

GAODENG ZHIYE JISHU YUANXIAO JIDIAN YITIHUA JISHU ZHUANYE RENWU QUD

JIAOCAI



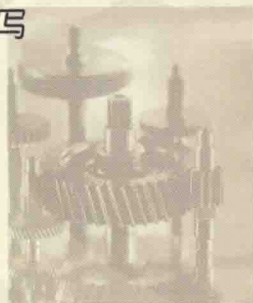
国家级职业教育规划教材  
人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐

高等职业院校机电一体化技术专业任务驱动型教材

# 机械制造技术

人力资源和社会保障部教材办公室组织编写

主编：张泉



中国劳动社会保障出版社

国 家 级 职 业 教 育 规 划 教 材  
人 力 资 源 和 社 会 保 障 部 职 业 能 力 建 设 司 推 荐  
高 等 职 业 技 术 院 校 机 电 一 体 化 技 术 专 业 任 务 驱 动 型 教 材

# 机械制造技术

主 编 张 泉

中国劳动社会保障出版社

## 简介

本书主要包括：机械制造基础、机械加工工艺基础、普通机械加工（车削加工、铣削加工、刨削加工、磨削加工、钻削加工）知识与技能、数控加工（数控车削加工、数控铣削加工）知识与技能。

本书由张泉主编，王坤、张宇、冯英宇副主编，董月红、赵慧、祝溪明、顾园、乔楠楠、程鹏、田学兰参加编写；张小亮主审。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术/张泉主编. —北京：中国劳动社会保障出版社，2012  
高等职业技术学院机电一体化技术专业任务驱动型教材  
ISBN 978-7-5167-0018-1

I. ①机… II. ①张… III. ①机械制造工艺-高等职业教育-教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 245173 号

## 中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码：100029)

出版人：张梦欣

\*

北京市艺辉印刷有限公司印刷装订 新华书店经销  
787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.25 印张 311 千字  
2012 年 10 月第 1 版 2012 年 10 月第 1 次印刷

定价：27.00 元

读者服务部电话：010-64929211/64921644/84643933

发行部电话：010-64961894

出版社网址：<http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话：010-64954652

如有印装差错，请与本社联系调换：010-80497374

# 前言

为了更好地满足企业对机电一体化技术专业高技能人才的需求,全面提升教学质量,人力资源和社会保障部教材办公室组织全国有关院校的一线教学专家、企业技术专家,在充分调研企业生产实际和学校教学需求的基础上,精心编写了高等职业技术学院机电一体化技术专业教材。本套教材紧紧围绕机电产品装调、机电产品维护、机电产品技改等岗位的要求,参照《国家职业标准·维修电工》《国家职业标准·装配钳工》《国家职业标准·数控机床装调维修工》等国家职业标准,以及企业机电一体化设备装调、维护、技改的基本工作流程,确定以机电产品装调能力、机电产品维护能力、机电产品技改能力培养为主要教学目标。

本套教材选用数控机床设备及自动化生产线设备这两类常用的机电一体化设备作为主要教学载体,并通过三个阶段实现对机电一体化产品的装调、维护、技改能力的培养。

第一阶段为基础通用能力培养。主要通过《机械制图与 AutoCAD 绘图》《机电电路制图与 CAD 绘图》《机械基础》《装配钳工技术》《电工电子技术》《机械制造技术》的教学,使学生能读懂机电一体化设备的机械机构图样、电气与电子电路图样并具备一定的图样绘制能力,能进行常用机械机构、电气与电子电路的装调、维护、技改工作,以及掌握检验机床设备加工精度的基本机械加工技术。

第二阶段为分系统装调、维护、技改能力培养。主要通过《气动液压传动技术》(机械运动系统),《电机控制技术》(伺服拖动系统),《传感器应用技术》(信号检测系统),《PLC 应用技术》《单片机应用技术》(电气控制系统)的教学,使学生能够熟练地进行对应分系统的装调、维护、技改工作。

第三阶段为全系统装调、维护、技改能力培养。在具备基础通用能力以及分系统装调、维护、技改能力的基础上,主要通过《数控设备装调诊断技术》《自动化生产线设备装调诊断技术》的教学,使学生能熟练地进行机电一体化设备的全系统装调、维护、技改工作。

在教材内容的组织上,采用任务驱动的编写思路。在教材的每一单元,首先提出具体的学习任务,使学生明确目标,产生学习的积极性;然后结合具体实例,讲解完成任务所需要的相关知识,使学生的认识由感性上升到理性;在任务实施环节,详细介绍完成任务的步骤和注意事项,使学生能够顺利完成任务,增强学习的成就感。

