

# 模具制造工艺学

主 编 张晓翠

副主编 周 文 郑学全



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

高等职业教育人才培养创新教材出版工程

# 模具制造工艺学

主 编 张晓翠

副主编 周 文 郑学全

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书系统地阐述了机械加工技术、特种加工技术、模具表现技术的基础理论知识、方法和技巧。全书共分7章,包括机械加工工艺规程的编制、机械加工质量分析、模具零件的加工、模具工作零件的加工、模具制造的其他方法、光整加工及模具装配工艺等内容。

本书以就业为导向,结构体系完整,内容突出实用性、技能性,反映了实际生产的工艺情况,体现了现代模具生产的新工艺和新方法。

本书可作为高职高专成人大专模具设计与制造专业的教材,也可供自学者及相关技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

模具制造工艺学/张晓翠主编. —北京:科学出版社, 2007

高等职业教育人才培养创新教材出版工程

ISBN 978-7-03-017803-9

I. 模… II. 张… III. 模具-工艺学-高等学校:技术学校-教材

IV. TG760.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 092893 号

责任编辑:胡华强 刘 韩 毛 莹 贾瑞娜/责任校对:李奕莹

责任印制:张克忠/封面设计:耕者设计室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2007年1月第一版 开本:B5(720×1000)

2007年1月第一次印刷 印张:22

印数:1—4 000 字数:413 000

定价:28.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

# 高等职业教育人才培养创新教材出版工程

## 四川编委会

### 主任委员

陈传伟 成都电子机械高等专科学校副校长

### 副主任委员

汪令江 成都大学教务处长

李学锋 成都航空职业技术学院教务处长

季 辉 成都电子机械高等专科学校教务处长

林 鹏 科学出版社副总编辑

### 委 员

黄小平 成都纺织高等专科学校教务处长

凤 勇 四川交通职业技术学院教务处长

丁建生 四川工程职业技术学院教务处长

郑学全 绵阳职业技术学院教务处长

彭 涛 泸州职业技术学院教务处长

秦庆礼 四川航天职业技术学院学术委员会主任

谢 婧 内江职业技术学院教务处副处长

胡华强 科学出版社高等教育分社社长

## 《模具制造工艺学》编委会

|     |     |            |
|-----|-----|------------|
| 主 编 | 张晓翠 | 内江职业技术学院   |
| 副主编 | 周 文 | 四川航天职业技术学院 |
|     | 郑学全 | 绵阳职业技术学院   |
| 参 编 | 谭啸天 | 内江职业技术学院   |
|     | 赵建中 | 绵阳职业技术学院   |
|     | 扶振新 | 内江职业技术学院   |
| 主 审 | 严天明 | 四川航天职业技术学院 |

## 出版说明

为进一步适应我国高等职业教育需求的迅猛发展,推动学校向“以就业为导向”的现代高等职业教育新模式转变,促进学校办学特色的凝练,高等职业教育人才培养创新教材出版工程四川编委会本着平等、自愿、协商的原则,开展高等院校间的高等职业教育教材建设协作,并与科学出版社合作,积极策划、组织、出版各类教材。

在教材建设中,编委会倡导以专业建设为龙头的教材选题方针,在对专业建设和课程体系进行梳理并达成较为一致的意见后,进行教材选题规划,提出指导性意见。根据新时代对高技能人才的需求,专门针对现代高等职业教育“以就业为导向”的培养模式,反映知识更新和科技发展的最新动态,将新知识、新技术、新工艺、新案例及时反映到教材中来,体现教学改革最新理念和职业岗位新要求,思路创新,内容新颖,突出实用,成系配套。

教材选题的类型主要是理论课教材、实训教材、实验指导书,有能力进行教学素材和多媒体课件立体化配套的优先考虑;能反映教学改革最新思路的教材优先考虑;国家、省级精品课程教材优先考虑。

这批教材的书稿主要是从通过教学实践、师生反应较好的讲义中经院校推荐,由编委会择优遴选产生的。为保证教材的出版和提高教材的质量,作者、编委会和出版社作出了不懈的努力。

