



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家数控技能型紧缺人才培养培训工程系列教材
高职高专数控专业规划教材

数控加工工艺 及编程

Shukong Jiagong Gongyi Ji Biancheng

刘万菊 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

TG659

182

2007

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家数控技能型紧缺人才培养培训工程系列教材
高职高专数控专业规划教材

数控加工工艺及编程

主 编 刘万菊
副主编 刘瑞已 陈文杰
参 编 陈思萍
主 审 陈继振

机 械 工 业 出 版 社

本教材注重培养学生数控加工的实践能力。通过学习本课程使学生能够较全面地掌握数控工艺知识和数控机床编程基本知识及代码指令功能,熟练应用数控机床的编程指令编制出符合加工工艺过程的程序并在数控设备上完成从工件的装卡定位到加工出符合图样要求的合格零件。本教材主要内容为数控加工工艺与编程基础、数控刀具、数控车削加工工艺制定与编程、数控铣削加工工艺制定与编程、加工中心加工工艺制定与编程、数控电火花线切割加工工艺制定与编程。

本教材可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科二级职业技术学院和民办高校数控技术应用专业、机械工程自动化专业、模具设计与制造等专业学生教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺及编程/刘万菊主编. —北京:机械工业出版社, 2006. 10

(国家数控技能型紧缺人才培养培训工程系列教材)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 7-111-20175-2

I. 数... II. 刘... III. ①数控机床—加工工艺—高等学校—教材②数控机床—程序设计—高等学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 124584 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:汪光灿 版式设计:张世琴 责任校对:张晓蓉

封面设计:张 静 责任印制:李 妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2007 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 16.75 印张 · 391 千字

0001—4000 册

定价:25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

编辑热线电话(010)88379171

封面无防伪标均为盗版

前言

数控技术的竞争是制造业竞争的核心，数控技术的普及使企业急需大批数控工艺及编程人员，然而，目前数控人才紧缺，特别是具备基础知识、解决数控技术工程实际能力人员更为紧缺，这严重制约了数控设备的使用，影响了制造业的竞争能力。因此，数控人才的培养已迫在眉睫。

本教材是为了适应国家数控技能型紧缺人才培养的需要，根据教育部数控技能型紧缺人才的培养培训方案的指导思想和最新的数控专业教学计划编写的，以数控技术应用专业人才培养方案为依据，在内容上兼顾各校培养不同特色人才要求，突出实用性。结合目前职业教育、职业技能培训现状，以培养职业技能为特色，以培养技术应用能力和岗位工作能力为核心，本教材在知识内容的选择方面，贯彻“必需、够用、实用及可操作性”的原则，在编写过程中，突出体现“知识新、理念新、技术新”的编写思想，不追求理论知识的系统性和完整性。同时，本教材还体现数控机床操作工国家职业标准要求的内容及“双证书”教育，以学生为主体，尽量考虑学生的认识水平和已有的知识能力，将学生的实际状况和培养方案有机结合起来，增大实用性较强的例题、习题、实验、实训题的比例，具有较强的适用性。

本教材针对目前数控技术应用情况，以日本法那科(FANUC)、德国西门子(SIEMENS)和华中世纪星数控系统为例，详细介绍了数控机床加工工艺制定、数控机床编程和数控刀具的应用等内容。

本教材适用对象重点是高职高专、本科二级学院、民办学院数控技术应用专业机械工程及自动化专业、模具 CAD/CAM 专业、业余大学及从事数控加工工艺编程的技术人员。本教材既可用于高职高专教学，又可用于行业培训。

本教材第一章、第三章由湖南工业职业技术学院刘瑞已编写，第二章由长春汽车工业高等专科学校刘万菊编写，第四章由包头职业技术学院陈思萍编写，第五章由河北机电职业技术学院陈文杰编写。全书由刘万菊教授主编并统稿。廊坊职业技术学院陈继振主审全书，在此表示衷心感谢！

