

中等专业学校轻工专业试用教材

轻工机械制造工艺学

陈锡永 主编

中国轻工业出版社

TH16
C608:1

中等专业学校轻工专业试用教材

轻工机械制造工艺学

陆锡永 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国轻工业出版社

(京) 新登字 034 号

内 容 提 要

本书是四年制中等专业学校轻工机械装备专业的试用教材, 主要讨论机械零件的冷加工工艺的基本原理和方法, 内容包括机械加工质量分析、工艺规程的制定、零件典型表面加工工艺及典型零件加工工艺、典型设备制造工艺, 每章都有练习题。

本书除可作中专教材外, 亦可供各类轻工业工厂从事机器与设备的修理、运行维护及技术改造的技术人员参考。

中等专业学校轻工专业试用教材

轻工机械制造工艺学

陆锡永 主编

*

中国轻工业出版社出版

(北京市东长安街6号)

北京顺新印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

787×1092毫米 1/16 印张: 13.75 字数: 308千字

1994年5月 第1版第1次印刷

印数: 1—5000 定价: 6.75元

ISBN 7-5019-1545-8/TH·038

前 言

本教材是四年制中专轻工机械装备专业的试用教材。在1988年轻工中专轻工机械装备专业教研会的组织下,曾编写并出版了《轻工业机械制造工艺学》交流讲义,经各校试用后,又经轻工中专轻工机械装备教材委员会于1991年全体委员会上根据部颁大纲进行了讨论,提出了修改意见,然后根据1990年轻工部颁布的机械制造工艺学教学大纲又进行了重新编写。

本教材的特点,是在轻工业机械装备专业不开设夹具、刀具、切削原理、机床等课程情况下,而加强典型零件、典型设备的学习。通过本课程的学习,达到具有编制中等复杂程度零件的机械加工工艺过程的能力及具有分析和解决生产中一般机械加工工艺技术问题的初步能力。

本教材的另一特点,是轻工业行业及轻工机械装备专业的工作性质决定侧重单件小批量生产。生产纲领的不同,工艺安排的差别是很大的,因此本教材的典型零件及设备二章重点介绍单件小批量生产工艺的特点。

根据这两个特点,故本教材也适用于机械行业中从事安装、修理、维护、运转的工程技术人员参考。

本教材是由轻工中专轻工机械装备教材委员会组织编写的。参加编写的人员有:湖北省轻工业学校陆锡永(第四、五章),河北省轻工业学校彭国相(绪论、第二章),广西省轻工业学校谢宴(第一、三章)。全书由陆锡永主编,四川省轻工业学校马在智主审。

由于编者水平所限和经验不足,书中错漏难免,希望读者给予批评指正。

编 者

目 录

绪 论	1
第一章 机械加工质量分析	2
§ 1-1 机械加工精度的基本概念	2
§ 1-2 影响加工精度的主要因素	5
§ 1-3 提高加工精度的工艺措施	18
§ 1-4 机械加工的表面质量	21
习题	29
第二章 机械加工工艺规程的制定	30
§ 2-1 基本概念	30
§ 2-2 工艺规程制定的原则、步骤及所需原始资料	35
§ 2-3 零件的加工分析	37
§ 2-4 毛坯的选择	43
§ 2-5 工件定位原理及定位基准	46
§ 2-6 定位基准的选择	55
§ 2-7 加工余量及工序尺寸	59
§ 2-8 工艺尺寸链的计算	63
§ 2-9 工艺路线的拟定	69
§ 2-10 机床及工艺装备的选择、工时定额的制订与提高生产率的方法	76
§ 2-11 机械加工工艺规程实例分析	79
习题	84
第三章 零件典型表面加工工艺	87
§ 3-1 外圆表面加工工艺	87
§ 3-2 孔加工工艺	96
§ 3-3 平面加工工艺	108
§ 3-4 螺纹加工工艺	116
§ 3-5 齿形及齿端的加工工艺	123
习题	135
第四章 典型零件加工工艺	136
§ 4-1 轴类零件加工工艺	136
§ 4-2 套筒类零件的加工工艺	143
§ 4-3 烘缸制造工艺	149
§ 4-4 机架制造工艺	156
§ 4-5 箱体加工工艺	160

绪 论

机械制造业是国民经济的重要组成部分，它为国民经济各部门的技术改造和生产发展提供各种机械装备，推动着社会主义经济建设的高速度发展。在我国四个现代化建设中，机械制造业发挥着重要的作用。

我国的机械制造具有悠久的历史。例如在汉朝时，我国劳动人民就能制造金属的车轴和轴承；公元前 530 年左右，我国就有了钻削工艺，利用磨石在铜环已加工表面上进行磨光的磨削工艺以及同现代简单砂轮机类似的刀具刃磨方法；公元前 260 年左右，我国已能制造木质齿轮，并按轮系原理运用在加工谷物的水力机械中。这些机械及其制造工艺的发明和创造，表明了我们祖先的勤劳和智慧。

