



机电类**新技师**培养规划教材

数控加工工艺与设备

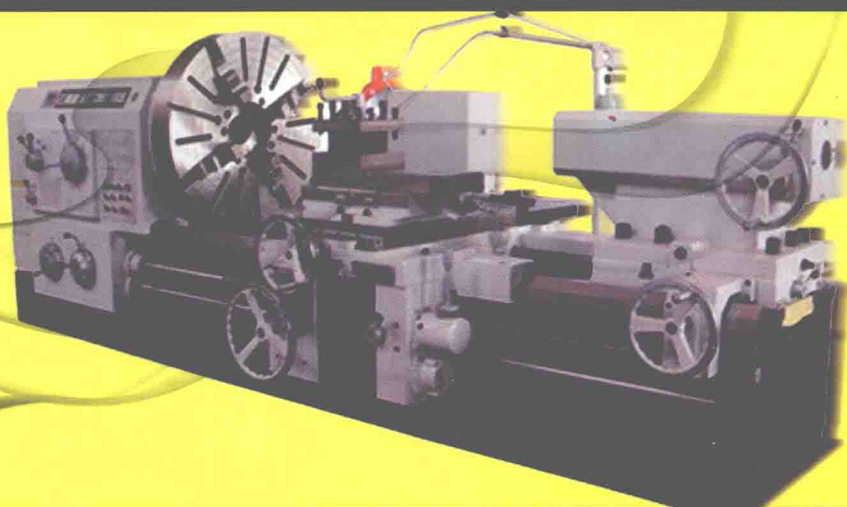
第2版

中国机械工业教育协会

全国职业培训教学工作指导委员会
机电专业委员会

组编

周晓宏 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



赠送电子教案

机电类新技师培养规划教材

数控加工工艺与设备

第2版

中国机械工业教育协会

全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会 组编

周晓宏 主编



机械工业出版社

本套教材是根据中国机械工业教育协会全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织制定的技师教学计划和教学大纲编写的。本教材的主要内容包括：数控加工工艺基础和切削基础，数控机床夹具，数控车削、数控铣削、加工中心、数控线切割和电火花成形加工工艺及设备，数控机床的安装、调试、验收及维护，以及现代新工艺与新设备。

本套教材的教学计划和大纲是依据《国家职业技能标准》中对技师的要求制定的，内容立足岗位，以必需、够用为度，符合职业教育的特点和规律。本套教材全部配有电子教案，包括教学计划和大纲、习题及其解答，可供高级技校、技师学院、高等职业院校等教育培训机构使用。

图书在版编目（CIP）数据

数控加工工艺与设备/周晓宏主编. —2 版. —北京：机械工业出版社，2013.9
机电类新技师培养规划教材
ISBN 978 - 7 - 111 - 43890 - 8

I. ①数… II. ①周… III. ①数控机床 - 加工工艺 - 技术培训 - 教材②数控机床 - 加工 - 设备 - 技术培训 - 教材
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 204700 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：王晓洁 责任编辑：王晓洁

责任印制：张楠 责任校对：陈秀丽

北京京丰印刷厂印刷

2013 年 10 月第 2 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·15.75 印张·385 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 43890 - 8

定价：29.80 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010) 68326294

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010) 88379649

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

机电类新技师培养规划教材

编审委员会

主 任	郝广发	季连海						
副 主 任	刘亚琴	李俊玲	周学奎	何阳春	林爱平	李长江	付志达	
	李晓庆	刘大力	张跃英	董桂桥				
委 员	于正明	王 军	王 德	王兆山	付志达	冯小平	李 涛	
	李全利	许炳鑫	张正明	杨君伟	何秉戌	周冠生	孟广斌	
	赵杰士	郝晶卉	贾恒旦	徐卫东	凌爱林	奚 蒙	章振周	
	梁文侠	喻勋良	曾燕燕					
策 划 组	李俊玲	张敬柱	王晓洁					
本书主编	周晓宏							
本书参编	刘向阳	肖 清						
本书主审	冯小平							

前 言

本教材第1版自2008年出版以来，受到了广大读者的普遍欢迎，为了使教材内容更符合职业教育机电类专业的教学要求，紧跟数控加工技术的最新发展，在保留教材原有特色的基础上，我们对第1版的内容进行了修订完善。对部分内容进行更新，增加了数控加工工艺分析实例和工艺编制项目训练的内容，补充了新技术和新工艺内容。

