



机电类 **新技师** 培养规划教材

数控加工工艺与设备

SHUKONG JIAGONG GONGYI YU SHEBEI

中国机械工业教育协会

组编

全国职业培训教学工作指导委员会
机电专业委员会

周晓宏 主编



赠送 电子教案



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

机电类新技师培养规划教材

数控加工工艺与设备

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，以及数控机床的安装、调试、验收及维护。

本套教材的教学计划和大纲是依据《国家职业标准》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. —北京：机械工业出版社，2008.1
机电类新技师培养规划教材
ISBN 978 - 7 - 111 - 23299 - 5

I. 数… II. 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（2008）第 005211 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：王英杰
责任编辑：马 晋 责任校对：姚培新
封面设计：王伟光 责任印制：邓 博
北京京丰印刷厂印刷
2008 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷
184mm×260mm·14.75 印张·362 千字
0 001—4 000 册
标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 23299 - 5
定价：26.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
销售服务热线电话：（010）68326294
购书热线电话：（010）88379639 88379641 88379643
编辑热线电话：（010）88379083
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 徐 彤 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 王英杰 付志达 冯小平

李 涛 李全利 许炳鑫 张正明 杨君伟 何月秋 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 王英杰 徐 彤 何月秋 荆宏智

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

随着全球知识经济的快速发展,我国工业化建设也呈现迅猛发展之势,因而技术工人十分缺乏。为了顺应形势的发展要求,我国出台了一系列大力发展职业教育的政策:劳动和社会保障部颁布了最新《国家职业标准》,继续实行职业准入制度,并将国家职业资格由三级(初、中、高)改为五级(初、中、高、技师、高级技师),对技术工人的工作内容、技能要求和相关知识进行了重新界定。教育部根据国务院“大力开展职业教育”的精神进行了职业教育的改革,高职院校、中职学校相应地改制、扩招,以培养更多的技术工人。

经过几年的努力,技术工人在数量上的矛盾在一定程度上得到缓解,但在结构比例上的矛盾突显出来。高级工、技师、高级技师等高技能人才在技术工人中的比重远远低于发达国家,而且他们年龄普遍偏大,文化程度偏低,学习高新技能比较困难。为打破这一局面,加快数量充足、结构合理、素质优良的技术技能型、复合技能型和知识技能型高技能人才的培养,劳动和社会保障部提出的“新技师培养带动计划”,即在完成“3年50万”新技师培养计划的基础上,力争“十一五”期间在全国培养技师和高级技师190万名,培养高级技工700万名,使我国从“世界制造业大国”逐步转变为“世界制造业强国”。为此,劳动和社会保障部决定:除在企业中培养和评聘技师外,要探索出一条在技师学院中培养技师的道路来。中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会经研究决定,制定机电行业的技师培养方案。

在上述原则的指导下,中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织30多所高级技校、技师学院和企业培训中心等单位,经过广泛的调研论证,决定首批选定五个工种(职业)——模具工、机修钳工、电气维修工、焊工、数控机床操作工作为在技师学院培养技师的试点。对学制、培养目标、教学原则、专业设置、教学计划、教学大纲、课程设置、学时安排、教材定位、编写方式等,参照《国家职业标准》中相关工种对技师和高级技师的要求,结合各校、各地区企业的实际,经过历时三年的充分论证,完成了教学计划和教学大纲的制定和审定工作,并明确了教材编写的思想。

使用本套“机电类新技师培养规划教材”在技师学院培养技师,招收的学员必须符合的条件是:已取得高级职业资格(国家职业资格三级)的高级技校的毕业生,或具有高级职业资格证书的本职业或相近职业的人员。本套教材的编写充分体现“教、学、做”合一的职教办学原则,其特点如下:

(1) 教材内容新,贴合岗位实际,满足职业鉴定要求。当今国际经济大格局的进程加快了各类型企业的先进加工技术、先进设备和新材料的使用,作为技师必须适应这种要求,教材中也相应增加了新知识、新技术、新工艺、新设备等方面的内容。另外,教材的内容以《国家职业标准》中对技师和高级技师的知识技能要求为基础,设置的实训项目或实例从岗

