

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术/李家吉主编. —东营: 中国石油
大学出版社, 2018. 5(2019. 6 重印)

ISBN 978-7-5636-6081-0

I. ①机… II. ①李… III. ①机械制造工艺—中等专
业学校—教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 117191 号

如有印装质量问题, 请与中国石油大学出版社发行部联系。
服务电话: 400-615-1233

书 名: 机械制造技术

主 编: 李家吉

责任编辑: 徐 伟 张云龙

封面设计: 张瑞阳

出 版 者: 中国石油大学出版社

(地址: 山东省青岛市黄岛区长江西路 66 号 邮编: 266580)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子邮箱: uppbook@hdpu.edu.cn

印 刷 者: 大厂回族自治县聚鑫印刷有限责任公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 010-88433760)

开 本: 185 mm×260 mm

印 张: 17.5

字 数: 445 千

版 印 次: 2018 年 5 月第 1 版 2019 年 6 月第 2 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5636-6081-0

印 数: 1—3 000 册

定 价: 45.00 元

项目一

机械加工的基础知识

项目一

项目二

项目三

项目四

项目五

项目六

项目七

项目八

项目九

机械是由零件装配而成的（见图 1-1），而零件可用毛坯或型材经机械加工而成（见图 1-2）。机械加工过程是用加工机械对工件的外形尺寸或性能进行改变的过程。按被加工的工件处于的温度状态，机械加工分为冷加工和热加工。

一般在常温下加工，并且不引起工件的化学或物相变化，称冷加工。一般在高于常温状态加工，会引起工件的化学或物相变化，称热加工。冷加工按加工方式的差别可分为切削加工和压力加工。热加工常见有热处理、锻造、铸造和焊接。



图 1-1 工程机械



图 1-2 齿轮类零件

任务一 机械加工的基本概念

任务分析

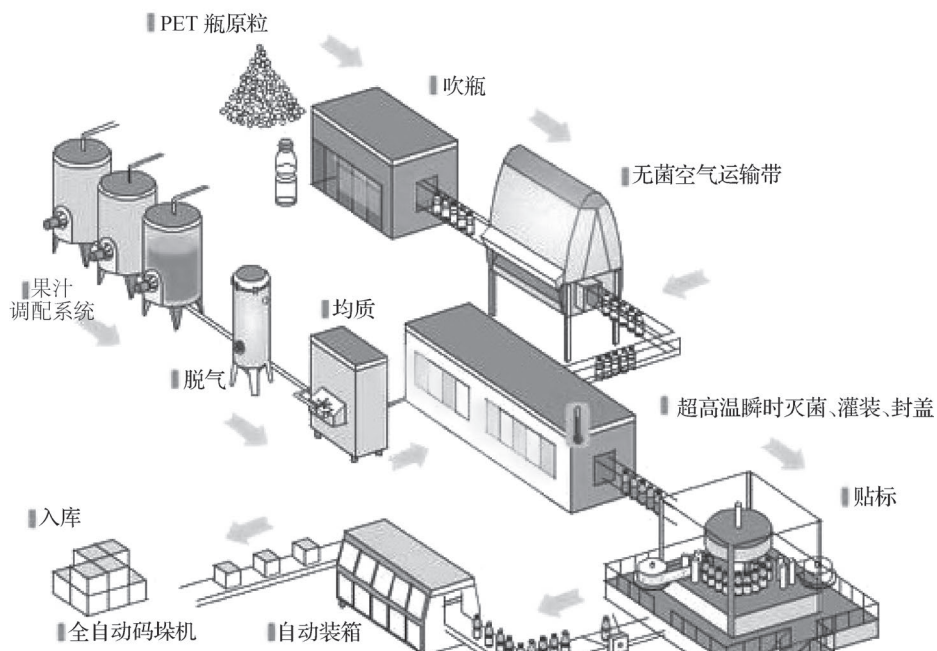
机械是怎么加工出来的？具有一定规模的机械加工企业大都设有工艺员，工艺员需根据加工产品的特征，考虑本企业生产设备、产品生产批量等各类要素编制机械加工工艺。

