



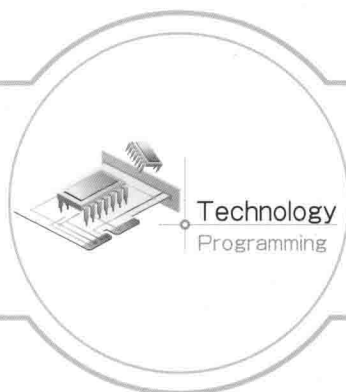
普通高等教育机械类“十二五”规划系列教材

数控加工工艺与编程(第2版)

SHUKONG JIAGONG GONGYI YU BIANCHENG

程俊兰 赵先仲

主编 陈玲 侯伟 关跃奇



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育机械类“十二五”规划系列教材

数控加工工艺与编程

(第2版)

主 编 程俊兰 赵先仲

副主编 陈 玲 侯 伟 关跃奇

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

内 容 简 介

本书详细阐述和分析了数控加工的最新技术应用成果,精心挑选了当今主流数控系统作为典型实例。本书内容重点突出,取材新颖,图文结合,实例丰富,汇集了许多编程技术的经验,并强调知识的综合应用,拓宽知识面。书中所选实例具有较强的实用性和代表性,读者可以举一反三,是一本针对性和实用性较强的教材。

本书共分7章,第1章数控加工工艺基础,第2章数控编程基础,第3章数控车削工艺与编程,第4章数控铣床和加工中心工艺与编程,第5章宏程序设计,第6章典型零件工艺设计综合实例,第7章计算机辅助自动编程技术。

本书可作为数控技术应用专业、机电一体化专业、机械制造及自动化专业、模具设计与制造专业、计算机辅助设计与制造专业的教学用书、专业教材,也可供有关工程技术人员和数控机床操作人员学习、参考和培训之用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺与编程 / 程俊兰, 赵先仲主编. —2 版. —北京: 电子工业出版社, 2015.5

普通高等教育机械类“十二五”规划系列教材

ISBN 978-7-121-26065-0

I. ①数… II. ①程… ②赵… 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. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 100093 号

策划编辑: 李 洁

责任编辑: 李 洁 特约编辑: 韩奇桅

印 刷: 三河市华成印务有限公司

装 订: 三河市华成印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 18 字数: 460 千字

版 次: 2011 年 5 月第 1 版

2015 年 5 月第 2 版

印 次: 2015 年 5 月第 1 次印刷

定 价: 45.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前言

《《《《 PREFACE

本书为应用型本科系列规划教材之一,根据工程类高等教育的特点,依据机械设计、制造及其自动化专业的培养目标和教学基本要求,同时兼顾非机械设计、制造及其自动化专业的选修课要求而编写的。

本书强调工艺及工艺与编程、加工方法、数控刀具的关系,所用的数控系统和机床设备只介绍其功能,而不讲其结构和原理,突出应用性和针对性,以培养学生的工艺分析能力,使学生能通过正确地分析工艺来选择工艺方法,确保加工的质量、效率和成本,同时从设计、设备、材料和工艺等全方位考虑问题,寻求工艺设计的整体最优。

本书注重实用性,书中的案例子和方法主要取自于工程实例和实用的工程方法,零件、数控程序和工艺路线采用工程图而非示意图,尺寸标注及表面粗糙度均与工程实际相符合,以增强学生的工程化意识,并获取一定的间接工程经验。

编写过程中特别注意突出以下特点:

(1)“易教易学”为核心思想,“够用、实用、新用”为基本原则,并注重系统化与模块化的结合,以区别高职教材。

(2)强调概念、原理、理论的生动解释。保持理论内容与实践内容的均衡。

(3)提倡运用实例讲解理论知识,能创新的要创新,能用案例教学的要案例教学,能实现计算机仿真与理论无缝结合的要结合。

(4)关于案例,在每章后给出案例,并单设一章给出完整的案例,可作为课程设计指导。

(5)案例的选材注重实用性和代表性,既有生产现场选材,又有全面介绍中等复杂零件从零件图到数控加工程序的整个过程,将数控机床加工必备的数控加工工艺规程的制定与数控编程有机地联系在一起,培养学生正确、合理编制零件数控加工程序的能力。

(6)教材中每章都包括大量的实例和习题。

(7)本书配有PPT课件,以及习题参考答案,有需要者可登录电子工业出版社华信教育资源网(www.hxedu.com.cn)注册后免费下载。

本书由北华航天工业学院程俊兰、赵先仲担任主编,昆明学院陈玲、西北工业大学明德学院侯伟、湖南工程学院关跃奇担任副主编。第1章、第6章由程俊兰编写,第2章由陈玲编写,第3章由关跃奇编写,第4章、第7章由赵先仲编写,第5章由侯伟编写。

