。刀具的类型、规格和精度等级应符合加工要求。

(3) 量具的选择。单件小批生产应广泛采用通用量具,如游标卡尺、百分表和千分尺等。大批大量生产应采用极限量块和高效的专用检验夹具和量仪等。量具的精度需与加工精度相适应。

2.2 数控加工的工艺设计

工艺设计是对工件进行数控加工的前期工艺准备工作,它必须在程序编制以前完成。数控加工的工艺设计内容主要包括选择并确定零件的数控加工内容、数控加工的工艺性分析、数控加工工艺路线设计、数控加工工序设计、数控加工专用技术文件的编写等。

数控加工工艺设计的原则和内容在许多方面与普通机床加工工艺基本相似,下面主要针对数控加工的不同点进行简要说明。

2.2.1 选择并确定零件的数控加工内容

当选择并决定对某个零件进行数控加工后,还必须选择零件数控加工的内容,以决定零件的哪些表面需要进行数控加工。一般可按下列顺序考虑:

- (1) 普通机床无法加工的内容应作为数控加工优先选择的内容;
- (2) 普通机床难加工、质量也难以保证的内容应作为数控加工重点选择的内容;
- (3) 普通机床加工效率低,工人手工操作劳动强度大的内容,可在数控机床尚存在富余能力的基础上进行选择。

此外,还要防止把数控机床降为普通机床使用。

2.2.2 数控加工的工艺性分析

1. 选择合适的对刀点和换刀点

对刀点是数控加工时刀具相对零件运动的起点,又称起刀点,也就是程序运行的起点。

对刀点选定后,便确定了机床坐标系和零件坐标系之间的相互位置关系。

刀具在机床上的位置是由刀位点来确定的。不同的刀具,刀位点不同。对平头立铣刀、端铣刀类刀具,刀位点为它们的底面中心;对钻头,刀位点为钻尖;对球头铣刀,刀位点则为球心;对车刀、镗刀类刀具,刀位点为其刀尖。在对刀时,刀位点应与对刀点一致。

对刀点选择的原则,主要是考虑对刀点在机床上对刀方便、便于观察和检测,编程时便于数学处理和有利于简化编程。对刀点可选在零件或夹具上。为提高零件的加工精度,减少对刀误差,对刀点应尽量选在零件的设计基准或工艺基准上。如以孔定位的零件,应将孔的中心作为对刀点。

对数控车床、镗铣床、加工中心等多刀加工数控机床,在加工过程中需要进行换刀,故编程时应考虑不同工序之间的换刀位置。为避免换刀时刀具与工件及夹具发生干涉,换刀点应设在工件的外部。

2. 审查与分析工艺基准的可靠性

数控加工工艺特别强调定位加工,尤其是正反两面都采用数控加工的零件,其工艺基准的统一是十分必要的,否则很难保证两次安装加工后两个面上的轮廓位置及尺寸协调。如果零件上没有合适的基准,可考虑在零件上增加工艺凸台或工艺孔,在加工完成后再将其去除。

3. 选择合适的零件安装方式

数控机床加工时,应尽量使零件能够一次安装,完成零件所有待加工面的加工。要合理选择定位基准和夹紧方式,以减少误差环节。应尽量采用通用夹具或组合夹具,必要时才设计专用夹具。

2.2.3 数控加工工艺路线设计

与通用机床加工工艺路线设计相比,数控加工工艺路线设计仅是对几道数控加工工序工艺过程的概括,而不是指从毛坯到成品的整个工艺过程。因此,数控加工工艺路线设计要与零件的整个工艺过程相协调,并注意以下问题。

1. 工序的划分

在划分工序时,要根据数控加工的特点以及零件的结构与工艺性、机床的功能、零件数控加工内容的多少、安装次数及本单位生产组织状况等综合考虑。可以按以一次安装加工作为一道工序,以同一把刀具加工的内容划分工序,以加工部位划分工序,以粗、精加工划分工序等方法进行工序的划分。

2. 加工顺序的安排

加工顺序的安排应根据零件的结构和毛坯状况,以及定位与夹紧的需要来考虑,重点是保证工件的刚性不被破坏。如先进行内腔加工工序,后进行外形加工工序;在同一次安装中进行的多道工序,应先安排对工件刚性破坏较小的工序。

