

模具制造工艺

普通高等教育机电类规划教材

模具制造工艺

华南理工大学 黄毅宏 主编
上海交通大学 李明辉

机械工业出版社

机械工



社

TG76
H84

439740

普通高等教育机电类规划教材

模具制造工艺

主编 黄毅宏 李明辉
参编 刘伟强
主审 郑良桂



机械工业出版社

本书较全面、系统地阐述了各种模具制造方法的基本原理、特点和加工工艺。全书共四章，主要内容包括：模具的一般机械加工、仿形加工、成形磨削、数控机床加工和 CAD/CAM、电火花成形加工、电火花线切割加工、电化学加工、超声波加工与激光加工等。同时，还介绍了典型模具（冷冲模和塑料模）的制造工艺及模具测量方法等。

本书是高等工业学校锻压（模具）专业教材，也可供机械类其他专业作为选修课教材，或供从事模具设计、制造的技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

模具制造工艺/黄毅宏、李明辉主编. —北京：机械工业出版社，1999.6

普通高等教育机电类规划教材

ISBN 7-111-05088-6

I. 模… II. ①黄… ②李… III. 模具-制造-工艺-高等教育-教材 IV. T760.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 24059 号

出 版 人：马九荣（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：杨 燕 王霄飞 版式设计：冉晓华 责任校对：刘志文

封面设计：郭景云 责任印制：何全君

三河市宏达印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1999 年 5 月第 1 版第 3 次印刷

787mm×1092mm $1/16$ ·18 印张·437 千字

9 001—13 000 册

定价：22.50 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

前 言

本书是根据全国锻压专业教学指导委员会 1992 年第五次和 1993 年第六次全体委员会议的纪要,以及会后所审定的《模具制造工艺》教材编写大纲编写的。

教学指导委员会第五次全体委员会议认真审阅了 1988 年机械工业出版社出版的《模具制造工艺》(第 2 版教材),并提出了一些建议。据此,编者在重新拟定编写大纲时充分考虑了这些建议:本书着重阐述冷冲模和锻模,同时亦介绍塑料模和压铸模等模具的制造技术,这样,既适合于锻压专业,又兼顾了模具专业的需要;叙述模具制造工艺时以模具工作表面的加工为主,在取材方面力求反映 90 年代的先进加工工艺。此外,由于近一二十年来电子技术和计算机科学的迅猛发展,促使模具制造业发生着深刻的变化,数控机床已成为模具加工的主要设备,继而,CAD/CAM 技术在模具领域也得到应用。为了适应模具技术发展的需要,本书增加了数控机床加工和模具 CAD/CAM 的内容。

本书是高等工业学校锻压(或模具)专业教材,也可供机械类其他专业作为选修课教材,或供从事模具设计、制造的技术人员参考。

本书第一、三章由上海交通大学李明辉编写,第二、四章由华南理工大学黄毅宏编写,附录由山东工业大学刘伟强编写。全书由黄毅宏、李明辉主编,黄毅宏统稿,浙江大学郑良桂主审。参加审稿的单位有:浙江大学、上海交通大学、山东工业大学、华南理工大学、上海大学和上海工程技术大学等。本书在编审过程中得到许多单位的大力支持,谨此致谢。