由于编者水平有限及数控技术发展迅速，所以书中难免有不妥之处，恳请读者提出宝贵意见。

编 者

2006 年 3 月 1 日

目 录

前言

第一章 数控加工工艺与编程基础	1
第一节 数控加工工艺基本内容	1
第二节 数控机床的坐标系	18
第三节 数控编程基础	21
思考练习题	30
第二章 数控刀具	31
第一节 数控刀具的种类及特点	31
第二节 数控刀具材料	34
第三节 可转位刀片	41
第四节 工具系统	50
思考练习题	60
第三章 数控车削加工工艺制订与编程	61
第一节 数控车削加工工艺概述	61
第二节 数控车刀的类型及选用	62
第三节 数控车削加工工件的装夹及对刀	64
第四节 数控车削加工工艺的制订	68
第五节 数控车床的程序编制	72
思考练习题	117
第四章 数控镗铣削加工工艺制订与编程	119
第一节 概述	119
第二节 数控镗铣削加工刀具的选择	135
第三节 数控镗铣削加工工艺的制订	143
第四节 复杂曲线曲面数控铣削加工的刀具轨迹	165
第五节 复杂表面自动编程工艺处理	177
第六节 数控镗铣削加工的程序编制	182
第七节 典型零件的数控镗铣削加工工艺制订及程序编制	210
思考练习题	239

第五章 数控电火花线切割加工工艺制订与编程	242
第一节 概述	242
第二节 数控线切割加工工艺的制订	243
第三节 电火花线切割加工工艺指标的主要影响因素	249
第四节 数控电火花线切割加工的程序编制	253
思考练习题	259
参考文献	260

第一章 数控加工工艺与编程基础

学习目的：通过本章的学习，了解数控加工工艺内容，学会对零件图进行数控加工工艺分析，掌握数控加工余量、工序尺寸和公差的确定方法；熟悉数控机床坐标系、工件坐标系、编程方法和内容、格式及常用指令，并能对零件图编出数控加工工艺路线。

第一节 数控加工工艺基本内容

一、数控加工工艺基本概念

1. 数控加工

数控加工是根据零件图样及工艺要求等原始条件编制零件数控加工程序(简称为数控程序)，输入数控系统，控制数控机床中刀具与工件的相对运动，从而完成零件的加工。

2. 数控加工技术

它是将普通金属切削加工、计算机数字控制、计算机辅助制造等技术综合的一门先进加工技术。目前，数控加工技术正从深度、广度上对机械加工技术进行革命性的变革。

3. 数控加工工艺

它是把数控机床加工零件时所运用各种方法和技术手段应用于整个数控加工工艺过程。数控加工工艺是伴随着数控机床的产生、发展而逐步完善起来的一种应用技术，它是人们大量数控加工实践的经验总结。

4. 数控加工工艺过程

它是利用切削工具在数控机床上直接改变加工对象的形状、尺寸、表面位置、表面状态等，使其成为成品或半成品的过程。

二、数控加工工艺的主要内容

1. 数控加工工艺的主要内容

数控加工与通用机床加工在方法与内容上有一些相似之处，但也有许多不同。最大的不同表现在控制方式上。一般来说，数控加工工艺主要包括以下几个方面的内容：

- 1) 通过零件图分析选择并确定进行数控加工的内容。
- 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(自动编程时为源程序，由计算机自动生成目标程序——加工程序)。

6) 按程序单制作控制介质, 如穿孔纸带、磁带和磁盘等。

7) 检验与修改加工程序。

8) 首件试加工以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、刀具卡、程序说明卡和进给路线图等。

2. 数控加工的工艺特点

数控加工与通用机床加工相比较, 在许多方面遵循的原则基本一致。但由于数控机床本身自动化程度较高, 控制方式不同, 设备费用也高, 使数控加工工艺相应形成了以下几个特点。

(1) 工艺的内容十分具体 在用通用机床加工时, 许多具体的工艺问题可以由操作工人根据自己的实践经验和习惯自行考虑和决定, 一般无需工艺人员在设计工艺规程时进行过多的规定。而在数控加工时, 这些具体的工艺问题, 不仅仅成为数控工艺设计时必须认真考虑的内容, 而且工艺人员还必须做出正确的选择并编入到加工程序中。

(2) 工艺的设计非常严密 数控机床虽然自动化程度较高, 但自适应性差。它不像通用机床, 加工时可以根据加工过程中出现的问题, 比较灵活自由地适时进行人为调整, 即使现代数控机床在自适应调整方面人们已作出了不少努力与改进, 但自由度也不大。例如, 数控机床在加工螺纹时, 不知道孔中是否已挤满了切屑, 是否需要退一下刀, 或先清理一下切屑再加工。所以, 在数控加工的工艺设计中必须注意加工过程中的每一个细节。同时, 在对图形进行数学处理、计算和编程时, 都要力求准确无误, 以使数控加工顺利进行。