作为工艺员，在编制产品的加工工艺前必须熟悉机械加工工艺过程的基本组成要素，了解各

种生产类型及其特征，并且能够依据这些专业知识并结合本企业的生产专业化水平、生产能力等要素，合理编制产品的机械加工工艺。机械生产过程如图 1-3 所示。



(a) 奔驰汽车生产过程



(b) 萃取茶热灌装生产线

图 1-3 机械生产过程

知识链接

一、生产过程与工艺过程

1. 生产过程

机械的生产过程是指从原材料（半成品）制成产品的全部过程。对机械生产而言，其生产过程包括原材料的运输和保存、生产的准备、毛坯的制造、零件的加工和热处理、产品的装配及调试、油漆和包装等内容。生产过程的内容十分广泛，现代企业用系统工程学的原理和方法组织生产与指导生产，将生产过程看成一个具有输入和输出的生产系统。

2. 工艺过程

在生产过程中，凡是改变生产对象的形状、尺寸、位置和性质等，使其成为成品或者半成品的过程称为工艺过程。它是生产过程的主要部分。工艺过程又可分为铸造、锻造、冲压、焊接、机械加工、装配等工艺。例如，毛坯的铸造、锻造和焊接，改变材料性能的热处理，零件的机械加工等都属于工艺过程。采用机械加工的方法按一定顺序直接改变毛坯的形状、尺寸及表面质量，使其成为合格零件的工艺过程称为机械加工工艺过程。它是生产过程的重要内容。

生产过程和工艺过程的关系如图 1-4 所示。

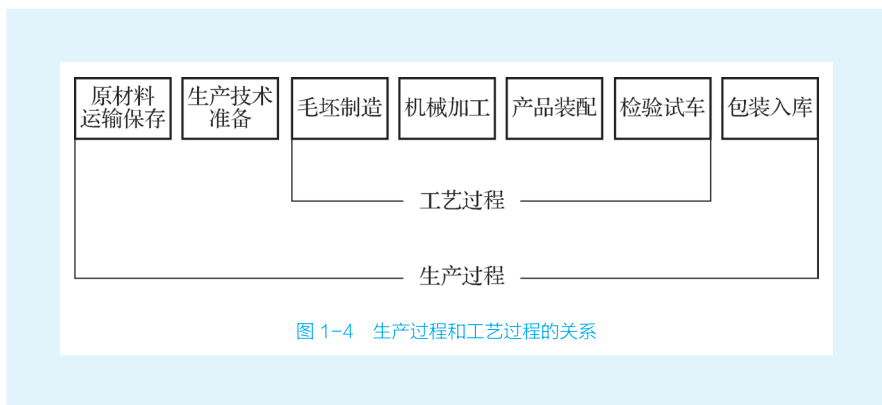


图 1-4 生产过程和工艺过程的关系

二、机械加工工艺过程的组成

工序是工艺过程的基本组成单位。所谓工序是指在一个工作地点，对一个或一组工件所连续完成的那部分工艺过程。构成一个工序的主要特点是不改变加工对象、设备和操作者，而且工序的内容是连续完成的。工序的四个要素（工作地、工人、工件与连续作业）中任一要素发生变更，则构成了另一道工序。

零件的机械加工工艺过程由许多工序组合而成，每个工序又可分为安装、工位、工步与复合工步、进给等。

一个工艺过程需要哪些工序，是由被加工零件的结构复杂程度、加工精度要求及生产类型所决定的。图 1-5 所示的阶梯轴，因不同的生产批量，就有不同的工艺过程及工序，如表 1-1 与



