

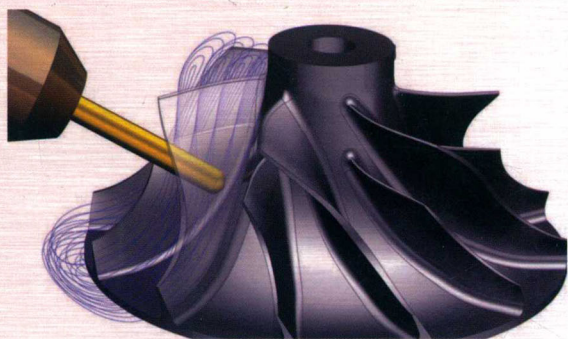


教育部—西门子产学合作专业综合改革项目系列教材

数控加工工艺与 CAM 技术

主编◎王振宇

西门子工业软件（上海）有限公司 监制



高等教育出版社



“十二五”江苏省

高等学校重点教材(编号:2015-2-035)

教育部—西门子产学合作专业综合改革项目系列教材

数控加工工艺与 CAM 技术

SHUKONG JIAGONG GONGYI YU CAM JISHU

主 编 王振宇

副主编 张清林

西门子工业软件(上海)有限公司 监制

前 言

前言

CEO and Manager Director

Siemens

Don't miss

出版

出版

出版

出版

出版

出版

出版

出版

出版

出版

出版

出版

出版

出版

出版

出版

出版

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是教育部“西门子 2013 年产学研合作专业综合改革项目”(教高司函[2013]101 号)系列教材建设项目之一,根据国家精品课程和国家共享教学资源库“数控加工工艺编制及实施”项目的建设成果进行编写,同时也是“十二五”江苏省高等学校重点教材。本书的 CAM 技术部分以西门子 NX 软件作为载体编写,西门子软件公司的技术专家为本书的编写提供了技术支持,并对全书内容进行了认真审阅。

本书主要包括:数控加工工艺基础,轴类零件加工工艺与 CAM 技术,平面类零件加工工艺与 CAM 技术,型腔型芯类零件加工工艺与 CAM 技术,曲面加工工艺与 CAM 技术,孔加工工艺与 CAM 技术,多轴加工 CAM 技术。全书力求构建全面的 CAM 技术的知识体系,深入浅出地对 CAM 技术应用方法进行阐述,循序渐进地对工艺分析进行讲解,并用来源于企业的典型、实用的案例进行引导,突出培养读者编制实际零件工艺和应用 CAM 技术编程的能力。

本书可作为高职类院校数控技术、机电一体化、机械制造及自动化、模具设计与制造、计算机辅助设计与制造等专业的教学用书,还可作为中等职业技术学校 and 各类技能培训机构教材,也可供数控加工技术人员参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

数控加工工艺与 CAM 技术 / 王振宇主编. -- 北京 : 高等教育出版社, 2016.3
ISBN 978-7-04-044815-3

I. ①数… II. ①王… III. ①数控机床-加工-高等职业教育-教材②数控机床-计算机辅助制造-高等职业教育-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 019886 号

策划编辑 查成东	责任编辑 吴鸣飞	封面设计 杨立新	版式设计 马敬茹
插图绘制 杜晓丹	责任校对 刁丽丽	责任印制 尤 静	

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	网 址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印 刷	北京四季青印刷厂	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
			http://www.hepmall.com
开 本	787mm×1092mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	18	版 次	2016 年 3 月第 1 版
字 数	430 千字	印 次	2016 年 3 月第 1 次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	32.20 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 44815-00

Preface

Siemens PLM Software 与中华人民共和国教育部紧密合作，支持工程类教育项目，为培养工业/制造业大量训练有素的人才。

Siemens PLM Software has partnered with Ministry of Education of the People's Republic of China (MOE) to support education in engineering technology and help provide the global manufacturing industry with a highly trained and heavily recruited workforce.

This series of textbook cultivates innovative engineering technology talent and enhances career competitive advantages for China's university students. It supports the use of leading edge technology to give students a solid platform to become excellent engineers in the 21st century, and pioneer the development of digital and intelligent manufacturing throughout the country.

This series of textbook combines theory and practice through explanation and examples to enhance the reader's basic knowledge and skills of product lifecycle management (PLM).

The curriculum integrates attributes and processes from Siemens PLM software, which is used by leading manufacturing companies around the globe to develop some of the world's most sophisticated products. This includes NXTM software for integrated computer-aided design, manufacturing and engineering simulation (CAD/CAM/CAE), Teamcenter[®] software for digital lifecycle management software and Tecnomatix[®] software for digital manufacturing.