3. 数控加工工序与普通工序的衔接

数控加工工序前后一般都穿插有其他普通工序,如衔接得不好,就容易产生矛盾。解决的最好办法是相互建立状态要求,比如要不要留加工余量,留多少;定位面与孔的精度要求及形位公差;对校形工序的技术要求;对毛坯的热处理要求等。这样做的目的是相互能满足要求,且质量目标及技术要求明确,交验验收时有依据。

4. 数控加工方法的选择

1) 平面孔系零件的加工

这类零件的孔数较多,孔位精度要求较高,宜用点位直线控制的数控钻与镗床加工。在加工时,孔系的定位都用快速运动。在编制加工程序时,应尽可能应用子程序调用的方法来减少程序段的数量,以减小加工程序的长度和提高加工的可靠性。

2) 旋转体类零件的加工

该类零件用数控车床或磨床加工。由于车削零件毛坯多为棒料或锻坯,加工余量较大且不均匀,故编程中,粗车的加工线路往往是要考虑的主要问题。

3) 平面轮廓零件的加工

这类零件的轮廓多由直线和圆弧组成,一般在两坐标联动的铣床上加工。图 2.1 所示为铣削平面轮廓实例,若选用的铣刀半径为 R ,则点画线为刀具中心的运动轨迹。一般数控系统具有刀具半径补偿功能,可按其零件轮廓编程。为保证加工平滑,应增加切入和切出程序段。由于一般数控系统都只具有直线和圆弧插补功能,所以对于非圆曲线的平面轮廓,都用圆弧和直线去逼近。有关逼近的计算方法请参阅相关书籍。

4) 立体轮廓表面的加工

根据曲面形状、机床功能、刀具形状以及零件的精度要求有不同的数控加工方法。

(1) 行切法加工,也称为 2.5 坐标加工,是指在三坐标控制的数控机床上,以 X 、 Y 、 Z 三轴中任意两轴做插补运动,第三轴做周期性进给,刀具采用球头铣刀。如图 2.2 所示,球头铣刀沿 YZ 平面的曲线进行插补加工,当一段加工完后进给 ΔX ,再加工另一相邻曲线,如此依次用平面曲线来逼近整个曲面。其中, ΔX 根据表面粗糙度的要求及刀头的半径选取。球头铣刀的球半径应尽可能选得大一些,以利于改善表面粗糙度,增加刀具刚度和散热性能。但在加工凹面时,球头半径必须小于被加工曲面的最小曲率半径。

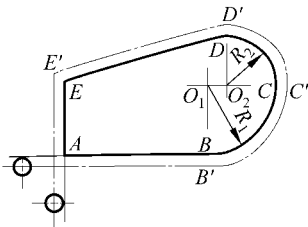


图 2.1 平面轮廓铣削案例

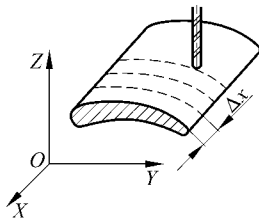


图 2.2 行切法加工案例

(2) 三坐标联动加工。对于一些空间曲线的零件,需用自动编程系统通过空间直线去逼近,可在有空间直线插补功能的三坐标联动机床上加工。

(3) 四坐标联动加工。如图 2.3 所示的飞机大梁, 它的加工表面是直纹扭曲面, 若在坐标联动机床上采用球头铣刀加工, 不但生产率低, 而且零件的表面粗糙度也很差。因此, 可采用圆柱铣刀周边切削方式, 在四坐标联动的机床上加工, 除了 3 个移动坐标的联动外, 为保证刀具与工件型面在全长上始终贴合, 刀具还应绕 O_1 或 O_2 做摆动联动。由于摆动运动, 导致直线移动坐标需做附加运动, 其附加运动量与摆动中心 O_1 或 O_2 的位置有关, 其编程计算比较复杂。

