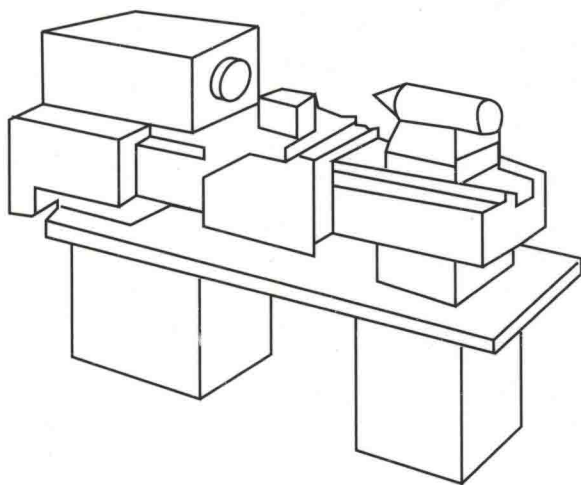


普通高等院校机械工程学科“十二五”规划教材

数控加工 工艺与编程

(第2版)

主 编 于 杰
副主编 许光辉
主 审 李文斌



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等院校机械工程学科“十二五”规划教材

数控加工工艺与编程

(第2版)

主 编 于 杰
副主编 许光辉
主 审 李文斌

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书以数控机床加工工艺和程序编制为核心,全面介绍了数控加工的工艺基础、数控机床的编程基础、数控车削加工工艺与编程、数控铣削和加工中心加工工艺与编程、数控线切割机床的加工工艺与编程,以及计算机辅助自动编程技术等知识。

本书可作为有关高等院校数控技术应用专业、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和专业课教材,也可作为有关工程技术人员、数控机床操作人员学习参考书和培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺与编程 / 于杰主编. —2 版. —北京:
国防工业出版社, 2014. 2
普通高等院校机械工程学科“十二五”规划教材
ISBN 978 - 7 - 118 - 09166 - 3

I. ①数... II. ①于... 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. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 015698 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 16½ 字数 368 千字
2014 年 2 月第 2 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 34.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777
发行传真:(010)88540755

发行邮购:(010)88540776
发行业务:(010)88540717

普通高等院校机械工程学科“十二五”规划教材 编委会名单

名誉主任	艾 兴	山东大学
	王先逵	清华大学
主 任	吕 明	太原理工大学
副 主 任	庞思勤	北京理工大学
	朱喜林	吉林大学
秘 书 长	杨胜强	太原理工大学
委 员	吴宗泽	清华大学
	潘宏侠	中北大学
	轧 刚	太原理工大学
	任家骏	太原理工大学
	陈 明	北华航天工业学院
	谭晓兰	北方工业大学
	李德才	北京交通大学
	杨 康	佳木斯大学
	石望远	北华航天工业学院
	石好臣	山东理工大学
	王卫平	东莞理工学院
	张平宽	太原科技大学
	赵 波	河南理工大学

序

国防工业出版社组织编写的“普通高等院校机械工程学科‘十二五’规划教材”即将出版,欣然为之作“序”。

随着国民经济和社会的发展,我国高等教育已形成大众化教育的大好形势,为适应建设创新型国家的重大需求,迫切要求培养高素质专门人才和创新人才,学校必须在教育观念、教学思想等方面做出迅速的反应,进行深入教学改革,而教学改革的主要内容之一是课程的改革与建设,其中包括教材的改革与建设,课程的改革与建设应体现、固化在教材之中。

教材是教学不可缺少的重要组成部分,教材的水平将直接影响教学质量,特别是对学生创新能力的培养。作为机械工程学科的教材,不能只是传授基本理论知识,更应该是既强调理论,又重在实践,突出的要理论与实践结合,培养学生解决实际问题的能力和创新能力。在新的深入教学改革、新课程体系的建立及课程内容的发展过程中,建设这样一套新型教材的任务已经迫切地摆在我们面前。

国防工业出版社组织有关院校主持编写的这套“普通高等院校机械工程学科‘十二五’规划教材”,可谓正得其时。此套教材的特点是以编写“有利于提高学生创新能力培养和知识水平”为宗旨,选题论证严谨、科学,以体现先进性、创新性、实用性,注重学生能力培养为原则,以编出特色教材、精品教材为指导思想,注意教材的立体化建设,在教材的体系上下功夫。编写过程中,每部教材都经过主编和参编辛勤认真的编写和主审专家的严格把关,使本套教材既继承老教材的特点,又适应新形势下教改的要求,保证了教材的系统性和精品化,体现了创新教育、能力教育、素质教育教学理念,有效激发学生自主学习能力,提高学生的综合素质和创新能力,为培养出符合社会需要的优秀人才服务。丛书的出版对高校的教材建设、特别是精品课程及其教材的建设起到了推动作用。

衷心祝贺国防工业出版社和所有参编人员为我国高等教育提供了这样一套有水平、有特色、高质量的机械工程学科规划教材,并希望编写者和出版者在与使用者的沟通过程中,认真听取他们的宝贵意见,不断提高该套规划教材的水平!

