

# 数控加工 工艺与刀具



高等职业教育

数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材



主编 王晓东  
孙延娟



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

高等职业教育数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材

---

# 数控加工工艺与刀具

主 编 王晓东 孙延娟

高等教育出版社

## 内 容 提 要

本书是高等职业教育数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材之一。本书内容包括数控加工工艺概述、数控机床刀具、数控车削加工工艺、数控铣削加工工艺、加工中心加工工艺、数控特种加工工艺等内容。

本书适合作为各类高等职业技术学校、部分普通高等院校二级学院数控技术应用专业技能应用型人才培养用教材,也可作为从事数控加工的技术人员和操作人员的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺与刀具/王晓东,孙延娟主编. 北京:高等教育出版社,2005.6

(数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材)

ISBN 7-04-016347-0

I. 数... II. ①王...②孙... III. ①数控机床 加工工艺—技术培训—教材②数控刀具—技术培训—教材  
IV. ①TG659②TG729

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第062770号

策划编辑 孙鸣雷 责任编辑 李宇峰 封面设计 吴 昊 责任印制 潘文瑞

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号		021-56964871
邮政编码	100011	免费咨询	800-810-0598
总 机	010-82028899	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
传 真	021-56965341		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
			<a href="http://www.hepsh.com">http://www.hepsh.com</a>

排 版 南京理工出版信息技术有限公司  
印 刷 江苏南洋印务集团

开 本	787×1092 1/16	版 次	2005年6月第1版
印 张	10.25	印 次	2005年6月第1次
字 数	230 000	定 价	14.50元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

# 出版说明

为实现党的十六大提出的全面建设小康社会的奋斗目标,落实《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》,促进职业教育更好地适应社会主义现代化建设对生产、服务第一线技能型人才的需要,缓解劳动力市场上制造业和现代服务业技能型人才紧缺状况,教育部、劳动和社会保障部、国防科工委、信息产业部、交通部、卫生部决定组织实施“职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程”(教职成[2003]5号,以下简称《工程》)。《工程》的目标是:“根据劳动力市场技能型人才的紧缺状况和相关行业人力资源需求预测,在数控技术应用、计算机应用与软件技术、汽车运用与维修、护理等四个专业领域,全国选择确定500多所职业院校作为技能型紧缺人才示范性培养培训基地;建立校企合作进行人才培养的新模式,有效加强相关职业院校与企事业单位的合作,不断加强基地建设,扩大基地培养培训能力,缓解劳动力市场上技能型人才的紧缺状况;发挥技能型紧缺人才培养培训基地在探索新的培养培训模式、优化教学与训练过程等方面的示范作用,提高职业教育对社会和企业需求的反应能力,促进整个职业教育事业的改革与发展。”

《工程》实施启动以来,各有关职业院校在职业教育人才培养目标、人才培养模式以及专业设置、课程改革等方面做了大量的研究、探索和实践,取得了不少成果。为使这些研究成果能够得以固化并更好地推广,从而总体上提高职业教育人才培养的质量,我们组织了有关职业院校进行了多次研讨,根据“教育部办公厅、信息产业部办公厅关于确定职业院校开展数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训工作的通知”(教职成厅[2003]5号)中的两年制高等职业教育数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养指导方案,在了解相关企业需求的基础上,确立了“以就业为导向,以企业需求为依据”的宗旨,“以综合职业素质为基础,以能力为本位”的思路,“适应行业技术发展,以应用为目的”的体系,“以学生为主体,体现教学组织的科学性和灵活性”的风格,组织编写了一批“高等职业教育数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材”。这些教材结合《工程》的指导思想与目标任务,反映了最新的教学改革方向,很值得广大职业院校借鉴。

此系列教材出版后,我们还将不定期地举行相关课程的研讨与培训活动,并聘请一些软件企业共同探讨人才培养目标、人才培养模式以及专业设置、课程改革,为各院校提供一个加强校企合作、交流的互动平台。

“高等职业教育数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材”适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

高等教育出版社

2005年5月

# 前 言

本书是根据教育部等国家部委组织实施的“职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程”中有关数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养指导方案的精神,按照高等职业技术教育技能应用型人才的培养目标和基本要求编写的“高等职业教育数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材”之一。

本书是在学习了普通机械加工工艺及刀具知识的基础上,针对数控加工工艺及刀具特点,以实用性、先进性为目标进行编写的。全书内容精炼,针对性强,重点介绍数控加工中的工艺特点、工艺技巧及数控刀具的选用,广泛收集数控加工技术领域的最新技术及最新标准,适合职业教育技能培养的需要。

全书教学内容建议按 34 学时完成,具体学时分配参见下表:

序 号	内 容	学 时		
		理 论	实 践	合 计
1	数控加工工艺概述	4		4
2	数控机床刀具	8	2	10
3	数控车削加工工艺	3	1	4
4	数控铣削加工工艺	4	2	6
5	加工中心加工工艺	4	2	6
6	数控特种加工工艺	3	1	4
	合 计	26	8	34