我国在机械制造史上，虽然有过一些重大贡献，但在几千年的封建统治下，机械制造业的发展却极为缓慢。尤其是解放前的近百年中，我国的经济更加落后。旧中国没有自己独立的机械制造业，只有一些设备陈旧、生产规模小、技术水平低，从事配件制造和外来零件装配、修理工作的殖民地性质的工厂。

解放后至今，经过四十多年的自力更生、发奋图强、艰苦奋斗，我国已建立起现代工业，能够自己设计和制造各种机械装备，其中许多是具有世界先进水平的、高级的、大型的、精密的机械设备，不仅能满足本国的生产需要，而且可以出口。与此同时，我国机械制造业的科学研究和教育事业也取得巨大的成就，建立起生产、科研和教育完整的发展体系。

我国机械工业当前的主要任务是，坚持改革、开放的方针，“提高质量、增加品种、降低成本、提高劳动生产率”。为加速我国科学技术的全面高速度发展而努力。

工艺和材料常常是生产过程中的主要技术关键。机械制造工艺学是专门研究工艺问题的一门技术科学，主要讨论有关冷加工方面的问题，即一般机械零件的机械加工工艺的基本原理和方法，也涉及到毛坯制造、热加工、热处理及装配问题。

学习本课程的目的，在于使学生掌握机械加工工艺的基本理论和基本知识；能够根据具体生产条件正确编制一般机械零件的机械加工工艺规程；并能从保证质量、提高生产率、降低成本的观点进行分析论证，具有解决生产实际中一般技术问题的初步能力。

学习本课程的方法，一是深刻理解、掌握各个基本概念和基本原理，二是要加强典型零件与设备制造工艺的学习，以巩固基本概念。为此，在学习过程中除随时复习，做好章节小结外，要重视完成一定数量的练习题。

本专业的基础课程如《金属工艺学》、《公差配合与技术测量》等课程，是本课程的基础，《金工实习》是本课程理论联系实际的主要途径，理论联系实际是学好本课程的关键。

课程设计是本课程最后的、综合性实践环节，这一环节不仅要求学生全面复习已学过的知识，而且要实际应用这些知识，解决生产中的实际问题，这是学好这门课程十分重要的、不可缺少的一个环节。

第一章 机械加工质量分析

机械加工的质量在现代机械制造工业中占有非常重要的地位，它在轻工业机械中也同样是重要的。如塑料注射成型机的注射螺杆，它与料筒的间隙是一个重要的参数。此间隙过大，将会使塑化能力下降，注射时回流增加；间隙过小，又会增加机械制造的困难和螺杆功率的消耗。为此，注射螺杆和料筒都必须具备有一定的加工质量，以确保适宜的间隙值。按规定，当螺杆直径 $D = 30 \sim 50 \text{ mm}$ 时，径向最大间隙为 0.30 mm ；径向最小间隙为 0.18 mm 。

机器零件的加工质量一般用机械加工精度和加工表面质量这两项指标来表示。本章就机械加工精度和表面质量进行分析，以便能根据具体的生产实际，找出可能产生加工误差的各种影响因素及其大小，并采取相应的技术措施，尽量减少加工误差，保证和提高零件的机械加工精度和加工表面质量。

§ 1-1 机械加工精度的基本概念

一、机械加工精度与加工误差

机械加工精度是机器零件很重要的一项质量指标，它的高低将直接影响整台机器的使用性能和寿命。

所谓机械加工精度是指零件经机械加工后的实际几何参数（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。它们之间的差异（或偏离）即是加工误差。加工误差的大小实际上反映了加工精度的高低。实际几何参数与理想几何参数相符合的程度愈高，则加工误差愈小，加工精度就愈高。反之，相符合的程度愈低，则加工误差愈大，加工精度就愈低。

所谓理想零件，对表面形状而言，就是绝对正确的圆柱面、平面、锥面等；对表面位置而言，就是绝对的平行、垂直、同轴和一定的角度等；对尺寸而言，就是零件尺寸的公差带中心。

由于加工中的种种原因，任何一种加工方法不论其多么精密，都不可能把零件做得绝对精确，总会产生一些误差。即使零件加工条件完全相同，加工出零件的精度也会各不相同。从机器的使用性能来看，也没有必要把零件的尺寸、形状以及相互位置关系做得绝对精确，否则是极不经济的。因此允许其存在着一定的误差，只要这些误差的大小不影响机器零件的使用性能和保证零件的互换性，就允许其在一定的范围（公差）内变动。

