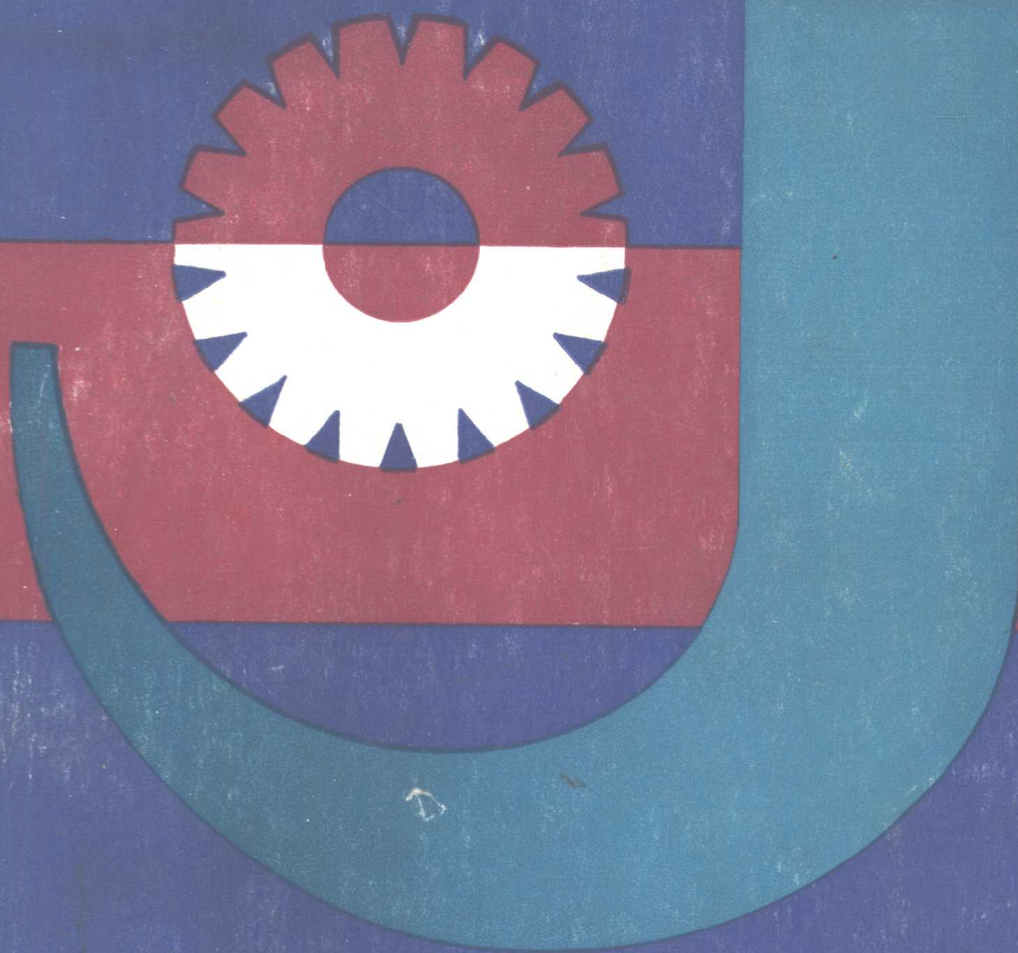


JIXIEZHIZAOGONGYIXUE
JIJIAJUSHEJI



机 械 制 造 工 艺 学 及
夹 具 设 计

翟继昌 主 编

中 国 展 望 出 版 社

机械制造工艺学及夹具设计

翟继昌 主 编

中国展望出版社

一九八七年·北京

前 言

根据1983年10月东北三省广播电视大学理工科协作会议精神和1984年12月中央广播电视大学在广州召开《全国电大理工科教材建设座谈会》的精神,按照中央电大教学计划的规定,结合电大教育事业发展的需要,并鉴于目前我国还未有适合电大这方面的专业教材,为满足电大专业课的教学需要,由辽宁、黑龙江、吉林三省广播电视大学合编了《机械制造工艺学及夹具设计》一书。

本书主要介绍机械制造方面的基础理论、基本原理,使读者初步具有制定工艺规程、设计工艺装配的能力并具有机械加工工艺方面的基本知识。

全书共分:机械加工精度、机械加工过程中的振动、工艺尺寸链、工艺规程的制定、典型零件加工、齿轮加工、夹具设计等内容。

本书在介绍基础理论、基本原理时,尽可能反映国内外的先进水平。我们在编写过程中,力求作到文字简明,理论阐述清楚,适合电大特点,便于读者自学。

本书可作为广播电视大学、业余大学、职工大学、函授学院等机械类有关专业的试用教材,也可供大专院校同类专业以及从事机械制造专业的科技人员参考。

本书由翟继昌主编,全书由哈尔滨工业大学副教授王世杰主审、赵维绥副主审。第一、二、三章由黑龙江省广播电视大学翟继昌编写;第四、五、六章由东北工学院王森栋和沈阳广播电视大学关阳编写;第七章由沈阳广播电视大学崔虹雯编写。辽宁广播电视大学李继斌参加了四、五、六、七章的初审工作。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免有不少错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

