

高等学校教材

# 模具制造学

孔德音 主编

机械工业出版社

高等学校教材

# 模具制造学

主 编 孔德音

副主编 刘伟强

参 编 (按章节顺序)

贺爱军 何家敏 何建文 杨永顺

主 审 李崇豪



机械工业出版社

## 前 言

“模具制造学”是高等工业学校模具专业的一门主要专业课。随着模具技术的迅速发展及其对高级技术人才培养的需要,近年来,全国许多高等学校陆续创办了模具设计与制造专业,并已初具规模。为促使该专业进一步巩固、完善、提高,需尽快规划、出版本专业教材。本书即是根据1993年第3次全国高等学校模具专门化协作组会议的精神,组织全国有关高校从事“模具制造学”教学和科研工作的教师共同编写而成的。

考虑到本课程是在学习“机械制造工艺学”课程之后开设的专业课,故内容以模具工作型面加工工艺及模具的装配与调试为主。重点介绍了模具的机械加工,电火花加工,电火花线切割加工,铸造、挤压、超塑成形加工及模具的装配工艺等;内容取材注意突出重点,削枝强干,在诸多类模具中,将应用最为广泛的冷冲模具和注射成形模具作为典型模具,进行了系统分析;阐述方式采用由浅入深,循序渐进,深入浅出,以便于自学。

本书可作为高等工业学校模具专业、锻压专业本科、专科及其他有关专业“模具制造学”课程的教材,也可供从事模具设计、制造、检验及研究工作的工程技术人员学习参考。

参加本书编写的人员及分工如下:天津轻工业学院孔德音(第一章)、贺爱军(第二章),山东工业大学刘伟强(第三章),江苏理工大学何家敏(第四章),广东工业大学何建文(第五章),洛阳工学院杨永顺(第六章)。全书由天津轻工业学院孔德音教授主编,山东工业大学刘伟强副教授副主编,江苏理工大学李崇豪教授主审。在编写大纲的讨论及各章编写过程中,得到全国许多高校同行的大力支持,提出了很多宝贵意见,在此一并致谢!

由于受编写人员水平所限,书中欠妥之处在所难免,热切欢迎广大读者批评指正。

编 者

1995年3月

# 目 录

## 前言

## 第一章 绪论 .....1

### 第一节 模具在国民经济中的地位 .....1

### 第二节 模具制造技术的现状和发展趋势 .....1

### 第三节 模具制造的特点及基本要求 .....3

### 第四节 本课程的性质和任务 .....4

## 第二章 模具的机械加工 .....6

### 第一节 模具外工作型面的机械加工 .....6

### 第二节 模具型孔的机械加工 .....7

### 第三节 模具型腔的机械加工 .....11

### 第四节 成形砂轮磨削 .....19

### 第五节 夹具成形磨削 .....24

### 第六节 光学曲线磨床成形磨削 .....37

### 第七节 数控磨床成形磨削 .....39

### 第八节 加工中心和 CAD/CAM 技术在模具制造中的应用 .....41

### 第九节 模具零件的结构工艺性 .....44

## 第三章 电火花加工 .....48

### 第一节 电火花加工的基本原理及物理本质 .....48

### 第二节 电火花加工机床 .....51

### 第三节 电火花加工的基本工艺规律 .....58

### 第四节 电极的设计与制造 .....64

### 第五节 电火花成形加工工艺 .....69

### 第六节 电火花加工零件的结构工艺性 .....76

## 第四章 电火花线切割加工 .....78

### 第一节 电火花线切割加工的原理和特点 .....78

### 第二节 电火花线切割机床 .....79

### 第三节 数控线切割机床的加工原理及程序编制 .....81

### 第四节 电火花线切割加工工艺 .....92

### 第五节 线切割加工零件的工艺特点 .....100

## 第五章 模具装配 .....102

### 第一节 模具装配的技术要求 .....102

### 第二节 冷冲模具部件的装配 .....104

### 第三节 注射模具部件的装配 .....113

### 第四节 低熔点合金等在模具装配中的应用 .....129

### 第五节 典型模具装配实例 .....136

## 第六章 模具的铸造、挤压、超塑成形 .....143

### 第一节 模具的铸造成型 .....143

### 第二节 模具的挤压成形 .....155

### 第三节 模具的超塑成形 .....160

## 参考文献 .....168

# 第一章 绪 论

## 第一节 模具在国民经济中的地位

在现代工业生产中,模具是重要的工艺装备之一。模具以其特定形状通过一定方式使原材料成形,它在金属、塑料、橡胶、玻璃、粉末冶金、陶瓷等制品的生产中得到广泛应用。由于模具成形具有优质、高产、低成本等特点,因而,在国民经济各部门,特别是汽车、飞机、拖拉机、电器、仪表、电子、轻工等工业部门应用十分广泛。据统计,利用模具制造的零件,在汽车、飞机、电器、仪表等机电产品中占60%~70%;在电视机、录音机、计算机等电子产品中占80%以上;在塑料制品、玻璃制品、自行车、手表等轻工产品中则占85%以上。

随着工业生产的发展,模具工业也迅速发展。世界一些工业发达国家,其模具工业总产值已超过机床工业。其发展速度也超过了机床、汽车、电子等工业。在这些国家,模具工业已成为国民经济的基础工业之一。美国工业界称“模具工业是美国工业的基石”,日本模具协会称“模具是促进社会富裕的动力”。模具的价值不仅是其本身的价值,而在于它的应用为社会创造了巨大的经济效益和社会效益。模具技术,特别是制造精密、复杂、大型、长寿命的模具技术,已成为衡量一个国家机械制造水平的重要标志之一。工业发达国家在汽车、电子、仪表、轻工等方面发展迅速,产品先进,有竞争力,在很大程度上取决于模具的供应情况及其先进程度。

在我国,随着生产和科学技术的发展,特别是80年代以来,产品的更新换代速度加快,品种数量迅速增加。这使模具的需要量相应增加,质量要求也越来越高,从而使模具技术在国民经济中的地位和作用日趋重要。显然,模具技术(设计、制造工艺水平等)落后,制造周期长,质量低劣,必将影响生产发展和产品的更新换代,使产品丧失竞争力。近年来,日本的汽车、手表、家用电器等产品的产量猛增,品种繁多,在国际市场占据优势地位,其重要原因之一就是模具技术的高度发展。可见,研究和发展模具技术,对促进国民经济的发展具有特别重要的意义。

据国际生产技术协会预测,到2000年,机械零件中,粗加工的75%、精加工的50%将由模具成形完成。因此,工业发达国家都十分重视模具技术的开发。在模具制造中大量采用先进的新工艺和新设备,提高制造水平,并取得了显著的经济效益。据统计,1984年模具总产值,美国达60亿美元;原联邦德国达53亿马克。可以预见,随着工业生产的迅速发展,模具工业在国民经济中的地位将日益提高,模具技术也会有新的发展,必将对加速国民经济的发展作出更大贡献。

