

机械制造工艺学与机床夹具设计

学习指导及习题

● 主 编：秦宝荣 副主编：李纪明 倪骁骅

● 中国建材工业出版社

993300

机械制造工艺学与机床夹具设计

学习指导及习题

主 编 秦宝荣

副主编 李纪明 倪骁骅

中国建材工业出版社

(京)新登字 177 号

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工艺学与机床夹具设计学习指导及习题/秦宝荣主编. - 北京:中国建材工业出版社, 1998.3
ISBN 7-80090-675-2

I. 机… II. 秦… III. ①机械制造工艺-高等学校-教学参考资料 ②机床夹具-设计-高等学校-教学参考资料 IV. ①TH16 ②TG750.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 00500 号

内 容 简 介

本书作为《机械制造工艺学》与《机床夹具设计》的辅助教材,编者根据课程的教学大纲,广泛参考有关教材,结合作者教学实践经验编写而成。

全书包括机械制造工艺学学习指导及习题、机床夹具设计学习指导及习题、机械加工工艺规程与机床夹具设计指导和常用工艺标准资料及其应用等四章。前两章编写了《机械制造工艺学》和《机床夹具设计》教材每章的学习要求、内容提要、学习要点和习题及思考题,后两章编写了机械加工工艺规程与机床夹具设计指导、设计实例和解题、设计中常用的工艺标准资料及应用示例。

本书取材精练,纲目清晰,重点、难点突出,说理深入;习题面广量大,类型齐全,提供了解题范例或提示,具有启发性和引导性;设计指导内容全面,示例思路和步骤清晰,具有较强的参考价值。

本书是一本适用于《机械制造工艺学》与《机床夹具设计》教学及自学的参考书。可供普通高等院校、职业大学、广播电视大学和各类成人高等教育机械工程类各专业的师生使用,也可供从事机械制造业的工程技术人员学习参考。

机械制造工艺学与机床夹具设计 学习指导及习题

主 编 秦宝荣
副 主 编 李纪明 倪骁骅
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

盐城市华光印刷厂印刷

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 10.125 字数: 228 千字

1998年3月第1版 1998年3月第1次印刷

印数: 1—2500 册 定价: 19.50 元

ISBN 7-80090-675-2/TH-21

前 言

机械制造工艺学和机床夹具设计是机械工程类各专业的重要专业课程。在教学过程中,师生都普遍感到既难教又难学。产生“难”的原因,一是学生缺少生产实践知识,对一些工程性、实践性的内容难以理解,二是习题做得少,题型见得少,遇到问题不知如何入手。为了帮助学生加深理解教学内容、掌握正确的学习方法,以提高教学质量,特编写了这本《机械制造工艺学与机床夹具设计学习指导及习题》。

本书作为《机械制造工艺学》和《机床夹具设计》的辅助教材。以现行的教学大纲为依据,主要参照郭宗连、秦宝荣主编的《机械制造工艺学》和秦宝荣主编的《机床夹具设计》的结构体系和基本内容,同时广泛参考当前的有关教材,结合作者教学实践经验编写而成。

本书主要包括机械制造工艺学学习指导及习题、机床夹具设计学习指导及习题、机械加工工艺规程与机床夹具设计指导和常用工艺标准资料及应用等内容。机械制造工艺学学习指导及习题和机床夹具设计学习指导及习题两部分按主教材的结构体系,编写了每章的学习要求、内容提要、学习要点和习题及思考题,简明扼要叙述应掌握的基本内容,明确概念,指明重点,分析难点,以利于学生复习和加深对教学内容的理解,书中给出了大量的习题及思考题,覆盖的面广,类型齐全,对各类典型习题作了题解或提示,有利于培养学生分析和解决问题的能力。机械加工工艺规程与机床夹具设计指导部分阐述了课程设计的目的、要求,对设计的步骤、方法作了详细指导,并给出设计示例,可供学生进行课程设计时参考。常用工艺标准资料及应用部分简明扼要地列出了学生解题和设计中所需的资料,也可解决课程设计时参考资料不足的矛盾。

本书具有取材精练,纲目清晰,重点、难点突出,说理深入,习题面广量大、类型齐全,具有启发性和引导性,设计指导内容全面,示例思路、步骤清晰,具有指南性和参考性等特点。可作为普通高等院校、职业大学、广播电视大学和各类成人高等教育机械工程类各专业的师生教学及自学的参考书,也可供从事机械制造业的工程技术人员学习参考。

参加本书编写的有秦宝荣、李纪明、倪骁骅、郭宗连、吴永祥、王克武等同志。全书由秦宝荣主编,李纪明、倪骁骅副主编。江苏理工大学陈嘉真教授主审。

本书编写过程中得到了各参编院校有关领导的关心和支持,盐城工学院徐文宽副教授审阅了全部书稿、洪允征副教授进行了标准化审核,提出了许多宝贵意见,谨此表示衷心的感谢。

由于这类专业课程的辅助性教材很少,缺少可供借鉴的模式与经验,加上编者水平有限,缺点错误所在难免,竭诚希望使用本书的读者们不吝指教,以便不断修改、完善和提高。

编 者

1998年3月

目 录

第一章 机械制造工艺学学习指导及习题

一、机械加工精度	(1)
(一) 学习要求	(1)
(二) 内容提要	(1)
(三) 学习要点	(4)
(四) 习题及思考题	(5)
二、机械加工表面质量	(12)
(一) 学习要求	(12)
(二) 内容提要	(12)
(三) 学习要点	(14)
(四) 习题及思考题	(14)
三、机械加工工艺规程的制订	(17)
(一) 学习要求	(17)
(二) 内容提要	(17)
(三) 学习要点	(19)
(四) 习题及思考题	(21)
四、典型零件加工工艺	(32)
(一) 学习要求	(32)
(二) 内容提要	(32)
(三) 学习要点	(33)
(四) 习题及思考题	(34)
五、机械装配工艺基础	(37)
(一) 学习要求	(37)
(二) 内容提要	(38)
(三) 学习要点	(40)
(四) 习题及思考题	(41)
六、机械制造技术的新发展	(48)
(一) 学习要求	(48)
(二) 内容提要	(48)
(三) 学习要点	(51)
(四) 习题及思考题	(51)