表 1-2 所列。

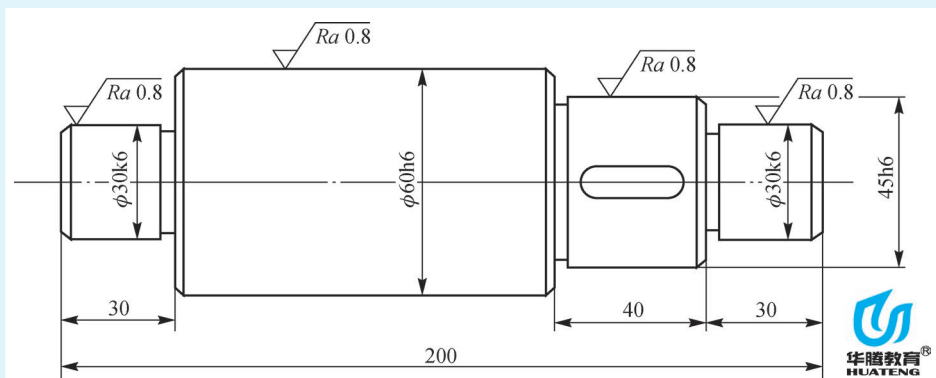


图 1-5 阶梯轴

表 1-1 阶梯轴加工工艺过程（单件小批量生产）

工序号	工序内容	设备
1	车端面、钻中心孔、车外圆、切退刀槽与倒角	车床
2	铣键槽	铣床
3	磨外圆	磨床
4	去毛刺	钳工台

表 1-2 阶梯轴加工工艺过程（大批量生产）

工序号	工序内容	设备
1	铣端面、打中心孔	铣钻复合机床
2	粗车外圆	车床
3	精车外圆、切退刀槽与倒角	车床
4	铣键槽	铣床
5	磨外圆	磨床
6	去毛刺	钳工台

1. 安装

安装是指工件每经一次装夹后所完成的那部分工序。在一道工序中，工件在加工位置上至少要装夹一次，但有的工件也可能会装夹几次。如表 1-2 中的第 2、3、5 工序，需掉头经过两次安装才能完成其工序的全部内容。为了减少误差，提高生产率，零件在加工过程中应尽可能减少装夹次数。

2. 工位

工位是指工件在机床上占据每一个位置所完成的那部分工序。为减少装夹次数，常采用多工位夹具或多轴（多工位）机床，使工件在一次安装中先后经过若干个不同位置顺次进行加工。多工位安装如图 1-6 所示。

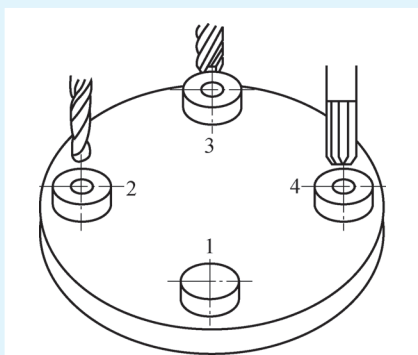


图 1-6 多工位安装

1—装卸工件；2—钻孔；3—扩孔；4—铰孔

3. 工步与复合工步

工步是指在同一工位上，要完成不同的表面加工时，其中加工表面、切削速度、进给量和加工工具都不变的情况下，所连续完成的那一部分工艺过程。一个工序可以包括一个或几个工步。为提高生产率，用几把刀具同时加工一个工件的几个表面的工步称为复合工步。复合工步如图 1-7 所示。