因而用公差等级来确定尺寸精度，用形状和位置公差（简称形位公差）来限制零件

实际要素的形状和位置所允许的变动全量，以保证形状精度和相互位置精度。

由此可见，机械加工精度和加工误差只是评定零件几何参数精确程度的两种不同提法。为了保证和提高零件的机械加工精度，必须采取有效措施限制和降低加工误差，将各种误差控制在允许的公差范围之内。

二、获得规定的加工精度的方法

（一）获得尺寸精度的方法

在机械加工中获得尺寸精度的方法有试切法、调整法、定尺寸刀具法和自动控制法等四种。

1. 试切法

试切法是通过试切—测量—调整—再试切的反复过程来获得尺寸精度的方法。如车削外圆时（图 1-1），首先用外圆粗车刀车削去较多的余量，留下较少的余量半精车或精车。为此在端头先试切一小段，然后停车、退刀，用外卡钳或游标卡尺测量其直径 d ，再调整吃刀深度，而后再车削，直至符合尺寸要求。

又如车削台阶长度时（图 1-2），为车削出符合尺寸精度的台阶尺寸 L ，首先用 90° 偏刀试车削，而后停车用钢尺或内卡钳、游标卡尺、深度游标卡尺来测量，经测量后再调整车刀的进给量。

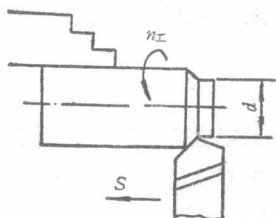


图 1-1 试切法车削外圆

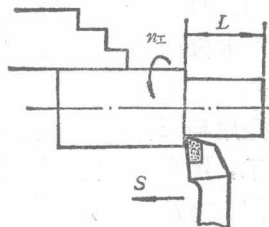


图 1-2 试切法车削台阶

可见试切法须多次进刀、停车、测量、调整，花费时间较多。因此，生产效率低，同时要求操作者有较高的技术水平。所以这种方法主要用于单件、小批量生产中。

影响试切法获得所需尺寸精度的主要因素是试切尺寸的测量精度、机床微量进给机构的准确性和刀具的切削性能。

2. 调整法

调整法是按工件规定的尺寸预先调整机床、夹具、刀具和工件的相互位置，再进行加工。工件尺寸是在加工时自动获得的。

在调整法加工中，工件的加工精度在很大程度上取决于调整的精度。调整好之后，能自动保证加工精度，大大地缩短了加工所需的辅助时间，生产效率高。所以广泛用于各类半自动机床、自动机床和自动线上，适用于成批及大量生产。

3. 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进行加工，使加工表面得到要求的形状和尺寸，例如钻孔、铰孔、拉孔、攻丝和铣槽等。

用定尺寸刀具加工，生产效率一般较高，加工尺寸的精度比较稳定，几乎与操作技

术无关。影响尺寸精度的主要因素是刀具本身的尺寸精度、磨损和刀具的安装，其次是切削时的条件，如切削热、刀瘤、润滑冷却液等。这种方法广泛应用，加工可以用定尺寸刀具加工的表面。

4. 自动控制法

自动控制法是自动化了的试切法和调整法。这种方法是把测量装置、进给装置和控制系统组成一个自动加工的循环过程。加工过程中的测量、补偿调整和切削等一系列工作自动完成。例如自动机和自动线上的加工及数控机床加工等都是自动控制法。

(二) 获得几何形状精度的方法

在现代机器制造工艺中，可以用切削加工、冷冲压或热模锻、精密铸造、粉末冶金和电蚀等方法来获得特定的几何形状精度。就切削加工而言，零件的几何形状精度主要由机床精度和刀具精度来保证。

常见的切削加工方法有轨迹法、成形法和展成法，它们获得几何形状精度的原理是各不相同的。

1. 轨迹法

轨迹法是依靠刀尖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（成形运动）。

如图 1-3 所示，图(a)是用工件的回转和车刀的直线运动车削内圆锥面；图(b)是用工件的回转和刀具按靠模作曲线运动加工特殊形状的回转表面。用轨迹法加工所得到的几何形状精度取决于成形运动的精度。

2. 成形法

成形法是用与工件表面形状相同的成形刀具来加工以获得特定的几何形状的零件。

如图 1-4 所示，图(a)是用成形车刀加工回转曲面；图(b)是用螺纹车刀车削螺纹。它的生产效率高、方法简单，但成形刀具受到被加工表面的形状和尺寸的限制。另外，由于成形刀具相对而言制造较困难，因此在批量小或表面复杂时，使用成形刀具在经济上是不大合算的。