• ■ •

第二章 机床夹具设计学习指导及习题

一、绪论	(52)
(一) 学习要求	(52)
(二) 内容提要	(52)
(三) 学习要点	(52)
(四) 习题及思考题	(52)
二、工件在夹具中的定位	(53)
(一) 学习要求	(53)
(二) 内容提要	(53)
(三) 学习要点	(55)
(四) 习题及思考题	(55)
三、工件在夹具中的夹紧	(61)
(一) 学习要求	(61)
(二) 内容提要	(61)
(三) 学习要点	(64)
(四) 习题及思考题	(64)
四、分度装置及夹具体	(66)
(一) 学习要求	(66)
(二) 内容提要	(66)
(三) 学习要点	(67)
(四) 习题及思考题	(67)
五、各类机床夹具	(68)
(一) 学习要求	(68)
(二) 内容提要	(68)
(三) 学习要点	(69)
(四) 习题及思考题	(69)
六、专用夹具的设计方法	(69)
(一) 学习要求	(69)
(二) 内容提要	(69)
(三) 学习要点	(71)
(四) 习题及思考题	(71)
七、计算机辅助夹具设计	(74)
(一) 学习要求	(74)
(二) 内容提要	(74)
(三) 学习要点	(74)
(四) 习题及思考题	(75)
八、新型机床夹具	(75)
(一) 学习要求	(75)

(二) 内容提要	(75)
(三) 学习要点	(76)
(四) 习题及思考题	(76)

第三章 机械加工工艺规程与机床夹具设计指导

一、机械加工工艺规程与机床夹具设计指导	(77)
(一) 设计的目的与要求	(77)
(二) 机械加工工艺规程设计指导	(78)
(三) 专用夹具设计指导	(83)
(四) 设计说明书的撰写	(85)
二、机械加工工艺规程与机床夹具设计示例	(86)
(一) 设计任务	(86)
(二) 设计说明书	(86)

第四章 常用工艺标准资料及其应用

一、机械加工定位、夹紧符号(JB/T5601-91)	(107)
(一) 符号	(107)
(二) 各类符号的画法	(109)
(三) 定位、夹紧符号及装置符号的使用	(110)
二、各种加工方法的经济精度和表面粗糙度	(110)
(一) 各种加工方法能达到的尺寸经济精度	(110)
(二) 各种加工方法能达到的形状和相互位置经济精度	(112)
(三) 各种加工方法能达到的零件表面粗糙度	(114)
(四) 各类型面加工方案的经济精度	(115)
三、毛坯的加工余量和公差	(116)
(一) 铸件的机械加工余量和公差	(116)
(二) 锤上钢质自由锻件机械加工余量与公差	(119)
四、工序间加工余量	(123)
(一) 轴的加工余量	(123)
(二) 孔的加工余量	(125)
(三) 平面的加工余量	(128)
(四) 齿轮的加工余量	(128)
(五) 矩形花键的加工余量	(129)
(六) 麻花钻的直径	(129)
五、工艺文件编号方法(JB/Z254-85)	(131)
(一) 编号的组成	(131)
(二) 代号编制规则和登记方法	(131)
六、机械加工工艺装备编号方法(JB/Z180-88)	(132)
(一) 编号的组成	(132)

(二) 工装类、组和分组的划分及代号	(133)
七、夹具的公差配合及技术要求	(136)
(一) 夹具的尺寸及角度公差	(136)
(二) 夹具上常用配合的选择	(136)
(三) 车床夹具的公差配合与技术要求	(140)
(四) 铣床、刨床夹具的公差配合与技术要求	(142)
(五) 钻床、镗床夹具的公差配合与技术要求	(144)
八、夹具零件的公差和技术要求	(147)
(一) 国标(GB/T2259-91)规定的技术要求(摘录)	(147)
(二) 夹具专用零件公差和技术要求	(148)
(三) 夹具主要零件的材料	(150)
主要参考文献	(151)

第一章 机械制造工艺学学习指导及习题

一、机械加工精度

(一) 学习要求

- (1) 掌握有关加工精度的概念、获得加工精度的方法及影响加工精度的因素。
- (2) 掌握各种原始误差产生的原因、对加工精度的影响及其改善措施。
- (3) 掌握加工误差的统计分析方法,并应用于加工误差的综合分析。
- (4) 掌握提高和保证机械加工精度的途径。
- (5) 学会运用加工精度的有关理论分析和解决机械加工中的实际问题。

(二) 内容提要

1. 概述

(1) 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。加工误差是指零件加工后的实际几何参数对理想几何参数的偏离程度。加工误差愈小,加工精度愈高。