数控加工工艺是数控编程与操作的基础，是提高数控加工效率和加工质量的关键。在数控加工的生产实践过程中，会出现各种各样的工艺问题，要解决这些问题，要求操作人员与技术人员具有良好的工艺知识与工艺能力。本书从数控加工的实用角度出发，以数控机床的结构和数控加工的实际生产为基础，以掌握数控加工工艺为目标，在介绍数控加工工艺基础与切削技术基础、数控机床夹具和各种数控机床基本组成的基础上，分析了数控车削、数控铣削、加工中心、数控线切割及电火花成形加工等工艺。最后介绍了数控机床的安装、调试、验收及维护知识，以及现代新工艺与新设备。全书系统性、综合性、实用性强。在分析数控加工工艺过程中，精选了大量实例，这有利于读者提高数控加工能力。

本书由深圳技师学院周晓宏主编，刘向阳、肖清参编。冯小平主审。

由于编者水平有限，书中若有不妥或错误之处，恳请读者指正。

编 者

目 录

前言

第一章 数控加工工艺基础	1
第一节 基本概念	1
一、生产过程	1
二、工艺过程	1
三、机械加工工艺过程	1
四、机械加工工艺规程	2
五、加工余量	5
六、加工精度	6
七、表面质量	9
第二节 数控加工工艺概述	10
一、数控加工工艺系统的组成	10
二、数控加工工艺的特点	11
三、数控加工工艺的主要内容	11
四、数控加工工艺设计	11
复习思考题	17
第二章 数控加工切削基础	18
第一节 金属切削过程的规律及其应用	18
一、切屑的形成及类型	18
二、积屑瘤	19
三、切削热、切削温度与切削液	20
第二节 切削运动及切削要素	21
一、零件表面的形成	21
二、金属切削运动	22
三、切削要素	23
第三节 数控机床刀具	24
一、数控刀具系统	24
二、可转位刀具	26
三、数控刀具的选择	27
第四节 刀具切削参数的合理选择	28
一、刀具几何参数的合理选择	28
二、切削用量的合理选择	32
第五节 金属材料的切削加工性	33
一、切削加工性的概念	33
二、衡量切削加工性的指标	33
三、影响工件材料切削加工性的原因	34

四、改善工件材料切削加工性的措施	34
五、机械加工中常见毛坯的种类	35
六、毛坯的选择原则	35
复习思考题	36
第三章 数控机床夹具	37
第一节 机床夹具概述	37
一、机床夹具的概念	37
二、机床夹具的组成	37
三、机床夹具的分类	38
第二节 工件的定位与夹紧	39
一、工件的定位原理	39
二、工件的定位方法及定位元件	40
三、工件的夹紧	43
第三节 定位基准的选择	43
一、基准及其种类	43
二、定位基准的选择	44
第四节 数控机床常用夹具	46
一、数控机床的通用夹具	46
二、组合夹具	47
三、拼装夹具	52
第五节 项目训练：确定装夹方案并选择夹具	53
一、实训目的与要求	53
二、实训内容	53
复习思考题	53
第四章 数控车削加工工艺及设备	55
第一节 数控车床概述	55
一、数控车床的分类	55
二、数控车床的组成和布局	57
三、数控车床的典型结构	59
第二节 数控车削加工工艺的制订	61
一、分析零件图样	61
二、确定毛坯	62
三、确定装夹方法和对刀点	62
四、确定加工方案	63
五、刀具的选择	67

六、确定切削用量	69	一、加工中心的分类	119
第三节 典型零件的数控车削加工		二、加工中心的特点及使用过程	121
艺分析	72	三、加工中心的加工对象	121
一、轴类零件的数控车削加工工艺		四、加工中心的组成	123
分析	72	第二节 加工中心加工工艺的制订	124
二、轴套类零件的数控车削加工		一、加工方法的选择	124
艺分析	75	二、加工阶段的划分	125
三、盘类零件的数控车削加工工艺		三、加工顺序的安排	125
分析	78	四、装夹方案的确定和夹具的选择	125
四、配合件的数控车削加工工艺		五、刀具的选择	126
分析	80	六、进给路线的确定	134
第四节 项目训练: 数控车削零件		七、切削用量的选择	136
加工工艺的制订	82	第三节 加工中心高速切削加工	136
一、实训目的与要求	82	一、高速切削的概念	136
二、实训内容	83	二、高速切削的特点	137
复习思考题	83	三、高速切削的应用	137
第五章 数控铣削加工工艺及设备	84	四、高速切削加工刀具材料的	
第一节 数控铣床概述	84	种类及其选择	138
一、数控铣床的分类	84	五、高速干切削	142
二、数控铣床的组成	88	六、高速切削加工刀具的构造	
三、数控铣床的加工工艺范围	89	特点	142
第二节 数控铣削加工工艺的制订	90	第四节 在加工中心上加工典型零件的	
一、分析零件图样	90	工艺分析	144
二、选择合适的数控机床	90	一、在加工中心上加工盖板零件的	
三、合理安排加工顺序	91	工艺分析	144
四、选择夹具与零件的装夹方法	91	二、在加工中心上加工箱体类零件	
五、拟订加工工艺路线	91	的工艺分析	148
六、选择刀具	98	三、在加工中心上加工模具零件的	
第三节 典型零件的数控铣削加工		工艺分析	150
艺分析	106	四、在加工中心上加工异形件的	
一、平面凸轮的数控铣削加工工艺		工艺分析	152
分析	106	第五节 项目训练: 加工中心零件	
二、支架零件的数控铣削加工工艺		加工工艺的制订	155
分析	108	一、实训目的与要求	155
三、箱盖类零件的数控铣削加工		二、实训内容	155
艺分析	113	复习思考题	156
第四节 项目训练: 数控铣削零件		第七章 数控线切割加工工艺及	
加工工艺的制订	117	设备	158
一、实训目的与要求	117	第一节 数控线切割机床概述	158
二、实训内容	117	一、数控线切割加工原理	158
复习思考题	117	二、数控线切割机床的组成	158
第六章 加工中心加工工艺及设备	119	三、数控线切割加工的特点和用途	160
第一节 加工中心概述	119	四、数控线切割机床的型号及参数	