本书由长春职业技术学院王晓东、孙延娟编写,中国兵器工业集团第五十五研究所张鹰研究员对本书进行了认真的审阅,提出了许多宝贵的意见和建议。在编写过程中,参考了许多专家学者有关数控加工方面的最新科研成果,在此一并表示衷心感谢。

由于时间仓促,经验不足,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者提出宝贵意见和建议,便于今后改正和完善。

编 者

2005 年 5 月

# 目 录

第 1 章 数控加工工艺概述.....	1
1.1 概述 .....	1
1.2 数控加工工艺的特点及主要内容 .....	2
1.3 数控加工工艺分析 .....	4
思考题 .....	17
第 2 章 数控机床刀具 .....	18
2.1 概述.....	18
2.2 数控机床刀具的选择.....	26
2.3 数控机床工具系统.....	46
思考题 .....	51
第 3 章 数控车削加工工艺 .....	52
3.1 概述.....	52
3.2 数控车削加工工艺的制定.....	54
3.3 典型数控车削零件的加工工艺分析.....	69
思考题 .....	74
第 4 章 数控铣削加工工艺 .....	76
4.1 概述.....	76
4.2 数控铣削加工工艺分析.....	78
4.3 典型数控铣削零件的加工工艺分析.....	90
思考题 .....	97
第 5 章 加工中心加工工艺 .....	98
5.1 概述.....	98
5.2 加工中心加工工艺的制定 .....	102
5.3 典型零件的加工中心加工工艺分析 .....	113
思考题.....	122
第 6 章 数控特种加工工艺.....	123
6.1 数控电火花成形加工工艺 .....	123
6.2 数控线切割加工工艺 .....	135
参考文献.....	152

# 第 1 章 数控加工工艺概述

本章主要介绍数控加工的特点及数控加工工艺的主要内容。通过学习,可了解数控加工工艺与普通加工工艺的区别及特点,掌握数控加工工艺的主要内容,达到能根据加工工件正确进行工艺分析,合理编制加工路线及加工方案,正确填写工艺文件的目 的。

## 1.1 概 述

数控加工是现代制造的重要组成部分,数控加工技术是将普通金属切削加工、计算机数控、计算机辅助制造等技术综合的一门先进加工技术,它和传统的机械加工有较大的区别。

利用数控机床完成零件数控加工的过程如图 1-1 所示,主要内容如下:

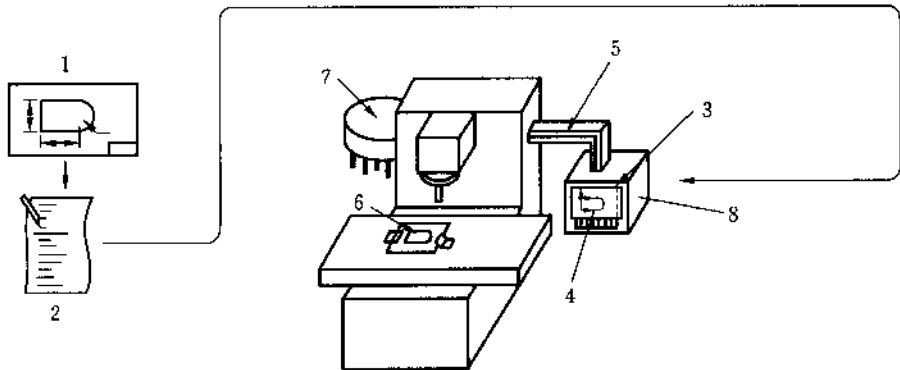


图 1-1 数控加工过程示意图

1—零件工艺分析(确定零件的加工要素); 2—编写零件的加工程序; 3—向 MCU 输入零件的加工程序;  
4—显示刀具路径; 5—程序输送到 NC 机床; 6—加工零件; 7—换刀装置; 8—机床控制单元(MCU)

- ① 根据零件加工图样进行工艺分析,确定加工方案、工艺参数和位移数据。
- ② 用规定的程序代码和格式编写零件加工程序单;或用自动编程软件进行 CAD/CAM 工作,直接生成零件的加工程序文件。
- ③ 程序的输入或传输。手工编程时,可以通过数控机床的操作面板输入程序;由编程软件生成的程序,通过计算机的串行通信接口直接传输到数控机床的数控单元(MCU)。

④ 将输入或传输到数控单元的加工程序,进行试运行、刀具路径模拟等。

⑤ 通过对机床的正确操作,运行程序,完成零件的加工。

从上述加工过程可以看出,同常规的加工相比,数控加工具有如下的特点:

(1) 自动化程度高

在数控机床上加工零件时,除手工装卸工件外,全部加工过程都由机床自动完成,减轻

了操作者的劳动强度,改善了劳动条件。

(2) 加工精度高、稳定

数控加工的尺寸精度通常在 0.005 mm~0.1 mm 之间,且不受零件形状复杂程度的影响,减少了操作者的人为误差,提高了同批零件尺寸的一致性。

(3) 对加工对象的适应性强

由于数控加工的装夹及准备较简单,同时加工是由程序控制的,对不同的产品往往只需要编制新的程序即可,而不需要设计新的工装,因此可有效缩短新产品的制造周期。另外,数控加工的刀位计算可由 CAD/CAM 系统完成,不需要人工计算,因此能够高效率高质量地处理复杂的加工表面。可以说,生产对象的形状越复杂、加工精度要求越高、设计更改越频繁、生产批量越小,数控加工的优越性就发挥得越明显。

(4) 生产效率高

数控机床在加工中零件的装夹次数少,一次装夹可加工出很多表面,省去了画线找正和检测等许多中间环节。据统计,普通机床的净切削时间一般占总切削时间的 15%~20%,而数控机床可达 65%~70%,可实现自动换刀的带刀库数控机床甚至可达 75%~80%。加工复杂工件时,效率可提高 5~10 倍。

(5) 有利于实现计算机辅助制造

目前在机械制造业中,CAD/CAM 已经被广泛应用,数控机床及其加工技术正是计算机辅助制造系统的基础。

(6) 初始投资大,加工成本高

数控机床的价格一般是普通机床的若干倍,机床备件的价格也高;另外,加工首件需要进行编程、调试程序和试加工,因此使零件的加工成本高于普通机床。

## 1.2 数控加工工艺的特点及主要内容

数控加工工艺是以数控机床加工中的工艺问题为研究对象,以机械制造中的工艺基本理论为基础,结合数控机床高精度、高效率和高柔性等特点,综合应用多方面的知识,解决数控加工中的工艺问题。

### 一、数控加工工艺的基本特点

数控加工工艺是伴随着数控机床的产生、发展而逐步发展起来的一种应用技术,它是大量数控加工实践经验的总结。与普通加工工艺相比较,数控加工工艺有如下特点:

#### 1. 数控加工工艺内容要求具体、详细

在普通机床加工时,许多具体的工艺问题,如工序内工步的安排、对刀点、换刀点及走刀路线的确定等问题,在很大程度上多是由操作工人根据自己的实践经验和习惯自行考虑和决定的,工艺人员一般在设计工艺规程时无需做更多的规定。而在数控加工时,这些在普通



机床的加工工艺中不必考虑的问题,却是数控工艺设计必须认真考虑的内容,并且必须做出正确的选择编入程序中,正是由于这个特点,促使对加工程序的正确性和合理性要求极高,不能有丝毫的差错,否则加工不出合格的零件。

### 2. 数控加工工艺要求更严密更精确

数控机床虽然自动化程度较高,但自适应性很差。它不能像普通机床加工时可以根据加工过程中出现的问题比较自由地进行人为调整,即使现代数控机床在自适应性方面做出了不少的努力和改进,但自由度也不大。如数控机床在攻螺纹时,它不会知道孔中是否已挤满切屑,是否需要退刀清理一下再继续进行等,这些情况必须事先由工艺人员认真考虑、精心设计,否则可能导致严重的后果。

在普通机床上加工零件时,零件的精度是经过多次的“试切”过程来保证的,而数控加工过程是严格按程序规定的尺寸进给的,因此要准确无误。在实际工作中,由于一个小数点或一个逗号的差错而酿成重大机床事故和质量事故的例子屡有出现。

### 3. 数控加工工艺的特殊要求

首先,由于数控机床的刚度较高,所配的刀具也较好,因而在同等情况下,所采用的切削用量要比普通机床的大,加工效率也较高。第二,由于数控机床的功能复合化程度越来越高,因此,工序相对集中是现代数控加工工艺的特点,所以数控加工的工序内容要比普通机床加工的内容复杂。第三,由于数控加工的零件比较复杂,因此在确定装夹方式和夹具设计时,要特别注意刀具与夹具、工件的干涉问题。

## 二、数控加工工艺的主要内容

数控加工工艺是指采用数控机床加工零件时所运用的各种方法和技术手段的总和。数控加工工艺主要包括以下内容:

- ① 选择适合在数控机床上加工的零件和确定工序内容;
- ② 对零件图纸进行数控加工的工艺分析;
- ③ 制订数控工艺路线,如工序划分、加工顺序的安排、基准选择、与非数控加工工艺的衔接等;
- ④ 对零件图形的数学处理;
- ⑤ 编写加工程序单并输入;
- ⑥ 首件试加工与现场问题处理;
- ⑦ 数控加工工艺技术文件的定型与归档。