限于水平和经验,这批教材的编审、出版工作可能仍有不足之处,希望使用教材的学校及师生积极提出批评和建议,共同为提高我国高等职业教育教学、教材质量而努力。

高等职业教育人才培养创新教材出版工程

四川编委会

2004年10月20日

## 前 言

本书是高职高专创新教材,是根据高职高专教育的特点、模具设计与制造专业的培养目标和教学基本要求,同时兼顾相近专业的选修课要求而编写的。也可以作为模具行业从业人员的技术参考书。

模具加工属精密加工,其基础理论就是机械加工的理论。本教材无论在讲解这些理论方面,还是在分析讲解模具制造和装配方法、要点方面,始终围绕企业的生产实际,针对生产常见问题和具有代表性的要点、难点进行分析,力图使读者在学习后能应用于生产实际,能解决生产中的类似实际问题,以突出其实用性。

本书既有入门的基础加工知识、方法和技巧,也不乏现代模具的加工方法,突出了其先进性和典型性。

本书内容从最简单的平面加工、圆柱形、筒体形零件加工到各种异形、复杂成型面的数控加工,成型磨削加工;从零件加工到装配,由浅入深,由易到难,循序渐进,系统性强。内容翔实,图文并茂,结构清晰。

在本书的编写过程中,编者始终坚持以就业为导向、突出实用,体现高职高专技能性、应用性的特点,以“适用、够用、会用”为原则,尽可能地反映生产实际的工艺情况,体现现代模具生产的新工艺、新方法。

本书的编者都是长期从事生产与教学的教师,由张晓翠担任主编,周文、郑学全担任副主编,严天明主审。书中第1、7章由扶振新编写,第2、5章由谭啸天编写,第3章由赵建中编写,第4章由周文编写,绪论及第6章由张晓翠编写。全书由张晓翠提出编写大纲及编写要求并统稿。

衷心感谢对本书编写给予大力支持的同行,感谢为本书提供参考著作的各位编者。

由于编者的水平有限,时间有限,错误和疏漏在所难免,敬请同行们不吝赐教,当速速改正,以飨读者。

编 者  
2006 月 5 日

# 目 录

出版说明

前言

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 绪论                      | 1   |
| 1 机械加工工艺规程的编制           | 6   |
| 1.1 机械加工的生产过程与工艺过程      | 6   |
| 1.2 零件的工艺分析             | 13  |
| 1.3 毛坯的选择               | 17  |
| 1.4 定位基准的选择             | 19  |
| 1.5 工艺路线的拟定             | 28  |
| 1.6 加工余量的确定             | 32  |
| 1.7 工序尺寸及其公差的确          | 36  |
| 1.8 机床与工艺装备的选择          | 37  |
| 1.9 工艺文件                | 38  |
| 2 机械加工质量分析              | 42  |
| 2.1 工艺系统的几何误差及其对加工精度的影响 | 42  |
| 2.2 工艺系统的力效应对加工精度的影响    | 51  |
| 2.3 工艺系统受热变形对加工精度的影响    | 61  |
| 2.4 其他误差对加工精度的影响        | 66  |
| 2.5 提高加工精度的途径           | 67  |
| 2.6 机械加工的               | 70  |
| 2.7 影响表面质量的因素及改善表面质量的途径 | 72  |
| 复习、思考与分析                | 80  |
| 3 模具零件的加工               | 82  |
| 3.1 模板和矩形零件的加工          | 82  |
| 3.2 圆柱形零件的加工            | 102 |
| 3.3 筒体形零件加工             | 110 |
| 复习、思考与分析                | 117 |
| 4 模具工作零件的加工             | 119 |
| 4.1 模具工作零件的机械加工及其实例     | 120 |
| 4.2 模具工作零件的数控加工         | 149 |
| 4.3 模具工作零件的电火花加工        | 172 |