Strong instruction by top China universities accelerates the development of certified industrial IT talent and boosts the application of computer-aided and digital technologies in the field of engineering.

We are impressed with the innovative engineering design projects developed by students leveraging this series of textbook with top notch classroom instruction.

Siemens PLM Software
Leo Liang
CEO and Manager Director
Greater China
Siemens PLM Software

Dora Smith
Global Director
Academic Partner Program
Siemens PLM Software

序 言

Siemens PLM Software 与中华人民共和国教育部高等教育司合作,支持工科类教育事业,为全球制造业培养和提供大量训练有素的人才。

本系列教材适用于创新型工程技术人才的培养,有助于提高大学生的职业竞争力,为学生成为 21 世纪优秀工程师、全国的数字化和智能制造业发展先驱提供了一个领先的技术平台。

本系列教材理论和实践相结合,通过详细的解析及案例分析,增强读者掌握产品全生命周期 (PLM) 的基本知识和技能。

本系列教材集成了 Siemens PLM Software 的操作及属性,该软件被全球制造业公司用于开发最复杂的产品,软件包括 NX™ 集成计算机辅助设计、制造和工程仿真 (CAD/CAM/CAE) 软件、Teamcenter® 产品全生命周期管理软件和 Tecnomatix® 数字化制造软件。

在强有力的引导下,中国顶尖大学加速了工业认证 IT 人才的发展,提高了计算机辅助技术和数字化技术在工程领域的应用水平。

我们深信读者在本系列教材及顶级课堂教学的指引下,一定能掌握创新性工程设计项目的开发。

本书以 Siemens PLM Software 中的 NX9.0 版本软件作为载体编写, NX 是西门子

工业软件(上海)有限公司开发的 CAD/CAM/CAE 一体化集成系统

PLM Software(生命周期管理软件)的核心模块之一。它在机械、汽车、模具、航空

航天电子产品等设计、制造企业中有广泛的应用,是我国应用最为广泛

的工业软件之一。

本书作者在编写过程中参考了大量相关书籍和资料,并结合了 NX CAM 软件

的实际应用经验,使读者了解学习 NX CAM 的思路和应用技巧,更重要的是使读者能

用 Siemens PLM 软件实现数字化制造的经验。

本书第 1、2、3、5 章由无锡职业技术学院王蒙宇编写,第 4、6、7

章由无锡职业技术学院王蒙宇编写,第 4、6、7

章由无锡职业技术学院王蒙宇编写,第 4、6、7

章由无锡职业技术学院王蒙宇编写,第 4、6、7

章由无锡职业技术学院王蒙宇编写,第 4、6、7

章由无锡职业技术学院王蒙宇编写,第 4、6、7

章由无锡职业技术学院王蒙宇编写,第 4、6、7

章由无锡职业技术学院王蒙宇编写,第 4、6、7

章由无锡职业技术学院王蒙宇编写,第 4、6、7

章由无锡职业技术学院王蒙宇编写,第 4、6、7

章由无锡职业技术学院王蒙宇编写,第 4、6、7

章由无锡职业技术学院王蒙宇编写,第 4、6、7

章由无锡职业技术学院王蒙宇编写,第 4、6、7

章由无锡职业技术学院王蒙宇编写,第 4、6、7

章由无锡职业技术学院王蒙宇编写,第 4、6、7

章由无锡职业技术学院王蒙宇编写,第 4、6、7

章由无锡职业技术学院王蒙宇编写,第 4、6、7

章由无锡职业技术学院王蒙宇编写,第 4、6、7

章由无锡职业技术学院王蒙宇编写,第 4、6、7

章由无锡职业技术学院王蒙宇编写,第 4、6、7

章由无锡职业技术学院王蒙宇编写,第 4、6、7

章由无锡职业技术学院王蒙宇编写,第 4、6、7

章由无锡职业技术学院王蒙宇编写,第 4、6、7

章由无锡职业技术学院王蒙宇编写,第 4、6、7

梁乃明

首席执行官兼董事总经理

大中华区

Siemens PLM Software

Dora Smith

全球总监

教育合作发展部

Siemens PLM Software

ZviFener

高级副总裁

制造工程软件业务

Senior Vice President

Manufacturing Engineering Software

Siemens PLM Software

前 言

本书是教育部“西门子 2013 年产学合作专业综合改革项目”(教高司函[2013]101 号)系列教材建设项目之一,是“教育部—西门子公司”教育合作计划的一项成果,根据国家精品课程和国家共享教学资源库“数控加工工艺编制及实施”项目的建设成果进行编写,同时也是“十二五”江苏省高等学校重点教材。作为数控加工工艺与 CAM 技术应用的入门教程,由浅入深地向读者介绍数控加工技术所涉及的数控工艺和 CAM 技术。全书力求构建全面的 CAM 技术的知识体系,深入浅出地对 CAM 技术的应用方法阐述,循序渐进地对工艺分析讲解,并用来源于企业的典型、实用的案例进行引导,突出培养学员设计实际零件工艺和应用 CAM 技术编程的能力。