中国工程院院士

2010年6月

前 言

作为现代制造技术的核心和基础,数控技术的广泛采用不仅提高了企业的制造能力和水平,而且增强了对市场的响应能力和竞争能力。随着技术水平的持续提高和应用领域的不断扩大,数控技术已成为关系我国制造业发展和综合国力提高的关键技术。

本书为普通高等院校机械工程学科“十二五”规划教材,根据机械工程类专业人才培养目标及规格的要求编写。自 2009 年出版以来,得到读者和同行的认可,令编者感到十分欣慰。由于数控技术发展很快,为了使教材内容能够体现数控技术应用方面的新知识、新技术;为了使教材在具备基础性、实用性的同时兼顾时效性和新颖性,我们清楚地认识到教材修订的紧迫性和必要性。因此,为了进一步适应高校教学的需要,根据近几年来我国数控技术的应用现状以及读者反馈的意见和教学中发现的问题,我们对本书进行了修订。

数控加工是一门实践性、技术性和综合性都非常强的技术,要求学习者不仅掌握编程指令代码,而且应具备必要的机械制图基础、机械加工常识和基本的三维造型技能。本书第二版依然以上述要求为出发点,强调知识、能力、工程素质相结合。为了保证教材的延续性,本次修订在章节的排序上没有作根本性变动,而是注重在内容上作进一步的完善、调整和补充,同时改进了部分内容的叙述方式和部分例题的解题方法。

本次修订中,增加了三维曲面数控加工处理的工艺知识;增加了复杂零件自动编程、加工中心加工仿真等内容的比重;适应近年来数控在多轴加工中的普遍应用,增加了四轴数控编程的实例;为适应国内软件使用现状,加工仿真部分进行了完全更新,以目前流行的“宇龙”软件为例讲解数控加工仿真的作用和应用,并增加了新的应用案例;随着 CAD/CAM 技术的成熟和性价比的提高,其应用日益普遍,为此教材在计算机辅助编程方面增加了数控加工自动编程内容的比重,并且对内容进行全面更新,以市场普及度高和深受中小企业欢迎的 Master CAM 软件为例,详细讲解了图形交互式 CAM 数控编程的过程和技巧;本书对部分习题和例题的内容进行了更新,使其内容更利于开展课堂教学,并应用于实验实践环节,更加符合对当今高等学校应用型人才的培养要求。

结合编者的教学经验,本书依然遵循数控编程的学习过程,分层次安排内容。第一层次为数控编程基础知识的学习,包括数控加工工艺、数控指令代码等方面的基础知识;第二层次为数控编程技术的学习,介绍典型加工方法的数控编程。不仅对手工编程方法进行详细叙述,同时介绍了非常实用的利用 CAM 软件实现交互式图形自动编程方法;第三层次为数控编程练习与应用,不仅提供了一定数量的编程练习与实例,而且讲述了利用仿真软件模拟加工零件的方法与步骤,是理论与加工练习相结合的一种新尝试。

全书共分成七章,介绍了数控加工的工艺基础、数控编程基础、数控车削工艺与编程、数控铣床和加工中心工艺与编程、用户宏程序设计、数控电火花线切割加工,以及计算机辅助自动编程技术等知识。

本书强调学生分析问题和解决问题能力的培养,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。

本书可作为有关高等院校数控技术应用专业、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和专业课教材,也可作为有关工程技术人员、数控机床操作人员学习参考书和培训教材。

本书由北华航天工业学院于杰担任主编,东莞理工学院许光辉担任副主编。第一章由太原城市职业技术学院雷丽萍编写,第二章、第四章、第五章由北华航天工业学院于杰编写,第三章、第四章第八节由北华航天工业学院程俊兰编写,第六章由东莞理工学院许光辉编写,第七章由北华航天工业学院韩伟娜编写。太原理工大学李文斌教授主审,提出了许多宝贵意见与建议,有助于本书质量的提高,在此表示衷心感谢。