|          |                        |            |
|----------|------------------------|------------|
| 4.4      | 模具工作零件的电火花线切割加工 .....  | 194        |
| 4.5      | 模具工作零件的工艺路线 .....      | 209        |
|          | 复习、思考与分析 .....         | 217        |
| <b>5</b> | <b>模具制造的其他方法 .....</b> | <b>220</b> |
| 5.1      | 型腔的冷挤压加工 .....         | 220        |
| 5.2      | 超声波加工 .....            | 225        |
| 5.3      | 电化学加工和化学加工 .....       | 229        |
| 5.4      | 超塑成型工艺 .....           | 250        |
| 5.5      | 铸造制模技术 .....           | 254        |
| 5.6      | 合成树脂模具的制造 .....        | 262        |
| 5.7      | 快速模具制造技术 .....         | 265        |
|          | 复习、思考与分析 .....         | 272        |
| <b>6</b> | <b>光整加工 .....</b>      | <b>273</b> |
| 6.1      | 研磨与抛光 .....            | 273        |
| 6.2      | 电化学抛光 .....            | 283        |
| 6.3      | 超声波抛光 .....            | 286        |
| 6.4      | 挤压研磨抛光 .....           | 291        |
| 6.5      | 其他光整加工 .....           | 294        |
|          | 复习、思考与分析 .....         | 295        |
| <b>7</b> | <b>模具装配工艺 .....</b>    | <b>296</b> |
| 7.1      | 装配尺寸链 .....            | 297        |
| 7.2      | 装配方法及其应用范围 .....       | 300        |
| 7.3      | 冲裁模的装配 .....           | 306        |
| 7.4      | 弯曲模和拉伸模装配的特点 .....     | 322        |
| 7.5      | 塑料模的装配 .....           | 325        |
|          | <b>参考文献 .....</b>      | <b>337</b> |

# 绪 论

## 1. 本课程的作用与任务

本课程是模具设计与制造专业的主要专业课之一。本课程内容以冷冲模具制造、塑料模具制造及其装配为主。

制品，它只是一件样品或是一张设计图。而所设计的该制品的成型模具，在尚未加工成为商品模具之前，也仅仅是设计图纸和相关数据而已，尚处于纸上谈兵状态，它必须通过一系列正确、快捷而又经济的加工方法，成为具有一定功能和实用价值，即能正常且持续地生产出合格制品的模具，否则，就没有任何意义和价值。因此，模具制造的作用就是通过人、机的有机配合将图纸上的模具加工成商品模具。而模具制造工艺文件的作用则是用以指导和规范各工序的加工，使加工达到好、快、省的最终目的。

本课程是一门实践性、综合性都很强的专业课。其任务是通过课堂讲授、实验实践、课程设计、实习工厂实训和模具制造厂的实习，使学习者在学习并掌握冷冲压成型与模具设计、塑料制品成型与模具设计的基础理论和设计方法的同时，掌握机械加工的基本知识和基本理论以及模具加工的方法和一般的装配技能，从而能将不太复杂的模具图加工成商品模具，能正确分析和解决模具制造中常见的技术问题，能用新工艺、新技术解决模具制造中的新问题，并以此为学习者的就业和进一步创业打下较为牢固的基础。

## 2. 本课程的要求和方法

制品、模具及其制造工艺，三者之间密不可分。很多设计独到、制造精良的模具，其制品的结构和功能设计，往往也是出类拔萃的。能对制品的工艺结构中的任何一个不足之处提出独到的改进，无疑也是出于对模具结构设计和制造有透彻、独到的理解并积淀了较为深厚的造诣所致。

一个优秀的制品开发、设计者，在设计和确定任何一处结构部位时，此部位成型模具的结构，实际上已经形成，而同时，此部位模具结构的加工、装配以及维修等一系列相关的技术问题，实际上也已经有序地经过审视而得以确定。因此，一个称职的产品设计者实际上已经是一位称职的模具工艺师了。

由此可知，要成为一个优秀的制品开发者和设计者，首先应成为一位称职的模具制造技师，继而成为一个优秀的模具设计师，为此，还必须从学会制造一颗合格的螺钉起步。这正是千里之行始于足下！

如前所述,本课程是一门实践性、综合性都很强而且涉及知识面较广的课程。因此要求学习者将约 60% 的精力和学习时间用于实验、实训和实习,再以约 40% 的精力和时间,学好本课程的基础理论和各种加工方法、加工技能,以及分析问题、解决问题的方法,并在实验、实训和实习过程中和日后的工作中积淀、充实和提高。

制品是模具制造出来的,而模具则是由模具师傅们的双手创造出来的。因此,要学会、学好这门模具制造课,最好的方法就是踏踏实实地学习并亲自动手去制造模具,实践出真知。任何人的真知灼见、一技之长,无不来源于实践。