数控机床是先进制造技术的基础设备,掌握数控编程技术是充分利用好这类装备的关键,也是提高数控加工技术水平的重要标志。随着加工的零件形状呈现越来越复杂的趋势,学习数控加工工艺与 CAM 技术已成为相关专业工作人员必要的训练内容之一。本书的编写从数控加工工艺知识入手,以 CAM 软件的基本应用为主线,以工程实例为引导,按照由浅入深、循序渐进的方式讲解工艺与 CAM 技术,培养 CAM 技术的实践技能,掌握对各类零件 CAM 编程的思路和方法。

本书以 Siemens PLM Software 中的 NX9.0 版本软件作为载体编写的。NX 是服务提供商西门子公司工业软件(上海)有限公司研发的 CAD/CAM/CAE 一体化集成系统,是全球领先的 Siemens PLM Software(生命周期管理软件)的核心模块之一。它在机械、汽车、模具、航空、航天和消费类电子产品等设计、制造企业中有着广泛的应用,是我国应用最为广泛的高端 CAD/CAM 产品之一。

本书编者在编写过程中参考了大量相关手册和资料,总结运用了 NX CAM 数控加工编程的实际应用经验,使读者了解学习 NX CAM 的思路和应用技巧,更重要地是使读者能借鉴成功运用 Siemens PLM 软件实施数字化制造的经验。

本书第 1、2、3、5 章由无锡职业技术学院王振宇编写,第 4、6、7 章由南京工程学院张清林编写。整个编写过程得到了西门子工业软件(上海)有限公司的方正经理和资深专家张振亚、严翼飞的指导和帮助,并对全书内容进行了认真审阅,提出大量宝贵的修改意见。在此向各位专家表示衷心的感谢。

在学习的大道上是没有坦途的,根据读者原有知识的不同及现有的数控机床,会发现找到问题的最佳解决办法并不容易。解决单项案例的最好办法不仅取决于技术环境、数控机床加工的工艺范围,还取决于个人对生产加工模式的偏爱。本书中介绍的方法是编者的建议,而准备好的答案未必是完备的最佳解决方案,希望读者参与研讨。

最后,希望读者学习之后能喜欢本书,并能很快获得成功。

ZviFeuer

高级副总裁

制造工程软件业务

Senior Vice President

Manufacturing Engineering Software

Siemens PLM Software

目 录

第 1 章 数控加工工艺基础	1
1.1 数控加工工艺概述	1
1.1.1 零件的数控加工过程	1
1.1.2 数控加工工艺的基本特点	1
1.1.3 数控加工工艺的主要内容	1
1.2 工艺路线的拟订	2
1.2.1 表面加工方法的选择	2
1.2.2 工序的划分	5
1.2.3 加工顺序的安排	5
1.2.4 加工余量的确定	6
1.2.5 工序尺寸及偏差的确定	8
1.3 数控加工工序设计与实施	8
1.3.1 工步的划分	8
1.3.2 数控加工刀具的特点	8
1.3.3 切削用量的选择	10
1.3.4 切削液的选择	11
1.3.5 零件的装夹	13
1.3.6 工序卡的填写	15
第 2 章 轴类零件加工工艺与 CAM 技术	17
2.1 轴类零件数控车削加工工艺	17
2.1.1 分析零件图	17
2.1.2 拟订工艺路线	18
2.1.3 编写工艺过程卡	20
2.1.4 编写工序卡和刀具卡	21
2.2 车削加工 CAM 技术	21
2.2.1 车削 CAM 工作流程	22
2.2.2 创建车削加工几何体	22
2.2.3 创建车削加工刀具	24
2.2.4 创建数控车削加工的工序	25
2.3 活塞杆零件编程实例	36
2.3.1 活塞杆的数控车削加工工艺	36
2.3.2 活塞杆的数控车削 CAM 实例	38
第 3 章 平面类零件加工工艺与 CAM 技术	47
3.1 数控铣 CAM 加工界面	47
3.2 平面铣 CAM 技术	51
3.2.1 平面铣简介	51
3.2.2 创建组	52