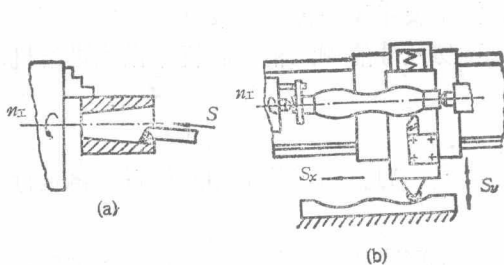


图 1-3 用轨迹法切削

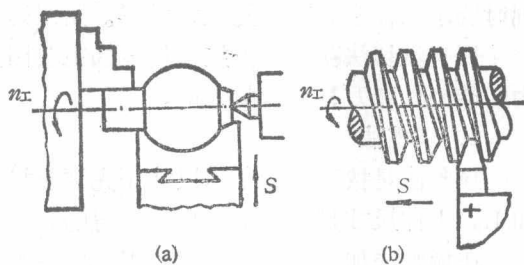


图 1-4 用成形法切削

很显然，用成形法加工所得到的几何形状精度既取决于成形运动的精度，也取决于刀具的形状精度。

3. 展成法

展成法是通过刀具相对工件所做的展成运动来加工的。各种齿形的加工常采用这种

方法。如用滚刀切削齿轮时,刀具相对于工件做展成啮合的成形运动,被加工表面即是刀刃在展成啮合运动中的包络面(参考图 3-35、3-36)。刀刃必须是被加工表面的共轭曲线,而作为展成啮合运动,则必须保持确定的速比关系。

(三) 获得位置精度的方法

加工表面的相互位置精度是指零件上的加工表面相对于基准面的平行度、垂直度、倾斜度、同轴度、对称度、位置度、圆跳动和全跳动等。对这些要求较高时,在图纸上规定注出允许的公差;要求不高时,由相应的尺寸公差限制。

零件的相互位置精度,主要由机床、夹具精度和工件的安装精度来保证。例如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横向溜板送进方向与主轴轴心线的垂直度。又如在平面上钻孔,孔中心对平面的垂直度决定于钻头送进方向与工作台或夹具定位面的垂直度。

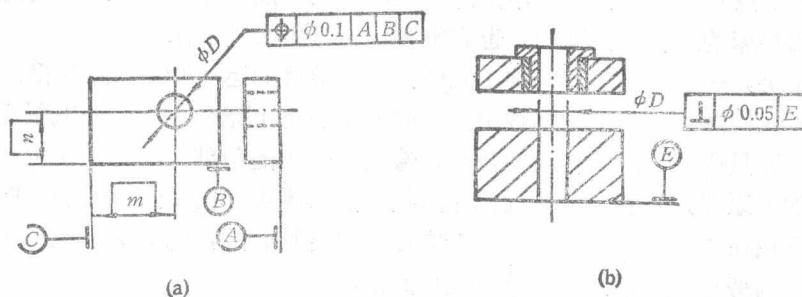


图 1-5 保证位置精度图例

在图 1-5 所示加工中,图 (a) 是按照已加工的表面进行找正、定位,以保证表面相互位置精度;图 (b) 是用夹具来保证表面相互位置精度。

零件的尺寸精度、几何形状精度和相互位置精度这三项精度指标,既有区别,又有联系。没有一定的形状精度,也就谈不上尺寸精度。例如,不圆的表面就没有确定的直径;不平的表面,彼此之间就不能测量出准确的平行度、垂直度。一般讲,形状精度应高于尺寸精度,而位置精度在大多数情况下也应高于相应的尺寸精度。例如,为保证轴颈的直径尺寸精度,则该轴颈的圆度公差该超出直径尺寸公差。一般几何形状误差应控制在相应的尺寸公差的 $1/2 \sim 1/3$ 以内。对于特殊功用的零件,某些表面的几何形状精度,可能有更高的要求。而当无特别要求时,在图纸上就不必单独注明几何形状精度。

§ 1-2 影响加工精度的主要因素

在机械加工过程中,由机床、夹具、刀具和工件所构成的完整的系统,称为工艺系统。由于工艺系统本身的结构和状态,以及加工过程中的物理力学现象而产生误差,这种误差称原始误差。它可以照样、放大或缩小地反映给工件,使加工零件在加工后产生误差,这种误差称加工误差。工艺系统在完成任何一个工序(或一个工艺过程)的加工

时,将有各种加工误差影响零件的加工精度。我们按照误差的性质从以下四个方面来分析。

一、工艺系统的几何误差

工艺系统的几何误差是指机床、夹具、刀具的制造误差,以及使用中的调整和磨损误差等。这些误差在加工中将不同程度地反映到被加工零件的表面上,而使被加工表面的精度降低。

(一) 原理误差

原理误差是由于采用了近似的加工运动或近似的刀具轮廓而产生的。在很多场合,为了得到规定的零件表面,都必须在工件和刀具的运动之间建立一定的联系。例如车削螺纹,必须使工件和车刀之间有准确的螺旋运动联系;滚切齿轮时,必须使工件和滚刀之间有准确的展成运动。机械加工中的这种运动联系一般称为加工原理。而这种运动联系一般都是由机床的机构来保证的,也有很多场合是用夹具来保证的。