(3) 注重加工的适应性 根据数控加工的特点, 正确选择加工方法和加工对象。数控加工自动化程度高, 质量稳定, 可多坐标联动, 便于工序集中, 但由于价格昂贵、操作技术要求高等特点均比较突出, 加工方法、加工对象选择不当往往会造成较大损失。为了既能充分发挥出数控加工的优点, 又能达到较好的经济效益, 在选择加工方法和对象时要特别慎重, 甚至有时还要在基本不改变工件原有性能的前提下, 对其形状、尺寸和结构等进行适应数控加工的修改。

3. 数控加工的工艺适应性

这里所指的适应性是广义的, 不讨论某个具体数控设备适应加工什么零件。根据数控加工的特点, 一般可按工艺适应程度将零件分为下列三类。

(1) 最适应类 最适应数控加工的零件大致有以下几种:

1) 形状复杂, 加工精度要求高, 用通用加工设备无法加工或虽然能加工但很难保证产品质量的零件。

2) 用数学模型描述的复杂曲线或曲面轮廓零件。

3) 难测量、难控制进给或难控制尺寸的壳体或盒型零件。

4) 必须在一次装夹中合并完成铣、镗、铰或攻螺纹等多工序的零件。

对于上述零件, 可以先不要过多地去考虑生产率与经济上是否合理, 而首先应考虑能不能把它们加工出来, 要着重考虑可能性问题。只要有可能, 就应把采用数控加工作为优选方案。

(2) 较适应类 较适应数控加工的零件大致有下列几种:

- 1) 在通用机床上加工时极易受人为因素(如情绪波动、体力强弱和技术水平高低等)干扰,零件价值又高,一旦质量失控便造成重大经济损失的零件。
- 2) 在通用机床上加工必须制造复杂的专用工装的零件。
- 3) 需要多次更改设计后才能定形的零件。
- 4) 在通用机床上加工需要做长时间调整的零件。
- 5) 用通用机床加工时,生产率很低或体力劳动强度很大的零件。

这类零件在分析其可加工性以后,从提高生产率及经济效益方面衡量,一般可把它们作为数控加工的主要选择对象。

(3) 不适应类 根据数控加工的特点及应用实践,下列零件一般不太适合数控加工:

- 1) 生产批量大的零件(当然不排除其中个别工序用数控机床加工)。
- 2) 装夹困难或完全靠找正定位来保证加工精度的零件。
- 3) 加工余量很不稳定,且数控机床上无在线检测系统可自动调整零件坐标位置的零件。
- 4) 必须用特定的工艺装备协调加工的零件。

以上零件采用数控加工后,在生产效率与经济性方面一般无明显改善,更有可能弄巧成拙或得不偿失,所以一般不应作为数控加工的选择对象。

三、数控加工工艺过程的组成

数控加工工艺过程是由一个或若干个顺序排列的工序组成的,而工序又可分为安装、工位、工步和行程。

1. 工序

一个或一组工人,在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。

区分工序的主要依据是设备(或工作地)是否变动和完成的那一部分工艺内容是否连续。零件加工的设备变动后,即构成了另一工序。

工序不仅是制订工艺过程的基本单元,也是制订时间定额、配备工人、安排作业计划和进行质量检验的基本单元。

2. 工步与行程

在一个工序内,往往需要采用不同的工具对不同的表面进行加工。为了便于分析和描述工序的内容,工序还可以进一步划分工步。工步是指在加工表面(或装配时的连接表面)和加工(或装配)工具不变的条件下所完成的那部分工艺过程。一个工序可以包括几个工步,也可以只有一个工步。

一般构成工步的任一因素(加工表面和刀具)改变后,就划为另一工步。但对于那些在一次安装中连续进行的若干相同工步,例如图 1-1 所示零件上的 4 个

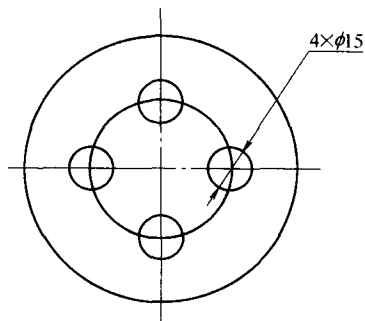


图 1-1 4 个 $\phi 15\text{mm}$ 孔的钻削

$\phi 15\text{mm}$ 孔的钻削, 可写成一个工步, 即钻 $4 \times \phi 15$ 孔。为了提高生产率, 用几把刀具同时加工几个表面的工步, 称为复合工步。在工艺文件上, 复合工步应视为一个工步。

