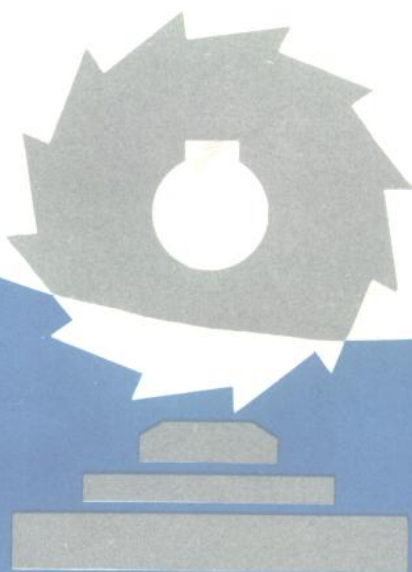


机械制造工艺学

主 编 郭宗连 秦宝荣

副主编 李纪明



中国建材工业出版社

机械制造工艺学

主 编 郭宗连 秦宝荣

副主编 李纪明

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工艺学/郭宗连, 秦宝荣主编. —北京: 中国建材工业出版社, 1997. 3

ISBN 7-80090-590-X

I. 机… II. ①郭… ②秦… III. 机械制造工艺 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 01596 号

内 容 简 介

本书共分六章, 主要内容包括机械加工精度、机械加工表面质量、机械加工工艺规程的制订、典型零件加工工艺、机械装配工艺基础、机械制造技术的新发展。

本书根据全国高等工业学校机械制造专业教学指导委员会审定的《机械制造工艺学》教学计划和教学大纲, 结合多年来课程教学改革的实践, 反复精选内容编写而成。本书的主要特点是强调应用性和能力培养, 注重基本概念的建立和原理的应用, 加强工艺规程制订和机械装配工艺等基础知识, 反映了现代机械制造技术的最新技术和发展动向。

本书在机械制造工艺术语、尺寸链的计算方法、工艺技术文件规范等方面贯彻了国家最新标准, 内容精炼新颖、理论阐述清晰易懂, 实例分析简明扼要, 反映新工艺、新技术。

本书可作为普通高等院校机械工程类各专业的教材, 也可作为职业大学、电视大学和各类成人高等教育的教材, 对从事机械制造业的工程技术人员也是一本很好的参考书。

机 械 制 造 工 艺 学

主 编 郭宗连 秦宝荣

副 主 编 李纪明

主 审 陈嘉真

责任编辑 赵从旭

*

中国建材工业出版社

(北京百万庄国家建材局内 邮政编码: 100831)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市京东印刷厂印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 18 字数: 438 千字

1997 年 3 月第 1 版 1997 年 3 月第 1 次印刷

印数: 1—2500 册 定价: 27.00 元

ISBN 7-80090-590-X/TH·16

序

机械制造业是国民经济各部门的装备部,无论是传统产业,还是新兴产业,都离不开各种各样的机械装备,机械制造业提供的装备水平对国民经济各部门的技术进步,有着直接影响和制约作用,它是国家科技进步和社会发展的支柱产业之一,先进制造技术已成为当今世界各国科技竞争的主战场。机械制造业要提高产品质量,增加产量和品种,降低生产成本,缩短生产周期,提高市场竞争能力都与机械制造工艺的发展水平密切相关。近年来,由于机械产品的品种迅猛增加,质量要求不断提高,新材料和新技术大量采用,促使传统的制造工艺得到很大的进步和发展,许多新的工艺方法不断出现,计算机技术在机械制造业中的应用不断扩大,机械制造正向着柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)等高度自动化方向发展。我国有一个庞大的机械制造业,但制造工艺水平与先进工业国家相比仍有很大差距。因此,从事机械制造业的工程技术人员必须掌握工艺的基本原理,学习机械制造的新工艺、新技术,了解制造技术发展的新动向,适应新技术革命和现代化建设的需要。

作者们根据机械工程类人才的培养目标和规格、工艺知识及有关课程的基本要求,结合多年从事工艺研究和教学的实践经验,编写了这本书,纵观全书,有这样几个特点:

1. 内容充实。书中在保证机械加工精度、机械加工表面质量、工艺规程制订、典型零件加工、机械装配等基本内容的基础上,对精密加工与超精密加工、特种加工、快速成型制造、计算机辅助制造(CAM)等新工艺、新技术作了介绍,对机械制造技术的发展方向也做了简单的介绍,有助于读者扩大视野,开阔思路。

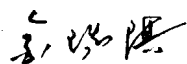
2. 注重应用。为了突出培养应用型高级工程技术人才的特点,强调了应用性和能力的培养。在基本理论的论述中,注重基本概念和原理的应用,列举了许多典型实例分析,以便牢固掌握基本内容;在典型零件加工工艺中,注重工艺分析和能力的培养。