本书在编写中参阅了大量相关文献与资料,在此向有关作者一并表示谢意。

由于编者水平有限,书中难免有不妥和错误之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2015年1月

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为，歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396; (010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

目录

CONTENTS

第1章 数控加工工艺基础

1.1 数控加工	1	1.6.7 工序的划分	31
1.1.1 数控加工过程	1	1.6.8 确定对刀点和换刀点	33
1.1.2 数控加工的特点	2	1.6.9 走刀路线的确定	33
1.1.3 数控加工的对象	3	1.6.10 加工余量的确定	38
1.2 数控加工工艺	3	1.6.11 切削用量的确定	39
1.2.1 数控加工工艺的特点	3	1.7 数控加工工艺文件的编写	41
1.2.2 数控加工工艺的主要内容及任务	4	1.8 数控车削刀具	45
1.2.3 数控加工工艺系统	5	1.8.1 数控车削刀具的特点	45
1.3 机械加工精度	6	1.8.2 机夹可转位车刀的选用	46
1.3.1 影响机械加工精度的主要因素	7	1.8.3 数控车削用工具系统	52
1.3.2 提高机械加工精度的工艺措施	7	1.9 数控铣床与加工中心刀具	53
1.4 机械加工表面质量	8	1.9.1 常用铣刀种类及其工艺特点	53
1.4.1 机械加工表面质量的含义	8	1.9.2 铣削对刀具的基本要求	58
1.4.2 提高机械加工表面质量的工艺措施	9	1.9.3 铣削刀具的选择	58
1.5 工件定位与夹紧	11	1.9.4 工具系统	63
1.5.1 工件定位的基本原理	11	1.9.5 高速铣削及其工具系统	67
1.5.2 工件定位的几种情况	12	1.10 数控车床常用夹具	69
1.5.3 常见定位方式及定位元件	13	1.11 数控铣床与加工中心的常用夹具	71
1.5.4 工件的夹紧	21	1.11.1 通用夹具	72
1.6 数控加工工艺分析与设计	22	1.11.2 专用夹具	73
1.6.1 数控加工工艺的主要内容	22	1.11.3 组合夹具	73
1.6.2 数控加工工艺分析	22	1.11.4 气动和液压夹具	74
1.6.3 数控加工工艺设计	24	1.11.5 回转工作台	75
1.6.4 表面加工方法的选择	28	1.11.6 成组夹具	75
1.6.5 加工阶段的划分	30	1.11.7 真空夹具	75
1.6.6 加工顺序的安排	30	复习思考题 1	76

第2章 数控编程基础

2.1 数控程序编制内容与方法	78	2.2.1 坐标系及运动方向规定	81
2.1.1 数控程序编制内容	78	2.2.2 坐标轴及方向规定	81
2.1.2 数控程序编制方法	80	2.2.3 工件坐标系	83
2.2 数控机床坐标系	80	2.2.4 坐标系的建立	84

2.2.5 绝对坐标编程与增量坐标编程	86	2.5 基本指令功能	92
2.3 数控编程中的数学处理	87	2.5.1 模态代码、单段有效代码	92
2.3.1 基点和节点的坐标计算	87	2.5.2 尺寸字	92
2.3.2 刀位点轨迹计算	88	2.5.3 准备功能	93
2.4 程序结构与格式	88	2.5.4 进给功能	93
2.4.1 程序的组成与格式	88	2.5.5 主轴转速功能	94
2.4.2 程序段的组成与格式	89	2.5.6 刀具功能	94
2.4.3 程序字的格式	90	2.5.7 辅助功能	94
2.4.4 主程序、子程序与用户宏程序	91	复习思考题 2	96

第3章 数控车削工艺与编程

3.1 数控车床的工艺特点	97	3.4.2 M 功能代码	112
3.1.1 数控车床的分类	97	3.4.3 数控车床的编程特点	113
3.1.2 数控车床的结构特点	98	3.4.4 F、S、T 功能代码	113
3.1.3 数控车削加工的工艺特点	99	3.4.5 坐标系设定	115
3.2 数控车削加工工艺分析	99	3.4.6 绝对尺寸输入方式与增量尺寸 输入方式	116
3.2.1 数控车削加工的主要对象	99	3.4.7 参考点返回 (G27,G28,G30)	116
3.2.2 零件结构工艺分析	100	3.4.8 坐标运动与进给 (G00,G01, G02,G03,G04)	117
3.2.3 工艺路线的制订	101	3.4.9 螺纹加工 (G32,G34)	120
3.2.4 切削用量的确定	105	3.4.10 刀具补偿	123
3.3 数控车削加工中的对刀	106	3.4.11 固定循环 (G90,G92,G94,G70, G71,G72,G73,G74,G75,G76)	126
3.3.1 几个与对刀相关的概念	106	3.5 数控车床编程实例	136
3.3.2 对刀点的确定	107	复习思考题 3	146
3.3.3 对刀方法	107		
3.3.4 对刀实例	108		
3.4 数控车床程序编制	109		
3.4.1 G 功能代码	109		