由于编者水平,书中难免有错漏之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 概论 1

第一节 模具技术的发展 1

一、模具工业在国民经济中的 重要地位 1

二、我国模具技术的现状 及发展趋势 1

第二节 模具制造的基本要求与特点 2

一、模具制造的基本要求 2

二、模具制造的特点 3

第三节 模具制造的工艺路线 3

一、分析估算 3

二、模具设计 4

三、模具制图 4

四、零件加工 4

五、装配调整 4

六、试模 5

第四节 模具的主要加工方法 5

一、机械加工 5

二、特种加工 5

三、塑性加工 5

四、铸造 5

五、焊接 6

第五节 本课程的性质、任务和要求 6

第二章 模具的机械加工 7

第一节 一般机械加工 7

一、车削加工 7

二、铣削加工 8

三、刨削和插削加工 10

四、磨削加工 11

第二节 模具的仿形加工 17

一、仿形加工的控制方式及工作原理 17

二、仿形加工工艺 19

三、雕刻加工 24

第三节 模具的精密加工 25

一、坐标镗床加工 26

二、坐标磨床加工 33

三、成形磨削 37

第四节 数控机床加工 59

一、概述 59

二、数控加工的程序编制 61

三、数控装置 74

四、数控机床的伺服系统 78

第五节 模具 CAD/CAM 83

一、CAD/CAM 的组成及其应用 83

二、模具 CAD/CAM 系统 87

第三章 模具的特种加工 101

第一节 电火花成形加工 101

一、电火花加工的基本原理及特点 101

二、电火花加工的基本规律 104

三、电火花成形加工设备及附件 112

四、模具电火花穿孔加工 120

五、型腔模电火花加工 126

第二节 电火花线切割加工 133

一、电火花线切割加工原理和特点 133

二、电火花线切割加工设备 134

三、数字程序控制原理 138

四、程序编制 142

五、间隙补偿和斜度切割的控制原理 146

六、电火花线切割加工工艺及应用 149

第三节 电化学加工 152

一、电化学加工的基本原理 152

二、电解加工 156

三、电解磨削 166

四、电铸成形 168

五、化学加工 171

第四节 超声波加工与激光加工 173

一、超声波加工 173

二、激光加工 176

第四章 典型模具制造工艺 182

第一节 模架制造 182

一、导柱、导套的加工 182

二、模座的加工 184

三、模架的技术要求及装配 184

第二节 冷冲模制造	187	一、锌基合金模具	235
一、冲裁模制造的技术要求	187	二、低熔点合金模具	237
二、模具工作表面的加工	188	附录 A 模具材料与热处理	241
三、制造凸模和凹模的工艺过程	197	一、常用模具材料	241
四、冷冲模结构的工艺性	199	二、模具材料的选用	246
五、冷冲模的装配和调整	202	三、模具热处理	249
第三节 锻模制造工艺	210	附录 B 模具表面强化处理	255
一、锻模制造的技术要求	210	一、模具表面强化方法及种类	255
二、锻模制造的程序和工艺过程	212	二、模具表面强化处理工艺特点及	
三、锻模的检验和维修	213	应用	255
第四节 塑料模制造工艺	216	三、模具表面强化处理工艺的选择	
一、塑料模制造技术要求	216	与后加工	264
二、塑料模型腔的加工和抛光	217	附录 C 模具测量	266
三、塑料模的装配、试模与维修	226	一、测量技术基础	266
第五节 压铸模的制造	233	二、模具零件几何量的测量	268
一、概述	233	三、模具检测常用精密量仪简介	273
二、压铸模的制造	234	主要参考文献	280
第六节 简易模具制造工艺	235		

第一章 概 论

第一节 模具技术的发展

一、模具工业在国民经济中的重要地位

模具在现代生产中,是生产各种工业产品的重要工艺装备,它以其特定的形状通过一定的方式使原材料成形。例如,冲压件和锻件是通过冲压或锻造方式使金属材料在模具内发生塑性变形而获得的;金属压铸件、粉末冶金零件以及塑料、陶瓷、橡胶、玻璃等非金属制品,绝大多数也是用模具成形的。由于模具成形具有优质、高产、省料和低成本等特点,现已在国民经济各个部门,特别是汽车、拖拉机、航空航天、仪器仪表、机械制造、家用电器、石油化工、轻工日用品等工业部门得到极其广泛的应用。据统计,利用模具制造的零件,在飞机、汽车、拖拉机、电机电器、仪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;在自行车、手表、洗衣机、电冰箱、电风扇等轻工产品中占 85%以上。据国际生产技术协会预测,到 2000 年,机械零件粗加工的 75%和精加工的 50%都将由模具成形来完成。

随着社会经济的发展,人们对工业产品的品种、数量、质量及款式都有越来越高的要求。为了满足人类的需要,世界上各工业发达国家都十分重视模具技术的开发,大力发展模具工业,积极采用先进技术和设备,提高模具制造水平,并取得了显著的经济效益。美国是世界上超级经济大国,也是世界模具工业的领先国家。据 1989 年统计,美国模具行业有 12554 个企业,从业人员 17.28 万人,模具总产值达 64.47 亿美元。日本模具工业是从 1957 年开始发展起来的,当年模具总产值仅有 106 亿日元,到 1991 年总产值已超过 17900 亿日元,在 34 年中增长了 169 倍,这也是日本经济能飞速发展,并在国际市场上占有一定优势的重要原因之一。现在,日本的模具工业已实现了高度的专业化、标准化和商品化。据 1991 年统计,日本全国有 13115 家模具工业企业,其中生产冲模的占 40%,生产塑料模的占 40%,生产压铸模的占 5%,生产橡胶模的占 4%,生产锻模的占 3%,生产铸造模的占 3%,生产玻璃模的占 3%,生产粉末冶金模的占 2%。

现在,大家都认识到,研究和发展模具技术,对于促进国民经济的发展具有特别重要的意义。模具技术已成为衡量一个国家产品制造水平的重要标志之一。模具工业能促进工业产品生产的提高和质量提高,并能获得极大的经济效益,因而引起了各个国家的高度重视和赞赏。在日本,模具被誉为“进入富裕社会的原动力”,在德国则冠之以“金属加工业中的帝王”,在罗马尼亚视为“模具就是黄金”。因此可以断言,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,模具技术也会不断发展,并在国民经济发展过程中发挥越来越重要的作用。

二、我国模具技术的现状及发展趋势

我国对模具工业的发展也十分重视。国务院于 1989 年 3 月颁布的《关于当前国家产业政

策要点的决定》中,就把模具技术的发展作为机械行业的首要任务。现在,我国的模具工业已初具规模,全国已有 200 多个模具专业厂,6000 多个生产点(附属在工厂内的模具车间或模具加工班组),年产模架 30 多万套。此外,还有数以万计的模具私营企业和个体劳动者,在满足模具需求方面,起着不可忽视的作用。可以说,中国在模具技术方面,已有一支较强的队伍。

近年来,我国模具技术的进步主要表现在:

1) 研究开发了几十种模具新钢种及硬质合金、钢结硬质合金等新材料,并采用了一些热处理新工艺,使模具使用寿命得到延长。

2) 发展了一些多工位级进模和硬质合金模等新产品,并根据国内生产需要研制了一批精密塑料注射模。

3) 研究开发了一些新技术和新工艺,如三维曲面数控仿形加工、模具表面抛光、表面皮纹加工以及皮纹辊制造技术、模具钢的超塑性成形技术和各种快速制模技术等。

4) 模具加工设备已得到较大的发展,国内已能批量生产精密坐标磨床、计算机控制(CNC)仿形铣床,CNC 电火花线切割机床以及高精度的电火花成形机床等。

5) 模具计算机辅助设计和辅助制造(模具 CAD/CAM)已在国内数十个单位得到开发应用。

虽然我国模具技术已得到较大的发展,但仍然不能满足国民经济高速发展的需要,还需花费大量资金向国外进口一些模具,其原因是:

1) 专业化和标准化程度低。目前专业化程度不到 10%,而标准化程度也只有 20%。

2) 模具品种少,效率低,经济效益也差。

3) 制造周期长,模具精度不高,制造技术较落后。

4) 模具寿命短,新材料使用量不到 10%。

5) 力量分散,管理落后。

根据我国模具技术的发展现状及存在的问题,今后应朝着如下几个方面发展:

1) 开发、发展精密、复杂、大型、长寿命模具,以满足国内市场的需要。国家已规划分别在山东、广东、北京、上海、广州等地的有关单位重点扶植发展热锻模、热铸模、塑料模、冷冲模、顶杆等,以便集中力量发展这些有影响的高水平模具及标准件。

2) 加速模具标准化和商品化,以提高模具质量,缩短模具制造周期。

3) 大力开发和推广应用模具 CAD/CAM 技术,提高模具制造过程的自动化程度。

4) 积极开发模具新品种、新工艺、新技术和新材料。

5) 发展模具加工成套设备,以满足高速发展的模具工业需要。

第二节 模具制造的基本要求与特点

一、模具制造的基本要求

在工业产品的生产中,应用模具的目的在于保证产品质量,提高生产率和降低成本等。为此,除了正确进行模具设计,采用合理的模具结构之外,还必须以先进的模具制造技术作为保证。制造模具时,不论采用哪一种方法都应满足如下几个基本要求:

(1) 制造精度高 为了生产合格的产品和发挥模具的效能,所设计、制造的模具必须具

有较高的精度。应该知道,模具精度主要是由制品精度和模具结构的要求来决定的。为了保证制品精度,模具的工作部分精度通常要比制品精度高 2~4 级;模具结构对上、下模之间配合有较高的要求,为此组成模具的零部件都必须有足够高的制造精度,否则将不可能生产出合格的制品,甚至会使模具损坏。

(2) 使用寿命长 模具是比较昂贵的工艺装备,目前模具制造费约占产品成本的 10%~30%,其使用寿命长短将直接影响产品的成本高低。因此,除了小批量生产和新产品试制等特殊情况下,一般都要求模具有较长的使用寿命,在大批量生产的情况下,模具的使用寿命更加重要。

(3) 制造周期短 模具制造周期的长短主要决定于制模技术和生产管理水平的高低。为了满足生产的需要,提高产品的竞争能力,必须在保证质量的前提下尽量缩短模具制造周期。

(4) 模具成本低 模具成本与模具结构的复杂程度、模具材料、制造精度要求及加工方法等有关。模具技术人员必须根据制品要求合理设计和制订其加工工艺。

必须指出,上述四个指标是相互关联、相互影响的。片面追求模具精度和使用寿命必然会导致制造成本的增加。当然,只顾降低成本和缩短制造周期而忽视模具精度和使用寿命的做法也是不可取的。在设计与制造模具时,应根据实际情况作全面的考虑,即应在保证制品质量的前提下,选择与制品生产量相适应的模具结构和制造方法,使模具成本降低到最低限度。

二、模具制造的特点

严格来说,模具制造也属机械制造的研究范畴,但一个机械制造能力较强的企业,未必都能承担模具制造任务,更难保证制造出高质量的模具。因为模具制造难度较大,与一般机械制造相比,有许多特殊性。

(1) 制造质量要求高 模具制造不仅要求加工精度高,而且还要求加工表面质量要好。一般来说,模具工作部分的制造公差都应控制在 $\pm 0.01\text{mm}$ 以内,有的甚至要求在微米级范围内;模具加工后的表面不仅不允许有任何缺陷,而且工作部分的表面粗糙度 R_a 都要求小于 $0.8\mu\text{m}$ 。

(2) 形状复杂 模具的工作部分一般都是二维或三维的复杂曲面,而不是一般机械加工的简单几何体。

(3) 材料硬度高 模具实际上相当于一种机械加工工具,其硬度要求较高,一般都是用淬火工具钢或硬质合金等材料制成,若用传统的机械加工方法制造,往往感到十分困难。

(4) 单件生产 通常,生产某一个制品,一般都只需要一、二副模具,所以模具制造一般都是单件生产。每制造一副模具,都必须从设计开始,大约需要一个多月甚至几个月的时间才能完成,设计、制造周期都比较长。

第三节 模具制造的工艺路线

模具制造的基本工艺路线如图 1-1 所示。首先,根据制品零件图样或实物进行估算,然后进行模具设计、零件加工、装配调整、试模,直到生产出符合要求的制品。

一、分析估算

在接受模具制造的委托时,首先要根据制品零件图样或实物,分析研究将采用模具的套

数、模具结构及主要加工方法，然后进行模具估算，估算的内容包括：

(1) 模具费用 指材料费、外购零件费、设计费、加工费、装配调整及试模费等。必要时，还要估算各种加工方法所用的工具及其加工费等，最后得出模具制造价格。

(2) 交货期 估算完成每项工作的时间，并决定交货期。

(3) 模具总寿命 估算模具的单次寿命以及经多次简单修复后的总寿命（即在不发生事故的情况下，模具的自然寿命）。

(4) 制品材料 制品规定使用的材料性能、尺寸大小、消耗量以及材料的利用率等。

(5) 所用的设备 了解应用模具的设备性能、规格及其附属设备。

在进行模具估算时，只注意模具费用及交货期是不够的。一个优秀的模具技术人员，应该对模具制造和试模过程中可能出现的问题以及制成后的使用情况有充分的了解和估计。

二、模具设计

在进行模具设计时，首先要尽量多收集信息，并认真地加以研究，然后再进行模具设计。若不这样做，即使是设计出的模具功能优良，精度很高，也不能符合要求，所完成的设计并不是最佳设计。所要收集的信息有：