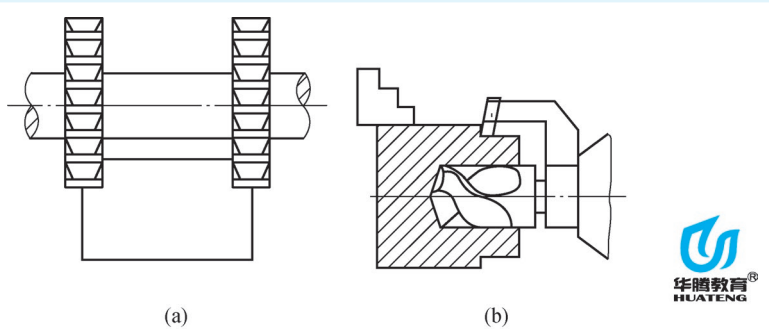


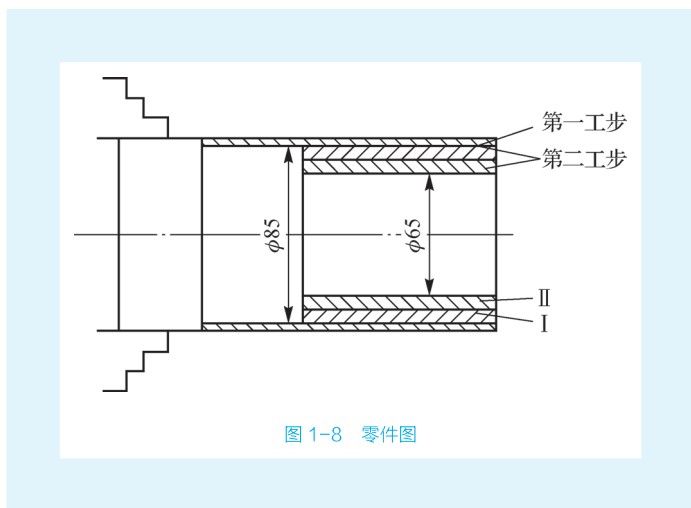
图 1-7 复合工步

4. 进给

在一个工步中，如果要切掉的金属层很厚，可分几次切削，每切削一次就称为一次进给。

任务实施

划分图 1-8 所示零件的加工工步。



第一工步，加工 $\phi 85$ mm 圆。

第二工步，加工 $\phi 65$ mm 圆，并分两次走刀。

任务二 定位基准

任务分析

通常，设计部门在完成产品设计后必须将产品的所有零件图交付给工艺员，由工艺员编制出该零件的加工工艺。工艺员接到产品设计图纸后首先要根据图纸选择定位基准。作为工艺员就必须了解何为基准，基准的类型有哪些，如何确定基准。如图 1-9 所示，各基准分别是什么？通过本任务的学习，以上这些问题都将迎刃而解。

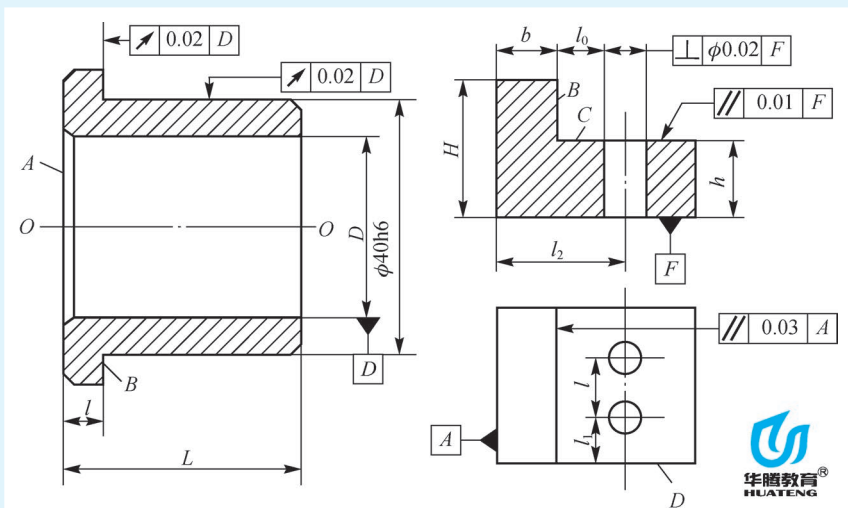


图 1-9 基准分析

知识链接

一、基准的概念

基准是机械制造中应用十分广泛的一个概念，机械产品从设计时零件尺寸的标注、制造时工件的定位、校验时尺寸的测量，一直到装配时零部件的装配位置的确定等，都要用到基准的概念。