### 3. 模具制造的特点

模具,无论是塑料模、冲压模还是其他模具都是一种专用的、最适于批量生产的、高技术含量的精密成型工艺装备。模具制造在机械制造中属于精密机械制造的范畴,具有下述诸多特点:

(1) 模具成型尺寸的制造精度要求高。

① 一般塑料模具成型尺寸的精度在  $0.1\sim0.010\text{mm}$  范围内;精密模具则在  $0.010\sim0.005\text{mm}$  范围内;有的甚至达到  $0.003\sim0.001\text{mm}$  的高精度。

② 在多工位级进精密冲模中,凹模镶件的重复定位精度可达到  $0.005\sim0.002\text{mm}$ ;步距精度亦可达到  $0.005\sim0.002\text{mm}$ 。

③ 塑料模具成型尺寸的测量公差:一般模具成型尺寸的制造公差是制品尺寸公差(GB/T 14486—1993)的  $1/3\sim1/5$ ;而精密模具成型尺寸的制造公差仅为制品尺寸公差的  $1/6\sim1/8$ 。

(2) 模具各相关结构件之间的配合精度要求高。

(3) 成型件之间、成型件与结构件之间、结构件之间的相对位置精度要求高。

(4) 成型件的成型表面质量要求高,  $Ra$  可达  $0.4\sim0.1\mu\text{m}$ 。

(5) 成型件的制造难度大。

① 塑料模的成型面是塑料制品各部分表面在一定的温度和压力下,在型腔和型芯上的复制。型腔和型芯的各成型面,多呈二维和三维的平面、斜面、曲面,或曲面与平面、曲面与斜面、曲面与曲面的组合、交错、重叠等复杂异型的组合体,不但复杂而且精细,表面质量要求高,尺寸精度要求也高。因此,非一般的机械加工设备和常规的刀具、夹具、工具、量具所能完成,而必须采用诸如数控车床、数控铣床、仿形铣和磨、成型磨、线切割、电火花成型、激光加工、超声波加工、电解研磨、珩磨等特种加工的配合,并配之以相应的刀具、夹具、工具、量具,如专用样板、专用量规(均为非标准件)等,需专门设计和制造,方能满足其制造工艺的要求,故其加工难度大。

② 为提高模具的使用寿命,模具的成型件和有相对运动的易磨损结构件,多

选用优质钢材并进行相应的处理,如调质、预硬、淬火、回火、氧化涂覆以及渗碳、渗氮、碳氮共渗等处理以消除其内应力,提高耐磨性、耐腐蚀性、稳定性和综合机械性能,从而提高模具的使用寿命和使用精度,降低制品成本。经处理后的钢材,除预硬易切钢外,其余钢材只能进行电加工和磨削加工,故增加了加工难度。

(6) 因模具制造精度高,制造要求高,加工难度大,因此对工人的技术水平和技能,以及检测工艺装备和检测工艺水平都有相应的较高要求。

(7) 在模具的组装和总装工艺中常采用配制的加工方法,如配钻、铰、铣、镗、车、磨和配研等,以此保证两配制零件形状和相互位置(同轴度、垂直度、平行度、平面度、对称度、密合度等)的一致性,以提高其装配精度。尤其在二次精定位中的两配合锥面,常采用研配工艺和涂红粉检验的方法,以此保证两配合面的密合。导柱与导套为保证其良好的导向和定位功能,加工后也必须进行研配。唯此,模具的整体综合质量才能得到可靠保证,制品的质量也才能得到有效保证。

(8) 由于模具制造工序繁复,多种多样,制造难度大,工艺流程长,致使模具制造周期很长,但周期又受其合同的严格限制,必须按时完成,这就更增加了制造的难度。即在设计、制造的全过程中,不允许出现原则性失误。因此,促使模具生产企业必须严格、牢固地树立全员性的质量管理和保证体系,并以制度形式落实到各项工作中,使每副模具的每个零件,从设计始至交货止全过程的每一个环节的影响质量的每个因素,都处于严格和有效的控制之中。

(9) 模具属大批量生产的专用成型工装设备。一副设计合理、制造精良、用材恰当的塑料注射模可连续生产 30 万~50 万次不下机;多型腔模具甚至每年可生产上千万件制品;精密冲模的寿命可达 10000 万~20000 万次。可见,在上述批量范围内的制品,有一副模具足矣。所以,模具制造属单件生产,很难见到一件产品同时开几副模具的情况,唯有模具的标准件和通用件属批量生产,由专业制造厂按国家标准生产、供货。