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,恳请广大读者批评指正。

编者

2013年7月

目 录

第一章 数控加工工艺基础	1
第一节 数控加工	1
一、数控加工的特点及对象	1
二、数控加工的步骤	2
第二节 机械加工精度	3
一、影响机械加工精度的主要因素	4
二、提高机械加工精度的工艺措施	4
第三节 机械加工表面质量	5
一、机械加工表面质量	5
二、提高机械加工表面质量的工艺措施	6
第四节 工件定位与夹紧	7
一、工件定位的基本原理	7
二、工件定位的几种情况	8
三、常见定位方式及定位元件	9
四、工件的夹紧	16
第五节 数控加工工艺分析与设计	17
一、数控加工工艺的主要内容	17
二、数控加工工艺分析	18
三、数控加工工艺设计	20
第六节 数控加工工艺文件的编制	32
一、数控加工工序卡片	32
二、数控加工刀具卡片	34
三、数控加工走刀路线图	34
复习思考题	35
第二章 数控编程基础	38
第一节 数控程序编制内容与方法	38
一、数控程序编制内容	38
二、数控程序编制方法	39
第二节 数控机床坐标系	39

一、坐标系及运动方向规定	39
二、坐标轴及方向规定	40
三、数控加工坐标系	41
四、绝对坐标编程与增量坐标编程	43
第三节 数控编程中的数据处理	44
一、基点坐标计算	44
二、节点坐标计算	45
第四节 程序结构与格式	47
一、程序字与输入格式	47
二、程序段与输入格式	48
三、程序与输入格式	50
四、主程序、子程序与用户宏程序	51
第五节 基本指令功能	52
一、模态代码、单段有效代码	52
二、尺寸字	53
三、准备功能	53
四、辅助功能	55
五、进给功能	57
六、主轴转速功能	58
七、刀具功能	58
复习思考题	58
第三章 数控车削工艺与编程	60
第一节 数控车床	60
一、数控车床分类	60
二、数控车床的结构特点	61
第二节 数控车削刀具	62
一、数控车削刀具的特点	62
二、机夹可转位车刀的选用	63
三、数控车削用工具系统	68
第三节 数控车床常用夹具	70
一、卡爪式夹具	70
二、卡盘式夹具	71
三、弹性自定心夹具	72
四、自定心中心架	73
第四节 数控车削加工工艺分析	74
一、数控车削加工的主要对象	74

二、零件结构工艺分析	75
三、工艺路线的制定	77
第五节 数控车削加工中的对刀	80
一、对刀点的确定	80
二、对刀方法	80
第六节 数控车床程序编制	82
一、程序停止控制	87
二、主轴控制	87
三、坐标系设定	88
四、绝对尺寸输入方式与增量尺寸输入方式	89
五、坐标运动与进给(G00,G01,G02,G03,G04)	89
六、参考点返回(G27,G28,G30)	92
七、螺纹加工(G32,G34)	94
八、刀具补偿	96
九、固定循环(G90,G92,G94,G70,G71,G72,G73,G74,G75,G76)	98
第七节 数控车床编程实例	109
第八节 数控车床操作及仿真	117
一、数控机床一般操作步骤	117
二、宇龙数控加工仿真软件的使用	117
复习思考题	123
第四章 数控铣床和加工中心工艺与编程	126
第一节 数控铣床与加工中心	126
一、数控铣床与加工中心分类	126
二、数控铣床与加工中心的结构特点	127
第二节 数控铣床与加工中心刀具	128
一、常用铣刀种类及工艺特点	128
二、铣削刀具的选择	131
三、加工中心对刀具的基本要求	132
四、典型及先进的孔加工刀具	133
五、工具系统	136
第三节 数控铣床与加工中心常用夹具	140
一、通用夹具	140
二、专用夹具	141
三、组合夹具	141
四、可调整夹具	142
五、成组夹具	142

六、气动或液压夹具	142
七、真空夹具	143
第四节 数控铣床与加工中心加工工艺分析	143
一、数控铣削与加工中心的适应对象	143
二、数控铣床加工工艺分析	146
三、加工中心的工艺规程设计	153
第五节 数控铣床与加工中心的对刀	155
一、机外对刀仪	155
二、刀具 X、Y 向对刀方法	156
三、刀具 Z 向对刀方法	158
第六节 数控铣床与加工中心程序编制	159
一、圆弧插补(G02,G03 或 G2,G3)	159
二、螺旋线插补指令	161
三、极坐标编程(G15,G16)	162
四、比例缩放指令(G50,G51)	163
五、图形旋转指令(G68,G69)	165
六、从参考点返回	165
七、子程序	166
八、刀具与刀具补偿	167
九、固定循环	172
第七节 数控铣床与加工中心编程实例	179
一、轮廓加工示例	179
二、孔系加工示例	180
三、端盖加工示例	181
四、四轴编程实例	185
第八节 数控铣床和加工中心操作与仿真	187
一、数控铣床的加工仿真	187
二、加工中心加工仿真	191
复习思考题	194
第五章 用户宏程序设计	196
第一节 变量	196
一、变量及变量的引用	196
二、变量的类型	197
三、变量的运算	198
第二节 宏程序调用	199
一、控制指令	199