机械加工中所说的基准就是用来确定生产对象上几何关系所依据的点、线、面。

二、基准的分类

根据作用和应用场合不同，基准可分为设计基准和工艺基准两大类。设计基准用在产品零件的设计图上，工艺基准用在机械加工的工艺过程中。

1. 设计基准

设计基准是在零件图上所采用的基准。它是标注设计尺寸的起点。如图 1-10 所示，轴心线 $O—O$ 是各外圆和内孔的设计基准，端面 A 是端

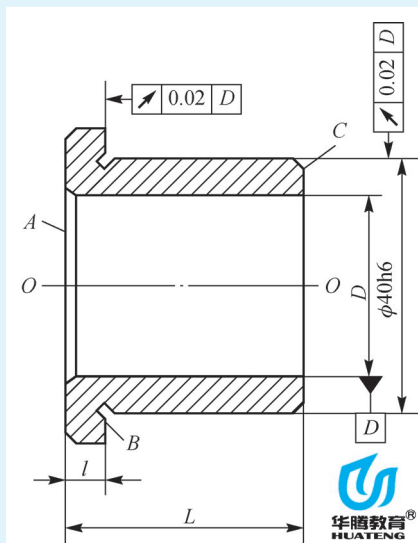


图 1-10 钻套

面 B 、 C 的设计基准。

2. 工艺基准

工艺基准是在工艺过程中所使用的基准。工艺过程是一个复杂的过程，工艺基准按用途不同又可分为定位基准、工序基准、测量基准和装配基准。

(1) 定位基准。在加工中用作定位的基准称为定位基准。它是工件上与夹具定位元件直接接触的点、线或面。如图 1-10 所示的钻套，用内孔装在心轴上磨削 $\phi 40h6$ 外圆表面时，内孔表面是定位基面，孔的中心线就是定位基准。

定位基准又分为粗基准和精基准。用作定位的表面，若是没有经过加工的毛坯表面，则称为粗基准；若是已加工过的表面，则称为精基准。

(2) 工序基准。在工序图上，用来标定本工序被加工面尺寸和位置所采用的基准，称为工序基准。它是某一工序所要达到加工尺寸（工序尺寸）的起点。

(3) 测量基准。零件测量时所采用的基准称为测量基准。如图 1-10 所示，钻套以内孔套在心轴上测量外圆的径向圆跳动，内孔表面是测量基面，孔的中心线就是外圆的测量基准；用卡尺测量尺寸 l 和 L ，表面 A 是表面 B 、 C 的测量基准。

(4) 装配基准。装配时用以确定零件在机器中位置的基准，称为装配基准。图 1-10 所示的钻套， $\phi 40h6$ 外圆及端面 B 即为装配基准。

工艺基准是在加工、测量和装配时所使用的，必须是实在的。然而作为基准的点、线、面有时并不一定具体存在（如孔和外圆的中心线、两平面的对称中心面等），往往通过具体的表面来体现，用以体现基准的表面称为基面。例如，图 1-10 所示钻套的中心线是通过内孔表面来体现的，内孔表面就是基面。

任务三 工 件

任务分析

工件是机械加工过程中被加工对象的总称。它可以是单个零件，也可以是固定在一起的几个零件的组合物。工件的结构千差万别，但都是由一些基本表面和特形表面所组成，如图 1-11 所示。基本表面主要有圆柱面、平面等，特形表面主要指成形表面。工件的质量将直接影响机械产品的工作性能和使用寿命。因此，在加工制造工件时必须保证其质量。工件技术要求主要有加工精度、表面粗糙度、热处理等几方面的内容。



图 1-11 机械零件

机械加工质量主要涵盖两个方面的内容，即机械加工精度和机械加工表面质量，具体如下：



机械零件加工精度是机械零件加工质量的核心部分，机械零件的加工质量是保证机械产品质量的基础。在机械加工过程中，往往会有很多因素影响工件的最终加工质量，其中不同的机械加工工艺对零件加工的精度影响较大。所以，如何利用多种加工工艺使工件的精度达到质量要求，减少各种因素对加工精度的影响，就成为我们必须考虑的事情。

知识链接

一、机械加工精度概述

1. 机械加工精度的概念

机械加工精度是指零件加工后的实际几何参数（尺寸、形状和相互位置）与理想几何参数的符合程度。实际几何参数与理想几何参数的偏离程度称为加工误差。加工误差越小，加工精度越高。