(2) 获得尺寸精度的方法有:试切法、定尺寸刀具法、调整法和自动控制法;获得形状精度的方法有:轨迹法、成形法和展成法;位置精度的获得主要与装夹中的定位方式有关,定位方法有:找正定位(直接找正和划线找正)和夹具定位。

(3) 机床、夹具、刀具和工件构成的一个完整系统,称之为工艺系统。工艺系统的误差称为原始误差。

(4) 原始误差分为:加工原理误差、工件装夹误差、机床误差、夹具误差、刀具误差、调整误差、工艺系统受力变形、工艺系统热变形、工件残余应力引起的变形、测量误差等。

2. 工艺系统的几何误差

(1) 加工原理误差是指采用了近似的加工方法(近似的刀具轮廓、近似的成形运动、近似的传动方式)进行加工而产生的误差。

(2) 机床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,包括径向跳动、轴向窜动和角度摆动。主轴回转误差对加工精度的影响与加工方法有关。影响主轴回转精度最主要的因素有:主轴支承轴颈、轴承孔、滚动轴承滚道等的圆度误差,主轴支承轴肩与轴线的垂直度误差以及轴承的间隙等。提高主轴回转精度的措施有:选用高精度的滚动轴承或采用多油楔动压和静压滑动轴承;提高主轴及主轴部件的加工与装配质量;使主轴的回转误差不反映到工件上。

(3) 机床导轨误差包括导轨在水平面和垂直面内的直线度误差及前后导轨的平行度误差。通过切削点的加工表面的法线方向称为“误差敏感方向”。原始误差引起的刀具在误差

敏感方向上的位移,对加工精度产生直接的影响。造成机床导轨误差的主要原因有导轨的制造误差,导轨在地基上安装时的变形及使用过程中的磨损。

(4) 机床传动链误差是指机床内联传动链始末两端传动元件之间相对运动的误差。它是螺纹加工、螺旋面加工和展成法加工齿轮时,影响工件加工精度的主要因素。传动链中某一传动元件的转角误差引起的末端传动元件的转角误差为 $\Delta\varphi_m = i_{jm} \cdot \Delta\varphi_j = K_j \cdot \Delta\varphi_j$, K_j 为误差传递系数,在数值上等于从该传动元件到末端传动元件之间的总传动比。整个传动链的总转角误差是各传动元件所引起末端传动元件转角误差的叠加,是一个复杂的多谐周期函数。提高机床传动链精度的措施主要有:提高传动元件的制造精度和装配精度,缩短传动链,合理分配传动链中各传动副的传动比及采用误差补偿装置。

(5) 刀具的制造误差及磨损对加工精度的影响,随刀具的种类不同而不同。刀刃在误差敏感方向上的磨损对工件的加工精度有直接的影响,称为尺寸磨损。刀具的磨损过程可分为三个阶段:初期磨损阶段、正常磨损阶段和急剧磨损阶段。

(6) 调整误差是指调整机床、夹具、刀具及工件后的实际位置与正确位置的偏离。调整误差集中反映到刀具相对工件加工表面,或刀具相对加工表面的基准面的调整尺寸误差及调整位置误差。试切法加工时产生调整误差的来源主要有:测量误差、加工余量的影响和微量进给误差。调整法加工时产生调整误差的来源除试切法加工时的几个因素外,还有:定程机构误差、样件或样板误差及测量有限试件造成的误差。

(7) 夹具误差来自夹具的制造误差、安装误差和使用过程中的磨损。夹具误差主要包括定位误差、夹紧误差、对刀误差、夹具安装误差等。

3. 工艺系统的受力变形

(1) 工艺系统的刚度定义为: $k_{\text{系统}} = F_y / y_{\text{系统}}$ 。 $y_{\text{系统}}$ 为工艺系统在 F_x, F_y, F_z 共同作用下的 y 方向的变形。

$$(2) \frac{1}{k_{\text{系统}}} = \frac{1}{k_{\text{机床}}} + \frac{1}{k_{\text{夹具}}} + \frac{1}{k_{\text{刀具}}} + \frac{1}{k_{\text{工件}}}$$

(3) 机床部件静刚度曲线的特点是:力与变形呈非线性关系、加载曲线与卸载曲线不重合、加载曲线与卸载曲线不封闭、部件的实际刚度远比按整体所估计的要小。影响机床部件刚度的因素有:连接表面间的接触变形、薄弱零件本身的变形、连接表面间的间隙、接触表面间的摩擦、受力方向及作用力矩的影响。

(4) 工艺系统各环节的刚度及整个工艺系统的刚度,随受力点位置的变化而变化,使工件产生形状误差和截面尺寸误差。

(5) 切削过程中加工余量、材料硬度的变化,引起切削力和工艺系统受力变形的变化,产生工件的尺寸误差和形状误差。当工件毛坯有形状误差或相互位置误差时,都将以一定的系数复映成工件的加工误差,随着走刀次数的增加,误差逐渐减小,这个规律称为误差复映规律。

(6) 切削中传动力、惯性力的作用方向不断变化,引起工件几何轴线相对于平均轴线在空间成一定锥角的圆锥运动,产生形状误差。

(7) 切削前因夹紧力和重力引起的变形使加工后的工件产生形状误差。

(8) 减少工艺系统受力变形的措施有:①提高工艺系统的刚度,包括选用合理的结构形状、提高连接表面的接触刚度、设置一定的辅助支承、采用合理的安装方式和加工方法等。

②转移或补偿工艺系统的受力变形。③采用适当的工艺措施,减小切削力。

4. 工艺系统的热变形

(1) 工艺系统的热源有切削热、摩擦热、派生热源和外部热源等。

(2) 机床热变形主要表现在主轴和导轨上,主轴的热变形会使主轴轴线产生位移和倾斜,导致工件产生尺寸误差和形状误差。导轨的热变形使导轨产生中凸或中凹,引起工件加工表面的形状误差和位置误差。