第4章 数控铣床和加工中心工艺与编程

4.1 数控铣床与加工中心的特点	150	4.3.2 机内 Z 向对刀	166
4.1.1 数控铣床与加工中心分类	150	4.3.3 X、Y 向对刀	166
4.1.2 数控铣床与加工中心的结构 特点	152	4.4 数控铣床与加工中心程序编制	169
4.1.3 数控铣削的工艺特点	153	4.4.1 G 功能	169
4.2 数控铣床和加工中心加工工艺分析	154	4.4.2 M 代码	171
4.2.1 数控铣削的适应对象	154	4.4.3 坐标平面指令 (G17,G18, G19)	171
4.2.2 加工中心的主要加工对象	155	4.4.4 基本移动指令 (G00,G01, G02,G03)	171
4.2.3 数控铣床加工工艺分析	157	4.4.5 程序暂停 (G04)	176
4.2.4 加工中心的工艺规程设计	159	4.4.6 刀具与刀具补偿 (T 功能,G41, G42,G40,G43,G44,G49)	177
4.3 数控铣床与加工中心的对刀	165		
4.3.1 机外对刀仪	165		

4.4.7 极坐标编程 (G15,G16)	182	4.4.12 参考点指令 (G27,G28, G29,G30)	190
4.4.8 子程序 (M98,M99)	183	4.4.13 固定循环 (G98,G99,G73, G74,G76,G80~G89)	191
4.4.9 比例缩放指令 (G50,G51)	184	4.5 加工中心实例	201
4.4.10 坐标系旋转指令 (G68,G69)	187	复习思考题 4	209
4.4.11 可编程镜像指令 (G51.1, G50.1)	188		

第 5 章 宏程序设计

5.1 变量	212	5.4.3 本级变量	220
5.1.1 变量及其引用	212	5.5 宏程序应用举例	220
5.1.2 变量的类型	213	5.5.1 钻孔类零件	220
5.2 变量的运算	214	5.5.2 非圆曲线轮廓类零件	223
5.3 程序结构	216	5.5.3 曲面加工类零件	225
5.4 宏程序调用	218	5.5.4 车削椭圆手柄	228
5.4.1 宏程序的调用与返回	218	5.5.5 铣削旋钮手柄凹模	232
5.4.2 变量与地址 (自变量) 的对应 关系	218	复习思考题 5	237

第 6 章 典型零件工艺设计综合实例

6.1 连接套的加工工艺设计	238	6.4 箱体零件的数控加工工艺设计	253
6.1.1 零件图工艺分析	238	6.4.1 零件图工艺分析	253
6.1.2 工艺设计	239	6.4.2 工艺设计	254
6.2 盖板零件的加工工艺设计	244	6.5 车铣复合零件的数控加工工艺设计	257
6.2.1 零件图工艺分析	245	6.5.1 零件图工艺分析	257
6.2.2 工艺设计	245	6.5.2 工艺设计	258
6.3 平面槽形凸轮的加工工艺设计	248	6.6 配合件的数控车削工艺设计	260
6.3.1 零件图工艺分析	248	6.6.1 配合件的加工方法	260
6.3.2 工艺设计	249	6.6.2 内外锥配合件加工工艺设计	261

第 7 章 计算机辅助自动编程技术

7.1 基于 CAD/CAM 软件的交互式图形编 程简述	264	7.1.2 交互式图形自动编程的特点	266
7.1.1 交互式图形自动编程的基本 步骤	264	7.1.3 典型的 CAD/CAM 软件	266
		7.2 计算机辅助自动编程的几何造型	268
		7.3 计算机辅助自动编程的开发	270

第 1 章 数控加工工艺基础

1.1 数控加工

数控加工就是根据被加工零件的图纸和工艺要求等原始条件，编写被加工零件的数控加工程序，并将数控加工程序输入到数控机床的数控系统，控制数控机床上刀具与工件的相对运动，从而完成零件的加工。

1.1.1 数控加工过程

数控加工的大致过程如图 1-1 所示。

第一步：阅读零件图，充分了解工件的技术要求（如尺寸精度、形位公差、表面粗糙度、工件的材料和硬度、加工性能及工件数量等），明确加工内容。

第二步：进行工艺分析，其中包括零件的结构工艺性分析、材料和设计精度合理性分析，并确定数控加工所需要的一切工艺信息，例如，加工工艺路线、工艺要求、刀具的运动轨迹、位移量、切削用量（主轴转速、进给量、吃刀深度），以及辅助功能（换刀、主轴正转或反转、切削液开或关）等，形成加工工艺方案，填写工艺过程卡和加工工序卡。