1986年5月

AAS 08/05

目 录

第一章 机械加工精度	(1)
§ 1—1 机械加工精度的基本概念	(1)
一、机械加工精度的内容	(1)
二、获得零件规定的加工精度的方法	(2)
三、影响加工精度的因素	(6)
§ 1—2 工艺系统的几何误差	(6)
一、机床的制造误差和磨损	(6)
二、刀具的制造误差与磨损	(15)
三、夹具制造误差和磨损	(17)
四、工件的定位误差	(17)
五、调整误差	(19)
§ 1—3 工艺系统受力变形引起的加工误差	(20)
一、工艺系统刚度的基本概念	(20)
二、工艺系统刚度	(23)
三、工艺系统受力变形对加工精度的影响	(30)
四、接触刚度及变形	(37)
五、提高工艺系统刚度的措施	(42)
§ 1—4 工艺系统热变形引起的加工误差	(44)
一、工艺系统热变形的基本概念	(44)
二、机床热变形及其防止措施	(48)
三、刀具的热变形对加工精度的影响	(50)
四、工件的热变形对加工精度的影响	(52)
§ 1—5 加工误差的综合分析	(55)
一、系统误差与随机误差(偶然误差)	(55)
二、加工误差的综合	(56)
三、用数理统计法分析零件的加工精度	(57)
§ 1—6 机械加工表面质量	(71)
一、机械加工表面质量概述	(71)
二、影响表面质量的主要因素	(75)
第二章 机械加工过程中的振动	(79)
§ 2—1 机械加工过程中有关振动的基本概念	(79)

一、有粘性阻尼的单自由度自由振动	(79)
二、单自由度系统的受迫振动	(85)
三、多自由度系统振动微分方程式的建立	(89)
四、机械阻抗的基本概念	(92)
§ 2—2 机械加工过程中的受迫振动	(102)
一、机械加工过程中受迫振动的振源	(102)
二、减振器的工作原理及隔振原理	(107)
§ 2—3 机械加工过程中的自激振动	(114)
一、有关自激振动的基本概念	(114)
二、切削过程的动态特性分析	(117)
三、切削加工过程中自振的稳定性分析	(123)
§ 2—4 提高切削稳定性的基本途径	(130)
一、提高工艺系统本身的抗振性	(130)
二、合理选择切削参数	(131)
 第三章 工艺尺寸链	(136)
§ 3—1 尺寸链原理的基本概念	(136)
一、工艺尺寸链的定义和组成	(136)
二、尺寸链的分类	(138)
三、尺寸链的组成和查明方法	(139)
四、组成最短尺寸链的原则	(142)
§ 3—2 工艺尺寸链的计算方法	(143)
一、尺寸链计算的基本公式	(143)
二、保证设计尺寸的有关工艺尺寸换算	(149)
§ 3—3 装配尺寸链的计算方法	(150)
一、完全互换法	(150)
二、分组装配法(分组互换法)	(157)
三、修配法	(159)
四、调整法	(163)
§ 3—4 装配工艺的基本概念	(165)
一、装配工艺过程	(165)
二、装配精度	(166)
 第四章 机械加工工艺规程的制定	(168)
§ 4—1 工艺规程制定的原则	(168)
一、机械加工工艺过程的组成部分	(168)
二、机械加工工艺规程的作用	(169)
§ 4—2 制订机械加工工艺过程的步骤	(170)

一、制订机械加工工艺规程的必备资料	(170)
二、制订加工工艺过程的主要步骤	(170)
§ 4-3 零件工艺分析	(172)
一、加工方法的选择	(172)
二、加工阶段的划分	(172)
三、工序的集中与分散	(173)
四、加工顺序的安排	(174)
五、各工序所用机床的选择	(174)
六、填写工艺文件	(175)
§ 4-4 工件定位原理	(175)
一、六点定位原理	(175)
二、自由度限制的选择	(176)
§ 4-5 定位基准的选择	(177)
一、基准的概念	(177)
二、各种基准间的关系与问题	(178)
三、定位基准的选择	(179)
§ 4-6 毛坯选择与毛坯余量	(181)
一、毛坯的选择	(181)
二、毛坯余量	(181)
三、毛坯的公差	(182)
§ 4-7 加工余量及工序尺寸确定	(184)
一、加工余量的确定	(184)
二、工艺尺寸的确定	(185)
三、尺寸链组成和尺寸链图	(185)
§ 4-8 工艺尺寸链计算综合举例	(187)
一、定位基准与设计基准不重合的尺寸换算	(187)
二、工序尺寸和工序公差	(190)
 第五章 典型零件的加工	 (192)
§ 5-1 轴的加工	(192)
一、轴类零件的功用、特点、分类	(192)
二、轴类零件的技术要求	(192)
三、轴类零件表面的机械加工方法	(193)
§ 5-2 轴类零件的典型工艺过程	(197)
一、主轴功用及其主要技术条件	(197)
二、主轴的材料及热处理	(197)
三、机械加工工艺过程	(198)
四、主轴机械加工工艺过程分析	(199)