3. 便于自学。对基本概念、基本原理叙述清楚,配以适量图、表增强叙述性内容的表达,便于阅读和自学,也有利于培养学生的综合分析能力。

4. 用词规范。在名词术语、代号、符号、量和单位等方面贯彻了现行国家标准。

本书可作为普通高等院校机械工程类专业的教材,也可作为成人教育学生的教材或参考书,对从事机械制造业的工程技术人员也是一本很好的参考书。

本书作者在繁重的教学、科研任务条件下完成此书,可谓是“章章”皆辛苦,它的出版必将为机械制造工程技术人才的培养,为提高和发展我国机械制造工艺水平作出贡献。特写此序,以示祝贺。



1997年1月

前 言

本书根据全国高等工业学校机械制造专业教学指导委员会审定的《机械制造工艺学》教学计划和教学大纲,结合工艺研究和教学的实践编写而成。全书共分六章,主要内容包括机械加工精度、机械加工表面质量、机械加工工艺规程的制订、典型零件加工工艺、机械装配工艺基础、机械制造技术的新发展。编写过程中主要考虑了以下几点:

1. 内容的选取上,力求全面、新颖。在保证机械加工精度与表面质量、机械加工工艺规程和装配工艺规程制订、典型零件加工工艺等基本内容的基础上,对精密加工与超精密加工、特种加工、快速成型制造、计算机辅助制造(CAM)等新工艺、新技术作了介绍,以反映机械制造技术的新进展,有助于读者扩大视野,开阔思路。

2. 强调了应用性和能力的培养。对加工精度、表面质量、尺寸链等基本理论的论述,在阐明基本理论及概念的基础上辅以适量的实例,说明基本理论的具体应用;对加工工艺规程、装配工艺规程制订等内容,注重方法的介绍,并围绕质量、生产率和经济性三者的辩证关系分析工艺问题;对典型零件加工工艺则着重于工艺过程的分析和工艺方法的介绍。

3. 内容的叙述上,力求精炼。对基本理论、概念的阐述清晰易懂,应用了大量图、表,增强内容的表达,便于阅读和自学。

4. 在机械制造工艺名词、术语,代号、符号、量和单位,尺寸链的计算方法,工艺文件格式等方面贯彻了现行的国家标准和部颁标准。

本书具有内容充实,取材新颖,注重应用,用词规范,叙述精炼清晰,便于自学等特点。可作为普通高等院校机械工程类各专业的教材,也可作为职业大学、电视大学和各类成人高等教育的教材,对从事机械制造业的工程技术人员也是一本很好的参考书。

参加本书编写的有:盐城工学院郭宗连(第二章、第五章)、秦宝荣(绪论、第六章)、汪俊修(第四章)、淮海工学院李纪明(第一章)、常熟高等专科学校吴永祥(第三章)。郭宗连、秦宝荣任主编,李纪明任副主编。全书由郭宗连、秦宝荣统一定稿,江苏理工大学陈嘉真教授主审。郭宗连还承担了起草编写大纲、书稿校对等工作,秦宝荣承担了编写组织、书稿编排等工作,汪俊修统一整理了全书插图。

在本书编写过程中,得到了全国高校机械工程类专业教学指导委员会委员、江苏理工大学原教学副校长金瑞琪教授的关心和支持,并为本书作序。中国建材工业出版社编辑部主任赵从旭高级工程师对本书的最后审定和编辑出版给予了热忱的支持和帮助,并任本书责任编辑。盐城工学院、淮海工学院、常熟高等专科学校等院校的有关领导对本书的编写和出版也给予了关心和支持,谨此表示衷心的感谢。

本书编者在完成繁重教学工作情况下完成编写工作,由于水平有限,编写时间紧迫,书中难免有疏漏欠妥之处,竭诚希望使用本书的同行和读者们不吝指教。

编 者

1997年3月

目 录

绪论	1
第一章 机械加工精度	5
§ 1-1 概述	5
§ 1-2 工艺系统的几何误差	7
§ 1-3 工艺系统的受力变形	23
§ 1-4 工艺系统的热变形	36
§ 1-5 工件内应力引起的变形	44
§ 1-6 加工误差的综合分析	46
§ 1-7 提高和保证机械加工精度的途径	63
第二章 机械加工表面质量	67
§ 2-1 概述	67
§ 2-2 影响表面粗糙度的工艺因素及改善措施	69
§ 2-3 影响零件表面层物理-力学性能的因素及改善措施	73
§ 2-4 工艺系统的振动	81
第三章 机械加工工艺规程的制订	98
§ 3-1 基本概念	98
§ 3-2 机械加工工艺规程	102
§ 3-3 机械加工工艺规程制定中的几个主要问题	106
§ 3-4 时间定额与提高劳动生产率的工艺途径	136
§ 3-5 工艺过程的技术经济分析	141
第四章 典型零件加工工艺	146
§ 4-1 轴类零件加工工艺	146
§ 4-2 箱体加工工艺	163
§ 4-3 圆柱齿轮加工工艺	180
第五章 机械装配工艺基础	199
§ 5-1 概述	199
§ 5-2 装配尺寸链	204