所以,加工精度与加工误差是一个问题的两个提法。

2. 提高加工精度的方法

工件的加工精度包括尺寸精度、几何形状精度和表面间相互位置精度三个方面。

1) 提高尺寸精度的方法

(1) 试切法。先试切出很小部分加工表面,测量试切所得的尺寸,按照加工要求适当调刀具切削刃相对工件的位置,进行试切,然后测量,如此经过两三次试切和测量,当被加工尺寸达到要求后,再切削整个待加工表面。

(2) 调整法。预先用样件或标准件调整好机床、夹具、刀具和工件的准确位置,用以保证工件的尺寸精度。因为尺寸事先调整到位,所以加工时,不用再试切,尺寸自动获得,并在一批零件加工过程中保持不变,这就是调整法。调整法比试切法的加工精度稳定性好,有较高的生产率,对机床操作工的要求不高,但对机床调整工的要求高,常用于成批生产和大量生产。

(3) 定尺寸法。用刀具的相应尺寸来保证工件被加工部位尺寸的方法称为定尺寸法。它是利用标准尺寸的刀具加工,加工面的尺寸由刀具尺寸决定。用具有一定的尺寸精度的刀具(铰刀、扩孔钻、钻头)来保证工件被加工部位(孔)的精度。

定尺寸法操作方便,生产率较高,加工精度比较稳定,不依靠工人的技术水平,生产率较高,在各种类型的生产中广泛应用,如钻孔、铰孔等。

(4) 主动测量法。在加工过程中,边加工边测量加工尺寸,并将所测结果与设计要求的尺寸比较后,或使机床继续工作,或使机床停止工作,这就是主动测量法。

目前,主动测量中的数值已可用数字显示。主动测量法把测量装置加入工艺系统(机床、刀具、夹具和工件组成的统一体)中,成为其第五个因素。主动测量法质量稳定、生产率高,是未来的发展方向。

(5) 自动控制法。这种方法是由测量装置、进给装置和控制系统等组成的。它是把测量、进给装置和控制系统组成一个自动加工系统,加工过程依靠系统自动完成。

2) 提高几何形状精度的方法

(1) 轨迹法。轨迹法也称刀尖轨迹法,是依靠刀尖的运动轨迹获得形状精度的方法,具体指让刀具相对于工件做有规律的运动,以其刀尖轨迹获得所要求的表面几何形状。刀尖的运动轨迹取决于刀具和工件的相对成形运动,因而所获得的形状精度取决于成形运动的精度。数控车床、数控铣床,普通车削、铣削、刨削和磨削等均属轨迹法。

(2) 成形法。利用成形刀具对工件进行加工的方法称为成形法,如图 1-12 所示。用成形刀具取代普通刀具,成形刀具的切削刃就是工件外形。成形刀具替代一个成形运动。成形法可以简化机床或切削运动,提高生产率。成形法所获得的形状精度取决于成形刀具的形状精度和其他成形运动的精度。

(3) 仿形法。刀具按照仿形装置进给对工件进行加工的方法称为仿形法。仿形法所得到的形状精度取决于仿形装置的精度和其他成形运动的精度。仿形车、仿形铣等均属仿形法加工,如图 1-13 所示。

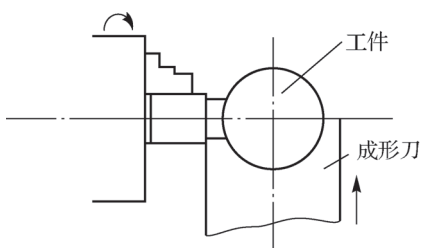


图 1-12 成形法加工

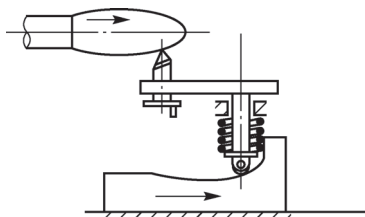


图 1-13 仿形法加工

(4) 展成法。展成法也称范成法，是指利用工件和刀具做展成切削运动进行加工的方法。展成法所得被加工表面是切削刃和工件做展成运动过程中所形成的包络面，切削刃形状必须是被加工面的共轭曲线。它所获得的精度取决于切削刃的形状和展成运动的精度等，如图 1-14 所示。