为方便教学,本套教材均配有免费电子课件,可在中国人力资源和社会保障出版集团网站([www.class.com.cn](http://www.class.com.cn))下载。其中《机械制图与 AutoCAD 绘图》《机械基础》《电工电子技术》《机械制造技术》《气动液压传动技术》等专业基础课还配有习题册。

在本套教材的编写过程中,得到了有关省市人力资源和社会保障部门、高等职业技术学院和相关企业的大力支持,教材的编审人员做了大量的工作,在此表示衷心的感谢!同时,恳切希望广大读者对教材提出宝贵的意见和建议。

人力资源和社会保障部教材办公室

2012年6月

# 目录

|                        |         |
|------------------------|---------|
| 模块一 绪论 .....           | ( 1 )   |
| 课题一 机械制造基础 .....       | ( 1 )   |
| 课题二 机械加工工艺基础 .....     | ( 7 )   |
| 模块二 普通机械加工 .....       | ( 15 )  |
| 课题一 车削加工 .....         | ( 15 )  |
| 任务 1 台阶轴加工 .....       | ( 36 )  |
| 任务 2 细长轴加工 .....       | ( 44 )  |
| 任务 3 丝杠车削加工 .....      | ( 50 )  |
| 课题二 铣削加工 .....         | ( 60 )  |
| 任务 4 六面体铣削加工 .....     | ( 75 )  |
| 课题三 刨削加工 .....         | ( 83 )  |
| 任务 5 平面刨削加工 .....      | ( 97 )  |
| 课题四 磨削加工 .....         | ( 104 ) |
| 任务 6 平面磨削加工 .....      | ( 121 ) |
| 任务 7 某车床主轴外圆磨削加工 ..... | ( 128 ) |
| 课题五 钻削加工 .....         | ( 134 ) |
| 任务 8 钻削加工 .....        | ( 143 ) |
| 模块三 数控加工 .....         | ( 151 ) |
| 课题一 数控车削加工 .....       | ( 151 ) |
| 任务 1 配合三件套数控车削加工 ..... | ( 174 ) |
| 课题二 数控铣削加工 .....       | ( 188 ) |
| 任务 2 台阶件数控铣削加工 .....   | ( 214 ) |



## 绪论

本模块主要介绍切削加工的基本概念、术语和机械加工工艺相关基本知识，为后续课题的展开做铺垫。

### 课题一 机械制造基础

#### ◆ 教学目标

- ◎ 掌握切削加工的特点
- ◎ 了解切削运动和各切削加工表面的概念
- ◎ 了解切屑的类型和切削层参数的概念
- ◎ 理解切削力的产生原因及影响因素
- ◎ 理解切削热的产生原因及影响切削温度的因素
- ◎ 了解切削液的作用和选用方法

#### 一、切削加工的特点

1. 可获得较复杂的工件形状。
2. 可获得较小的表面粗糙度值。
3. 可获得较高的尺寸精度、形状精度和位置精度。

典型切削加工如图 1—1—1 所示。

#### 二、切削运动

在机床上为了切除工件上多余的金属，以获得尺寸精度、形状精度、位置精度和表面质量都符合要求的工件，刀具与工件之间必须做相对运动——切削运动。根据切削运动在切削加工过程中所起作用的不同，可将切削运动分为主运动和进给运动。