(10) 模具,尤其是塑料模具,其型腔的装配和抛光,目前绝大多数仍为手工操作,尤其是复杂的中、小型模具更是如此,一时尚难以实现机械化、自动化——尽管在此领域目前比起以往已有了长足的进步。

#### 4. 模具制造的主要方法

因其用途和精度要求的不同,模具的制造方法也各不相同。

(1) 试制性和批量小的试生产模具,常采用快速成型铸造法或用无须热处理且易于加工的诸如铝合金、软质钢材等材料进行快速制模,可大大减小制造的难度,缩短制模周期,满足试制要求。

快速成型铸造法最常用的材料是锌基合金。它熔点低、可铸造性好,易于成

型形状较为复杂的模具，而且铸造精度也比其他同类材料的铸造精度高，并具有与软质钢材相同的强度、耐磨性和润滑性。缺点则是材质较软，不耐磨且耐热性差，所以寿命短，尤其不宜制造成型温度要求高的塑料模具。

另外，也有用导热性和耐磨性相对较好的铍铜合金代替锌基合金的，这有助于模具质量和使用寿命的提高。

还有将酚醛树脂、环氧树脂和聚酯树脂等合成树脂用于快速成型铸造制模的。合成树脂质轻、耐磨，故不易锈蚀，流动性好而易于充模成型，复制、修理也较为容易。其最大的缺点是不耐热，温度过高时变形大，而且质软而不耐磨，强度不高，还易于老化。

(2) 大型的、形状简单且加工精度要求不高的模具零件可采用焊接和局部焊接的方法制造，既省料又易于加工，所以制模周期短，但是所制模具精度不高，而且焊接后，焊接处的内应力较大，比之整体进行加工的模具，其抗冲击强度较差。氩弧焊接的零件，其变形相对小一些，多用于对成型零件局部损坏的修补。

(3) 一般的日用品模具，因其制品（如玩具和日常生活用品等）只有形状和外观要求，而无精度要求或精度要求不高，用常规的机加工方法如铸、锻、车、钻、铣、镗、磨等即可完成。

(4) 工程结构件制品的模具制造，其一是标准件（包括整体标准模架）和通用件的加工方法。如前所述，均依照相关的国家标准，由专业生产厂按国标的要求，批量生产、供货，其制造方法仍以常规的车、铣、刨、钻、镗、磨为主，辅以一些专用设备和制造方法，如长径比较大的推管深孔加工和弹簧的专业加工方法，以及各种标准件、通用件的热处理等。其二是成型件的加工。成型件的加工是成型类模具加工的重点和核心。

成型件的加工方法又分为两种类型：①各成型面的加工，多采用数控车床、仿形加工、数控铣床、加工中心、成型磨削等，个别情况下采用冷挤压成型、压印修磨成型等加工方法，同时还辅以超声、电化学、激光、电子束、等离子体加工以及与三坐标测试仪、扫描仪相配合的快速原型加工、电解研磨、挤压珩磨、镜面研抛等一系列特种加工（由于数控机床和加工中心的日益普及，仿形加工在目前的模具制造业中已逐步被淘汰，故本教材不再介绍）。低耗、高效、优质、环保型的热处理加工工序也是成型件加工中极为重要而不可忽视的一环。②成型件与结构件的配合部分的加工，以及成型件之间的镶拼结构配合部分的加工，一般多采用精密机械加工方法，如铣、镗、磨，以及线切割、电火花加工等。

## 5. 现代模具制造技术的发展趋向

(1) 加快模具的标准化、商品化发展，提高模具的制造质量，缩短模具的制

造周期。

(2) 模具 CAD/CAM 技术是模具设计、制造技术的又一次革命，其优势越来越明显，普及和提高 CAD/CAM 技术的应用是模具制造走向现代化的必由之路。

(3) 以高速铣削为代表的高速切削加工技术代表了模具外表面粗加工的发展方向。

(4) 成型面的加工向精密、自动化方向发展。

(5) 光整加工技术向自动化方向发展。

(6) 以三坐标测试仪和快速原型制造技术为代表的制模技术是模具制造技术的又一重大发展，尤其是应用于反向制造工程和复杂模具的制造，对缩短制造周期有着非常重要的作用。