## 第二节 模具制造技术的现状和发展趋势

解放后,我国的模具工业从无到有,发展迅速,现已初具规模。目前全国已有模具生产

厂数千家，职工数十万人，年生产模具数百万套。

近年来，对模具制造技术的探索和研究取得了可喜进展。研制了十几种模具新钢种及硬质合金、钢结硬质合金等新材料；研究和应用了一些新技术、新工艺。例如，对型腔的加工正在根据模具的不同类型采用电火花加工、电解加工、电铸加工、陶瓷型精密铸造、冷挤压、超塑成形以及利用照相腐蚀技术加工型腔皮革纹表面等多种工艺；发展了多工位级进模、硬质合金模和简单经济模具等新产品。例如，为使打字机钢字生产自动化，研制成功了33工位自动级进模，提高工效上百倍；为满足新产品试制和小批量生产的需要，研制了多种结构简单、生产周期短、成本低的简易冲模。例如，钢皮冲模、聚氨脂橡胶模、低熔点合金模、锌基合金模、组合冲模及通用可调冲孔模等；模具加工设备的生产已具有一定基础。数控铣床、数控电火花加工机床、加工中心等设备已在模具生产中广泛应用。电火花线切割加工，已成为冷冲模制造的主要手段。为了对硬质合金模具进行精密成形磨削，研制成功了单层电镀金刚石成形磨轮和电火花成形磨削专用机床。目前已能生产精密坐标磨床、计算机数控（CNC）仿形铣床、计算机数控电火花线切割机床、高精度电火花机床等；模具的设计与制造已由过去的“人工”设计，技术密集、劳动密集的手工机械制造，转向研究和完善计算机辅助设计与制造（CAD/CAM），成为技术密集、资金密集的工业。

我国模具工业尽管近年来发展迅速，但不论是模具的设计与制造，还是生产能力，仍远不能适应国民经济发展的需要，严重影响了工业产品品种的发展和质量的提高。与工业先进国家相比，我国的模具技术水平还有较大差距，主要表现在模具品种少、精度低、寿命短、生产周期长。据统计，机械、电子工业中只能满足模具需要量的60%，轻工、邮电工业中只能满足需要量的40%，许多模具，尤其精密、复杂、大型模具，还只能从国外高价引进。

为振兴我国模具工业，使之尽快接近并达到国际先进水平，满足我国国民经济发展的需要，必须搞清国际上模具的发展趋势，结合我国实际情况，大力开发模具新技术，这包括：

### 一、开发新材料

一是研究高强度、高耐磨性及特殊性能的合金模具钢；二是开发适于制造简易模具的新材料。为适应工业生产中多品种和小批量生产的需要，开发适于该生产类型的快速制模技术十分重要。目前，多数快速制模的途径主要是采用专门制模材料，以铸造或挤压成形法取代传统的机械加工，以简化模具制造工艺，缩短生产周期和降低成本。例如，用ZnAl22合金超塑成形制模、用锌基合金及合成树脂等材料制模。我国用于快速制模的材料较多，其产量已达2000 t/年。这些快速制模材料主要用于农业机械、运输及工程机械、家用电器、轻工五金、塑料及不锈钢制品等的开发及小批量生产中的模具制造。快速制模技术的应用，给工业生产带来了显著的经济效益。据统计，其制模周期比同类钢模具缩短70%~90%，制模成本降低60%~80%。对提高新产品开发速度、促进生产发展起着十分突出的作用。

### 二、研制新设备

主要是研制高效、精密、自动化的模具加工设备。例如，模具毛坯下料用的高速锯床、阳极切割、砂线切割、激光切割等高效设备；粗加工用高速铣床、高速磨床；精加工用数控电气仿形铣床、数控连续轨迹坐标磨床、CNC低速走丝精密线切割机、各种高精度电火花加工机床、精密小型电解成形加工设备、三坐标测量机等精密加工设备和加工中心，逐步实现模具制造自动化。

数控（CN）机床与计算机数控机床在模具加工中逐渐增多。其加工的最大特点在于精

度的再现性和重复性,使模具制造精度越来越多的靠设备来保证,减少了对操作者的依赖性,提高了加工质量的可靠性和稳定性,同时也提高了加工的自动化程度和生产效率。

### 三、应用新技术

开发和应用模具CAD/CAM新技术,是提高模具的设计质量和效率、提高制造精度和缩短制造周期的有效措施和发展方向。利用电子计算机辅助设计和制造模具,是用程序模拟整个人工设计和制模过程,是机械、计算机和数学三门学科的综合应用。它是利用计算机图形工作站和绘图机等进行模具设计与制造的一项新技术。该技术的应用在于加快了模具的研制速度,缩短了产品更新换代的生产准备时间,并可优化模具制造工艺及其结构参数,从而提高了产品质量。据国际模具研究协会预测,到2000年,作为模具设计与制造之间联系手段的图样将失去其主要作用。

模具的表面强化处理技术,是提高模具寿命的有效措施。通常,按照用途选择优质的模具材料,经热处理不能获得满意的寿命时,可开发表面强化处理技术,以满足要求。模具的表面强化处理方法,除镀硬铬、渗氮外,还可采用硬质化合物涂覆技术,这是提高模具寿命的有效方法。该技术的应用,对提高模具的加工效率和质量,减少昂贵模具材料的消耗,有着十分深远的意义。目前,开发应用于模具的硬质化合物涂覆方法主要有:化学气相沉积法(CVD)、物理气相沉积法(PVD)和在盐浴中向模具表面浸镀碳化物法(TD)等。

## 第三节 模具制造的特点及基本要求

模具是一种生产效率很高的工艺装备,其种类繁多。按其用途有冷冲模、塑料模、压铸模、锻模、粉末冶金模、橡胶模、拉丝模、陶瓷模、玻璃模等。各种模具的组成零件更是多种多样。因此,模具制造多为单件生产,这给制造的高效率带来困难。为提高模具设计与制造的效率,必须实现模具及其零件、部件的标准化。标准化的模具零件或部件,可实现专业化批量生产,并向市场供应。像其他产品一样,需要一种新模具,只需制造其中非标准零件即可,从而使模具的生产周期缩短、制造成本降低。为此,我国非常重视模具的标准化工作,已制订了冷冲模、注射模和压铸模等的国家标准。模具中的模架、模板、导柱、导套等零件已经标准化,并开始了专业化生产。