##### 1. 主运动

主运动是指切除工件上多余金属层，形成工件新表面所必需的运动。主运动的特点是速度最高，消耗功率最多。切削加工中只有一个主运动，它可由工件完成，也可由刀具完成。

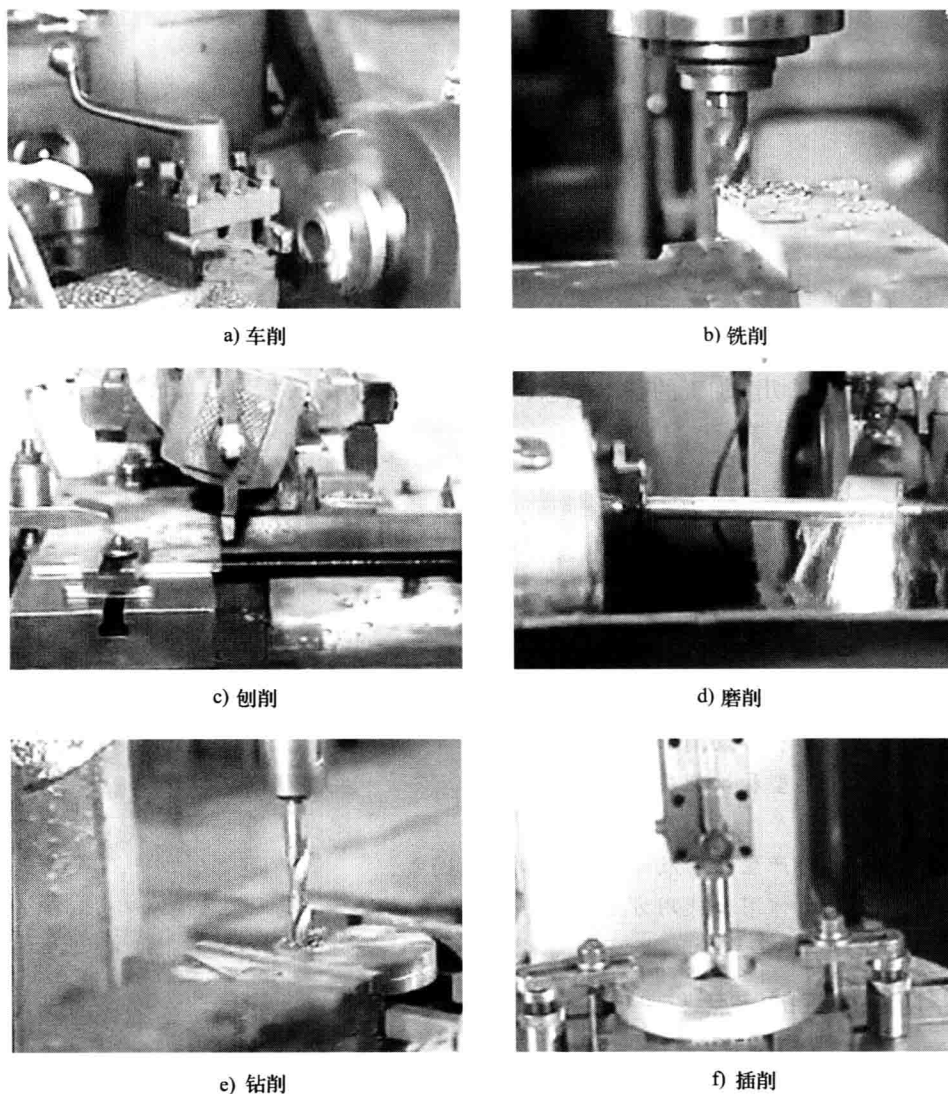


图 1—1—1 典型切削加工

## 2. 进给运动

进给运动是指把被切削金属层间断或连续投入切削的一种运动。与主运动相配合即可不断地切除金属层，获得所需的表面。进给运动的特点是速度低，消耗功率少。

典型切削加工的切削运动见表 1—1—1。

表 1—1—1

典型切削加工的切削运动

| 切削加工种类 | 主运动       | 进给运动           |
|--------|-----------|----------------|
| 车削加工   | 车床主轴的旋转运动 | 刀具的直线运动        |
| 铣削加工   | 铣床主轴的旋转运动 | 工作台的运动或主轴的直线运动 |



续表

| 切削加工种类 | 主运动       | 进给运动      |
|--------|-----------|-----------|
| 刨削加工   | 滑枕的直线往复运动 | 工作台间歇移动   |
| 磨削加工   | 砂轮的旋转运动   | 工作台往复直线运动 |
| 钻削加工   | 主轴的旋转运动   | 钻头的直线运动   |