- 1) 来自营业方面的信息最重要，包括：①产量（月产量和总产量等）；②产品单价；③模具价格和交货期；④被加工材料的性质及供应方法等；⑤将来的市场变化等。
- 2) 所要加工制品的质量要求、用途以及设计修正、改变形状和公差的可能性。
- 3) 生产部门的信息，包括使用模具的设备性能、规格、操作方法以及技术条件。
- 4) 模具制造部门的信息，包括加工设备及技术水平等。
- 5) 标准件及其他外购件的供应情况等。

三、模具制图

(1) 装配图 如果模具设计方案及其结构已经确定，就可以绘制装配图。装配图的绘制方法有三种：①主视图画成上、下模对合状态（下止位置）；俯视图只画下模。②主视图画上、下模组合状态，俯视图上、下模各画一半。③绘制组合状态的主视图后再分别画上、下模俯视图。应用时，可根据模具结构的需要选用其中的一种。

(2) 零件图 零件图要根据装配图绘制，使其满足各种配合关系，并注明尺寸公差及表面粗糙度，有的还要写明技术条件。标准件不必画零件图。

四、零件加工

每个需要加工的零件，都必须按图样要求制订其加工工艺（填写工艺卡），然后分别进行粗加工、半精加工、热处理及精修抛光。

五、装配调整

装配就是把加工好的零件组合在一起构成一副完整的模具。在这一过程中，仅仅把加工好的零件紧固，或是打入定位销等纯装配操作是极少见的。一般都是在装配调整过程中进行一定的人工整修或机械加工。

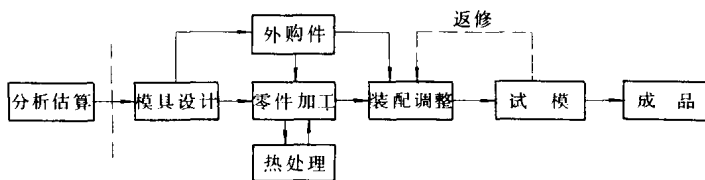


图 1-1 模具制造的基本工艺路线

六、试模

装配调整好的模具，还需要安装在机器设备上（如冲床、注射机等）进行试模。检查模具在运行过程中是否正常，所得到的制品形状尺寸等是否符合要求。如有不符合要求的则必须拆下来加以修正，以便再次试模，直到完全能正常运行并能加工出合格的制品。

第四节 模具的主要加工方法

将金属材料加工成模具的方法，主要有机械加工、特种加工、塑性加工、铸造和焊接等。

一、机械加工

机械加工（即传统的切削与磨削加工）是模具制造不可缺少的一种重要的加工方法。即使是用其他加工方法制造模具，也需要用切削或磨削加工来完成某些工作。例如模架加工、模坯加工、模具型面加工以及孔类加工等。

机械加工的明显特点是加工精度高、生产效率高，而且用相同的机床和工具可以加工出各种形状和尺寸的工件。但是，用机械加工方法加工复杂的形状时，其加工速度很慢，硬的材料也难于加工；材料的利用率不高；而且还要求有熟练的操作工人。尽管如此，在模具制造过程中机械加工仍然是主要的加工手段。

二、特种加工

特种加工是有别于传统机械加工方法的非传统加工方法，也称电加工。从广义上来说，特种加工是指那些不需要用比工件更硬的工具，也不需要加工过程中施加明显的机械力，而是直接利用电能、化学能、声能、光能等来除去工件上的多余部分，以达到一定的形状、尺寸和表面粗糙度要求的加工方法，其中包括电火花成形加工、电火花线切割加工、电解加工、电化学抛光、电解磨削、电铸、化学蚀刻、超声波加工、激光加工等。

特种加工相对于传统的机械加工，有如下特点：

- 1) 加工情况与工件的硬度无关，可以实现以柔克刚。
- 2) 工具与工件一般不接触，加工过程不必施加明显的机械力。
- 3) 可加工各种复杂形状的零件。
- 4) 易于实现加工过程自动化。

正因为特种加工有上述这些可贵的特点，所以特种加工在模具制造中得到越来越广泛的应用，并成为模具加工中的一种重要方法。

三、塑性加工

塑性加工主要是冷挤压制模法，即将淬火过的成形模（原阳模）强有力地压入未进行硬化处理的模坯（钢或其他软质材料）内，使原阳模的形状复印在被压的模坯上，制成所需要的模具。

冷挤压制模法所成形的模具完全不需要将型面进行精加工，它制模速度快、省料，可以制成各种复杂型面的模具，且形状精确，利于用一套原模制作多副相同模具。这种制模法一定要事先制作一个成形的原阳模，而且压制后的模具在淬火时会引起变形。