从理论上讲,采取合乎理想的加工原理,完全准确的运动联系,对获得准确的零件加工精度是不成问题的。然而在实践中,有时采用理论上完全正确的加工原理,可能会使机床设备、刀具或夹具的结构极为复杂,造成制造上的困难。因此,在生产实际中常采用近似的加工原理,或者用形状近似的刀具来加工零件。由于近似的加工原理比理论的简单,而且往往比采用正确的理论加工原理显得更加有效,它既能保证一定的加工精度,又可以提高劳动生产率,使工艺过程更为经济。

例如滚齿加工就是一种近似加工方法。它是用滚刀按展成法加工齿轮的一种方法,它具有两种原理误差:一种是由于齿轮滚刀是用“近似造形法”加工出来的,即由于制造上的原因,齿轮滚刀采用了阿基米德基本蜗杆或法向直廓基本蜗杆来代替渐开线基本蜗杆,而产生了“近似造形”误差;另一种是由于齿轮滚刀刀刃数有限,在滚切过程中齿形的形成是断续的,因此所切出的齿轮齿形实际上是一条折线(图1-6),而并非是光滑连续的渐开线,即产生了包络造形误差。这两种误差都是原理误差。

铣齿加工也是一种近似加工方法。它是用模数铣刀按仿形法铣切齿轮的一种加工方法。模数铣刀的成形面轮廓就不是纯粹的渐开线,而有一定的原理误差。此外,对于每一种模数的齿轮,只用一套(8~26个刀号)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,由于每一刀号的铣刀是按照一种模数的一种齿数来设计和制造的,因而用它来加工其他齿数的齿轮时,齿形就有偏差。这也是一种原理误差。



图 1-6 齿形的包络造形误差

另外,在加工蜗杆(π 螺纹)时,蜗杆轴向齿距(又叫轴向周节) $t_a = \pi m$ (式中, m 为蜗杆轴向模数,它等于蜗轮端面模数),蜗杆螺纹导程 $T = Z_1 \cdot t_a = Z_1 \pi m$ (式中 Z_1 为蜗杆头数),由于“ π ”因数的存在,在配置挂轮时,也同样会出现这种近似误差。

必须指出,生产中采用近似的加工运动或近似的刀具轮廓进行加工,只要原理误差在允许的范围内就是可行的,而且还可以提高生产率和使工艺过程更为经济。

（二）机床的几何误差

机床在出厂前都按《机床专业标准》进行精度检验。检验的内容是机床主要零、部件本身的形状和位置误差，要求它们不超过规定的数值。合格的机床经过一段时期的使用后，由于不可避免的磨损、地基变动和其他原因，原有的精度会有不同程度的降低，并可能产生这样或那样的加工精度问题。机床的几何误差，包括制造误差、磨损和安装误差等都会影响到零件的加工精度，而其中主轴误差：回转误差、径向或轴向跳动、刚度、热稳定性、振动和轴线漂移等；导轨误差：在垂直面内的直线度（弯曲）、在水平面内的直线度（弯曲）和前后导轨的平行度（扭曲）；传动误差：传动件的制造误差、装配误差和使用过程中的磨损所引起的误差等对零件的加工精度影响都较大。

（三）刀具制造误差

刀具对加工精度的影响将根据刀具种类不同而有所不同。

一般刀具，如车刀、镗刀、端铣刀等的制造误差，对零件的加工精度并无直接影响，但当其几何参数和形状不适当，将影响刀具的磨损和耐用度，因此会间接地影响到零件的加工精度。

定尺寸刀具，如钻头、铰刀、拉刀、丝锥、板牙、键槽铣刀等的尺寸精度直接影响到被加工零件的尺寸精度。同时刀具的工作条件、机床主轴的回转误差或刀具因安装不当而产生径向和轴向跳动等都会使零件加工面的尺寸扩大。所以钻孔时使用钻套导向，铰孔时要求铰刀与机床主轴浮动联接。

成形刀具，如成形车刀、成形铣刀、齿轮滚刀等的几何形状精度直接影响到被加工零件的几何形状精度。

在某些情况下，如阶台扩孔钻、阶台铰刀、成形孔拉刀等，刀具同时具有定尺寸刀具和成形刀具的两种性质。这时刀具既决定了零件的加工表面尺寸，又决定了它的几何形状。

在切削过程中，刀具不可避免地要产生磨损，并由此而引起加工零件尺寸或形状的改变。例如，在车削一根直径较大的长轴时，因车刀的磨损将产生锥度；在用调整法加工时，刀具或砂轮的磨损会扩大零件的尺寸分散范围；用成形刀具加工时，刀具刃口的磨损将直接复映在被加工零件的表面上，造成形状误差。