§ 5-3 保证装配精度的方法——解装配尺寸链	214
§ 5-4 装配工艺规程的制订	233
第六章 机械制造技术的新发展	241
§ 6-1 现代制造技术的形成和发展	241
§ 6-2 精密加工与超精密加工	242
§ 6-3 特种加工	247
§ 6-4 成组技术	253
§ 6-5 计算机辅助工艺规程设计	260
§ 6-6 快速成型制造	266
§ 6-7 计算机辅助制造	270
参考文献	278

绪 论

一、我国机械制造业的现状和今后的任务

机械制造业是国民经济的装备部,它所提供的技术装备的水平,对国民经济各部门的生产技术水平和经济效益,有很大的和直接的影响。机械制造业的技术水平和规模是衡量一个国家科技水平和经济实力的重要标志。因而,世界各国都把发展机械制造业作为振兴和发展本国经济的战略重点之一。

1949年以来,我国机械制造业有了很大发展,已经成为工业中产品门类比较齐全,具有相当规模和一定技术基础的产业部门之一,为其他产业部门的发展作出了重要贡献。

改革开放以来,机械制造业贯彻了“经济建设靠科学技术,科学技术工作面向经济建设”的基本方针,引导企业走科技进步的道路,有计划地进行企业的技术改造。执行了“四上两提高”(上质量、上品种、上水平、上成套,提高经济效益、提高服务质量)和“抓基础,攻成套”的工作方针,积极做好技术引进、消化吸收工作,使制造技术、产品质量和水平以及经济效益有了很大提高,为繁荣国内市场、扩大出口创汇,推动国民经济的发展起了重要作用。近十多年的主要成就有:

(1) 增强了提供重大技术装备的能力。例如为电力工业提供 60 万 kW 火力发电和 30 万 kW 水力发电的成套设备;为煤炭工业提供 1000 万 t 级露天矿成套设备;为冶金工业提供年产 300 万 t 钢铁的成套装置;为石油工业提供 6000m 钻机及相应的采油设备;为化学工业提供 52 万 t 尿素成套设备;为交通运输提供各种汽车、内燃机车及地铁、港口成套设备;为农业提供大中型农场、商品粮基地和饲禽成套设备等。

(2) 积极开发高水平的新产品。十多年来研制开发万余种新产品,85%以上的机电产品基本立足于国内,有的接近或达到国外先进水平。如 20-10FP500NC 超重型数控龙门铣床、PJ-1 喷漆机器人、SX041 大规模集成电路光栅数显仪、300t 立式弯板机、125t 液压起重机、数控平面磨床和可程序控制器等新产品都达到了世界先进水平。

(3) 增强了提供国防建设新装备的能力。

我国机械制造业虽然取得了很大的成绩,但与国民经济发展需要、与工业发达国家相比还存在一定差距,主要表现在机械产品质量和水平不够高、技术开发能力不够强、科技投入少,特别是相对其他产业来说,对机械制造业的作用认识不够。近年来,世界各国都把提高产业竞争能力和发展高技术、抢占未来经济制高点作为科技工作的主攻方向,对机械工业的重要作用和作用有了进一步认识,对机械工业科技发展提出了更高的要求,特别是制造技术更加得到了重视。我国也明确提出,要振兴机械工业,使之成为国民经济的支柱产业。

机械制造业发展的重点是提高产品质量和技术水平。今后 10 年和更长时间内,制造技术发展的战略是:以新兴微电子、光电子技术,重大成套技术装备、基础机械的关键制造技术和轿车大批量制造技术为重点,把研究开发优质高效精密工艺与装备、为新一代产品投产

和形成经济规模生产提供新工艺、新装备为总目标,加强基础技术研究,积极消化和掌握引进技术,抓好技术储备,提高自主开发能力,抓好工艺与装备紧密结合和微电子技术应用两个薄弱环节,形成常规制造技术、先进制造技术和高技术并存的多层次制造技术的发展结构。

二、机械制造科学的发展

机械制造科学是一门有着悠久历史的学科。机械制造可分为热加工和冷加工两部分,热加工指铸造、塑性加工、焊接、表面处理等;冷加工一般是指零件的机械加工工艺过程和装配工艺过程,以及特种加工技术等。一般机械制造科学多指研究各种机械制造冷加工过程和方法的科学,其研究的主要内容是:

(1) 机械制造的基础理论。

(2) 机械加工和装配工艺过程设计、工艺装备设计,以及各种传统加工方法、特种加工方法、精密加工和超精密加工方法等。

(3) 机械制造系统的自动化、柔性化、集成化和智能化。

机械制造过程是一种离散的生产过程,制造过程中的各个环节之间是可以彼此关联或不关联的,因此实现机械制造过程自动化的难度比较大。另外,制造过程的实施依赖个人的经验和技艺较多,难以用数学方法、规律、逻辑进行描述。这样就使得机械制造科学长期以来发展比较慢。