标准	160	规格和分类	181
五、数控线切割机床的主要技术		二、电火花机床的结构	181
参数	161	三、电火花机床的常见功能	186
第二节 线切割工艺参数对加工质量		第二节 电火花成形加工的工艺规律	188
的影响及其选择	162	一、电火花加工的常用术语	188
一、脉冲宽度对工艺指标的影响	162	二、影响材料放电腐蚀的因素	189
二、脉冲间隔对工艺指标的影响	162	三、电火花加工的工艺指标	191
三、短路峰值电流对工艺指标的		四、电火花加工工艺指标的变化	
影响	163	规律	192
四、开路电压对工艺指标的影响	163	五、电火花加工的稳定性	199
五、根据加工对象合理选择电参数	164	六、电火花加工工艺的制订	200
第三节 数控线切割机床加工工艺的		七、电火花加工中的工艺技巧	201
制订	167	第三节 典型零件的电火花加工工艺	
一、分析和审核图样	167	分析	202
二、加工前的工艺准备	169	一、型腔零件的加工工艺分析	202
三、加工与检验	172	二、注射模镶块的加工工艺分析	203
第四节 数控线切割加工的工艺技巧	173	第四节 项目训练：电火花成形加工	
一、复杂工件线切割加工的工艺		工艺的制订	205
方法	173	一、实训目的与要求	205
二、改善线切割加工表面粗糙度的		二、实训内容	205
措施	174	复习思考题	205
三、线切割加工中产生废品及影响		第九章 数控机床的安装、调试、	
质量的因素	175	验收及维护	207
四、线切割加工中预防工件报废或		第一节 数控机床的安装	207
质量差的方法	175	一、数控机床安装的环境要求	207
第五节 典型零件的数控线切割加工		二、数控机床安装的基本原则	207
工艺分析	176	三、数控机床安装的方法	207
一、防松垫圈的线切割加工工艺分析	176	四、数控机床安装的步骤	208
二、大、中型冷冲模的线切割加工		第二节 数控机床的调试	209
工艺分析	177	一、数控车床的调试	209
三、数字冲裁模的线切割凸凹模的		二、数控铣床的调试	211
加工工艺分析	177	三、加工中心的调试	212
四、异形孔喷丝板的线切割加工		第三节 数控机床的验收	213
工艺分析	178	一、数控机床性能的检验	213
第六节 项目训练：线切割加工工艺		二、数控功能的检验	213
的制订	179	三、数控机床精度的检验	214
一、实训目的与要求	179	第四节 数控机床的日常维护及保养	216
二、实训内容	179	一、数控机床日常维护工作的内容	216
复习思考题	180	二、点检	219
第八章 电火花成形加工工艺及		复习思考题	221
设备	181	第十章 现代新工艺与新设备	222
第一节 电火花成形加工机床概述	181	第一节 激光加工	222
一、电火花成形加工机床的型号、			