第三步：根据零件形状和制订的加工工艺方案，用数控系统规定的指令代码及程序格式进行数控编程。

第四步：将零件加工程序通过数控机床的输入装置输入数控系统，常用 U 盘、存储卡或串行传输接口等输入信息。

第五步：检验与修改加工程序。调整好机床并执行该程序后，通过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，直到加工出符合图纸要求的零件，最后形成优化的加工程序。

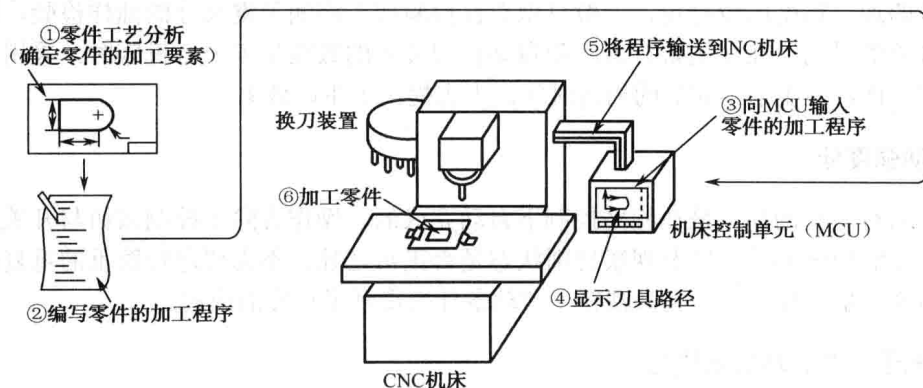


图 1-1 数控加工过程

1.1.2 数控加工的特点

数控加工体现了精度高、效率高，能适应多品种中小批量、形状复杂零件的加工等优点，在机械加工中得到了广泛的应用。概括起来，数控加工有以下几方面的特点。

1. 精度高、质量稳定

数控机床是在数控加工程序控制下进行加工的，一般情况下加工过程不需要人工干预，这就避免了操作者人为产生的误差。在设计制造数控机床时，采取了多种措施，使数控机床的机械部分达到了较高的精度和刚度。数控机床工作台的脉冲当量一般可达到 0.001mm ，而且进给传动链的反向间隙与丝杠螺距误差等均可由数控装置进行补偿，高档数控机床采用光栅尺实现工作台移动的闭环控制。数控机床的加工精度由过去的 $\pm 0.01\text{mm}$ 提高到 $\pm 0.005\text{mm}$ ，甚至更高。此外，数控机床的传动系统与机床结构都具有很高的刚度和热稳定性。通过补偿技术，数控机床可获得比本身精度更高的加工精度，尤其提高了同一批零件生产的一致性，产品合格率高，加工质量稳定。

2. 适应性强

适应性是指数控机床随生产对象变化而变化的适应能力。在数控机床上加工不同的零件时，不需要改变机床的机械结构和控制系统的硬件，只需要按照零件的轮廓编写新的加工程序，输入新的加工程序后就能加工新的零件。这就为复杂结构零件的单件、小批量生产及新产品试制提供了极大的方便。

3. 生产效率高

零件加工所需的时间主要包括机动时间和辅助时间两部分。数控机床主轴的转速和进给量的变化范围比普通机床大，而且是无级变化的，因此数控机床每一个工序、工步都可选用最合理的切削用量。由于数控机床结构刚性好，因此允许进行大切削用量的强力切削，这就提高了数控机床的切削效率，节省了机动时间。数控机床的移动部件空行程运动速度快（每分钟可达数十米），自动换刀时间短（一般为几秒），辅助时间比一般机床大为减少。数控机床在批量生产更换被加工零件时不需要重新调整机床，可以节省用于停机进行零件安装调整的时间。由于数控机床的加工精度比较稳定，一般只做首件检验或工序间关键尺寸的抽样检验，因而可以减少停机检验的时间。在使用带有刀库和自动换刀装置的数控加工中心机床时，采用工序集中的方法加工零件，减少了半成品的周转时间，大大提高了生产效率。

4. 劳动强度低

数控机床对零件的加工是在程序控制下自动完成的，操作者除了控制按钮与开关、装卸工件、关键工序的中间测量，以及观察切削状态是否正常之外，不需要进行繁重的重复性手工操作，劳动强度与紧张程度均可大为减轻，劳动条件也得到了相应的改善。