行程, 又称进给次数, 有工作行程和空行程。工作行程是指刀具以加工进给速度相对工件所完成一次进给运动的工步部分。空行程是指刀具以非加工进给速度相对工件所完成一次进给运动的工步部分。

3. 安装与工位

工件在加工之前, 在机床或夹具上先占据一正确位置(定位), 然后再予以夹紧的过程称为装夹。工件(或装配单元)经一次装夹后所完成的那一部分工序内容称为安装。在一个工序中, 工件可能只需一次安装, 也可能需要几次安装。工件加工中应尽量减少安装的次数, 因为多次安装就造成多一次的安装误差, 而且还增加了辅助时间。

为了完成一定的工序内容, 一次装夹工件后, 工件(或装配单元)与夹具或设备的可动部分一起相对刀具或设备的固定部分所占据的每一个位置称为工位。为了减少工件安装的次数, 在大批量生产时, 常采用各种回转工作台、回转夹具或移位夹具, 使工件在一次安装中先后处于几个不同位置进行加工。此时工件在机床上占据每一个加工位置均称为工位。图 1-2 所示为一种用回转工作台在一次安装中完成装卸工件、钻孔、扩孔和铰孔等 4 个工位加工的实例。

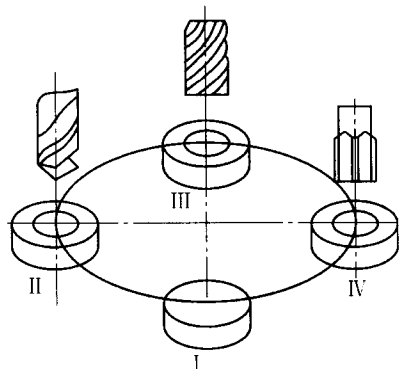


图 1-2 多工位加工

四、对零件图进行数控加工工艺分析

(一) 结构工艺性分析

在进行数控加工工艺性分析时, 工艺人员应根据所掌握的数控加工基本特点及所用数控机床的功能和实际工作经验, 力求把这一前期准备工作做得更仔细、更扎实一些, 以便为下面要进行的工作铺平道路, 减少失误和返工, 不留遗患。

1. 零件结构工艺性

零件结构工艺性是指在满足使用要求前提下零件加工的可行性和经济性, 即所设计的零件结构应便于加工成形, 并且成本低, 效率高。对零件进行结构工艺性分析时要充分反映数控加工的特色, 过去用普通设备加工工艺性很差的结构改用数控设备加工, 其结构工艺性则可能不再成问题, 比如国外产品零件中大量使用的圆弧结构、微小结构等。如图 1-3 所示的定位销, 国内普遍采用图 1-3a 中销头部分为锥形的结构, 而国外则普遍采用图 1-3b 中销头部分为球形的结构。从使用效果来说, 球形对工件的划伤要比锥形小得多, 但加工时, 球形的销必须用数控车削加工。一般来说, 对图

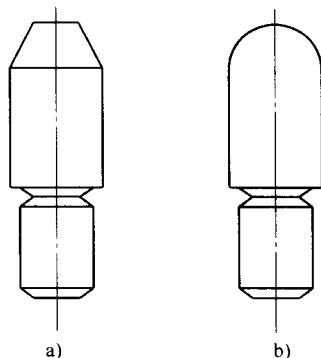


图 1-3 两种结构形式的定位销

样的工艺性分析与审查,是在不损害零件使用特性的许可范围内,更多地满足数控加工工艺的各种要求,尽可能采用适合数控加工的结构,尽可能发挥数控加工的优越性原则下进行。

2. 零件结构工艺性分析的主要内容

(1) 审查与分析零件图样中的尺寸标注方法是否适应数控加工的特点 对数控加工来说,最倾向于以同一基准引注尺寸或直接给出坐标尺寸,这就是坐标标注法。这种标注法,既便于编程,也便于尺寸之间的相互协调,在保证设计、定位、检测基准与程编原点设置的一致性方面带来很大方便。由于零件设计人员往往在尺寸标注中较多地考虑装配等使用特性要求,而不得不采取局部分散的标注方法,这样会给工序安排与数控加工带来诸多不便。事实上,由于数控加工精度及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,因而改变局部的分散标注法为集中引注或坐标式尺寸标注是完全可行的。目前,国外的产品零件设计尺寸标注绝大部分采用坐标法标注,这是他们基本采用数控设备制造并充分考虑数控加工特点所采取的一种设计原则。