一、激光加工的原理	222	第五节 电解加工	230
二、激光加工的特点	222	一、电解加工的原理	230
三、激光加工设备的组成	222	二、电解加工的特点	230
四、激光加工的应用	223	三、电解加工的应用	231
第二节 超声加工	225	第六节 少无切削加工	232
一、超声加工的原理	225	一、胀光加工	232
二、超声加工的特点	225	二、滚压加工	232
三、超声加工设备的组成	225	三、滚轧成形加工	233
四、超声加工的应用	226	四、粉末冶金	234
第三节 电子束加工	227	第七节 快速成形技术	236
一、电子束加工的原理	227	一、快速成形原理和特点	236
二、电子束加工的特点	227	二、快速成形技术的分类	237
三、电子束加工的应用	228	三、快速成形技术的主要工艺方法	238
第四节 离子束加工	228	四、快速成形技术的应用	239
一、离子束加工的原理	229	复习思考题	240
二、离子束加工的特点	229	参考文献	241
三、离子束加工的应用	229		

第一章 数控加工工艺基础

本章应知

机械加工工艺过程的基本概念、数控加工工艺系统的组成

本章应会

数控加工工艺卡片的填写

第一节 基本概念

一、生产过程

生产过程是指将原材料转变为成品的全过程。例如，制造一台机器，其生产过程应该包括生产准备、毛坯制造、零件的机械加工及热处理、装配、质量检验，及试车、油漆、包装等。显然，有一台机器的生产过程，也有一个零件或部件的生产过程；有一个工厂的生产过程，也有一个车间的生产过程。

二、工艺过程

工艺过程是改变生产对象的形状、尺寸、相对位置和性质等，使其成为成品或半成品的过程。工艺过程是生产过程中的主要过程，其余的劳动过程则是生产过程中的辅助过程。

三、机械加工工艺过程

机械加工工艺过程是在机械加工车间进行的那一部分工艺过程。一个零件的机械加工工艺过程通常是多种多样的，这就必须根据产品的要求和具体的生产条件分析比较，选择其中最合理的一个机械加工工艺过程进行生产。

机械加工工艺过程是由一个或若干个顺序排列的工序（安装、工位、工步、进给）组成，毛坯依次通过这些顺序就成为成品。

1. 工序

工序是指一个或一组工人，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。工序是组成工艺过程的基本单元，也是生产计划的基本单元。

工序包括四个要素，即安装、工步、工位、进给。划分工序的主要依据是工作地是否变动和加工是否连续。图 1-1 所示为阶梯轴简图，表 1-1 和表 1-2 是该轴的工艺过程。

在表 1-1 的工序 2 中，先车工件的一端，然后调头装夹，再车另一端。对每一个工件来说，加工是连续的，这些加工内容属一个工序。如果先车好一批工件的一端，然后调头再车这批工件

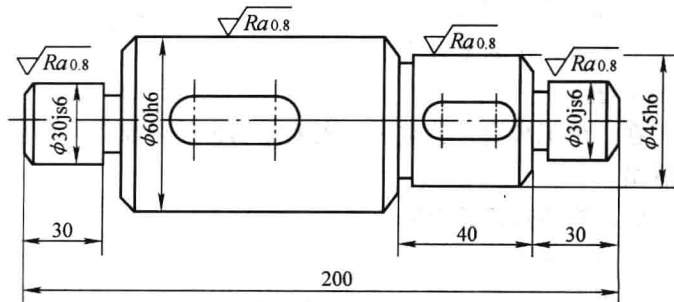


图 1-1 阶梯轴简图

的另一端,这时对每一个工件来说,两端的加工已不连续,所以应视作两道工序,如表 1-2 的工序 2 和 3。

表 1-1 阶梯轴工艺过程 (生产量较小时)

工序号	工 序 内 容	设备 (地点)	工序号	工 序 内 容	设备 (地点)
1	车端面、钻中心孔	车床	3	铣键槽、去毛刺	铣床
2	车外圆、切槽和倒角	车床	4	磨外圆	磨床

表 1-2 阶梯轴工艺过程 (生产量较大时)

工序号	工 序 内 容	设备 (地点)	工序号	工 序 内 容	设备 (地点)
1	两边同时铣端面, 钻中心孔	组合机床	4	铣键槽	铣床
2	车小端外圆, 切槽和倒角	车床	5	去毛刺	钳工台
3	车大端外圆, 切槽和倒角	车床	6	磨外圆	磨床

2. 安装

将工件在机床上或夹具中定位、夹紧的过程称之为装夹。工件 (或装配单元) 经一次装夹所完成的那一部分工序称之为安装。工件在一道工序中, 可能有一次或几次安装。如表 1-1 的工序 1 要进行两次装夹: 先装夹工件一端, 车端面、钻中心孔, 称为安装 A; 再调头装夹, 车另一端面, 钻中心孔, 称为安装 B。