模具加工的另一特点是机械技术与电子技术的密切结合。模具制造初期,是以要求制造者具有熟练操作技能的钳工加工为主进行的,生产效率低、精度低、周期长;随着模具需要量的增加和制造技术的发展,采用了模具的机械化加工,提高了生产效率,但其加工质量在很大程度上仍依赖于操作者的技能;随着模具制造技术的进步,采用了机械加工与电子加工相结合的方式,电火花线切割等加工技术已成为模具制造中的主要加工方法;特别是近年来,随着电子计算机技术的发展应用,数控机床与计算机数控机床在模具加工中逐渐增多,使模具制造的精度、效率、自动化程度得到进一步提高。

工业产品生产中应用模具的目的在于保证产品质量、提高效率和降低成本。因此,对模具制造方法的基本要求是:精度高、寿命长、制造周期短、成本低。

### 一、精度高

为能生产出合格产品和发挥模具效能,所设计和制造的模具必须具有足够高的精度。

模具的精度主要由制件精度和模具结构要求所决定。例如,冲裁模的精度取决于冲裁件

的精度和模具结构对凸模和凹模配合间隙的要求两个因素。为了保证冲裁件精度，模具工作部分的精度一般要求高于冲裁件2~3级；为保证凸凹模间合理的配合间隙，使模具正常工作，必须对组成模具的零、部件提出一定的精度要求，例如，尺寸精度、导向精度、孔的位置精度等。

模具的制造精度关键是凸凹模的制造精度。其凹模型腔结构、形状大都比较复杂，这更增加了制造难度。因此，要获得足够高的模具精度，必须使各零、部件特别是凸模和凹模达到规定的加工精度要求，同时还应保证装配质量。

## 二、寿命长

模具是较昂贵的工艺装备。通常，在产品的成本中，模具的加工费用约占10%~30%。因此，模具的使用寿命将直接影响产品成本的高低及工艺部门负荷的轻重等，故要求模具具有较长的使用寿命。在大批量生产条件下，为保证高效生产，模具的使用寿命显得更加重要。

模具寿命除与模具材料、毛坯质量、模具零件制造精度，特别是工作部分的表面粗糙度及热处理质量、模具装配质量有关外，还与模具的安装、调整、使用和维修有关。在诸多因素中，工作表面的加工质量尤为重要。模具工作表面质量越好，模具与制件的摩擦越小，模具磨损越小，使用寿命越高。

## 三、制造周期短

模具制造的周期取决于模具制造技术和生产管理水平。为满足生产需要，提高产品竞争能力，必须在保证质量的前提下尽量缩短模具的制造周期。

## 四、成本低

模具的制造成本与模具结构的复杂程度、模具材料选择、加工精度要求及加工方法等有关。模具的结构、选材、精度要求等是模具设计中确定的。为了降低模具成本，设计中应遵循在满足使用要求的前提下，模具结构尽可能简单、选材尽可能便宜、精度要求尽可能低的原则；模具制造中，其加工方法的选择及制造工艺规程制定的是否合理，也直接影响模具成本，亦应在保证加工精度要求的条件下，选择合理的加工方法及制定合理的工艺规程，以最大限度降低制造成本。

必须指出，模具的精度、寿命、制造周期和成本四项指标是互相关联、互相影响的。模具制造精度越高，使用寿命越长，往往导致制造成本的增加；而制造成本的降低和制造周期的缩短，也大都影响制造精度和使用寿命。因此，模具设计与制造中，应视具体情况全面考虑，在保证制件质量的前提下，选择与制件产量相适应的模具结构、精度、材料及制造方法，从而使模具制造成本降至最低限度。

# 第四节 本课程的性质和任务

“模具制造学”是模具设计与制造专业的主要专业课。其内容包括模具工作型面加工工艺和模具的装配、安装与调试两部分。前者主要研究模具工作型面的机械加工，电火花加工、电火花线切割加工及铸造挤压、超塑加工的原理、方法；后者是讨论模具的装配工艺及其安装、调试方法、技巧。作为模具设计与制造专业的专业课，“模具制造学”集中研究了适于模具制造的特种加工的工艺原理和方法，而对机械制造中的一般工艺原则和加工方法则由先行课程“机械制造工艺学”讲述，从而突出本学科的专业课性质，以利“模具制造学”学

科内容的发展和完善。

“模具制造学”是一门综合性较强的课程。它涉及到机械类专业的基础课、技术基础课及有关专业的多学科知识，是数学、物理学、化学、金属工艺学、材料及热处理、互换性与测量技术、电工学、电子学、计算机技术、机械制造工艺学及模具设计学等诸多课程有关知识的综合应用。因此，学好上述课程并善于综合应用相关课程的知识，对学习本课程十分重要。

“模具制造学”也是一门实践性很强的课程。对于任何一个模具零件，其制造工艺的制定和加工方法的采用，都与生产条件密切相关。对于同一模具零件，不同生产条件下可能采用不同的工艺路线和加工方法。因此，在处理工艺技术问题时，必须理论联系实际。在教学中应尽可能多地安排实践环节；要求学生结合模具生产实际，学习、积累模具制造的基本理论、基本知识和基本技能。

本课程除具有很强的综合性和实践性外，像其他学科一样，也并非简单的知识堆砌，而有其自己的规律和内在联系。例如，一个模具零件制造中产生的加工误差，是受加工设备、毛坯情况、加工方法、操作技能及其他很多工艺因素综合影响的；一个零件的制造工艺路线中，各工序间也存在着相互联系和影响。因此，学习中要注意这些内在联系，以便学到系统、完整的知识。

通过本课程的学习，要求学生掌握在模具的工作型面制造中各种加工方法的基本原理和特点，并能根据实际情况综合分析，选择合理的加工方法，制定出最佳加工方案；掌握各种加工方法对模具结构设计的要求，具备分析模具结构工艺性的能力，从而设计出工艺性良好的模具结构；掌握模具装配工艺的基本知识，并初步学会模具安装、调试的基本技能，能够发现试模中出现的缺陷，找出产生原因，并提出解决办法。

## 第二章 模具的机械加工

模具的种类很多,其结构、形状各异,大小也有很大差别,但其制造过程却基本相同,通常分为:

- 1) 毛坯外形加工。
- 2) 工作型面加工。
- 3) 模具装配。
- 4) 模具检验。

毛坯外形的加工比较简单,可在车床、刨床、铣床、平面磨床和万能外圆磨床等通用机床上进行。但模具工作型面的形状一般较为复杂,而且又有较高的加工要求,其加工质量直接影响产品的质量和模具的使用寿命。因此,模具加工主要是其工作型面的加工。模具工作型面的加工方法有很多,如机械加工、电火花加工、电火花线切割加工、铸造和挤压加工等,本章仅介绍模具工作型面的机械加工。

模具工作型面的形状多种多样,但归纳起来不外乎两类:一是外工作型面,如各种凸模的工作型面;二是内工作型面,如各种凹模的工作型面。按照内工作型面的特征,又可分为型孔和型腔两种。型孔系指通孔,如各种凹模的工作洞口;型腔(或称型槽)系指盲孔,如锻模、压铸模和塑料模的凹模工作型面等。工作型面不同,其加工方法也不同。