(2) 审查与分析零件图样中构成轮廓的几何元素的条件是否充分、正确 由于零件设计人员在设计过程中往往存在难以完全避免的问题,常常遇到构成零件轮廓的几何元素的条件不充分或模糊不清甚至多余的情况。如圆弧与直线、圆弧与圆弧到底是相切还是相交,有些是明明画成相切,但根据图样给出的尺寸计算相切条件不充分或条件多余而变为相交或相离状态,使程编无从下手。有时,所给条件又过于“苛刻”或自相矛盾,增加了数学处理与节点计算的难度。因为在自动编程时要对构成轮廓的所有几何元素进行定义,手工编程时要计算出每一个节点坐标,无论哪一点不明确或不明确,编程都无法进行。所以,在审查与分析图样时,一定要仔细认真,发现问题及时找设计人员更改。

如图 1-4 所示的圆弧与斜线的关系要求为相切,但经计算后却为相交关系,而并非相切。又如图 1-5 所示,图样上给定几何条件自相矛盾,其给出的各段长度之和不等于其总长。

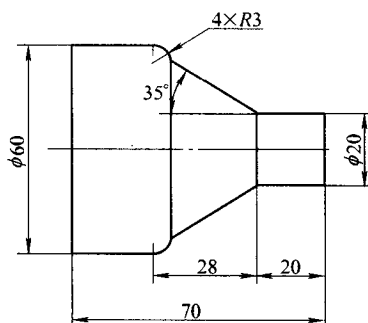


图 1-4 几何要素缺陷示例一

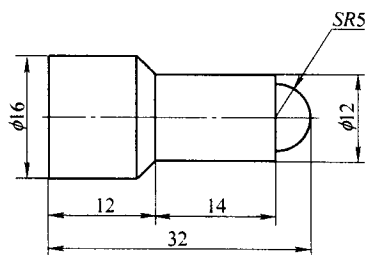


图 1-5 几何要素缺陷示例二

(3) 审查与分析在数控车床上加工时零件结构的合理性 例如图 1-6a 所示零件,需用三把不同宽度的车槽刀车槽,如无特殊需要,显然是不合理的。若改成图 1-6b 所示结构,只需一把刀即可车出三个槽。既减少了刀具数量,少占了刀架刀位,又节省了换刀时间。

(二) 精度及技术要求分析

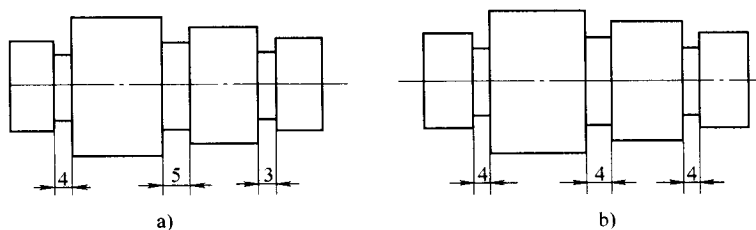


图 1-6 结构工艺性示例

对被加工零件的精度及技术要求进行分析,是零件工艺性分析的重要内容,只有在分析零件精度和表面粗糙度的基础上,才能对加工方法、装夹方式、进给路线、刀具及切削用量等进行正确而合理的选择。

精度及技术要求分析的主要内容:

- 1) 分析精度及各项技术要求是否齐全、合理。对采用数控加工的表面,其精度要求应尽量一致,以便最后能一刀连续加工。
- 2) 分析本工序的数控车削加工精度能否达到图样要求,若达不到,需采取其他措施(如磨削)弥补的话,注意给后续工序留有余量。
- 3) 找出图样上有较高位置精度要求的表面,这些表面应在一次安装下完成。
- 4) 对表面粗糙度值要求较小的表面,应确定用恒线速切削。

五、零件数控加工工艺路线的拟定

机械加工工艺规程的制订,大体可分为两部分:拟订零件加工的工艺路线确定各道工序的工序尺寸及公差、所用设备及工艺装备、切削用量和时间定额等。

工艺路线的拟订是制订工艺规程的关键,其主要任务是选择各个表面的加工方法和加工方案,确定各个表面的加工顺序以及工序集中与分散等。关于工艺路线的拟订,目前还没有一套普遍而完善的方法,而多是采取经过生产实践总结出的一些综合性原则。在应用这些原则时,要结合具体的生产类型及生产条件灵活处理。