工件在加工过程中, 应尽量减少装夹次数, 以节省装夹时间, 减少装夹误差。

3. 工位

工件经一次装夹后, 工件相对刀具或设备的固定部分, 先后处于不同的位置进行加工。此时, 一个加工位置即为一个工位。

如表 1-2 中的工序 1 铣端面和钻中心孔就是两个工位。工件装夹后先铣两端面, 即工位 1, 然后移动到另一个位置上钻中心孔, 即工位 2, 如图 1-2 所示。

4. 工步

在加工表面 (或装配时的连接面) 和加工 (或装配) 工具不变的情况下, 连续完成的那一部分工序称为工步。

为了提高生产率, 用几把刀具同时加工几个表面, 这也可看作一个工步, 称为复合工步。

5. 进给

在一个工步内, 若被加工表面需切去的金属较厚, 就可分几次切除, 每切削一次称为一次进给。

四、机械加工工艺规程

1. 工艺规程

将机械加工工艺过程的各项内容用文字或表格形式写成工艺文件, 就是机械加工工艺规程。

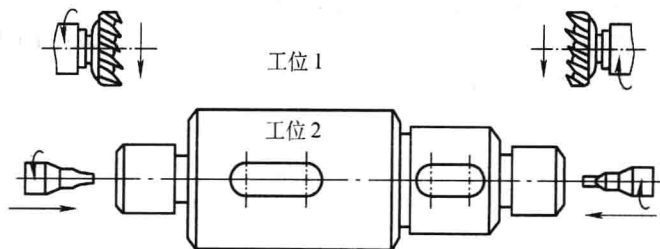


图 1-2 铣端面钻中心孔 (多工位加工)

2. 工艺规程的作用

工艺规程是指导工人操作和组织管理生产的主要技术文件；是工厂和车间进行设计或技术改造的重要原始资料。

工艺规程是在总结实践经验的基础上，依照科学的理论和必要的工艺试验后制订，并经逐级审批。它反映了加工中的客观规律，有关人员必须严格执行，这是工厂生产中的工艺纪律。当然，工艺规程不是一成不变的，随着科学技术的进步和生产的发展，应定期对其修改，使工艺规程更加完善合理。

3. 工艺规程的格式

机械加工中常用的工艺规程格式有：

(1) 工艺过程卡片 工艺过程卡片以工序为单位，主要列出零件加工的工艺路线，简要说明各工艺的概况。工艺过程卡片一般作为生产管理方面使用，在单件小批生产中也可用以指导生产。其格式见表 1-3。

表 1-3 工艺过程卡片

工厂	工艺过程 卡片	产品名称及型号		零件名称		零 件 图 号						
		材 料	名称	毛 坯	种类	零件质量/kg	毛质量	第 页				
			牌号		尺寸		净质量	共 页				
			性能				每台件数			每批件数		
工序号	工序内容			加工 车间	设备名称 及编号	工艺装备名称及编号			技术 等级	时间定额/min		
						夹具	刀具	量具		单件	准备终结	
更改内容												
编 制				校 对			审 核			会 签		

(2) 机械加工工艺卡片 机械加工工艺卡片是以工序为单位，详细说明整个工艺过程的工艺文件，广泛应用于成批生产的零件和单件生产中的重要零件。其格式见表 1-4。

(3) 机械加工工序卡片 机械加工工序卡片是按每道工序编制的一种工艺文件。一般附有序简图，并详细说明该工序中每个工步的详细内容。工序卡片主要用于大批大量生产中的所有零件，以及中批生产中复杂零件和单件小批生产中的关键工序。其格式见表 1-5。

表 1-4 机械加工工艺卡片

工厂		机械加工工艺卡片		产品名称及型号		零件名称		零件图号									
				材料	名称	毛坯	种类	零件质量/kg	毛质量	第 页							
					牌号		尺寸		净质量		共 页						
					性能		每台件数		每批件数								
工序	安装	工步	工序内容	同时加工零件数	切削用量				设备名称及编号	工艺装备名称及编号			工时定额/min				
					背吃刀量/mm	切削速度/(m/min)	每分钟转数/(r/min) 或每分钟双行程数/(双行程数/min)	进给量/(mm/r) 或进给量/(m/min)		夹具	刀具	量具	技术等级	单件	准备终结		
更改内容																	
编 制						校 对				审 核				会 签			