5. 有利于生产管理的现代化

在数控机床上加工零件所需的时间基本上是固定的，工时费用可以计算得更精确。这有利于合理编写生产进度计划，有利于实现生产管理现代化。

6. 易于建立计算机通信网络

由于数控机床与计算机联系紧密,且使用数字化信息,易于与计算机建立通信网络,便于与计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)系统相连接,形成计算机辅助设计和辅助制造一体化。

7. 价格较贵、调试和维修困难

数控机床采用了许多先进技术,使得数控机床的整体价格较高,并且由于数控机床的机械结构、控制系统都比较复杂,所以要求操作人员、调试和维修人员应具有专门的知识 and 较高的专业技术水平,或经过专门的技术培训,才能胜任相应的工作。

1.1.3 数控加工的对象

根据以上介绍的数控加工的特点,以下类型的零件适合于数控加工:

- (1) 用通用机床加工时,要求设计制造复杂的专用夹具或需很长调整时间的零件;
- (2) 多品种、多规格、中小批量的零件生产,特别适合新产品的试制生产;
- (3) 加工精度、表面粗糙度要求高的零件;
- (4) 形状、结构复杂,尤其是具有复杂曲线、曲面轮廓的零件;
- (5) 价格高,一旦出现废品会造成严重的经济损失的零件;
- (6) 钻、扩、铰、镗、攻丝等工序联合进行,或相对位置精度要求高或较高的零件;
- (7) 在普通机床上加工生产效率低、劳动强度大、质量难以稳定控制的零件。

1.2 数控加工工艺

数控加工工艺是一门以数控机床加工过程中的工艺问题为研究对象的加工技术。

数控机床的加工工艺与普通机床的加工工艺有许多相同之处,但在数控机床上加工零件比普通机床上加工零件的工艺规程要复杂得多。在数控加工前,要将机床的运动过程、零件的工艺过程、刀具的形状、切削用量和走刀路线等都编入程序,这就要求程序设计人员具有多方面的知识基础。一名合格的程序员首先是一名合格的工艺人员,否则就无法做到全面周到地考虑零件加工的全过程,以及正确、合理地编写零件的加工程序。

1.2.1 数控加工工艺的特点

数控加工与普通加工相比具有加工自动化程度高、加工精度高、加工质量稳定、生产率高、工人劳动强度低、设备使用费用高、有利于生产管理的现代化等特点。因此,数控机床加工工艺与普通机床加工工艺相比,具有如下特点。

1. 数控加工工艺内容要求十分具体、详细

数控加工时,所有工艺问题(如加工部位、加工顺序、刀具配置顺序、刀具轨迹、切削参数等)都必须事先设计和安排好,并编入加工程序中。因此,数控加工工艺不仅包括详细的切削加工步骤和所用工装夹具的装夹方案,还包括刀具的型号、规格、切削用量、工序图和其他

特殊要求等,尤其在自动编程中更需要确定详细的加工工艺参数。

2. 数控加工工艺要求更严密、精确

数控加工过程中可能遇到的所有问题必须事先精心考虑到,否则将导致严重的后果。例如,攻螺纹时,数控机床不知道孔中是否已挤满铁屑,是否需要退刀清理一下铁屑再继续加工;又如,普通机床加工时可以进行多次试切来满足零件的精度要求,而在数控加工过程中要严格按照规定尺寸进给,要求准确无误。

3. 要进行零件图形的数学处理和编程尺寸设定值的计算

编程尺寸并不是零件图上设计尺寸的简单再现。在对零件图进行数学处理和计算时,编程尺寸设定值要根据零件尺寸公差要求和零件的几何关系重新调整计算。

4. 要考虑进给速度对零件形状精度的影响

制订数控加工工艺时,选择切削用量要考虑进给速度对加工零件形状精度的影响。在数控加工过程中,刀具的移动轨迹是由插补运算完成的。根据插补原理分析,在数控系统已定的条件下,进给速度越快,插补精度越低,导致工件的轮廓形状精度越低。尤其在高精度加工时,这种影响非常明显。

5. 要重视刀具选择的重要性

复杂型面的加工编程通常采用自动编程方式。自动编程中,必须先选定刀具,再生成刀具中心运动轨迹。因此对于不具有刀具补偿功能的数控机床来说,若刀具选择不当,所编程序只能重新编写。

6. 数控加工的工序相对集中

由于数控机床,特别是功能复合化的数控机床,一般都带有自动换刀装置,在加工过程中能够自动换刀,一次装夹即可完成多道工序或全部工序的加工。因此数控加工工艺的明显特点是工序相对集中,表现为工序数目少、工序内容多、工序内容复杂。