四、铸造

对于一些精度和使用寿命要求不高的模具，人们往往会用简单方便的铸造法快速制成。

- (1) 铸铁 像加工汽车外壳等大件且不规则形状的模具，一般都用铸造方法制成。

铸铁模在制造上的优点是,可以很容易铸出复杂的形状,尺寸不受限制,便于进行机械加工,而且价格低,润滑性好,胶着少。它的缺点是耐磨性差,精度差。

(2) 锌基合金 锌基合金是一种用铸造法制造简易模具的典型材料,其熔点低,可铸性好,所以铸造精度相对较高,而且还具有软钢那样的强度、耐磨性和润滑性。用低熔点材料锌基合金铸造模具,也称快速制模法,其制模速度快,容易制成形状复杂的模具,但模具的材质较软,耐热性差,所以模具寿命短,多用于试制和小批量生产的场合。

为了适度提高快速制模的质量和使用寿命,也有用导热性和耐久性较好的铍铜合金代替锌基合金的,主要用于生产批量较大而又细微的复杂模具。

(3) 合成树脂 铸造法制模也有用合成树脂的,主要有酚醛树脂、聚酯树脂、环氧树脂等。

合成树脂模的优点是容易快速制模,轻而无锈,复制和维修都比较简单。但耐磨性差,遇热变形大,且强度不高、易疲劳老化。

五、焊接

焊接法制模是将分散加工好的模块焊接在一起,形成所需的模具。这种制模方法与整体加工相比,加工简单、快速、省料、尺寸大小不受限制。但精度难以保证,易残留热应变及内部应力,承受冲击的能力差。主要用于精度要求不高的大型模具的制造,或是用于模具的修复。

第五节 本课程的性质、任务和要求

本课程是锻压专业的一门专业课。在学习本课程之前,学生已修完了“金属工艺学”课程,并开始学习“冲压工艺”、“锻造工艺”、“塑料成形工艺”等有关课程,对模具设计已有初步的了解。由于模具设计与制造工艺之间有着密切的关系,作为一个模具设计人员如果不熟悉模具制造工艺知识,甚至连自己设计出来的模具也不知道应该用什么方法制造,那么不管其设计的模具功能多全,精度定得多高,我们仍然不可以说这是一副好的模具,因为所设计的模具未必是合理的,不仅工艺性和经济性很差,甚至无法加工。因此,作为模具设计人员,在掌握设计知识后还必须熟悉模具制造方面的工艺知识,只有这样才能避免理论脱离实际,也只有这样,才能成为一个优秀设计师。本课程的任务是使学生掌握模具设计与制造所必须具备的工艺知识,提高合理设计模具的能力。

由于工业生产的发展和金属成形新技术的应用,对模具制造技术的要求越来越高,使之趋于复杂化和多样化。模具的制造方法已不再是过去的手工作业和传统的一般机械加工,而是广泛采用电火花成形、数控线切割、电化学加工、超声波加工、激光加工以及成形磨削、数控仿形等现代加工技术。通过本课程的学习,要求学生掌握各种现代模具加工方法的基本原理、特点及加工工艺,掌握各种制造方法对模具结构的要求,以提高学生分析模具结构工艺性的能力。

本课程的实践性很强,涉及的知识面较广。因此,学生在学习本课程时,除了重视其中必要的工艺原理与特点等理论学习外,还应特别注意实践环节,尽可能参观一些模具厂,认真参加现场教学和实验,以增加感性知识。

第二章 模具的机械加工

第一节 一般机械加工

由于模具零件的形状多种多样,而且精度要求高,因此,在加工过程中除了使用车床、铣床、刨床、插床和磨床等一般机械加工设备外,还需要使用各种先进设备,诸如电火花加工机床、电火花线切割加工机床和精密磨削机床等。近年来,加工新技术不断发展,先进设备逐年增加。然而,一般机械加工仍然是模具制造中不可缺少的基本手段。

一、车削加工

车床的种类很多,其中卧式车床的通用性好,应用最为广泛。在模具制造中卧式车床主要用于加工凸模、凹模、导柱、导套、顶杆、型芯和模柄等零件。

车削用于加工内外旋转表面、螺旋面、端面、钻孔、镗孔、铰孔及滚花等。工件的加工通常经过粗车、半精车和精车等工序而达到要求。根据模具零件的精度要求,车削一般是外旋转表面加工的中间工序,或作为最终工序。精车的尺寸精度可达IT6~IT8,表面粗糙度为 $R_{a1.6} \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。

除了上述常规的车削加工外,还常常用到一些特殊的车削加工。

(一) 对拼式型腔的加工

在模具设计中,为了便于取出工件,往往把型腔设计成对拼式,即型腔的形状由两个半片或多个镶件组成。这种情况在注射模、吹塑模、压铸模、玻璃模和胀形模等模具中都比较常见。