位的实际需要出发,是生产实践中的综合性、典型性的技术问题,既最大限度地体现学以致用目的,又满足学生毕业考工取得职业资格证书的需要。

(2) 针对每个工种(职业),均编写一本《相关工种技能训练》。随着全球化进程的加快,我国的生产力发展水平和职业资格体系应与国际相适应,因此,技师应该是具有高超操作技能的复合型人才。例如,模具工技师不应仅是模具工方面的行家里手,还应懂得车、铣、数控、磨、刨、镗和线切割、电火花等加工,以适应现代制造业的发展趋势,故此《相关工种技能训练(模具工)》中,就包含上述内容。其他工种与此类似。

(3) 理论和技能有机结合。劳动和社会保障部颁布的“新技师培养带动计划”中明确指出“建立校企合作培养高技能人才”的制度,现在许多技师学院从企业中聘请具有丰富实践经验的工程技术人员作为技能课教师,各专题理论与实践融合在一起的编写方式,更适于这种教学制度。

(4) 单独编写了两本公共课教材——《实用数学》和《应用文写作》。新时代对技师的要求不仅是技术技能型人才,还应是知识技能型甚至是复合技能型的高技能人才,有一定的数学理论基础和写作能力是新技师必备的素质。《实用数学》运用微积分知识分析解决生产中的实际问题,少推理,重应用;《应用文写作》除介绍、普通事务文书、经济文书、法律文书、日常事务文书的写法外,还教授科技文书的写法,其中科技论文的写法对于技师论文的写作会有很大裨益。

(5) 本套教材配有电子教案。电子教案包括教学计划、教学大纲、每章的培训目标、内容简介、重点难点,教师上课的板书,本章小结、配套习题及答案等等。

(6) 练习题是国家题库及各地鉴定考题的综合归纳和提升。

本套教材的编写得到了各技师学院、高级技工学校领导的高度重视和大力支持,编写人员都是职业教育教学一线的优秀教师,保障了这套教材的质量。在此,对为这套教材出版给予帮助和支持的所有学校、领导、老师表示衷心的感谢!

本书由周晓宏统稿并任主编,刘向阳、肖清参加编写,冯小平任主审。

由于编写时间和编者水平所限,书中难免存在不足或错误,敬请广大读者不吝赐教!