计算机技术、微电子技术、控制技术、传感器技术与机电一体化技术的迅速发展,对机械制造科学的发展产生了深远的影响。由系统论、信息论和控制论所形成的系统科学与方法论,从系统中各组成部分之间的相互联系、相互作用、相互制约的关系来分析对象,这种方法论与机械制造科学的结合,形成了制造系统的概念,这是一个重大的突破。机械制造科学与管理科学的结合更丰富了机械制造科学的内容,出现了质量保证体系等,成为保证产品质量的重要举措。因此,机械制造的发展已从一种经验、技艺、方法逐步成长为一门集机械、电子、信息、材料与管理为一体的新兴交叉学科。目前,机械制造学科的主要内容有下列十个方面:

- (1) 切削与磨削加工技术;
- (2) 特种加工技术;
- (3) 精密加工和超精密加工技术;
- (4) 装配技术;
- (5) 机械制造系统的自动化;
- (6) 机械制造中的计量与测试;
- (7) 机械制造过程的工况监测与故障诊断;
- (8) 机械制造设备的性能与试验;
- (9) 机械产品的质量与可靠性;
- (10) 机械制造系统的柔性化、集成化和智能化。

三、课程的研究对象与任务

《机械制造工艺学》在我国首次于1953年由原苏联专家节门杰夫教授在清华大学正式讲授,经过我国学者多年来努力,内容不断充实和发展,它与《金属切削原理》、《金属切削刀

具》、《金属切削机床》等课程是机械制造专业的专业主干课程。

《机械制造工艺学》是以机械制造中的工艺问题为研究对象的一门应用性技术学科。机械制造工艺是指各种机械的制造方法和过程的总称,包括零件的毛坯制造、机械加工、热处理和产品的装配等。机械制造工艺学的研究范围主要是零件的机械加工和产品的装配两部分。

机械制造工艺涉及的行业有百余种,产品品种成千上万。但是,研究的工艺问题可归纳为质量、生产率和经济性三个方面,其指导思想是在保证质量的前提下达到高生产率、经济性(包括利润和经济效益)。

课程的主要任务有以下几点:

(1) 掌握机械加工和装配方面的基本理论和知识,如加工精度理论、加工表面质量理论、工艺和装配尺寸链理论等。

(2) 了解影响加工质量的各项因素,学会分析研究加工质量的方法。

(3) 学会制订零件机械加工工艺过程和部件、产品装配工艺过程的方法。

(4) 了解当前制造技术的发展及一些重要的先进制造技术,认识制造技术的作用和重要性。

四、课程的主要内容、特点和学习方法

课程的主要内容有:

(1) 机械加工精度。建立了机械加工精度、加工误差的概念,分析了获得加工精度的方法、影响加工精度的因素,介绍了加工误差的综合分析方法和提高加工精度的途径。

(2) 机械加工表面质量。建立了机械加工表面质量的概念,分析了影响加工表面质量的因素及其改善措施,阐述了机械加工中的振动及其改善措施。

(3) 机械加工工艺规程的制订。论述了机械加工工艺过程制订的指导思想、内容、方法和步聚,分析了工艺路线的拟定、定位基准的选择、加工余量的确定及工艺尺寸链等问题,阐述了工艺过程的技术经济分析、提高劳动生产率的途径等内容。

(4) 典型零件加工工艺。分别论述了主轴、箱体、齿轮等典型零件加工工艺过程的建立、工艺方法和特点,强调了工艺过程的分析。

(5) 机械装配工艺基础。论述了装配精度、装配工艺方法、装配尺寸链和装配工艺过程的制订等内容。

(6) 机械制造技术的新发展。从精密工程、特种加工方法、成组技术、计算机辅助工艺程序设计、快速成型制造、计算机辅助制造等方面论述了当前机械制造技术的发展。

课程的特点可以归纳为以下几点:

(1) 《机械制造工艺学》是一门专业课,它与基础课和技术基础课不同,随着科学技术和经济的发展,课程内容在不断地更新和充实。由于制造工艺是非常复杂的,影响因素很多,课程在理论上和体系上正在不断完善和提高。

(2) 课程的实践性很强,与生产实际的联系十分密切,有实践知识才能在学习时理解得比较深入和透彻,因此要注意实践知识的学习和积累。

(3) 课程具有工程性,有不少设计方法方面的内容,需要从工程应用的角度去理解和掌握,因为工程问题和理论问题是有差别的。

(4) 掌握课程的内容要有习题、课程设计、实验、实习等各环节的相互配合才能解决,每个环节都是重要的,不可缺少的,各教学环节之间应密切结合和有机联系,形成一个整体。

(5) 涉及面广,内容丰富。工艺不仅涉及机械加工和装配,还涉及毛坯制造和热处理;不仅涉及加工方法,还涉及加工设备及工艺装备;不仅涉及物质的流动和变化,还涉及控制物质流的信息流;不仅涉及制造技术,还涉及管理技术。因而,要善于综合运用已学过的《金属工艺学》、《金属材料及热处理》、《互换性与技术测量》、《金属切削原理及刀具》、《金属切削机床》、《测试技术》、《计算机应用技术》和《企业管理》等方面的知识。