1.2.2 数控加工工艺的主要内容及任务

对于一个零件来说,并非其全部加工内容都适合在数控机床上完成,而往往只是其中的一部分工艺内容适合数控机床加工。这就需要对零件图进行仔细的工艺分析,选择那些最适合、最需要进行数控加工的内容和工序。在选择数控加工内容时,应结合本企业设备的实际情况,立足于解决难题、攻克关键问题和提高生产率,充分发挥数控加工的优势。

1. 适于数控加工的内容

- (1) 普通机床无法加工的内容应作为优先选择内容。
 - (2) 普通机床难加工、质量也难以保证的内容应作为重点选择内容。
 - (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加工能力时选择。
- 一般来说,上述这些加工内容采用数控加工后,在产品质量、生产率与综合效益等方面都

会得到明显提高。

2. 不适合数控加工的内容

(1) 占机调整时间长。如以毛坯的粗基准定位加工第一个精基准,需用专用工装协调的内容。

(2) 加工部位分散,需要多次安装、设置原点。这时,采用数控加工很麻烦,效果不明显,可安排普通机床加工。

(3) 按某些特定的制造依据(如样板等)加工的型面轮廓。主要原因是获取数据困难,易与检验依据发生矛盾,增加了程序编写的难度。

此外,在选择和决定数控加工内容时,也要考虑生产批量、生产周期、工序间周转情况等。总之,要尽量做到合理,达到多、快、好、省的目的。

3. 数控加工工艺的任务

(1) 分析零件的图样,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,如选择数控加工设备、划分工序、安排加工顺序、处理与非数控加工工序的衔接等。

(3) 设计加工工序。选取零件的定位基准、确定装夹方案、划分工步、选择刀具和切削用量等。

(4) 对零件图进行数学处理并确定编程尺寸设定值,编写、校验、修改加工程序。

(5) 首件试加工与现场工艺问题处理。

(6) 数控加工工艺技术文件的定性与归档。

1.2.3 数控加工工艺系统

由图 1-1 可以看出,数控加工过程是在一个由数控机床、夹具、刀具和工件构成的数控加工工艺系统中完成的,NC 加工程序可控制刀具相对工件的运动轨迹。因此,由数控机床、夹具、刀具和工件等组成的统一体称为数控加工工艺系统。数控加工工艺系统性能的好坏直接影响零件的加工精度和表面质量。

数控机床是零件加工的工作机,是实现数控加工的主体。采用数控技术或装备了数控系统的机床称为数控机床,它是一种技术密集度和自动化程度都比较高的机电一体化加工装备。

夹具用来固定工件并使之保持正确的位置,是实现数控加工的纽带。在机械制造中,用以装夹工件和引导刀具的装置统称为夹具。在机械制造过程中,夹具的使用十分广泛,从毛坯制造到产品装配以及检测的各个生产环节,都有许多不同种类的夹具。

刀具是实现数控加工的桥梁,刀具的运动与数控机床的主轴运动合成完成零件的加工。刀具的合理选择对零件的加工精度、加工效率起到非常关键的作用。

工件是数控加工的对象。常见工件可分为轴类零件、盘套类零件、板类零件、箱体类零件和异形类零件。一般情况下,轴类零件和盘套类零件在数控车床上加工,板类零件在数控铣床上加工,而箱体类零件和异型类零件在加工中心上加工。

1.3 机械加工精度

机械加工精度是指零件加工完成后的实际几何参数（尺寸、几何形状和相互位置）与理想几何参数相符合的程度。理想的几何参数，对尺寸而言，就是平均尺寸；对表面几何形状而言，就是绝对的圆、圆柱、平面、锥面和直线等；对表面之间的相互位置而言，就是绝对的平行、垂直、同轴、对称等。

零件加工完成后的实际几何参数与理想几何参数的偏离程度称为加工误差。加工误差的大小反映了加工精度的高低。加工精度与加工误差都是评价加工表面几何参数的术语。加工精度的高低用公差等级衡量，等级值越小，其精度越高；加工误差用数值表示，数值越大，其误差越大。

加工精度主要包括尺寸精度、形状精度和位置精度。

1. 尺寸精度

尺寸精度是指加工表面本身的尺寸（如圆柱面的直径）和表面间的尺寸（如孔间距等）的精确程度，如长度、宽度、高度及直径等。尺寸精度的高低用尺寸公差的大小来表示。国家标准（GB/T1800.4—1999）中规定，尺寸公差分 20 个等级，即 IT01、IT0、IT1、IT2、…、IT18。IT 后面的数字代表公差等级，数字越大，公差值越大，公差等级越低，尺寸精度越低。

2. 形状精度

形状精度是指加工完成后的零件表面的实际几何形状与理想的几何形状的相符合程度，如圆度、圆柱度、平面度及锥度等。

3. 位置精度

位置精度是指加工完成后，零件有关表面之间的实际位置与理想位置相符合的程度，如平行度、垂直度及同轴度等。

国家标准《形状和位置公差通则、定义、符号和图纸表示法》（GB/T1182—1996）中规定，形状和位置公差共有 14 个项目，各项目的名称及符号如表 1-1 所示。