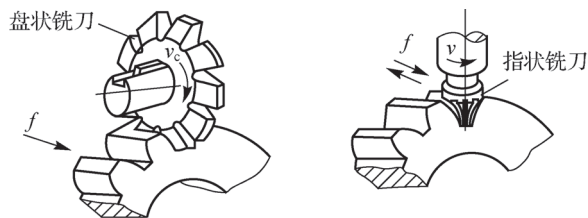


图 1-14 展成法加工

这种方法用于各种齿轮齿廓、花键键齿、蜗轮轮齿等表面的加工，其特点是刀刃的形状与所需表面几何形状不同。例如，在齿轮加工中，刀刃为直线（滚刀、齿条刀），而加工表面为渐开线。展成法形成的渐开线是滚刀与工件按严格转速比转动时，刀刃的一系列切削位置的包络线。

3) 提高表面间相互位置精度的方法

加工面的相互位置精度简称位置精度，是指零件上的各加工面之间或加工面相对于基准面的平行度、垂直度、同轴度等。获得相互位置精度的方法有以下两种。

(1) 一次安装法。一次安装法是指零件在同一次安装中，加工有相互位置要求的各个表面，从而保证其相互位置精度。精度的高低取决于机床的运动精度。

(2) 多次安装法。多次安装法是指零件有关表面的相互位置精度由加工表面与定位基准面之间的位置精度来保证。精度取决于机床运动之间、机床运动与工件装夹后的位置之间、机床的各工位之间的相互位置的正确性。

二、加工原理误差

加工原理误差是指在加工过程由于采用了近似的加工方法、近似的传动或近似的刀具轮廓而产生

生的加工误差。

1. 采用近似的加工方法造成的误差

在许多场合,为了得到要求的工件表面,必须在工件或刀具的运动之间建立一定的联系。从理论上讲,应采用完全准确的运动联系,但是采用理论上完全准确的加工原理有时使机床或夹具极为复杂,致使制造困难,反而难以达到较高的加工精度,有时甚至是不可能做到。例如,在车削或磨削模数螺纹时,由于其导程 $t=\pi m$,式中有 π 这个无理因子,在用配换齿轮来得到导程数值时,就存在原理误差。

2. 采用近似的刀具轮廓造成的误差

用成形刀具加工复杂的曲面时,要使刀具刃口做得完全符合理论曲线的轮廓,有时非常困难,往往采用圆弧、直线等简单近似的线型代替理论曲线。例如,用滚刀滚切渐开线齿轮时,为了滚刀的制造方便,多用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,从而产生了加工原理误差。

三、工艺系统的几何误差

1. 机床误差

加工中刀具相对于工件的成形运动一般都是通过机床完成的,因此工件的加工精度在很大程度上取决于机床的精度。机床制造误差对工件加工精度影响较大的有主轴回转误差、导轨误差和传动链误差。

2. 刀具、夹具的误差

机械加工中常用的刀具有一般刀具、定尺寸刀具和成形刀具。刀具误差对加工精度的影响因刀具的种类不同而不同。

- (1) 一般刀具(车刀、镗刀及铣刀等)的制造误差对加工精度没有直接的影响。
- (2) 定尺寸刀具(钻头、铰刀、拉刀及槽铣刀等)的尺寸误差直接影响被加工零件的尺寸精度。
- (3) 成形刀具(成形刀、成形铣刀及齿轮滚刀等)的误差主要影响被加工面的形状精度,而刀具的磨损会直接影响刀具相对被加工表面的位置,造成被加工零件的尺寸误差。