### 第一节 模具外工作型面的机械加工

冲裁凸模的工作型面是典型的外工作型面,按其结构形状可分为圆形和非圆形两类。

圆形凸模工作型面的加工比较简单,可在车床上按图样加工毛坯,热处理淬硬,然后在外圆磨床上精磨,最后由钳工将其抛光及刃磨修整成形。

非圆凸模的制造比较麻烦,其加工方法有以下几种。

#### 一、立式铣床加工

非圆凸模可在立式铣床上按照划线加工。将凸模毛坯安装在铣床的工作台上,用手操纵工作台的纵、横向移动手柄,使铣刀沿毛坯上的划线轮廓加工,从而铣削凸模的工作型面。铣削后留有 $0.15\sim 0.3\text{mm}$ 的余量,以备钳工修整。如图2-1所示的凸模,可先将毛坯车削成阶梯形,再根据图样要求划线,然后将毛坯安装在立式铣床的回转工作台上,用圆柱立铣刀沿划线轨迹铣削(图2-2)。最后由钳工打磨修整成形。

#### 二、压印锉修加工

压印锉修制造凸模,是模具钳工经常采用的加工方法。在缺少专用制模设备的情况下,此法十分有效。

如图2-1所示的凸模,在压印锉修之前,首先车削外圆,然后在立式铣床上按划线粗铣其工作型面,每边留 $0.5\text{mm}$ 以上的压印余量,再压印锉修成形。

压印锉修是在压力机上将未经淬火的凸模垂直压入已淬火的成品凹模内(基准凹模),由

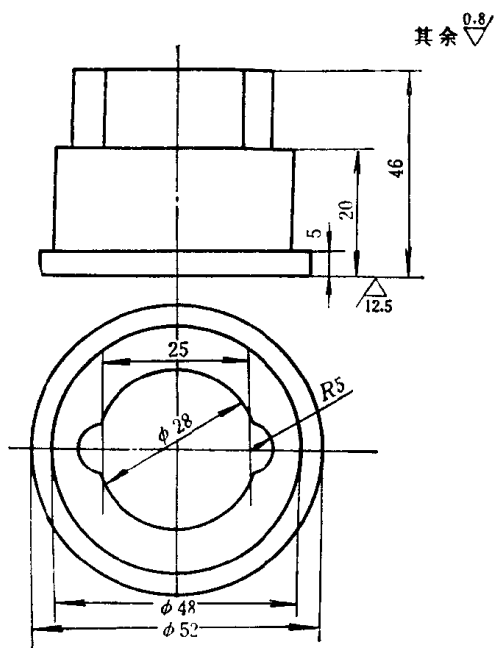


图2-1 凸模

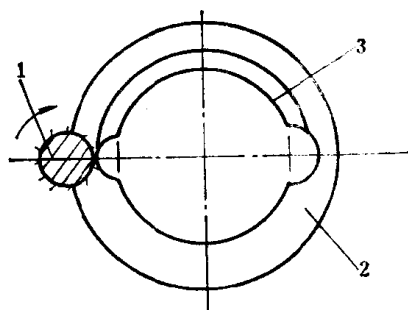


图2-2 凸模立铣加工

1—铣刀 2—毛坯 3—划线线条

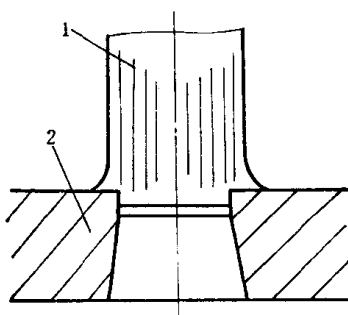


图2-3 用凹模压印

1—凸模 2—基准凹模

于凹模的切削与挤压作用，凸模上多余的金属被挤出，出现凹模的印痕，钳工按此印痕将周围多余金属锉掉。然后再压印，再锉修，反复进行，直到凸模刃口的尺寸达到要求为止（图2-3）。

压印时，首次压印深度不宜过大，一般控制在0.2mm左右，以后可逐渐增加到0.5~1.5mm。锉削时不允许碰到已压光表面，以保证压印精度。锉削后留下的余量要均匀，保持在0.1mm左右（单边），以免下次压印时发生歪斜。为了降低压印表面的粗糙度数值，可用油石将锋利的凹模刃口磨出0.1mm左右的圆角，以增加其挤压作用。并在凸模表面涂一层硫酸铜溶液，以减少摩擦。压印完毕，按图样要求锉修凸模，留0.01~0.02mm（双面）研磨余量。热处理淬硬后研磨修整，经检验合格即可使用。

## 第二节 模具型孔的机械加工

型孔有圆形和非圆形两种。对于圆形孔或圆形孔系的机械加工，可采用钻、铣、镗、磨等方法来实现。非圆形孔凹模的机械加工比较困难，通常采用矩形锻件作毛坯，毛坯的各面经铣（或刨）、磨后，按图样要求对型孔划线，先粗加工去除型孔中心的余料，再精加工成形。型孔粗加工，多采用钻削、锯切或气割等方法去除其余料，以提高生产率和加工精度。

模具型孔精加工方法主要有以下几种：

### 一、锉修加工

将去除废料后的孔壁先经铣削、插削或钳工修整，使其余量均匀，然后利用压印法、样板法或锉锯机锉修法成形。

压印法与用凹模压印凸模的方法基本相同，即利用已加工好的成品凸模（基准凸模）对

未淬硬的凹模型孔进行压印。第一次压印深度为 $0.2\sim 0.5\text{mm}$ ，以后各次深度可大些，一般压印深度达 $2\sim 3\text{mm}$ 后即可。然后锉出凹模型孔的斜度 $30'\sim 3^\circ$ 。最后将其热处理淬硬，并用各种形状的油石研磨成形。

样板法是根据图样要求首先做一块与凹模刃口形状相同的样板，并按此样板在凹模上划线，然后用各种样式的锉刀先粗锉出形状，再精锉成形。锉削过程中，要随时用样板进行检验。为便于锉削和检验，可在凹模型孔的内壁涂上红色染料，将样板置入被锉的型孔中，待其取出后，型孔壁上留有红色部分较多的部位应少锉削，而被挤出亮点的或红色染料被挤去的部位应多锉削，直至样板刚好放入型孔内为止。用光隙法检测样板与孔壁间的间隙，使其大小均匀且一致。型孔工作型面的其他加工工艺，如锉削型孔斜度、热处理淬硬及研磨等，同前所述。这种方法劳动量大，生产率低。

另外还可利用锉锯机（图 2-4）代替手工锉削，以提高生产率。锉锯机上备有各种形状的锉刀，可按划线加工各种形状复杂的工作型面。工作台还可倾斜一定角度，以加工凹模型孔的斜度。采用此法加工型孔，形状精度低，表面粗糙度 $R_a$ 为 $2.5\sim 1.25\mu\text{m}$ 。因此，还需用样板手工修整，以达到所要求。