(3) 车削长轴或立车大端面时,刀具连续工作时间长,随着切削时间的增加,刀具逐渐受热膨胀,造成工件的圆柱度误差或端面的平面度误差。调整法加工一批小型工件时,每个工件的切削时间短,刀具的受热和冷却是周期性地交替,刀具的热变形对每一个工件来说,产生的形状误差是较小的,但造成一批工件的尺寸分散。

(4) 工件均匀受热主要影响工件的尺寸精度,可以根据其平均温升估算工件的变形: $\Delta L = \alpha L \Delta T'$ 。工件不均匀受热主要影响工件的形状和相互位置精度。薄片工件单面受热引起的变形 $y \approx \alpha L^2 \Delta T' / 8h$ 。

(5) 减少和控制工艺系统热变形的措施有:改进机床结构,控制热变形方向及均化变形量,如采用热对称、热补偿结构、合理设计零部件的相对位置,隔离热源等;合理安排工艺过程,尽量使粗、精加工分开;保持工艺系统的热平衡;控制环境温度;施加冷却液等。

5. 工件内应力引起的变形

(1) 内应力也称残余应力,是指在没有外力作用下或去除外力后工件内存留的应力。具有内应力的零件处于一种不稳定的状态,其内部的组织有强烈的倾向要恢复到一个稳定的没有应力的状态,即使在常温下也在不断地进行这种变化,随着内应力的消失,零件原有的加工精度逐渐丧失。

(2) 工件内应力产生的原因有:①工件各部分受热不均或冷却速度不同,造成膨胀或收缩不均匀而产生内应力,如毛坯制造过程。②工件受力发生局部塑性变形或塑性变形不均而产生内应力,如冷校直杆类零件时。③切削过程中由于切削力和切削热作用,工件表面产生冷态或热态塑性变形而产生的内应力,如磨削等。

(3) 工件内应力对加工精度的影响主要有:①具有内应力的工件加工时,工件会因内应力的重新分布而发生变形,因而得不到预期的精度。②加工后具有内应力的工件,随着内应力的消失,零件原有的加工精度逐渐丧失。③当零件表面内应力超过材料的强度极限时,会在工件表面产生裂纹,如磨削裂纹。

(4) 减少和消除内应力的工艺措施主要有:改善零件结构、合理安排工艺过程、设立消除内应力的专门工序。

6. 加工误差的综合分析

(1) 系统性误差指在连续加工一批工件时,其加工误差的大小和方向始终保持不变,或者按一定规律变化。前者称为常值系统性误差,后者称为变值系统性误差。随机性误差指在连续加工一批工件中,误差的大小和方向不规则地变化。

(2) 直方图(实际分布图) 样本的平均值 $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$

$$\text{样本的标准差的估计值 } s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}。$$

(3) 正态分布曲线的分散范围是 6σ ，一般情况下应使工件的尺寸公差 $T \geq 6\sigma$ 。

(4) 直方图分析法主要应用于：①判别加工误差的性质；②确定工序的工艺能力，工序的工艺能力系数 $C_p = T/6\sigma$ ；③根据分布图和公差带估算合格率 and 废品率。

(5) \bar{x} -R 点图	中心线	上控制线	下控制线
\bar{x} 点图	$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \bar{x}_j$	$\bar{x}_U = \bar{\bar{x}} + A\bar{R}$	$\bar{x}_L = \bar{\bar{x}} - A\bar{R}$
R 点图	$\bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k R_j$	$R_U = D_1\bar{R}$	$R_L = D_2\bar{R}$

系数 A, D_1, D_2 的值可查表。

(6) \bar{x} -R 点图分析法主要应用于：①工艺验证；②统计质量控制。

7. 提高和保证机械加工精度的途径

提高和保证机械加工精度的途径归纳起来有以下几点：①减少原始误差；②误差补偿；③误差分组；④误差转移；⑤就地加工；⑥误差平均法。

(三) 学习要点

机械加工精度是机械制造工艺学的核心内容之一，教材中讨论的内容归纳起来包括加工精度的基本概念、加工误差的单因素分析、加工误差的统计分析、加工误差的综合分析、保证机械加工精度的途径五个方面。其中加工误差的单因素分析和统计分析是两大重点内容。学习本章内容要注意以下几点：

(1) 加工精度和加工误差是两个非常重要的概念，必须正确理解其含义，弄清两者之间的关系，了解获得加工精度的方法。加工精度是由零件图纸或工艺文件以公差 T 给定的，而加工误差则是零件加工后实际测得的偏离值。

(2) 原始误差是引起加工误差的根源，要了解原始误差的概念及分类。

(3) 原理误差来自近似的加工方法，故又称加工方法误差。原理误差多出现于螺纹、齿轮及复杂的曲面加工中，要注意与机床内联传动链误差和刀具刃形制造误差相区别，在原理误差可以满足加工精度的前提下，采用近似的加工方法是提高生产率的有效工艺方法。