3.2.3	平面铣工序的参数设置	65
3.3	底盘零件编程实例	99
3.3.1	加工准备	99
3.3.2	创建粗加工工序	102
3.3.3	创建精加工工序	110
3.3.4	后置处理	112
第4章	型腔型芯类零件加工工艺与 CAM 技术	113
4.1	型腔型芯类零件数控铣削加工工艺分析	113
4.1.1	型腔型芯类零件的特点	113
4.1.2	毛坯类型	113
4.1.3	加工方法及机床的选择	113
4.1.4	定位基准的选择	114
4.1.5	工艺路线	116
4.1.6	刀具的选用	117
4.1.7	切削用量的确定	118
4.1.8	数控加工路线的确定	119
4.2	型腔铣 CAM 技术	122
4.2.1	型腔铣简介	122
4.2.2	型腔铣子类型	123
4.2.3	型腔铣参数	126
4.2.4	深度轮廓加工(等高铣)参数	136
4.3	模具型腔零件编程实例	139
4.3.1	定模板数控铣削加工工艺	139
4.3.2	定模板数控铣削 CAM 编程	142
第5章	曲面加工工艺与 CAM 技术	164
5.1	曲面铣 CAM 技术	164
5.1.1	固定轴轮廓铣的基本原理	164
5.1.2	固定轴轮廓铣的几何体	164
5.1.3	固定轴轮廓铣的驱动方法	165
5.1.4	投影矢量	173
5.1.5	刀轨设置	173
5.2	曲面加工综合编程实例	177
5.2.1	加工准备	177
5.2.2	创建工序	179
5.2.3	后处理	189
第6章	孔加工工艺与 CAM 技术	191
6.1	孔类零件数控加工工艺分析	191
6.1.1	常用孔加工方法	191
6.1.2	孔加工工艺路线	197
6.1.3	孔加工余量及偏差	199
6.2	孔系加工 CAM 技术	200
6.2.1	钻孔操作创建	200

6.2.2	孔加工子类型	202
6.2.3	孔加工操作循环参数	203
6.2.4	孔加工几何体	207
6.3	孔加工编程实例	212
6.3.1	加工工艺分析	213
6.3.2	数控铣削 CAM 编程	214
第 7 章	多轴加工 CAM 技术	237
7.1	多轴加工机床	237
7.2	多轴定向加工 CAM 技术	240
7.3	多轴联动加工 CAM 技术	241
7.3.1	五轴加工功能	241
7.3.2	五轴加工的一般流程	243
7.3.3	可变轴曲面轮廓铣	243
7.4	顺序铣	258
7.5	深度加工-5 轴铣	259
7.6	多轴联动加工编程实例	261
7.6.1	加工工艺分析	261
7.6.2	数控铣削 CAM 编程	262
参考文献		275

4) 程序仿真与校核。数控程序必须经过仿真加工合格后,进行试切加工,零件检验合格后才能进入正式生产。

5) 零件的数控加工与程序优化。

其中第 1、2 两步是工艺设计阶段,本章介绍的是这个阶段的知识。

1.1.2 数控加工工艺的基本特点

工艺规程是工人在加工时使用的指导性技术文件。由于普通机床安排了熟练工人,因此,在通用机床上用的工艺规程并不详细,在很多企业通常只有一个工艺员制定,机床切削用量、刀具路径、工步、工步等往往都是由操作工人自行选定的。

数控加工的全过程都是由数控加工程序指令自动进行的。数控加工程序不仅包括零件的工艺过程,还包括切削用量、刀具路径、刀具数据及机床的坐标轴等。要求编程的设计师包含上述信息非常详细的工艺方案。因此,数控机床加工工艺与传统的普通机床工艺规程有一定的区别,要求工艺设计人员考虑非常周到,才能编写出高质量数控加工程序,否则会增加很多试加工的时间,造成零件成本的上升。

1.1.3 数控加工工艺的主要内容

- 数控加工工艺设计的主要内容包括以下几个方面:
- 1) 分析读图。零件的图样,明确加工内容及技术要求。
 - 2) 确定零件的加工方案,制订数控加工工艺路线,如划分工序、安排加工顺序等。
 - 3) 加工工序的设计。选取零件的定位基准、确定装夹方案、工步的划分、刀具选择和

第 1 章 数控加工工艺基础

1.1 数控加工工艺概述

1.1.1 零件的数控加工过程

在数控机床上完成零件数控加工的过程如下：

- 1) 零件工艺性分析与工艺过程拟订。首先根据零件图样，分析零件形状、尺寸精度要求、毛坯形式、材料选择和热处理要求等，拟订该零件的机械加工工艺过程。
- 2) 数控加工工序细化设计。根据零件结构形状、几何公差、技术要求等确定定位夹紧方案、刀具选择、切削用量选择、刀具路径等。
- 3) 应用 CAM 软件的功能，按照设计好的数控加工工序卡，生成刀具路径，并后置处理成数控程序。
- 4) 程序仿真与校核。数控程序必须经过仿真加工合格后，进行试切加工，试件检验合格后才能进入正式生产。
- 5) 零件的数控加工与程序优化。