锉锯机加工一般是在热处理淬硬之前进行。热处理后将会产生微小变形，造成凸、凹模间隙不均匀，还也可利用锉锯机进行研磨。研磨时，将铸铁、黄铜制成的研磨棒（成锉刀状）安装在锉锯机上，校正垂直度并加研磨剂（金刚砂或氧化铝）后即可研磨。

## 二、靠模铣削加工

凹模型孔也可在立式铣床上利用靠模装置进行加工（图 2-5）。靠模 1、垫板 2、底座 4 和凹模 3 一起固紧在铣床工作台上，指状铣刀 5 的刀柄上装有淬硬的钢制滚轮 6。加工时，用手操纵工作台的纵、横向移动手柄，使滚轮始终与靠模相接触，并沿靠模轮廓移动，便可加工出与靠模形状相同的凹模型孔。为加工出完整的型孔轮廓，铣刀的半径应小于型孔转角处的圆弧半径。

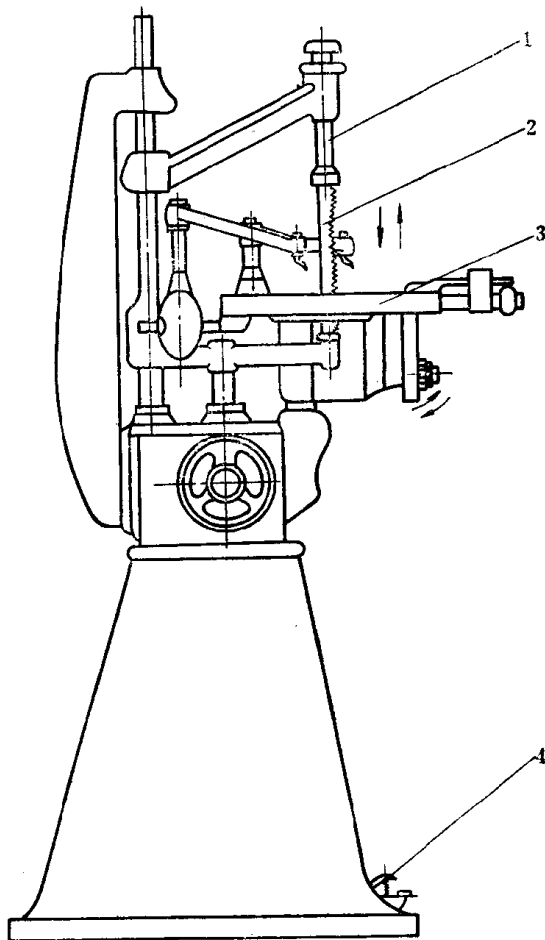


图2-4 锉锯机

1—锯弓 2—锯条 3—工作台 4—脚踏板

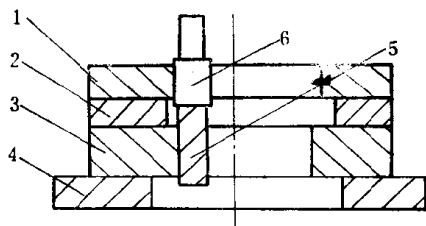


图2-5 靠模铣削法

1—靠模 2—垫板 3—凹模 4—底座 5—指状铣刀 6—滚轮

铣削时, 铣床工作台的纵、横向移动靠双手操作, 难以控制。为便于操作, 并获得满意效果, 可将铣床的横向进给丝杠抽掉, 装上拉簧, 当工作台纵向进给时, 拉簧把横向进给滑板压向靠模一边, 使滚轮自动沿靠模轨迹移动, 从而铣出凹模型孔。这种方法的加工精度和生产率均较高, 但需制作靠模。铣削完毕后, 由钳工锉出凹模的型孔斜度, 再热处理淬硬、研磨或抛光成形。

### 三、坐标磨床加工

坐标磨床是近代在坐标镗床的加工原理和结构的基础上发展起来的一种精密机床。它按准确的坐标位置对工件进行加工, 是精密模具加工的关键设备, 广泛用于加工精密级进模、精密塑料模以及镶拼结构模。坐标磨床特别适于加工尺寸较大、形状复杂的多型腔整体模具; 间隙要求很小的凸、凹模; 带有一定斜度要求的冲模; 高硬度材料的模具; 镶块互换性好的镶拼模具, 以及模具中的各类坐标孔。加工精度达 $5\mu\text{m}$ , 表面粗糙度 $R_a$ 不超过 $0.4\mu\text{m}$ 。

磨削时, 工件固定不动, 磨削机构能使磨头部分完成磨削过程的四个运动: 砂轮高速旋转运动 (切削运动)、行星运动 (圆周进给运动)、轴向往复直线运动和径向进给运动 (图 2-6)。

坐标磨床的工作台由坐标工作台和回转工作台组成。坐标工作台是一组高精度直角坐标系的导轨系统, 导轨的直线性很高, 相互垂直度达 $3\sim4\mu\text{m}$ , 并具有高精度的坐标测量系统。坐标工作台位于回转工作台之上, 以调节工件的圆弧中心与回转工作台的中心重合。磨削时, 工件放在工作台上, 可作 X、Y 坐标移动和回转运动, 以便进行成形轮廓和型孔的加工。

利用坐标磨床可磨削内孔、外圆、锥孔、坐标孔、阶梯孔、台阶面、键槽、方孔以及直线与圆弧组成的曲线等。

#### (一) 内孔磨削

磨内孔是坐标磨床的最基本用途。孔径范围为 $\phi 3\sim\phi 200\text{mm}$ , 表面粗糙度为 $R_a\leq 0.4\mu\text{m}$ , 圆度误差不超过 $2\mu\text{m}$ , 直线度误差不超过 $2\mu\text{m}$ 。磨削时, 工件不动, 砂轮作高速旋转运动和行星运动, 孔径的调整通过增大行星运动的半径即径向进给运动来实现 (图 2-7)。磨小孔时, 采用金刚石或立方氮化硼喷镀砂轮。砂轮直径受孔径的限制, 一般取孔径的 $3/4$ 左右。为确保砂轮的线速度, 砂轮必须高速回转, 且直径越小转速应越高。因此, 需用高速风动磨头, 其转速为 $150000\sim 200000\text{r/min}$ 。坐标磨床上最小的磨孔直径达 $0.8\text{mm}$ 。