五、主轴的检查	(200)
§ 5—3 箱体加工	(200)
一、箱体的功用、结构特点和技术要求	(200)
二、箱体的材料及毛坯	(201)
三、箱体机械加工工艺过程	(201)
§ 5—4 箱体平面加工	(202)
一、平面的分类及加工方案	(202)
二、平面刨削	(202)
三、平面铣削	(203)
四、平面磨削	(203)
§ 5—5 箱体孔系加工	(204)
一、同心孔系的加工	(204)
二、平行孔系的加工	(204)
三、垂直孔系的加工	(205)
§ 5—6 箱体批量生产的典型过程	(206)
一、以CA6140及C620—1 车床的床头箱为例分析其生产过程	(206)
二、箱体材料及毛坯	(207)
三、箱体加工工艺过程	(207)
§ 5—7 箱体的检验及质量分析	(209)
一、箱体的主要检验项目	(209)
二、孔系相互位置精度的检验	(209)
三、箱体质量分析	(210)
四、箱体的内应力与热变形对加工精度的影响	(211)
§ 5—8 丝杠加工	(212)
一、丝杠的分类	(212)
二、丝杠的结构特点及技术要求	(212)
三、材料的选择	(213)
四、丝杠加工的典型工艺过程	(214)
五、丝杠的热处理	(215)
六、基面的选择	(216)
§ 5—9 不淬硬丝杠的工艺分析及误差	(216)
一、各工序切削用量和加工余量的选择	(216)
二、机床方面	(217)
 第六章 齿轮	 (219)
§ 6—1 圆柱齿轮	(219)
一、齿轮用材及毛坯制造	(219)
二、齿轮的热处理	(220)

三、齿坯加工.....	(220)
§ 6—2 齿形加工方法及误差分析.....	(221)
一、滚(插)齿轮.....	(221)
二、剃齿.....	(222)
三、磨齿.....	(222)
§ 6—3 齿轮加工误差分析.....	(223)
一、运动精度分析.....	(224)
二、工作平稳性分析.....	(225)
三、接触精度和齿侧间隙.....	(227)
§ 6—4 齿轮典型工艺过程.....	(228)
一、大批大量生产.....	(228)
二、成批生产方式.....	(230)
三、单件小批生产.....	(231)
四、齿轮加工基准选择.....	(232)
§ 6—5 齿轮噪声的分析.....	(232)
§ 6—6 蜗轮加工.....	(233)
一、蜗杆蜗轮副的分类及技术要求.....	(233)
二、普通圆柱形蜗杆、蜗轮加工.....	(233)
 第七章 机床夹具设计.....	(239)
§ 7—1 概述.....	(239)
一、工件装夹的实质.....	(239)
二、机床夹具的分类.....	(239)
三、专用夹具的组成.....	(241)
§ 7—2 工件在夹具中的定位.....	(241)
一、定位的概念.....	(242)
二、基准的概念.....	(242)
三、六点定位原理.....	(243)
四、定位基准的定位及基准位置误差.....	(249)
五、定位误差的分析与计算.....	(264)
§ 7—3 工件的夹紧.....	(269)
一、夹紧装置的组成和基本要求.....	(269)
二、夹紧力的确定.....	(270)
三、夹紧误差估算.....	(276)
四、常用典型夹紧机构.....	(278)
五、复合夹紧机构.....	(286)
六、定心夹紧机构.....	(290)
七、夹具的动力装置.....	(291)

§ 7-4 夹具的对定.....	(295)
一、夹具对切削成形运动的定位.....	(295)
二、夹具的对刀.....	(297)
三、夹具的分度和转位.....	(298)
§ 7-5 夹具设计方法.....	(300)
一、夹具设计的基本要求.....	(300)
二、夹具设计的方法和步骤.....	(301)
三、夹具总图上的尺寸、公差和技术条件.....	(301)

第一章 机械加工精度

§1—1 机械加工精度的基本概念

随着现代化科学技术水平不断提高,许多机器向着高速、高负荷及高压等方面发展。为了保证这些机器的使用性能及寿命,必须对机器提出高质量的要求。这个要求主要包括精度高、效率高、寿命长、操作方便和安全可靠等。