（四）工件的安装误差

在机床上加工工件时，首先要使工件在机床上或夹具中占有某一正确的位置，这就叫定位。而为了防止在加工过程中切削力或其他外力破坏这一正确位置，并使其始终保持这一正确位置，还必须将工件压紧夹牢，这就叫夹紧。定位与夹紧这一整个过程称为工件的安装。定位不准和夹紧不当时将引起定位误差和夹紧误差，这两种误差统称为安装误差。

定位误差就是指工件在定位时，由于工件的位置不准确而在加工过程中引起工序尺寸变化的加工误差。工件位置的不准确是由于定位基准选择不当而产生的，亦即由于定位基准和测量基准不重合而产生的。另外，也因为定位元件和定位基准二者本身的不准确而产生。

在实际生产中，工件及夹具定位表面的损伤或不清洁，也常常会使工件位置不准确

而引起定位误差。

夹紧误差是在夹紧时,若夹紧力的着力点及方向不恰当,可能改变工件已确定好的位置而引起的加工误差。

对于中小尺寸的工件,在批量较大而用夹具安装时,其安装误差包括定位误差、夹紧误差和夹具制造误差。

(五) 工艺系统的磨损引起的误差

在零件加工过程中,组成工艺系统各部分的有关摩擦表面之间,在力的作用下,经过一段时间后都不可避免地产生磨损,这种磨损将破坏工艺系统原有的精度,而直接影响到零件的加工误差。

机床各部件的磨损将扩大机床的原始误差,影响零件的各项加工精度。例如机床主轴轴承部件产生较大的磨损时,将使主轴回转精度下降,并影响被加工零件的径向形状精度;机床导轨面的不均匀磨损,将破坏在其上移动部件的直线运动精度及其与主轴回转轴线的位置精度,从而造成被加工零件的轴向形状误差和位置误差;机床传动链中的齿轮副和蜗轮副等有明显的磨损时,将会引起内联传动链传动精度下降,造成螺距或齿距误差。

夹具和量具在长期使用过程中有一些零件的磨损,将引起工件的定位误差和测量误差。对夹具来说主要是定位元件的磨损,将引起工件被加工表面和定位基准面之间的尺寸和位置误差。而量具的测量头或量具中的传动元件的磨损,将引起测量精度下降,进而影响工件的尺寸或形状精度。

刀具或磨具的磨损将会直接影响刀具或磨具相对被加工表面的位置,从而造成一批零件的尺寸误差。对于成形刀具或加工较长的轴类零件时,由于刀具的磨损还会造成被加工零件的形状误差。

(六) 调整误差

在机床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、夹具和刀具进行这样或那样的调整工作。例如在机床上安装夹具、刀具,按要求调整刀具至加工尺寸;在固定刀具和夹具的位置后检查调整精度等。由于调整工作不可能绝对准确,必然会带来一些误差,这就是调整误差。由于调整的方式、方法和工作内容的不同,则产生的调整误差也不一样,此处不一一列出。

二、工艺系统受力变形对加工精度的影响

(一) 各种力对零件加工精度的影响

机械加工过程中,在切削力、传动力、惯性力、夹紧力、重力等的作用下,整个工艺系统要产生相应的变形(弹性变形和塑性变形)。这种变形会破坏刀具和工件之间的相对位置、成形运动的位置和速度关系,还会影响切削过程的稳定性,从而造成零件加工后在尺寸、形状和位置等方面的加工误差。

例如在车床顶尖间加工细长轴时(图1-7),如不采取任何工艺措施,在切削力的作用下,轴将产生弹性变形,随着刀具的进给,切削深度将会发生变化。当刀尖在中间位置时,由材料力学可知,产生变形最大,而切削深度小;当刀尖在两端时,变形小,而

切削深度大；结果使细长轴车成两头细中间粗的腰鼓形。

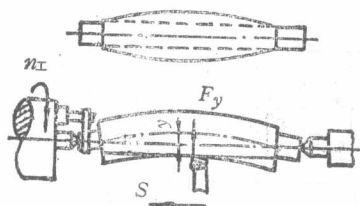


图 1-7 车削细长轴时的变形

机械加工中，工艺系统的各部分在各种力作用下，将在各个受力方向产生相应的变形。其中对加工精度影响最大的是使刀刃在加工表面的法线方向对零件发生的位移变形。而其他一些变形对加工精度的影响是不大的。