其中第 1、2 两步是工艺设计阶段，本章介绍的是这个阶段的知识点。

1.1.2 数控加工工艺的基本特点

工艺规程是工人在加工时使用的指导性技术文件。由于普通机床受控于操作工人，因此，在通用机床上用的工艺规程并不详细，在很多企业通常只有一个工艺过程卡。机床的切削用量、刀具路径、工序、工步等往往都是由操作工人自行选定的。

数控加工的全过程都是按数控加工程序指令自动进行的。数控机床加工程序不仅包括零件的工艺过程，还包括切削用量、刀具路径、刀具数据及机床的运动过程，要求编程前设计好包含上述信息非常详细的工艺方案。因此，数控机床加工工艺规程与普通机床工艺规程有一定的区别，要求工艺设计人员考虑非常周到，才能编写出高质量数控加工程序；否则会增加很多试加工的时间，造成生产成本的上升。

1.1.3 数控加工工艺的主要内容

数控加工工艺设计的主要内容包括以下几个方面：

- 1) 分析被加工零件的图样，明确加工内容及技术要求。
- 2) 确定零件的加工方案，制订数控加工工艺路线，如划分工序、安排加工顺序等。
- 3) 加工工序的设计。选取零件的定位基准、确定装夹方案、工步的划分、刀具选择和确

定切削用量等。

1.2 工艺路线的拟订

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及工序集中与分散等。关于工艺路线的拟订，多采取生产实践中总结出的一些综合性原则，结合具体的生产类型及生产条件灵活处理。

1.2.1 表面加工方法的选择

加工方法选择的原则是保证加工质量、生产率和经济性。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，选择较小的进给量和背吃力量，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(采用符合质量要求的标准设备、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。

2. 选择加工方法时应考虑的因素

各种典型表面的加工方法所能达到的经济精度和表面粗糙度等级都已制订成表格并编制成机械加工手册。现将有关部分内容列于表 1.1、表 1.2 和表 1.3 中。

表 1.1 外圆表面加工方法

序号	加工方案	经济精度 公差等级	表面粗糙度 值 Ra/ μm	适用范围
1	粗车	IT11 以下	12.5~50	适用于淬火钢以外的各种金属
2	粗车一半精车	IT8~IT10	3.2~6.3	
3	粗车一半精车一精车	IT7~IT8	0.8~1.6	
4	粗车一半精车一精车一滚压 (或抛光)	IT7~IT8	0.025~0.2	主要用于淬火钢，也可以用于未淬火钢，但不宜加工有色金属
5	粗车一半精车一磨削	IT7~IT8	0.4~0.8	
6	粗车一半精车一粗磨一精磨	IT6~IT7	0.1~0.4	
7	粗车一半精车一粗磨一精磨一超精加工(或轮式超精磨)	IT5	0.012~0.1 (或 Rz0.1)	主要用于要求较高的有色金属加工
8	粗车一半精车一精车一金刚石车	IT6~IT7	0.025~0.4	

续表

序号	加工方案	经济精度 公差等级	表面粗糙度 值 $Ra/\mu\text{m}$	适用范围
9	粗车—半精车—粗磨—精磨—超精磨或镜面磨	IT5 以下	0.006~0.025 ($Rz0.05$)	极高精度要求的外圆加工
10	粗车—半精车—粗磨—精磨—研磨	IT5 以上	0.006~0.1 (或 $Rz0.05$)	