3. 合成切削运动

合成切削运动是主运动与进给运动的合成。切削运动与切削表面如图 1—1—2 所示。

三、工件的表面

在切削过程中，工件上的金属层不断地被刀具切除而变为切屑，同时在工件上形成新的表面，如图 1—1—2 所示。

1. 待加工表面

工件上有待切除的表面称为待加工表面。

2. 已加工表面

工件上经刀具切削后产生的新表面称为已加工表面。

3. 过渡表面（加工表面）

切削刃正在切削的表面称为过渡表面，也称为加工表面。

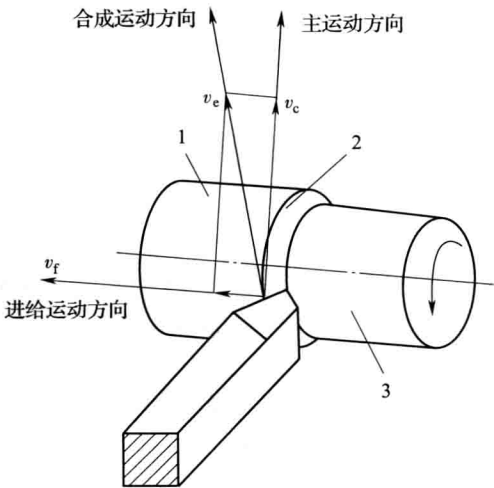


图 1—1—2 切削运动与切削表面

1—待加工表面 2—过渡表面 3—已加工表面

四、切屑的类型

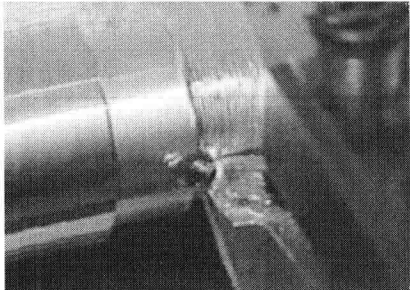
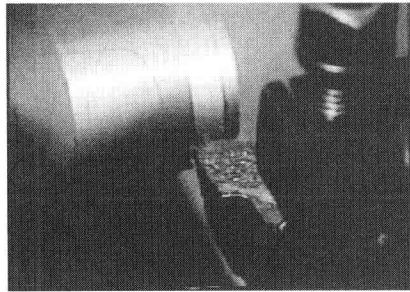
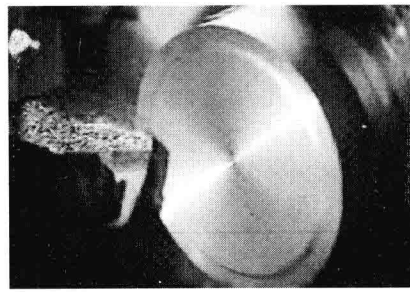
根据变形后形成的切屑的外形不同，将切屑分为四种类型，见表 1—1—2。

表 1—1—2

切屑的类型

| 序号 | 切屑类型 | 简图 | 说明                                      |
|----|------|----|-----------------------------------------|
| 1  | 带状切屑 |    | 用较高的切削速度和较薄的切削厚度切削碳钢、合金钢、铜、铝等塑性金属时获得的切屑 |

续表

| 序号 | 切屑类型 | 简图                                                                                  | 说明                               |
|----|------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| 2  | 节状切屑 |    | 用较低的切削速度和较大的切削厚度加工中等硬度塑性材料时获得的切屑 |
| 3  | 粒状切屑 |    | 用很低的切削速度和较大的切削厚度加工铅等材料时获得的切屑     |
| 4  | 崩碎切屑 |  | 用较小的刀具前角和较低的切削速度加工脆性材料时获得的切屑     |

## 五、切削层参数

切削层尺寸可用以下三个参数表示：

### 1. 切削层公称厚度 $h_D$

切削层公称厚度是指切削刃两瞬时位置过渡表面间的距离。

### 2. 切削层公称宽度 $b_D$

切削层公称宽度是指沿过渡表面测量的切削层尺寸。

### 3. 切削层公称横截面积 $A_D$

切削层公称横截面积是指切削层横截面的面积大小。

## 六、切削力

金属切削加工过程中, 刀具切入工件, 使被加工材料发生变形并成为切屑所需的力称为切削力。切削力来源于以下三个方面:

克服被加工材料对弹性变形的抗力;

克服被加工材料对塑性变形的抗力;

克服切屑对前面的摩擦力和刀具后面过渡表面与已加工表面之间的摩擦力。

切削力可分解为主切削力、切深抗力和进给抗力, 如图 1—1—3 所示。

切削力的影响因素很多, 主要有工件材料、切削用量、刀具几何角度、刀具材料、刀具磨损状态和切削液等。

#### 1. 工件材料

(1) 硬度或强度提高, 切削力增大。

(2) 塑性或韧性提高, 切屑不易折断, 切屑与前面摩擦力增大, 切削力增大。

#### 2. 切削用量

(1) 背吃刀量 (切削深度)  $a_p$  和进给量

背吃刀量和进给量增大, 切削层面积增大, 变形抗力和摩擦力增大, 切削力增大。

由于背吃刀量对切削力的影响比进给量对切削力的影响大 (通常背吃刀量提高一倍, 切削力提高一倍; 进给量增大一倍时, 切削力增大 70%~80%), 所以在实践中, 当需切除一定量的金属层时, 为了提高生产效率, 采用大进给量切削比大背吃刀量切削省力且省功率。