在课程学习方法上应根据各人自己的情况而定,这里提出一些基本方法供参考。

(1) 注意掌握基本概念,如加工精度、加工表面质量、尺寸链等。

(2) 注意学习一些基本方法,如解工艺尺寸链的方法、制订零件加工工艺过程和机器装配工艺过程的方法等,并通过设计等环节来加深理解和掌握。

(3) 注意和实际结合,要向实际学习,积累实际经验。

(4) 要重视与课程有关的各教学环节的学习,使之产生相辅相成的效果。

第一章 机械加工精度

§ 1-1 概 述

一、加工精度与加工误差的概念

机械制造工艺问题的三个指标是质量、生产率和经济性,它们三者相互联系、相互制约,而质量始终是最根本的问题。在保证质量的前提下,努力提高生产率、降低成本,是机械制造业必须遵循的原则。每一种机械产品都是由许多相关的零件装配而成的,因此产品的质量不但取决于装配的质量,而且还与零件的加工质量直接有关。加工精度是衡量机器零件加工质量的重要指标,它将直接影响整台机器的工作性能和使用寿命。因此,深入了解和研究影响加工精度的各种因素及其规律,采取相应的工艺措施,以确保零件的加工质量,是机械制造工艺学的一项重要任务。

加工精度是指零件加工后的实际几何参数(尺寸、形状、和位置)与理想几何参数的符合程度。反之,零件加工后的实际几何参数与理想几何参数的偏离程度,则称为加工误差。加工误差的大小反映了加工精度的高低,加工误差愈小,加工精度愈高。

研究加工精度的目的,就是要弄清影响零件加工精度的因素,以及它们对加工精度影响的规律,掌握控制加工误差的方法,寻求提高加工精度的途径。

二、获得加工精度方法

零件的加工精度包括尺寸精度、形状精度和位置精度三个方面。

(一) 获得尺寸精度的方法

机械加工中获得零件尺寸精度的方法有试切法、定尺寸刀具法、调整法和自动控制法。

1. 试切法

先在工件加工表面试切一小部分,测量试切所达到的尺寸,按加工要求作适当调整,再试切,再测量,如此反复,当试切尺寸达到要求时,再按最后试切位置切削整个待加工表面。这种方法,加工精度不稳定,生产率较低,其加工精度取决于操作者的技术水平,通常只适用于单件小批生产。

2. 定尺寸刀具法

用具有一定尺寸精度的刀具来保证工件被加工部位尺寸。如钻孔、铰孔、拉孔和纹丝等。这种方法,通常应用于零件的内表面加工。

3. 调整法

按工件规定的尺寸,先调整好刀具和工件在机床上的相对位置,并在一批零件的加工过程中保持这个相对位置不变。刀具和工件的相对位置,多用定程机构和对刀装置等进行调整,如行程开关、定程挡块、样件、样板、对刀块等。这种方法,工件的尺寸是在一次调整后得

到,因此工件的尺寸稳定性好,生产率也高。

4. 自动控制法

利用测量装置、进给装置和控制系统,使工件在加工过程中,自动测量、进给、补偿,当工件达到要求的尺寸时,自动停止加工。具体方法有自动测量和数字控制。这种方法在自动加工机床和生产自动线上广泛应用,生产率高,工件的尺寸精度易于保证。

(二) 获得形状精度的方法

机械加工中获得零件几何形状精度的方法有轨迹法、成形法和展成法三种方法。

1. 轨迹法

利用切削运动中刀具刀尖的运动轨迹形成工件被加工表面的形状,如工件外圆车削加工中,工件作旋转主运动,刀具作轴向进给运动,刀尖相对于工件的运动轨迹即形成了工件的外圆柱面。

2. 成形法

利用成形刀具刀刃的几何形状切削出工件的形状。这种加工方法中,工件的形状精度与刀刃的形状精度和刀具的安装精度有关。

3. 展成法

利用刀具和工件作展成切削运动时,刀刃在被加工表面上的包络面形成工件的加工表面。这种加工方法,工件的形状精度与机床展成运动中的传动链精度有关。

(三) 获得位置精度的方法

机械加工中,零件表面的相互位置精度主要取决于在装夹中工件的定位方式。按生产批量、加工精度的要求和工件大小,工件的安装方式主要有两种。

1. 找正安装

(1) 直接找正安装 用划针、百分表等直接在机床上找正工件的位置。这种方法工件定位的精度高,但操作比较麻烦,生产的效率低,因此一般只适用于:

1) 形状比较简单的零件。采用直接找正安装,定位方便。

2) 生产批量较小,采用夹具不经济时。如单件小批生产的加工车间,修理、试制、工具车间等。

3) 工件定位精度要求较高,采用夹具不能保证精度时。

(2) 划线找正安装 按照零件图的设计要求,采用划针、划规等划线工具,在毛坯上先画出中心线,对称线及各待加工表面的加工线,并打上样冲眼,然后按划好的线找正工件在机床上的正确位置。划线找正安装精度低又费时,而且对划线工的技术水平要求很高,因此一般只适用于:

1) 生产批量较小时。

2) 形状复杂,尺寸、重量都很大的工件。如机床的床身加工,通常都是先在加工位置划好线,然后按划线找正、加工。

3) 毛坯尺寸公差很大,表面很粗糙,一般无法使用夹具时。

2. 夹具安装

在成批生产中,对于一些中小型的零件,一般都是采用夹具安装。按照工件的加工精度要求,在夹具上设置一定的定位支承点,将工件在夹具上准确定位并夹紧。然后再通过夹具与机床的对定,保证工件与刀具之间的相互位置。由于夹具在机床上的安装位置和工件在夹

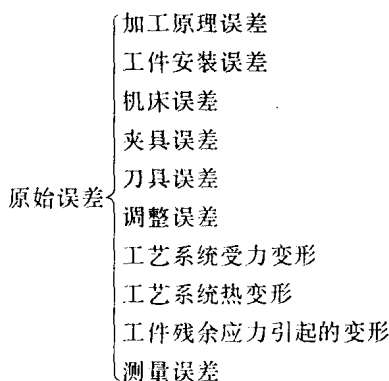
具中的安装位置均已确定,因此,工件在加工中的正确位置易于得到保证,加工精度稳定。同时又能节省装卸工件时间,提高了劳动生产率,减轻了工人的劳动强度。缺点是设计、制造专用夹具的周期长,费用高,而且一旦工件改变或工序改变,原有夹具即需重新设计,采用各种组合夹具和成组夹具,就可解决这一问题。详见《机床夹具设计》,在此不再赘述。

为了获得零件的尺寸、形状和相位置精度,必须分析研究加工过程中影响加工精度的因素。

三、影响加工精度的因素

机械加工中,零件的加工精度主要取决于工件和刀具在切削成形运动过程中的相互位置关系,而工件和刀具安装在夹具和机床上,并受到夹具和机床的约束。因此,机械加工时,机床、夹具、刀具和工件就构成一个完整的系统,称之为工艺系统。加工精度问题涉及到整个工艺系统的精度问题,工艺系统中的种种误差,在不同的条件下以不同的程度和方式反映为加工误差,工艺系统的误差是“因”,是根源,加工误差是“果”,是表现。因此,把工艺系统的误差称为原始误差。

加工过程中的各种原始误差,可归纳如下:



上述原始误差中,一部分是与工艺系统本身的结构和状态有关的因素,称为工艺系统的静误差,如机床、夹具和刀具的制造误差等;另一部分是与金属切削过程有关的因素,称为工艺系统的动误差,如工艺系统的受变形、热变形等。

在加工过程中,上述各种原始误差并不是在任何情况下都会出现,而且在不同的情况下,它们的影响程度也不同,必须根据生产中存在的具体问题作具体分析。

§ 1-2 工艺系统的几何误差

工艺系统的几何误差主要指机床、夹具和刀具在制造时所产生的误差,以及使用过程中的调整和磨损误差等。

一、加工原理误差

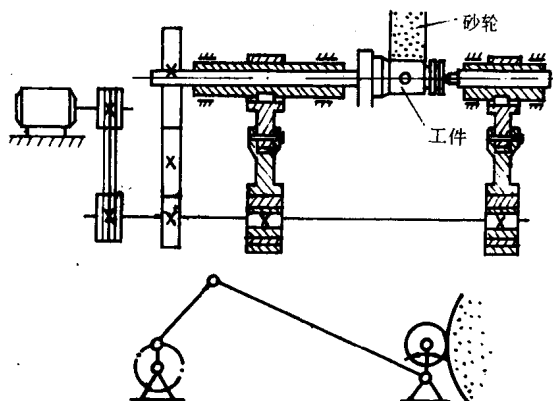
加工原理误差是指采用了近似的加工方法进行加工而产生的误差。近似的加工方法包括:

1. 近似的刀具轮廓

例如用模数铣刀铣切渐开线齿轮。由于渐开线齿廓形状于基圆直径有关,而 $d_{\text{基}} = mZ\cos\alpha$ ($\alpha = 20^\circ$), 因此要加工出完全准确的渐开线齿形, 对于同一模数不同齿数的齿轮都应有相应的模数铣刀, 但这样需要的铣刀数量太多, 往往难以实现。实际生产中, 对于每种模数, 只用一套(8—26 把)模数铣刀来分别加工在一定齿数范围内的所有齿轮。这样一来, 由于每把铣刀是按照一种模数的一种齿数而设计制造的, 因而加工其它齿数的齿轮时, 齿形就有了偏差, 也就是由于近似的刀具轮廓产生的加工原理误差。

2. 近似的成形运动

例如利用双偏心机构在活塞椭圆磨床上磨削活塞裙部椭圆, 如图 1-1 所示, 加工中由于活塞裙部轴心线的运动规律并不严格地符合椭圆半径的变化规律, 因而获得的椭圆是近似的, 产生了加工原理误差。