表 1-5 机械加工工序卡片

x × 厂	机械加工工序卡片	产品名称及型号		零件名称		零件图号		工序名称		工序号		第 页					
												共 页					
工序简图		车 间		工 段		材料名称		材料牌号		力学性能							
		同时加工件数		技术等级		单件时间/min		准备终结时间/min									
		设备名称		设备编号		夹具名称		夹具编号		切削液							
		更改内容															
工步号	工步内容	计算数据			进给次数/次	切削用量				工时定额/min			刀具、量具及辅助工具				
		直径或长度/mm	进给长度/mm	单边余量/mm		背吃刀量/mm	进给量/(mm/r) 或进给量/(m/min)	每分钟转数/(r/min) 或每分钟双行程数/(双行程数/min)	切削速度/(m/min)	基本时间	辅助时间	工作地点服务时间	工步号	名称	规格	编号	数量
编 制						校 对				审 核				会 签			

五、加工余量

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。余量有总加工余量和工序余量之分。由毛坯转变为零件的过程中,在某加工表面上切除金属层的总厚度,称为该表面的总加工余量(也称为毛坯余量)。一般情况下,总加工余量并非一次切除,而是分在各工序中逐渐切除,故每道工序所切除的金属层厚度称为该工序的加工余量(简称工序余量)。工序余量是相邻两工序的工序尺寸之差,毛坯余量是毛坯尺寸与零件图样的设计尺寸之差。

由于工序尺寸有公差,故实际切除的余量大小不等。

2. 影响加工余量的因素

在确定工序的具体内容时,其工作之一就是合理地确定工序加工余量。加工余量的大小对零件的加工质量和制造的经济性均有较大的影响。加工余量过大,必然增加机械加工的劳动量,降低生产率,增加原材料、设备、工具及电力等的消耗;加工余量过小,又不能确保切除上一工序形成的各种误差和表面缺陷,影响零件的质量,甚至产生废品。工序加工余量(公称值,以下同)除可用相邻工序的工序尺寸表示外,还可以用另外一种方法表示,即:工序加工余量等于最小加工余量与前道工序尺寸公差之和。因此,在讨论影响工序加工余量的因素时,应首先研究影响最小工序加工余量的因素。

影响最小加工余量的因素较多,现将主要影响因素分单项介绍如下。

(1) 前道工序形成的表面粗糙度和缺陷层深度(Ra 和 D_s) 为了使工件的加工质量逐步提高,一般每道工序都应切到待加工表面以下的正常金属组织,将上道工序形成的表面粗糙度和缺陷层切掉。

(2) 前道工序形成的形状误差和位置误差(Δ_x 和 Δ_w) 当形状公差、位置公差和尺寸公差之间相互独立时,尺寸公差不控制形状公差和位置公差。此时,最小加工余量应保证将前道工序形成的形状误差和位置误差切掉。

3. 确定加工余量的方法

确定加工余量的方法有以下三种。

(1) 查表修正法 根据生产实践和试验研究,现在已将毛坯余量和各种工序的工序余量数据收入手册。确定加工余量时,可从手册中获得所需数据,然后结合工厂的实际情况进行修正。查表时应注意,表中的数据为公称值,对称表面(轴、孔等)的加工余量是双边余量,非对称表面的加工余量是单边余量。这种方法目前应用最广。

(2) 经验估计法 此法是根据实践经验来确定加工余量的。为防止加工余量不足而产生废品,往往估计的数值偏大,因而这种方法只适用于单件、小批生产。

(3) 分析计算法 这是根据加工余量计算公式和一定的试验资料,通过计算确定加工余量的一种方法。

采用这种方法确定的加工余量比较经济合理,但必须有比较全面可靠的试验资料及先进的计算手段方可进行,目前应用较少。

在确定加工余量时,总加工余量和工序加工余量要分别确定。总加工余量的大小与选择的毛坯制造精度有关。用查表法确定工序加工余量时,粗加工工序的加工余量不应查表确定,而是用总加工余量减去各工序余量求得。同时,要对求得的粗加工工序余量进行分析,如果过小,要增大总加工余量;如果过大,应适当减小总加工余量,以免造成浪费。

六、加工精度

1. 加工精度的概念

加工精度是加工后零件表面的实际尺寸、形状、位置三种几何参数与图样要求的理想几何参数的符合程度。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。零件实际几何参数与理想几何参数的偏离数值称为加工误差。

加工精度与加工误差都是评价加工表面几何参数的术语。加工精度用标准公差等级衡量，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。加工精度高，就是加工误差小，反之亦然。

任何加工方法所得到的实际参数都不会绝对准确，从零件的功能看，只要加工误差在零件图要求的公差范围内，就认为保证了加工精度。

机器的质量取决于零件的加工质量和机器的装配质量，零件加工质量包含零件加工精度和表面质量两大部分。

加工精度包括三个方面的内容：

尺寸精度：指加工后零件的实际尺寸与零件尺寸的公差带中心的符合程度。

形状精度：指加工后的零件表面的实际几何形状与理想的几何形状的符合程度。

位置精度：指加工后零件有关表面之间的实际位置与理想位置的符合程度。

2. 影响加工精度的因素

工艺系统中的各组成部分（包括机床、刀具、夹具等）的制造误差、安装误差和使用中的磨损都直接影响工件的加工精度。也就是说，在加工过程中工艺系统会产生各种误差，从而改变刀具和工件在切削运动过程中的相互位置关系而影响零件的加工精度。这些误差与工艺系统本身的结构状态和切削过程有关。