(2) 切削速度  $v_c$

1) 加工塑性金属时, 切削速度  $v_c$  对切削力的影响规律如同对切削变形的影响一样, 它们都是通过积屑瘤与摩擦的作用造成的。

2) 切削脆性金属时, 因为变形和摩擦均较小, 故切削速度  $v_c$  改变时切削力变化不大。

#### 3. 刀具几何角度

(1) 前角

前角增大, 变形减小, 切削力减小。

(2) 主偏角

主偏角  $\kappa_r$  在  $30^\circ \sim 60^\circ$  范围内增大, 由切削厚度  $h_D$  的影响起主要作用, 使主切削力  $F_c$  减小; 主偏角  $\kappa_r$  在  $60^\circ \sim 90^\circ$  范围内增大, 刀尖处圆弧和副前角的影响更为突出, 故主切削力  $F_c$  增大。一般来说,  $\kappa_r = 60^\circ \sim 75^\circ$ , 所以主偏角  $\kappa_r$  增大, 主切削力  $F_c$  增大。

实践中, 在车削轴类零件, 尤其是细长轴时, 为了减小切深抗力  $F_p$  的作用, 往往采用较大的主偏角 ( $\kappa_r > 60^\circ$ ) 的车刀切削。

(3) 刃倾角  $\lambda_s$

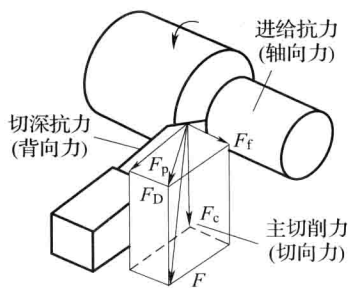


图 1—1—3 切削力的分解

$\lambda_s$  对  $F_c$  影响较小, 但对  $F_f$ 、 $F_p$  影响较大。 $\lambda_s$  由正向负转变, 则  $F_f$  减小、 $F_p$  增大。

#### 4. 其他因素

- (1) 刀具棱面应选较小宽度, 使  $F_p$  减小。
- (2) 刀尖圆弧半径增大, 切削变形、摩擦力增大, 切削力增大。
- (3) 刀具后面磨损增大, 刀具变钝, 与工件挤压、摩擦增大, 切削力增大。

### 七、切削热与切削温度

#### 1. 切削热

切削层金属在刀具的作用下产生弹性变形和塑性变形所做的功, 切屑与前面、工件与后面之间的摩擦所做的功都转变为切削热。

#### 2. 切削温度

切屑与刀具前面接触区域 (见图 1—1—4) 的平均温度称为切削温度。

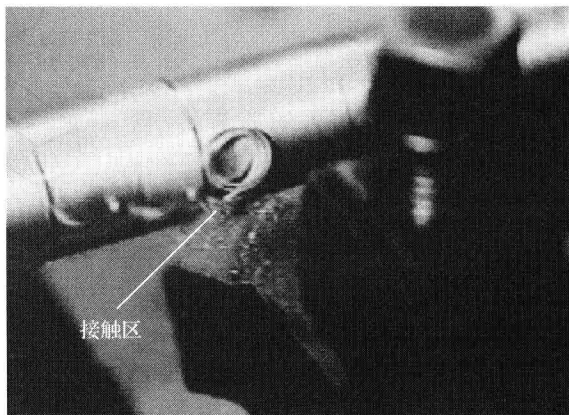


图 1—1—4 切削区

#### 3. 影响切削温度的因素

切削速度对切削温度的影响最大, 切削速度增大, 切削温度随之升高; 进给量影响较小; 背吃刀量影响更小。前角增大, 切削温度下降, 但前角不宜太大, 前角太大, 切削温度反而升高。主偏角增大, 切削温度升高。