## 三、数控加工工艺与数控编程的关系

数控编程是把零件的工艺过程、工艺参数及其他辅助动作,按动作顺序和数控机床规定的指令、格式,编成加工程序,再记录于控制介质即程序载体(磁盘等),输入数控装置,从而

指挥机床加工并根据加工结果加以修正的过程。因此,数控加工工艺分析与处理是数控编程的前提和依据,没有符合实际的、科学合理的数控加工工艺,就不可能有真正可行的数控加工程序。数控编程就是将制定的数控加工工艺内容程序化。

## 1.3 数控加工工艺分析

编程人员进行工艺分析时,应根据被加工工件的材料、轮廓形状、加工精度等条件,依据机床使用说明书、编程手册、切削用量表、标准工具及夹具手册资料,选择合适的机床,制定出加工方案,确定零件的加工顺序,各工序所用刀具、夹具和切削用量等。

### 一、合理选用数控机床

#### 1. 数控机床的应用范围

不同类型的数控机床有着不同的用途,在选用数控机床之前,应对其类型、规格、性能、特点和应用范围进行深入细致的研究,才能选择最适合加工该类零件的数控机床。一般来说,数控车床适用于加工具有回转特征的轴类和盘类零件;数控镗铣床、立式加工中心适用于加工箱体类零件、板类零件、具有平面复杂轮廓的零件;卧式加工中心较立式加工中心用途要广泛一些,适于加工复杂箱体、泵体、阀体等类零件。根据国内外数控技术应用实践,数控机床通常最适合加工具有以下特点的零件:

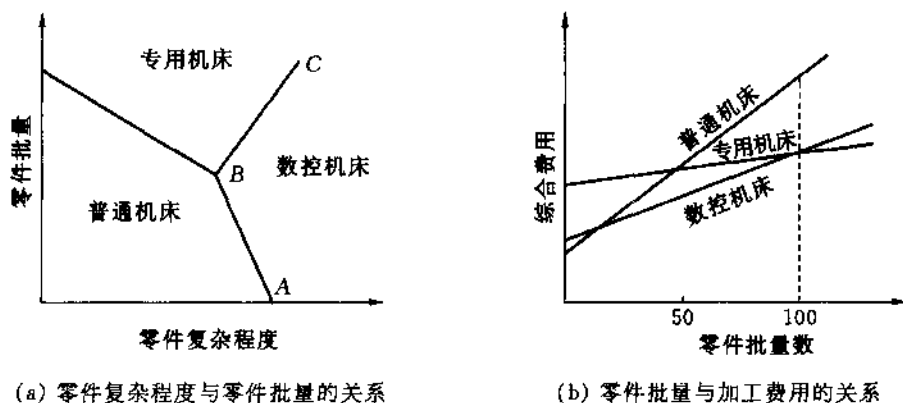
- ① 多品种、小批量生产的零件或新产品试制中的零件;
- ② 轮廓形状复杂,对加工精度要求较高的零件;
- ③ 用普通机床加工时,需要有昂贵的工艺装备(工具、夹具和模具)的零件;
- ④ 需要多次改型的零件;
- ⑤ 价值昂贵,加工中不允许报废的关键零件;
- ⑥ 需要最短生产周期的急需零件。

#### 2. 把握好技术经济尺度,合理选择数控机床

在数控机床上加工零件时,一般有两种情况。第一种情况:有零件图样和毛坯,要选择适合加工该零件的数控机床;第二种情况:已经有了数控机床,要选择适合在该机床上加工的零件。无论哪种情况,考虑的主要因素主要有毛坯的材料和类型、零件轮廓形状复杂程度、尺寸大小、加工精度、零件数量、热处理要求等。概括起来有三点,即零件技术要求能否保证;对提高生产率是否有利;经济上是否合算。

图 1-2 所示为数控机床加工范围的定性分析图。

当零件不太复杂、批量又不大时,适宜采用普通机床;当生产批量很大时,宜采用专用机床。随着零件复杂程度的提高,数控机床显示出较好的适应性,尤其是在多品种、中小批量生产时,使用数控机床可获得较好的经济效益。



(a) 零件复杂程度与零件批量的关系

(b) 零件批量与加工费用的关系

图 1-2 数控机床加工范围的定性分析

## 二、加工零件的工艺分析

在选择并决定数控加工零件及其加工内容后,应对零件的数控加工工艺性进行全面、认真、仔细的分析。主要内容包括产品的零件图样分析、结构工艺性分析和零件安装方式的选择等内容。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。

与在普通机床上加工零件一样,在进行数控加工之前,首先应熟悉零件在产品中的作用、位置、装配关系和工作条件,搞清楚各项技术要求对零件装配质量和性能的影响,找出主要的和关键的技术要求,然后对零件图样进行分析。

### 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,改用数控设备加工后其结构工艺性则可能不存在不合理的问题,如图 1-3 所示的定位销的两种结构,图 b 所示的结构在用普通设备进行加工时,其结构工艺性不如图 a 所示的结构,但在用数控设备进行加工时,不存在结构工艺性问题,且其使用性能优于图 a 所示结构。因此,可以说数控加工技术在制造领域的应用,给产品的结构设计提供了广泛的空间。