二、自变量赋值	200
三、宏程序调用	201
第三节 用户宏程序应用举例	202
复习思考题	205
第六章 数控电火花线切割加工	206
第一节 数控电火花线切割加工概述	206
一、数控电火花线切割加工原理	206
二、数控电火花线切割加工的特点	208
三、数控电火花线切割加工的应用	208
四、数控电火花线切割机床分类	209
第二节 数控电火花线切割加工机床	210
一、数控电火花线切割机床型号表示法	210
二、数控电火花线切割机床简介	210
三、电火花线切割的典型夹具及工件装夹	212
第三节 影响线切割工艺指标的因素	215
一、线切割加工的主要工艺指标	215
二、电参数的影响	215
三、非电参数的影响	216
四、合理选择电参数	216
第四节 数控电火花线切割编程	217
一、数控线切割程序指令格式	217
二、数控线切割的自动编程	221
三、数控电火花线切割编程实例	225
复习思考题	227
第七章 计算机辅助自动编程技术	228
第一节 基于 CAD/CAM 软件的交互式图形编程简述	228
一、交互式图形自动编程的基本步骤	228
二、交互式图形自动编程的特点	229
三、典型的 CAD/CAM 软件	230
第二节 计算机辅助自动编程的几何造型	231
一、几何建模的概念	231
二、几何建模技术的发展	232
第三节 计算机辅助自动编程	233
一、待加工表面及其约束面的几何造型	233
二、数控加工刀具轨迹的生成	238

三、后置处理.....	244
四、数控加工程序的上传.....	245
复习思考题	247
参考文献	248

第一章 数控加工工艺基础

第一节 数 控 加 工

数控加工就是根据零件图样及工艺要求等原始条件,编制零件数控加工程序,并输入到数控机床的数控系统,以控制数控机床中刀具与工件的相对运动,从而完成零件的加工。

一、数控加工的特点及对象

(一) 数控加工的特点

数控机床以其精度高、效率高、能适应中小批量多品种复杂零件的加工等优点,在机械加工中得到了日益广泛的应用。概括起来,数控加工有以下几方面的特点。

1. 适应性强

适应性即所谓的柔性,是指数控机床随生产对象变化而变化的适应能力。在数控机床上改变加工零件时,只需重新编制程序,输入新的程序后就能实现对新的零件的加工;而不需改变机械部分和控制部分的硬件,且生产过程是自动完成的。这就为复杂结构零件的单件、小批量生产以及试制新产品提供了极大的方便。适应性强是数控机床最突出的优点,也是数控机床得以生产和迅速发展的主要原因。

2. 精度高、质量稳定

数控机床是按数字形式给出的指令进行加工的,一般情况下工作过程不需要人工干预,这就消除了操作者人为产生的误差。在设计制造数控机床时,采取了许多措施,使数控机床的机械部分达到了较高的精度和刚度。数控机床工作台的移动当量一般达到了 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进行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。

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,因此数控机床每一道工序都可选用最有利的切削用量。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,工件装夹时间短,刀具可自动更换,辅助时间比一般机床大为减少。数控机床在更换被加工零件时几乎不需要重新调整机床,而零件又都安装在简单的定位夹紧装置中,可以节省用于停机进行零件安装调整的时间。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,在一台机床上实现了多道工序的连续加工,减少了半成品的周转时间,生产效率的提高就更为明显。

4. 操作者的劳动强度减轻

数控机床对零件的加工是按事先编好的程序自动完成的,操作者除了操作面板、装卸工件、关键工序的中间测量以及观察机床的运行之外,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大减轻,劳动条件也得到相应的改善。

5. 良好的经济效益

使用数控机床加工零件,将会带来很高的经济效益,不仅表现在生产率高、质量好、废品率低,还能缩短生产周期,减少工艺装备,减少在制品数量,缩短新产品试制周期等。

6. 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是可以预计的,工时和工时费用可以估计得更精确。这有利于合理的编制生产进度计划,有利于使生产管理现代化。