### 八、切削液

#### 1. 切削液的作用

- (1) 冷却作用。
- (2) 润滑作用。
- (3) 清洗与防锈作用。

#### 2. 切削液的种类

##### (1) 水溶性切削液

水溶性切削液主要有水溶液、乳化液和化学合成液三种。

### (2) 油溶性切削液

油溶性切削液主要有切削油和极压切削油两种。

### (3) 固体润滑剂

其他常用的固体润滑剂是二硫化钼。

各种切削液的组成及主要用途见表 1—1—3。

表 1—1—3 各种切削液的组成及主要用途

| 序号 | 名称  | 组成                                               | 主要用途         |
|----|-----|--------------------------------------------------|--------------|
| 1  | 水溶液 | 以硝酸钠、碳酸盐等溶于水的溶液，用 100~200 倍的水稀释而成                | 磨削           |
| 2  | 乳化液 | (1) 矿物油很少，主要为表面活性剂的乳化液，用 40~80 倍的水稀释而成，冷却和清洗性能好  | 车削、钻孔        |
|    |     | (2) 以矿物油为主，含少量表面活性剂的乳化油，用 10~20 倍的水稀释而成，冷却和清洗性能好 | 车削、攻螺纹       |
|    |     | (3) 在乳化液中加入添加剂                                   | 高速车削、钻削      |
| 3  | 切削油 | (1) 单独使用矿物油                                      | 滚齿、插齿        |
|    |     | (2) 矿物油加植物油或动物油形成混合油，润滑性能好                       | 车削精密螺纹       |
|    |     | (3) 矿物油或混合油中加入添加剂形成切削油                           | 高速滚齿、插齿、车螺纹等 |
| 4  | 其他  | 液态的 CO <sub>2</sub>                              | 主要用于冷却       |
|    |     | 二硫化钼+硬脂酸+石蜡做成蜡笔，涂于刀具表面                           | 攻螺纹          |

### 3. 选用切削液的注意事项

硬质合金刀具：一般不用切削液，要用就必须连续浇淋。

切削铸铁：一般不用切削液，但以降尘为目的时可加煤油；铰孔、攻螺纹时可加煤油。

切削铝合金：不用切削液。

切削铜合金、有色金属：不能用含硫的切削液。

切削镁合金：严禁使用乳化液，可用煤油或 4% 的氟化钠作为切削液。

## 课题二 机械加工工艺基础

### ◆ 教学目标

- ◎ 了解机械产品的生产过程
- ◎ 掌握机械加工工艺过程的组成
- ◎ 理解机械加工工艺规程的编制流程

## 一、生产过程

机械产品的生产过程如图 1—2—1 所示。

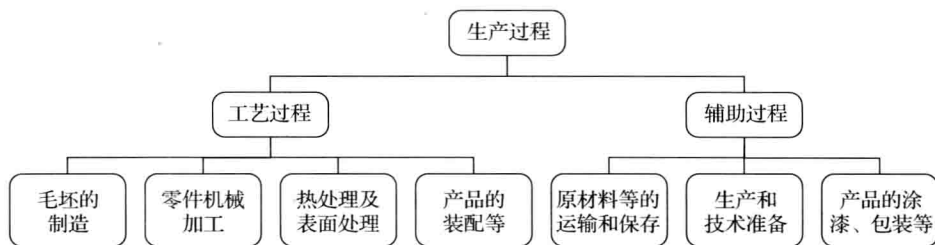


图 1—2—1 生产过程

生产过程是指产品由原材料到成品之间的各个相互联系的劳动过程的总和。主要包括原材料的运输和保存，生产的准备工作，毛坯的制造，零件的加工，部件和产品的装配、检验、涂漆和包装等。

在生产过程中，按一定顺序逐渐改变生产对象的形状（如铸造、锻造等）、尺寸（机械加工）、位置（装配）和性质（热处理），使其成为预期产品的主要过程；或者与原材料变为成品直接有关的过程称为工艺过程。可具体地分为铸造、锻造、冲压、焊接、机械加工、热处理、电镀、装配等工艺过程，如图 1—2—2 所示。