#### (二) 外圆磨削

磨削外圆时, 砂轮的运动与内孔磨削基本相同, 但外圆直径的调整通过缩小行星运动的

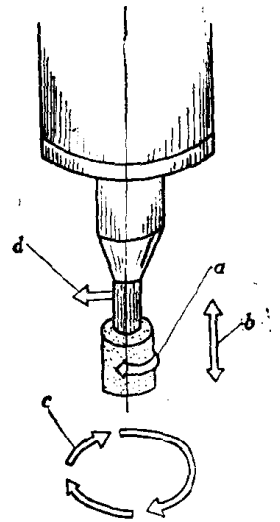


图2-6 砂轮的运动

a—砂轮旋转运动 b—往复运动  
c—行星运动 d—径向进给运动

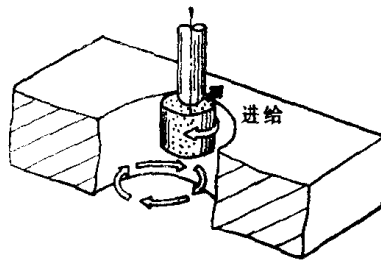


图2-7 内孔磨削

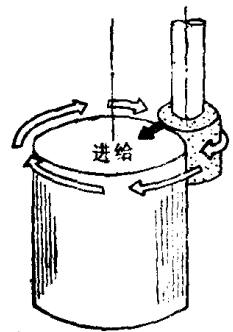


图2-8 外圆磨削

半径来实现(图2-8)。表面粗糙度 $R_a \leq 0.4 \mu\text{m}$ , 圆度误差不超过 $2 \mu\text{m}$ 。

### (三) 锥孔磨削

坐标磨床的功能之一是加工锥孔, 这是其他机床所不及的。磨削时, 先将砂轮修整成所需的角度, 利用磨锥孔的专门机构, 使砂轮在轴向进给的同时, 连续改变行星运动的半径进行磨削(图2-9)。锥孔的锥角大小取决于二者变化的比值, 一般锥角为 $0^\circ \sim 16^\circ$ 。

### (四) 坐标孔磨削

利用坐标磨床磨削坐标孔是最常用的一种加工方法, 坐标磨床也由此而得名。此外, 还可磨削极坐标孔。磨削坐标孔时, 利用坐标工作台的移动, 便可加工出各种尺寸大小的坐标孔, 其位置精度达 $2 \sim 5 \mu\text{m}$ 。因此, 坐标磨床特别适于用坐标镗床加工后因淬火而变形的坐标孔的修整加工。磨削极坐标孔时, 有两种方法: 一是分度法, 利用回转工作台进行分度; 二是坐标法, 利用直角坐标进行计算。当零件的极坐标半径小、分度孔较多时, 采用分度法加工精度高、经济、方便; 而极坐标半径较大时, 由于受旋转精度的影响, 采用坐标法可获得较高的加工精度。此外, 在坐标磨床上, 利用万能转台并通过坐标计算还可对零件上的空间平面、空间极坐标孔和各种斜孔进行磨削加工。

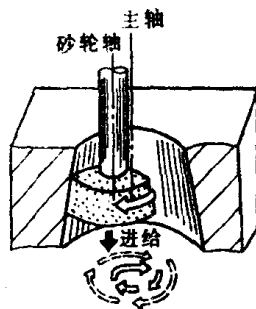


图2-9 锥孔磨削

### (五) 阶梯孔磨削

磨削阶梯孔时, 应根据磨孔直径确定行星运动的半径, 并使砂轮向下进给, 用其底部的棱边进行磨削加工(图2-10)。

### (六) 台阶磨削

砂轮仅作旋转运动不作行星运动, 工件作直线移动(图2-11), 适于平面或轮廓的精密磨削加工。

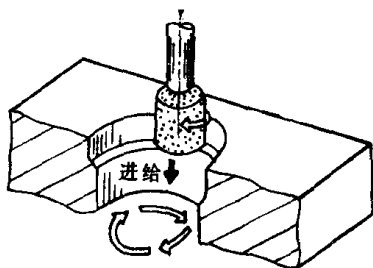


图2-10 阶梯孔磨削

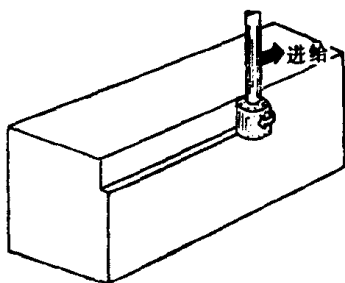


图2-11 台阶磨削

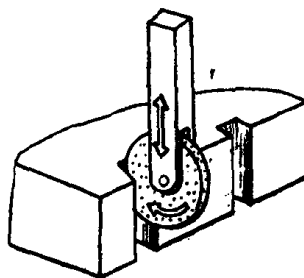


图2-12 键槽磨削

### (七) 键槽与方孔磨削

使用专门的磨槽机构和砂轮, 可磨削键槽、带直角的型腔及方孔等。该磨槽机构由砂轮轴驱动, 其原理类似刨削时主运动的产生原理。磨削时, 砂轮除作旋转运动外, 并作上、下往复直线运动, 工件作直线移动(图2-12)。

### (八) 曲线磨削

磨削直线与圆弧组成的曲线时, 直线与圆弧间的正确位置尺寸, 由坐标工作台移动的定位精度来保证。定位后, 采用定点加工法磨削圆弧。所谓定点加工法, 就是利用 $X$ 、 $Y$ 坐标

的移动使回转工作台中心与工件上的圆弧中心重合,通过改变行星运动的半径控制圆弧半径的尺寸。

将上述几种基本磨削方法综合使用,便可加工出各种形状复杂的型孔。例如磨削如图2-13所示的凹模型孔。将工件安装在坐标工作台上,经找正和调整机床,使工件上的轴心 $O_1$ 与转台中心及机床主轴中心相重合,采用内孔磨削法磨出 $O_1$ 的圆弧段,再用同样的调整方法使 $O_2$ 与机床主轴中心相重合,磨出 $O_2$ 的圆弧段。将回转工作台旋转 $180^\circ$ ,即可磨出 $O_3$ 的圆弧段。磨削 $O_4$ 、 $O_5$ 、 $O_6$ 、 $O_7$ 圆弧段时,应使各段中心分别与主轴中心重合,采用外圆磨削法逐段进行,并将各段凸、凹圆弧平滑连接起来。

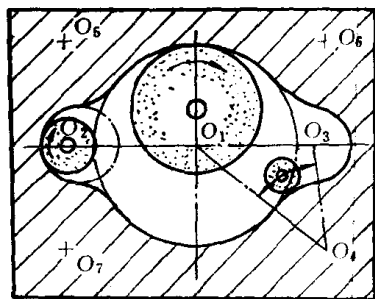


图2-13 磨削凹模型孔

随着模具制造精度和自动化程度的提高,国内外研制了数控坐标磨床和连续轨迹数控坐标磨床。其主要特点是可进行高精度轮廓形状加工,并使凸、凹模间隙均匀。使用一套穿孔纸带,可把凸模、凹模、卸料板等尺寸相差不大的零件加工出来,适应性好。此外,不受操作者熟练程度的影响,可进行连续地无人化加工。因此,生产率和自动化程度较高。