（1）系统的几何误差

①机床的几何误差。机床的制造误差、安装误差以及使用中的磨损，都直接影响工件的加工精度。其中主要是机床主轴回转运动、机床导轨直线运动和机床传动链的误差。

②加工原理误差。加工原理误差是由于采用了近似的加工运动方式或者近似的刀具轮廓而产生的误差，因在加工原理上存在误差，故称为加工原理误差。只要原理误差在允许范围内，这种加工方式仍是可行的。

③夹具误差。夹具误差包括定位误差、夹紧误差、夹具安装误差及对刀误差等。这些误差主要与夹具的制造和装配精度有关。

④刀具的制造误差及磨损。刀具的制造误差、安装误差以及使用中的磨损，都影响工件的加工精度。在切削过程中，刀具的切削刃、刀面，与工件、切屑产生强烈摩擦，使刀具磨损。当刀具磨损达到一定值时，工件的表面粗糙度增大，切屑颜色和形状发生变化，并伴有振动。刀具磨损将直接影响切削生产率、加工质量和加工成本。

（2）工艺系统的受力变形 由机床、夹具、工件、刀具所组成的工艺系统是一个弹性系统，在加工过程中由于切削力、传动力、惯性力、夹紧力以及重力的作用，会产生弹性变形，从而破坏了刀具与工件之间的准确位置，产生加工误差。例如，车削细长轴时，如图1-3所示，在切削力的作用下，工件因弹性变形而出现“让刀”现象。随着刀具的进给，在工件的全长上背吃刀量将会由多变少，然后再由少变多，结果使零件产生腰鼓形。

工艺系统受力变形对加工精度的影响主要有以下两个方面。

1) 切削过程中受力点位置变化引起的加工误差。切削过程中, 工艺系统的刚度随切削力着力点位置的变化而变化, 引起系统变形的差异, 使零件产生加工误差。

在两顶尖间车削粗而短的光轴时, 由于工件刚度较大, 在切削力作用下的变形相对机床、夹具和刀具的变形要小得多, 故可忽略不计。此时, 工艺系统的总变形完全取决于机床床头、尾座 (包括顶尖) 和刀架 (包括刀具) 的变形, 工件产生的误差为双曲线圆柱度误差。

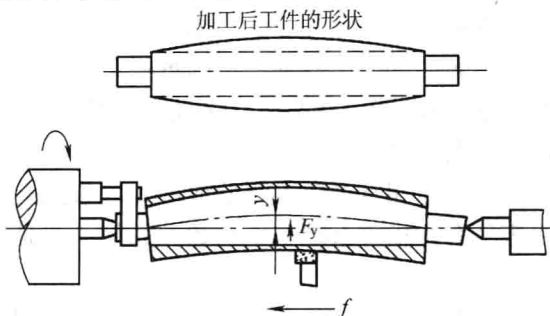


图 1-3 细长轴在车削时受力变形

在两顶尖间车削细长轴时, 由于工件细长、刚度小, 在切削力作用下, 其变形

大大超过机床、夹具和刀具的受力变形。因此, 机床、夹具和刀具的受力变形可略去不计。此时, 工艺系统的变形完全取决于工件的变形, 即工件产生的腰鼓形圆柱度误差。

2) 毛坯加工余量不均, 材料硬度变化导致切削力大小变化引起的加工误差——复映误差。工件的毛坯外形虽然具有粗略的零件形状, 但在尺寸、形状以及表面层材料硬度均匀性上都有较大的误差。毛坯的这些误差在加工时使背吃刀量不断发生变化, 导致切削力的变化, 进而引起工艺系统产生相应的变形, 使零件在加工后还保留与毛坯表面类似的形状或尺寸误差。当然, 工件表面残留的误差比毛坯表面误差要小得多, 这种现象称为“误差复映规律”, 所引起的加工误差称为“复映误差”。

减小工艺系统受力变形的措施主要有: ①提高工件加工时的刚度; ②提高工件安装时的夹紧刚度; ③提高机床部件的刚度。

(3) 工艺系统的热变形 机械加工中, 工艺系统在各种热源的作用下会产生一定的热变形。由于工艺系统热源分布的不均匀性及各环节结构、材料的不同, 使工艺系统各部分的变形产生差异, 从而破坏了刀具与工件的准确位置及运动关系, 产生加工误差。尤其对于精密加工, 热变形引起的加工误差占总误差的一半以上。