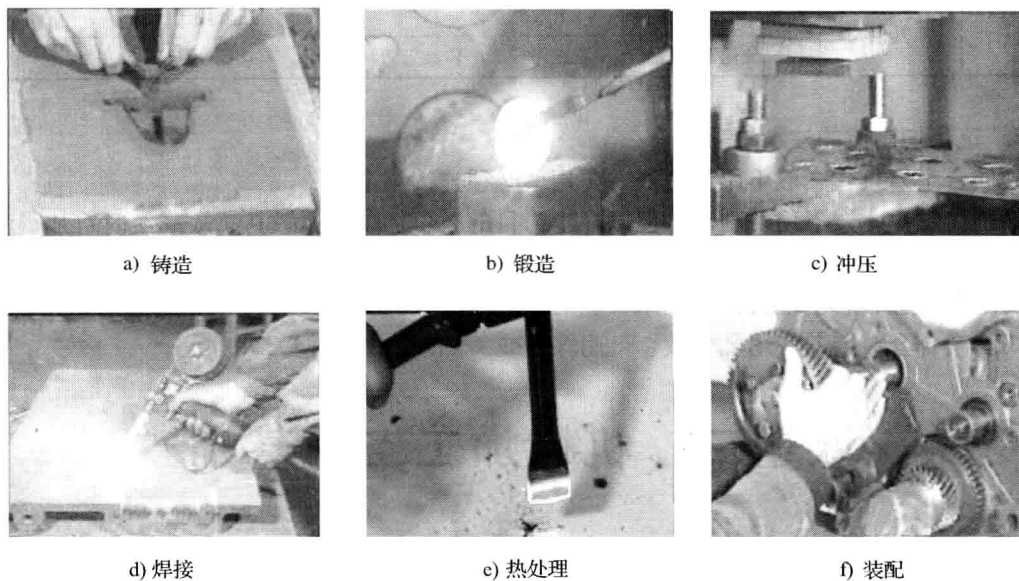


图 1—2—2 典型工艺过程

## 二、机械加工工艺过程的组成

机械加工工艺过程可划分为不同层次的单元，分别是工序、安装、工位、工步和走刀。

其中工序是划分工艺过程的基本单元，零件的机械加工工艺过程由若干工序组成。

### 1. 工序

工序是指一个或一组工人，在一个工作地对同一个或同时对几个工件所连续完成的那一部分工艺过程。维系一个工序的四个要素是工作地、工人、工件和连续作业，其中任一个要素的变化即构成新的工序。

### 2. 安装

为完成一个工序的工序内容，有时需要多次装夹工件，工件（或装配单元）经一次装夹后所完成的那一部分工序内容称为安装。

### 3. 工位

在带有转位（或移位）夹具（或工作台）的机床上进行加工时，在一次装夹中，工件（或刀具）相对于机床要经过几个位置依次进行加工，此时，为完成一定的工序部分，一次装夹工件后，工件（或装配单元）与夹具或设备的可动部分一起相对于刀具或设备的固定部分所占据的每一个位置称为工位。一次安装可以包括一个或几工位。工件在加工中应尽量减少装夹次数，因为多一次装夹就会增加装夹的时间，还会增加装夹误差。减少装夹次数的有效方法是采用多工位夹具。如图 1—2—3 所示为多工位加工。

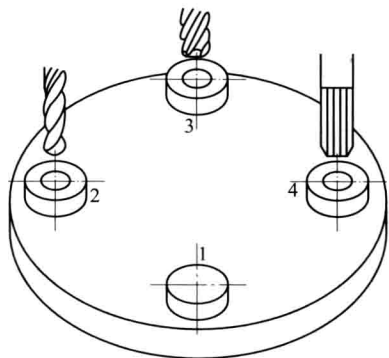


图 1—2—3 多工位加工  
工序 1—装卸工件 工序 2—钻孔  
工序 3—扩孔 工序 4—铰孔

多工位加工的优点如下：

- (1) 减少工件的装夹次数。
- (2) 减少辅助时间，缩短工时，提高效率。
- (3) 可实现加工时间与辅助时间的重叠。

### 4. 工步

工步是划分工序的单元，在一个工序中，工步是在加工表面（或装配时的连接表面）和加工（或装配）工具不变的情况下所连续完成的那一部分工序。加工表面和加工工具两个要素中有一个发生变化就是另一个工步。对于在一次装夹中连续加工的若干相同工步，可写成一个工步。

为简化工艺文件，对于那些连续进行的若干个相同的工步通常都看做一个工步。如图 1—2—4 所示的零件，在同一工序中，连续钻四个  $\phi 20$  mm 的孔就可看做一个工步（合并工步）。为了提高生产效率，用几把刀具同时参与切削几个表面也可看做一个工步，称为复合工步，如图 1—2—5 所示。

### 5. 走刀

在一个工步内，如果要切除的金属层很厚，需要对同一表面进行几次切削，这时刀具以加工时的进给速度相对于工件所完成的一次进给运动的工步部分称为走刀。

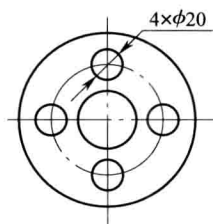


图 1—2—4 合并工步

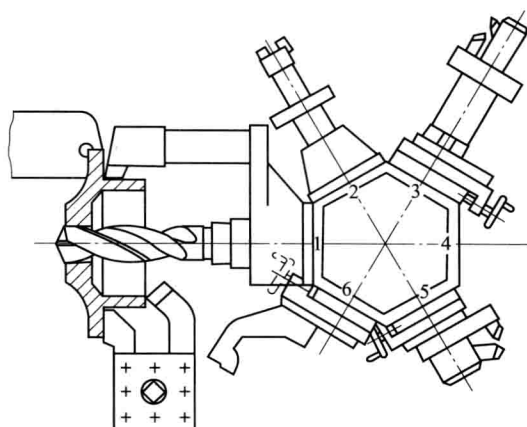


图 1—2—5 复合工步

### 三、机械加工工艺规程

规定产品或零件制造工艺过程和操作方法的工艺文件称为机械加工工艺规程。设计机械加工工艺规程时须遵循的原则如下：

1. 能够保证加工后零件质量达到设计图样上规定的各项技术要求。
2. 设法降低生产成本。
3. 使工艺过程具有较高的生产效率。
4. 减少工人的劳动强度，提供安全的劳动条件。