为了使工艺系统的弹性变形引起的加工误差最小，整个系统必须具有一定的抵抗各种力作用的能力以减小弹性变形，这种抵抗各种力作用的能力称为工艺系统的刚度。在机械加工中，从加工精度的观点出发，工艺系统的刚度 K_s 可用下式表示：

$$K_s = \frac{F_y}{y_s} \quad (\text{N/mm})$$

式中 K_s ——工艺系统的刚度，N/mm

F_y ——垂直于被加工表面的径向切削分力，N

y_s ——工件在 F_y 方向的位移，mm

应当指出，这里的位移 y_s 不只是由于径向切削分力 F_y 所引起，而是由总切削力 F 所产生的。由于力与变形通常是在静态条件下测量的，因此上述的刚度 K_s 实际上是静刚度。至于系统受到变化的载荷而引起的动刚度此处不考虑。

工艺系统的刚度是由组成工艺系统的各种部件刚度决定的。其中刀具、工件一般来说都是简单的构件，其刚度问题较简单，可按材料力学中有关悬臂梁或两支点的梁公式求得；而机床、夹具的结构复杂，尤其是机床，它是由许多零件、部件组成，并且有各种连接和运动方式。因此其刚度问题较复杂，即其受力与变形之间的关系较复杂，尤其是零件与零件的接触刚度和部件刚度是很难用公式表达的。目前，只能用实验的方法进行测定。

在系统刚度一定的条件下，作用在系统上的力愈大，则系统的变形（即位移）也愈大。反之受力愈小，变形量也愈小。所以假若系统的刚度很大，尽管有切削力等各种力作用，也能使系统的位移减小到最低限度。

（二）工艺系统受力变形对加工精度的影响

工艺系统受力变形对加工精度的影响，可以归纳为下列几种常见的形式。

1. 由于受力点位置的变化而产生的工件形状误差

工艺系统的刚度除了受到各组成部分的刚度的影响之外，还有一个很大的特点，那就是随着受力点的位置变化而变化。

例如以车床顶尖间加工光轴来说，当车削短而粗的光轴时，由于工件刚度较大，在切削力作用下，工件的变形相对于机床、夹具和刀具的变形小到可以忽略不计，此时工艺系统的总变形完全取决于机床头、尾座（包括顶尖）和刀架（包括刀具）的变形，如图 1-8 (a) 所示。设在整个切削过程中，切削力保持不变，则刀架在切削过程中的变形亦不变。图中 x 为刀尖距前顶尖的距离。当刀尖走到图示位置时，在切削力作用下，头座由 A 移到 A' ，尾座由 B 移到 B' ，刀架由 C 移到 C' ，它们的总变形（位移）分别为 y_h 、

y_t 、 y_n 。此时工件的轴心线由 AB 移到 $A'B'$ ，则切削点的位移

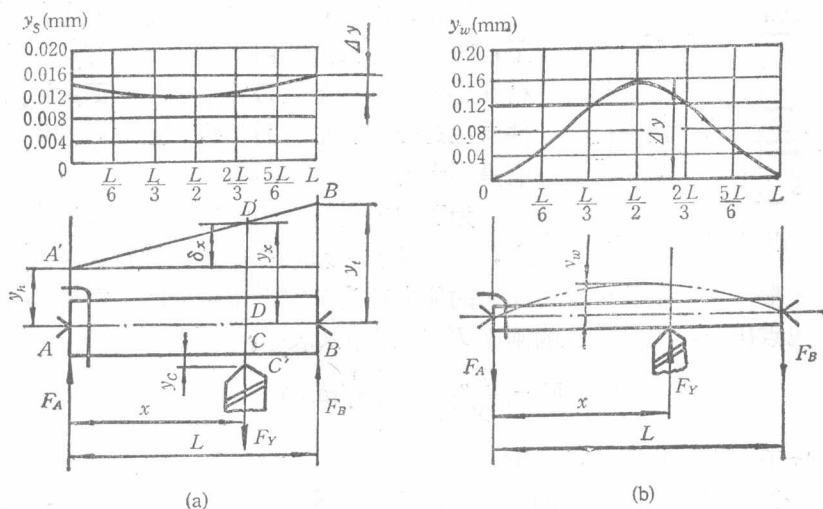


图 1-8 工艺系统变形随切削力位置变化的情况

$$y_x = y_h + \delta_x$$

由于

$$\delta_x = (y_t - y_h) \frac{x}{L}$$

所以

$$y_x = y_h + (y_t - y_h) \frac{x}{L}$$

设 F_A 、 F_B 为径向切削分力 F_Y 所引起的在头、尾座处的作用力，则

$$F_A = F_Y \frac{L-x}{L}, \quad F_B = F_Y \frac{x}{L}$$

当头、尾座的刚度分别为： K_h 、 K_t 时，头、尾座处的变形分别为：

$$y_h = \frac{F_A}{K_h} = \frac{F_Y}{K_h} \left(\frac{L-x}{L} \right)$$

$$y_t = \frac{F_B}{K_t} = \frac{F_Y}{K_t} \left(\frac{x}{L} \right)$$

将 y_h 、 y_t 代入 y_x 式得到：

$$y_x = \frac{F_Y}{K_h} \left(\frac{L-x}{L} \right)^2 + \frac{F_Y}{K_t} \left(\frac{x}{L} \right)^2$$