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

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 数控加工工艺系统 10

一、数控加工工艺系统的组成 10

二、数控加工刀具的种类和特点 11

三、数控机床夹具的种类和特点 13

第三节 数控加工工艺概述 15

一、数控加工工艺的特点 15

二、数控加工工艺的主要内容 15

三、数控加工工艺设计 15

复习思考题 21

第二章 数控加工切削基础 22

第一节 金属切削过程的规律及其应用 22

一、切屑的形成及类型 22

二、积屑瘤 23

三、切削热、切削温度与切削液 24

第二节 切削运动及切削要素 25

一、零件表面的形成 25

二、金属切削运动 26

三、切削要素 27

第三节 数控机床刀具 28

一、数控刀具系统 28

二、可转位刀具 32

三、数控刀具的选择 33

第四节 刀具切削参数的合理选择 34

一、刀具几何参数的合理选择 34

二、切削用量的合理选择 38

第五节 金属材料的切削加工性 39

一、切削加工性的概念 39

二、衡量切削加工性的指标 39

三、影响工件材料切削加工性的

原因 40

四、改善工件材料切削加工性的

措施 40

复习思考题 41

第三章 数控机床夹具 42

第一节 机床夹具概述 42

一、机床夹具的概念 42

二、机床夹具的组成 42

三、机床夹具的分类 43

第二节 工件的定位与夹紧 44

一、工件的定位原理 44

二、工件的定位方法及定位元件 45

三、工件的夹紧 48

第三节 定位基准的选择 48

一、基准及其种类 48

二、定位基准的选择 49

第四节 数控机床常用夹具 51

一、数控机床的通用夹具 51

二、组合夹具 52

复习思考题 57

第四章 数控车削加工工艺及设备 58

第一节 数控车床概述 58

一、数控车床的用途和分类 58

二、数控车床的特点和发展 59

三、数控车床的组成和布局 59

四、数控车床的典型结构 61

第二节 数控车削加工工艺的制定 63

一、分析零件图样 63

二、确定毛坯 64

三、确定装夹方法和对刀点 64

四、确定加工方案 65

五、刀具的选择 69

六、确定切削用量 71

第三节 典型零件的数控车削加工工

艺分析 74

一、轴类零件的数控车削加工工艺分析	74	四、装夹方案的确定和夹具的选择	129
二、轴套类零件的数控车削加工工艺分析	77	五、刀具的选择	130
三、盘类零件的数控车削加工工艺分析	80	六、进给路线的确定	138
复习思考题	82	七、切削用量的选择	139
第五章 数控铣削加工工艺及设备	83	第三节 在加工中心上加工典型零件的工艺分析	140
第一节 数控铣床概述	83	一、在加工中心上加工盖板零件的工艺分析	140
一、数控铣床的分类	83	二、在加工中心上加工箱体类零件的工艺分析	144
二、数控铣床的组成	84	三、在加工中心上加工模具零件的工艺分析	146
三、数控铣床的传动系统	86	复习思考题	148
四、数控铣床主传动系统的变速方式	87	第七章 数控线切割加工工艺及设备	149
五、数控铣床主轴端部的结构	88	第一节 数控线切割机床概述	149
六、升降台自动平衡装置	88	一、数控线切割加工原理	149
七、数控铣床的加工工艺范围	89	二、数控线切割机床的基本组成	149
第二节 数控铣削加工工艺的制定	90	三、数控线切割加工的特点和用途	150
一、分析零件图样	90	四、数控线切割机床的型号及参数标准	150
二、选择合适的数控机床	90	五、数控线切割机床的主要技术参数	151
三、合理安排加工顺序	90	第二节 线切割工艺参数对加工质量的影响及其选择	152
四、选择夹具与零件的装夹方法	91	一、脉冲宽度对工艺指标的影响	152
五、拟定加工工艺路线	91	二、脉冲间隔对工艺指标的影响	152
六、选择刀具	98	三、短路峰值电流对工艺指标的影响	153
第三节 典型零件的数控铣削加工工艺分析	106	四、开路电压对工艺指标的影响	153
一、平面凸轮的数控铣削加工工艺分析	106	五、根据加工对象合理选择电参数	154
二、支架零件的数控铣削加工工艺分析	108	第三节 数控线切割机床加工工艺的制定	157
三、箱盖类零件的数控铣削加工工艺分析	113	一、分析和审核图样	157
复习思考题	116	二、加工前的工艺准备	159
第六章 加工中心加工工艺及设备	118	三、加工与检验	163
第一节 加工中心概述	118	第四节 数控线切割加工的工艺技巧	164
一、加工中心的分类	118	一、复杂工件线切割加工的工艺方法	164
二、加工中心的特点及使用过程	120	二、改善线切割加工表面粗糙度的措施	164
三、加工中心的加工对象	120	三、线切割加工中产生废品及影响质量的因素	165
四、加工中心的组成	121		
五、加工中心的典型结构	122		
第二节 加工中心加工工艺的制定	128		
一、加工方法的选择	128		
二、加工阶段的划分	128		
三、加工顺序的安排	128		