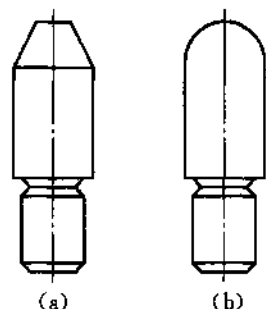


图 1-3 两种结构的定位销

### 2. 数控加工零件结构工艺性分析的主要内容

#### (1) 零件图纸中的尺寸标注方法是否适应数控加工的特点

在数控加工零件图上,应以同一基准引注尺寸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,给保持设计基准、工艺基准、检测基准与编程原点设置的一致性方面带来了很大方便。零件设计人员一般在尺寸标注中较多地考虑装配方面的使用特性而采用局部分散的尺寸标注方法,这样就会给工序的安排与数控加工带来许多不

便。数控加工的精度和重复定位精度都很高,不会因产生较大的累积误差而破坏零件的使用特性,因此将局部的分散尺寸标注法改为同一基准引注尺寸或直接给出坐标尺寸的标注方法是完全可行的。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,正是基于广泛采用数控设备制造并充分考虑数控加工特点所采用的一种设计原则。

(2) 零件图之中构成零件轮廓的几何元素的条件是否充分、正确

构成零件轮廓的几何元素(点、线、面)的条件(如相切、相交、垂直和平行等)是数控编程的重要依据。手工编程时,要依据这些条件计算基点或节点坐标。自动编程时,要对构成零件轮廓的所有几何元素进行定义,无论哪一条条件不明确,编程都无法进行。因此在分析零件图时,务必要分析几何元素的给定条件是否充分,发现问题及时与设计人员协商解决。

(3) 零件各加工部位的结构工艺性是否符合数控加工的特点

① 零件的内腔或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,生产效益提高。如图 1-4 所示的零件,图 a 所示的结构需用三把不同宽度的切槽刀切槽,如无特殊需要,显然结构工艺性是不合理的。若采用图 b 所示的结构,只需一把刀即可切出三个槽,既减少了刀具数量,少占了刀架刀位,又节省了换刀时间。

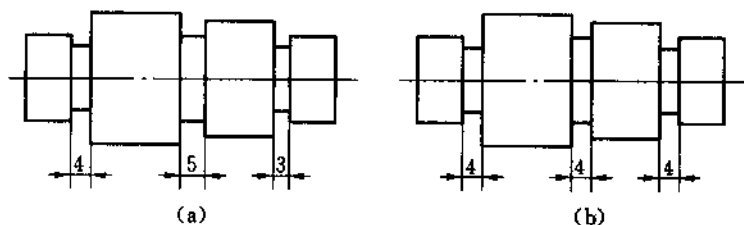


图 1-4 结构工艺性示例

② 内槽圆角的大小决定着刀具直径的大小,因而内槽圆角半径不应过小。如图 1-5 所示,若工件的被加工轮廓高度低,转接圆弧半径大,可以采用较大直径的铣刀来加工,且加工其底板面时,进给次数也相应减少,表面加工质量也会好一些,因此其结构工艺性较好;通常  $R < 0.2H$  时,可以判定零件该部位的结构工艺性不好。

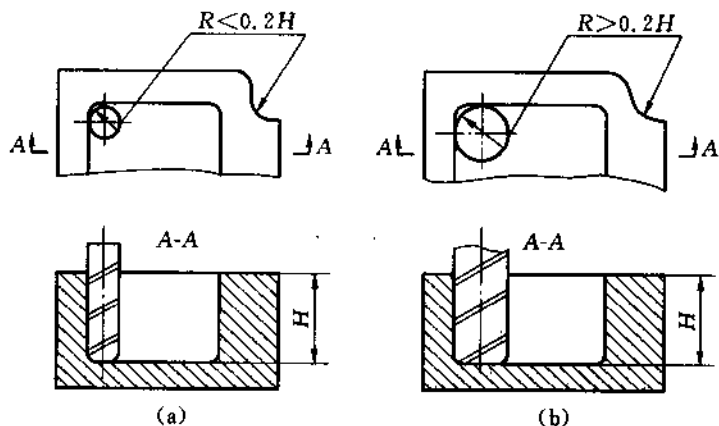


图 1-5 内槽结构工艺性对比

③ 零件铣削底平面时,槽底圆角半径不应过大,否则铣刀端刃铣削平面的能力差、效率低,如图 1-6 所示。

④ 应采用统一的基准定位。在数控加工中,不能使用普通机床加工时常用的试切方法来接刀,往往会因为零件的重新安装而接不好刀。这时,若没有统一的基准定位,会因工件重新安装而导致加工后的两个面轮廓位置及尺寸不协调。另外,零件上最好有合适的孔作为定位基准孔。若没有,则应设置工艺孔作为定位基准孔。若无法制出工艺孔,最起码也要用精加工表面作为统一基准,以减少二次装夹产生的误差。