又因

$$y_c = \frac{F_Y}{K_c}$$

工艺系统的总变形 y_s 为：

$$y_s = y_x + y_c = F_Y \left[\frac{1}{K_c} + \frac{1}{K_h} \left(\frac{L-x}{L} \right)^2 + \frac{1}{K_t} \left(\frac{x}{L} \right)^2 \right] \quad (\text{mm})$$

工艺系统的刚度 K_s 为：

$$K_s = \frac{F_Y}{y_s} = \frac{1}{\frac{1}{K_c} + \frac{1}{K_h} \left(\frac{L-x}{L} \right)^2 + \frac{1}{K_t} \left(\frac{x}{L} \right)^2} \quad (\text{N/mm})$$

由此式可知,系统刚度随工件轴心线 x 方向上的位置不同而变化,使车出的工件呈抛物线状,各截面上直径尺寸不同,产生了形状和尺寸误差。

在车削细而长的光轴时,由于工件的刚度很低,此时机床、刀具、夹具在受力下的变形可以忽略不计,则工艺系统的变形完全取决于工件的变形,如图 1-8(b) 所示。当作用点处于图示位置时,在切削力作用下工件的中心线将产生弯曲变形,根据材料力学的计算公式,在作用点 x 处的工件变形 y_w 为:

$$y_w = \frac{F_y}{3EI} \frac{(L-x)^2 x^2}{L} \quad (\text{mm})$$

综合图 1-8(a)、(b) 两种情况,可以得到在一般情况下,工艺系统的总变形 y_s 为图 1-8 (a) 和图 1-8 (b) 两种变形的迭加,即

$$y_s = F_y \left[\frac{1}{K_c} + \frac{1}{K_h} \left(\frac{L-x}{L} \right)^2 + \frac{1}{K_t} \left(\frac{x}{L} \right)^2 + \frac{(L-x)^2 x^2}{3EIL} \right] \quad (\text{mm})$$

工艺系统的刚度 K_s 为

$$K_s = \frac{1}{\frac{1}{K_c} + \frac{1}{K_h} \left(\frac{L-x}{L} \right)^2 + \frac{1}{K_t} \left(\frac{x}{L} \right)^2 + \frac{(L-x)^2 x^2}{3EIL}} \quad (\text{N/mm})$$

式中 E ——工件材料的弹性模量,

钢料 $E=2 \times 10^5 \text{ MPa}$

I ——工件断面的惯性矩,

$$\text{圆棒料 } I = \frac{\pi d^4}{64} \quad \text{mm}^4$$

其他符号意义同前述。

由此可见,工艺系统的刚度沿工件轴向的各个位置是不同的,所以加工后工件各个横截面上的直径尺寸也不相同,造成了加工后工件的尺寸误差和形状误差(如锥度、鼓形、鞍形等)。

2. 由切削力变化而引起的加工误差

在切削加工中,经常由于工件毛坯的几何形状误差、加工余量和材料硬度不均匀,引起切削力的变化。在工艺系统刚度为常值的情况下,工艺系统的变形随着切削力的变化而产生相应的变化,从而造成工件的尺寸误差和形状误差。

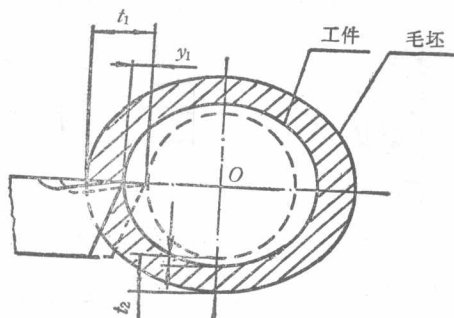


图 1-9 毛坯形状误差的复映

图 1-9 所示是车削一个有椭圆形圆度误差的毛坯,将刀尖调整到要求的尺寸(图中的虚线圆)。在工件每一转的过程中,吃刀深度 t 在最大切削深度 t_1 与最小切削深度 t_2 之间变化。因此切削分力 F_y 也随吃刀深度 t 的变化由最大 $F_{y\max}$ 变到最小 $F_{y\min}$, 从而引起工艺系统变形发生相应的变化,即由 y_1 变到 y_2 。这样就使毛坯的圆度误差复映到被加工表面,形成被加工表面的圆度误差,这种现象称之为误差复映。

误差复映的程度是以误差复映系数 ϵ 表示