1. 加工方法的选择

加工方法选择的原则是保证加工质量和生产率与经济性。为了正确选择加工方法,应了解各种加工方法的特点和掌握加工经济精度及经济粗糙度的概念。

(1) 经济精度与经济粗糙度 在加工过程中,影响精度的因素很多。每种加工方法在不同的工作条件下所能达到的精度是不同的。例如,在一定的设备条件下,选择较低的进给量和切削深度,就能获得较高的加工精度和较小的表面粗糙度值。但是这必然会使生产率降低,生产成本增加。反之,提高了生产率,虽然成本降低,但会增大加工误差,降低加工精度。

加工经济精度是指在正常的加工条件下(采用符合质量的标准设备、工艺装备和标准技术等级的工人,不延长加工时间)所能保证的加工精度。

经济粗糙度的概念类同于经济精度的概念。

(2) 选择加工方法时考虑的因素 选择加工方法,一般是根据经验或查表来确定,

再根据实际不同情况或工艺试验进行修改。一般来讲,满足同样精度要求的加工方法有若干种,所以选择时还要考虑下列因素。

1) 选择相应能获得经济精度的加工方法。例如,加工精度为 IT7,表面粗糙度值 R_a 为 $0.4\mu\text{m}$ 的外圆柱表面,通过精心车削是可以达到要求的,但不如磨削经济。

2) 工件材料的性质。例如,淬火钢的精加工要用磨削,有色金属圆柱表面的精加工为避免磨削时堵塞砂轮,则要用高速精细车或精细镗(金刚镗)。

3) 工件的结构形状和尺寸大小。例如,对于加工精度要求为 IT7 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,一般不宜选用拉孔或磨孔,而宜选择镗孔(大孔)或铰孔(小孔)。

4) 结合生产类型考虑生产率与经济性。大批量生产时,应采用高效率的先进工艺。例如,用拉削方法加工孔和平面,同时加工几个表面的组合铣削和磨削等。单件小批生产时,宜采用刨削、铣削平面和钻、扩、铰孔等加工方法,避免盲目地采用高效加工方法和专用设备造成经济损失。

5) 现有生产条件。应该充分利用现有设备,选择加工方法时要注意合理安排设备负荷。同时要充分挖掘企业潜力,发挥工人的创造性。

2. 加工顺序的确定

在复杂工件的机械加工工艺路线中,要经过切削加工、热处理和辅助工序。因此,在拟订工艺路线时,必须全面地把切削加工、热处理和辅助工序一起考虑,合理安排。为确定各表面的加工顺序和工序数目,生产中已总结出一些指导性原则及具体安排中应注意的问题。现分述如下:

(1) 机械加工工序的安排原则

1) 划分加工阶段。工件的加工质量要求较高时,都应划分加工阶段。一般可分为粗加工、半精加工和精加工 3 个阶段。如果加工精度要求特别高,表面粗糙度值要求特别小时,还可增设光整加工和超精密加工阶段。

应当指出,划分阶段是针对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,有些定位基准面,在半精加工甚至在粗加工阶段中就要完成而不能放在精加工阶段。

2) 先加工基准面。选为精基准的表面,应安排在起始工序先进行加工,以便尽快为后续工序提供精基准。

3) 先面后孔。对于箱体、支架和连杆等零件应先加工平面后加工孔。这是因为平面的轮廓平整,安放和定位比较稳定可靠。若先加工好平面,就能以平面定位加工孔,便于保证平面与孔的位置精度。另外,由于平面先加工好,对于平面上的孔加工也带来方便,使刀具的初始工作条件能得到改善。

4) 次要表面穿插在各加工阶段进行。次要表面一般加工量都较少,加工比较方便,把次要表面穿插在各加工阶段中进行加工,就能使加工阶段更加明显和顺利进行,又能增加加工阶段间的时间间隔,使工件有足够时间让残余应力重新分布,并使其引起的变形充分表现,以便在后续工序中修正。

(2) 工序集中与分散 在拟订零件加工的工艺路线时,确定工序集中或分散是很重

要的。

工序集中就是将工件的加工集中在少数几道工序内完成,每道工序加工内容较多。工序分散就是将工件的加工分散在较多的工序中进行,每道工序的内容很少,最少时每道工序仅包含一简单工步。

工序集中与工序分散各有利弊,应根据生产类型、现有生产条件、企业能力、工件结构特点和技术要求等进行综合分析,择优选用。

单件小批生产采用万能机床顺序加工,使工序集中,可以简化生产计划和组织工作。对于重型工件,为了减少工件装卸和运输的劳动量,工序应适当集中。但对一些结构较简单的产品(如轴承)和刚性差、精度高的精密工件,则工序应适当分散。