表 1.2 内孔加工方法

序号	加工方案	经济精度 公差等级	表面粗糙度 值 $Ra/\mu\text{m}$	适用范围
1	钻	IT11~IT12	12.5	加工未淬火钢及铸铁的实心毛坯,也可以用于加工有色金属(但表面粗糙度值稍大,孔径小于 15~20 mm)
2	钻—铰	IT8~IT10	1.6~3.2	
3	钻→粗铰→精铰	IT7~IT8	0.8~1.6	
4	钻→扩	IT10~IT11	6.3~12.5	同上,但孔径大于 15~20 mm
5	钻→扩→铰	IT8~IT9	1.6~3.2	
6	钻→扩→粗铰→精铰	IT7	0.8~1.6	
7	钻→扩→机铰→手铰	IT6~IT7	0.1~0.4	
8	钻→扩→拉	IT7~IT9	0.1~1.6	大批大量生产(精度由拉刀的精度而定)
9	粗镗→(或扩孔)	IT11~IT12	6.3~12.5	除淬火钢外的各种材料,毛坯有铸出孔或锻出孔
10	粗镗(粗扩)→半精镗(精扩)	IT8~IT9	1.6~3.2	
11	粗镗(粗扩)→半精镗(精扩)→精镗(铰)	IT7~IT8	0.8~1.6	
12	粗镗(粗扩)→半精镗(精扩)→精镗→浮动镗刀精镗	IT6~IT7	0.4~0.8	
13	粗镗(扩)→半精镗→磨孔	IT7~IT8	0.2~0.8	主要用于淬火钢,也可以用于未淬火钢,但不宜用于有色金属
14	粗镗(扩)→半精镗→粗磨→精磨	IT6~IT7	0.1~0.2	
15	粗镗→半精镗→精镗→精细镗(金刚镗)	IT6~IT7	0.05~0.4	主要用于精度要求高的有色金属加工

续表

序号	加工方案	经济精度 公差等级	表面粗糙度 值 $Ra/\mu\text{m}$	适用范围
16	钻→(扩)→粗铰→精铰→ 珩磨; 钻→(扩)→拉→珩磨; 粗镗→半精镗→精镗→珩磨	IT6~IT7	0.025~0.2	精度要求很高的孔
17	以研磨代替上述方案中的 珩磨	IT6 级以上	0.006~0.1	

表 1.3 平面加工方法

序号	加工方案	经济精度级	表面粗糙度 值 $Ra/\mu\text{m}$	适用范围
1	粗车→半精车	IT9	3.2~6.3	端面
2	粗车→半精车→精车	IT7~IT8	0.8~1.6	
3	粗车→半精车→磨削	IT8~IT9	0.2~0.8	
4	粗刨(或粗铣)→精刨(或精 铣)	IT8~IT9	1.6~6.3	一般不淬硬平面(端铣表 面粗糙度值较小)
5	粗刨(或粗铣)→精刨(或精 铣)→刮研	IT6~IT7	0.1~0.8	精度要求较高的不淬硬 平面; 批量较大时宜采用 宽刃精刨方案
6	以宽刃刨削代替上述方案 刮研	IT7	0.2~0.8	
7	粗刨(或粗铣)→精刨(或精 铣)→磨削	IT7	0.2~0.8	精度要求较高的淬硬平 面或不淬硬平面
8	粗刨(或粗铣)→精刨(或精 铣)→粗磨→精磨	IT6~IT7	0.02~0.4	
9	粗铣→拉	IT7~IT9	0.2~0.8	大量生产, 较小的平面(精 度视拉刀精度而定)
10	粗铣→精铣→磨削→研磨	IT6 以上	0.006~0.1 (或 $Rz0.05$)	高精度平面

一般情况下, 满足同样精度要求的加工方法有若干种, 选择时还应考虑下列因素:

1) 工件的加工精度、表面粗糙度和其他技术要求。例如: 加工精度为 IT7, 表面粗糙度值为 $Ra0.4\mu\text{m}$ 的外圆柱表面, 通过精细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: 淬火钢的精加工常用磨削; 有色金属的精加工要用高速精细车(金刚车)或精细镗(金刚镗), 以避免磨削时堵塞砂轮。

3) 工件的结构形状和尺寸。例如: 对于加工精度为 IT7 级、表面粗糙度值为 $Ra1.6 \mu m$ 的孔采用镗、铰、拉或磨削等都可以; 但对于箱体上同样要求的孔, 常用镗孔(大孔)或铰孔(小孔), 一般不采用拉削或磨削。

4) 结合生产类型考虑生产率和经济性。大批大量生产时, 采用高效的先进工艺。例如: 用拉削方法加工孔和同时加工几个表面的组合铣削和磨削等。单件小批生产时采用刨削、铣削平面和钻、扩、铰孔等加工方法。

5) 现有生产条件。应该充分利用现有设备, 挖掘企业潜力, 发挥工人的创造性。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。曲面加工方法主要是数控铣削, 多使用球头铣刀。

1.2.2 工序的划分

工件的加工质量要求较高时, 应划分为粗加工、半精加工和精加工三个阶段。当精度要求特别高、表面粗糙度值很小时, 还需增加光整加工和超精密加工。这样有利于保证加工质量、合理使用设备, 并能及时发现毛坯缺陷和便于安排热处理工序。