夹具的作用是使工件相对于刀具和机床具有正确的位置,因此夹具的制造误差对工件的加工精度(特别是位置精度)有很大影响。

夹具的制造误差由定位误差、夹紧误差、夹具的安装误差、导引误差、分度误差及夹具的磨损组成。夹具的磨损会引起工件的定位误差。

知识拓展

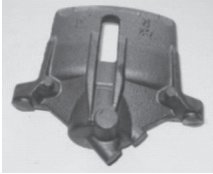
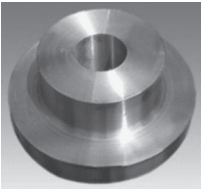
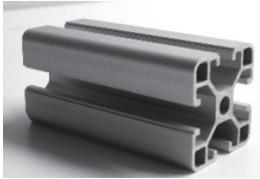

毛坯的选择

选择毛坯包括选择毛坯的材料、类型与制造方法三个方面。加工零件图一般都由设计部门提供,相关零件的材料都已经在设计部门予以确定。因而,在零件加工工艺编制过程中,选择零件的毛坯主要考虑毛坯类型与制造方法两个问题。

一、选择毛坯类型

机械零件因其使用场合不同，毛坯类型也有很大差异，必须合理选择。常见毛坯的类型及用途如表 1-3 所示。

表 1-3 常见毛坯的类型及用途

类 型	外 形	用 途
铸件		用于形状复杂的零件，有铸铝件、铸钢件和铸铁件等
锻件		用于强度要求较高且形状比较简单的零件，如轴类、盘类零件等
型材		分热轧与冷拉两类。热轧型材用于一般零件，冷拉型材用于尺寸小而精度高的场合，特别适用于自动机床加工（能自动送料与夹紧）
焊接件		用于大型毛坯件，焊接毛坯的最大缺点是变形大

二、选择毛坯的考虑因素

由于零件材料在设计阶段已经确定，因而选择零件毛坯时主要考虑以下四个因素。

1. 零件的材料

通常，加工铜、铝、铸铁类零件，不能使用锻件，而适宜选用铸件；加工钢类零件，为保证其强度与硬度，应优先选用锻件；规格统一、尺寸精度与表面精度要求不高时，在不影响零件性能的前提下，可优先考虑使用型材。

2. 零件结构形状与尺寸

回转体零件台阶直径不大时，可选用圆棒料；直径差异较大时，应选用锻件；小尺寸的毛坯可

以选用模锻、压铸等；薄壁、复杂型腔的零件不能用砂型铸造。

3. 生产批量大小

生产批量大时，应选用高精度、高生产率的毛坯制造方法，以降低生产成本，提高生产率与经济效益。

4. 企业现有生产条件

企业现有生产条件包括企业装备情况、生产场地、生产工艺水平及员工的技术水平等。

课后训练

一、填空题

1. 机械的生产过程是指_____的全部过程。
2. 零件的机械加工工艺流程由许多工序组合而成，每个工序又可分为_____、_____、_____和进给等。
3. 工件是机械加工过程中_____的总称。
4. 工件的加工精度包括_____、_____和表面间相互位置精度三个方面。

二、选择题

1. 在加工中用作定位的基准称为（ ）。
 - A. 定位基准
 - B. 设计基准
 - C. 装配基准
2. 在同一个工位上，要完成不同的表面加工时，其中加工表面、切削速度、进给量和加工工具都不变的情况下，所连续完成的那一部分工艺过程称为（ ）。
 - A. 工序
 - B. 工步
 - C. 工装
3. 实际几何参数与理想几何参数的偏离程度称为（ ）。
 - A. 加工精度
 - B. 加工误差
 - C. 加工偏差
4. 切削过程中，工件表面的成形运动是通过一系列的传动机构来实现的，传动机构越多，传动路线越长，则传动误差（ ）。
 - A. 越大
 - B. 越小
 - C. 不变

三、简答题

1. 什么是基准？如何分类？
2. 什么是加工精度？加工精度包括哪些方面？
3. 获得尺寸精度的方法有哪些？
4. 什么是加工原理误差？它包括哪些内容？
5. 工艺系统的几何误差包括哪些？