目前的发展趋势是倾向于工序集中。

(3) 工序顺序的安排

1) 机械加工工序的安排。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分开,然后着重考虑主要表面的加工顺序。安排的一般顺序是:加工精基准面→粗加工主要表面→半精加工主要表面→精加工主要表面→光整加工、超精密加工主要表面。次要表面的加工穿插在各阶段之间进行。

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有密切关系的表面,如主要孔周围的紧固螺孔等,通常置于主要表面精加工之后完成,以便保证它们的位置精度。

2) 热处理工序的安排。热处理的目的是提高材料的力学性能,消除残余应力和改善金属的加工性能。

常用的热处理工艺有退火、正火、调质、时效、淬火、回火、渗碳和渗氮等。按照热处理的不同目的,上述热处理工艺可分为两类:预备热处理和最终热处理。

预备热处理:预备热处理的目的是改善加工性能、消除内应力和为最终热处理准备良好的金相组织。其处理工艺有退火、正火、时效和调质等。退火和正火用于经过热加工的毛坯。退火和正火常安排在毛坯制造之后,粗加工之前进行。时效处理主要用于消除毛坯制造和机械加工过程中所产生的内应力,最好安排在粗加工之后、半精加工之前进行。为了避免过多的运输工作量,对于精度要求不太高的零件,一般在粗加工之前安排一次时效处理即可。但对于高精度的复杂铸件(如坐标镗床的箱体等),应安排两次时效工序,即铸造→粗加工→时效→半精加工→时效→精加工。简单铸件一般不进行时效处理。对于调质处理常安排在粗加工之后,半精加工之前进行。

最终热处理:最终热处理的目的是提高零件材料的硬度、耐磨性和强度等力学性能。处理工艺包括淬火、渗碳淬火和渗氮等。淬火一般安排在精加工之前。渗碳淬火适用于碳钢和低合金钢。它一般安排在精加工之前。在渗氮处理中,渗氮层可以提高零件表面的硬度、耐磨性、抗疲劳强度和抗蚀性。由于渗氮处理温度较低,变形小,且渗氮层较薄(一般不超过 $0.6 \sim 0.7\text{mm}$),渗氮工序应尽量靠后安排。为了减少渗氮时的变形,在切削加工后一般需要进行消除应力的高温回火。

3) 辅助工序的安排。辅助工序一般包括去毛刺、倒棱、清洗、防锈、退磁和检验等。其中检验工序是主要的辅助工序,它对产品的质量有重要的作用。

3. 数控加工的工艺路线的拟定

在数控加工的工艺路线的拟定中应主要注意以下几个问题。

(1) 工序的划分 根据数控加工的特点, 数控加工工序的划分一般可按下列方法进行。

1) 以一次安装加工作为一道工序。这种方法适合于加工内容不多的工件, 加工完后就能达到待检状态。

2) 以同一把刀具加工的内容划分工序。有些零件虽然能在一次安装中加工出很多待加工面, 但考虑到程序太长, 会受到某些限制, 例如控制系统的限制(主要是内存容量)、机床连续工作时间的限制(如一道工序在一个工作班内不能结束)等。此外, 程序太长会增加出错率, 造成查错与检索困难。因此程序不能太长, 一道工序的内容不能太多。

3) 以加工部位划分工序。对于加工内容很多的零件, 可按其结构特点将加工部位分成几个部分, 如内形、外形、曲面或平面等。

4) 以粗、精加工划分工序。对于易发生加工变形的零件, 由于粗加工后可能发生较大的变形而需要进行校形, 所以一般要进行粗、精加工的都要将工序分开。

综上所述, 在划分工序时, 一定要视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灵活掌握。零件宜采用工序集中还是采用工序分散, 也要根据实际需要和生产条件来确定, 要力求合理。

(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, 以及定位安装与夹紧的需要来考虑, 重点是保证定位夹紧时工件的刚性和利于保证加工精度。加工顺序安排一般应按下列原则进行。