(7) 节能、优质、高速和绿色热处理工艺是模具零件热处理的主导方向。

(8) 进一步提高模具钢材的耐磨、耐蚀、综合机械性能、加工性能和抛光性能是提高模具质量的稳定性和使用寿命的主要途径及发展趋向。

## 6. 模具的现代生产方式

在完全实现模具标准件、通用件的生产专业化，供应商品化的基础上，利用现代 IT 技术，组成局域通信网络，将计算机设计完成的各成型面配合面数字化并编成代码直接输入数控机床或 CNC 加工中心进行自动编程，继而完成自动加工。加工过程中则由计算机完成自动检测和结果的自动显示，从而实现产品、模具设计以及模具制造的自动化和智能化并以此提高设计和制造的速度和质量，减少人为的多层次失误造成的缺陷，从而缩短模具生产周期，提高模具质量以及使用的可靠性和寿命。

# 1 机械加工工艺规程的编制

## 1.1 机械加工的生产过程与工艺过程

### 1. 生产过程

生产过程是将原材料或半成品转变为成品的各有关劳动过程的总和，它主要包括：

(1) 产品投产前的生产技术准备工作。此过程主要完成产品投入生产前各种生产资料和生产组织等方面的准备工作，包括产品的试验研究和设计、工艺设计和专用工艺装备的设计及制造。

(2) 毛坯的制造过程。如毛坯的锻造、铸造和冲压等。

(3) 零件的各种加工过程。如机械加工、特种加工、焊接、热处理和表面处理等。

(4) 产品的装配过程。包括部件装配、总装配、检验、调试和油封等。

(5) 各种生产服务活动。包括生产中的原材料、半成品、标准件、外购件、工具的供应、运输、保管以及产品的油漆、包装和发送等。

为了便于组织专业化生产和提高劳动生产率，现代工业生产的发展趋势是自动化和专业化生产。这样各工厂的生产过程就变得比较简单，有利于保证质量、提高效率和降低成本。如模具零件毛坯的生产，由专业化的毛坯生产工厂来承担。模具上的导柱、导套、顶杆等零件和模架，由专业化的标准件厂来完成。这既有利于模具上各种零件质量的保证，也有利于降低成本，对于专业化零部件制造厂和模具制造厂都是有利的。

### 2. 工艺过程及其组成

在模具产品的生产过程中，那些与将原材料变为成品直接有关的过程，如毛坯的制造、机械加工、热处理和装配等过程，称为工艺过程。通过机械加工的方法，直接改变毛坯的形状、尺寸和表面质量，使之成为产品零件的工艺过程，称为机械加工工艺过程。确定合理的机械加工工艺过程后，以文字形式形成施工的技术文件，即为模具的机械加工工艺规程。

机械加工工艺过程由一个或若干个按顺序排列的工序所组成，而每一个工序又可细分为安装、工位、工步和走刀等。毛坯依次经过这些工序而变为成品。

## 1) 工序

工序是一个或一组工人，在一个工作地点对同一个（或同时对几个）工件进行加工，所连续完成的那一部分工艺过程。它是组成工艺过程的基本单元，又是生产计划和经济核算的基本单元。划分工序的依据是工作地点（或设备）、加工对象（工件）是否变动以及加工是否连续完成。如果其中之一有变动或者加工不是连续完成，则构成另一个工序。

如何判断一个工件在一个工作地点的加工过程是否连续呢？现以一批工件上某孔的钻、铰加工为例说明。如果每一个工件在同一台机床上钻孔后就接着铰孔，则该孔的钻、铰加工过程是连续的，应算作一个工序。若在该机床上将这批工件都钻完孔后再逐个铰孔，对一个工件的钻铰加工过程就不连续了，钻、铰加工应该划分成两个工序。