在加工过程中, 工艺系统的热源主要有内部热源和外部热源两大类。内部热源来自切削过程, 主要包括切削热、摩擦热和派生热源。外部热源主要来自于外部环境, 主要包括环境温度和热辐射。这些热源产生的热造成工件、刀具和机床的热变形。

减少工艺系统热变形的措施主要有: ①减少工艺系统的热源及其发热量; ②加强冷却, 提高散热能力; ③控制温度变化, 均衡温度; ④采用补偿措施; ⑤改善机床结构, 改善机床结构, 首先应考虑结构的对称性: 一方面, 传动元件 (轴承、齿轮等) 在箱体内安装应尽量对称, 使其传给箱壁的热量均衡, 变形相近; 另一方面, 有些零件 (如箱体) 应尽量采用热对称结构, 以便受热均匀; ⑥注意合理选材, 对精度要求高的零件尽量选用膨胀系数小的材料。

(4) 工件残余应力引起的误差 残余应力是指当外部载荷去掉以后仍存留在工件内部的应力。残余应力是由于金属发生了不均匀的体积变化而产生的, 其外界因素来自热加工和冷加工。有残余应力的零件处于一种不稳定状态, 一旦其内应力的平衡条件被打破, 内应力的分布就会发生变化, 从而引起新的变形, 影响加工精度。

内应力产生的原因主要有：毛坯制造中产生的内应力、冷校正产生的内应力及切削加工产生的内应力。

减小或消除内应力的措施主要包括：采用适当的热处理工序；给工件足够的变形时间；零件结构要合理、简单，壁厚要均匀。

(5) 调整误差 零件加工的每一个工序中，为了获得被加工表面的形状、尺寸和位置精度，总要对机床、夹具和刀具进行调整。任何调整工作必然会带来一些原始误差，这种原始误差即调整误差。

(6) 数控机床产生误差的独特性 数控机床与普通机床最主要的差别有两点：一是数控机床具有“指挥系统”——数控系统，二是数控机床具有执行运动的驱动系统——伺服系统。

在数控机床上所产生的加工误差与在普通机床上产生的加工误差，其来源有许多共同之处，但也有独特之处。例如，伺服进给系统的跟踪误差、检测系统中的采样延滞误差等，这些都是普通机床加工时所没有的。所以，在数控加工中，除了要控制在普通机床上加工时常出现的那些误差源以外，还要有效地抑制数控加工时才可能出现的误差源。这些误差源对加工精度的影响主要有以下几个方面：

1) 机床重复定位精度的影响。数控机床的定位精度是指数控机床各坐标轴在数控系统的控制下运动的位置精度。引起定位误差的因素包括数控系统的误差和机械传动的误差。数控系统的误差与插补误差、跟踪误差等有关。机床重复定位精度是指重复定位时坐标轴的实际位置和理想位置的符合程度。

2) 检测反馈装置的影响。检测反馈装置也称为反馈元件，通常安装在机床工作台或丝杠上，相当于普通机床的刻度盘和人的眼睛。检测反馈装置将工作台位移量转换成电信号，反馈给数控装置，如果与指令值比较有误差，则控制工作台向消除误差的方向移动。数控系统按有无检测反馈装置可分为开环、闭环与半闭环系统。开环系统精度取决于步进电动机和丝杠精度，闭环系统精度取决于检测反馈装置精度。检测反馈装置是高性能数控机床的重要组成部分。

3) 刀具误差的影响。在加工中心上，由于采用的刀具具有自动交换功能，因而在提高生产率的同时，也带来了刀具交换误差。用同一把刀具加工一批工件时，由于频繁重复换刀，致使刀柄相对于主轴锥孔产生重复定位误差而降低加工精度。

3. 提高加工精度的工艺措施

保证和提高加工精度的方法，大致可概括为以下几种：减小原始误差法、转移原始误差法、补偿原始误差法、就地加工法、均分原始误差法和均化原始误差法。

(1) 减小原始误差法 这是生产中应用较广的一种基本方法。它是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，车削细长轴时，现在采用了大进给反向车削法，基本消除了轴向切削力引起的弯曲变形。若辅之以弹簧顶尖，则可进一步消除热变形引起的热伸长的影响。

(2) 转移原始误差法 这种方法实质上是转移工艺系统的几何误差、受力变形和热变形等。

转移原始误差法的实例很多。当机床精度达不到零件加工要求时，常常不是一味提高机床精度，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