机器零件很重要的一个质量指标就是机械加工精度,它的高低将直接影响整台机器的使用性能和寿命。

在实际生产中,经常遇到和需要解决的工艺问题,多数是加工精度问题。因此深入地了解和研究加工精度的各种规律,相应地采取各种工艺措施,从而确保零件的加工精度,是机械制造工艺学的一项重要任务。

一、机械加工精度的内容

机械加工精度是指零件在加工以后的实际几何参数(尺寸,几何形状和表面相互位置)与理想零件的几何参数相符合的程度。符合程度愈高,加工精度愈高。反之,符合程度愈差,则加工精度也愈低。

生产实践告诉我们,任何一种加工方法,不论多么精密,都不可能将零件做得绝对准确,同理想的完全相符。即使加工条件完全相同,制造出的零件的精度也各不相同。从机器的使用性能来看,也没有必要把零件的尺寸,形状以及位置关系做得绝对准确。只要这些误差大小不影响机器的使用性能,就可以允许在一定的范围里变动,也就是允许有一定的误差存在。误差的大小实际上表明加工精度的高低。

我们研究加工精度的目的,就是研究如何把各种误差控制在允许的公差范围之内,弄清楚各种因素对加工精度的影响规律,从而找出减少加工误差,提高加工精度的途径。

零件是一个空间立体物,其加工误差不可能用一个数值表示出来。要保证加工精度,就要限制被加工零件在尺寸、形状及各加工表面相对位置等三方面的加工误差。因此,零件加工精度应包括以下三方面:

1. 尺寸精度

例如图 1—1 中的内孔，外圆和端面分别按 $\phi 50 + 0.025$ 毫米、 $\phi 110 - 0.035$ 毫米及 $40 - 0.062$ 毫米、35 毫米尺寸来制造，其精度要求属于尺寸精度。未注公差的自由尺寸应按国标 12—14 级精度确定公差。尺寸精度包括直径公差，长度公差和角度公差等。

2. 形状精度

图 1—1 中 $\phi 110 - 0.035$ 外圆的及 $\phi 50$ 内孔圆度误差分别不超过 0.01 毫米和 0.008 毫米都属于零件表面的几何形状精度。

几何形状精度包括圆柱形表面的圆度、

柱度，平面的直线度和平面度等。形状误差是指零件表面的实际形状和理想形状之差。

一般说形状公差应比尺寸公差小得多。

零件的形状精度主要靠机床精度来保证。例如车外圆时，车床主轴轴颈有椭圆，则在滑动轴承中回转时，引起主轴中心线跳动，而使工件外圆产生椭圆，牛头刨床滑枕的导轨不平直造成工件被加工平面的不直度等。

3. 位置精度

图 1—1 中尺寸 $40 - 0.062$ 两端面的不平行度不超过 0.01 毫米及外圆柱面对内孔 B 的同轴度不超过 0.015 毫米，属于相互位置精度。

相互位置精度包括平面与平面、平面与孔轴心线、孔与孔的轴心线平行度、垂直度及孔与孔的同轴度等。

零件表面间的相互位置精度，主要由机床导轨的几何精度、夹具和工件的安装精度及基准的选择等来决定。例如钻床主轴进给方向与工作台平面不垂直，将使工件用以定位的底面与钻出的孔的中心线间不垂直。

必须指出，上述三项精度参数往往是相互关联的，例如确定直径公差时必须包括圆柱表面圆度和柱度；确定平面间距离公差时，必须包括两个平面本身的平面度。受一般几何形状误差应控制在相应的尺寸公差的 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ 以内。而对于某些特殊要求的零件其形状精度可能更高。