(4) 机床的几何误差是本章的重点内容之一，必须切实掌握。主轴回转误差不仅对加工表面的形状和位置精度影响较大，而且对加工表面的粗糙度和波度影响也较大，学习时要正确理解和掌握回转误差的概念、误差运动的形式，注意分析回转误差对不同机床和加工表面产生的加工误差，分析影响回转误差的主要因素，了解主轴回转误差的测量方法及提高主轴回转精度的措施。

机床导轨误差是产生工件形状误差和位置误差的主要因素之一，学习时要注意掌握加工误差敏感方向的概念。分析判断因导轨误差产生的加工误差时，首先要弄清导轨误差的项目、所在平面和方向，以及导轨全长上各点的误差值，然后再查明工件被加工表面所对应的导轨部位和长度段。要学会估算因导轨误差而产生的加工误差。

机床传动链误差是螺纹加工、螺旋面加工和展成法加工齿轮时影响工件加工精度的主要因素。学习时要注意理解和掌握传动链误差的概念及传递规律，学会估算传动链误差及其产生的加工误差，了解提高减少传动链误差的措施。

(5) 刀具的制造误差及磨损对加工精度的影响，随刀具的种类不同而不同，学习时要注

意分析不同种类刀具的制造误差对加工精度的影响。注意掌握刀具的磨损规律及磨损量的计算,学会分析、计算因刀具磨损而产生的加工误差。

(6) 在机床、夹具、刀具、工件等都达到工艺要求的情况下,调整误差对加工精度的影响起着决定性的作用,是造成废品的主要因素之一,随着获得精度的方法及其相应的调整方法的不同,调整误差的来源也不同,学习时要注意理解调整误差的概念,分析各种调整方法的特点及调整误差的来源。

(7) 工艺系统受力变形不仅是本章的重点,而且是工艺学中的一个重要问题。工艺系统刚度是研究受力变形的的基础,要正确理解工艺系统刚度的概念,注意工艺系统刚度的定义与构件刚度定义的区别,掌握工艺系统刚度的确定方法,总结工艺系统刚度的特点及其影响因素。工艺系统受力变形引起的加工误差,归纳起来有四种形式:一是切削力作用点位置变化而产生的工件形状误差,二是“毛坯”误差复映而产生的工件尺寸分散和形状误差,三是传动力、惯性力的作用方向变化对加工精度的影响,四是夹紧力、重力引起的变形而产生的工件形状误差。学习时必须弄清受力变形的前提,注意分析受力变形的规律,特别是注意理解和掌握误差复映的概念及复映规律。学会估算工艺系统受力变形引起的加工误差。着重从提高刚度和减小受力两个方面,总结减小受力变形的措施。

(8) 在大型工件加工、精密加工及自动化加工中,工艺系统热变形引起的加工误差在总加工误差中占有较大的比例。分析工艺系统热变形要注意分析工艺系统的热源及升温规律,掌握热平衡的概念,掌握工艺系统热变形对加工误差的影响规律,其中的重点是机床和工件。分析机床热变形产生的加工误差,首先要查明引起热变形的热源,然后要弄清机床各主要部件的热变形趋势,最后,可以根据机床几何误差对加工精度影响的规律和结果,来确定机床热变形产生的加工误差。分析刀具热变形产生的加工误差要分连续切削和间断切削两种情况。分析工件受热变形要分均匀受热和不均匀受热两种情况。要学会估算因刀具、工件热变形而产生的加工误差。注意总结减少和控制工艺系统热变形的途径。

(9) 工件内应力对加工精度和表面质量都有较大的影响,学习时要注意掌握内应力产生的主要原因和过程、内应力对加工精度影响的规律及减少内应力的工艺措施。要判明因内应力引起的工件变形,需要判断工件表面存在的是拉应力还是压应力,判断的准则是:若工件表面体积缩小而受里层限制时,则工件表层产生的是拉应力;反之为压应力。

(10) 加工误差的统计分析方法,不仅可以揭示误差的分布与变化规律,而且还可以用来预测和控制工艺过程的加工质量,是评价工序的工艺能力、工艺稳定性、分析原始误差、寻求提高精度对策的基本方法。因此是培养学生工艺分析能力的重要内容,必须熟练地掌握。学习时要掌握直方图和 \bar{x} -R 点图的作法、特点及其应用。要会应用直方图和 \bar{x} -R 点图进行加工误差分析、工艺验证、质量控制及加工误差综合分析。

(11) 要了解提高和保证机械加工精度的途径。

(四) 习题与思考题

- 1-1. 何谓加工精度? 何谓加工误差? 两者有何区别与联系?
- 1-2. 零件的加工精度应包括哪些内容? 获得加工精度的方法有哪些?
- 1-3. 何谓原始误差? 何谓工艺系统静误差? 与切削过程有关的原始误差有哪些?
- 1-4. 何谓加工原理误差,举例说明它对加工精度的影响。

1-5. 提高机床主轴回转精度有哪些途径? 在生产实际中转移主轴回转误差常用的工艺方法有哪些?

1-6. 何谓误差敏感方向? 它在分析机床导轨误差对加工精度的影响时有何意义?

1-7. 试分析在转塔车床上将车刀垂直安装加工外圆时, 影响直径误差的因素中, 导轨在垂直面内和水平面内的弯曲, 哪个影响大? 与卧式车床比较有什么不同? 为什么?

1-8. 试分析在车床三爪定心卡盘上镗孔时, 引起被加工孔圆度误差和圆柱度误差、引起内孔与外圆的同轴度误差、端面与外圆的垂直度误差的原因。

1-9. 中心距为 2000mm 的外圆磨床导轨, 经测量其水平方向的直线度误差如图 1-1a 所示。若只考虑此项误差的影响, 试分析计算磨削 1000mm 长的光轴时产生的最大圆柱度误差? 又如何调整机床, 使圆柱度误差为最小?