图 1-1 所示为阶梯轴，其机械加工工艺过程划分为五道工序，见表 1-1。

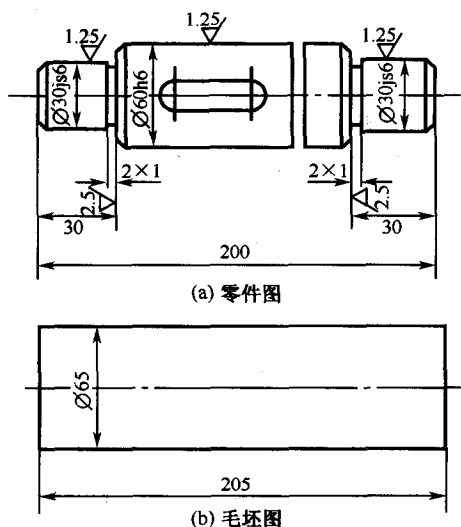


图 1-1 阶梯轴

表 1-1 阶梯轴的工艺过程

| 工序编号 | 工序内容      | 工作地点 |
|------|-----------|------|
| 1    | 车两端面打中心孔  | 车 床  |
| 2    | 车外圆、切槽并倒角 | 车 床  |
| 3    | 铣键槽       | 铣 床  |
| 4    | 去毛刺       | 钳工台  |
| 5    | 磨外圆       | 外圆磨床 |

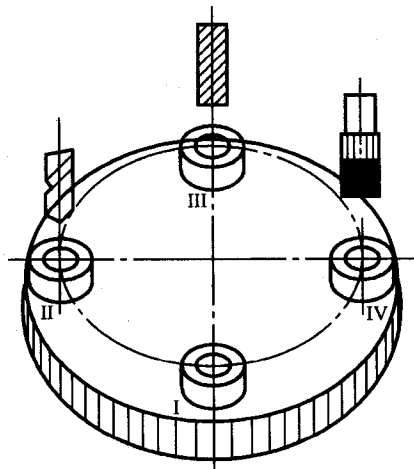


图 1-2 回转多工位加工

## 2) 安装与工位

工件在加工之前，在机床或夹具上先占据一个正确的位置，工件经一次装夹后所完成的那一部分工序称为安装。在一道工序中，有时工件需要进行多次装夹，如表 1-1 中的工序 1，当车削第一个端面、打中心孔时要进行一次装夹，调头车另一端面、打中心孔又需要重新装夹工件，所以完成该工序，工件要进行两次装夹。多一次装夹，不但增加了装卸工件的辅助时间，同时还会产生装夹误差。因此，在工序中应尽量减少装夹次数，这就是定位。定位后对工件进行夹紧的过程称为安装，安装要使工件在加工过程中保持定位时的正确位置不

变。为了减少工件安装的次数，常采用各种回转工作台、回转夹具或移位夹具，使工件在一次安装中先后处于几个不同的位置进行加工。此时，工件在机床上占据的每一个加工位置都称为一个工位。图 1-2 所示是利用回转工作台换位，使一个工件依次处于装卸工件（工位 I）、钻孔（工位 II）、扩孔（工位 III）和铰孔（工位 IV）四个工位的加工实例。

## 3) 工步

在一个工序内，往往需要用不同的刀具和切削用量对不同的表面进行加工。为了便于分析和描述工序的内容，工序还可进一步划分为工步。当加工表面、切削工具和切削用量中的转速与进给量均不变时，所完成的那部分工序称为工步。

表 1-1 中工序 1 可划分成四个工步（车端面、打中心孔、车另一端面、打中心孔）。决定工步的两个因素——加工表面、加工工具之一发生变化，或者这两个因素虽然没有变化，但加工过程不是连续完成，一般应划分为另一工步。当工件在一次装夹后连续进行若干个相同的工步时，为了简化工序内容的叙述，在工艺文件上常将其填写为一个工步。如图 1-3 所示零件，对四个  $\varnothing 10\text{mm}$  的孔连续进行钻削加工，在工序中可以写成一个工步——钻  $4-\varnothing 10\text{mm}$  孔。

为了提高生产率，用几把刀具或者用复合刀具，同时加工同一工件上的几个

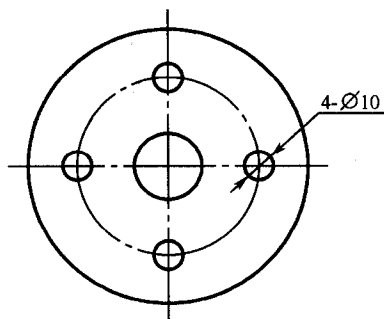


图 1-3 孔径相等的多孔工件位加工