二、获得零件规定的加工精度的方法

1. 获得尺寸精度的方法

机械加工中获得尺寸精度的方法有试切法、定尺寸刀具法、调整法及数显控制法等四种。

1) 试切法

• 2 •

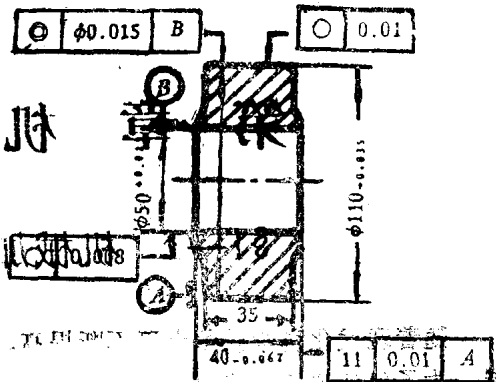


图 1—1 零件的精度

试切法是将通过对工件的加工表面先试切一小段，再进行测量、调整、再试切、再测量、再调整，直到合乎要求为止。

例如如图 1—2 所示。

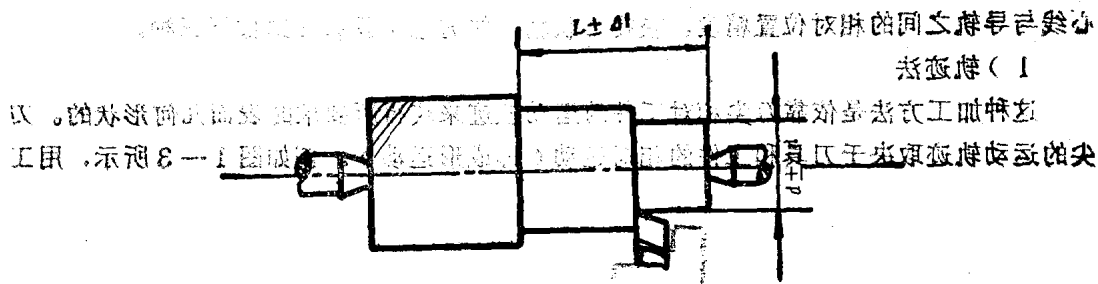


图 1—2 试切法车轴

在车床上精车轴的外圆，为了按要求精度车出直径 $\phi d \pm \delta d$ 和长度 $L \pm \delta l$ 的一段，我们可以先在轴端一小段进行试切，每切一次，测量一下直径，根据所测的结果调整刀具位置，再试切，再测量直至所车直径在 $\phi d \pm \delta d$ 的范围内时，便可开始纵向走刀。当车至台阶面附近时，停止自动走刀，再进行多次试切，直到长度 L 符合 $L \pm \delta l$ 时为止。

试切法所能达到的精度可以很高，但花费在测量试切和调整上的时间很多，而且最后一刀试切容易超过公差范围。这样就要求技术熟练的工人来加工。因此，这种方法主要用于单件，小批生产。

2) 定尺寸刀具法

定尺寸刀具法是用具有一定形状和尺寸的刀具加工，使加工表面得到要求的形状和尺寸。例如钻孔，铰孔，拉孔和攻丝等。

用定尺寸刀具法加工，生产率一般均较高，加工尺寸精度也较稳定，几乎与操作者技术无关，影响尺寸精度的主要因素为刀具本身的尺寸精度、磨损和刀具的安装，其次为切削时的条件，如切削热、刀瘤、润滑冷却液等。

3) 调整法

根据样件或用首件试切法，预先调整好机床、夹具、刀具与工件的相对位置后再进行加工。工件尺寸精度在加工时自动获得。工件的加工精度主要取决于机床调整精度。这种方法广泛使用于多刀车床，六角车床，自动机床及自动线上，适用于成批及大量生产。

4) 数字控制法

数字控制技术引入机械加工领域，开始于五十年代初期。它标志着电子计算机技术在机械加工自动化上应用新纪元的开始，几十年来这项技术有着飞跃的发展。

采用数字控制法加工零件时，只要将刀具用对刀装置安装在一定的位置上，依靠穿孔带输入的信息，通过数控装置或电子计算机，就能使数控机床保证刀具和工件间按预定的相对运动轨迹动作，获得所要求的尺寸。当需要加工不同的工件时，只要更换不同的穿孔带，输入与加工要求相应的信息就能实现。

这种方法适用于中、小批量形状复杂零件的加工。

2. 获得零件的几何形状精度的方法。

零件的几何形状精度，主要由机床精度或刀具精度来保证。例如车削圆柱类零件时其圆度及柱度等几何形状精度，主要决定于主轴的回转精度，导轨精度以及主轴回转轴线与导轨之间的相对位置精度。获得形状精度的方法可具体归纳如下三种。

1) 轨迹法

这种加工方法是依靠刀尖相对工件的运动轨迹来获得所要求的表面几何形状的。刀尖的运动轨迹取决于刀具和工件的相对运动（即成形运动）。例如图1—3所示，用工

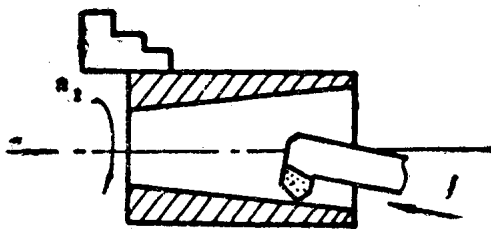


图1—3 轨迹法车锥孔

件的回转和车刀的直线运动车削圆锥面。应该注意，成形运动和主切削运动在概念上是不同的。成形运动可以是主切削运动，也可以是非主切削运动。例如，在车削时，工件的回转，既是成形运动，也是主切削运动；而在磨外圆时，工件的回转运动，是成形运动但不是主切削运动。