1) 上道工序的加工不能影响下道工序的定位与夹紧, 中间穿插有通用机床加工工序的也要综合考虑。

2) 先进行内型内腔加工工序, 后进行外形加工工序。

3) 以相同定位、夹紧方式或同一把刀具加工的工序, 最好接连进行, 以减少重复定位次数、换刀次数与挪动压紧元件次数。

4) 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 数控加工的工艺路线设计常常是几道数控加工工艺过程, 而不是指从毛坯到成品的整个工艺过程。由于数控加工工序常常穿插于零件加工的整个工艺过程中, 因此在工艺路线设计中一定要全面, 瞻前顾后, 使之与整个工艺过程协调吻合。如果协调衔接得不好就容易产生矛盾, 最好的办法是建立相互状态要求, 例如, 要不要留加工余量, 留多少; 定位面与定位孔的精度要求及形位公差的技术要求; 对毛坯的热处理状态要求等。目的是达到相互能满足加工需要, 且质量目标及技术要求明确, 交接验收有依据。关于手续问题, 如果是在同一个车间, 可由编程人员与主管零件的工艺员共同协商确定, 在制订工艺文件中互审会签, 共同负责如不是同一车间, 则应用交接状态表进行规定, 共同会签, 然后反映在工艺规程中。

六、数控加工余量、工序尺寸、及公差确定

(一) 工序加工余量的确定

1. 加工余量的概念

加工余量是指加工过程中, 所切去的金属层厚度。加工余量有工序加工余量和加工总余量之分。相邻两工序的工序尺寸之差为工序加工余量 Z_i 。毛坯尺寸与零件图设计尺寸之差为加工总余量 Z_Σ , 它等于各工序加工余量之和, 即

$$Z_\Sigma = \sum_{i=1}^n Z_i$$

式中 n ——工序数量。

由于工序尺寸有公差, 所以实际切除的工序余量是一个变值。因此, 工序余量分为基本余量 Z (公称余量)、最大工序余量 $Z_{\max}$ 和最小工序余量 $Z_{\min}$ 。工序余量与工序尺寸及其公差的关系如图 1-7 所示。图中 L_a 、 T_a 分别为上工序的基本尺寸与公差, L_b 、 T_b 分别为本工序的基本尺寸与公差。

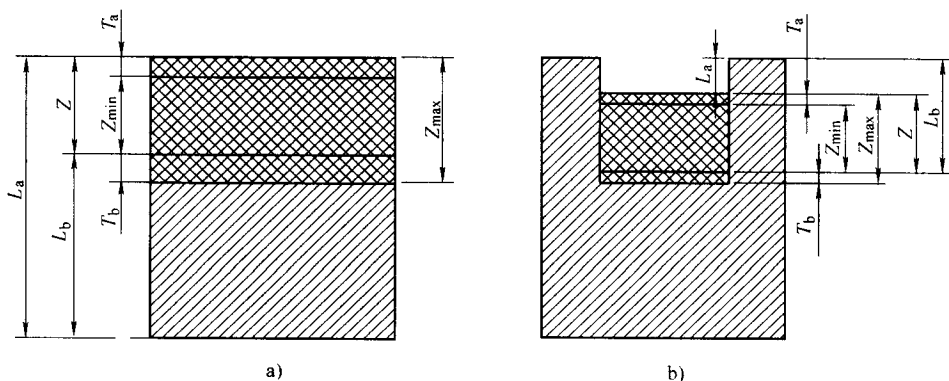


图 1-7 工序余量与工序尺寸及其公差的关系

a) 被包容面(轴) b) 包容面(孔)

注意: 平面的加工余量是单边余量, 而内孔与外圆的加工余量是双边余量。

2. 影响加工余量的因素

余量太大, 会造成材料及工时浪费, 增加机床、刀具及动力消耗; 余量太小, 则无法消除上一道工序留下的各种误差、表面缺陷和本工序的装夹误差。因此, 应根据影响余量大小的因素合理地确定加工余量。影响加工余量的因素有下列几种:

(1) 上工序表面粗糙度 R_a 和缺陷层 D_a 。如图 1-8 所示, 本工序余量应切到正常组织层。

(2) 上工序的尺寸公差 T_a 。由图 1-7 可知, 本工序余量应包含上工序的尺寸公差 T_a 。

(3) 上工序的形位误差 ρ 。如图 1-9 所示的小轴, 上工序轴线的直线度误差 ω , 须在本工序中纠正, 则直径方向的加工余量应增加 2ω 。

(4) 本工序的装夹误差 ϵ 。包括定位误差、装夹误差(夹紧变形)及夹具本身的误差。如图 1-10 所示, 用三爪自定心卡盘夹持工件外圆磨削内孔时, 由于三爪自定心卡盘定心不准, 使工件轴线偏离主轴回转轴线 e 值, 导致内孔磨削余量不均匀, 甚至有可能造成局部表面无加工余量的情况。为保证待加工表面有足够的加工余量, 孔的直径余量应增加 $2e$ 。