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。

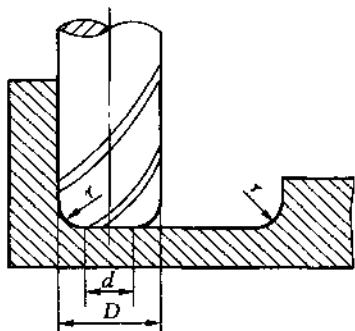


图 1-6 零件槽底平面圆弧对加工工艺的影响

### 三、加工内容及工艺路线的确定

#### 1. 加工方法的选择

机械零件的结构形状是多种多样的,但都是由平面、外圆柱面、内圆柱面或复杂曲面、成形面等基本表面组成的。每一种表面都有多种加工方法,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,加工 IT7 级精度的孔,采用镗削、铰削、磨削等加工方法均可达到精度要求,如果是箱体类的孔,一般采用镗削或铰削,而不宜采用磨削加工。一般小尺寸箱体孔选择铰孔,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生产设备的实际情况。图 1-7 为外圆表面加工的加工方法与加工精度的关系,图 1-8 为孔加工方法与加工精度之间的关系,图 1-9 为常见平面加工方法与加工精度之间的关系。

#### 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,然后根据最终的加工方法,由后往前确定出所需要的加工方案。例如,对孔径不大的 IT7 级精度的孔,最终的加工方法选择精铰孔时,则精铰孔前通常要经过钻孔、扩孔和粗铰孔等加工。具体加工方案的确定可参照图 1-7~图 1-9。