用这种加工方法，得到的形状精度取决于成形运动的精度。

2) 成形法

为了提高生产率，简化机床，常采用成形刀具来代替通用刀具。此时，机床的某些成形运动就被成形刀具的刀刃几何形状所代替。例如图1—4所示。用成形车刀或成形砂

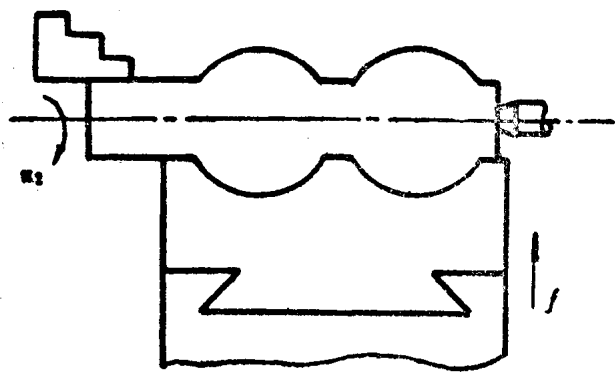


图1—4 成型法车曲面

轮加工回转曲面，很明显，这种加工方法，形状精度既取决于成形运动的精度，也取决于刀刃的形状精度。

3) 展成法

各种齿形的加工，常采用这种方法。这时，刀具和工件作啮合运动。例如图1—5所

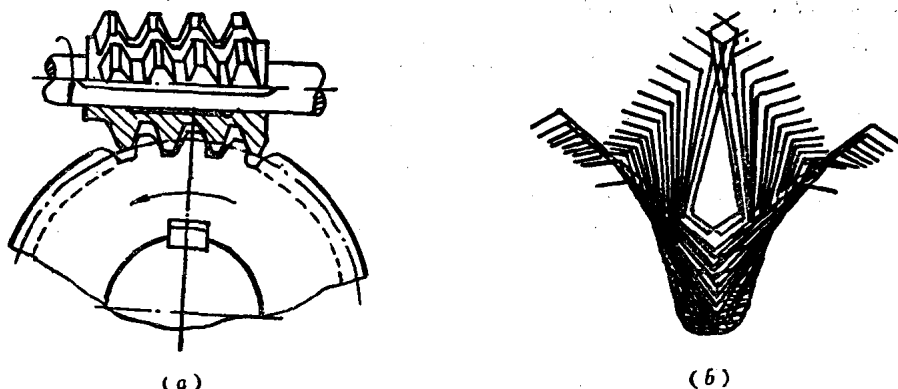


图1—5 用展成法滚铣齿形

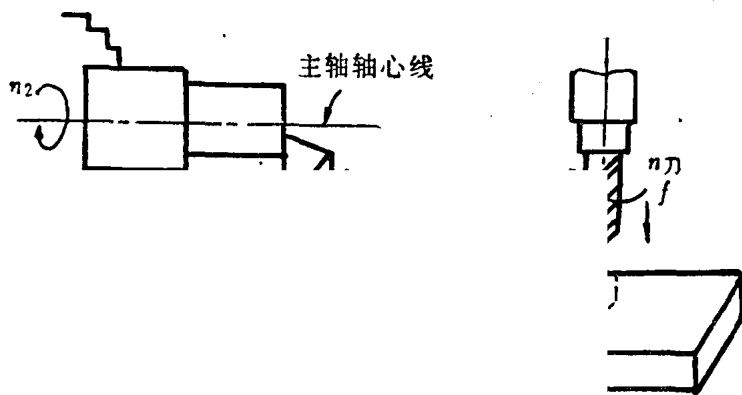
示。被加工表面是刀刃在相对啮合运动中的包络面。刀刃必须是被加工面的共轭曲线，而作为成形运动的啮合运动，则必须保持确定的速比关系。

由上述可知，为了保证形状精度，必须首先保证各成形运动本身及其相互关系的准确性。

由于机器零件的种类大多是由一些圆柱面、圆锥面、平面、螺旋面等简单几何表面组成的，所以机床的成形运动也大多是由回转运动和直线运动组成。

3. 获得零件表面的相互位置精度的方法：

零件表面的相互位置精度，主要由机床精度、夹具精度和工件的安装精度来保证。例如图1—6 (a) 与 (b) 所示。图 (a) 在车床上车削工件端面时，其端面与轴心线的垂直度决定于主轴的轴向窜动。又如图 (b) 在平面上钻孔，孔中心线对于平面的垂直度



[分析和研究加工过程中

三、影响加工精度的因素

由于机械加工时往往离不开机床、刀具、夹具和工件。因此,我们研究机械加工精度时,必须将机床——刀具——夹具——工件四者所组成的机械加工“工艺系统”作为一个整体来考虑和分析问题,才是正确、全面的方法。