7. 易于建立计算机通信网络

由于数控机床是使用数字化信息,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)系统联接,形成计算机辅助设计和制造与数控机床紧密结合的一体化网络系统。

8. 价格较贵,调试和维修需专门的技术人员

数控机床采用了许多高、新、尖的先进技术,使得数控机床的整体价格较高,并且由于数控机床结构复杂,所以要求操作人员、调试和维修人员应具有专门的知识 and 较高技术,或经过专门的技术培训,才能胜任此项工作。

(二) 数控加工的对象

根据数控加工的特点,最适合于数控加工的零件如下:

- (1) 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;
- (2) 加工精度、表面粗糙度要求高的零件;
- (3) 形状、结构复杂,尤其是具有复杂曲线、曲面轮廓的零件;
- (4) 加工中的错误会造成浪费严重的贵重零件;
- (5) 在加工过程中必须进行多种加工的零件;
- (6) 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。

二、数控加工的步骤

数控加工大致有如下几个步骤,如图 1-1 所示。

第一步:阅读零件图样,充分了解图样的技术要求,如尺寸精度、形位公差、表面粗糙度、工件的材料、硬度、加工性能以及工件数量等。

第二步:根据零件图样的要求进行工艺分析,其中包括零件的结构工艺性分析、材料 and 设计精度合理性分析,并根据工艺分析制定出加工所需要的一切工艺信息,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,填写加工工序卡和工艺过程卡。

第三步:根据零件图和制定的加工工艺方案,再按照所用数控系统规定的指令代码

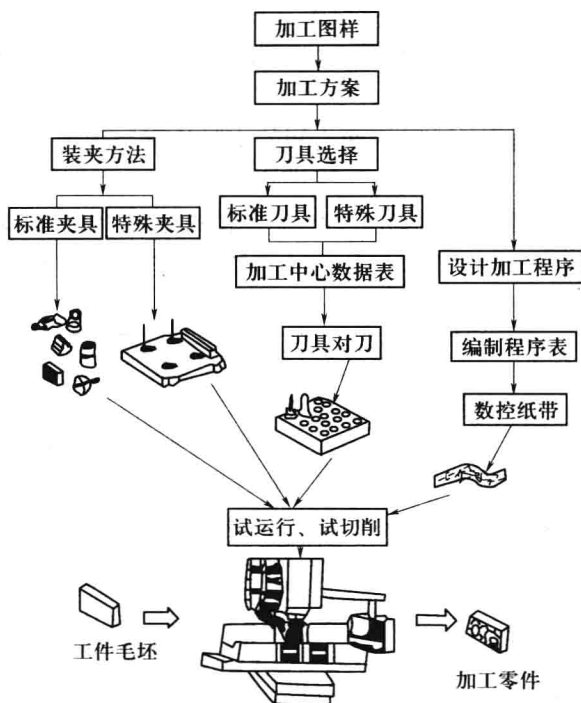


图 1-1 数控加工步骤

及程序格式进行数控编程。

第四步:将零件加工程序,存储在程序载体上,如穿孔纸带、盒式磁带或软磁盘等。程序载体通过数控机床的输入装置,将零件加工程序输入到数控系统内。

第五步:检验与修改加工程序。调整好机床并调用该程序后,进行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,最后确认保存所编制的加工程序。

第二节 机械加工精度

机械加工精度是指零件加工后的实际几何参数(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。加工精度的高低是以国家有关公差等级衡量,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,反之亦然。

加工精度主要包括以下三方面内容。

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/T 1800.4—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。

形状精度:是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。如圆度、圆柱度、平面度及锥度等。

位置精度:是指加工后零件有关表面之间的实际位置与理想位置相符合程度。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、符号和图样表示法》(GB/T 1182—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 所列。

表 1-1 形状和位置公差名称和符号

公差				公差			
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	形状	直线度	—	位置	定向	平行度	//
		平面度	▱			垂直度	⊥
		圆度	○			倾斜度	∠
		圆柱度	⊙			位置度	⊕
形状 或 位置	轮廓	线轮廓度	⌒	定位	同轴度	◎	有或无
		面轮廓度	⌒			对称度	≡
				跳动	圆跳动	↗	有
					全跳动	↗↗	有

一、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。由于工艺系统各种原始误差的存在,使得刀具和工件之间正确的相对位置关系发生偏移而产生加工误差。这些原始误差,其中一部分与工艺系统本身的初始状态有关,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;另一部分与切削过程有关,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,影响调整后的工件与刀具的正确相对位置。

二、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。

(一) 直接减少误差法

直接减少误差法在生产中应用较广。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。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。

(二) 误差补偿法

误差补偿法,就是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