表 1-1 形状和位置公差名称和符号

公 差 特 征 项 目 符 号 有或无基准要求				公 差 特 征 项 目 符 号 有或无基准要求					
形 状 或 轮 廓	形 状	直线度	—	无	位 置	定 向	平行度	//	有
		平面度	▧	无			垂直度	⊥	有
		圆度	○	无			倾斜度	∠	有
		圆柱度	⊘	无			定 位	位置度	⊕
	轮 廓	线轮廓度	⌒	有或无		同轴度		◎	有
		面轮廓度	⌒	有或无		对称度		≡	有
							跳 动	圆跳动	↗
					全跳动	↗↗		有	

1.3.1 影响机械加工精度的主要因素

在机械加工中,由机床、夹具、工件和刀具组成的统一体,称为工艺系统,其产生的误差有两个组成部分。一部分是静态误差(称为系统误差),是指工艺系统各种原始误差的存在使刀具和工件之间的相对位置关系发生偏移而产生加工误差。这些与工艺系统本身的初始状态有关,例如,机床、夹具、刀具的制造误差,工件因定位和夹紧而产生的装夹误差,采用近似成形方法加工而产生的加工原理误差等。另一部分是动态误差(称为随机误差),与切削过程有关,例如,在加工过程中产生的切削力、切削热和摩擦,它们将引起工艺系统的受力变形、受热变形和磨损,使刀具或工件偏离正确的位置。

1.3.2 提高机械加工精度的工艺措施

提高和保证加工精度的方法,大致可概括为以下几种:直接减少误差法、误差补偿法、误差转移法、均分误差法、均化误差法、就地加工法等。

1. 直接减少误差法

直接减少误差法在生产中应用较广。它是指在查明产生加工误差的主要因素之后,设法消除或减少这些因素。例如,细长轴的车削,由于受热和力的影响而使工件产生弯曲变形,现在采用了大走刀反向车削法,基本消除了轴向切削力引起的弯曲变形。再辅之以弹簧后顶尖,则可进一步消除热变形引起的热伸长的影响。

2. 误差补偿法

误差补偿法是指人为地造出一种新的误差,去抵消原来工艺系统中的原始误差。当原始误差是负值时,人为的误差就取正值,反之则取负值,并尽量使两者数量大小相等;或者利用一种原始误差去抵消另一种原始误差,也是尽量使两者大小相等,方向相反,从而达到减少加工误差,提高加工精度的目的。

3. 误差转移法

误差转移法实质上是将工艺系统的几何误差、受力变形和热变形等,转移到不影响加工精度的方向上去。例如,当机床精度达不到零件加工要求时,常常不是一味地提高机床精度,而是从工艺上或夹具上想办法,创造条件使机床的几何误差转移到不影响加工精度的方面。例如,磨削主轴锥孔时,保证主轴和轴颈的同轴度,不是靠机床主轴的回转精度来保证,而是靠夹具保证的。当机床主轴与工件之间用浮动连接以后,机床主轴的原始误差就被转移掉了。

4. 均分误差法

在加工中,由于毛坯或上道工序加工的半成品精度太低,或者由于工件材料性能改变,或者上道工序的工艺改变(如毛坯精化后,把原来的切削加工工序取消),引起定位误差和复映误差过大,因而不能保证加工精度,这时可采用均分原始误差法。这种办法的实质就是把原始误差按其大小均分为 n 组。例如,可把毛坯(或上道工序的工件)按尺寸误差大小分为 n 组,每

组毛坯的误差范围就缩小为原来的 $1/n$ ，然后按各组分别调整刀具与工件的相对位置或调整定位元件进行加工，就可大大缩小整批工件的尺寸分散范围。

5. 均化误差法

误差不断减少的过程就是误差均化法。它的实质就是利用有密切联系的表面相互比较、相互检查，从对比中找出差异，然后进行相互修正或互为基准加工，使工件被加工表面的误差不断缩小和均化。在生产中，许多精密基准件（如平板、直尺、角度规、端齿分度盘等）都是利用误差均化法加工出来的。

6. 就地加工法

在加工和装配中有些精度问题牵涉零件或部件间的相互关系，如果一味地提高零部件本身精度，不仅困难，有时甚至不可能。此时宜采用就地加工法（也称自身加工修配法），可能方便地解决看起来非常困难的精度问题。