平面轮廓常用的加工方法有数控铣、线切割及磨削等。对图 1-10 所示的内平面轮廓,

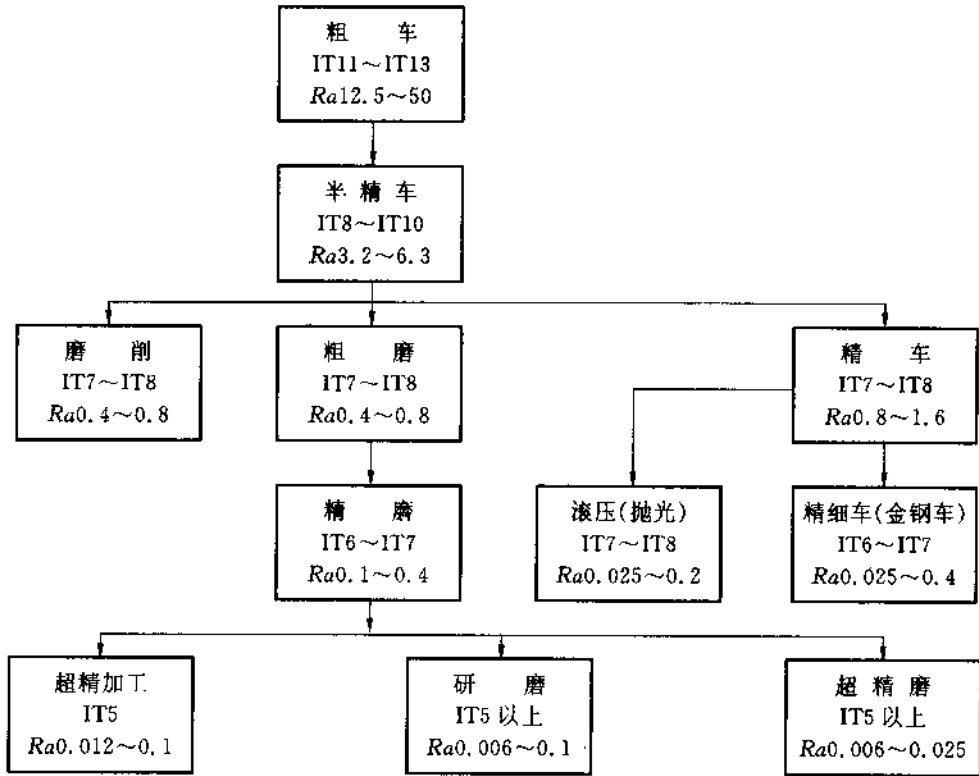


图 1-7 外圆加工方法与加工精度

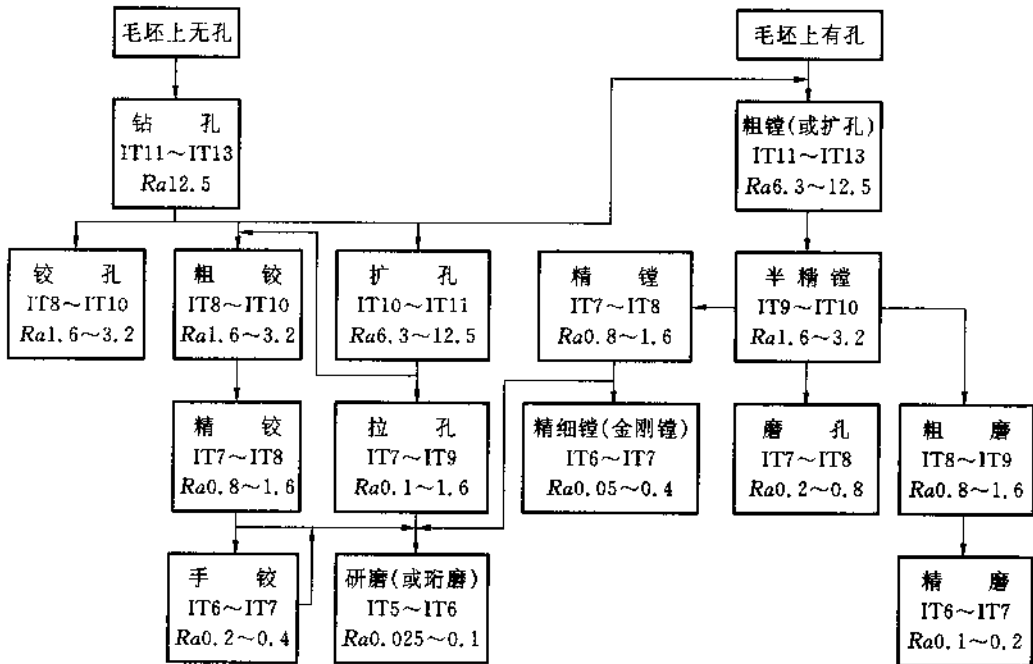


图 1-8 孔加工方案

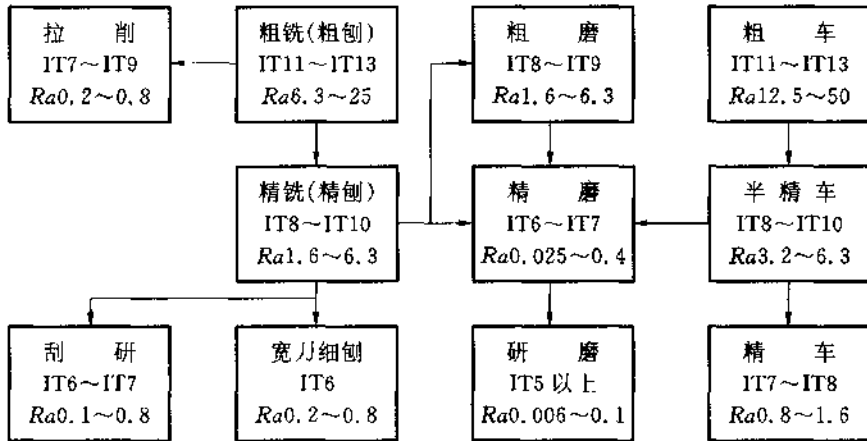


图 1-9 常见平面加工方案

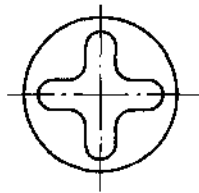


图 1-10 内平面轮廓

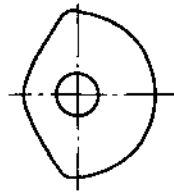


图 1-11 外平面轮廓

当曲率半径较小时,可采用数控线切割方法加工。对图 1-11 所示的外平面轮廓,可采用数控铣削方法加工,常用粗铣-精铣方案,也可采用数控线切割方法加工。对精度及表面粗糙度要求较高的轮廓表面,在数控铣削加工之后,再进行数控磨削加工。数控铣削加工适用于除淬火钢以外的各种金属,数控线切割加工可用于各种金属,数控磨削加工适用于除有色金属以外的各种金属。

立体曲面加工方法主要是数控铣削,多用球头铣刀,以“行切法”加工,如图 1-12 所示。根据曲面形状、刀具形状以及精度要求等通常采用二轴半联动或三轴半联动。对精度和表面粗糙度要求高的曲面,当用三轴联动的“行切法”加工不能满足要求时,可用模具铣刀,选择四轴或五轴联动加工。

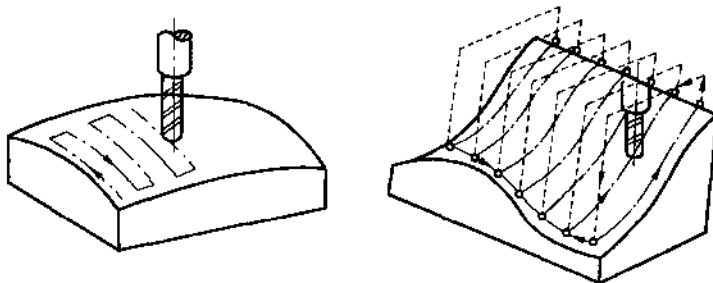


图 1-12 立体曲面的行切法加工示意图

### 3. 工序与工步的划分

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。首先应根据零件图纸,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。如不能,则应决定其中哪部分在数控机床上加工,哪部分在其他机床上完成,即对零件进行加工工序的划分。