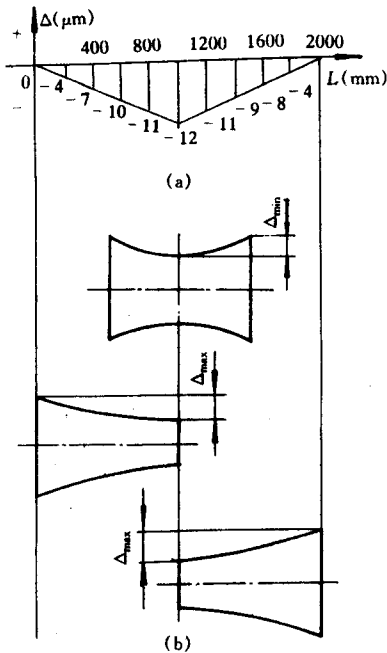


图 1-1 题 1-9 图

解 由图 1-1a 知, 导轨在水平面中凸向操作者, 故磨削后的光轴呈整鞍形或半鞍形。1000mm 长的光轴, 可以在 2000mm 长导轨的前段、中段或后段磨削, 如图 1-1b 所示。在导轨中段磨削时, 圆柱度误差为 $\Delta = 0.012 - 0.008 = 0.004\text{mm}$; 在前段或在后段磨削时, 圆柱度误差为 $\Delta = 0.012 - 0 = 0.012\text{mm}$ 。所以最大圆柱度误差为 0.012mm。

在前段磨削或后段磨削的基础上, 调整机床尾座顶尖的横向位置, 使前后顶尖的连线与工作台面纵向移动方向平行, 圆柱度误差可减小到最小。

1-10. 在一台中心高 $H = 200\text{mm}$, 前后导轨距离 $B = 300\text{mm}$ 的车床上, 车削阶梯轴的一段外圆, 这段外圆的长度为 1000mm, 车削时它正处于导轨的 400~1400mm 一段上。车削前, 测得该车床三个导轨面的磨损曲线如图 1-2 所示。若仅考虑导轨磨损对加工精度的影响, 试求加工后工件产生的圆柱度误差? 并画出这段外圆柱加工后的形状。

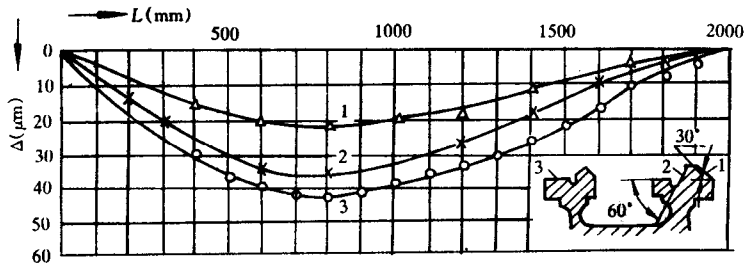


图 1-2 题 1-10 图

1-11. 在 CA6140 型车床上车削盘类零件 $\phi 200\text{mm}$ 的端面, 工序技术要求为端面加工后

的平面度误差不得大于 0.02mm。当刀架转盘刻度对准零线时,刀架小拖板导轨与主轴回转轴线有 0.025/100mm 的垂直度误差,若仅考虑此项误差的影响,加工后能否满足工序技术要求? 画出加工后端面可能出现的形状。

1-12. 在普通车床上加工一根光轴,图纸要求其直径尺寸为 $\phi 80_{-0.06}^0$ mm,长度为 800mm,圆柱度公差为 0.01mm。该车床导轨相对于前后顶尖连心线在水平面和垂直面内的平行度均有 0.02/1000mm 的误差(图 1-3)。若只考虑此项误差的影响,加工后能否达到图样要求? 若不能时,可采用什么工艺措施来解决?

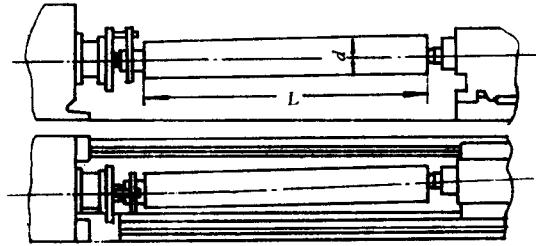


图 1-3 题 1-12 图

解 由图给定的平行度误差方向可断定:水平面内的平行度误差将使工件产生右端直径大,左端直径小的锥度;垂直面内的平行度误差将使工件产生一端直径小,另一端直径大的锥形双曲面体。加工后产生的工件圆度误差分别为:

$$\Delta R_{\text{水}} = L \cdot \text{tg}\alpha = 800 \times 0.02/1000 = 0.016(\text{mm})$$

$$\Delta R_{\text{垂}} = (L \cdot \text{tg}\alpha)^2/2R = (800 \times 0.02/1000)^2/80 = 0.032 \times 10^{-4}(\text{mm})$$

$$\Delta R = \sqrt{\Delta R_{\text{水}}^2 + \Delta R_{\text{垂}}^2} \approx 0.016(\text{mm})$$

因为 $\Delta R \approx 0.016\text{mm}$ 大于图样要求的 0.01mm,所以,加工后的工件达不到图样要求的概率过大。若将尾座顶尖水平移向操作者 0.016mm,则可满足图样要求。

1-13. 何谓机床传动链误差? 在何种场合下需要着重考虑它对加工精度的影响? 采取哪些措施提高机床传动链精度?