1-1 活塞裙部椭圆面加工

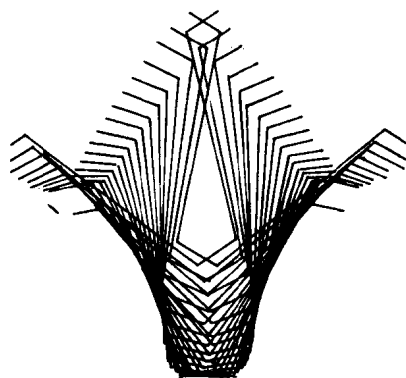


图 1-2 齿形包络误差

又如滚齿用的齿轮滚刀, 有两种误差, 一是为了制造方便, 采用阿基米德蜗杆或法向直廓蜗杆代替渐开线基本蜗杆而产生的刀刃齿廓近似造形误差; 二是由于滚刀刀齿有限, 实际加工出的齿形是一条由微小折线段组成的曲线(图 1-2), 和理论上的光滑渐开线有差异, 这些都会产生加工原理误差。

3. 近似的传动方式

例如, 车床上车削模数蜗杆时, 由于蜗杆的螺距 $T = \pi m$, 其中 π 是一个无理数, 在加工中只能按近似数值“搭配”挂轮, 因此传动比是近似的, 也产生了加工原理误差。

采用近似的成形运动或近似的刀具轮廓, 虽然会带来加工原理误差, 但往往可简化机床结构或刀具形状, 或可提高生产率, 有时甚至能得到高的加工精度。因此, 只要其误差不超过规定的精度要求, 在生产中乃能得到广泛的应用。

二、机床的几何误差

机械加工中, 工件相对于刀具的各种成形运动一般是由机床来完成的, 零件的加工精度在很大程度上取决于机床的精度。加工中影响机床精度的因素主要有机床的制造误差、磨损及其安装误差三个方面, 其中对工件加工精度影响较大的有主轴的回转误差、机床导轨误差和机床传动链误差等。

(一) 主轴的回转误差

主轴是决定工件或刀具位置并传递主要切削运动的重要零件。它的回转精度是机床的一项重要指标。主要影响零件加工表面的几何形状精度、位置精度和表面粗糙度。

主轴回转时,其回转轴线的空间位置应该固定不变,但由于主轴部件各种原始误差的影响(如滚动轴承内、外环及滚动体误差,主轴轴颈和轴承孔误差等),主轴轴心线在空间的瞬时位置不是固定的,轴心线在每一转的跳动方位和跳动量都是不断变化的,在空间产生了漂移。主轴实际回转轴线对其理想回转轴线(通常用平均回转轴线代替)产生一个偏离量,称为回转误差。主轴轴心线的这种误差运动,可以分解为三种基本形式:径向跳动、轴向窜动和角度摆动,如图 1-3 所示。

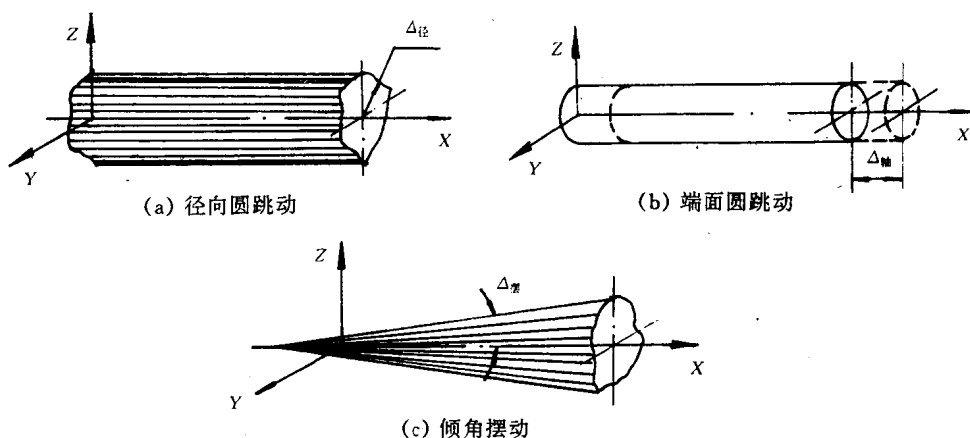


图 1-3 主轴回转误差的基本形式

1. 主轴回转误差对加工精度的影响

(1) 径向跳动 主轴的径向跳动使工件产生圆度误差,影响程度与加工方法有关。

车削中工件作旋转主运动,刀具沿工件轴向作进给运动,因此工件轴线随机床主轴作径向跳动。如图 1-4a 所示,若主轴轴心线在 Y 方向的径跳符合简谐直线运动规律,则在工件 1