#### (1) 工序划分的原则

① 基面先行原则 用作精基准的表面应先加工出来,因为定位基准的表面越精确,装夹误差就越小。例如加工轴类零件时,总是先加工中心孔,再以中心孔为精基准加工外圆表面和端面;如箱体类零件的加工总是先加工出定位用的平面和两个定位孔,再以平面和定位孔作精基准加工孔系和其他平面。

② 先粗后精原则 各个加工表面的加工顺序按照粗加工→半精加工→精加工→光整加工的顺序依次进行,逐步提高表面的加工精度和减小表面粗糙度。

③ 先主后次原则 零件的主要工作表面、装配基面应先加工,从而能及早发现毛坯中主要表面可能出现的缺陷。次要表面可穿插在主要加工表面加工到一定程度、最终精加工之前进行。

④ 先面后孔原则 对箱体、支架类零件,平面轮廓尺寸较大,一般先加工平面,再加工孔和其他尺寸,这样安排加工顺序,一方面用加工过的平面定位,稳定可靠;另一方面在加工过的平面上加工孔,比较容易,并能提高孔的加工精度,特别是钻孔时的轴线不易偏斜。

#### (2) 工序划分的方法

一般工序划分有以下几种方式:

① 按零件装卡定位方式划分 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,其定位方式则各有差异。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。

② 按粗、精加工划分 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,即先作粗加工再精加工。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,不允许将零件的某一部分表面加工完毕后,再加工零件的其他表面。如图1-13所示的零件,应先切除整个零件的大部分余量,再将其表面精车一遍,以保证加工精度和表面粗糙度的要求。

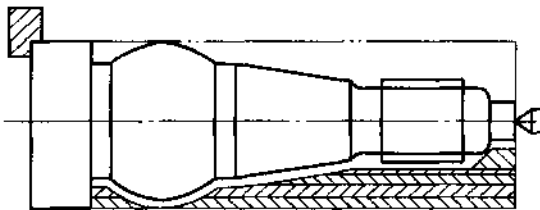


图 1-13 按粗、精加工划分工序

③ 按所用刀具划分 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。

④ 按加工部位划分 即以完成相同型面的那部分工艺过程为一道工序,对于加工表面多而复杂的零件,可按其结构特点(如外形、内形、曲面和平面等)划分成多道工序。

#### (3) 工步的划分



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。工步划分主要从加工精度和效率两方面考虑。划分的原则是:

① 同一表面按粗加工、半精加工、精加工依次完成,或全部加工表面按先粗加工后精加工分开进行。

② 对于既有铣面又有镗孔的零件,可先铣面后镗孔。

③ 按刀具划分工步。某些机床工作台回转时间比换刀时间短,可采用按刀具划分工步,以减少换刀次数,提高加工效率。

总之,工序与工步的划分要根据具体零件的结构特点、技术要求等情况综合考虑。

#### 四、零件的安装与夹具的选择

##### 1. 定位安装的基本原则

在数控机床上加工零件时,定位安装的基本原则与普通机床相同,也要合理选择定位基准和夹紧方案。为了提高数控机床效率,确定定位基准与夹紧方案时应注意下列三点:

① 力求设计、工艺与编程计算的基准统一。

② 减少装夹次数,尽可能在一次定位装夹后,加工出全部待加工表面。

③ 避免采用占机人工调整式加工方案,以充分发挥数控机床的效能。

##### 2. 选择夹具的基本原则

数控加工对夹具要有两方面要求:一是要保证夹具的坐标方向与机床的坐标方向相对固定;二是要协调零件和机床坐标系的尺寸关系。此外,尚需考虑以下几点:

① 夹具结构应力求简单。当零件加工批量不大时,应尽量采用组合夹具、可调式夹具及其他普通夹具,以缩短生产准备时间、节省生产费用;成批生产时考虑采用专用夹具。

② 零件的装卸要迅速、方便、可靠,以缩短机床的停顿时间。

③ 夹具要敞开,其定位、夹紧机构或其他元件不得影响加工中的走刀。

④ 夹具在机床上的安装及工件在夹具上的安装要准确可靠,以保证工件在正确的位置上按程序加工。

此外,为了提高数控加工的效率,在成批生产中还可以采用多位、多件夹具。

#### 五、加工路线的确定

在数控加工中,刀具刀位点相对于工件运动轨迹称为加工路线。编程时,加工路线的确定原则主要有以下几点:

① 加工路线应保证被加工零件的精度和表面粗糙度,且效率高。

② 应使数值计算简单,以减少编程工作量。

③ 应使加工路线最短,这样既可减少程序段,又可减少空刀时间。