1-14. 如果被加工齿轮分度圆直径 $D=100\text{mm}$,滚齿机滚切传动链最后一个交换齿轮的分度圆直径 $d=200\text{mm}$,分度蜗轮副的降速比为 1:96,若此交换齿轮的周节累积误差 $\Delta F=0.12\text{mm}$,试求由此引起的工件周节偏差是多少?

提示 将周节偏差换算成角度偏差。

1-15. 为什么说一般的单刃刀具,其制造误差对工件的加工精度无直接影响?

1-16. 车削一根尺寸为 $\phi 200 \times 3000\text{mm}$ 的轴,材料为 45 钢,切削用量为: $v=100\text{m/min}$, $a_p=0.5\text{mm}$, $f=0.05\text{mm/r}$ 。采用 YT30 硬质合金车刀。若只考虑车刀磨损影响,试求加工后产生的锥度误差。

解 车刀的切削路程为

$$S = \frac{\pi d L}{1000 f} = \frac{3.14 \times 200 \times 3000}{1000 \times 0.05} = 37680(\text{m})$$

查《机械制造工艺学》表 1-1 得单位磨损量 $k_{\mu}=6.5\mu\text{m/km}$,并取初期磨损量 $\mu_0=6.5\mu\text{m}$,车刀的尺寸磨损为

$$\mu = \mu_0 + \frac{S}{1000} k_{\mu} = 0.0065 + 37680 \times 0.0065/1000 = 0.251(\text{mm})$$

工件加工后产生的锥度误差为 $K=2\mu=0.502\text{mm}$ 。

1-17. 车削一 45 钢管的外圆,其外径尺寸及偏差为 $\phi 100_{-0.054}^0$ mm,加工长度 $L=2100$

mm。加工后允许全长上的锥度不大于 0.02mm。采用 YT15 车刀, $a_p=1\text{mm}$, $f=0.32\text{mm/r}$ 。试计算由于车刀磨损产生的锥度误差是否超差? 若改用 YT30 宽刀, $f=1.98\text{mm/r}$ 加工, 是否满足加工要求?

1-18. 何谓调整误差? 采用样件调整法时影响调整误差的因素有哪些?

1-19. 何谓工艺系统刚度? 机床部件刚度有哪些特点? 影响部件刚度的因素有哪些?

1-20. 在卧式镗床上采用图 1-4 所示的五种方式加工箱体孔: (a) 镗杆送进, 有后支承; (b) 镗杆送进, 无后支承; (c) 工作台送进; (d) 在镗模上单刀加工; (e) 在镗模上三把刀同时加工, 若只考虑镗杆刚度的影响, 试在图中画出加工后孔的形状误差, 并说明其理由。

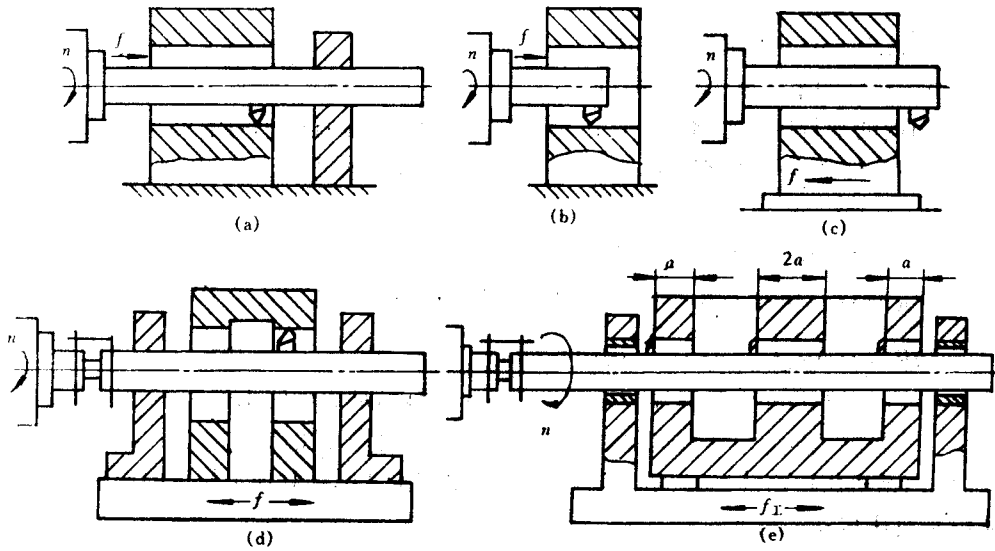


图 1-4 题 11-20 图

1-21. 何谓误差复映规律? 误差复映系数的物理意义是什么?

1-22. 在车床两顶尖间加工短而粗的光轴, 若已知 $F_y=1000\text{N}$, 床头刚度 $k_{ij}=100000\text{N/mm}$, 尾座刚度 $k_{wz}=50000\text{N/mm}$, 试求由于机床刚度不均引起的加工表面的形状误差?