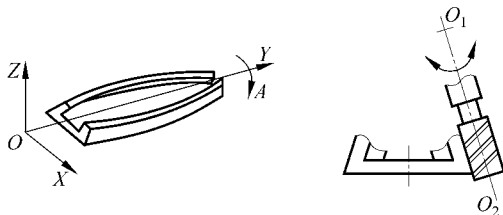


图 2.3 四坐标联动加工案例

(4) 五坐标联动加工。图 2.4 所示为螺旋桨叶片的形状, 半径为 R_i 的圆柱面与叶面的交线 AB 为螺旋线的一部分, 螺旋角为 ψ_i , 叶片的径向叶形线(轴向剖面) DE 的倾角 α 为后倾角。螺旋线 AB 用极坐标方法以空间折线进行逼近, 逼近线段 mn 是由 C 坐标旋转 $\Delta\theta$ 与 Z 坐标位移 Δz 的合成。当 AB 加工完后, 刀具应径向位移一个微小值(改变 R_i), 再加工相邻的另一条叶形线, 依次逐一加工, 即可形成整个叶面。由于叶面的曲率半径较大, 所以常用端面铣刀加工, 以提高生产率并简化程序。为保证铣刀端面始终与曲面贴合, 铣刀还应绕坐标轴 X 和 Y 做摆角运动, 在摆角的同时还应做直角坐标的附加运动, 以保证铣刀端面中心始终位于程序编制值所规定的位置上。这种加工的程序编制一般都采用自动编程的方法来完成。

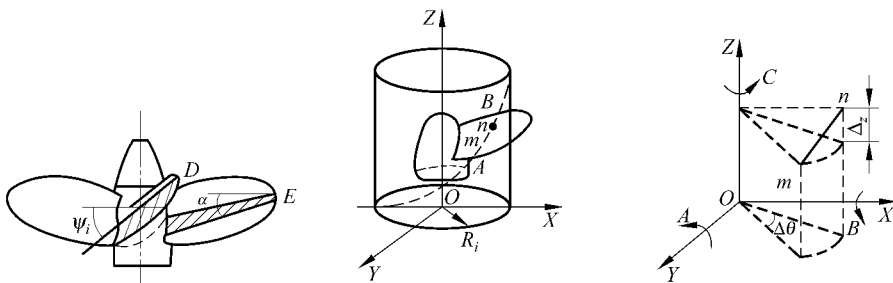


图 2.4 五坐标联动加工案例

2.2.4 数控加工工序设计

数控加工工序设计的主要内容是进一步把本工序的加工内容、加工用量、工艺装备、定位夹紧方式及刀具运动轨迹都具体确定下来, 为编制加工程序做好充分准备。在工序设计时应注意以下方面。

1. 确定走刀路线和安排工步顺序

零件加工的走刀路线是刀具在整个加工工序中的运动轨迹,它不但包括了工步的内容,也反映出工步顺序。因此,在确定走刀路线时最好画出一张工序简图,将已经拟定出的走刀路线画上去(包括切入、切出路线),这样可以方便编程。工步的安排一般随走刀路线来进行。在确定走刀路线时,主要考虑以下几点:

(1) 对点位加工的数控机床,如钻、镗床,要考虑尽可能缩短走刀路线,以减少空程时间,提高加工效率。

(2) 为保证工件轮廓表面加工后的粗糙度要求,最终轮廓应安排最后一次走刀连续加工。

(3) 刀具的进退刀路线应尽量避免在轮廓处停刀或垂直切入切出工件,以免留下刀痕。在车削和铣削零件时,应尽量避免如图 2.5(a) 所示的径向切入或切出,而应按如图 2.5(b) 所示的切向切入或切出,这样加工后的表面粗糙度较好。

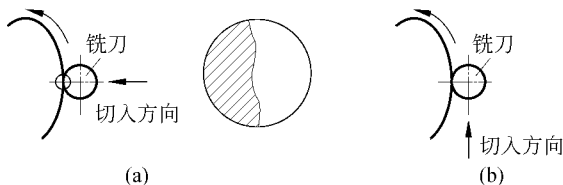


图 2.5 刀具的进刀路线

(a) 径向切入; (b) 切向切入

(4) 铣削轮廓的加工路线要合理选择,一般采用图 2.6 所示的 3 种方式进行。图(a)为 Z 字形双方向走刀方式,图(b)为单方向走刀方式,图(c)为环形走刀方式。在铣削封闭的凹轮廓时,刀具的切入或切出不允许外延,最好选在两面的交界处,否则会产生刀痕。为保证表面质量,最好选择图 2.7 中的(b)和(c)所示的走刀路线。