数控坐标磨床用于加工生产电子元件的连续模、照相机及手表零件的精冲模、刻痕模和工程塑料模等。例如,开启易拉罐的刻痕模就是利用连续轨迹数控坐标磨床加工出来的。该模的作用是在罐盖上冲压出开启口的痕迹,以便拉动拉环时,拉环连同痕迹中间部分薄片一起被拉掉,罐盖沿痕迹启开。它的主要工作型面是一个异形型面,形状复杂(图2-14)。对该模深度和刃口宽度的制造精度要求较高,各曲线间要平滑过渡。为此,将热处理后的刻痕模毛坯利用电火花机床成形加工,以形成符合要求的异形型面。再将其安装在连续轨迹数控坐标磨床上(如HAOSERS3-CNC314坐标磨床),以 $\phi 3.28\text{mm}$ 孔找正,用已编好的、曾经加工电极的程序,采用立方氮化硼砂轮磨削。首先,用成形砂轮磨削异形型面的两个侧面,然后用平砂轮精磨刃口平面,直至其宽度和高度符合图样要求。

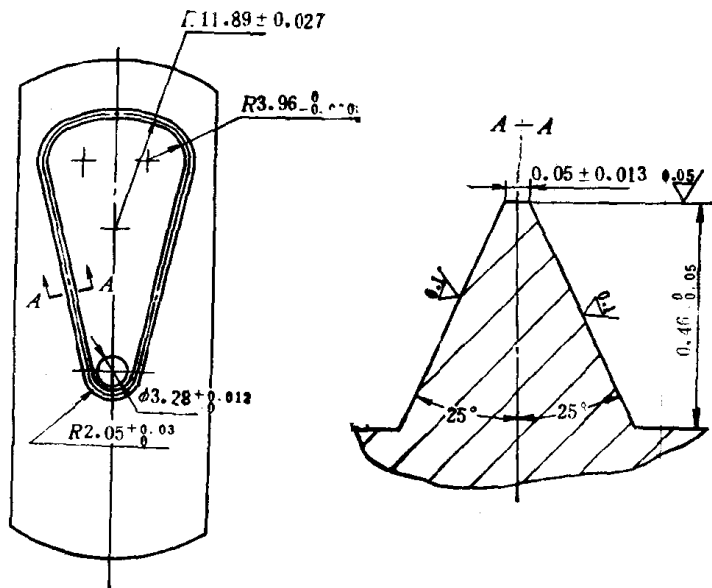


图2-14 刻痕模的工作型面

标磨床上(如HAOSERS3-CNC314坐标磨床),以 $\phi 3.28\text{mm}$ 孔找正,用已编好的、曾经加工电极的程序,采用立方氮化硼砂轮磨削。首先,用成形砂轮磨削异形型面的两个侧面,然后用平砂轮精磨刃口平面,直至其宽度和高度符合图样要求。

### 第三节 模具型腔的机械加工

模具型腔的作用是形成制件的外表面,一般对其加工质量要求较高。在型腔加工中,往往需要加工各种形状复杂的内型面和花纹等,工艺过程较为复杂。常见的型腔工作型面大致分为回转型面和非回转型面两种。回转型面可利用车床、内圆磨床、坐标磨床加工,工艺过

程较为简单。而非回转型面的加工却困难得多，通常需要专门的加工设备或进行大量的钳工工作。一般工作量大，生产率较低。型腔加工的常用方法有以下几种：

### 一、车削加工

车削加工主要用于加工回转型面的型腔或型腔中的回转型面部分。一般对于小而精密的型面，采用成形车刀加工，而多数情况下，使用通用刀具靠双手控制纵、横向移动的手柄加工出所需的工作型面，用样板检验。该法工作量大，生产效率低。

### 二、铣削加工

铣床的种类很多，加工范围很广。在型腔加工中应用最广泛的是立式铣床、仿形铣床和数控铣床等。

#### (一) 立式铣床加工

立式铣床加工型腔，是利用各种不同形状和尺寸的指状铣刀按照划线进行加工。铣刀的形状如图2-15所示。由于指状铣刀工作时用侧刃切削，背吃刀量受到限制。为提高铣削生产率，对某些铣削余量较大的型腔，铣前可在型腔上预先钻出一些小孔，其深度与型腔深度相接近（图2-16）。而后先用圆柱指状铣刀粗铣，再用锥形指状铣刀精铣。锥形指状铣刀的斜度和头部的圆弧半径应与型腔的侧壁斜角和底部圆弧相吻合。铣削时，应留单边余量0.2~0.3mm，以便钳工修整。