加工对拼式型腔(图2-1)时,为了保证型腔尺寸的准确性,通常应预先将各镶件间的接合面磨平,互相间用工艺销钉固定,组成一个整体后才进行车削。

(二) 球面的加工

拉深凸模、弯曲模、浮动模柄、球面垫圈和塑料模的型芯等零件,往往带有球面。若在卧式车床上增设一个车球面工具,则可方便而又准确地进行球面加工。如图2-

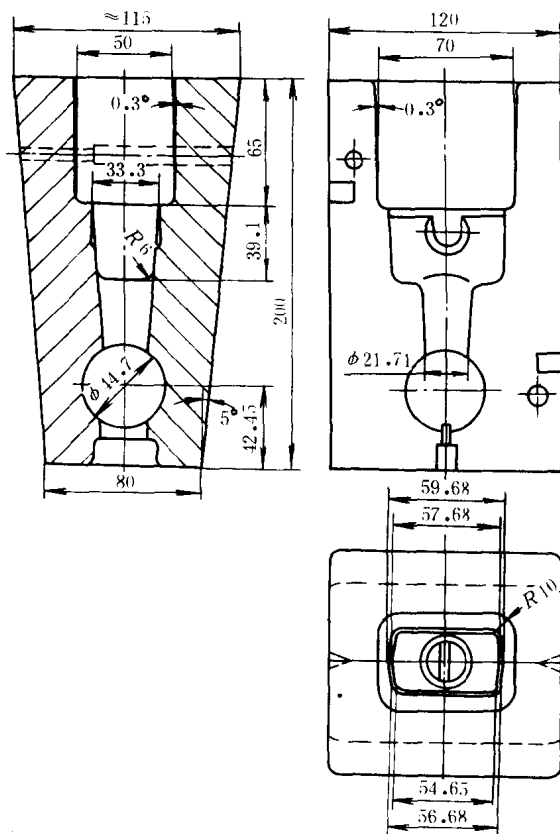


图 2-1 对拼式塑压模型腔

2a 所示,连杆 1 是可以调节的,一端与固定在机床导轨的基准板 2 上的轴销铰接,另一端与

调节板 3 上的轴销铰接。调节板 3 用制动螺钉紧固在中滑板上。

当中滑板横向自动进给时, 由于连杆 1 的作用, 使床鞍作相应的纵向移动, 而连杆绕基准板上的轴销回转使刀尖也作出圆弧轨迹。图 2-2b 所示为车制凹球面时的安装。

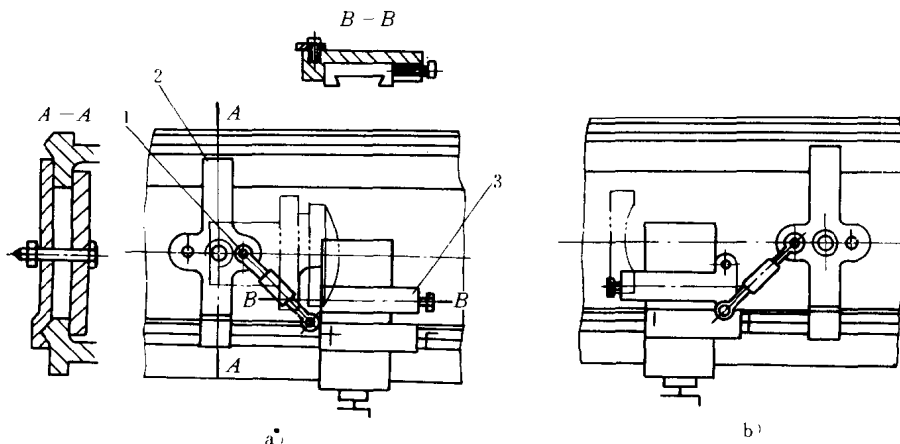


图 2-2 车球面工具

1—连杆 2—基准板 3—调节板

(三) 多型腔模具的加工

对于多型腔模具, 如果其型腔的形状适合于车削加工, 则可利用辅助顶尖校正型腔中心, 并逐个车出。图 2-3 为四型腔塑料模的动模。车削加工前, 先按图加工工件的外形, 并在四个型腔的中心上打样冲眼或中心孔。车削时, 把工件初步装夹在车床卡盘上, 将辅助顶尖一端顶住样冲眼或中心孔, 另一端顶在车床尾座上, 用手转动车头, 以千分表校正辅助顶尖外圆, 调整工件位置, 使辅助顶尖的外圆校正为止 (图 2-4)。车完一个型腔后, 用同样的方法校正另一个型腔中心, 进行车削。

辅助顶尖的结构如图 2-5 所示, 要求 $\phi 16\text{mm}$ 与 $\phi 10\text{mm}$ 的外圆保持同心。

二、铣削加工

在模具零件的铣削加工中, 应用最广的是立式铣床和万能工具铣床的立铣加工, 主要加工对象是各种模具的型腔和型面, 其加工精度可达 IT10, 表面粗糙度为 $R_a 1.6\mu\text{m}$ 。若选用高速、小用量铣削, 则工件精度可达 IT8, 表面粗糙度为 $R_a 0.8\mu\text{m}$ 。铣削时, 留 0.05mm 的修光余量, 经钳工修光即可得到所要求的型腔。