加工阶段的划分也不应绝对化, 应根据零件的质量要求、结构特点和生产纲领灵活掌握。对于质量要求不高、刚性好、毛坯精度高、加工余量小的工件, 可少划分几个阶段或不划分阶段; 对刚性好的重型工件, 由于装夹及运输很费时, 也常在一次装夹下完成全部粗、精加工。

分析工艺过程时需将同一加工阶段中各表面的加工分成若干道工序, 工序划分的原则分为工序集中原则和工序分散原则。工序集中原则是指每道工序包括尽可能多的加工内容, 从而使工序的总数减少。工序分散原则就是将工件的加工分散在较多的工序内进行, 每道工序的加工内容很少。

划分工序主要考虑生产纲领、零件结构特点、技术要求和机床设备等。大批大量生产中常采用高效设备及工艺装备, 如多轴、多刀的高效加工中心, 可按工序集中原则组织生产; 有时由组合机床组成的自动线加工, 则按工序分散原则划分。随着现代数控技术的发展, 特别是加工中心的应用, 工艺路线的安排更多地趋向于工序集中。单件小批生产时, 通常采用工序集中原则; 成批生产时, 可以根据设备情况具体分析。

1.2.3 加工顺序的安排

在选定加工方法、划分工序后, 工艺路线拟订的主要内容就是合理安排这些加工方法和加工工序的顺序。零件的加工工序通常包括切削加工工序、热处理工序和辅助工序(包括表面处理、清洗和检验等), 这些工序的顺序直接影响到零件的加工质量、生产率和加工成本。因此, 在拟订工艺路线时, 应合理安排切削加工、热处理和辅助工序之间的顺序。

1. 切削加工工序的安排原则

(1) 基面先行

用作精基准的表面, 应首先加工出来。因为定位基准的表面精度越高, 定位误差就越小,

加工精度就越高。因此,第一道工序一般为定位面的粗加工和半精加工,然后以精基准定位加工其他表面。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;又如:箱体类零件总是先加工定位用的平面和两个定位孔,再以平面和定位孔为精基准加工孔系和其他平面。

(2) 先粗后精

各个表面的加工按照“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值。

(3) 先后主次

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,同时可作为次要表面的加工基准。次要表面一般指键槽、螺纹孔、销孔等表面,这些表面应以主要表面为基准,放在主要加工表面加工到一定程度后、最终精加工之前进行加工。

(4) 先面后孔

对于箱体、支架类零件,其平面轮廓尺寸较大,一般先加工平面,再加工孔和其他尺寸。这样,一方面用加工过的平面定位,稳定可靠;另一方面有利于保证孔的加工精度。例如:钻孔加工之前,先将上表面加工好,可提高钻头的定位精度,从而提高孔的加工精度。

2. 热处理工序的安排

在切削加工过程中,通常安排一些热处理工序,以提高材料的力学性能、改善材料的切削加工性和消除工件的内应力。热处理方法有退火、正火、调质、淬火、时效、渗碳和氮化等。按照功用可分为:

(1) 预备热处理

预备热处理的目的是消除毛坯制造时的残余应力,改善材料的切削加工性能。一般安排在机械加工之前,常用的方法有退火、正火等。

(2) 消除残余应力热处理

消除残余应力热处理的目的是消除机械加工过程中产生的残余应力,减小变形,提高精度。一般安排在粗加工之后、精加工之前。对精度要求不高的零件,一般在毛坯进入机加工车间之前,进行消除残余应力的人工时效和退火安排;对精度要求较高的复杂铸件,在机加工过程中通常安排两次时效处理:铸造→粗加工→时效→半精加工→时效→精加工;对高精度零件,如精密丝杠、精密主轴等,应安排多次消除残余应力热处理,甚至采用冰冷处理以稳定尺寸。

(3) 最终热处理

最终热处理的目的是提高零件的强度、表面硬度和耐磨性,常安排在精加工工序(磨削加工)之前。常用的方法有淬火、渗碳、渗氮和碳氮共渗等。

零件的制造过程中还包含一些辅助工序,主要包括检验、去毛刺、清洗、防锈和平衡等。

1.2.4 加工余量的确定

1. 加工余量的概念

加工余量指加工过程中,从加工表面所切去的金属层厚度。加工余量分为工序加工余量和加工总余量。

(1) 工序加工余量

工序加工余量是指一道工序中所切除的金属层的厚度,其数值为相邻两工序的工序尺寸之差。

如图 1.1 所示,平面的加工余量是单边余量,等于所切除的金属层厚度。外圆和内孔等回转表面的加工余量为对称的双边加工余量,是沿直径方向计算的,实际切除的金属层厚度为加工余量的一半。