零件机械加工工艺规程的编制步骤见表 1—2—1。

表 1—2—1

机械加工工艺规程的编制步骤

| 序号 | 工艺步骤                           | 说明                                                                                                                                                                                 |
|----|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 熟知和分析制定工艺规程的技术要求，确定生产纲领，确定生产类型 | 生产纲领：计划期内企业应当生产的产品产量和进度计划<br>生产类型：单件生产、成批生产（小批量、中批量、大批量）、大量生产                                                                                                                      |
| 2  | 审查零件图和装配图，分析零件结构的工艺性           | 零件结构的工艺性是指所设计的零件在满足使用要求的前提下制造的方便性、可行性和经济性，即零件的结构应方便加工时工件的装夹、对刀、测量，可以提高生产效率。具体可从以下几个方面进行分析：<br>(1) 从零件方便装夹方面进行分析<br>(2) 从零件加工方面进行分析<br>(3) 要考虑生产类型和加工方法<br>(4) 从装配和维修方面对零件结构工艺性进行分析 |
| 3  | 确定毛坯种类、形状、尺寸及其制造方法             | 根据生产类型的不同，确定毛坯的相关参数。毛坯种类包括铸件、锻件、型材、焊接件、冲压件和粉末冶金件                                                                                                                                   |



续表

| 序号 | 工艺步骤                           | 说明                                                                                                                                                                                                                  |
|----|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4  | 拟定工艺过程，选择定位基准，确定加工表面的加工方法      | <p>选择加工方法应考虑每种加工方法的加工经济精度，零件材料的可加工性，工件的结构、形状和尺寸，生产类型及企业现有生产条件。加工表面的技术要求是决定表面加工方法的最重要因素，具体见表 1—2—2~表 1—2—5)</p> <p>定位基准是指机械加工中，工件在机床或夹具上定位时所依据的点、线、面的统称。包括粗基准和精基准。粗基准是指以毛坯上未经加工的表面作为定位基准；精基准是指利用工件上已加工过的表面作为定位基准</p> |
| 5  | 选择机床和工艺装备                      | 在机械加工中，通常将夹具、刀具、量具及各种刀具间的辅助工具统称为工艺装备                                                                                                                                                                                |
| 6  | 确定工艺路线中每一道工序的工序内容，并提供主要工序的检验方法 | <p>(1) 先加工基准表面，再加工其他表面</p> <p>(2) 先加工主要表面（指装配基面、工作表面等），后加工次要表面（指键槽、螺孔等）</p> <p>(3) 先安排粗加工工序，后安排精加工工序</p>                                                                                                            |
| 7  | 确定加工余量、工序尺寸及其公差                | 加工余量是指零件加工前后从加工表面切除的材料层厚度                                                                                                                                                                                           |
| 8  | 确定切削用量，计算工时定额                  | 时间定额是指在一定的生产条件下，规定生产一件产品或完成一道工序所需消耗的时间。主要包括基本时间、辅助时间、休息和生理需要时间、布置工作地时间和准备与终止时间                                                                                                                                      |
| 9  | 进行技术经济分析，选择最优工艺方案，填写工艺文件       | 经济精度是指在正常加工条件下（采用符合质量标准的设备、工艺装备和标准技术等级的工人，不延长加工时间）所能保证的加工精度                                                                                                                                                         |

表 1—2—2

外圆表面加工方案的适用范围

| 加工方法                              | 经济精度     | 表面粗糙度<br>$Ra$ ( $\mu m$ ) | 适用范围                         |
|-----------------------------------|----------|---------------------------|------------------------------|
| 粗车                                | IT11 以下  | 50~12.5                   | 适用于淬火钢以外的各种金属                |
| 粗车—半精车                            | IT10~IT8 | 6.3~3.2                   |                              |
| 粗车—半精车—精车                         | IT8~IT7  | 1.6~0.8                   |                              |
| 粗车—半精车—精车—<br>滚压（或抛光）             | IT8~IT7  | 0.2~0.025                 |                              |
| 粗车—半精车—磨削                         | IT8~IT7  | 0.8~0.4                   | 主要用于淬火钢，也可用于未淬火钢，但不适用于加工有色金属 |
| 粗车—半精车—<br>粗磨—精磨                  | IT7~IT6  | 0.4~0.1                   |                              |
| 粗车—半精车—<br>粗磨—精磨—超精<br>加工（或轮式超精磨） | IT5      | 0.1~ $Rz$ 0.1             |                              |