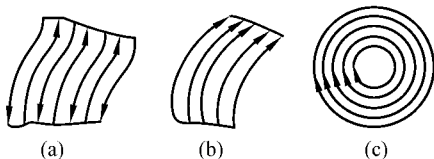


图 2.6 轮廓加工的走刀路线

(a) Z 字形; (b) 单向; (c) 环形

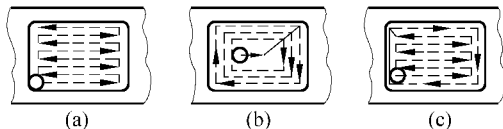


图 2.7 轮廓加工的走刀路线

(a) Z 字形; (b) 单向; (c) Z 字形+环形

(5) 旋转体类零件的加工在采用数控车床或数控磨床加工时,由于车削零件的毛坯多为棒料或锻件,加工余量大且不均匀,因此应合理制订粗加工时的加工路线。

如图 2.8 所示为手柄加工实例,其轮廓由 3 段圆弧组成,由于加工余量较大且不均匀,因此比较合理的方案是先用直线和斜线程序车去图中虚线外的加工余量,再用圆弧程序精加工成形。

图 2.9 所示的零件表面形状复杂,毛坯为棒料,加工时余量不均匀。其粗加工路线应按图 2.9 中 1~4 所示的矩形依次分段加工,然后再换精车刀一次成形,最后用螺纹车刀粗、精

车螺纹。至于粗加工走刀的具体次数,应视每次的切削深度而定。

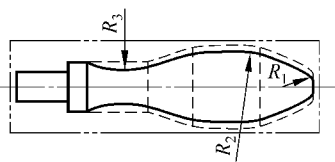


图 2.8 直线、斜线走刀路线

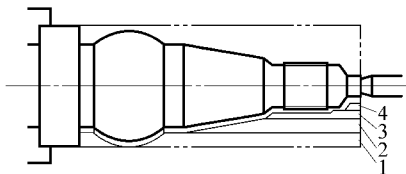


图 2.9 矩形走刀路线

2. 确定定位基准和夹紧方式

在确定定位基准和夹紧方式时,应力求设计、工艺与编程计算的基准统一,减少装夹次数,尽量避免采用占机人工调整式方案。

3. 选择夹具

数控加工对夹具提出了两个基本要求:一是要保证夹具的坐标方向与机床的坐标方向相对固定;二是要能协调零件与机床坐标系的尺寸。此外,当零件加工批量小时,尽量采用组合夹具、可调式夹具以及其他通用夹具,成批生产时才考虑专用夹具;零件装卸要方便可靠。

4. 选择刀具

数控机床上的刀具选择较严格,有些刀具是专用的。选择刀具应考虑工件材质、加工轮廓类型、机床允许的切削用量以及刚性和刀具耐用度等。编程时,要规定刀具的结构尺寸和调整尺寸。加工凹轮廓时,端铣刀的刀具半径或球头铣刀的球头半径必须小于被加工表面的最小曲率半径。对自动换刀的数控机床,在刀具装到机床上以前,要在机外预调装置(如对刀仪)中,根据编程确定的参数,调整到规定的尺寸或测出精确的尺寸。在加工前,将刀具有关尺寸输入到数控装置中。

2.3 机械加工工艺规程编制

2.3.1 机械加工工艺规程的概念和作用

机械加工工艺规程是将零件的机械加工工艺过程和操作方法按规定的图表和文字形式书写成的工艺文件。

机械加工工艺规程是指导零件加工的主要技术文件,是生产组织和管理工作的基本依据,是新建或扩建工厂或车间的基本资料。

2.3.2 机械加工工艺规程主要工艺文件编写

将工艺规程的内容填入一定格式的卡片中,用于生产准备、工艺管理和指导工人操作等