当型腔或型面的精度要求高时, 铣削加工仅作为中间工序, 铣削后需用成形磨削或电火花加

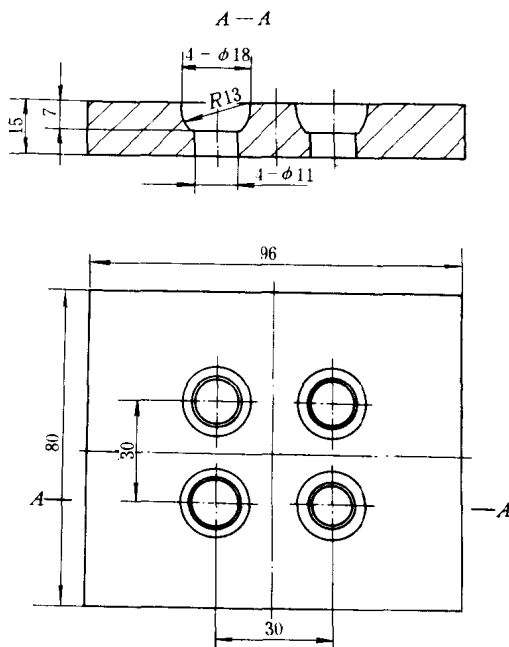


图 2-3 四型腔塑料模的动模

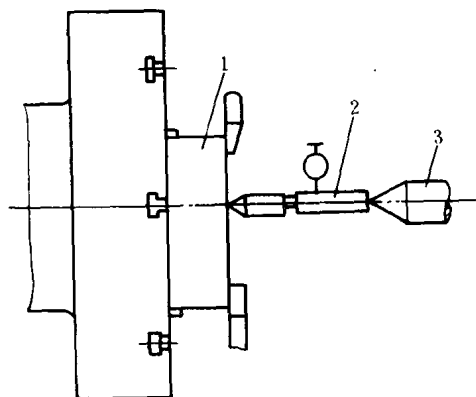


图 2-4 用辅助顶尖找正中心

1—坯料 2—辅助顶尖 3—车床尾座

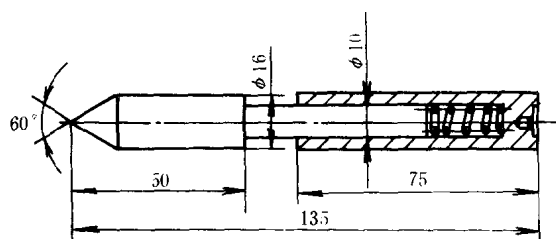


图 2-5 辅助顶尖结构图

工等方法进行精加工。

立铣加工主要有如下几种：

(一) 平面或斜面的加工

在立铣上使用端铣刀加工平面（图 2-6）或斜面时，生产效率高，因此，这种加工方法在模具零件的平面或斜面加工中得到广泛的应用。

(二) 圆弧面的加工

圆转台是立铣加工中常用的附件，利用它可进行各种圆弧面的加工。

圆转台安装在立式铣床的工作台上，而工件则安装在圆转台上。安装工件时，必须使被加工圆弧中心与圆转台的回转中心重合，并根据工件形状来确定铣床主轴中心是否需要与圆转台中心重合。利用圆转台进行立铣加工圆弧面的方式如表 2-1 所示。

(三) 复杂型腔或型面的加工

对于不规则的型腔或型面，可采用坐标法加工，即根据被加工点的位置，控制工作台的纵横（ X ， Y ）向移动以及主轴头的升降（ Z ）进行立铣加工。例如，图 2-7 所示的不规则型面，其轮廓一般是按极坐标方法设计的，所以在加工前可按工件的极坐标半径、夹角和加工用

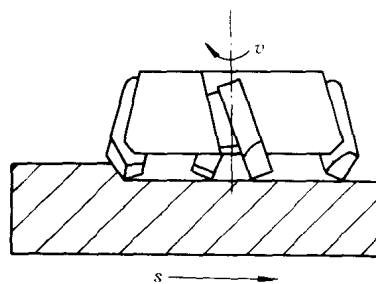


图 2-6 端铣刀加工平面

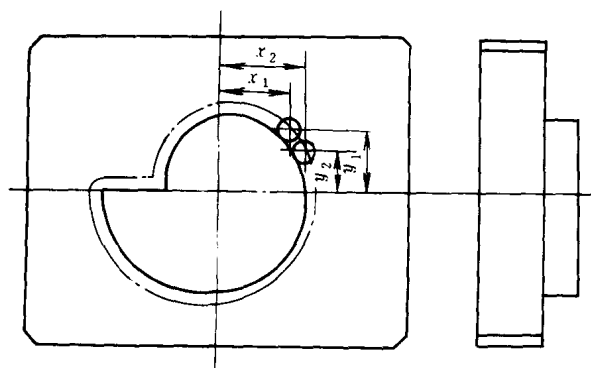
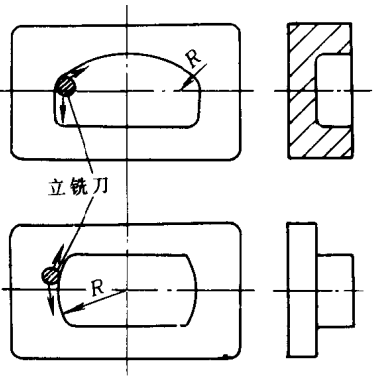
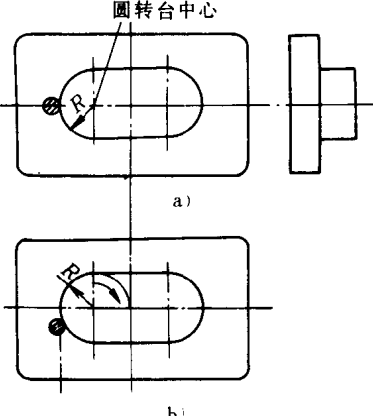
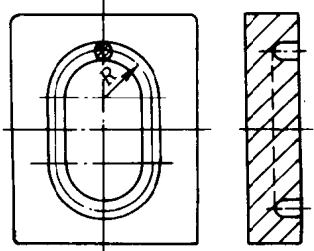


图 2-7 不规则型面的立铣加工

铣刀直径计算出铣刀中心在各位置的纵横坐标尺寸，然后逐点铣削。当立铣加工的对象为复杂的空间曲面时，亦可采用坐标法，但需控制 X 、 Y 、 Z 三个坐标方向的移动。