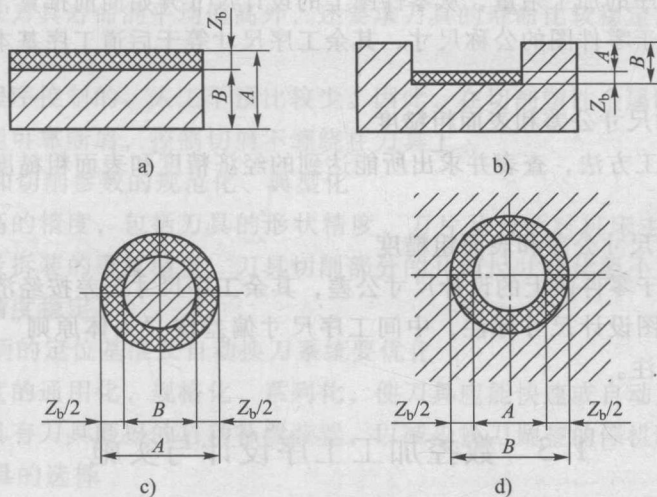


图 1.1 单边余量和双边余量

(2) 加工总余量

总加工余量是指工件从毛坯变为成品的加工过程中,从加工表面所切除金属层的总厚度,即工件上某一表面的毛坯尺寸与零件图样的设计尺寸之差。

2. 加工余量的选择

加工余量对工件的加工质量和生产率均有较大的影响。加工余量过小,无法消除上道工序的误差和缺陷,影响加工质量;加工余量过大,使切削工时、材料浪费,机床、刀具及动力消耗增大,成本提高,效率降低。因此,合理选择加工余量对生产非常重要。

工序间加工余量的选择需要注意事项如下:

- 1) 上工序加工后各表面相互之间位置的空间偏差(如表面间的方向和位置误差等)。
- 2) 本工序的装夹误差,包括定位找正误差和夹紧误差。
- 3) 本工序的设备精度和加工过程中可能产生的变形。
- 4) 零件热处理时的变形。
- 5) 工件的大小。工件越大,加工余量越大。
- 6) 加工方法所产生的误差。

选择加工余量的影响因素有:

- 1) 为缩短加工时间,降低制造成本,应采用最小的加工余量。
- 2) 加工余量应能保证获得图样所规定的加工精度和表面粗糙值。
- 3) 工序公差不应超出经济加工精度的范围。

4) 本工序的余量应大于上道工序留下的表面缺陷层厚度。

5) 本工序的余量必须大于上工序的尺寸公差和几何公差。

在实际生产中,根据机械加工工艺手册和已有的经验,结合实际情况来确定加工余量。

1.2.5 工序尺寸及偏差的确定

1. 计算各工序的公称尺寸

根据查到的各工序的加工余量,从零件图上的设计尺寸开始向前推算,直至毛坯的公称尺寸。最终工序尺寸等于零件图的公称尺寸,其余工序尺寸等于后道工序基本尺寸加上或减去后道工序余量。

2. 确定各工序的尺寸公差和表面粗糙度

根据各工序的加工方法,查表并求出所能达到的经济精度和表面粗糙度,并查表转换成尺寸公差。

3. 标注各工序的尺寸公差和表面粗糙度

最终工序公差等于零件图上的设计尺寸公差,其余工序尺寸公差按经济精度确定。最后一道工序的偏差按零件图设计尺寸标注,中间工序尺寸偏差按“人体原则”标注,毛坯尺寸偏差按“对称原则”标注。

1.3 数控加工工序设计与实施

1.3.1 工步的划分

在数控机床上加工零件,一般按工序集中原则划分工序,要求在一次装夹中尽可能完成大部分或全部加工内容。这样,一道数控加工工序中会包含很多工步。划分工步一般有以下几种方法:

(1) 按安装次数划分

以一次安装完成的那部分工艺过程为一道工步。该法适用于需要多次安装的工件。

(2) 按刀具划分

同一把刀具完成的那部分工艺过程为一道工步。适用于工件的待加工表面较多、机床连续工作时间较长的情况,数控车床与加工中心常用此方法。

(3) 按粗、精加工划分

考虑工件的加工精度要求、刚度和变形等因素来划分工步时,按此原则进行。这种划分方法适用于加工后变形较大,需粗、精加工分开的零件。

(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步,对于加工表面多而复杂的零件,可按其结构特点(如内形、外形、曲面和平面等)划分成多道工步。

1.3.2 数控加工刀具的特点

1. 数控加工刀具的特点

数控机床上使用的刀具与普通机床上使用的刀具实际没有太大区别,为了达到高效、多