解 在车刀切削过程中工艺系统的总位移为:

$$y_{xt} = \frac{F_y}{k_{dj}} + \frac{F_y}{k_{ij}} \left(\frac{x}{L} \right)^2 + \frac{F_y}{k_{wz}} \left(\frac{L-x}{L} \right)^2$$

先求位移量最小值, 上式对 x 求导, 并令 $dy_{xt}/dx=0$, 得

$$\frac{x}{k_{ij}} - \frac{L-x}{k_{wz}} = 0$$

$$x = \frac{k_{ij}L}{k_{ij} + k_{wz}} = \frac{100000L}{100000 + 50000} = \frac{2}{3}L$$

所以, 当 $x = \frac{2}{3}L$ 时, y_{xt} 最小:

$$y_{x\min} = \frac{F_y}{k_{dj}} + \frac{F_y}{k_{wz}} \left(\frac{1}{3} \right)^2 + \frac{F_y}{k_{ij}} \left(\frac{2}{3} \right)^2$$

在尾座处 ($x=0$) 系统刚度最小, y_{xt} 最大

$$y_{xtmax} = \frac{F_y}{k_{d_j}} + \frac{F_y}{k_{w_z}}$$

则加工后轴的形状误差为

$$\begin{aligned} \Delta D &= 2(y_{xtmax} - y_{xtmin}) = 2\left(\frac{F_y}{k_{w_z}} - \frac{F_y}{k_{w_z}} \times \frac{1}{9} - \frac{F_y}{k_{d_j}} \times \frac{4}{9}\right) \\ &= 2\left(\frac{1000}{50000} \times \frac{8}{9} - \frac{1000}{100000} \times \frac{4}{9}\right) \approx 0.0266(\text{mm}) \end{aligned}$$

1-23. 横磨工件时(图 1-5), 设横向磨削力 $F_y = 100\text{N}$, 主轴箱刚度 $k_{d_j} = 5000\text{N/mm}$, 尾座刚度 $k_{w_z} = 4000\text{N/mm}$, 加工尺寸如图所示, 求加工后工件的锥度。

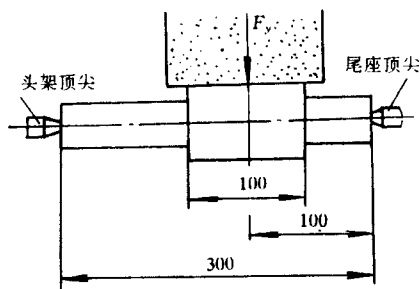


图 1-5 题 1-23 图

1-24. 在车床两顶尖间加工一长度为 800mm, 直径为 60mm 的 45 钢光轴。已知机床各部件的刚度分别为 $k_{d_j} = 90000\text{N/mm}$, $k_{w_z} = 50000\text{N/mm}$, $k_{d_j} = 40000\text{N/mm}$, 加工时的切削力 $F_z = 600\text{N}$, $F_y = 0.4F_z$ 。试分析计算一次走刀后的工件轴向形状误差。

1-25. 在车床上加工一批齿轮毛坯, 若已知 $k_{x_t} = 5000\text{N/mm}$, $f = 0.15\text{mm/r}$, $C_{F_y} = 900\text{N/mm}^2$, 毛坯直径为 $\phi 105 \pm 1.00\text{mm}$ 。试求: 按 $\phi 100\text{mm}$ 调整刀具, 一次走刀加工后这批齿轮直径尺寸的总误差。

1-26. 设已知一工艺系统的误差复映系数为 0.25, 工件在本工序前有 0.45mm 的圆度误差, 若规定本工序的圆度公差值为 0.01mm, 问至少走刀几次方能使形状精度合格?

1-27. 在车床上用三爪自动定心卡盘装夹精镗一盘套零件上内孔, 已知镗前内孔圆度误差为 0.5mm, 进给量 $f = 0.4\text{mm/r}$, $C_{F_y} = 1000\text{N/mm}^2$, $y_{F_y} = 0.75$, 工件材料为铸铁, 刀具材料为高速钢, 机床床头和刀架刚度分别为 $k_{d_j} = 10000\text{N/mm}$, $k_{d_j} = 4000\text{N/mm}$, 若只考虑工艺系统受力变形对加工精度的影响, 试求:

- (1) 经几次走刀方可使精镗后的圆度误差控制在 0.01mm 以内?
- (2) 若想一次走刀即达到 0.01mm 的圆度要求, 需选用多大进给量?

提示 $\epsilon = \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 \cdot \dots = \epsilon_1' = \Delta_g / \Delta_w$; $\epsilon_1 = C_{F_y} f y_{F_y} / k_{x_t}; 1/k_{x_t} = 1/k_{d_j} + 1/k_{d_j}$ 。

1-28. 图 1-6 所示在车床上采用端部为平面的三爪自定心卡盘并通过加一垫片的方法成批加工偏心量 $e = 2^{+0.01}\text{mm}$ 的偏心轴。试分析计算:

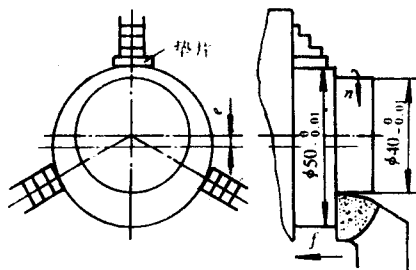


图 1-6 题 1-28 图

- (1) 需选用多厚的垫片?
- (2) 若已知 $k_{d_j} = 63000\text{N/mm}$, $k_{d_j} = 31500\text{N/mm}$, $f = 0.1\text{mm/r}$, $y_{F_y} = 0.75$, $C_{F_y} = 800\text{N/mm}^2$ 的条件下, 一次走刀能否达到偏心量的精度要求?

提示 垫片厚度应通过几何关系和误差复映原理进行计算。