四、线切割加工中预防工件报废或质量差的方法	165	一、数控车床的调试	198
第五节 典型零件的数控线切割加工		二、数控铣床的调试	200
工艺分析	166	三、加工中心的调试	201
一、防松垫圈的线切割加工工艺分析	166	第三节 数控机床的验收	202
二、大、中型冷冲模的线切割加工		一、数控机床性能的检验	202
工艺分析	167	二、数控功能的检验	202
三、数字冲裁模的线切割凸凹模的		三、数控机床精度的检验	203
加工工艺分析	167	第四节 数控机床的日常维护及保养	205
四、异形孔喷丝板的线切割加工		一、数控机床日常维护工作的内容	205
工艺分析	168	二、点检	208
复习思考题	169	复习思考题	210
第八章 电火花成形加工工艺及设备	171	第十章 现代新工艺与新设备	211
第一节 电火花成形加工机床概述	171	第一节 激光加工	211
一、电火花成形加工机床的型号、规格和分类	171	一、激光加工的原理	211
二、电火花机床的结构	171	二、激光加工的特点	211
三、电火花机床的常见功能	176	三、激光加工设备的组成	211
第二节 电火花成形加工的工艺规律	178	四、激光加工的应用	212
一、电火花加工的常用术语	178	第二节 超声加工	214
二、影响材料放电腐蚀的因素	179	一、超声加工的原理	214
三、电火花加工的工艺指标	181	二、超声加工的特点	214
四、电火花加工工艺指标的变化规律	182	三、超声加工设备的组成	214
五、电火花加工的稳定性	189	四、超声加工的应用	215
六、电火花加工工艺的制定	190	第三节 电子束加工	216
七、电火花加工中的工艺技巧	191	一、电子束加工的原理	216
第三节 典型零件的电火花加工工艺		二、电子束加工的特点	216
分析	192	三、电子束加工的应用	217
一、型腔零件的加工工艺分析	192	第四节 离子束加工	217
二、注射模镶块的加工工艺分析	193	一、离子束加工的原理	218
复习思考题	195	二、离子束加工的特点	218
第九章 数控机床的安装、调试、验收及维护	196	三、离子束加工的应用	218
第一节 数控机床的安装	196	第五节 电解加工	219
一、数控机床安装的环境要求	196	一、电解加工的原理	219
二、数控机床安装的基本原则	196	二、电解加工的特点	219
三、数控机床安装的方法	196	三、电解加工的应用	220
四、数控机床安装的步骤	197	第六节 少无切削加工	221
第二节 数控机床的调试	198	一、胀光加工	221
		二、滚压加工	221
		三、滚轧成形加工	222
		四、粉末冶金	223
		复习思考题	225
		参考文献	226

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

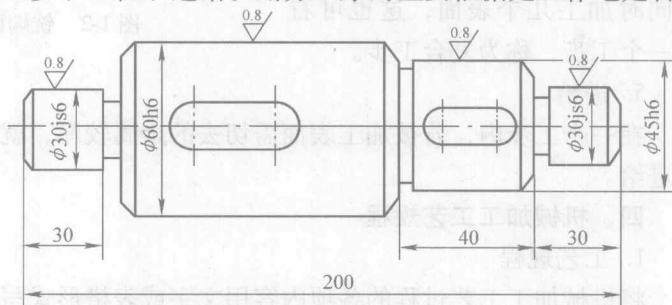


图 1-1 阶梯轴简图

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。

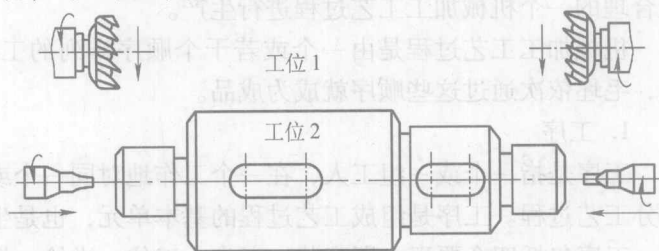


图 1-2 铣端面钻中心孔(多工位加工)

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定，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 该卡以工序为单位，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 工艺过程综合卡片

工厂	工艺过程 综合卡片	产品名称及型号		零件名称		零 件 图 号			备 注		
		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			备 注	

(2) 工艺卡片 该卡是以工序为单位，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 14。

(3) 工序卡片 该卡是按每道工序编制的一种工艺文件。一般附有工序简图，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。

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(亦称毛坯余量)。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) 前工序形成的表面粗糙度和缺陷层深度(R_a 和 D_a) 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) 前工序形成的形状误差和位置误差(Δ_s 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,故目前应用较少。

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,要增加总加工余量;过大,应适当减少总加工余量,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相符合程度。

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相符合程度。

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相符合程度。

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。

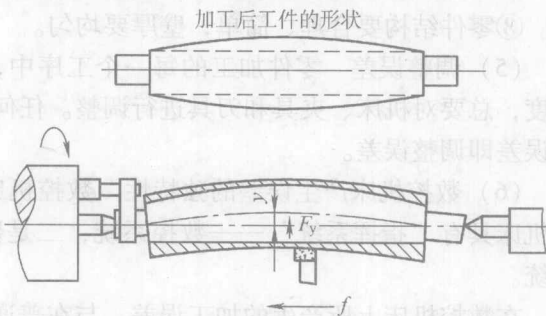


图 1-3 细长轴在车削时受力变形

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：①采用适当的热处理工序。②给工件足够的变形时间。③零件结构要合理、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，细长轴的车削，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