坐标法加工后的型腔或型面的精度较低，需经钳工修整才能获得比较平滑的表面。

表 2-1 利用圆转台进行立铣加工圆弧面的方式

方 式	简 图	说 明
主轴中心不需对 准圆转台中心		将工件 R 圆弧中心与圆转台中心重合。转动圆转台，由立铣刀加工 R 圆弧侧面。由于任意转动圆转台都不致使铣刀切入非加工部位，因此主轴中心不需对准圆转台回转中心
主轴中心需落在 圆转台轴线上		使工件 R 圆弧中心与圆转台中心重合。并使主轴中心对准圆转台中心轴线之一，见图 a 如主轴中心不对准圆转台中心轴线，则按圆转台刻度转动 90° 时，立铣刀将切入工件非加工部位见图 b
主轴中心需对准 圆转台中心		先使主轴中心对准圆转台中心，然后安装工件，使 R 圆弧中心与圆转台中心重合 移动工作台（移动距离为 R）转动圆转台进行加工，控制圆转台回转角度

（四）坐标孔的加工

利用立铣工作台纵向和横向移动，可加工工件上的坐标孔。但因驱动工作台移动的丝杆和螺母之间存在间隙，故孔距的加工精度不高。当孔距精度要求较高时，可用坐标铣床。这种铣床是以孔加工和立铣加工为主要对象的，在机床上装有光电式或数字式读数装置，其加工精度比立式铣床高。

三、刨削和插削加工

（一）刨削加工

刨削主要用于模具零件外形的加工。中小型零件广泛采用牛头刨床加工；而大型零件则需用龙门刨床。刨削加工的精度可达 IT10，表面粗糙度为 $R_a 1.6\mu\text{m}$ 。

牛头刨床主要用于平面与斜面的加工。

1. 平面的加工

对于较小的工件，通常用平口钳装夹；对于较大的工件，可直接安装在牛头刨床的工作台上。此外，刨削平面时还常用撑板夹紧工件（图 2-8）。其优点是便于进刀和出刀；可避免薄工件发生变形；夹紧力能使工件底面贴实垫板。

2. 斜面的加工

刨削斜面时，可在工件底部垫入斜垫块使之倾斜，并用撑板夹紧工件（图 2-9）。斜垫块是预先制成的一批不同角度的垫块，并可用两块以上组成其他不同角度的斜垫块。

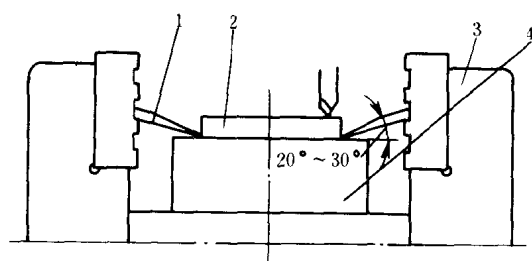


图 2-8 用撑板装夹

1—撑板 2—工件 3—虎钳 4—垫板

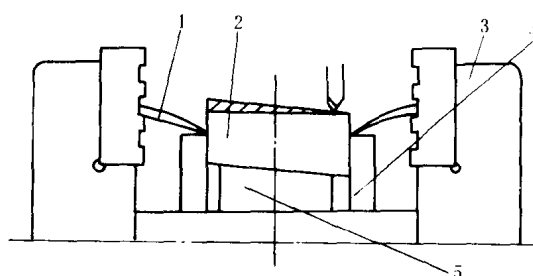


图 2-9 利用斜垫块刨斜面

1—撑板 2—工件 3—虎钳 4—垫板 5—斜垫块

对于工件的内斜面，一般采用倾斜刀架的方法进行刨削，图 2-10 所示为 V 形槽的刨削加工过程。

（二）插削加工

插床的结构与牛头刨床相似。不同之处在于插床的滑枕是沿垂直方向作往复运动的。在模具制造中插床主要用于成形内孔的粗加工，有时也用于大工件的外形加工。插床加工时有冲击现象，宜采用较小的切削用量。因此，其生产率和加工表面粗糙度都不高，加工精度可达 IT10，表面粗糙度为 $R_a 1.6\mu\text{m}$ 。

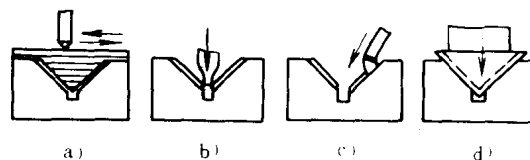


图 2-10 刨 V 形槽

a) 粗刨 b) 切槽 c) 刨斜面 d) 用样板刀精刨

插床的加工方法主要是根据划线形状，利用插床的纵横滑板和回转工作台插出工件的成形孔或外形。所加工的内孔一般都留有加工余量，供后续工序精加工用。用插床加工直壁外形及内孔的几种形式如表 2-2 所示。此外，还可利用插床滑枕的倾斜，对带有斜度的内孔进行加工（图 2-11）。

四、磨削加工

为了达到模具的尺寸精度和表面粗糙度等要求，有许多模具零件必须经过磨削加工。例如，模具的型腔、型面，导柱的外圆，导套的内外圆表面以及模具零件之间的接触面等。在模具制造中，形状简单（如平面，内圆和外圆）的零件可使用一般磨削加工，而形状复杂的零件则需使用各种精密磨床进行成形磨削。一般磨削加工是在平面磨床、内圆磨床或外圆磨