由机床、夹具、刀具和工件组成的工艺系统在完成任何一个工序(或一个工艺过程)的加工时,有很多误差因素在起作用,这些因素大致可分两个部分:一部分是与工艺系统本身的结构和状态有关的因素;另一部分则是与金属切削过程有关的因素。具体可分成以下三个主要方面:

1. 工艺系统的几何误差——包括机床、夹具、刀具的制造误差和磨损,尺寸链误差、机床传动链的静态和动态调整误差以及工件、夹具、刀具的安装误差等。

2. 工艺系统力效应产生的误差——包括工艺系统在切削力、夹紧力、传动力、重力、惯性力等外力作用下产生变形而产生的误差以及工件残余应力所引起的误差等。

3. 工艺系统热变形产生的误差——包括工艺系统在切削热、摩擦热、环境温度、辐射热等作用下发生热变形而产生的误差。

除上述三个方面的误差因素以外,还有加工方法的原理误差,测量误差等重要因素。

在某一具体过程中,上述的各种误差因素并不是都会出现,而且在不同的情况下,它们的影响程度也不同。所以在分析影响加工精度因素时,必须具体问题具体分析,而且要分清主次,抓住主要矛盾。下面我们将对各种主要误差因素的性质,出现的规律以及对加工精度的影响进行分析。

§1—2 工艺系统的几何误差

一、机床的制造误差和磨损

机床的制造误差在相当大的程度上影响着机械加工精度。一般说来,一定精度的机床只能加工出相应精度的工件。机床磨损后还会使加工误差增加。新机床出厂时的制造精度由国家的机床精度标准给以规定。

从工艺角度来讲,我们不但要会根据加工要求选择机床,而且要会分析机床各项误差对工件加工精度会有怎样的影响。尽管各类机床的精度标准各不相同,但归纳起来,影响加工精度的机床误差不外乎以下几个方面:

1. 主轴的回转误差

机床主轴的回转运动是主要的成形运动,故其旋转精度将直接影响工件的加工精度。机床主轴在工作时,旋转轴线不是稳定的,而是时刻相对于回转轴线平均线Ⅱ径向、轴向跳动和摆动,如图1—7(a、b、c)所示。这种变化可通过测量仪器(非接触式传

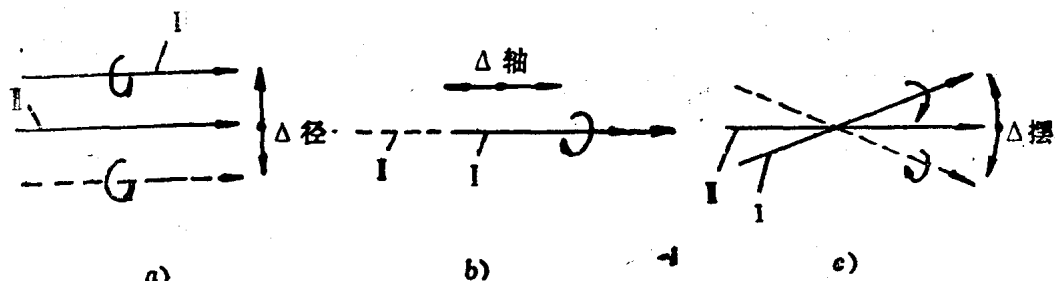


图 1—7 主轴的回转误差 a) 径向跳动 b) 轴向跳动 c) 摆动

感器及示波器测定)。由于主轴旋转中心不稳定,车削外圆时,主轴的径向跳动,会使刀尖离开或靠近工件,引起切削深度的变化,这种变化会造成零件表面的不圆度误差。

外圆磨削时,砂轮主轴回转中心的变化,造成砂轮的转动不平衡,引起振动,就会影响被加工零件表面质量。

车床主轴在旋转中有轴向窜动(跳动)时,会影响车出的端面与圆柱面的垂直度和平面度,如果车螺纹,就会产生螺距误差。

1) 主轴回转误差产生的原因

近年来对于高精度主轴,提出了控制主轴回转中心线的漂移以提高主轴的回转精度。所谓主轴轴心线的漂移是指主轴每一转的跳动方位和跳动量都是变化的一种现象,它是由下列因素引起的:

(1) 滚动轴承滚道的径向跳动

滚道的径向跳动来源于滚道的形状误差(圆度误差),波纹度和滚道相对于轴承内孔的偏心。滚道形状误差会使主轴回转轴线产生如图 1—8(a)(b)所示的径向跳动。这种误差仅是部分地复映到被加工表面上,这是由于滚道在载荷作用下所产生的弹性变