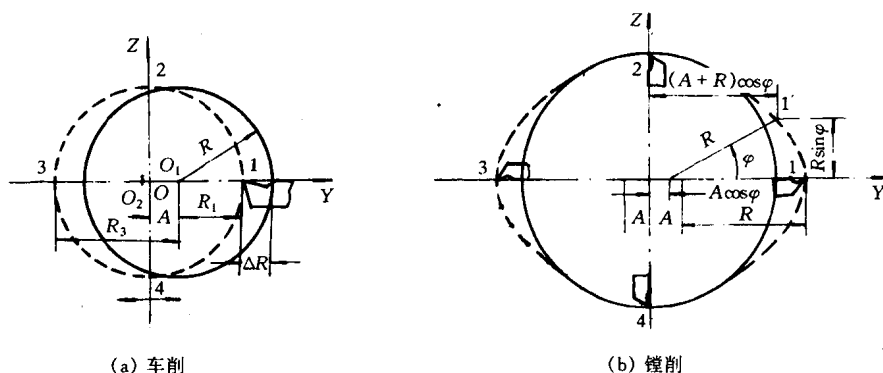


图 1-4 径向跳动对工件圆度的影响

处(主轴轴心线偏离量最大之处)切出的半径要比 2、4 处小一个振幅 A ,而在工件 3 处切出的半径刚好相反,比 2、4 处大一个振幅 A 。这样上述四点的工件直径都相等,而其它各点所

形成的直径只有一个二次小的误差(在此不作详细分析),所以车出的工件表面接近于一个真圆(图中虚线所示)。当主轴径向跳动在 Z 方向时,可作相同的分析。因此车削中,主轴的径向跳动对工件的圆度影响很小。

镗削中镗杆随主轴转动,镗杆轴线将作径向跳动。如图1-4b所示,由于主轴径跳使镗杆轴线在 Y 方向作简谐直线运动,其规律为 $Y=A\cos\varphi$,且频率与主轴转速相同。若主轴中心偏离最大(等于振幅 A)时,镗刀正好通过水平位置1,则当镗刀转过 φ 角后(任一位置1'),刀尖的运动轨迹为:

$$\begin{aligned} \text{水平分量} \quad Y &= A\cos\varphi + R\cos\varphi = (A+R)\cos\varphi \\ \text{垂直分量} \quad Z &= R\sin\varphi \\ \text{合并得} \quad \frac{Y^2}{(A+R)^2} + \frac{Z^2}{R^2} &= 1 \end{aligned} \quad (1-1)$$

这是一个椭圆方程式。也就是说,镗出的孔截面呈椭圆形(图中虚示所示),在工件整个长度上是一个椭圆柱。

同样,当主轴中心偏离量最大,镗刀在其它位置时,也可作相同的分析,结果是一样的。

加工端面时,主轴的径向跳动对工件的形状精度没有影响。

(2) 轴向窜动 主轴的轴向窜动,不影响工件内外圆柱面的形状精度,但在加工端面时,会引起工件端面与内外圆的垂直度误差。如图1-5所示,加工中,主轴每转一周,就要沿轴向窜动一次,向前窜动的半周中形成了右螺旋面,向后退动的半周中形成了左螺旋面,最后在端面中心附近就出现了一个凸台,造成了端面的平面度误差。此外,主轴的轴向窜动对螺纹加工的影响也特别明显。在车削螺纹时,会产生单个螺距内的周期误差。因此,一般普通车床的轴向窜动量规定为 0.01mm ,精密车床的轴向窜动量规定为 $2\sim 3\mu\text{m}$,甚至更小。

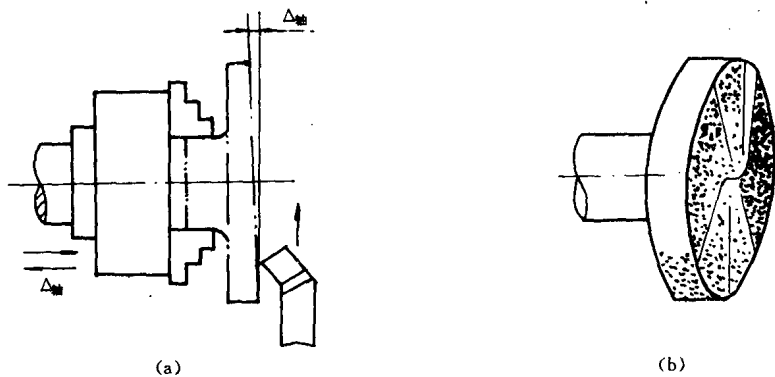


图1-5 轴向窜动对端面加工的影响

(3) 角度摆动 主轴轴线的角度摆动可区分为两种情况:一种是几何轴线相对于平均轴线在空间成一定锥角的圆锥轨迹。若沿与平均轴线垂直的各个截面来看,相当于几何轴线绕平均轴线作偏心运动,只是各截面的偏心量不同而已。因此,无论是车削还是镗削,都能获得一个正圆柱。另一种是几何轴线在某一平面内作角摆动,若其频率与主轴回转频率相一致,沿与平均轴线相垂直的各个截面来看,车削表面是一个圆,以整体而论车削出来的工件是一个圆柱,其半径等于刀尖到平均轴线的距离;镗削内孔时,在垂直于主轴平均轴线的各个截面内都形成椭圆(图1-6),就工件内表面整体来说,镗削出来的是一个椭圆柱。镗削端