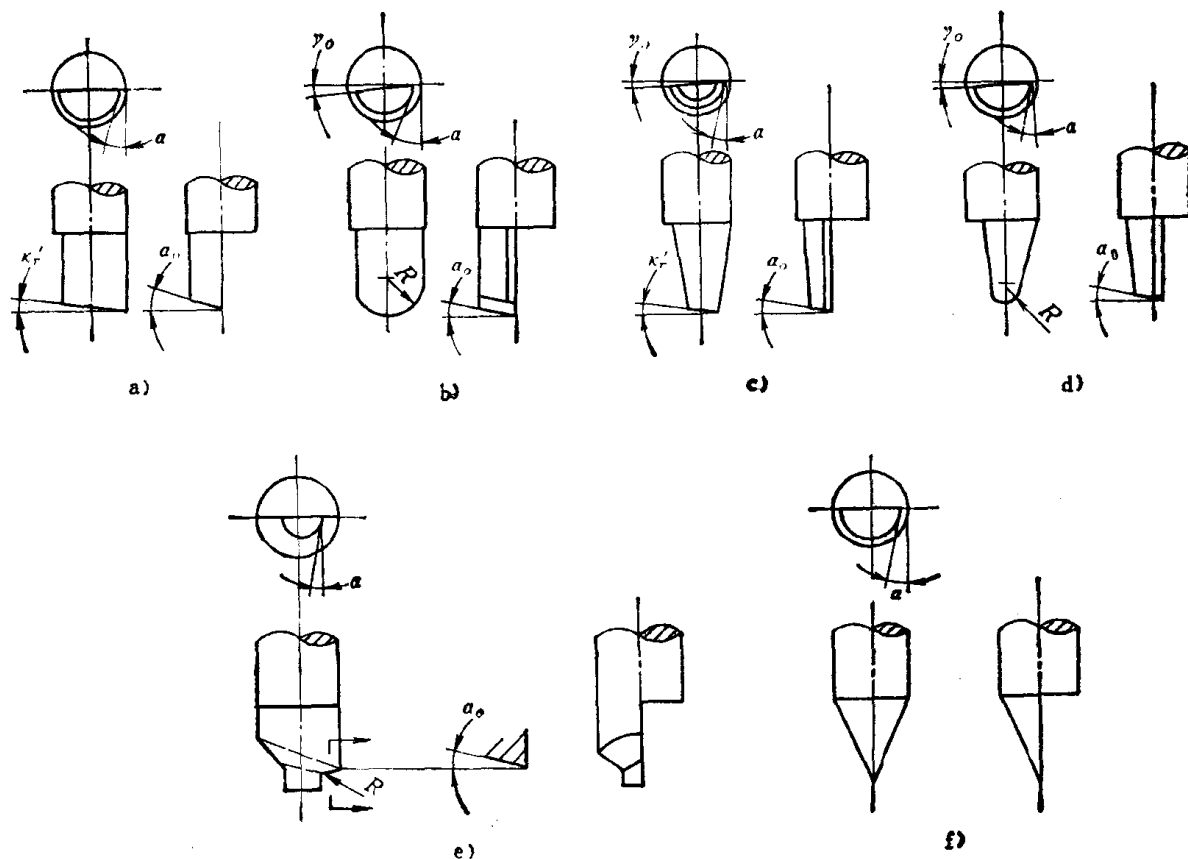


图2-15 各种指状铣刀

a) 用于加工直侧面、平底面的型腔 b) 用于加工半圆槽或直侧面、圆弧底的型腔 c) 用于加工斜侧面、平底面的型腔 d) 用于加工斜侧面、圆弧底的型腔 e) 用于加工凸圆弧面 f) 用于刻铣细小文字及花纹  
 $\alpha_0$ —后角（一般 $\alpha_0 = 25^\circ$ ）  $\alpha$ —副后角（一般 $\alpha = 15^\circ$ ）  $\kappa_r'$ —副偏角（一般 $\kappa_r' = 15^\circ$ ）  $\gamma_0$ —前角（一般 $\gamma_0 = 15^\circ$ ）

对于形状简单的型腔，可用普通游标卡尺和深度尺检测，而对形状复杂的型腔，则需用样板检验。

立式铣床加工型腔，对工人的操作技能要求较高，劳动强度大，生产效率低，适于形状不太复杂的型腔加工。

## （二）仿形铣床加工

根据事先制成的靠模，在仿形铣床上自动地将毛坯加工成与靠模形状相同的型腔工作面。其自动化程度和生产率较高，型腔的尺寸精度可达 $0.05\text{mm}$ ，表面粗糙度 $R_a$ 不超过 $2.5\mu\text{m}$ 。

仿形铣床的种类很多，按机床主轴的空间位置可分为立式和卧式两种。XB4480型立体仿形铣床（图2-17）的基本动作如下：下支架3和上支架4分别用来固定工件和靠模，上支架可沿下支架横向移动，上、下支架一起可沿工作台1作横向移动。铣刀9固定在主轴套筒10上。靠模仪座6安装在主轴箱7上，主轴箱可沿横梁8作横向移动，也可与横梁一起沿立柱5作垂直接移动。立柱固定在滑座12上，并与滑座一起沿床身2作纵向移动。利用三个方向进给运动的相互配合，便可加工出各种形状复杂的型腔工作面。

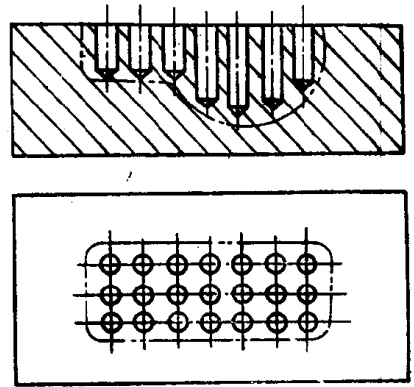


图2-16 型腔钻孔示意图

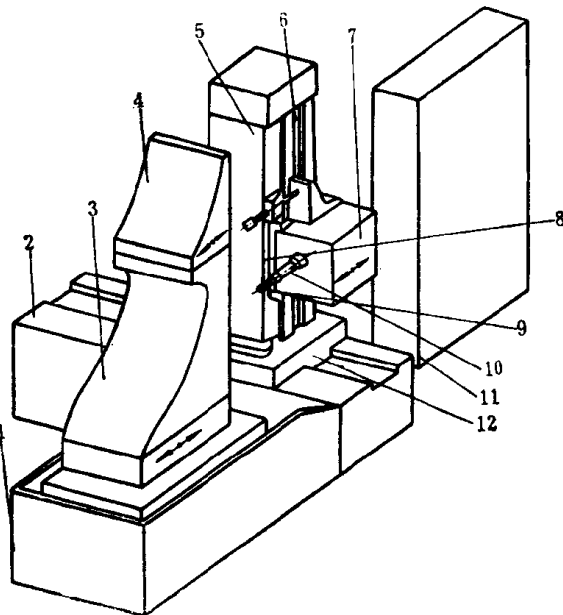


图2-17 XB4480型立体仿形铣床

1—工作台 2—床身 3—下支架 4—上支架 5—立柱  
6—靠模仪座 7—主轴箱 8—横梁 9—铣刀 10—主  
轴套筒 11—控制箱 12—滑座

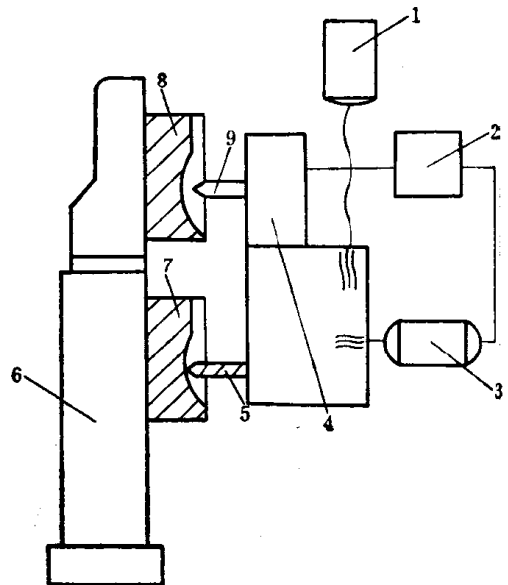


图2-18 立体仿形铣床跟随系统工作原理图

1—始发运动电动机 2—放大器 3—随动运动电  
动机 4—随动机构 5—铣刀 6—支架 7—工件  
8—靠模 9—靠模销

仿形铣床跟随系统的工作原理如图2-18所示。铣削过程中，靠模销沿靠模相对移动，而靠模销的端部始终压向靠模表面，并保持接触，使其产生轴向移动，从而发出信号。此信号经机床随动系统放大后，用以控制进给系统的驱动装置，使铣刀“跟随”靠模销作相应位移，完成仿形加工。

常见的仿形铣削方式有两种：