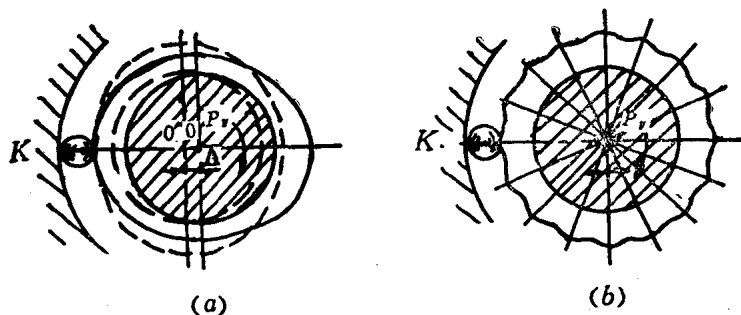


图 1—8 轴承滚道形状误差对回转精度的影响 a(椭圆度) b波纹度

形,起着部分抵偿滚道形状误差作用的缘故。

不同的机床,滚道形状误差对主轴回转精度的影响是不同的。例如对于车床,磨床等,由于载荷 p (一般为切削力和传动力的合力)在轴承环上的作用点和方向基本不变,因此外环滚道误差对回转精度的影响很小,而内环的情况就不同,其滚道上的每一点都要通过承载区,因此它的形

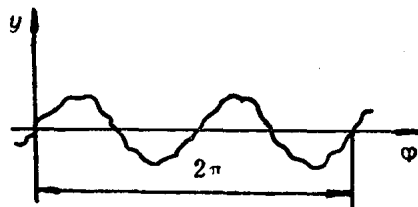


图 1—9 主轴回转误差的周期性

状误差将部分地复映到被加工表面上。对于镗床,因镗刀与内环一起转动,切削力在内环上的作用点不变,而外环滚道上每一点却都可能成为承载区,因此外环滚道的误差将部分复映到被加工表面上。如果同时还存在波纹度,则轴线的径向跳动将如图 1—9 所示,包含着与滚动波纹数有关的高频成份。

(2) 滚动体的形状误差和直径误差

这种误差,同样会引起主轴回转轴线的径向跳动,从而给加工面带来形状误差。例如,当最大的滚动体通过承载区一次,就会使主轴回转轴线发生一次最大的径向跳动。轴线径向跳动的周期与保持架的转速有关,因为保持架的转速约为内环转速的二分之一,因而这种径向跳动每当主轴转过两转发生一次,即所谓“双转跳动”。

主轴承载荷时,滚道和滚动体的变形,将部分补偿滚动体尺寸不均和形状误差对主轴回转精度和被加工表面形状的影响。

综上所述,由滚道和滚动体误差产生的回转轴线径向跳动,是主轴转角的复杂周期函数。它即包含和主轴转速 n 相等的频率成分,又包含低于和高于主轴转速 n 的频率成分。实践证明,工件形状误差不仅与主轴回转轴线的径向跳动有关,也与主轴转速有关。在某个最佳转速范围内,加工圆度误差接近于主轴回转轴线的径向跳动,当转速增高时,圆度误差将显著增大。

(3) 滚道的端面跳动

滚道端面跳动会造成主轴端面跳动,例如图 1—10(a)所示。

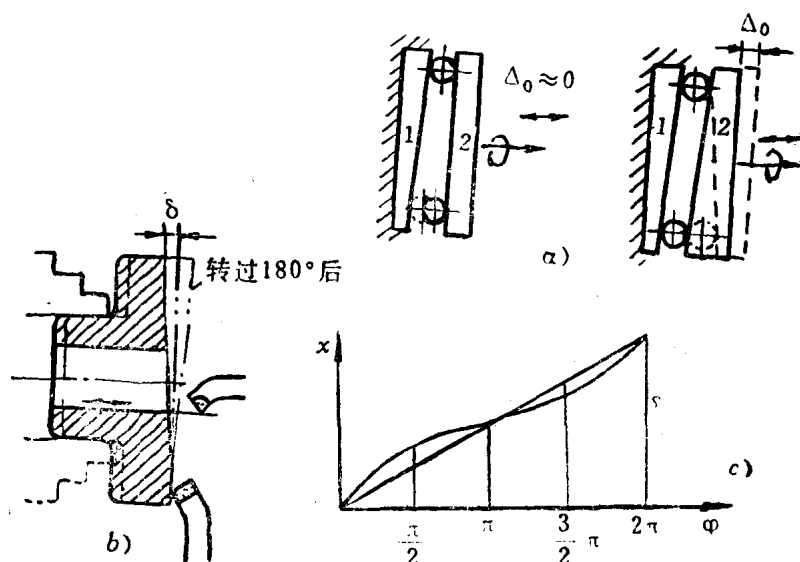


图 1—10 主轴端面跳动引起的加工误差

(a) 轴承端面跳动 (b) 工件端面跳动 (c) 螺距周期误差