1.4 机械加工表面质量

1.4.1 机械加工表面质量的含义

机械加工表面质量是指零件在机械加工后表面层的微观几何形状误差和物理、化学及力学性能。主要零件的表面质量直接影响机械产品的工作性能、可靠性和寿命。

任何机械加工方法所获得的加工表面都不可能是绝对理想的表面，总存在着表面粗糙度、表面波纹度等微观几何形状误差。表面层的材料在加工时还会发生物理、力学性能变化，甚至在某些情况下发生化学性质的变化。机械加工的表面质量有以下两方面的含义。

1. 表面的几何特性

加工表面的几何形状，总是以“峰”、“谷”交替的形式出现的，其偏差又有宏观、微观的差别。

（1）表面粗糙度。它是指加工表面的微观几何形状误差，主要取决于切削残留面积的高度，并与表面塑性变形、振动和积屑瘤的产生有关。车削和刨削时的残留面积的高度如图 1-2 所示。表面粗糙度一般用 Ra 表示， Ra 值越大，粗糙度越差。

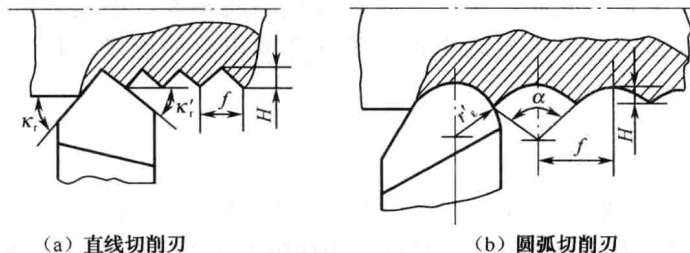


图 1-2 车削和刨削时的残留面积的高度

(2) 表面波紋度。它是介于微观几何形状误差与宏观几何形状误差之间的周期性几何形状误差。由工艺系统的低频振动引起。

(3) 表面纹理方向。它是指表面刀纹的方向, 取决于该表面所采用的机械加工方法及其主运动和进给运动的关系。一般对运动副或密封件有纹理方向的要求。

(4) 伤痕。伤痕是指在加工表面的一些个别位置上出现的缺陷。它们大多是随机分布的, 如砂眼、气孔、裂痕和划痕等。

2. 表面层物理、力学性能

由于机械加工中切削力和切削热的综合作用, 加工表面层金属的物理、力学和化学性能发生一定的变化, 主要表现在以下三方面。

(1) 加工表面的冷作硬化。它是指工件经过机械加工后表面层的强度、硬度有提高的现象, 也称为表面层的强化。

(2) 表面层金相组织变化。机械加工(特别是磨削)中的高温使工件表层金属的金相组织发生了变化, 大大降低了零件的使用性能。

(3) 表面层产生残余应力或造成原有残余应力的变化。

1.4.2 提高机械加工表面质量的工艺措施

1. 提高表面粗糙度的工艺措施

机械加工中, 导致表面粗糙的主要原因有两个方面: 一是刀具相对于工件做进给运动时, 刀尖在工件表面上留下的残余面积; 二是指切削过程中的塑性变形、摩擦、积屑瘤、鳞刺和振动等。降低表面粗糙度值的措施如下。

(1) 合理选择切削用量。

在切削用量三要素中, 切削速度和进给量对表面粗糙度影响较大, 背吃刀量对粗糙度没有显著影响。

切削速度是影响表面粗糙度的重要因素。在一定切削条件下, 采用中等切削速度加工 45 钢, 由于积屑瘤的影响, 表面粗糙度较大。如果采用低速或高速来加工, 可以避免积屑瘤和鳞刺的产生, 从而获得较为光洁的表面。通常精加工总是采用高速或低速的切削速度, 但应注意切削速度太高可能引起振动。

降低进给量可以降低残余面积的高度, 减小加工表面的表面粗糙度。但进给量不宜太小, 以免切削厚度太小时, 刀具无法切下很薄的切屑而使刀具与加工表面间产生严重挤压, 以致加剧刀具磨损和加工表面的冷作硬化程度。

一般切削深度对表面粗糙度的影响不明显。但当其小到一定数值以下时, 由于刀刃不可能磨得绝对尖锐而具有一定的刃口半径, 正常的切削就不能维持, 常出现挤压、打滑和周期性地切入加工表面, 从而使表面粗糙度增大。为降低加工表面粗糙度, 应根据刀具刃口刃磨的锋利情况选取相应的切削深度。

(2) 选择适当的刀具材料和几何参数。

根据所加工的材料性质选择合适的刀具材料。从刀具的几何角度考虑, 应增大前角和后角, 能使切削刃锋利, 减少切屑的变形和前、后面间的摩擦, 抑制积屑瘤和鳞刺的产生。但后角也不宜过大, 过大的后角可能导致振动。减小主偏角和副偏角, 增大刀尖圆弧半径, 可使残余面积高度降低,